

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

+

JEOTERMAL SAHALARDA  
JEOLOJİK VE JEOFİZİK ETÜTLERİN KORELASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Hazırlayan  
Jeo. Müh. Suat TAŞDELEN

T189/4-1

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Eylül 1987  
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Eylül 1987

Tez Danışmanı  
Diğer Jüri Üyeleri

: Prof. Dr. D. Ali KEÇELİ  
: Prof. Dr. Ali ŞAHİNCİ  
Doç. Dr. Aziz ERTUNÇ

EYLÜL 1987

## İÇİNDEKİLER

ÖZ . . . . .	IV
ABSTRACT . . . . .	V
1. GİRİŞ . . . . .	1
2. JEOTERMAL ENERJİ . . . . .	4
2.1. ISITICI KAYNAK . . . . .	6
2.2. REZERVUAR TABAKA (HAZNE KAYA) . . . . .	9
2.3. ÖRTÜ TABAKASI . . . . .	9
2.4. SİRKÜLASYON SIVISI . . . . .	9
2.4.1. SICAK SU EGEMEN SİSTEMLER . . . . .	10
2.4.2. BUHAR EGEMEN SİSTEMLER . . . . .	10
2.5. JEOTERMAL SAHALARIN BAZI TERMODİNAMİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ . . . . .	11
2.6. BUHAR VE TERMAL SULARIN KÖKENİ . . . . .	15
2.6.1. JÜVENİL TEORİ . . . . .	15
2.6.2. METEORİK TEORİ . . . . .	15
2.7. JEOTERMAL ENERJİ ARAŞTIRMALARI . . . . .	18
2.7.1. UZAKTAN ALGILAMA . . . . .	18
2.7.2. JEOLojİ VE HİDROJEOLojİ ÇALIŞMALARI . . . . .	19
2.7.3. JEOMORFOLOJİ ÇALIŞMALARI . . . . .	21
2.7.4. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR . . . . .	22
2.7.4.1. Gravimetrik Kavram . . . . .	22
2.7.4.2. Jeoelektrik Yöntem . . . . .	24
2.7.4.3. Sismik Araştırmalar . . . . .	25
2.7.4.4. Jeotermal Yöntemler . . . . .	25
2.7.4.4.1. Zemin Sıcaklık Ölçümleri . . . . .	25
2.7.4.4.2. Sığ Kuyularda Sıcaklık Ölçümleri . . . . .	25
2.7.4.4.3. Isı Akısı Ölçümleri . . . . .	26
2.7.5. SONDAJ TEST ÇALIŞMALARI . . . . .	26
2.8. JEOLojİK VE JEOFİZİK ÇALIŞMALARIN KORELASYONU . . . . .	27
3. UŞAK-BANAZ--HAMAMBOĞAZI JEOTERMAL SAHASININ JEOLojİK VE JEOFİZİK ETÜDÜ . . . . .	28
3.1. ÇALIŞMA ALANININ YERİ VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR . . . . .	28

3.2. ÇALIŞMANIN AMACI . . . . .	28
3.3. YÖNTEMLER . . . . .	30
3.4. JEOLJİ . . . . .	30
3.4.1. STRATİGRAFI . . . . .	30
3.4.1.1. Paleozoyik . . . . .	30
3.4.1.2. Mesozoyik . . . . .	30
3.4.1.3. Senozoyik . . . . .	32
3.4.2. YAPISAL JEOLJİ . . . . .	34
3.5. JEOLJİK SONUÇ . . . . .	35
3.6. JEOFİZİK (JEOELEKTRİK YÖNTEM) . . . . .	36
3.6.1. EŞ REZİSTİVİTE VE YAPI KESİTLERİNİN YORUMU . . . . .	40
3.6.2. EŞ REZİSTİVİTE HARİTALARININ YORUMU . . . . .	47
3.6.3. PS HARİTA VE KESİTLERİNİN YORUMU . . . . .	55
3.6.4. İP VE FAZ FARKI ANOMALİLERİNİN YORUMU . . . . .	55
3.7. JEOFİZİK SONUÇ . . . . .	55
3.8. JEOLJİK VE JEOFİZİK ÇALIŞMALARIN KORELASYONU İLE YAPILAN GENEL YORUM . . . . .	78
4. SONUÇ VE ÖNERİLER . . . . .	79
KAYNAKLAR . . . . .	80

## ÖZ

Bu çalışmada, jeotermal enerji sahalarında yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmalar hakkında bazı temel bilgiler sunulmuş, daha önce yapılan araştırmalarla kesin sonuç alınmayan bir jeotermal alan, örnek çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu alanda olumlu bir sonuca ulaşabilmek, ancak jeolojik ve jeofizik verilerin korelasyonu ile mümkün olmuş, bu nedenle, jeotermal sahalarda mutlaka jeoloji-jeofizik işbirliğinin gerektiği üzerinde durulmuştur.

Çalışma alanı, Uşak-Banaz-Hamamboğazı sıcak su kaynakları mevkiidir. Yörede, sıcak su kaynaklarının debisini artırma amacına yönelik jeolojik ve jeofizik çalışmalar yapılmıştır.

Jeolojik çalışmalar sonucu, rezervuar ve örtü tabakası özelliğindeki birimler tesbit edilmiş, fakat çalışma alanındaki derinlikleri, kalınlıkları ve yapıları ile ilgili problemler ancak jeofizik etütler sonucu çözülebilmektedir.

Sıcak su kaynakları yakın çevresinin 1/10 000 ölçekli jeoloji haritası yapılmış, daha önceki çalışmaların ışığı altında yörenin genelleştirilmiş litostratigrafi kesiti çıkarılmıştır.

Yüzeydeki jeolojik verilerin yetersizliği nedeniyle, derinlerdeki birimlerin ve yapıların varlıkları ve durumları, ancak jeofizik çalışmalarla belirlendikten sonra sıcak su kaynakları mevkiinin jeolojik kesitini çizmek mümkün olmuştur.

Jeofizik çalışmalarda, jeotermal alanların belirlenmesinde en etkin ve belirleyici yöntem olan jeoelektrik yöntemler uygulanmıştır. Ana yöntem rezistivite yöntemidir. Bunun yanında IP (İndüksiyon, Polarizasyon), faz farkı ölçüleri ve PS (doğal gerilim) ölçüleri kullanılmıştır.

Çalışmalar sonucu elde edilen jeolojik ve jeofizik verilerin korelasyonu ile kaplıcalar mevkiinde üç ayrı sondaj yeri önerilmiştir.

## ABSTRACT

In this study, some basic knowledges on the geological and geophysical investigations at geothermal areas are presented. For this aim a geothermal area which can not be solved by geological data has been selected as an example area. Suitable result in such an area can only be obtained by geological and geophysical co-operation.

This example area is district of hot springs in Uşak-Banaz-Hamamboğazı. This study has been carried out in order to increase hot water flow.

The sort of reservoir and surface layers only are determined by geological studies but their thickness, depths and structural occupation, also, other geological units which can not be found out can be solved by geophysical studies.

1/10 000 scale geology map of hot springs region has been done, generalized lithostratigraphic columnar section has been done by means of previous studies.

In geophysical studies geoelectric methods have been applied. Main method applied is the resistivity method. Also the Induced Polarization (frequency effect and phase angle) and natural potential method together are applied.

Thus, in this geothermal area three drilling locations have been offered and in the result of geological and geophysical studies correlation. Drilling sound has been made for are offered and a hot water of order 55 degrees 12 litres per second has been obtained from the 142 meters depth.

## 1. GİRİŞ

Enerji, en geniş anlamda iş yapabilme gücü olarak tanımlanabilir. Tarihin başlangıcından bu yana, enerji konusu hergün biraz daha günlük yaşama girmiş ve özellikle yirminci yüzyılın ikinci yarısında ekonomik, politik ve sosyal birçok olayda birinci derecede önem kazanmıştır.

Günümüzde ekonomik, güvenilir ve bol enerji temini ülkelerin kalkınmasında en büyük rolü oynamakta ve bir ülkenin gelişmişlik düzeyi, o ülkede fert başına tüketilen enerji miktarı ile ifade edilmektedir. Bu nedenle gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkeler enerji sorunlarının çözümünde eldeki tüm kaynaklardan yararlanmayı amaçlamaktadırlar.

Maliyetinin diğer enerji kaynaklarına oranla % 50 ile 80 arasında bir ucuzluk sağlaması, çok daha az çevre sorunu yaratması ve yenilenebilir olması gibi nedenlerden dolayı jeotermal enerjinin bulunabildiği her yerde çağın ekonomik koşullarına uygun olarak araştırılıp işletilmesi bugünümüz ve geleceğimiz açısından çok önemlidir.

Alp Tektonik kuşağı üzerinde yer alan Türkiye, jeotermal enerji potansiyeli bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Petrol, doğal gaz, kömür vb. gibi fosil enerji kaynaklarının bir hayli kısıtlı oluşu gözönüne alındığında enerji açığının karşılanması için jeotermal enerjinin öncelikle değerlendirilmesi gereken bir enerji türü olduğu açıkça görülür.

Bölgede ondokuzuncu yüzyıldan beri değişik amaçlı jeolojik araştırmalar yapılmıştır. Fakat, bu çalışmaların ancak 1953 yılından sonrakileri, bölgede daha sonra yapılacak araştırmalar için bir kaynak niteliğindedir.

Holzer, 1953, Alaçehir - Buldan - Güney - Çal ve Çivril ilçelerini kapsayan Menderes havzasında 1/100.000 ölçekli jeolojik harita alımı yapmıştır.

Baykal, 1954, Büyük Menderes ve Gediz nehirlerinin yukarı mecralarında araştırmalar yapmıştır. Yazar, yöredeki metamorfik serinin andezit ve bazalt filonları tarafından kesildiğini, Sivaslı batısında görülen ve 800 - 900 m kalınlığa erişen dolomitik kalkerlerin Mesozoyik yaşlı olabileceğini belirtir. Yazar, Tersiyer'in altta jipsli seri, üstte ise çakıllı ve kalkerli serilerden oluştuğunu savunur.

Kalafatçioğlu, 1961, Gediz - Uşak arasında yaptığı çalışmalarda bölgedeki en eski formasyonların Paleozoyik yaşlı gnays ve kuvarsitler olduğunu belirtir. Yazara göre, Paleozoyik üzerine uyumsuz olarak gelen Mesozoyik, genellikle kireçtaşından ibaret olup, Üst Kretase'de sonradan serpantinize olan ofiyolitik magma intrüzyon ve erüpsiyonları meydana gelmiştir. Yazar, Neojen'de Bölgenin göllerle kaplanmış olduğunu ve 2000 m den fazla bir kalınlıkta konglomera, kum, marn, kil ve kalker serilerinin oluştuğunu ve bu arada meydana gelen volkanizma ile andezit, dasit, trakit, riyolit ve tüflerin bölgeyi kapladığını, Kuvaterner'de ise Kula bazalt akıntılarının bölgeye kadar yayıldığını belirtir.

Yümlü, 1968, Uşak - Banaz ilçesi kuzeyinde yer alan Murat Dağı civarında yaptığı araştırmalarda, ultrabazikler tarafından kesilen Paleozoyik yaşlı kristalen şistleri, bunları uyumsuz olarak örten rekrystalize kalkerleri, Neojen yaşlı taban konglomerası, kum, marn, kil, kalker seviyelerini ve magmatik kayalardan da Neojen seri ile örtülü olan granit ve ofiyolitik seriyi ayırtlamıştır.

İça, 1976, Uşak ili civarındaki kaplıcaları araştırmış ve kaplıca çevrelerinde 1/25.000 ölçekli jeolojik

harita alımı yapmıştır. Araştırmacı, bölgedeki en eski kayaların Paleozoyik yaşlı gnays ve üst kesimlerde kuvarsit, kalkşist, mikaşist, killi şist ve merceksi mermerler olduğunu belirtir. Yazar Miyosen'in konglomera - kumtaşı, tüf-aglomera seviyelerinden oluştuğunu, alt seviyelerde konglomera ve kumtaşının yanıl ve düşey olarak andezit, trakianandezit, tüf ve aglomeralarla geçişli olduğunu ve Miyosen yaşlı birimlerin Paleozoyik'i uyumsuz olarak örttüğünü ifade eder. Pliyosen'in konglomera, kumtaşı, kiltası, gölsel kireçtaşları; Kuvaterner'in ise kil, kum, çakıl, traverten, taraça ve alüvyondan meydana geldiğini belirtir.

Araştırmacıya göre, hazne kayacı Paleozoyik yaşlı mermer ve kuvarsitler, örtü kayacı ise, Paleozoyik temeli örten killi, marnlı, kumlu, kireçli kalın Tersiyer formasyonları oluşturur. Tersiyer'den Kuvaterner'e kadar devam eden volkanizma ile yerleşen soğumamış volkanik cepler ise ısıtıcı kaynak görevi yapar. Hazne kayada konveksiyon akımları ile ısınan su ise faylar ve çatlaklar yolu ile yüze ulaşır.

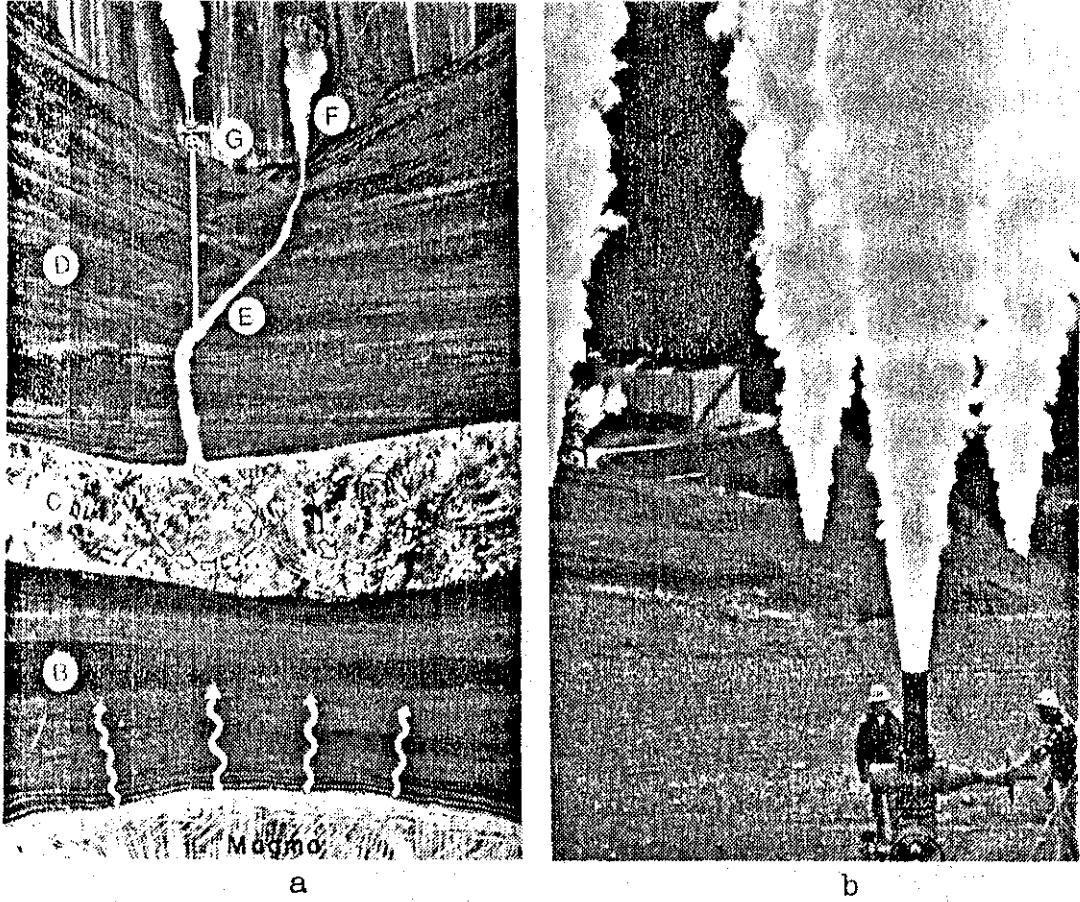
Ercan ve diğerleri, 1978, Uşak ve yöresindeki karasal havzaların fasiyes ve paleocoğrafyasını ve Neojen stratigrafisini ortaya koymak amacıyla 25 paftanın 1/25.000 ölçekli ayrıntılı jeolojik haritasını yapmışlardır.

Konunun okuyucuya daha iyi sunulabilmesi amacıyla, ilk olarak jeotermal alanlar hakkında bir takım temel kavramlar anlatılmıştır.



## 2. JEOTERMAL ENERJİ

Jeotermal enerji, kısaca, arz kabuğunun işletilebilir çeşitli derinliklerinde mevcut olan sıcaklığın oluşturduğu bir enerji türüdür şeklinde tanımlanabilir.



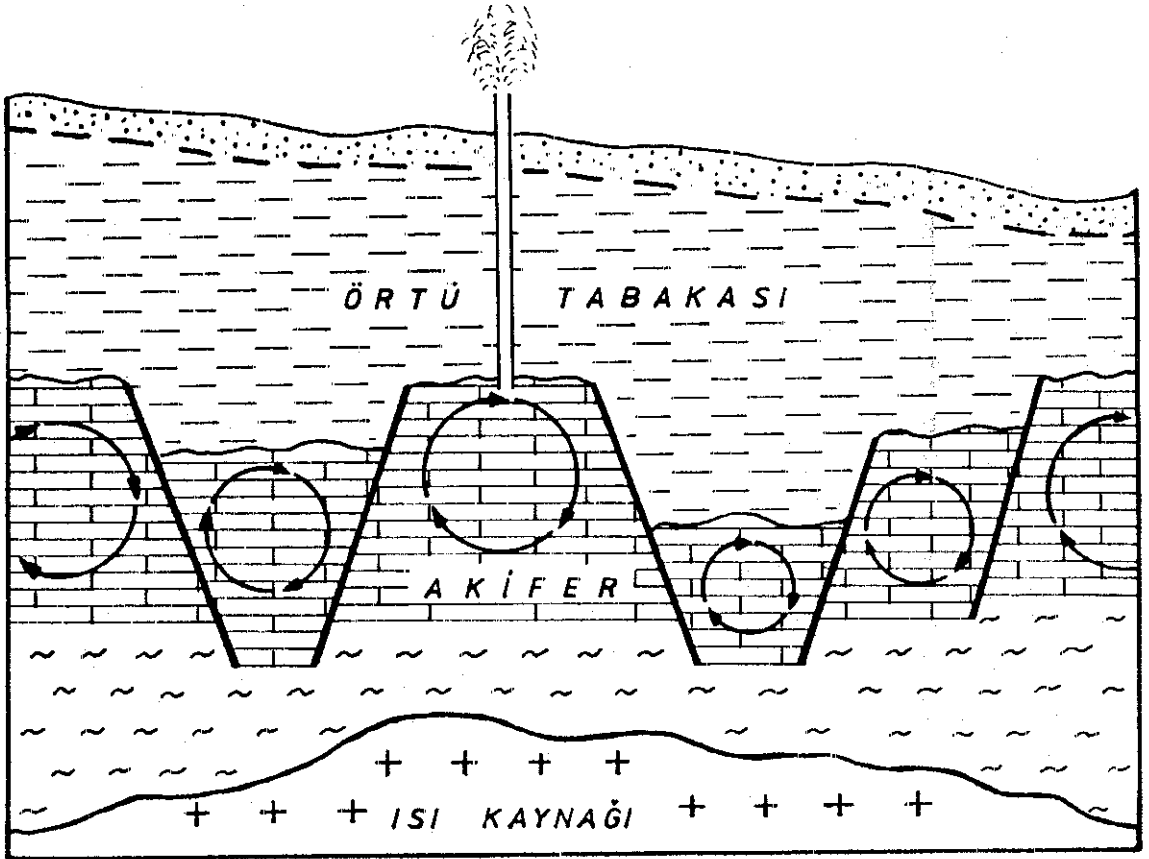
Şekil 1.a. Jeotermal bir sahanın düşey kesiti  
b. Jeotermal bir sahadan buhar üretimi  
(Erentöz, 1973)

Yerin derinliklerine doğru inildikçe sıcaklık ortalama olarak her 33 metrede  $1^{\circ}\text{C}$  artar. Jeotermal bölgelerde bu değer, 2 - 3 metrede  $1^{\circ}\text{C}$  ye ulaşabilir. Çeşitli fiziksel şartlar altında arz derinliklerinin bazı bölgelerinde yoğunlaşan bu ısı ile birlikte, meteorik orijinli suların

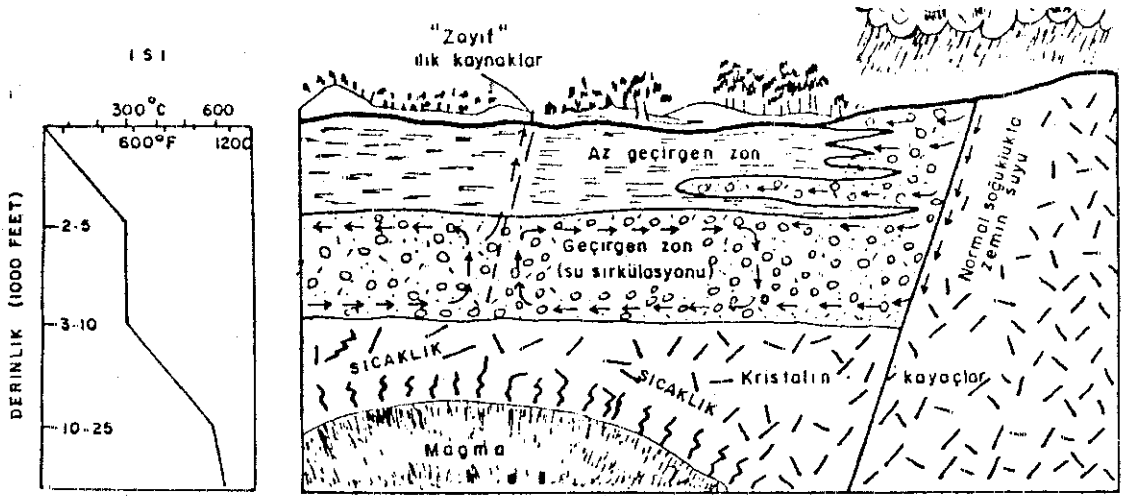
derinlere kadar nüfuzuna ve geçirimli ortamlar içinde dolaşımına elverişli şartlar da mevcut ise, bu alanlarda buhar, sıcak su ya da sıcak su + buhar taşıyan rezervuarlar oluşur (Şekil 1.a). Jeotermal enerji sahası adı verilen bu bölgelerde, ısı enerjisi yeryüzüne doğal olarak ya da sondajlarla buhar, sıcak su veya sıcak su + buhar olarak ulaşır (Şekil 1.b). Bu enerji, doğrudan ya da başka türden enerjilere çevrilerek ekonomik olarak kullanılabilir.

Bir jeotermal enerji sahasının ekonomik yönden elverişli olabilmesi için, dört ana unsurun bulunması gerekir.

- 2.1. Isıtıcı bir kaynak (İntrüzif bir magma kütlesi)
- 2.2. Rezervuar tabaka (Hazne kaya)
- 2.3. Örtü tabakası
- 2.4. Sirkülasyon sıvısı (Şekil 2, 3)



Şekil 2. Bir jeotermal enerji alanının teorik kesiti



Şekil 3. Sızıntısı pek az veya hiç olmayan izole olmuş bir jeotermal rezervuarın genel görünüşü (Akkuş, 1983)

## 2.1. ISITICI KAYNAK

Arz kabuğunun jeolojik tarihi boyunca kabuk üzerinde ve içinde meydana gelen tüm olayların (kıtaların kayması, orojenez, tektonizma, depremler v.b.) enerji kaynağını yerin kendi iç enerjisi oluşturmuştur. Kabuk üzerinde belirli yerlere dağılmış 800 civarında aktif veya yarı aktif volkanların bulunuşu, sıcak su kaynaklarının ve fümerollerin varlığı bu sıcaklığın derinlerde çok daha yüksek değerlere erişeceğinin bir işaretidir. Değişik yazarlara göre 50 km derinlikte sıcaklık minimum 750°C ile maksimum 1000°C arasındadır (Şekil 4). Daha da derinlere inildikçe 3000-5000°C gibi değerlere ulaşılabilceği tahmin edilmektedir.

"Sıcaklığın fiziksel anlamı, herhangi bir cismin moleküllerinin kinetik enerji düzensizliğinin ölçümü şeklinde tanımlanabilir. Isı iletimi kondüksiyon, konveksiyon ve elektromagnetik ışınımlar yollarıyla gerçekleşir. Kondüksiyon iletimi genellikle katı cisimlerde daha çok gözlenir. Isı, cisim içinde molekülden moleküle geçerek kademeli bir şekilde yayılır. Konveksiyon ısı iletimi ise sıvı ve gazlara özgedir. Kapalı bir sistemde, belirli bir sıcaklık farkının ortaya çıkmasıyla cismin yoğunluk dengesi bozulur.



Yüksek sıcaklıktaki akışkanın yoğunluğu, soğuk olana oranla daha düşük olacağından, yukarı doğru yükselerek ısıyı taşır ve konveksiyon akımı doğar. Başka bir deyimle, moleküller içerdikleri ısıyı bir noktadan diğerine kendileri taşır ve konveksiyon ısı akımı ortaya çıkar. Konveksiyon ısı iletimi aşağıdan yukarıya doğrudur. Tersini mümkün olamaz. Elektromagnetik ışınım ısı iletimi, atmosfer ve boşlukta gerçekleşir. Şekil 5'te I - II arası kondüksiyon ısı akımını, II-III arası konveksiyon ısı iletimini gösterir" (Şahinci, 1986).

Kayaçların ısı iletkenlikleri mineraloji, gözeneklilik ve içerdikleri sıvıya bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir. Bu değişim, jeotermal gradyanı büyük ölçüde etkiler ve derindeki gradyanda dalgalanmalar izlenir.

Arz yüzeyinin belirli bir noktasındaki ısı akımına değişik faktörler etki eder. Bunlar:

- a- Arz kabuğunun kalınlığı,
- b- Kabuk tabanının veya Moho yüzeyinin sıcaklığı,
- c- Moho ile satıh arasındaki radyoaktif elementler,
- d- Moho ile satıh arasındaki kayaçların ısı iletimi,
- e- Aktif tektonizma nedeniyle bloklar arasındaki sürtünmelerden doğanısı,
- f- Bölgede yatay ve düşey doğrultuda büyük boyutta su hareketlerinin bulunup bulunmadığı,
- g- Faal volkanizma veya aktüel mağma oluşumu ve bunun kabuk içinde ilerlemesi veya yerleşmesi.

Jeotermal alanlarda herşeyden önce bir ısıtıcının olması gerekir. Gerçekte, böyle bir alanın varlığına gerekli miktarda ısıyı ancak nisbeten sığ bir mağmatik stok verebilir. Bloklar arası sürtünmeler, yeraltındaki bazı kimyasal reaksiyonlar ve radyoaktivite gibi öbür ısı kaynakları jeotermal bir alanın meydana gelebilmesi için gerekli miktarda ısı akısı veremezler.

## 2.2. REZERVUAR TABAKA (HAZNE KAYA)

Gözeneklerini dolduran suyun sürekli bir konveksiyon akım sistemiyle dolaşımına yetecek kalınlık, porozite ve permeabiliteye sahip bir tabakadır. Bu tabakanın ısı kaynağına yakın bir yerde bulunması ve içindeki sirkülasyon sıvısının sürekli olarak geniş beslenme alanları ve meteorik sularla hidrolik ilişkide bulunabilmesi için, bazı yerlerde atmosfere açılması yani mostra vermesi gerekmektedir (Şekil 3).

## 2.3. ÖRTÜ TABAKASI

Akifer tabaka içerisinde konveksiyon akımlarına maruz kalan sıcak suyun, rezervuar dışına kaçmasını engelleyebilmek için, üzerinde geçirimsiz bir tabakaya ihtiyaç vardır. Bu tabaka ısı kaybını azalttığı gibi, rezervuar için gerekli basıncı da oluşturur. Örtü tabakası genellikle kilden oluşan geçirimsiz bir tabakadır. Konduksiyon yoluyla ısı iletimi önlenemez; fakat bu yolla kaybolan ısı, konveksiyon ile kazanılan ısı yanında önemsizdir. Eğer örtü tabakası olmazsa, konveksiyon akımları doğmaz ve akışkan sıcaklığını yitirir. Bazı durumlarda örtü tabakası içerisinde yerel permeabilite artışlarından dolayı asıl rezervuar üzerinde üst üste veya yan yana tali rezervuarlar meydana gelebilir. Bunlar asıl rezervuarla ilişkili bazı kırık ve çatlaklardan gelen sıcak sularla beslenir. Bu ikincil, üçüncül rezervuarlar yüksek ısıya sahip oldukları takdirde ekonomik olarak işletilebilir.

## 2.4. SİRKÜLASYON SIVISI

Isıyı ısı kaynağından alıp, konveksiyon sistemiyle hazne kayanın tüm kalınlığı boyunca üniform bir ısı dağılımının teminine çalışan sudur. Genellikle basınçlı sıcak su ya da buhar halinde olup, içinde değişik oranlarda gazlar ve mineraller bulundurur. Bu sıvının istihsalı ile jeotermal enerji çeşitli gayeler için kullanılabilir.

Sirkülasyon sıvısının buhar ya da sıcak su fazında bulunması durumuna göre jeotermal alanlar, buhar egemen ve sıcak su egemen sistemler olmak üzere ikiye ayrılır.

#### 2.4.1. SICAK SU EGEMEN SİSTEMLER

Rezervuar şartlarında akışkanın sıvı fazında olmasının nedeni basınçtır. Sıcak su egemen sistemler üçe ayrılır.

- a- Yüksek sıcaklıklı sistemler( $150^{\circ}\text{C}$ 'den fazla)
- b- Orta sıcaklıklı sistemler( $150^{\circ}\text{C}$  -  $90^{\circ}\text{C}$  arası)
- c- Düşük sıcaklıklı sistemler( $90^{\circ}\text{C}$ 'den az).

#### 2.4.2. BUHAR EGEMEN SİSTEMLER

Sistemde, hazne kayadaki akışkanın % 85`inden fazlası buhar fazındadır. Bazen sıcak su egemen sistemlerde sıcak su üretimi sırasında, hazne kayada zamanla buhar fazı gelişebilir. Bunun nedeni, üretim sebebiyle hazne kayada basıncın düşük olmasına karşılık, sıcaklığın, beslenme ile gelen suyun kaynaması için gereken sıcaklıktan fazla olmasıdır.

Hazne kaya içindeki sıcaklık ve basınç ölçülebildiği takdirde bunun, basınçlı sıcak su ya da buhar egemen sistem olduğu anlaşılabilir.

Jeotermal alanlarda buharın basıncı bazen çok yüksek değerlere ulaşabilir. Gerekli önlemler alınmadan böyle bir kaynağa rastlanırsa bütün tesisat havaya uçabilir. Nitekim Larderello`da bir defa 250 ton buharın birden 50 metre yüksekliğe fırlatarak şebekeyi tahrip ettiği görülmüş, meydana gelen korkunç fırlatma sesi 25 km uzaktan duyulmuştur.

## 2.5. JEOTERMAL SAHALARIN BAZI TERMODİNAMİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bir jeotermal sistem, meteorik suların, arz kabuğu içindeki yüksek sıcaklığa sahip seviyelerde ve geçirimsiz ortamlar içinde, gravite ve ısı farkı sebebiyle oluşan konveksiyon akımları yoluyla ısınmasını sağlayan bir dolaşım sistemidir. Şekil 6'daki model yardımıyla böyle bir alanda yapılacak olan sondajdan hangi hallerde buhar, hangi hallerde sıcak su elde edileceğini veya rezervuara girildiği halde hangi durumlarda hiçbir çıkış olmayacağını açıklamak mümkündür.

Termodinamik yasalarına göre suyun kaynama noktası, basıncına bağlıdır. Yeryüzünden derinlere doğru süzülmekte olan suyun, artan hidrostatik basınçla birlikte, kaynaması için gerekli sıcaklık miktarı da artar. Fakat bu artış belirli bir oran dahilinde olmaz. Bunu, her ayrı basınç için kaynama noktaları tesbit edilerek hazırlanan basınç - sıcaklık tablosundan izlemek mümkündür (Tablo 1).

"Kaynama noktası - Derinlik eğrisi, çeşitli basınçlarda suyun kaynama sıcaklığını gösteren basınç - sıcaklık eğrisidir. Belirli bir basınç için suyun sıcaklığı, bu basınca ait kaynama noktasından büyük ise su buhar fazında, küçük ise sıvı fazında bulunur (Şekil 7). Bu eğriyi jeotermal rezervuarlara tatbik edebilmek için her 10 metrelik derinlik artışının 1 Kg/cm<sup>2</sup> lik basınç artışına tekabül ettiği hususu gözönünde tutularak derinlik cinsinden işaretlenmiştir. Bu durumda rezervuarın belirli bir noktasındaki basınç, statik seviyeye nazaran derinliğe bağlı olduğundan, kaynama noktası - basınç eğrisinin başlangıcı statik seviyeye intibak ettirilerek kullanılır. Şekil 6'daki rezervuar sıcaklığının 200°C olması halinde rezervuarda suyun buhar ve sıvı olma durumu gösterilmiştir. Bu sıcaklıkta su, 16 Kg/cm<sup>2</sup> nin altındaki basınçlarda buhar, üstündeki basınçlarda ise sıvı fazında olacağından, rezervuarda su - buhar ayırım yüzeyi statik seviyenin 150 metre altında



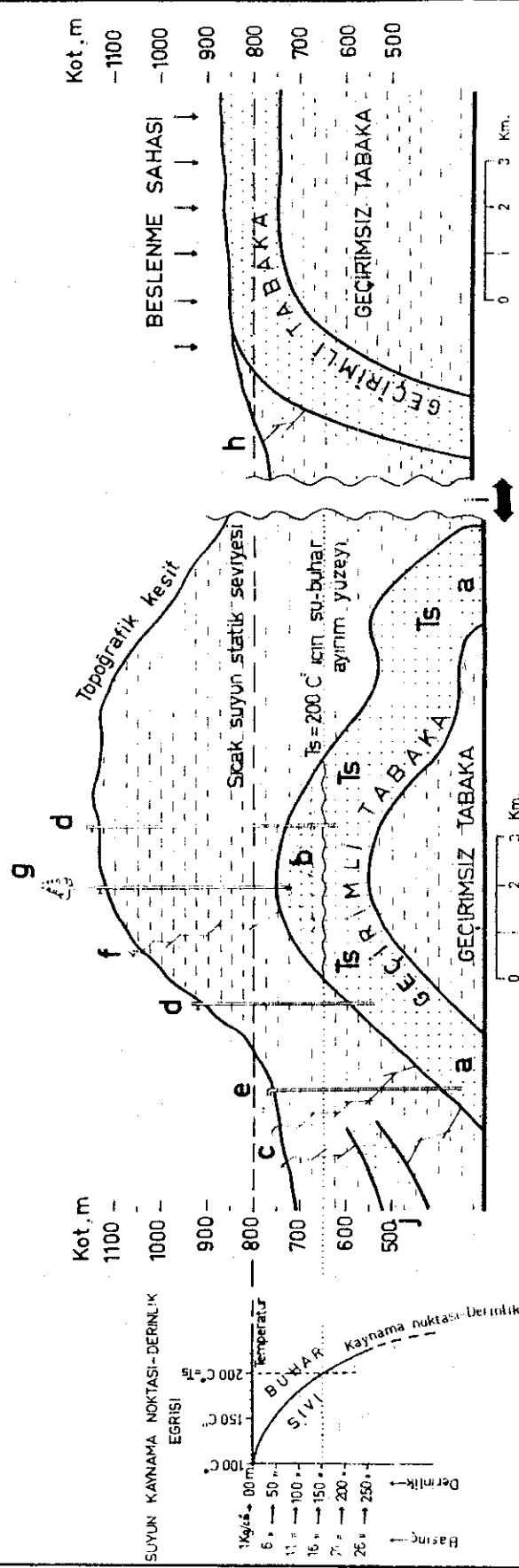
teşekkül edecek ve bunun üzerinde bir buhar şapkası meydana gelecektir." (Tezcan 1973)

Akiferin ısınan kısmında suyun yoğunluğu az olduğundan, fizikteki birleşik kaplar olavı sonucu, soğuk kısımla dengede bulunan sıcak su kolonunun üst ucu, diğerininkine oranla daha yüksek olacak (100°C lik ve 100 metre yükseklikteki su kolonu için 4 metre) ve ısınmış sular, çatlak ve geçirgen kısımlardan su tablasını da yararak yüzeye çıkabileceklerdir. Bunun sonucu olarak da bir jeotermal enerji alanında farklı ısıda, farklı kimyasal bileşimde ve özellikle su tablasının yüzeye yakın olduğu dere kenarlarında termal kaynaklar oluşabilir.

Tablo 1. Değişik derinliklerdeki hidrostatik basınçlar ve suyun kaynama sıcaklıkları (Şahinci, 1986)

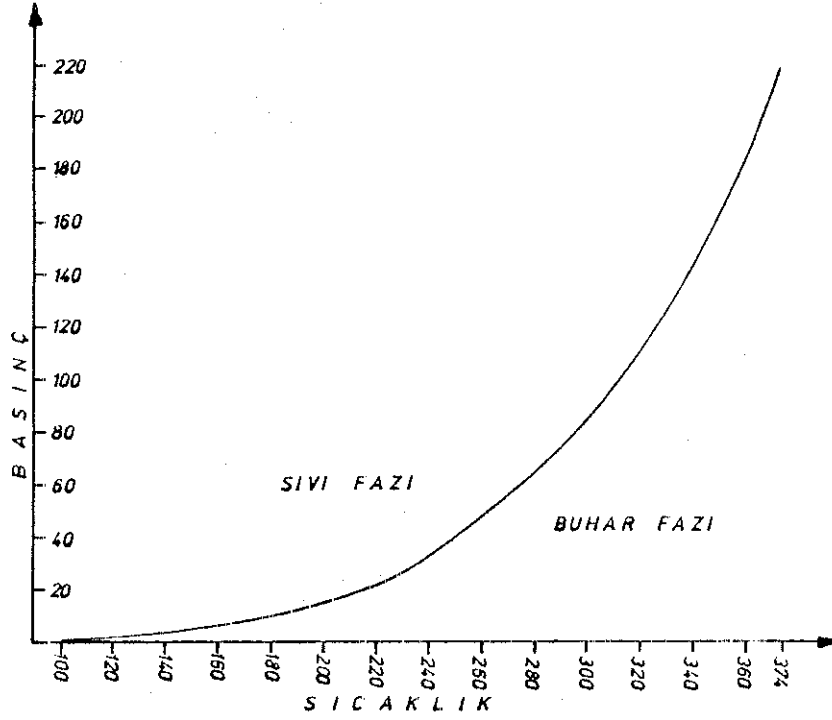
<u>Derinlik</u> <u>(m)</u>	<u>Hidrostatik basınç</u> <u>(atmosfer)</u>	<u>Kaynama sıcaklığı</u> <u>(°C)</u>
0	1	100
50	5	150
100	10	180
150	15	200
200	20	210
250	25	225
300	30	235
400	40	250
500	50	265
600	60	275
700	70	285
800	80	295
900	90	300
1000	100	310
1200	120	325
1400	140	335
1600	160	345
1800	180	355
2000	200	365

## BİR JEOTERMAL SAHA MODELİ



- a -Reservuar,
- ts -Reservuar temperaturü,
- b -Buhar boşluğu,
- j -Esas rezervuardan beslenen veya esas rezervuar tarafından ısıtılma suretiyle meydana gelen tali rezervuar.
- c -Sıcak su kaynakları,
- f -Fümerol,
- e -Basınçlı sıcak su kuyusu,
- i -Beslenme sahası ile jeotermal saha arası, onlar, yüzler kilometre mertebesindedir.
- d -Artezien yapmayan kuyu,
- g -Buhar kuyusu.

Şekil 6. Kaynama noktası - Derinlik eğrisinin jeotermal sahalara uygulanışı ve bu sahaların bazı termodinamik ve fiziksel özelliklerini gösteren şematik kesit (Tezcan, 1973)



Şekil 7. Basınç (atmosfer) - sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) grafiği

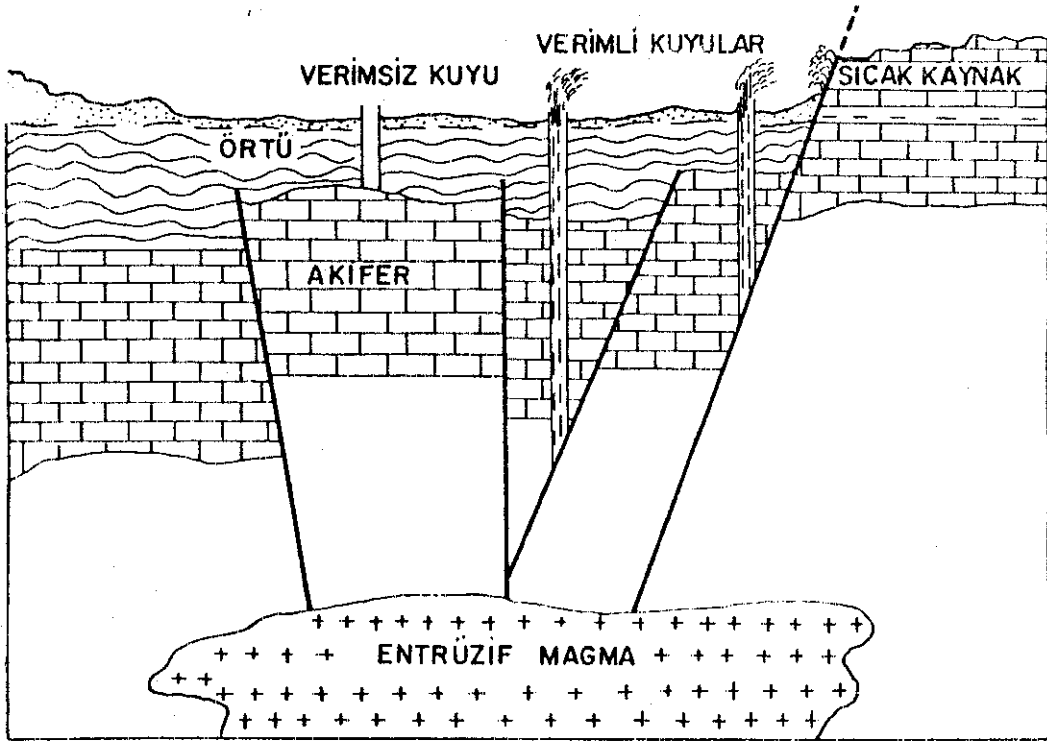
Jeotermal alanlardaki sondajlardan alınacak sonuçlar:

- a- Sondaj, kuyu başı seviyesi statik seviyenin altında, kuyu dibi, rezervuarın sıvı halinde su taşıyan kısmında bulunacak şekilde yapıldığı takdirde kuyu artezyen yapar ve sıcak su - buhar karışımı elde edilir.
- b- Kuyu başı statik seviyenin üzerinde, kuyu dibi rezervuarın sıvı kısmında ise, sıcak su statik seviyeye kadar yükselir ve orada kalır.
- c- Kuyu başı hangi seviyede olursa olsun, kuyu dibi buhar şapkasının içinde ise buhar elde edilir.
- d- Rezervuarın buhar taşıyan kısmı muhafaza borusu ile geçilip, basınçlı sıcak su taşıyan kısma iniyecek olursa, sıcak su statik seviyeye kadar yükselir. Kuyu başı, statik seviyenin altında ise sıcak su + buhar elde edilir (Şekil 6'da e, d ve g sondajları).

## 2.6. BUHAR VE TERMAL SULARIN KÖKENİ

### 2.6.1. JÜVENİL TEORİ

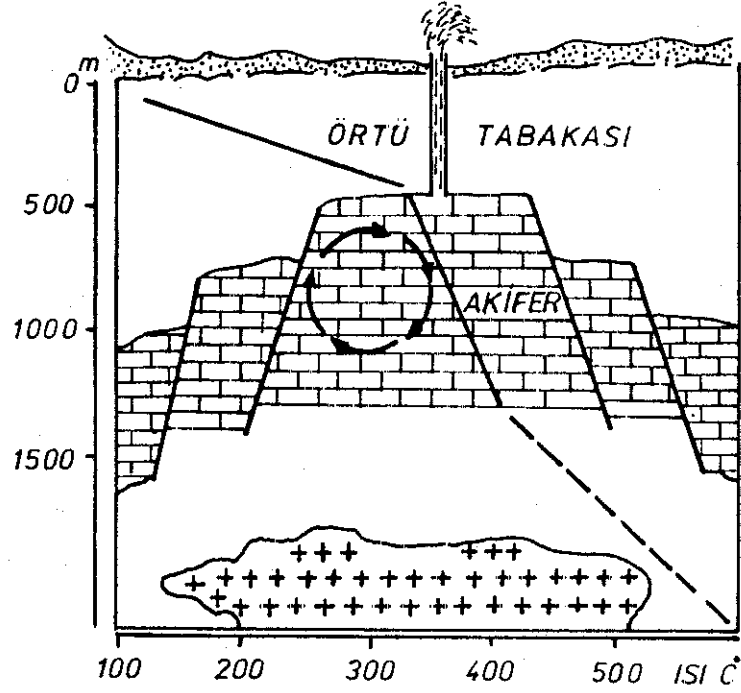
Bu teori Bernandio Loti tarafından formüle edilmiştir. Granitik mağma belli bir miktar su içerir. Böyle bir intrüzif kütle kristalleşme sırasında bu suyu bırakır. Bu su, derin faylar kanalı ile üst taraftaki geçirimli ortamlar içine veya yeryüzüne kadar yükselir. Kısaca buhar jüvenil yani mağmatiktir. (Şekil 8)



Şekil 8. Loti'nin jüvenil teorisi (Şamilgil, 1973)

### 2.6.2. METEORİK TEORİ

Bu teori 1953 te Goguel tarafından ortaya konulmuştur. Soğuma halindeki derin granitik bir plütonun mevcudiyeti, üst tarafındaki kayaların içindeki meteorik suyu bir konveksiyon akımına maruz kılar ve kaynama noktasına ulaştırır. Burada buharın küçük bir yüzdesinin mağmatik kökenden olması imkan haricinde değildir (Şekil 9).



Şekil 9. Facca ve Tonani'nin meteorik teorisi (Şamilgil, 1973)

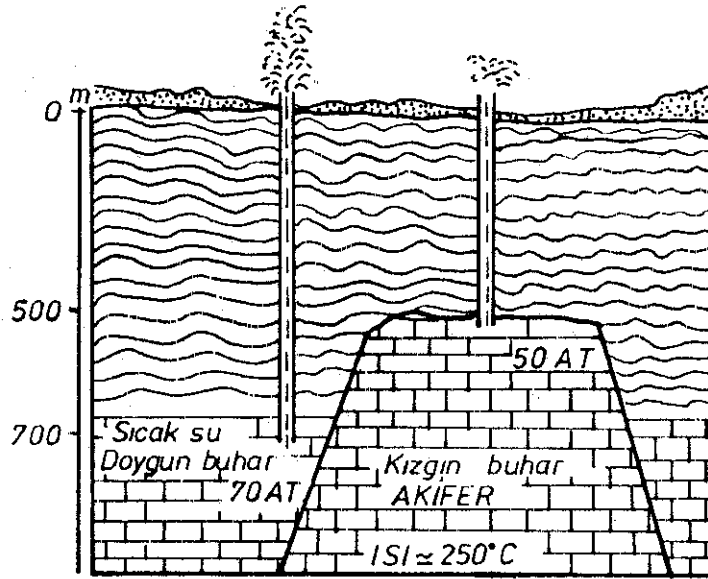
Jeotermik saha sularının meteorik kökenli olduğuna dair Goldschmidt'in, Tonani'nin ve Goguel'in fikirleri H. Craig'in 1956 da termal suların izotopik bileşimleri üzerine yapmış olduğu çalışmalarla teyit görmüştür. Bu son çalışmalar göstermiştir ki termal suların % 90 ile 95 inin kökeni meteoriktir.

1961 Roma, yeni enerji kaynakları konferansında hemen hemen herkes tarafından kesinlikle kabul edilen husus, meteorik köken teorisi lehinde magmatik (juvenil) köken teorisinin terk edilmesidir.

Akifer pek sınırlı bir şekilde aflöre ediyor ise ısı kaynağı geçirgenlik yolu ile akiferdeki suyu ısıtır. Eğer akifere erişen ısı yeteri kadar yüksek ise (örneğin normalden 10 ya da 20 kat fazla ise) ve akiferin geçirgenliği de fazla ise, akifer içindeki su konveksiyon yolu ile harekete geçer. Bu konveksiyon akımı sayesinde rezervuar içindeki suyun ısısı, rezervuarın hemen hemen her yerinde eşit hale gelir. Rezervuar içindeki sudan başka, rezervuar kayacın

kendisi de aynı derecede ısınır. Bu demektir ki gradyan, geçirimsiz örtü tabakasında yüksek, rezervuar içinde düşüktür. Yani rezervuar (hazne kaya) ın taban ve tavanı arasında sıcaklık farkı çok azdır. Temel kaya içinde ise, kondüksiyon ısı iletimi egemen olduğundan, jeotermal gradyan örtü tabakasında olduğu gibi yüksektir (Şekil 9).

Şekil 10 da gösterilen jeotermal alanda, konveksiyon akımları nedeniyle rezervuarın her yerinde ısı hemen hemen sabittir. Fakat yükselen kısımda (horst) basınç 50 atmosfer, alçalan kısımda (graben) ise 70 atmosferdir. Bundan dolayı yükselen bloktaki sondajdan buhar, alçalan bloktaki sondajdan ise sıcak su - buhar elde edilir.



Şekil 10. Bir jeotermal alanda kızgınbuhar, sıcak su ve doymun buhar zonları (Şamilgil, 1973)

Bazı durumlarda sıcak su üretimi yapılırken, rezervuarda basıncın düşmesi nedeniyle, daha önce yüksek basıncın yoğunlaştırdığı su, buhar haline geçer ve sondajda buhar fazı gelişir.

## 2.7. JEOTERMAL ENERJİ ARAŞTIRMALARI

Jeotermal enerjinin araştırılmasında uzaktan algılama, jeoloji, jeofizik, hidrojeoloji, jeomorfoloji ve sondaj test çalışmaları yapılır.

Bir ülke veya bölgede jeotermal enerji etüdlerine başlamadan önce o ülke veya bölge hakkında bir takım genel bilgilere ihtiyaç vardır. Bu bilgiler literatür çalışmaları ile elde edilebileceği gibi, bizzat yapılan çalışmalar ve düzenlenen gezilerle de elde edilebilir. Sıcak su kaynakları, hidrotermal alterasyon, fümeroller, genç volkanlar, bölgesel kırık hatları ve deprem kuşakları gibi belirtiler, araştırmalar için ilk ipucu olmaktadır.

### 2.7.1. UZAKTAN ALGILAMA

"Jeotermal alanların incelenmesinde hava fotoğrafları, jeoloji ve hidrojeoloji araştırmalarında vazgeçilmez bir gereçtir. Jeoloji araştırmaları, hidrojeoloji gözlemlerine yardımcıdır. Hava fotoğrafları üzerinde yapılan çalışmalarla, arazi çıkışları daha programlı yapılabileceğinden, zaman ve maddi harcamalardan büyük ölçüde tasarruf sağlanır. Bitki örtüsünden yoksun yörelerde, jeoloji incelemelerinin hemen tümü hava fotoğrafları üzerinde yapılabilir. Hava fotoğraflarından jeoloji ve hidrojeolojide yararlanma yöntemleri, kısaca şöyledir:

— Tabaka eğimi, kalınlığı, kıvrım eksenleri ve dalımı, fay atımları, yamaç eğimleri hesap edilebilir,

— Arazinin tektonik ve litolojik haritaları çıkarılabilir,

— Akarsu ağı, bitki örtüsünün incelenmesi ile fay, kırık, taban eğimleri, zeminin su içeriği belirlenebilir.

— Volkanik yapılar ve şekiller saptanabilir.

— Termal kızılötesi hava fotoğrafları ile yüksek ısı akıllı alanlar belirlenebilir. Sıcak su kaynakları, fümeroller ve buhar çıkan yerler, çevrelerine göre çok

sıcak olduklarından, termal kızılötesi fotoğraflarda açık renk tonlarda izlenir. Sıcak suların çıktığı topoğrafyalar oldukça değişiktir. Ancak, genellikle sıcak sular düşük kotlarda, soğuk yeraltı su tablası seviyelerinde, fümerol ve buhar ise yükseklerde gözlenir. Sıcak su, buhar ve geyzerlerin çıktığı noktalarda hidrotermal alterasyon, demir oksitler, tuzlar, sülfidler tarafından renklendirilmiş olabilir. Bu gibi alanlar renkli hava fotoğraflarında saptanabilir. Karlı bölgelerde sıcak su, buhar, fümerol veya sıcak topraklar kışın, kar tutmadıklarından dolayı hava fotoğraflarında kolayca izlenebilir. Ağaç, çalılık, çayır gibi bitkiler, sıcak topraklarda (40°C - 60°C) gelişemediklerinden, buraları çıplaktır. Ancak, bazı alg cinsleri sıcak sularda veya bu suların döküldükleri nehirlerde çok gelişebilir.

— Hava fotoğrafları üzerinde izlenen bazı süreksizlikler, jeotermal alanlar hakkında bilgi verebilir (Buhar veya gaz çıkışı, sıcak kaynakların bir hat boyunca sıralanışı veya eski kalderaları tanımlayacak dairesel dizilimler gibi yüzeysel belirtiler).

— Beslenme alanları, hazne kaya, örtü kaya, ısı kaynağı belirlenebilir. Bunların yayılımı, kalınlığı, litolojik özellikleri incelenerek, uygun sondaj yerleri saptanabilir.

— Açılan kuyulardan çekilen sıcak suların, kullanıldıktan sonra akarsulara ve çevreye bırakılması ile ortaya çıkabilecek çevre kirlenmeleri, bitki örtüsü üzerine etkileri, belirli sürelerle alınan hava fotoğrafları ile denetlenebilir." (Şahinci, 1986)

## 2.7.2. JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ ÇALIŞMALARİ

"Jeoloji ve hidrojeoloji çalışmalarının amacı, jeotermal sistemin tipini belirleyerek, üç boyutlu jeoloji modelini ortaya koymak, diğer bilim dalları yardımı ile deneme ve daha sonra üretim kuyularının yerlerini saptamaktır. İlk jeolojik bilgiler, daha önce yayınlanmış raporlar ve hava fotoğraflarının incelenmesinden elde edilir.



Jeolojik çalışmalar genel olarak şunlardır:

— Jeotermal alanın sınırlarının belirlenmesi ve üç boyutlu yapısının ortaya konulması.

— Jeotermal alanın yapısal ve tektonik haritalarının yapılması. Bu haritalarda genç ve yaşlı fayların geçiş hatları, kesişme yöreleri, kırık ve çatlaklar, tabaka eğimleri, kıvrımlar, kıvrım eksenleri ve dalımları, gerilme veya sıkışma hareketlerine bağlı oluşan graben sistemleri, bindirmeler, şaryajlar gösterilir.

— Jeolojik haritalar ile farklı tortul oluşukların, volkanik kayaların ayırımı ve yaşlarının belirlenmesi.

— Örtü ve hazne kaya ile ısı kaynağının saptanması.

— Örtü ve hazne kayaların izopak, izobat haritaları, jeotermal alanların blok diyagramlarının hazırlanması.

— Bozulmamış ve hidrotermal alterasyon zonlarından alınan örneklerin mineralojik ve petrografik incelenmesi.

Hidrojeolojik çalışmalar şunlardır:

— Jeotermal alanlarda yağış ve sıcaklık tesbiti.

— Örtü ve hazne kayaların porozite ve permeabilite-  
lerinin tayini.

— Beslenme alanları ve yeraltı suları akım yönleri-  
nin tesbit edilmesi.

— Bölgedeki sıcak ve soğuk su ilişkilerinin tesbiti.

— Sıcak suların yüzeye çıkış şekli ve çıkış yörele-  
rinin tesbiti.

— Suların kabuklaşma ve çürütme özelliklerinin tes-  
biti.

— Kimyasal jeotermometrelerle hazne kaya sıcaklığının belirlenmesi.

— Yüzeye erişen sıcak suların kimyasal özellikle-  
rinden rezervuardaki suların kimyasal yapılarının tesbiti.

— Yüzeyde izlenen buhar ve sıcak suların debisi, sıcaklık ölçümleri ile ifade edilecek minimum enerjinin belirlenmesi çalışmalarıdır." (Şahinci, 1986)

Hidroşimi, jeolojik ve jeofizik araştırma yöntemlerinin beraberinde ve onların yorumlamalarına zaman zaman ısı tutucu yeni bir araştırma dalı haline gelmiştir.

Bu çalışmalar, suların ısısı, debisi, ihtiva ettikleri mineral özelliklerinin tesbiti ve oradan da rezervuarların özellikleri, birbirleri veya soğuk sularla ilişkileri ve nihayet buhar istihsalı olanakları konusunda hüküm verebilmek amacı ile yapılır.

Suların ısıları yükseldikçe, içlerinde bulunan erimiş madde miktarı da artar. Bu minerallerin özellikleri, rezervuarların ve suların geçtikleri formasyonların mineral özelliklerine ve ısı durumlarına göre değişir. Bazı mineraller su içinde ancak belli ısıda erimektedirler. Hidroşimik çalışmalarla sulardaki erimiş haldeki minerallerin oranlarını tesbit ederek rezervuar şartlarını tahmin etmek mümkündür. Örneğin  $\text{SiO}_2$  oranının yüksek olması, genellikle rezervuar ısısının yüksek olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Aynı şekilde kaynak suları yüksek oranda Cl içeriyorsa yine rezervuar sıcaklığının yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Na/K oranının düşüklüğü ısının yüksekliğine işaret sayılmakta ve bu oran bir termometre gibi kullanılmaktadır. Kaynak sularının kimyasal analizi rezervuar kayacın özelliğini bulmakta yardımcı olabilir. Örneğin rezervuar kayacın bileşimi kireçtaşı ise çıkan sular,  $\text{CaCO}_3$  (kalsiyum karbonat) bileşimi bakımından zengin olur.

### 2.7.3. JEOMORFOLOJİ ÇALIŞMALARI

Jeotermal enerji araştırmalarında genç tektonik olaylara açıklık getiren jeomorfoloji çalışmaları, jeotermal modelin kurulmasına da yardımcı olmaktadır. Dış görünüşleri bakımından birbirine çok benzeyen birçok yer şekilleri, gerçekte çeşitli kuvvetler ve farklı olaylarla oluşmuş, birbirinden ayrı özellik ve yapılar gösteren şekillerdir.

Jeotermal enerjinin araştırılmasında, sayısız çeşitlilik ve büyüklük farkı gösteren yeryüzü şekillerini gerçek biçim ve özellikleriyle kavramak, bu şekilleri kökenlerine ve oluşumlarına göre bölümlere ayırmak, bütün bu şekilleri sistemleştirmek, şekil tiplerinin ve şekil topluluklarının bölgedeki dağılımını ortaya koymak, yeryüzü şekillerinin ve bunların bölgedeki dağılımının çeşitli kuvvet ve olaylarla olan ilgisini belirtmek ve açıklamaya çalışmak jeomorfolojinin konusu içindedir.

#### 2.7.4. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Kayaçlar ve yeraltı doğal kaynakları, jeolojik ve kimyasal özelliklerinin yanında, bazı fiziksel özelliklere de sahiptir. Bunlar, elektriği, ısıyı, titreşimleri ve sesi iletme, yoğunluk, mıknatıslık kazanma, porozite ve permeabilite gibi özelliklerdir. Yeraltındaki bu gibi özellik farklılıklarının saptanması için uygulanan yöntemlere jeofizik yöntemler denir.

##### 2.7.4.1. Gravimetrik Kavram

"Yöntem, fizik birimi olan yoğunluk parametresi üzerine kurulmuştur. Uygulaması, ölçü noktası ile bir referans noktası arasındaki yerçekimi farkının saptanmasıdır. Yeraltında bu fark, kayaçların birbirlerine göre olan durumlarından veya farklı yoğunluklara sahip olmalarından ileri gelir. Bu yoğunluk farkına yoğunluk kontrastı denir. Yerin altında dört çeşit yoğunluk kontrastından söz etmek mümkündür:

- a- Sedimenter kayaçlar arasındaki yoğunluk kontrastı.
- b- Sedimenter kayaçlar ve kristalin bloklar arasındaki yoğunluk kontrastı.
- c- Çeşitli kristalin bloklar arasındaki yoğunluk kontrastı.
- d- İzostazi olarak, kabuk ve manto, başka bir deyişle sial ve sima arasındaki yoğunluk kontrastı.

Gravimetrik çalışmalar sonunda elde edilen Bouger değeri bütün etkenlerin toplamıdır. Ancak, son iki kontrast türü, lokal prospeksiyondan çok, rejyonel ve teorik çalışmaların konusudur. Jeotermal enerji konusunda ise bizi daha çok ilgilendiren, sedimentler formasyonları arasındaki yoğunluk kontrastı ile sedimentler ve kristalin arasındaki yoğunluk kontrastıdır. Genellikle birincisinde, stratigrafik yapının durumu, ikincisinde ise tektonik durum etkindir.

Gravimetri ile ince bir interpretasyon yapılamaz. Daha çok bölgenin genel tektoniğini yansıtır.

Gravimetrik prospeksiyonun amacı, rezervuar olabilecek, genellikle kırıklı ve boşluklu permeabl bir horizonun ve bunu koruyabilecek nitelikte empermeabl bir örtünün varlığının saptanmasıdır.

Yeraltındaki akışkanlar bilindiği gibi, poroz ve permeabl bir ortamda göç eder ve toplanırlar. Empermeabl bir yüzey bu göçü durdurur ve birikimini sağlar. Fizik ve şimik olarak bulunduğu ortamı bozan akışkan, toplandığı hacmi gittikçe büyütür. Meydana getirdiği büyük boşluklar ise akiferin oluşumuna neden olur. Jeotermal alanlarda, derindeki sıcaklığın ve sıcak ürünlerin akifere kadar iletilmesi genellikle tektonik çatlaklar yolu ile olur.

Şu halde, gravimetrik bakımdan bir akiferin varlığı, herşeyden önce, kırıklı ve rijit bir yükselimin varlığına bağlıdır. Bu da eski yoğun bir formasyonun (kristalin veya sedimentler) yeni fakat daha düşük yoğunluklu bir formasyon içinde yer alması şeklinde olur. Bu da yukarıda söz edilen yoğunluk kontrastını meydana getirir ve gravimetrinin uygulanmasına yol açar.

Manyetometreden sonra jeofizik yöntemler içinde en ucuz yöntem gravimetri dir. Ölçü alma çok pratiktir. "Tağı-nabilen gravimetre 3 - 5 Kg ağırlığındadır." (Ekingen, 1973)

#### 2.7.4.2. Jeoelektrik Yöntem

"Jeotermal sahaların belirlenmesinde ve çözüme götürülmesinde en etkin ve belirleyici yöntem olan jeoelektrik yönteminin diğer yöntemler arasında ayrı bir yeri ve önemi vardır.

Şöyle ki: Rezistivite çalışmaları ile, birçok araştırma yöntemleri vasıtasıyla elde edilemeyen sonuçlar alınabilmektedir. Bu yöntem ile, sıcak solüsyonların yatay ve düşey dağılımı, rezervuar ve rezervuar parametreleri, formasyonların kalınlıkları, rezistiviteleri, örtü formasyonlarının altındaki tektonik durum, yani tabandaki ondülasyonları ve faylanmaları tesbit etmek mümkündür.

Yöntemin uygulanması esasına gelince: Rijit ortamlarda (kalker, mermer...) akımın geçmesi güçtür. Yani bu ortamlar yüksek rezistivitelidir. Fakat bu ortamların,

- a- Gözeneklilik,
- b- Basınç,
- c- Isı,
- d- Gözenek suyunun içeriği,
- e- % konsantrasyon,
- f- Gözenekler arası irtibat

gibi faktörleri içermesi halinde rezistiviteleri gayet düşük olmaktadır.

Sonuç olarak, yüksek poroziteli ortamlarda, gözenekler sıcak solüsyon içeriyorsa, bu gözenekler arasında aktif sirkülasyon varsa, ortam ısınmışsa ve gözenek suyu bileşik içeriyorsa bu bölge aynı formasyonun bir başka bölgesine nazaran düşük rezistivitelidir denir ve jeotermal sahalarda önemli olan konu da budur." (Gülşay, A., 1973)

### 2.7.4.3. Sismik Araştırmalar

Yeraltındaki birim değişimi, farklı derinliklerde elastik hızda değişimlere neden olur. Elastik hız, ender olarak sıcaklık ve gözeneklilikten etkilenir. Eğer örtü kaya ile hazne kaya arasında titreşim hızı yeterince farklı ise, bu iki kayayı sınırlandırmak mümkündür. Sismik verilerin çok değişik etkenler altında bulunması, jeotermal enerji araştırmalarında kullanımını sınırlar.

### 2.7.4.4. Jeotermal Yöntemler

#### 2.7.4.4.1. Zemin Sıcaklık Ölçümleri

Bu gibi ölçümler, 2 - 5 metre derinliklerdeki kuyularda yapılır. Bu incelemeler, buhar ve sıcak su yayılım alanlarının saptanmasında yardımcıdır. Genellikle, bu ölçümlerle fay ve çatlaklardan çıkan suyun etki alanları ve çıkış noktaları belirlenir. Bu sığ kuyularda ölçülen (20 metreden az derinlikte) sıcaklıklar iklim etkisindedir. Yüzeğe yakın jeotermal anomalilerin, genellikle yayılımı azdır. Bu nedenle, açılacak kuyuların arası 10 - 50 metre arasında olmalıdır. İncelenecek alanı küçük karelere bölerek, kuyuları ona göre açmayı tasarlamak yararlıdır. 1km<sup>2</sup> lik bir alanda 400 - 1000 kuyu açmak gerekebilir. Kuyuların çapı birkaç cm'yi geçmemelidir. İlkel zemin sıcaklığı sondajla bozulur. Ancak bu sıcaklık değişimi birkaç saat içinde dengelenir. Bu kuyulara değişik derinliklerde birçok termometre yerleştirilebilir. (Şahinci, 1986)

#### 2.7.4.4.2. Sığ Kuyularda Sıcaklık Ölçümleri

Bu kuyular 15 - 100 metre derinlikler arasındadır. Eğer 100 metre veya daha derin kuyunun delinmesi, iki sığ kuyudan daha pahalı değilse, derin kuyu tercih edilmelidir. Kuyular arasındaki mesafe, ölçülen sıcaklığın yanal dağılımına bağlıdır. Mağmatik sokulumlar sıcaklık dağılımını etkileyebilir. Bu gibi yerlerde kuyular arası en az 1 - 2 km

olmalıdır. Zemin yüzey ölçümlerine göre kuyu sıcaklık ölçümlerinin üstünlüğü, mevsimsel sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesidir. Olumsuz yönü ise, pahalı oluşudur.

#### 2.7.4.4.3. Isı Akısı Ölçümleri

Jeotermal sistemin toplam ısısı, buhar ve su akım kütlelerinin ölçümleri, derinlerdeki akışkanın potansiyeli ve entalpisi hakkında kabaca bilgi verir. Jeotermal alanlarda ısı kaybı kondüksiyon ve konveksiyon yoluyla örtü kayadan olur. Bu da buharlaşma, doğrudan buhar ya da su akımı şeklindedir.

Jeotermal araştırmalar, kaynak veya kuyuların sıcaklıklarının ölçülmesiyle başlar. Yüksek sıcaklık değişimleri kuyularda ölçülerek mevsimsel sıcaklıklar incelenir. Eğer mevsimsel sıcaklık farkı fazla değilse, soğuk su karışımı yok denilebilir. Yüzeyde ölçülen sıcaklık, hazne kaya hakkında bilgi verebilir. (Şahinci,1986)

#### 2.7.5. SONDAJ TEST ÇALIŞMALARI

Kuyu testi çalışmalarlarıyla üretim miktarı, rezervuar parametreleri, jeotermal akışkanın fiziksel ve kimyasal özellikleri ve potansiyeli belirlenmektedir. Akışkanın, üretimi engelleyici veya kısıtlayıcı özellikleri varsa bu tesbit edilmektedir. Yapılan başlıca testler; kabuklaşma, korozyon, kondanse olmayan gazlarla vb. ile ilgilidir.

Pilot test çalışmaları olumlu ise kullanıma ve jeotermal alanın su bütünlenmesine (beslenme) uygun miktarda üretim yapılması planlanmaktadır. (Şahinci,1986)

## 2.8. JEOLojİK VE JEOfİZİK ÇALIŞMALARIN KORELASYONU

Yukarıda sözü edilen jeotermal sahalarındaki çalışmaların (uzaktan algılama, hidrojeoloji, jeomorfoloji, jeoloji, jeofizik) tümünün birden yapılması her zaman gerekli olmayabilir ama, volkanizma, tektonik, rezervuar ve örtü tabakası gibi unsurların ayrı ayrı belirlenmesinde genellikle bu çalışmaların hiç biri tek başına bir anlam ifade edemez.

Birçok bilimsel araştırmalarda olduğu gibi, jeotermal sahaların araştırılmasında da, en etkin ve kolay değerlendirme yolu seçilmeli, değişik dallardaki bilimsel çalışmalar birlikte yürütülmeli, elde edilen sonuçlar beraberce değerlendirilerek bir korelasyona tabi tutulmalıdır. Bir jeotermal olanağı değerlendirmek gerektiğinde, ancak bu şekilde zaman, işgücü ve maddi harcamalar asgari düzeye indirilerek olumlu bir sonuca ulaşılabilir.

Nitekim, örnek olarak seçilen çalışma alanımızda, daha önce yapılan birçok çalışma, diğer konulardaki çalışmalarla işbirliğine gidilmediğinden dolayı jeotermal olanaklar hakkında bir sonuca varmaktan uzak kalmıştır.

Çalışma alanında tarafımızdan sıcak su kaynaklarının debisini arttırma amacına yönelik jeolojik ve jeofizik çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan jeolojik çalışmalar ile her ne kadar ısıtıcı kaynak, rezervuar ve örtü tabakası özelliğindeki birimler saptanmış ise de, bunların sıcak su kaynakları mevkiindeki derinlikleri, kalınlıkları ve bunlarla birlikte gömülü fayların durumları jeofizik çalışmalarla belirlenebilmiştir.

Bu çalışmaların korelasyonu ile önerilen mekanik sondaj yerinden özel bir şirket tarafından yapılan sondajdan 142 metreden 55°C sıcaklıkta 12 lt/sn su fışkırmıştır.



### 3. UŞAK - BANAZ - HAMAMBOĞAZI JEOTERMAL SAHASININ JEOLOJİK VE JEOFİZİK ETÜDÜ

#### 3.1. ÇALIŞMA ALANININ YERİ VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

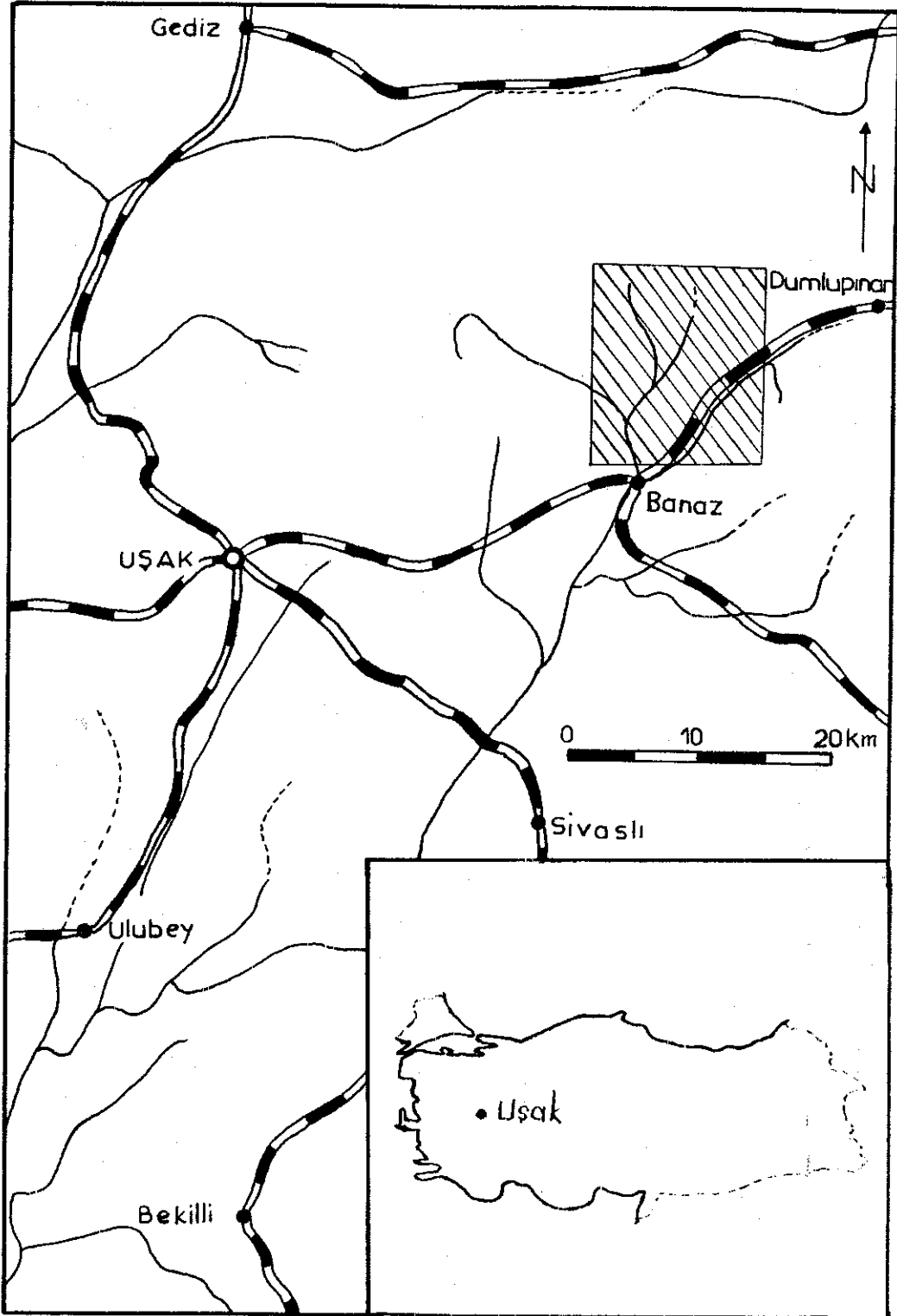
Çalışma alanı, İç Ege Bölgesinde, Uşak iline bağlı Banaz ilçesinin kuzeyinde Uşak K23-b4 paftasında 44-50 boylam ve 93-99 enlemleri arasında yer alır ve yaklaşık 35 km<sup>2</sup> lik bir alanı kapsar (Şekil 11).

Bölgede ondokuzuncu yüzyıldan beri değişik amaçlı, sıcak sularla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Fakat bu çalışmalarda, diğer bilimsel çalışmalarla bir işbirliği kurulmadığından jeotermal problemlere bir aydınlık getirmekten uzak kalınmıştır. Holzer (1953), Baykal (1954), Kalafatçioğlu (1961), Yümlü (1968), İça (1976), Ercan ve Diğerleri (1978) yapmış oldukları çalışmalarda bölgenin jeolojik yapısını aydınlatma amacını gütmüşlerdir. Fakat, bizim çalışma alanımızın da içinde bulunduğu Neojen havzaların ayrıntılı bölgesel çalışması oldukça azdır.

#### 3.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Çalışma, şu amaçlar doğrultusunda yürütülmüştür:

- a- Bölgedeki jeotermal olanakları belirlemek.
- b- Belirlenen alanlarda, jeotermal enerjinin hammadde- si olan sıcak akışkan için (sıcak su ve buhar) rezervuar olabilecek kayaçların durumunu araştırmak.
- c- Tektonizma ve tektonik yapıyla basınç kayucun ilişkisini aydınlatmak.



Şekil 11. Çalışma alanını gösteren bulduru haritası

d- Örtü kayacın cinsini, kalınlığını belirlemek, fay, çatlak ve kırık sist mlerini bulmak.

e- Elde edilecek veriler olumlu olursa, mekanik araştırma sondajlarının en uygun yerde yapılmasını sağlamak.

### 3.3. YÖNTEMLER

Çalışmalar 1/25 000 ölçekli topoğrafik harita üzerinde sürdürölmüş, sıcak su kaynakları yakın çevresinin 1/10 000 ölçekli jeolojik haritası çizilmiştir. Jeofizik olarak, jeotermal sistemlerin araştırılmasında en etkin yöntem olan jeoelektrik (özdirenç, IP, SP) yöntemi uygulanmıştır. Jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucu elde edilen veriler birlikte değerlendirilerek bu jeotermal alana ait tüm özellikler tesbit edilmiştir.

### 3.4. JEOLOJİ

#### 3.4.1. STRATİGRAFİ

##### 3.4.1.1. Paleozoyik

Bölgedeki en yaşlı kayalar, Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfittleridir. Çalışma alanına en yakın mostrası Örencik Kaplıcası ve Emirfakı Kaplıcalarının kuzeyindedir. Gnaysların üzerinde metamorfik seriye dahil mikaşistler ve killi şistler yer alır. Yer yer kalkşist ve kuvarsitler gözlenmekte olup, merceksi yapıda mermerler görölr.

##### 3.4.1.2. Mesozoyik

Jura:

Menderes Masifi metamorfittlerini uyumsuz olarak örten dolomitik kireçtağlarından meydana gelmiştir. Çalışma



alanının kuzeybatısındaki Arsakkaya civarında gözlenen birim, gri ayrışma renkli, genellikle beyaz ve mavimsi gri, ince taneli, ince, orta tabakalı ve iyi dayanımlıdır. Bol çatlak ve kırıklı olup, yersel olarak rekrystalizedir. Birim, Arsakkaya Tepe'de daha önce işletilmiş olan zinober cevheri zuhurları içermektedir.

### Üst Kretase

Çalışma alanının batı ve kuzeybatısında yer alır. Çeşitli boyutlarda ultramafit, çörtlü kireçtaşı, mermer, radyolarit, kumtaşı, şeyl, şist ve değişik litolojiler karmaşığdır. Ultramafitler genellikle koyu yeşil renklidirlen ve serpantinleşmiş peridotitlerden ibarettirler. Sık çatlaklı ve kırıklıdır. Çatlaklarında yersel magnezit ve asbest oluşukları bulunur. Karbonatlı kayalar çoğunlukla gri, pembemsi gri, kırmızımsı, rekrystalize, bol çatlaklı ve kırıklıdır.

Karmaşık, Jura yaşlı dolomitik kireçtaşlarını bin-dirme fayı ile üzerlemiş durumdadır.

### 3.4.1.3. Senozoyik

#### Paleosen

En iyi şekilde çalışma alanının kuzeybatısında Pazarcık Tepe civarında gözlenir. Gri, beyaz, iyi dayanımlı granitten oluşur. Ayrışmaya sıkça rastlanır. Melanj ve dolomitik kireçtaşlarını sokulumla kesmiş ve bu birimlerde cevherleşmeye neden olmuştur.

#### Miyosen

Monojenik çakıltası, kumtaşı, silttaşı, marn, killi kireçtaşı, tuf ve aglomerulardan oluşmaktadır.

Monojenik çakıltası, çalışma alanının kuzeybatısında

Yörükkonagi Tepe civarında gözlenir. Alt Miyosen yaşlı olan birimin rengi genellikle yeşildir. Sadece ultramafitlerden oluşan bileşen taneler 0,5 mm - blok boyutu arasındadır. Bileşen taneler orta derecede yuvarlaklaşmış, küreselleşmişlerdir. Katmanlanması yoktur.

Orta Miyosen yaşlı çakıltası - kiltası - silttaşı - çamurtaşı - kumtaşı - marn - tüfit birimleri ardalansız bir şekilde devam eder. Altta yer alan çakıltası birimi, mermer, ince taneli, siyah ve gri renklerde kireçtaşı, şist, ultramafit, beyaz, kırmızı, siyah çört ve radyolarit bileşenlerinden oluşur. Bileşenler 2 mm - blok arasında değişir. Orta - kalın katmanlı olup ara madde kumdur. Birim genellikle iyi dayanımlıdır.

Kumtaşları kırmızı ayrışma renkli, sarı, ince - orta katmanlı, orta dayanımlıdır. Yersel bol mika pulcuğu içerir. Silttaşı ve kilttaşları az dayanımlıdır. Laminalanma gösterirler. Killi kireçtaşları kirli beyaz, sarı, orta katmanlı, orta dayanımlıdır. Çatlak ve boşlukları kalsit dolguludur. Bol yaprak fosili içerir. Birim içinde yer yer tabakalanmaya paralel linyit özelliğinde ince kömür seviyelerine rastlanır.

Orta - Üst Miyosen'deki volkanitler, andezitik lav, tüf ve aglomerallardan oluşmaktadır. Andezitler gri, açık mor renkli, genellikle az, yer yer orta dayanımlıdır. Tüfler gri, beyaz renkli olup az dayanımlıdır. Volkanitlerin Orta Miyosen içinde katmanlı tüfler, üzerinde ise lav ve aglomerallar olarak gözlenmesi volkanik aktivitenin Miyosen boyunca sürdüğüne işaret etmektedir.

#### Kuvaterner

Traverten: Hamamboğazi Kaplıcası çevresinde yersel olarak gözlenen travertenler, kalın banklar halinde ve boşlukludur. Suda çözülmüş halde bulunan CO<sub>2</sub> gazının, yüzeyde basınç azalması sonucu atmosfere geçmesiyle gelişen

karbonat çökmesi, travertenleri oluşturmuştur. Kırmızı, kahverengi, beyaz renkli traverten, çalışma alanında Miyosen üzerine uyumsuz olarak gelir.

Alüvyon: Çalışma alanında dere yataklarında gözlenen alüvyon, blok, çakıl, kum, silt, kil boyutundaki bileşenlerden oluşur. Tüm birimleri uyumsuzlukla örter.

### 3.4.2. YAPISAL JEOLOJİ

İnceleme alanında ve bölgede özellikle Batı Anadolu tektonik yapısına uygun olarak gelişen faylar egemendir. Fayların yanısıra kırık ve çatlaklar, kıvrımlar, uyumsuzluklar ve volkanizma bölgenin diğer tektonik öğeleridir.

#### KATMANLANMA

İnceleme alanında, kaplıca çevresindeki Miyosen'e ait birimler ince ve orta kalınlıkta tabakalanmaya sahip olup, eğim yönleri değişkendir.

#### KIVRIMLAR

Bölgede temeli oluşturan gnays ve şistler sık kıvrımlıdır. Kıvrım eksenleri genel olarak doğu - batı doğrultuludur. Miyosen'in konglomera - kumtaşı - kiltığı birimi Kaplıca çevresinde geniş dalgalı kıvrımlar sunar. Bu birimde eğim yönünde görülen değişiklikler, çökme ortamının morfolojisine, faylanmalara ve volkanizmaya bağlanabilir.

#### FAYLAR

Sıcak suların derinlerden yüzeye çıkışına neden olan fay, çatlak ve kırıklar kaplıca yöresinde yoğundur. Özellikle graben tektoniğine bağlı olarak gelişen gravite fayları oldukça fazladır. Faylar kuzeydoğu - güneybatı ve doğu - batı doğrultuludur.

## ÇATLAK VE EKLEMLER

Bölgedeki birimler, yoğun tektonizma nedeniyle doğal olarak bol çatlaklıdır. Miyosen yaşlı birimler, dayanımlı ve dayanımsız birimlerin ardalanmasından oluştuğu için, gelişen eklem ve çatlaklardan alınan ölçüler, bir sonuç vermekten uzaktır.

### 3.5. JEOLJİK SONUÇ

Jeolojik çalışmalar sonucunda jeotermal bir sistemin oluşabilmesi için gerekli olan unsurları Hamamboğazi sıcak su kaynakları yakın çevresinde görmek mümkün olmuştur.

Çalışma alanı ve yakın çevresi, Orta Miyosen'den Kuvaterner'e kadar çok evreli volkanizmaya sahne olmuştur. Sıcaklıklarını büyük ölçüde koruyan bu genç sokulumlar bölgedeki sıcak suların en önemli ısı kaynağıdır.

Menderes Masifi metamorfizmasının temelini oluşturan gnayslar birinci hazne kayadır. İkinci hazne kaya ise, Orta Miyosen yaşlı, gözenekliliği ve geçirgenliği yüksek, değişik bileşenlerden oluşan çakıldaşlardır.

İnceleme alanında, Miyosen yaşlı, siltli, killi ve marnlı seviyeler çok düşük geçirgenliğe sahip olup, iyi bir örtü kaya özelliğindedir.

Çalışma alanında, sıcak su kaynakları, hidrotermal alterasyon ve travertenler yüzeydeki jeolojik verilerdir. Bunun dışında sıcak su kaynakları mevkiinde ve yakın çevresinde farklı litolojik birimler ve sıcak suların yeryüzüne çıkmasını sağlayan fayların tümü görülemediğinden, jeolojik çalışmalarla kesin bir sonuca vardığımız söylenemez. Bu nedenle rezervuar ve örtü tabakalarının derinlikleri, kalınlıkları, fayların mevcudiyeti ve oradan da sıcak su üretimi konusunda hüküm verebilmek amacıyla jeofizik çalışmalara geçilmiştir. Bizzat katıldığım bu çalışmalar aşağıda sunulmuştur.



### 3.6. JEOFİZİK (JEOELEKTRİK YÖNTEM)

Jeolojik çalışmalar ile her ne kadar bir sonuca varılıp örtü ve hazne özelliğindeki birimler saptanmış ise de bu birimlerin kaplıcalar mevkiindeki derinlikleri ve kalınlıkları hakkında bir fikir edinebilmek, mekanik sondaj için uygun bir yer önerebilmek için jeofizik yöntemlere gerek görülmüştür.

Bilindiği gibi, elektrik akımını iyi ileten ortamların rezistivite değerleri (ohm.m.) küçük, iyi iletmeyen ortamların ise büyüktür. Genel olarak sıcak su ortamının rezistivitesi, soğuk su ortamına göre daha küçüktür. Buna göre, sıcak su ve buhar içeren birimler, ortamlarını iyi bir elektrolit haline getireceklerinden, etraflarındaki ortamlara göre, genellikle küçük değerli rezistiviteye sahip olarak ayrıcalık göstereceklerdir. Eş rezistivite haritalarını ve kesitlerini jeotermal enerji açısından incelerken, etrafına göre küçük rezistivite değerlerine sahip olan bu ortam farklılaşmalarını baz olarak kabul etmek durumundayız.

Ana yöntem, rezistivite yöntemidir. Bunun yanında, IP (İndüksiyon, Polarizasyon), faz farkı ölçüleri ve PS (Doğal gerilim) ölçüleri kullanılır (Şekil 13, 14).

Schlumberger AB = 2000 metreye varan elektrot açıklığı ile alınan rezistivite ölçülerinde IP ve faz farkı da ölçülmüştür. Ayrıca, jeotermal enerji açısından aktif olabilecek faylar, iki profilde 100 ile 300 metre derinliklere tekabül eden Wenner sabit elektrot açılımıyla ve yine rezistivite ile birlikte IP ve faz farkı ölçüleri alınarak araştırılmıştır. Sıcak suların bulunduğu yerlerde, piritleşmelerden ve fayların civarındaki alterasyondan dolayı, IP ve faz farkı değeri büyük olmaktadır.

Açılımlarda kullandığımız Schlumberger ve Wenner görünür öz direnç bağıntıları şunlardır:

$$\rho_{a_s} = \frac{\Delta V}{I} \cdot 2\pi \left( \frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right)$$

$$\rho_{a_w} = \frac{\Delta V}{I} 2\pi a$$

Burada

$\rho_{a_s}$  = Schlumberger açılımında görünür öz direnç

$\rho_{a_w}$  = Wenner açılımında görünür öz direnç

$\Delta V$  = Potansiyel farkı

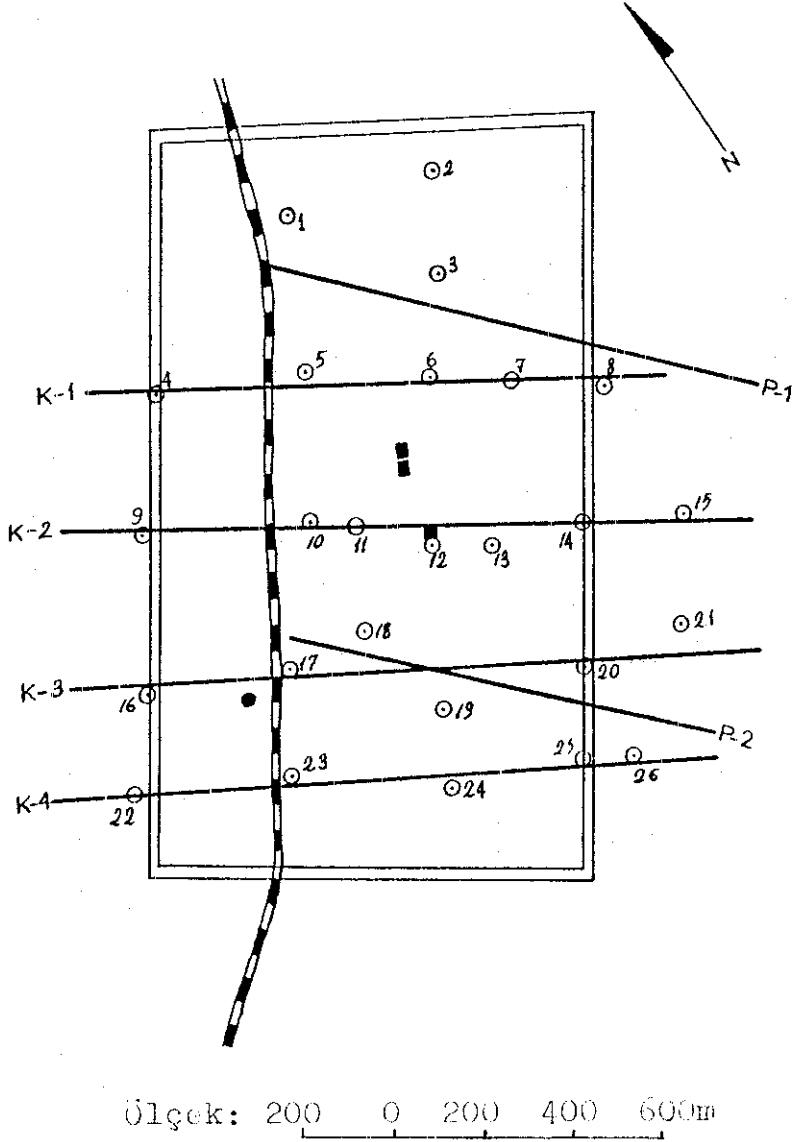
$I$  = Akım

$a$  = Akım elektrotları arasındaki uzaklık

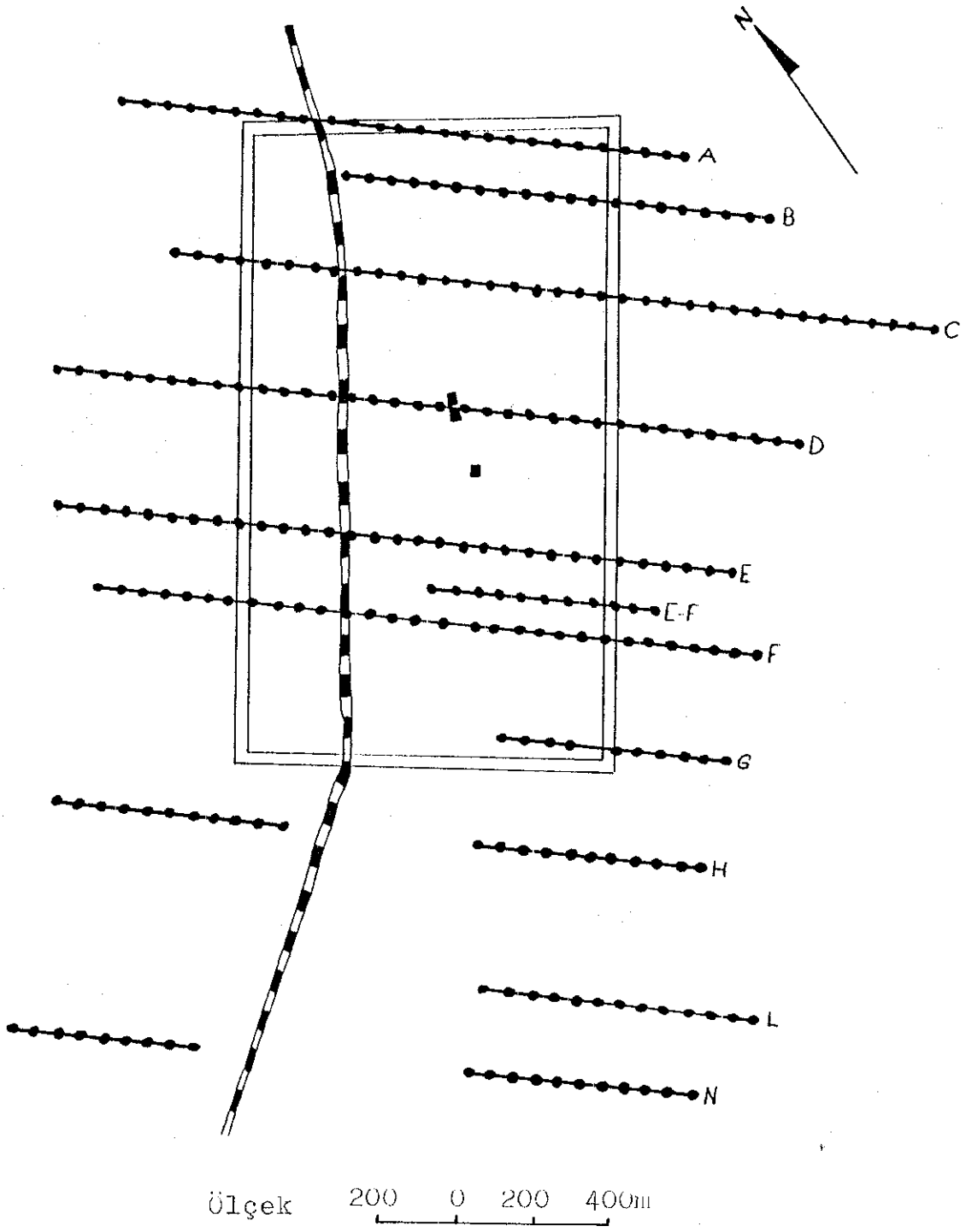
$b$  = Potansiyel elektrotları arasındaki uzaklık

PS ölçüleri, hem gradiyent, hem de potansiyel ölçüsü olarak alınmıştır. Yöntemin gereği olarak, sıcak suların çıktığı yerlerde PS ölçü değerleri (+), soğuyarak aşağıya dönüş yaptığı yerlerde ise (-) olacaktır.

Ancak, sıcak su kaynakları mevkiinde, örtü tabakası özelliğinde kalın ve geçirimsiz birimlerin ardalanması nedeniyle, kaynak sızıntıları zayıf ve dolayısıyla PS değerleri küçüktür. Alüvyon ortamında, kimyasal özelliklerdeki heterojenite nedeniyle, konsantrasyon farklılıkları, küçük pozitif PS değerlerini negatifleştirmiştir. Buna rağmen, PS potansiyel ve gradiyent haritalarının her ikisi de sıcak su kaynaklarının etrafında dikkate değer kapanmalar vermiştir. Bu kapanmalar, sıcak su rezervuarları üzerinde karakteristik anomaliler oluşturmuşlardır.



Şekil 13. Jeoelektrik sondaj ve profil çalışmalarını lokasyon haritası



Şekil 14. PS çalışmalarını lokasyon haritası

### 3.6.1. EŞ REZİSTİVİTE VE YAPI KESİTLERİNİN YORULU

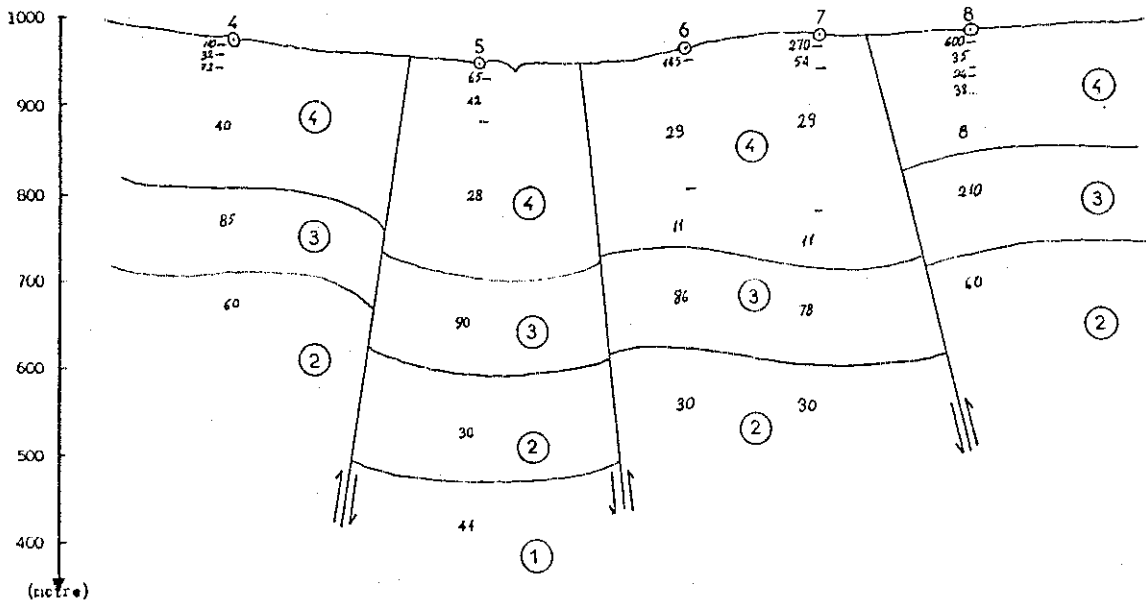
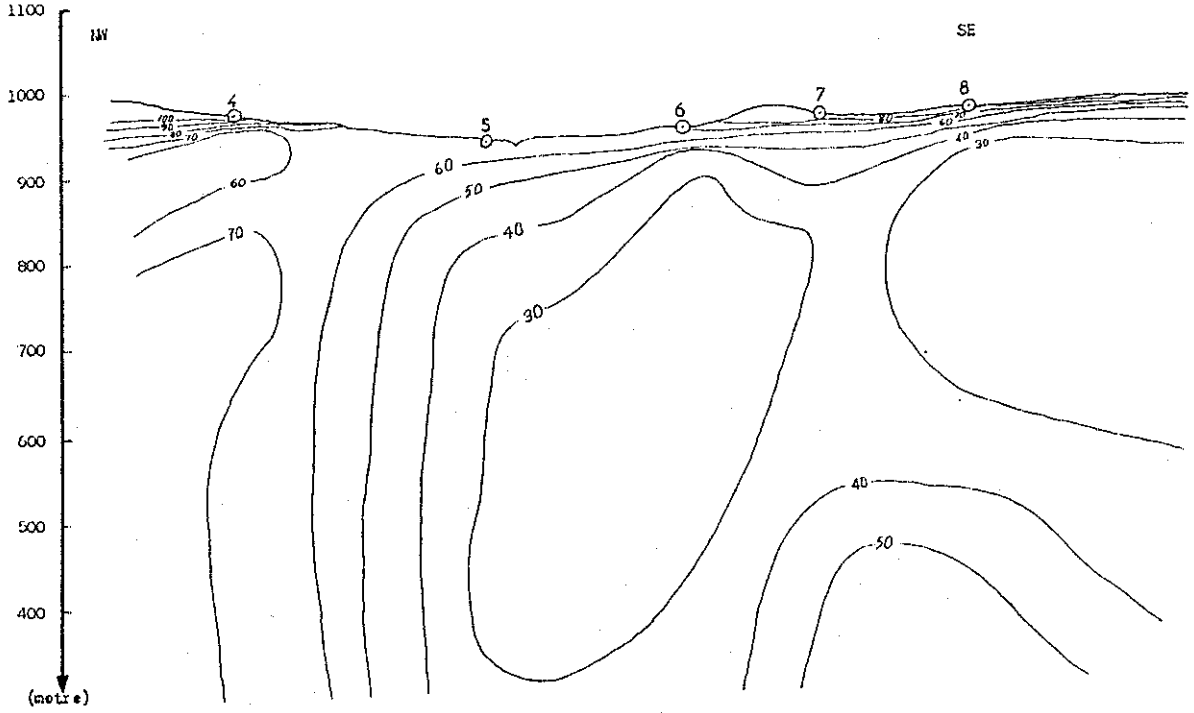
Jeoelektrik sondajlardan düzenlenen eş rezistivite ve elektrik yapı kesitleri incelendiğinde, 4 seviye ile karşılaşılar (Şekil 15, 16, 17, 18). En altta, 1 numara ile gösterilen yüksek rezistiviteli seviye, gnays, mermer veya dolomitik kireçtaşıdır. Bu duruma göre 2 numara ile gösterilen düşük rezistiviteli seviye, şistli seviyedir. Bunun üzerinde 3 numaralı yüksek rezistiviteli çakıltası yer alır. En üstte ise 4 numaralı seviye içinde ardalanmalı farklı birimler ayırtlanabilir. Bu birimler, çakıltası - kumtaşı - çamurtaşı - tüfit ardalanmasıdır. Nispeten ince olan alüvyon ve travertenler, 4 numaralı seviyenin üzerinde bulunur.

1 numaralı seviye birinci hazne kaya, 3 numaralı seviye ise ikinci hazne kayadır. 2 ve 4 numaralı seviyeler örtü kayalardır. Şekil 15, 16, 17 ve 18 de çizilen eş rezistivite ve yapı kesitleri incelendiğinde üstteki kesitler yüzeyden derine doğru, temel kayaya kadar rezistivite dağılımını göstermektedir. Alttaki kesitler ise düşey elektrik sondajlarının değerlendirilmesi ile elde edilmişlerdir. Bu kesitlerde birinci ve ikinci hazne kaya ile örtülü kayalar ve temel kayaya kadar inen faylar görülmektedir.

### YAPISAL DURUM

Wenner elektrot sisteminde  $a = 100$  ve  $300$  m olmak üzere rezistivite ve IP profil ölçüleri alınarak, Hamamboğazı Kaplıcasının iki tarafındaki vadide  $100$  ve  $300$  m derinliklerde fay bulunup bulunmayacağı araştırılmıştır. Bu jeoelektrik araştırmalar sonucunda: (Şekil 19, 20)

- a- Banaz-Afyon yolu üzerinde  $K35^0D$  gidişli bir fay,
- b- Bu faya paralel olarak uzanan ve travertenlerin eteğinden geçen diğer bir fay,
- c- Kaplıca kaynakları mevkiinde ana fayı kesen  $K50^0D$  gidişli bir fay,



-60- D.E.S. kontur değerleri

o D.E.S. noktası

④ akıltası-Kumtası-Kiltası-Tüfit-Killi kireçtaşı

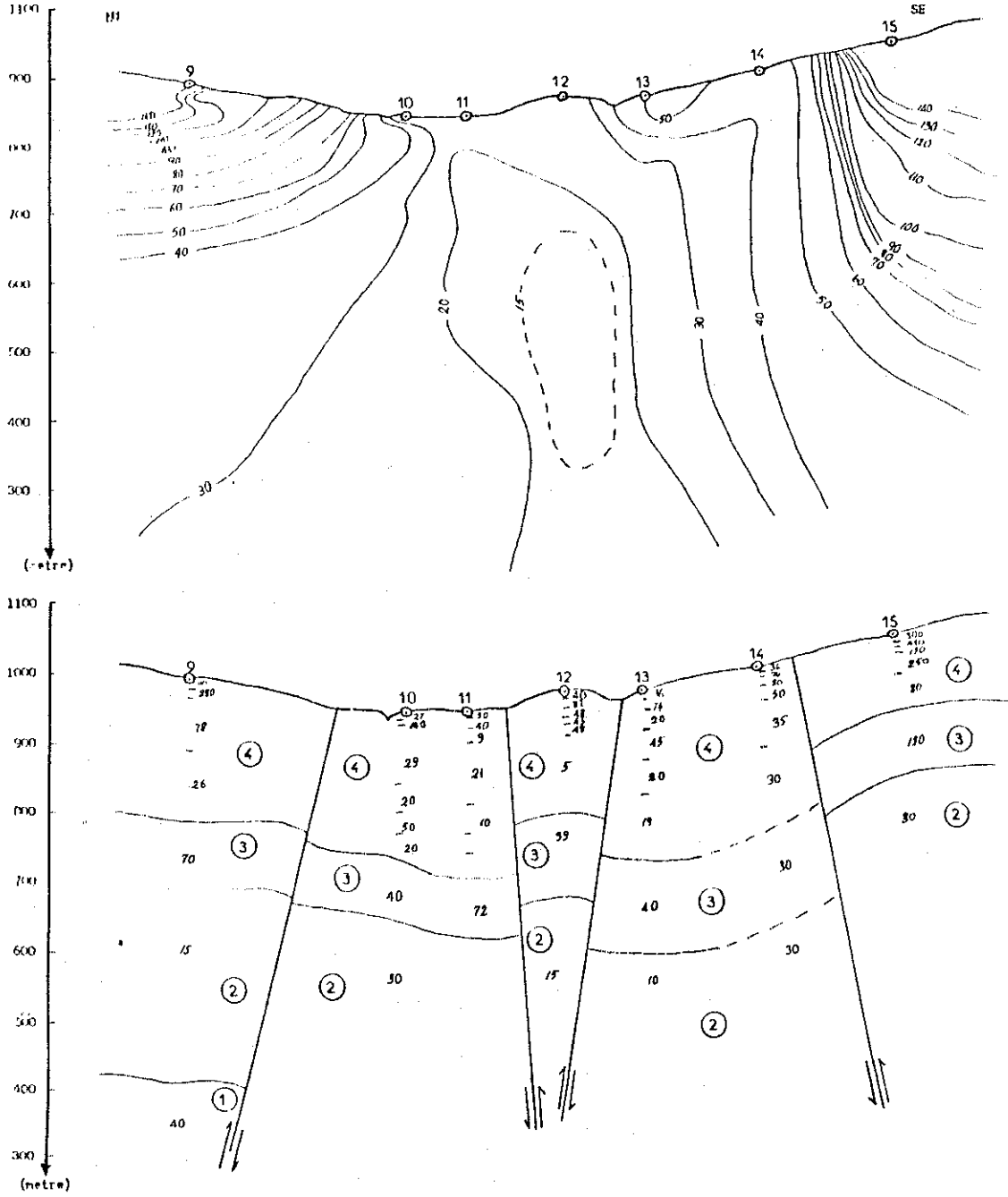
③ akıltası

② Ultramafit, Şist

① Gnays, mermer ve dolomitik kireçtaşı

Ölçek: 100 0 100 200m

Şekil 15. K - 1 kesiti

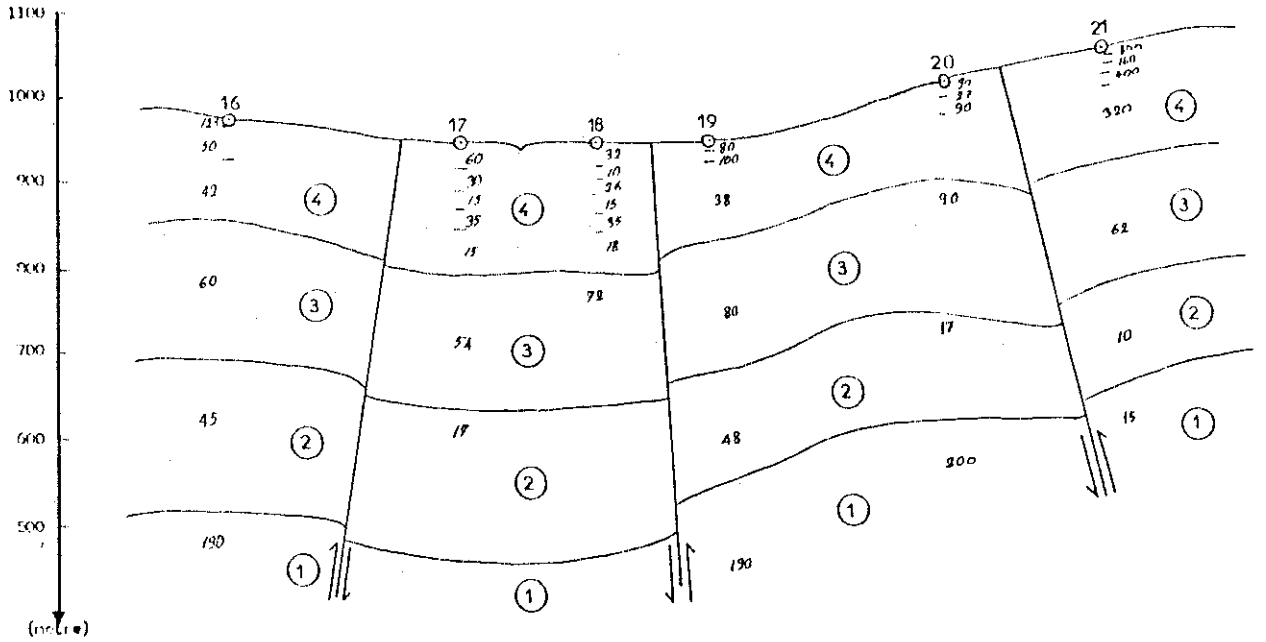
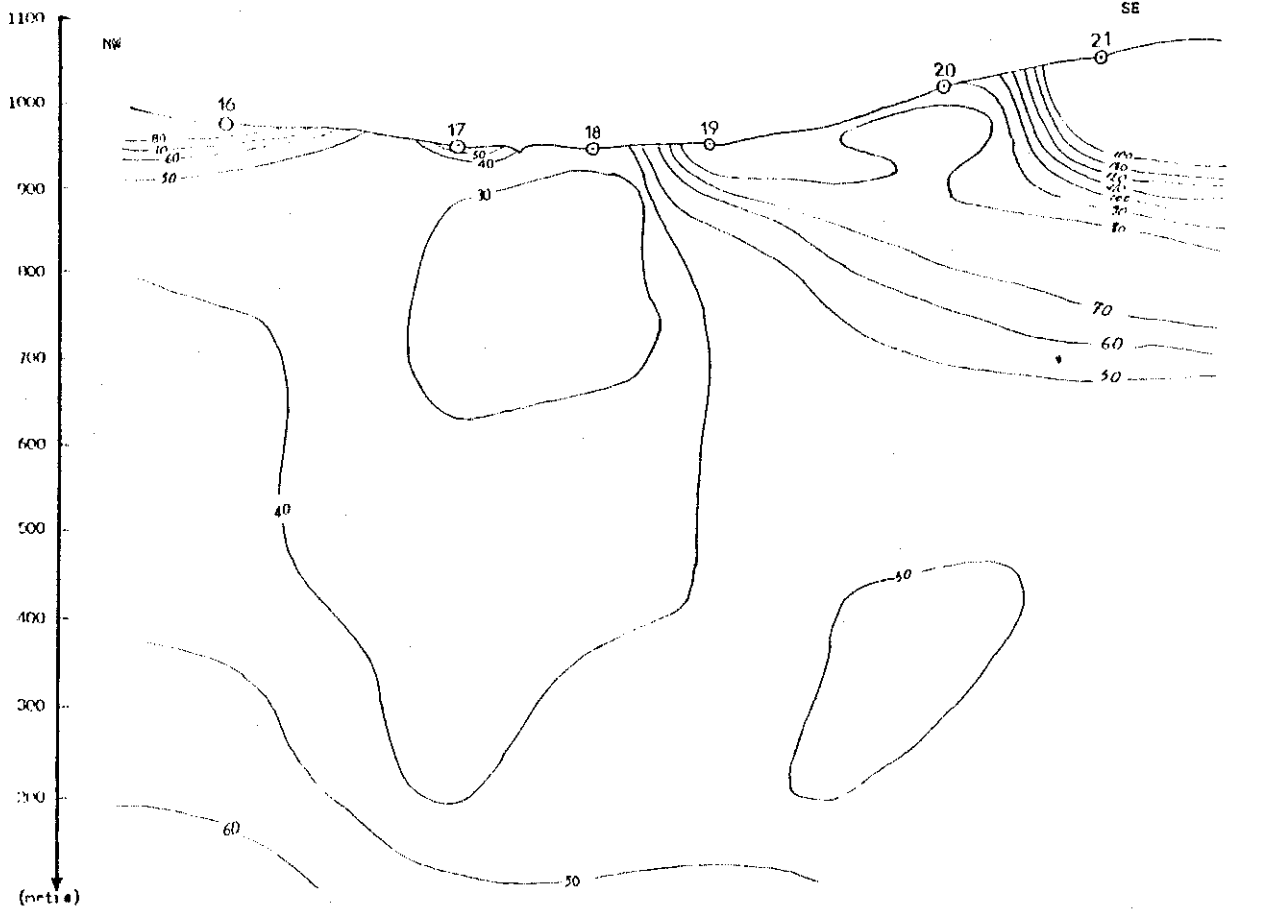


-60- D.E.S. kontur değerleri

- D.E.S. noktası
- ④ Çakıltası-Kumtaşı-Killaşı-Tüfit-Killi kireçtaşı
- ③ Çakıltası
- ② Ultramafit, şist
- ① Gnays, mermer ve dolomitik kireçtaşı

Ölçek: 100 0 100 200m

Şekil 16. K - 2 kesiti

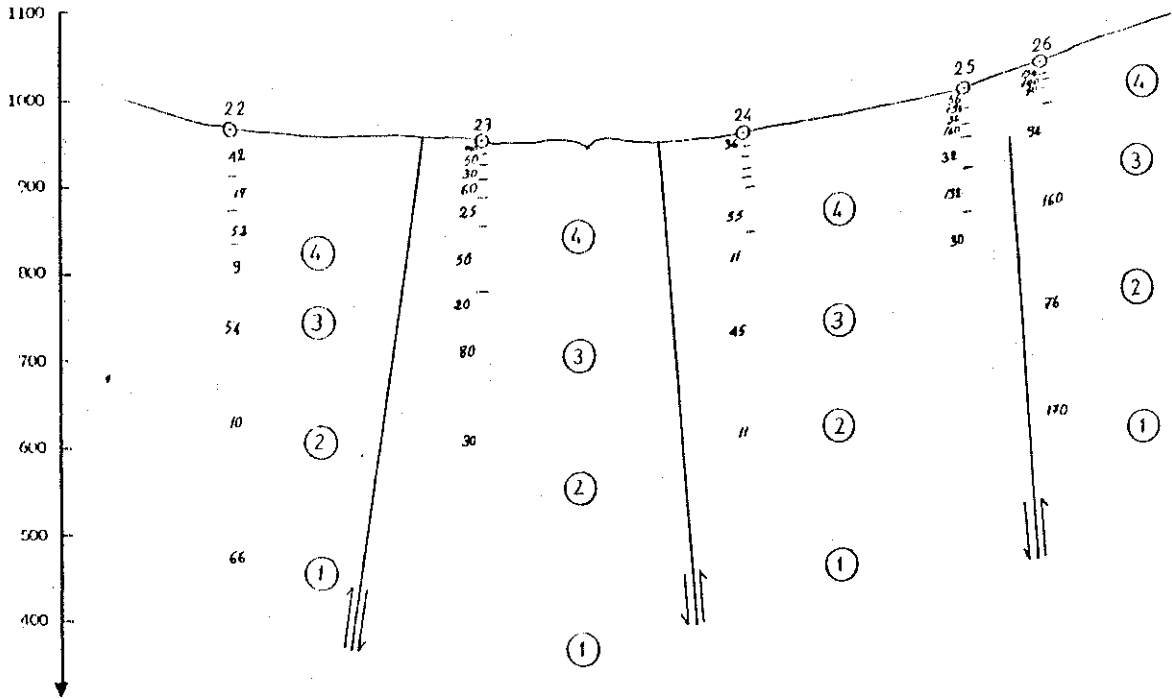
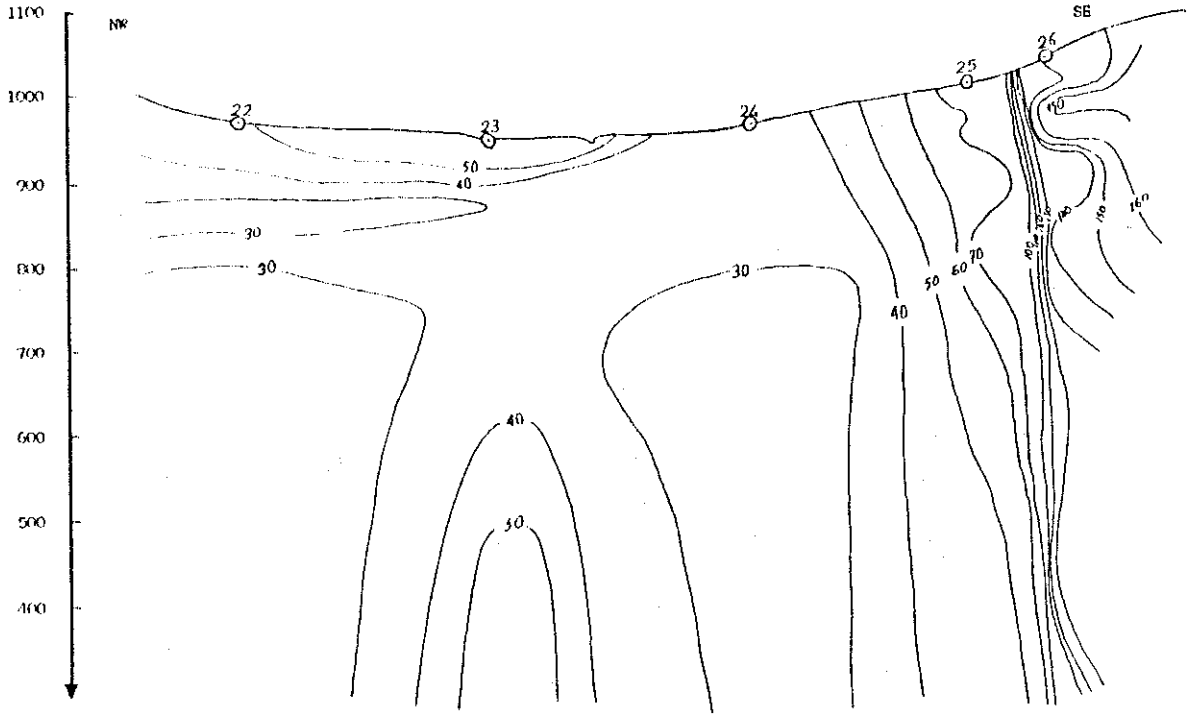


- ④ Çakıltası-Kumtaşı-Kiltası-Tüfit-Killi kireçtaşı
- ③ Çakıltası
- ② Ultramafit, Şist
- ① Gnays, mermer ve dolomitik kireçtaşı

Örnek: 100 0 100 200m

Şekil 17. K - 3 kesiti





-60- D.E.S. kontur değerleri

o D.E.S. noktası

④ Çakıлтаşı-Kumtaşı-Kıлтаşı-Tüfit-Killi kireçtaşı

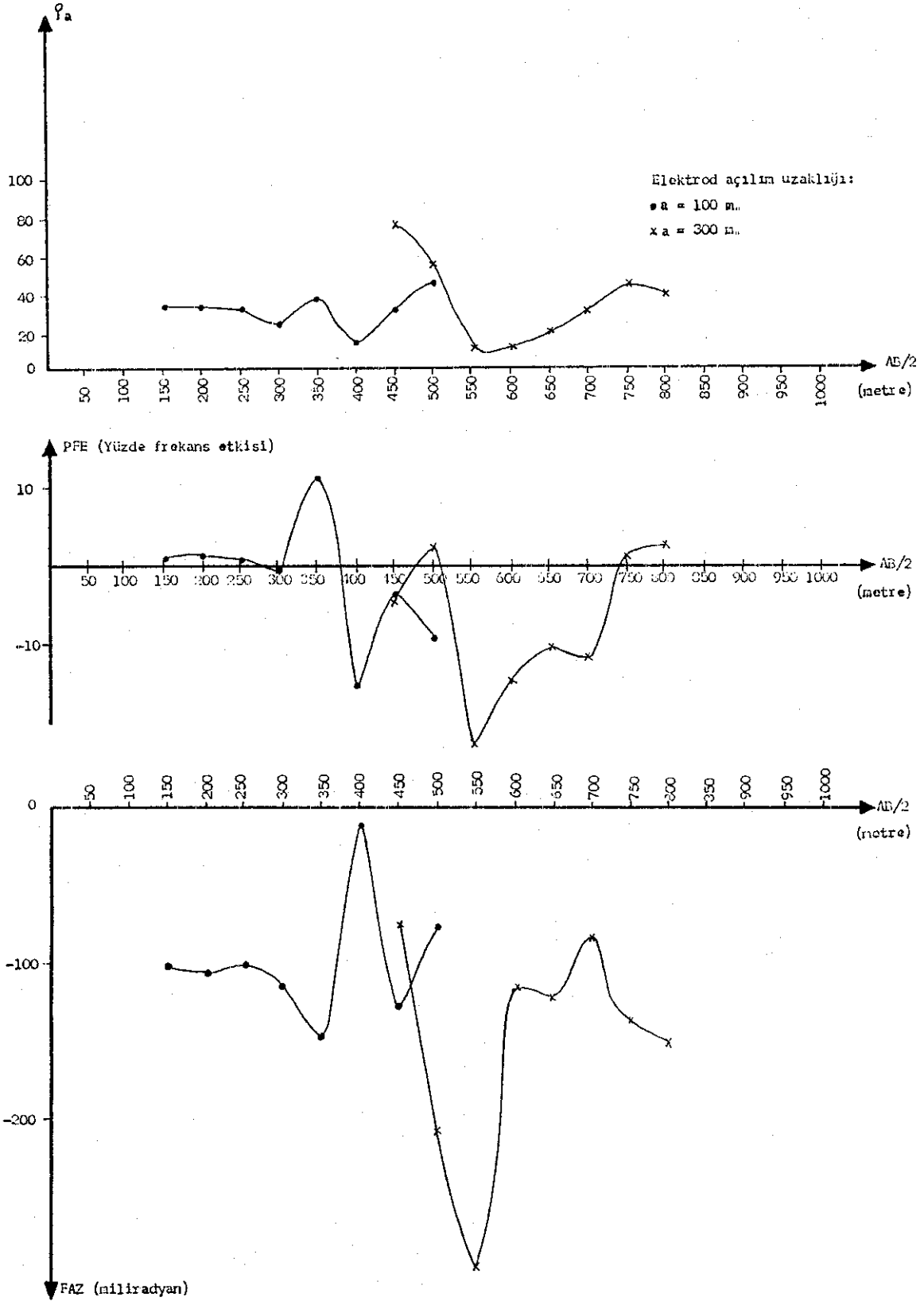
③ Çakıлтаşı

② Ultramafit, şist

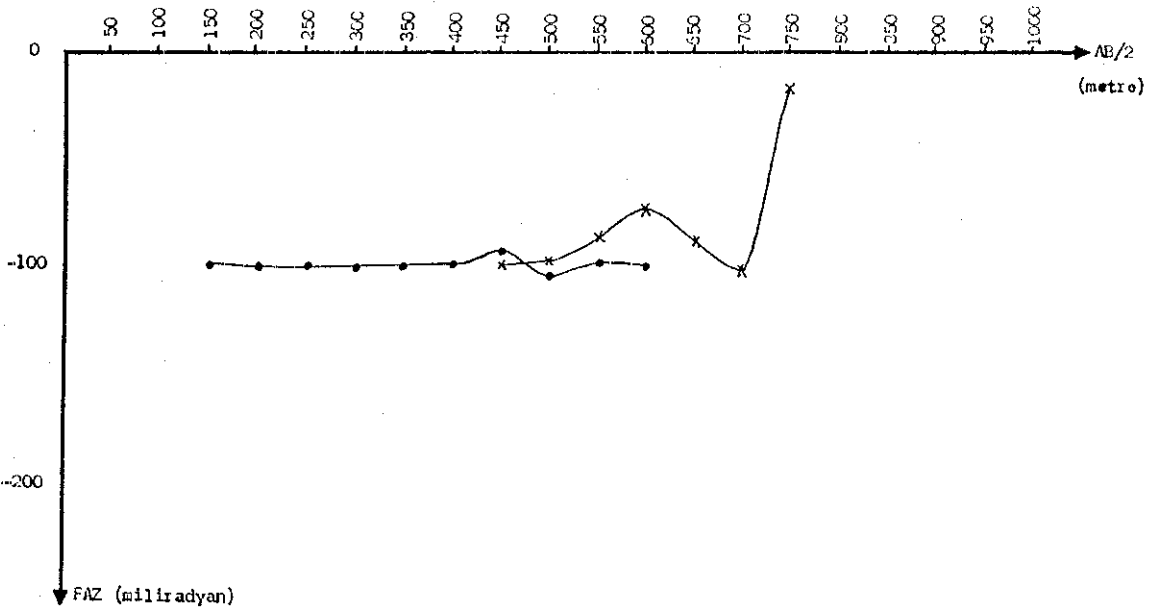
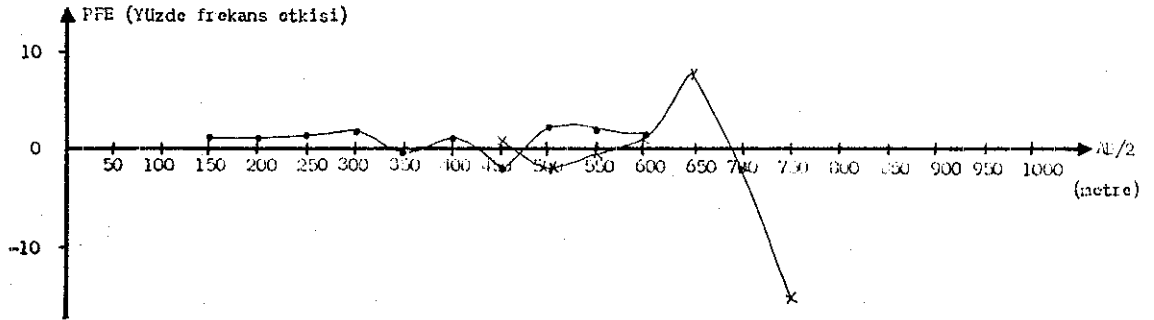
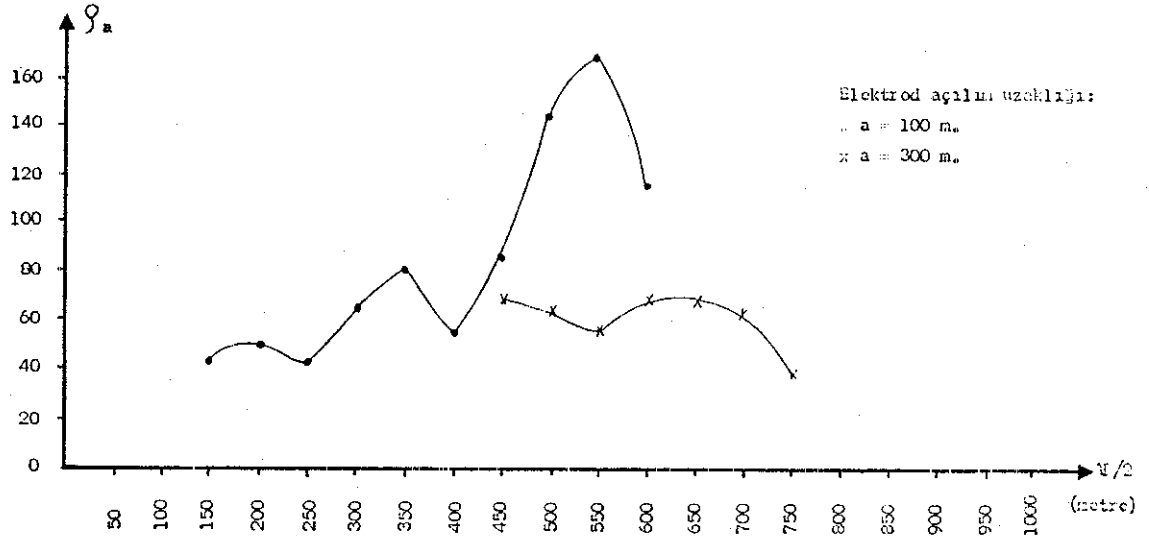
① Gnays, mermer ve dolomitik kireçtaşı

Ölçek: 100 0 100 200m

Şekil 18. K - 4 kesiti



Şekil 19. P-1 Wenner profil çalışması



Şekil 20. F-2 Wenner profil çalışması

d- Kaynakların 200 ve 400 m doğusundan geçen ana fay, ya paralel iki fay,

e- Kaynakların hemen kuzeyinden geçen KB - GD gidişli iki fay tesbit edilmiştir.

Böylece Hamamboğazı ve civarının yapısal olarak graben niteliğini taşıdığı sonucuna varılmıştır.

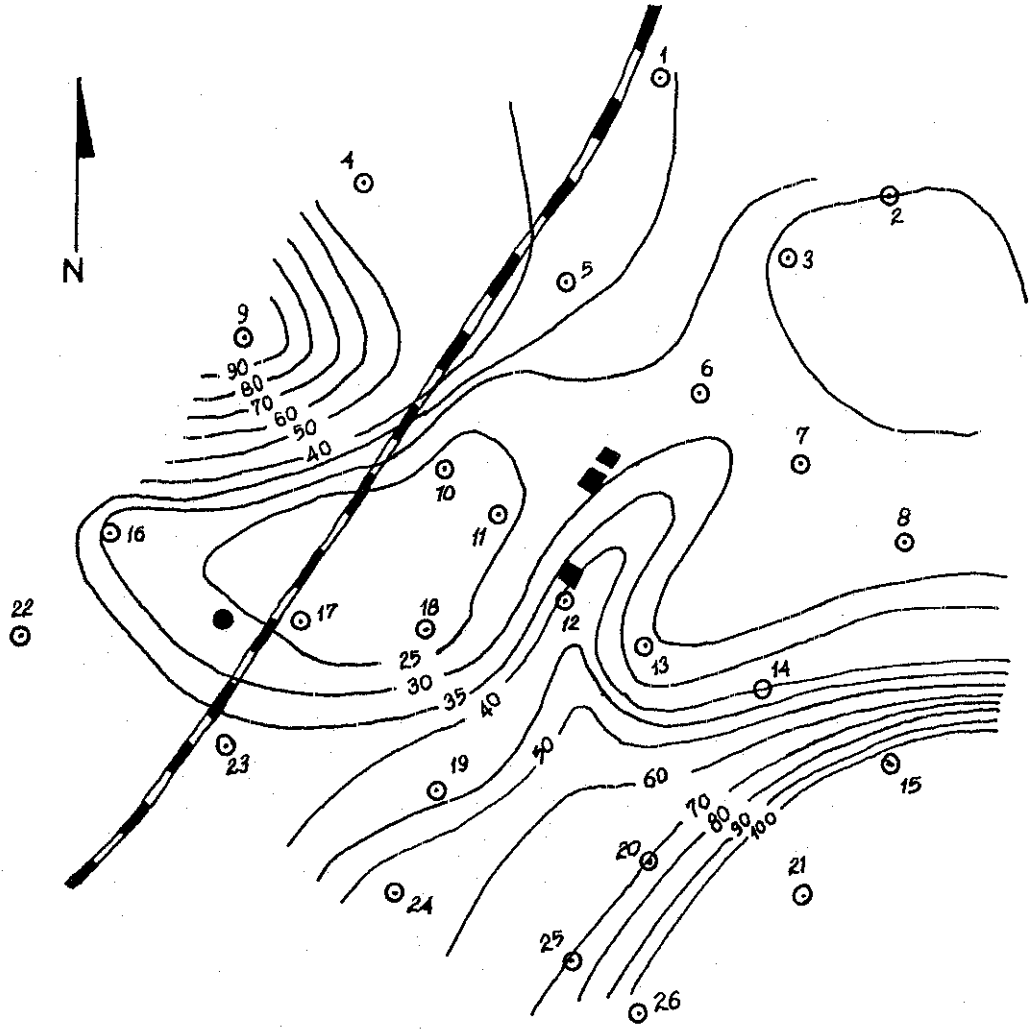
### 3.6.2. EŞ REZİSTİVİTE HARİTALARININ YORUMU

Yer içindeki sular, arz ısısının yüksek olduğu yerlerde doğal olarak ısınarak gözenek basıncını ve çözelti yoğunluğunu arttıırırlar. Çevreyegöre, basınç, sıcaklık ve iletkenlik farklılığı olan zonlar oluşur. Bu zonlardaki sıcak akışkanlar, çatlak ve kırık sistemleriyle yeryüzüne taşınırlar. Rezistivite, aynı birimler içinde çevresine göre düşük ölçülürse sıcak ve iletken birimleri, yüksek ölçülürse soğuk ve iletken olmayan ya da az iletken olan birimleri işaret eder.

Şekil 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 de jeoelektrik veriler sonucu çizilen 100, 200, 250, 300, 400, 500, 600 m derinliklerdeki eş rezistivite dağılımına bakıldığında genellikle 3, 11-12 ve 17-18 numaralı jeoelektrik sondajlarını çevreleyen kısımda düşük rezistiviteli konturlara rastlanır. Bu bölgenin dışında, 3 numaralı jeoelektrik sondajının bulunduğu yerde de bir başka düşük rezistiviteli kontur yer alır. Sahanın diğer bölümleri büyük rezistivite değerlerine sahip konturlarla sınırlanmaktadır. Bu konturlar temel kaya yükselimlerine işaret etmektedir.

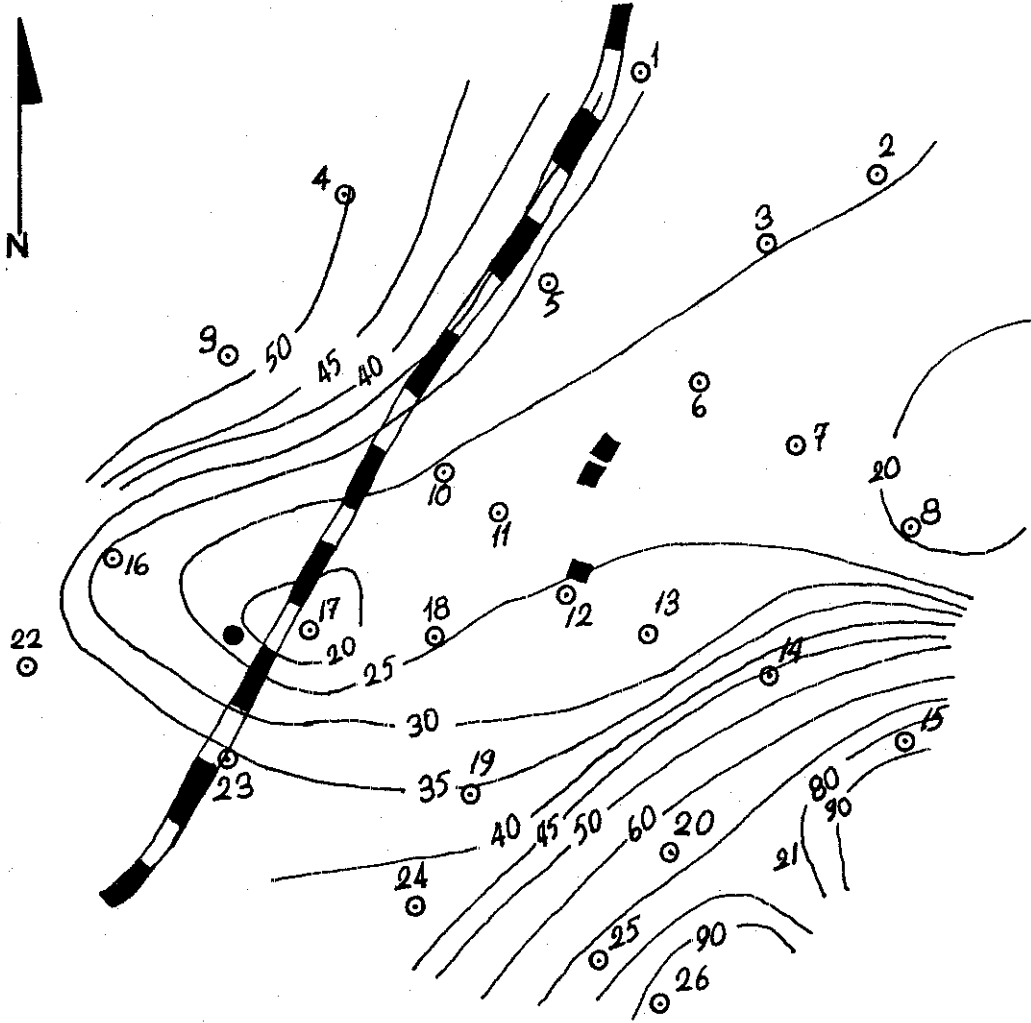
Düşük rezistivite değerlerine sahip konturların bulunduğu bölgeler genellikle sıcak ve aktif olabilecek zonları işaret etmektedir.

Farklı derinliklere ait eş rezistivite dağılımları, birlikte değerlendirilerek, bu tür zonlar tesbit edilebilir.



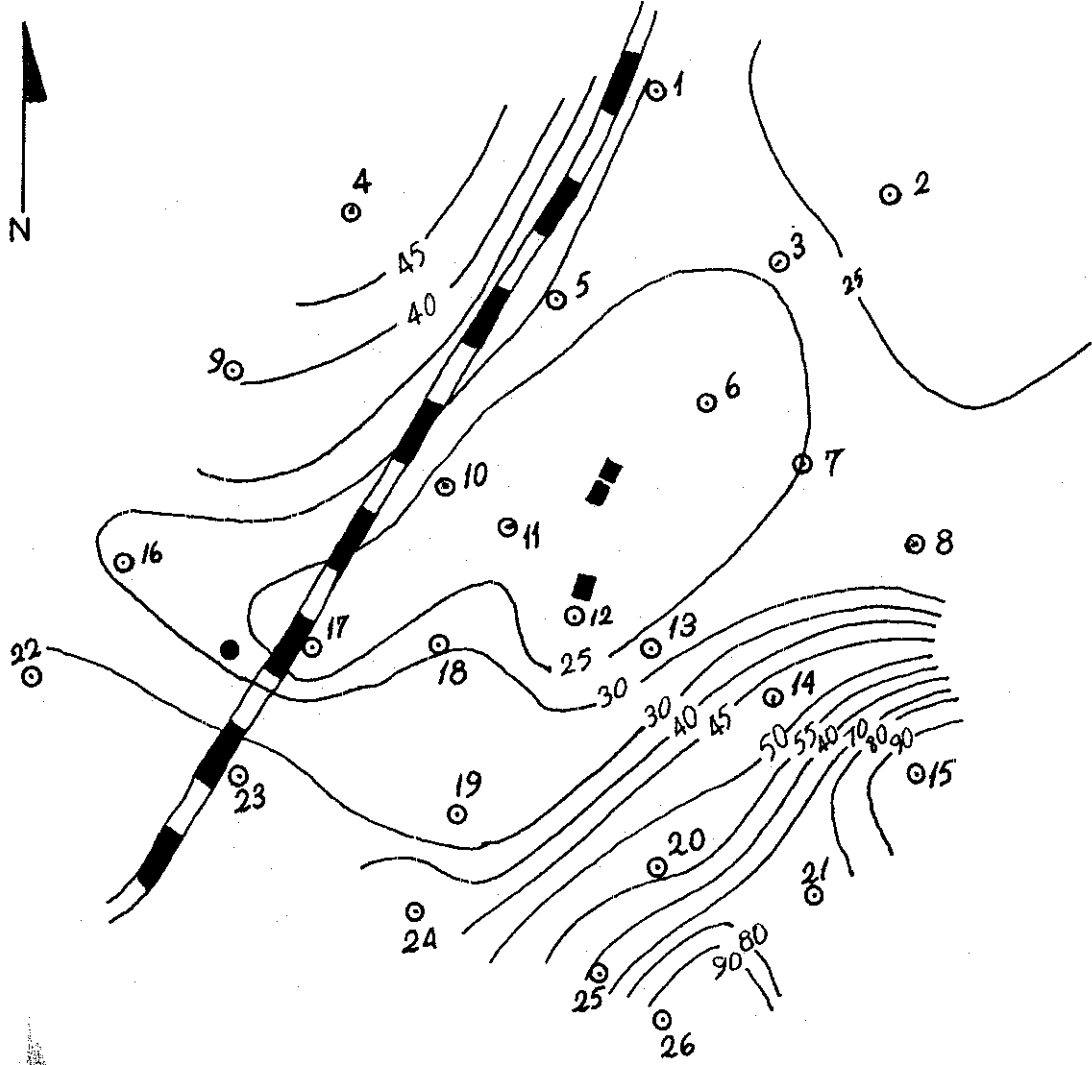
Ölçek: 1/10 000

Şekil 21.  $h=100$  m Görünür rezistivite haritası



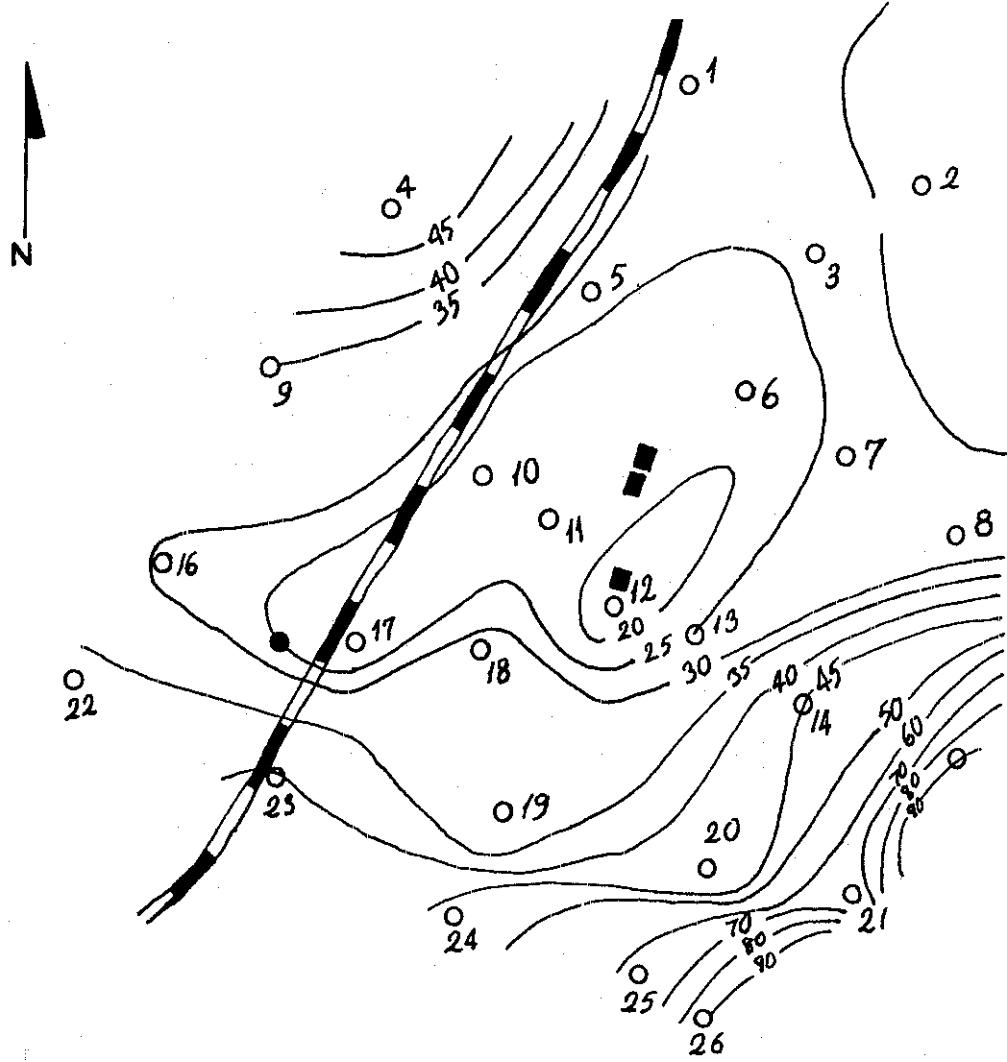
Ölçek: 1/10 000

Şekil 22. h=200 m Görünür rezistivite haritası



Ölçek: 1/10 000

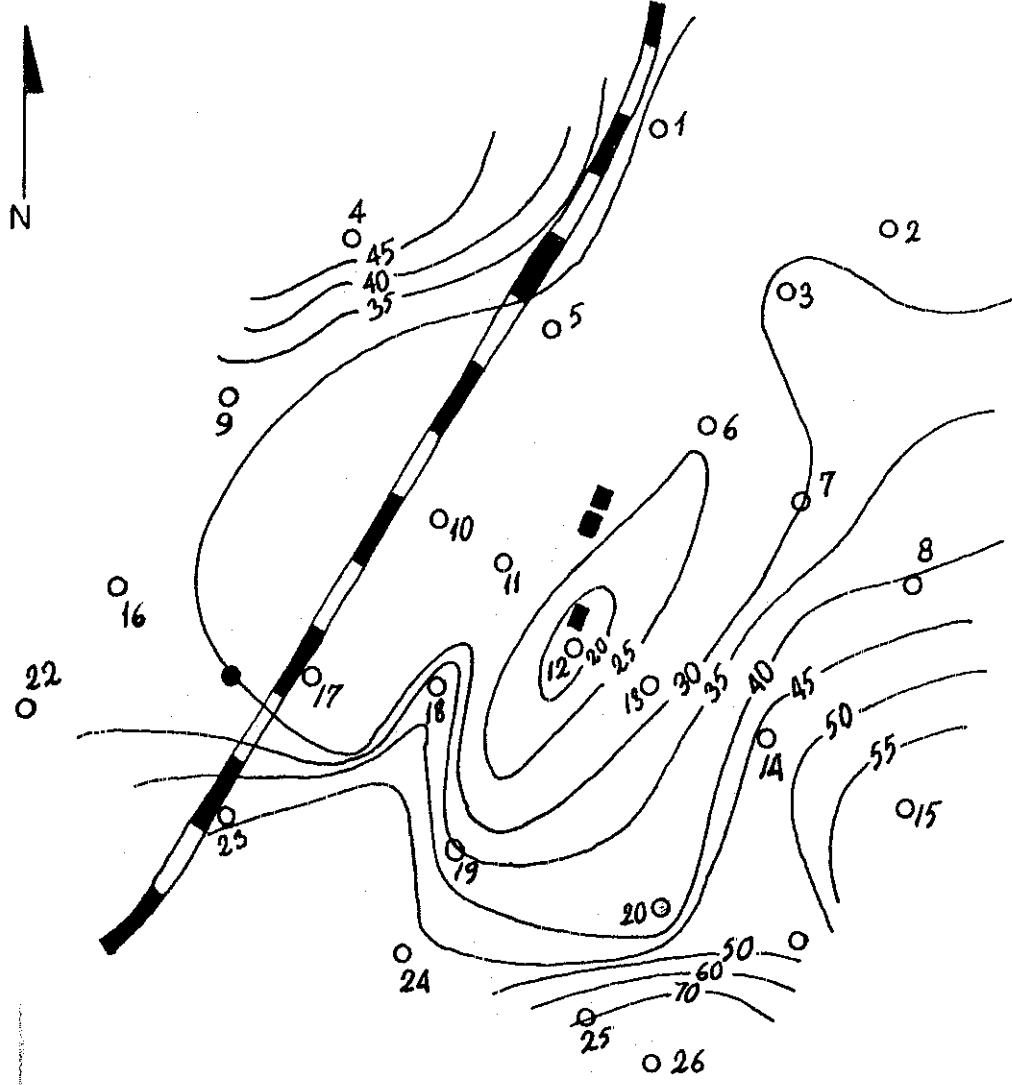
Şekil 23. h=250 m Görünür rezistivite haritası



Ölçek: 1/10 000

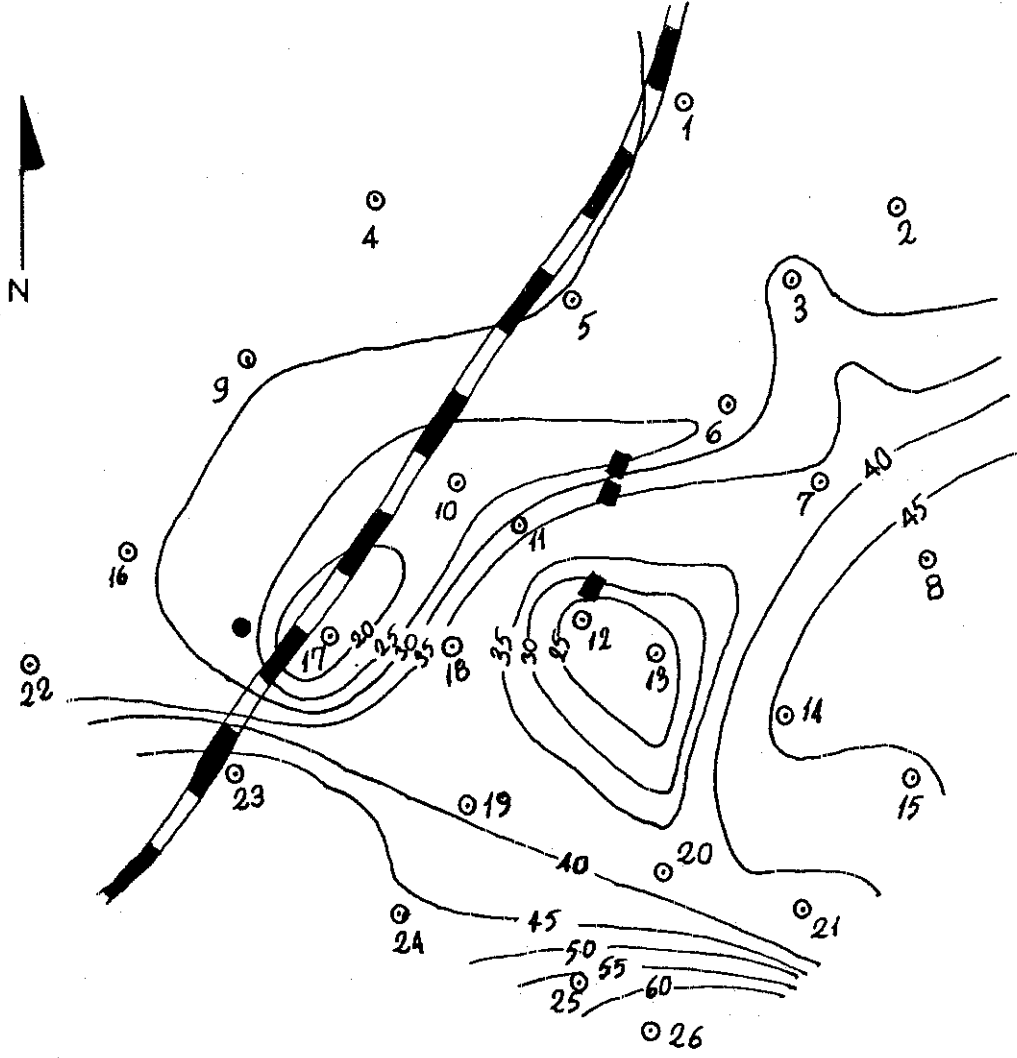
Şekil 24.  $h=300$  m Görünür rezistivite haritası





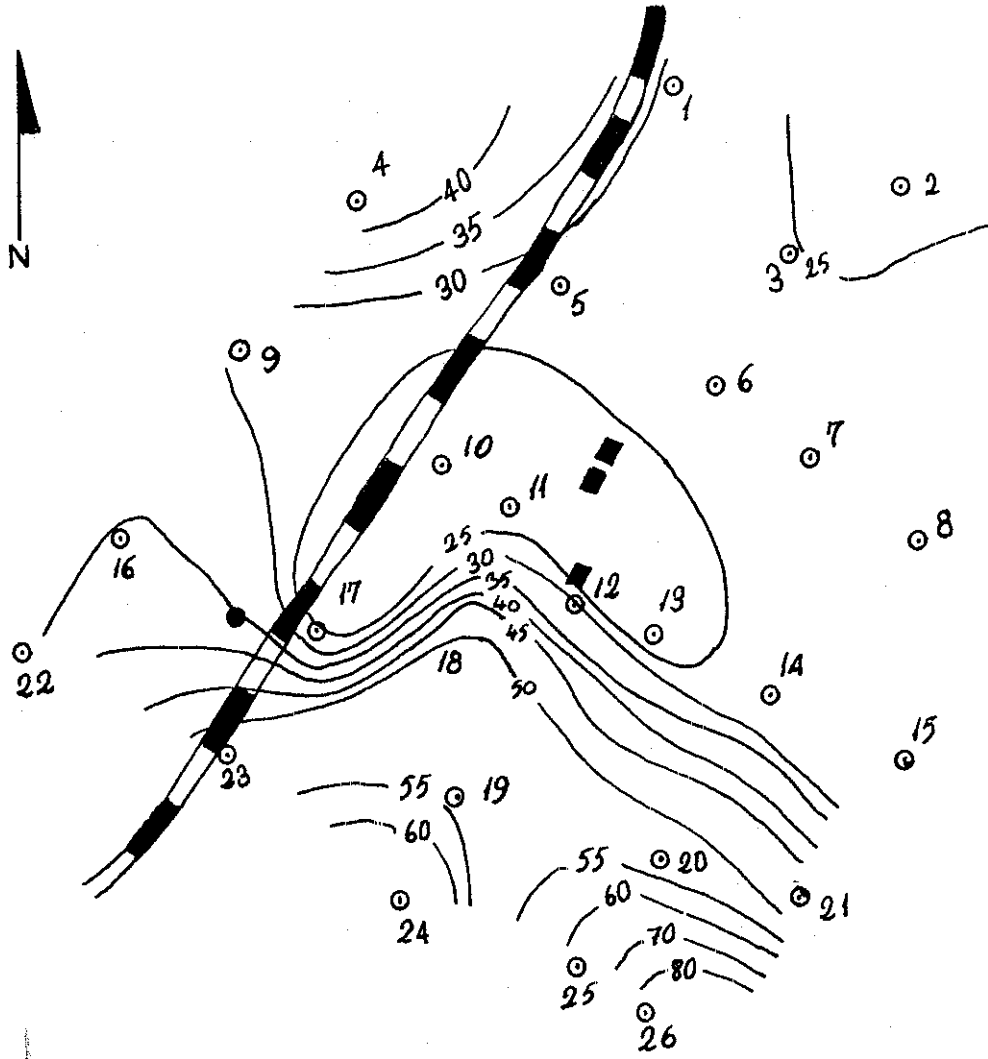
Ölçek: 1/10 000

Şekil 25. h=400 m Görünür rezistivite haritası



Ölçek: 1/10 000

Şekil 26.  $h=500$  m Görünür rezistivite haritası



Ölçek: 1/10 000

Şekil 27.  $h=600$  m Görünür rezistivite haritası

### 3.6.3. PS HARİTA VE KESİTLERİNİN YORUMU

PS potansiyel haritasına bakıldığında, (-)PS ve (+)PS bölgelerinin varlığı dikkati çeker (Şekil 28, 29) (+)PS değerleri sıcak suyun çıkışını ve (-)PS değerleri soğuyan sıcak suyun aşağıya doğru inişini işaret eder. gerek PS gradiyent ve gerekse PS potansiyel profil ölçülerinden hazırlanan grafiklerin hemen hemen benzer oldukları görülür. Bu tür ölçülerde önemli olan, negatif veya negatiften pozitive yön değiştiren noktaların bulunmasıdır. Bu özelliğin Hamamboğazı mevkiinde bulunduğu gözlenmektedir.

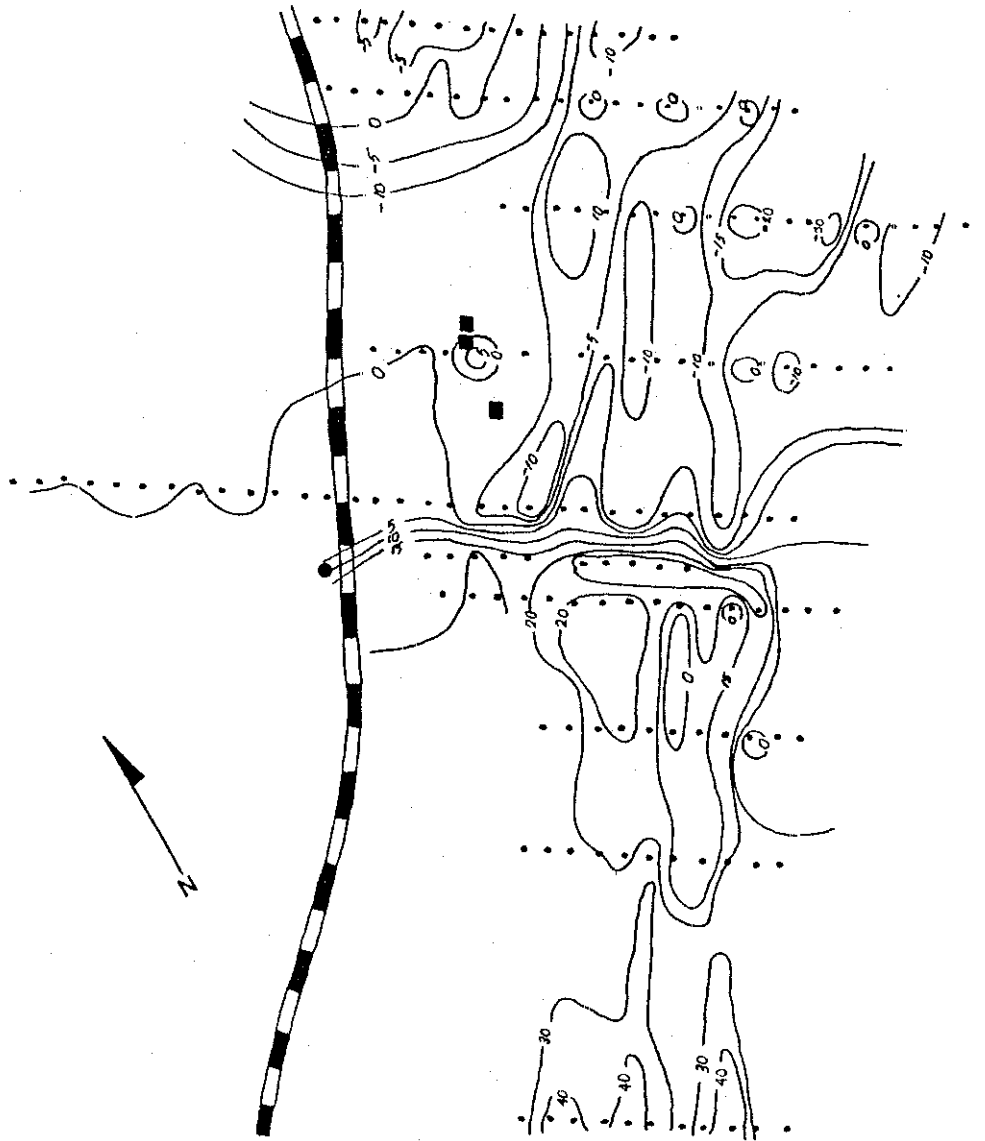
### 3.6.4. IP VE FAZ FARKI ANOMALİLERİNİN YORUMU

IP ve faz farkı anomalileri birlikte yorumlanmaktadır. Genel karakter olarak iri taneli zeminlerde faz farkı küçük, ince taneli zeminlerde ise büyüktür (Şekil 30 dan 48'e kadar olan yirmi şekil).

### 3.7. JEOFİZİK SONUÇ

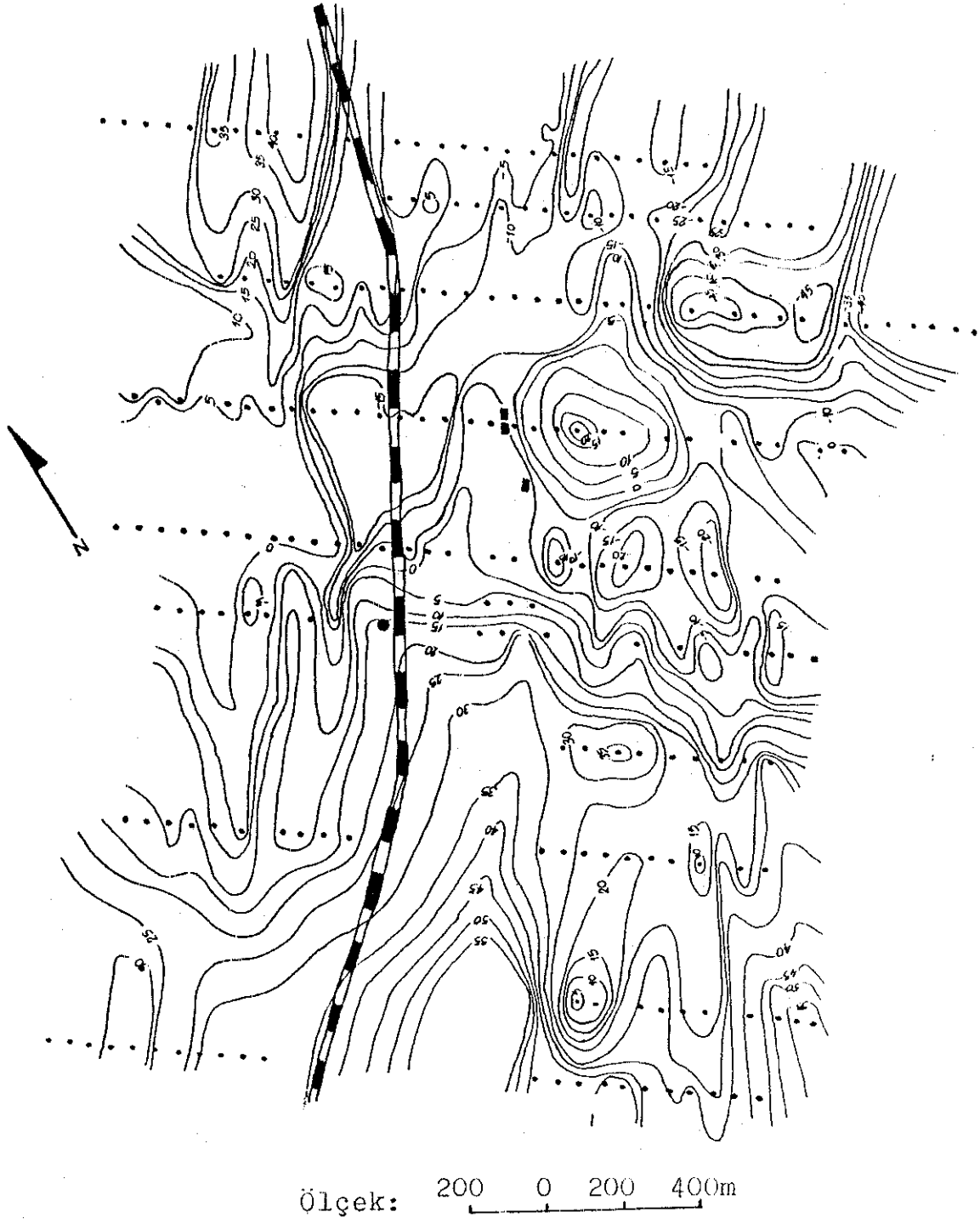
Jeoelektik sondajlardan elde edilen farklı derinliklere ait eş rezistivite haritaları ve yapı kesitleri incelendiğinde 4 farklı seviye ile karşılaşılr. 1 ve 3 numara ile gösterilen seviyeler yüksek rezistiviteli, 2 ve 4 numaralı seviyeler ise düşük rezistiviteli seviyelerdir. Bu kesitlerde, jeolojik çalışmalarla belirlenemeyen faylar görülebilmektedir.

Düşük rezistivite değerlerine sahip konturların bulunduğu bölgeler, genellikle sıcak zonlara tekabül etmektedir. Bu nedenle eş rezistivite haritalarında düşük rezistiviteye sahip 3, 11-12 ve 17-18 numaralı jeoelektrik sondajlarının bulunduğu yerlerden fayları kesecek biçimde yapılacak mekanik sondajların yararlı olacağı düşünülmüştür.

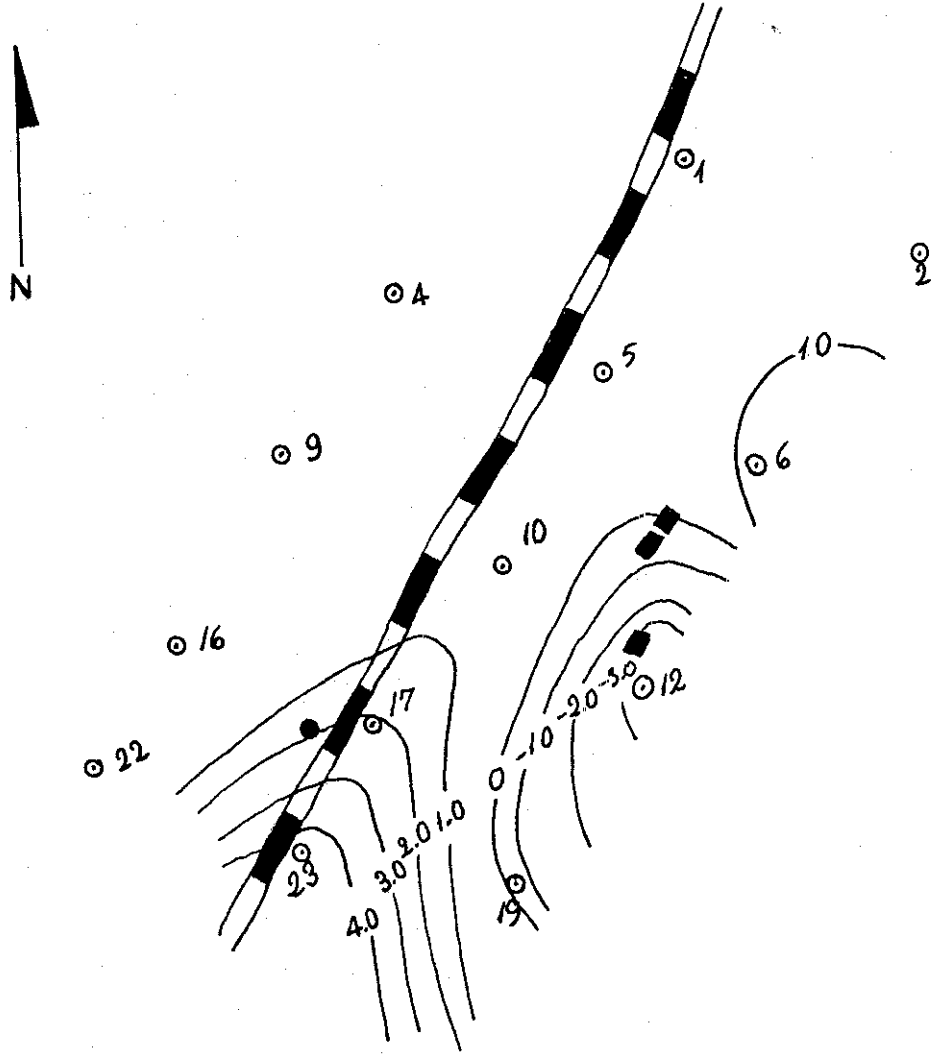


Ölçek: 200 0 200 400m

Şekil 28. SP Gradient kontur haritası

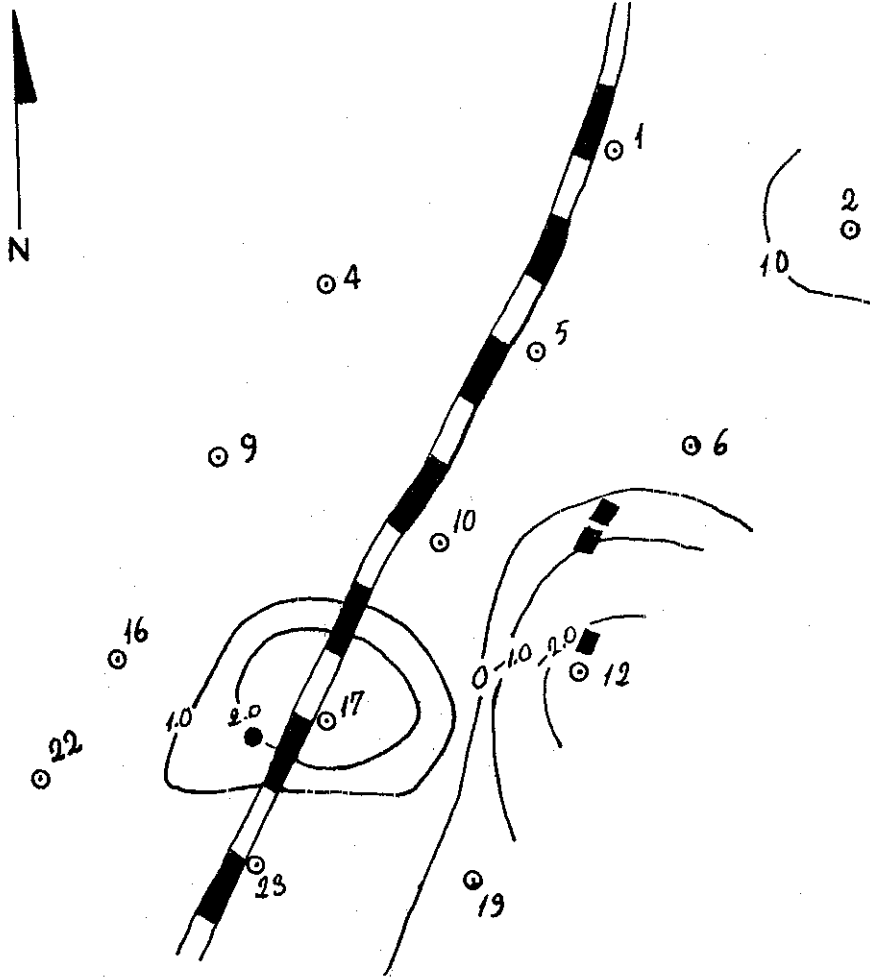


Şekil 29. SP Profil kontur haritası



Ölçek: 1/10 000

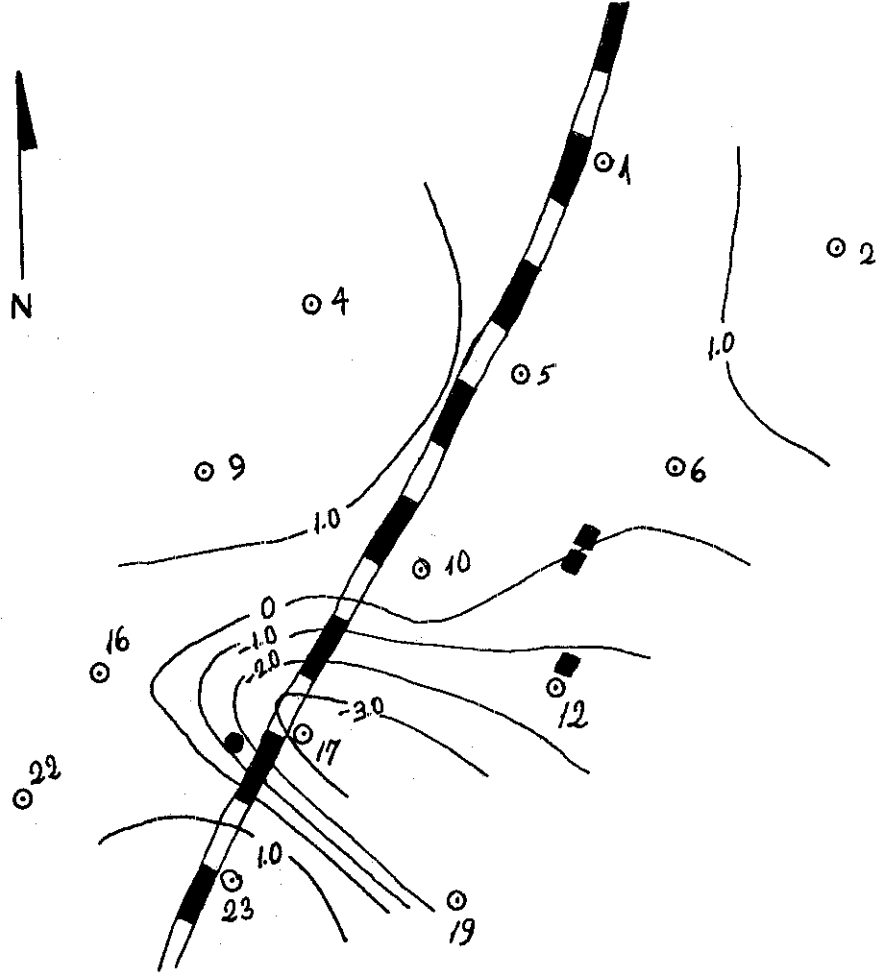
Şekil 30.  $h=60$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-1Hz)



Ölçek: 1/10 000

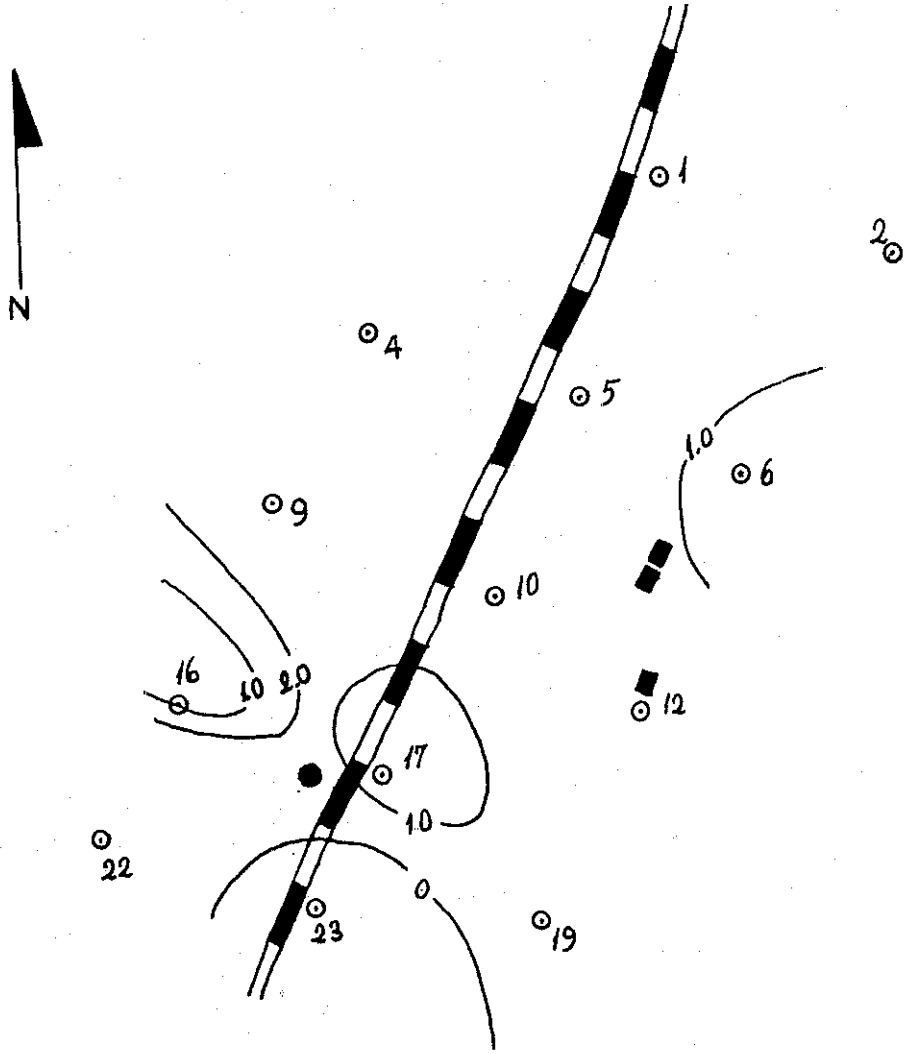
Şekil 31.  $h=100$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-1MHz)





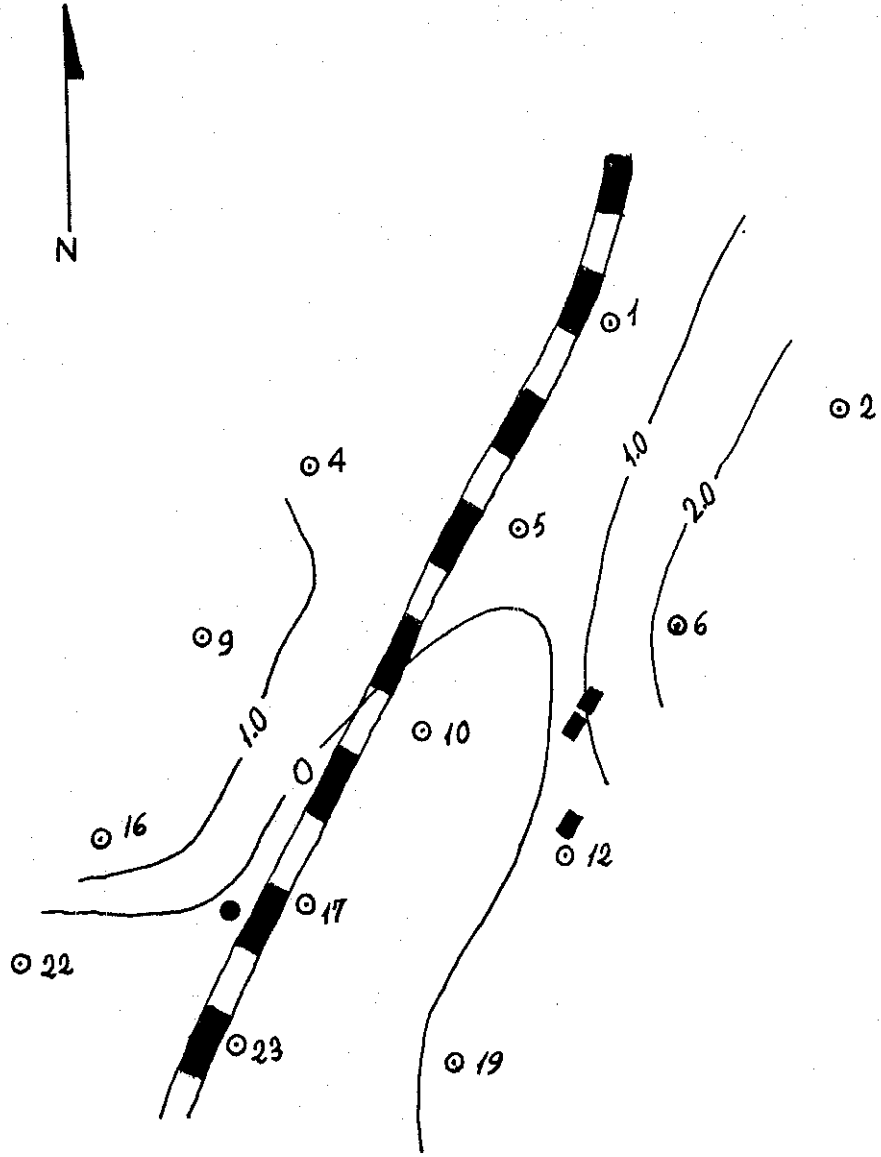
Ölçek: 1/10 000

Şekil 32.  $h=200$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-1Hz)



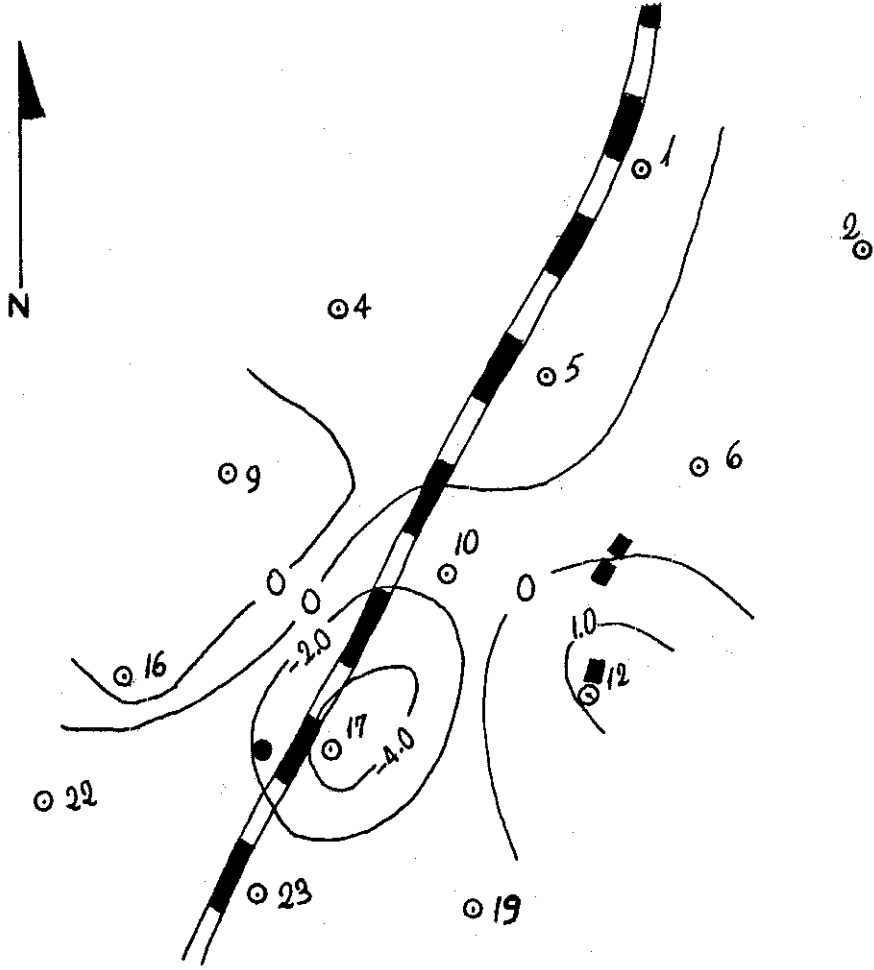
Ölçek: 1/10 000

Şekil 33.  $h=300$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-1Hz)



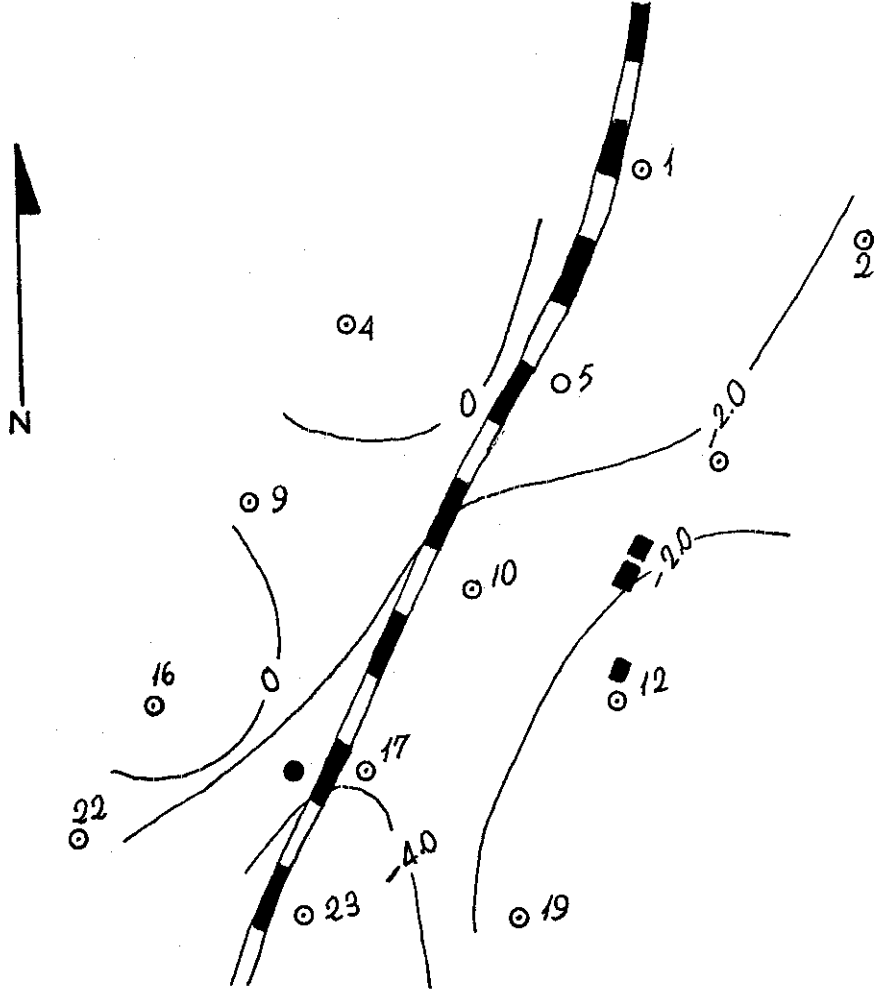
Ölçek: 1/10 000

Şekil 34.  $h=400$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-1Hz)



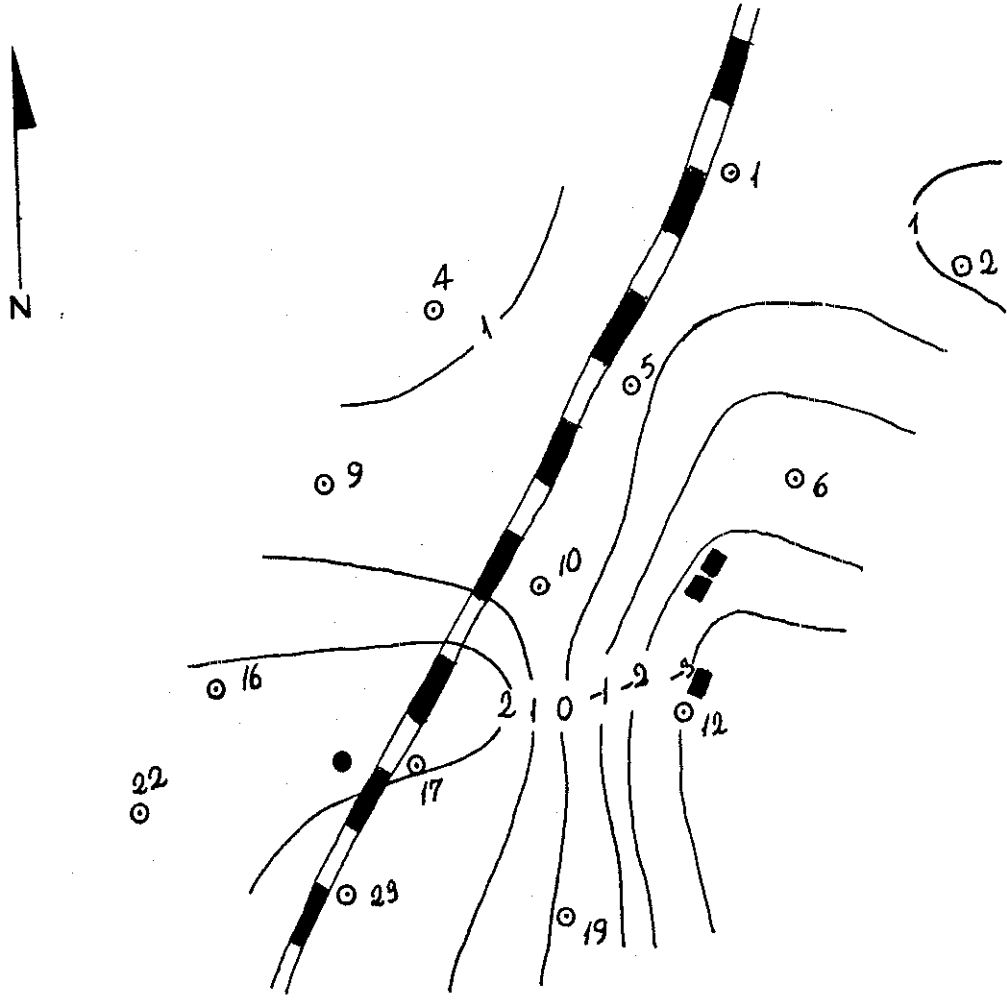
Ölçek: 1/10 000

Şekil 35.  $h=500$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-1Hz)



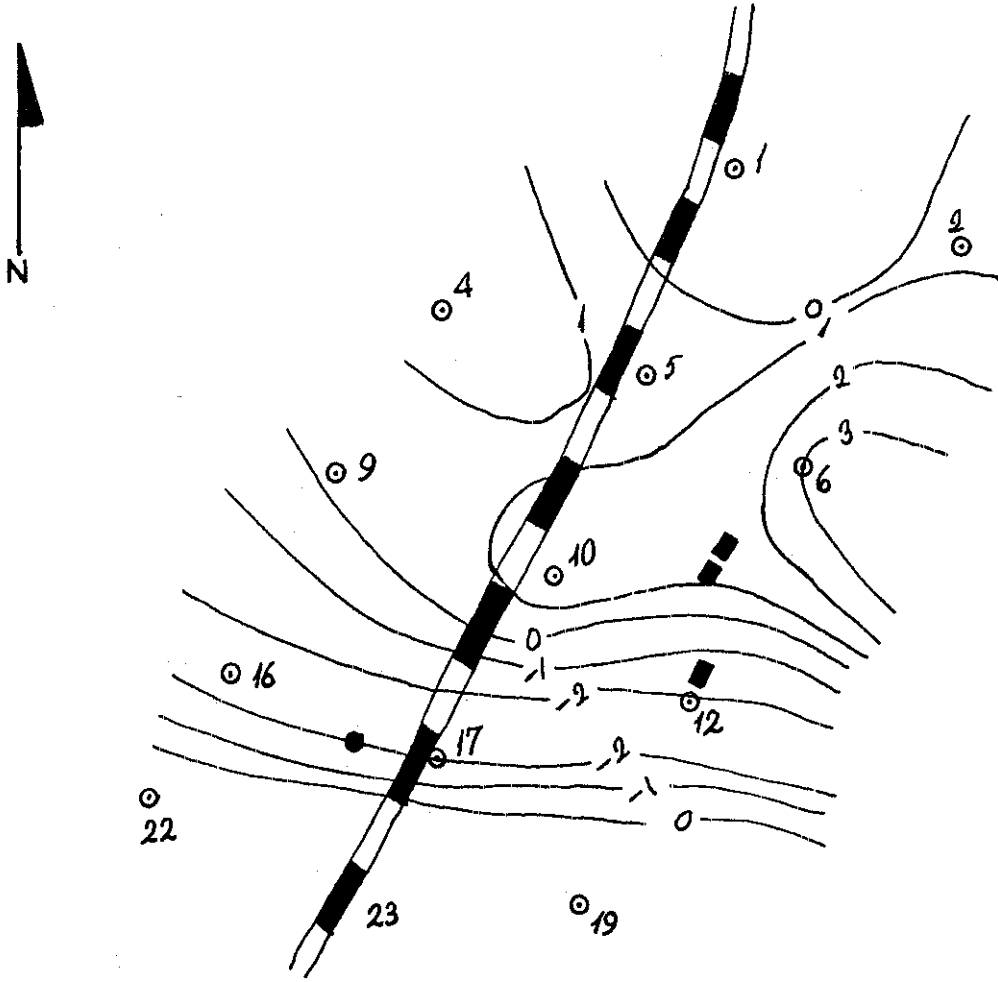
Ölçek: 1/10 000

Şekil 36.  $h=600$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-1Hz)



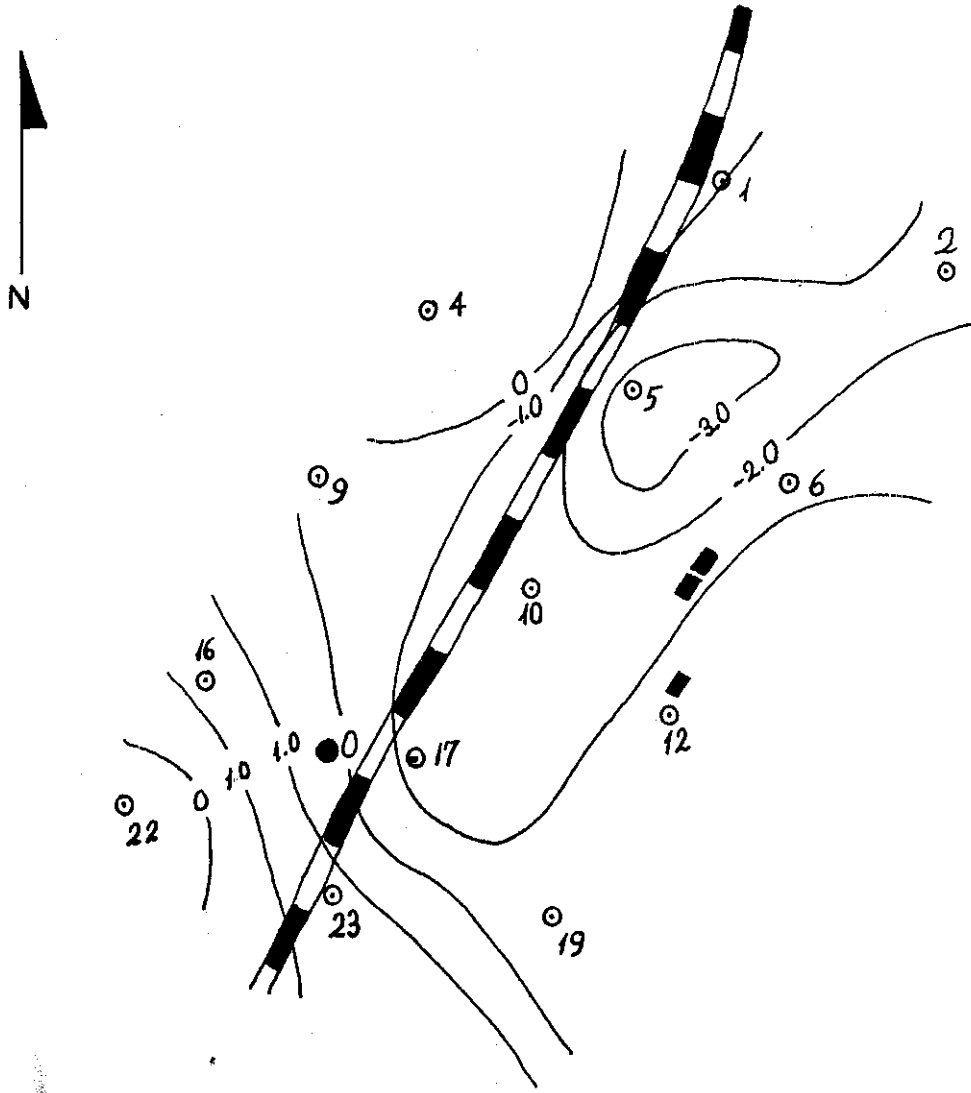
Ölçek: 1/10 000

Şekil 37.  $h=100$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-4Hz)



Ölçek: 1/10 000

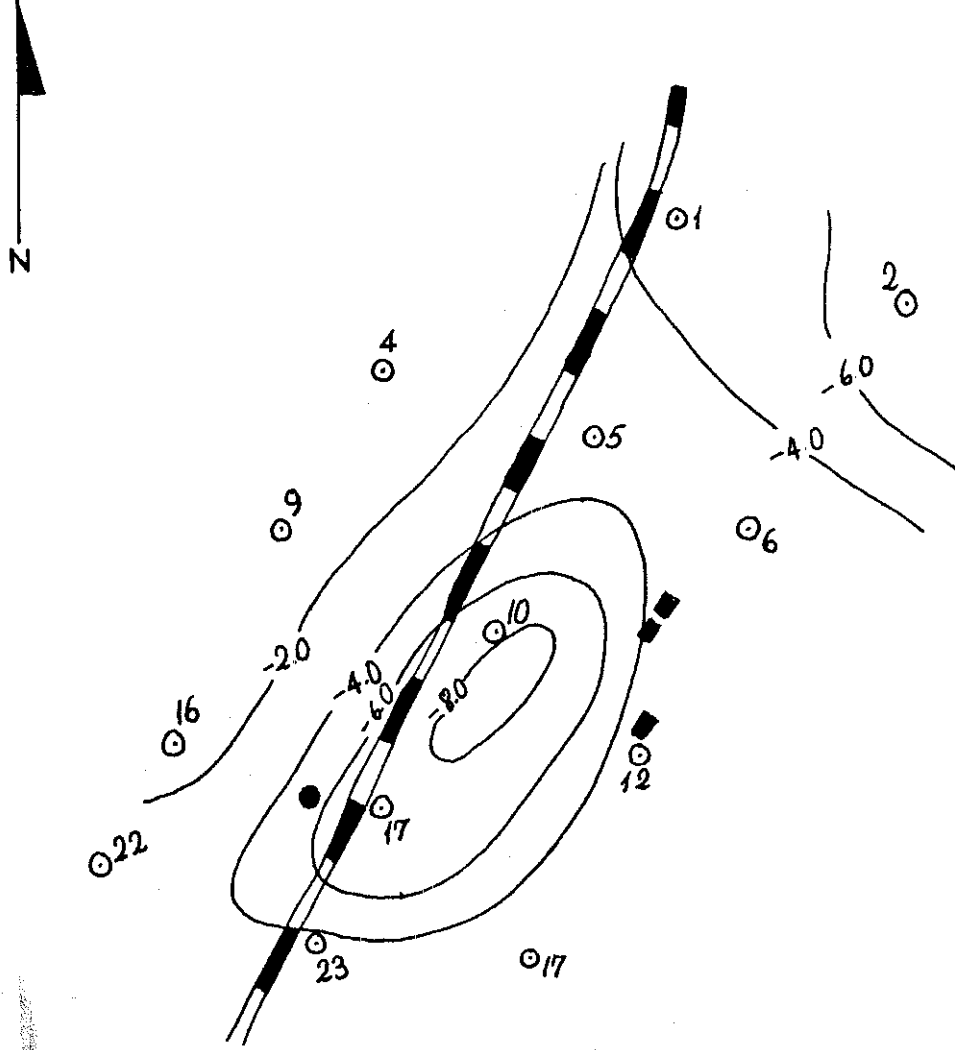
Şekil 38.  $h=200$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-4Hz)



Ölçek: 1/10 000

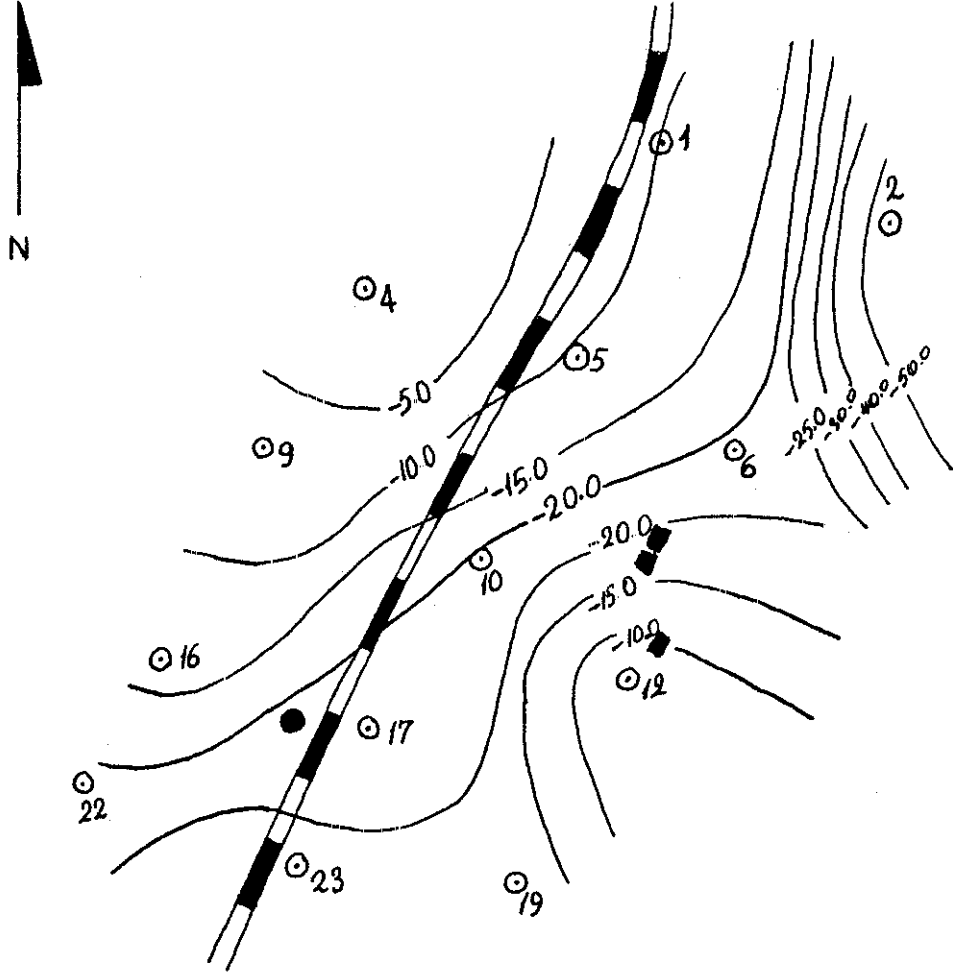
Şekil 39.  $h=300$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-4Hz)





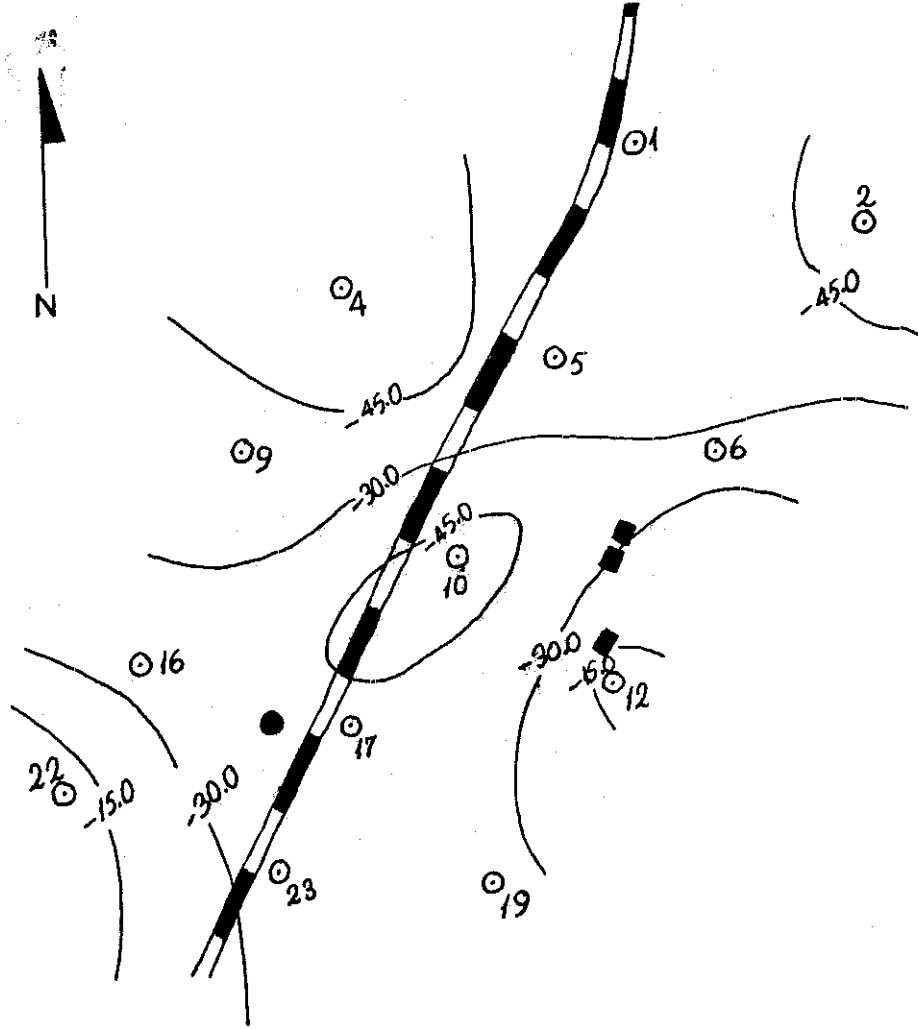
Ölçek: 1/10 000

Şekil 40.  $h=400$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-4Hz)



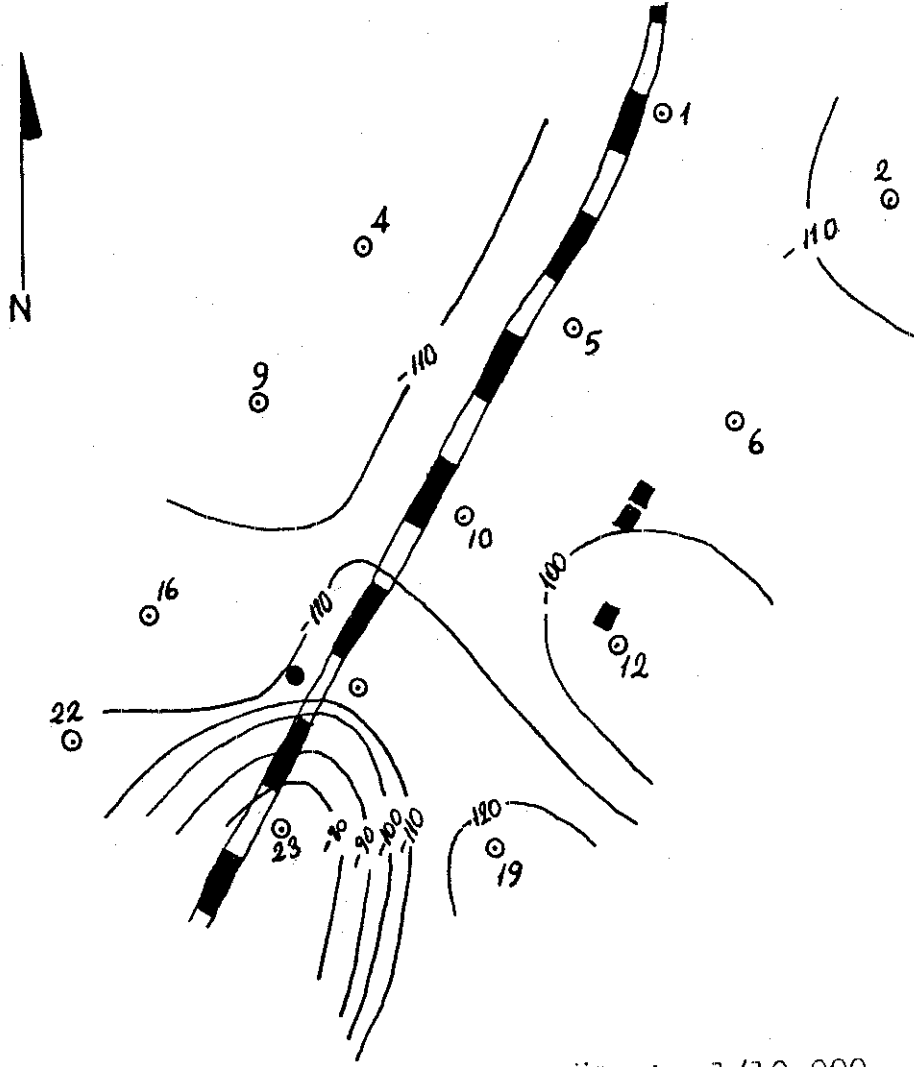
Ölçek: 1/10 000

Şekil 41.  $h=500$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-4Hz)



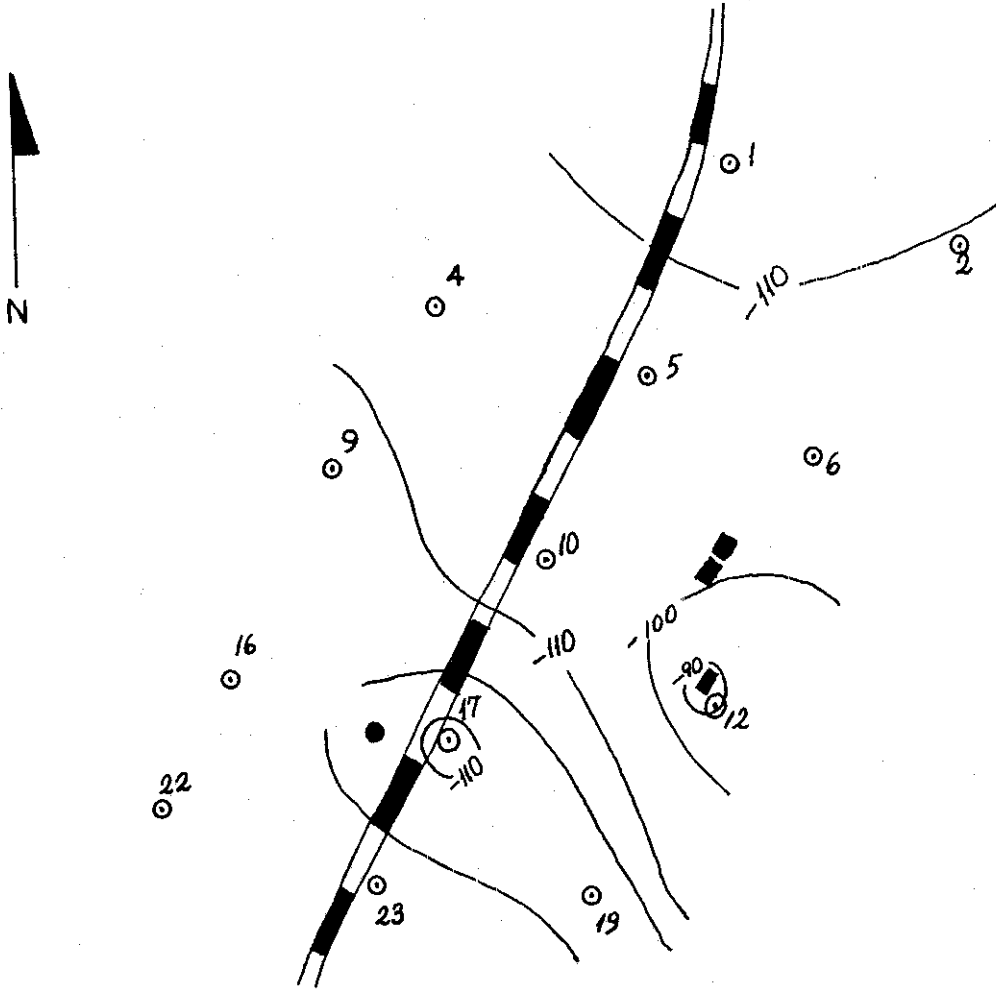
Ölçek: 1/10 000

Şekil 42.  $h=600$  m PFE Kontur haritası (0.25Hz-4Hz)



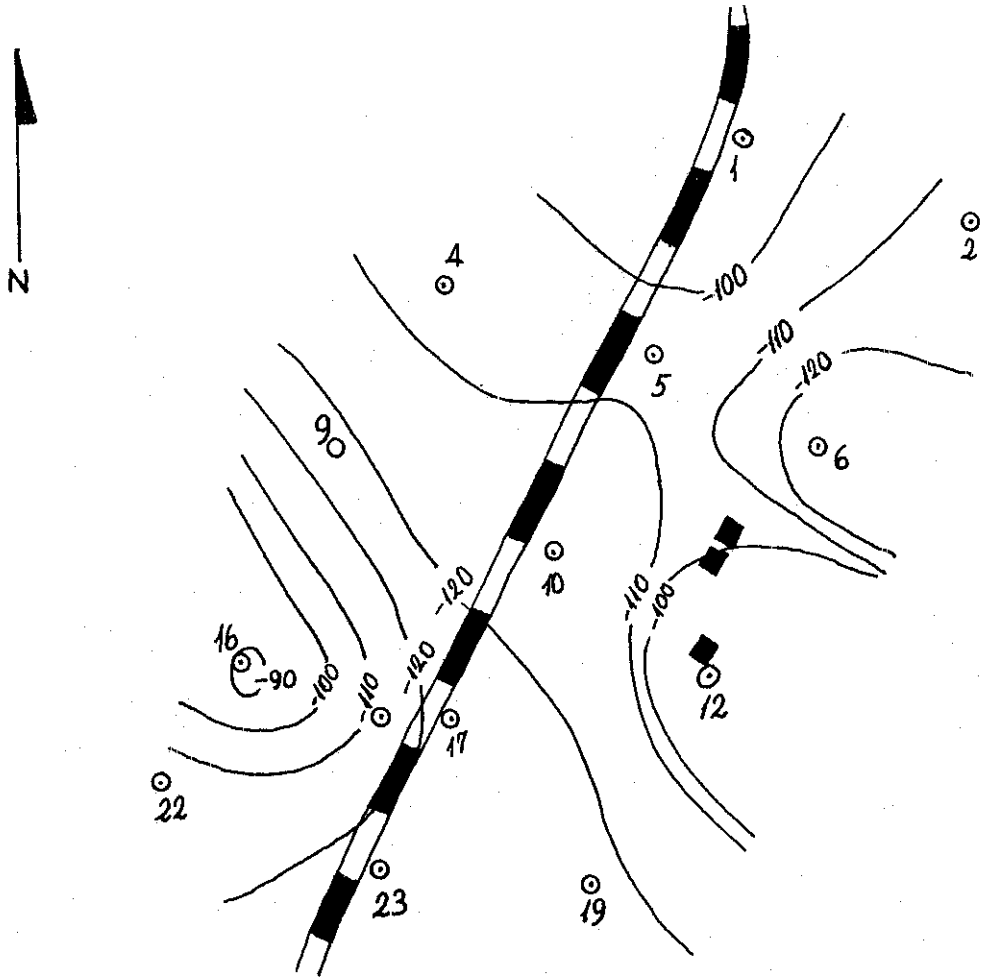
Ölçek: 1/10 000

Şekil 43.  $h=60$  m Faz cevabı



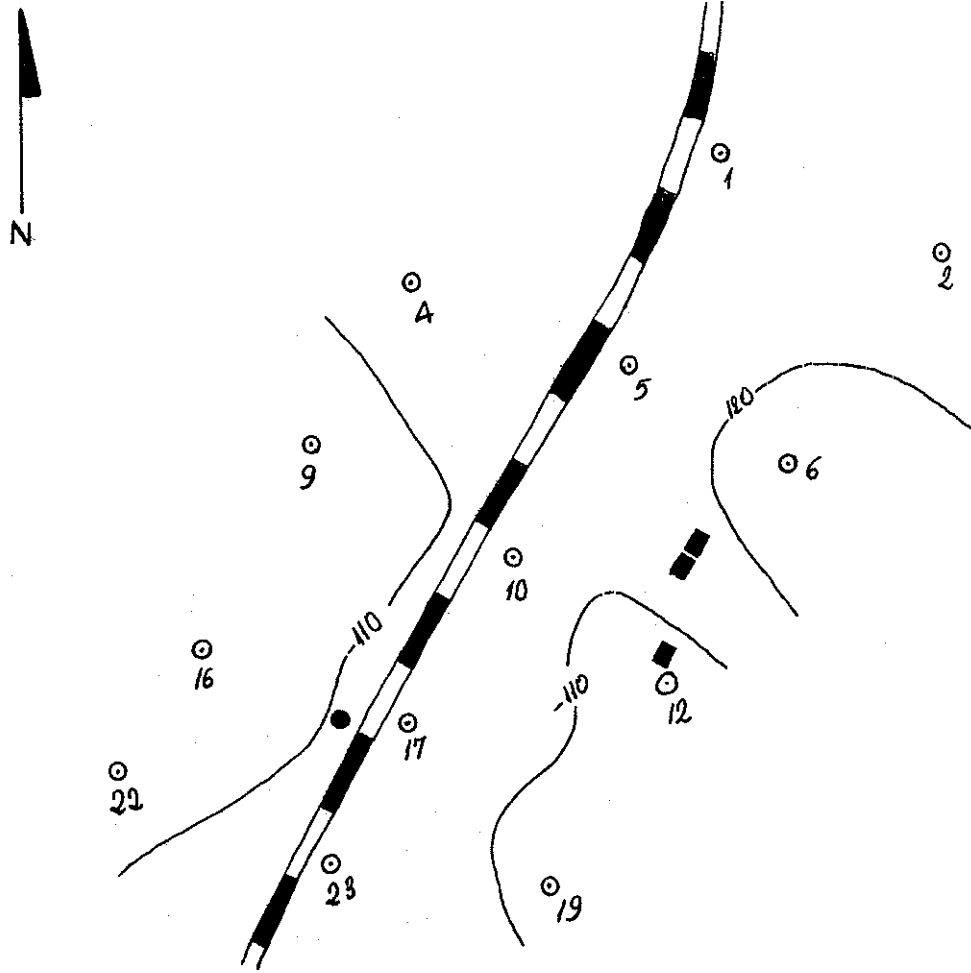
Ölçek: 1/10 000

Şekil 44.  $h=100$  m Faz cevabı



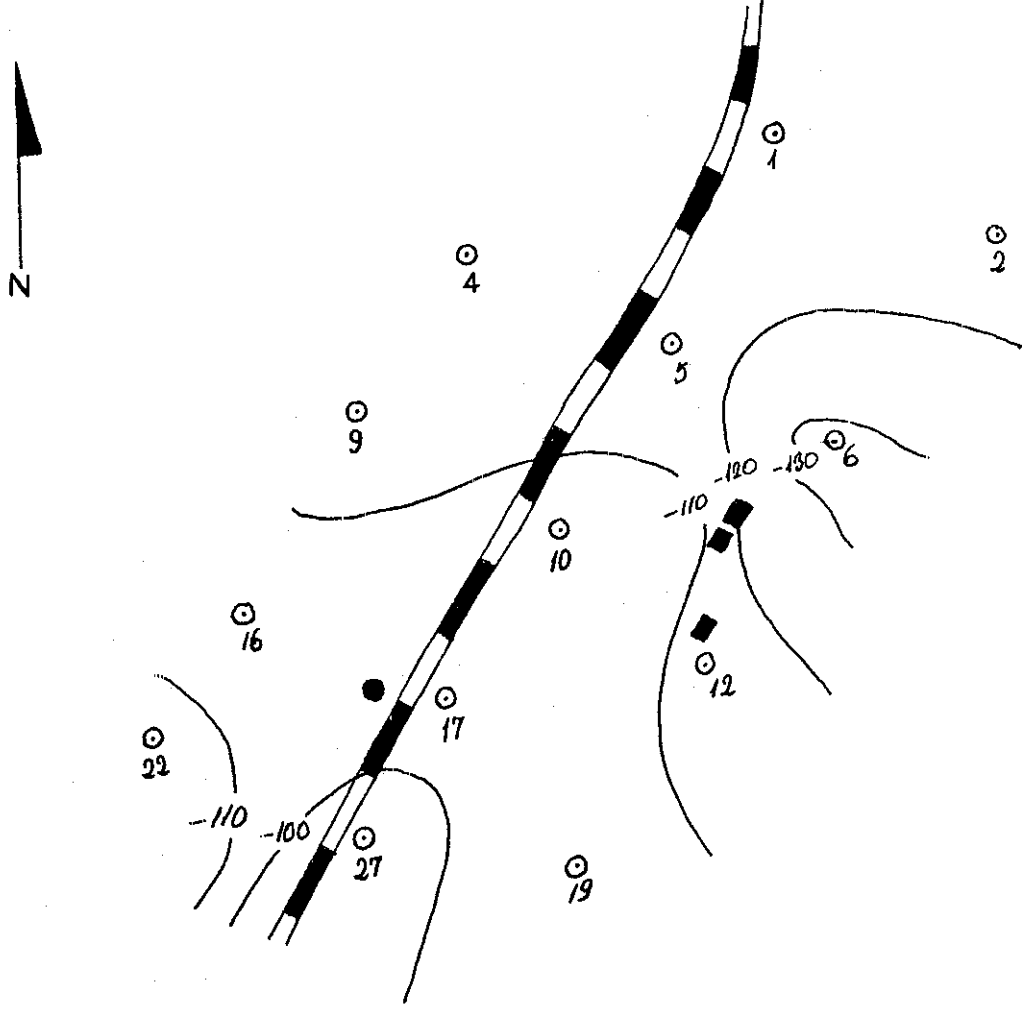
Ölçek: 1/10 000

Şekil 45.  $h=200$  m Faz cevabı



Ölçek: 1/10 000

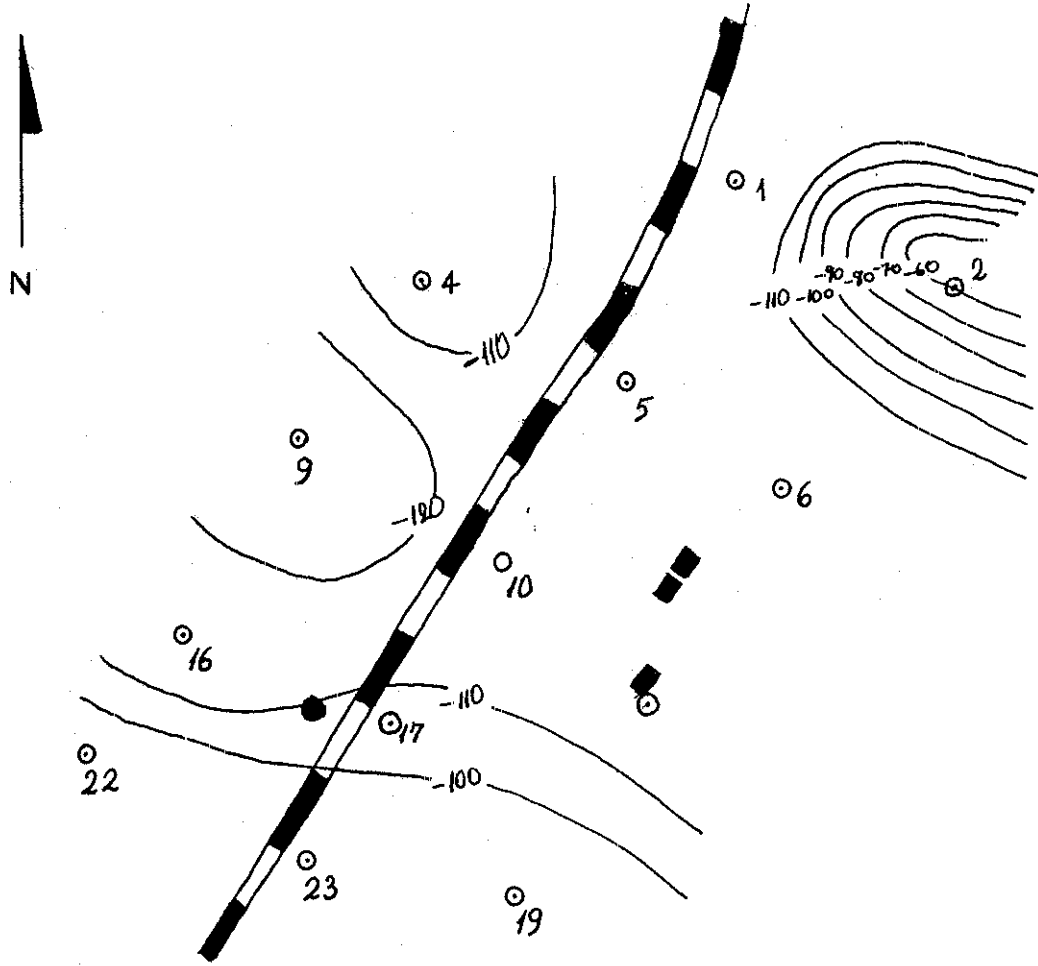
Şekil 46.  $h=300$ m Faz cevabı



Ölçek: 1/10 000

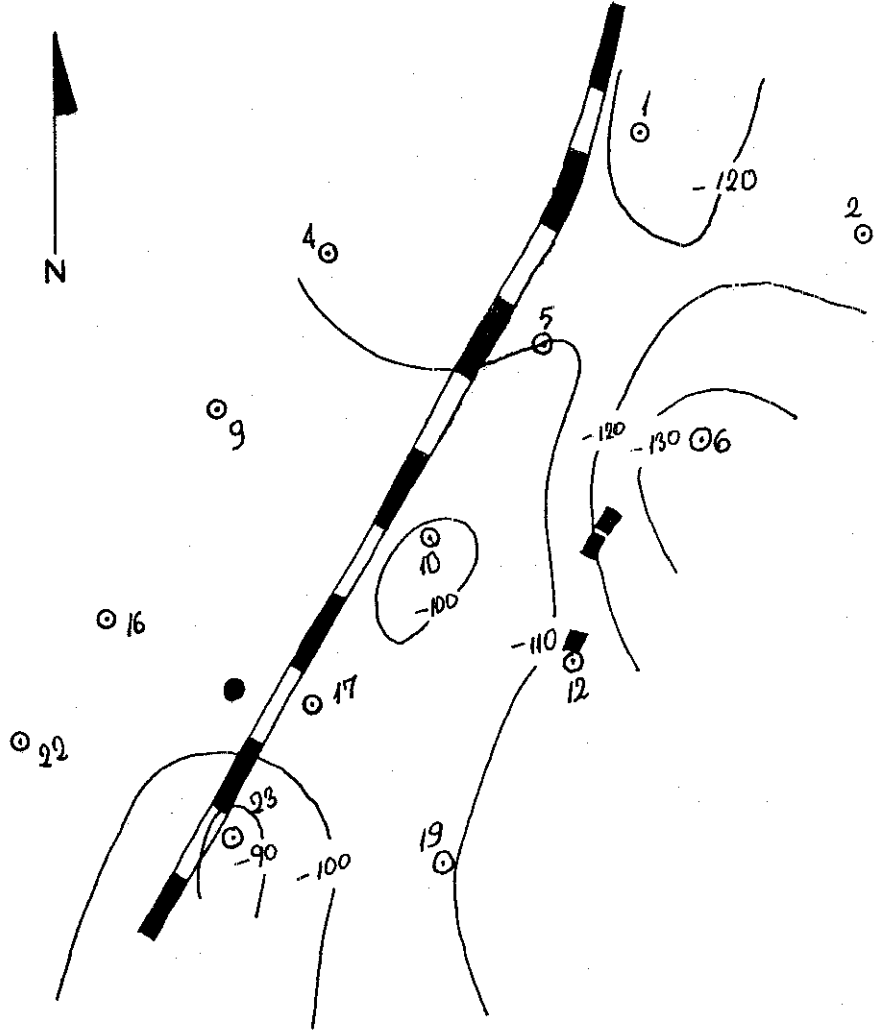
Şekil 47.  $h=400$  m Faz cevabı





Ölçek: 1/10 000

Şekil 48. h=500 m Faz cevabı



ölçek: 1/10 000

Şekil 49.  $h=600$  m Faz cevabı.

### 3.8. JEOLOJİK VE JEOFİZİK ÇALIŞMALARIN KORELASYONU İLE YAPILAN GENEL YORUM

Jeolojik ve jeofizik etütler sonucu elde edilen tüm harita ve kesitlerle birlikte öz direnç, PS, IP ve faz farkı çalışmaları göz önüne alındığında; anomalilerin ve sahada görülen sıcak su kaynaklarının, fayların kesim bölgelerinde olduğu görülür. Bu kesimlerde (+) PS değerlerinin düşük ve yüksek rezistiviteli konturların arasında yer alışı, sıcak suyun aktif olduğu bölgeyi daha iyi belirler.

Jeotermal bir sistemin oluşabilmesi için gerekli olan unsurları Hamamboğazı Kaplıcasında ve yakın çevresinde görmek mümkündür.

Çalışma alanı ve yakın çevresi, Orta Miyosen'den başlayarak Kuvaterner'e kadar devam eden çok evreli volkanizmaya sahne olmuştur. Litostratigrafi dikme kesitinde de gözlenen ve sıcaklıklarını büyük ölçüde koruyan bu genç sokulumlar, Karacakaya Tepe ve Morukalan Tepe civarında gözlenir ve sıcak suların en önemli ısı kaynağı özelliğindedirler.

Eş rezistivite ve yapı kesitlerinde (Şekil 15, 16, 17, 18) 1 numara ile gösterilen ve en altta yer alan yüksek rezistiviteli seviye Menderes Masifi Metamorfitlerinin temelini oluşturan gneyslar birinci hazne kayadır.

3 numaralı yüksek rezistiviteli ve Orta Miyosen yaşlı, gözenekliliği ve geçirgenliği yüksek, değişik bileşenlerden oluşan çakıltaşları ise ikinci hazne kayadır.

4 numaralı seviye, Miyosen yaşlı, siltli, killi ve marnlı seviye olup, çok düşük geçirgenliğe sahip olduğundan iyi bir örtü kaya niteliğindedir.

1 ve 3 numaralı seviyeler arasında yer alan 2 numaralı düşük rezistiviteli seviye, örtü kaya niteliğinde olan şistli seviyedir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, jeotermal enerji araştırmalarında gerek jeolojik, gerekse jeofizik çalışmalar yalnız başına yetersiz ve bir sonuç vermekten uzak kalmaktadır. Jeolojik çalışmalarla elde edilen bilgilerin eksikliği, jeofizik verilerle tamamlanmakta ve ancak jeoloji-jeofizik işbirliği ile jeotermal alanlardaki problemler aydınlığa kavuşmaktadır.

4.2. Eş rezistivite haritalarında en düşük rezistiviteli bölge, 12 numaralı elektrik sondajı civarındadır. Ayrıca, 300 ve 400 metre derinlikteki eş rezistivite haritalarında 11 numaralı jeoelektrik sondajı da düşük rezistiviteli zona dahil olmaktadır. Travertenlerin üzerinde ve eteğinde yer alan bu 11 ve 12 numaralı jeoelektrik sondajlarının çevresinde PS değerlerinin, geniş bir alanda sıfır civarında bir dönüm noktasına sahip olduğu görülür. Dolayısıyla 11 ve 12 numaralı jeoelektrik sondajlarının arasında ve aradaki fayı kesecek şekilde bir mekanik sondaj uygun olacaktır.

4.3. 17 numaralı jeoelektrik sondajı civarında eş rezistivite haritalarında düşük rezistiviteli zon yer alır. Ayrıca burada PS, (+) değerdedir. Diğer bölgelerden farklı olarak, özellikle bu bölgede, soğuyan sıcak suyun, minerallerce daha zengin olan sızıntılarının ortamda yarattıkları kimyasal özellik nedeniyle, IP ve faz farkı değerleri büyüktür. Bu özellik, sıcak su rezervuarlarının metalik mineral depozitesi bakımından en zengin olduğu kesimini işaret eder. 17 ve 16 numaralı jeoelektrik sondajları arasından fayı kesecek şekilde bir mekanik sondaj uygun olacaktır.

4.4. 6 numaralı jeoelektrik sondajının civarında PS, (+) değerdedir. Rezistivite değerleri de düşüktür. Burada yapılacak mekanik sondaj yararlı olabilecektir.

KAYNAKLAR

- AKKUŞ, F.A., 1983, Jeotermal Enerji ve Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Bilim ve Teknik (TÜBİTAK), C. 16, S. 183, Şubat 1983, Sf. 1-5, Mars Tic. San. A.Ş. Matbaası, Ankara.
- DIZIOĞLU, M.Y., KEÇELİ, A., 1981, Elektrik ve Elektromagnetik Prospeksiyon Yöntemleri, İstanbul Üniversitesi S. 2817, Fen Fak. No. 157.
- EKİNGEN, A., 1973, Jeotermal Alan Aramalarında Gravimetrik Prospeksiyon ve Türkiye'deki Uygulaması, Türkiye 1. Jeotermal Enerji Simpozyumu Tebliğler, Sf. 60-74, MTA Enstitüsü Matbaası, Ankara.
- ERENTÖZ, C., Jeotermal Enerji Araştırmaları Üzerine Bazı Düşünceler, Türkiye 1. Jeotermal Enerji Simpozyumu Tebliğler, Sf. 17-20, MTA Enstitüsü Matbaası, Ankara.
- GÜLAY, A., 1973, Afyon-Omer-Gecek Jeotermik Enerji, Etüt ve Sonuçları, Türkiye 1. Jeotermal Enerji Simpozyumu Tebliğler, Sf. 80-88, MTA Enstitüsü Matbaası, Ankara.
- GÜLAY, O., 1981, Jeotermal Alan Aramalarında Gravite Yönteminin Uygulanması, Yeni ve Yenilenebilir Enerji kaynakları Semineri EİE Genel Direktörlüğü Matbaası, Ankara.
- ŞAHİNCİ, A., 1986, Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi ME/JEO-86 EY, İzmir.
- ŞAMILGİL, E., 1983, Hidrojeosiminin, Jeotermik Enerji Araştırılmasındaki Rolü, Türkiye 1. Jeotermal Enerji Simpozyumu Tebliğler, Sf. 33-46, MTA Enstitüsü Matbaası, Ankara.
- TEZCAN, K., 1973, Sarayköy-Kızıldere Jeotermik Enerji Sahasında Kuru Buhar Üretim İmkânı, Türkiye 1. Jeotermal Enerji Simpozyumu Tebliğler, Sf. 89-100, MTA Enstitüsü Matbaası, Ankara.