

JEOFİZİK

CİLT 5, SAYI 1 / MARCH 1991

VOL. 5, NO. 1 / MARCH 1991

Alanya - Mersin Arası Denizel Bölgedeki Genç Tektonik Yapılar

Sungu L. GÖKÇEN, Gilbert KELLING,
Atilla ULUG, Nuran GÖKÇEN ve Erdeniz ÖZEL

Deniz Tabanının Topoğrafik Özelliklerini Araştırmak İçin Akustik Bir Yaklaşım:

Yanı Tarayan Sonar Sistemi
Mahmut OKYAR, M. Nuri BODUR, Vedat EDİGER,
Kemal TİMUR ve Mustafa ERGİN

Antalya'nın Zemin Sorunları ve Jeofizik Yöntemlerle Çözümleri

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

Jeofizik Yöntemlerle Heyelan Araştırmaları Osman DEMİRAG

Doğal Gerilim Ölçümleri ile Jeolojik Haritaların Değerlendirilmesi İbrahim ONUR ve Fethi ERGÜDER

Uşak - Banaz Jeotermal Alanının Jeo elektrik Yöntemlerle Araştırılması

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

Yanal Süreksizliklerin Doğal Gerilim Açma Ölçümleri ile Saptanması İbrahim ONUR

Neotectonic Structural Features in the Alanya-Mersin Shelf Area (Southern Turkey)

Sungu L. GÖKÇEN, Gilbert KELLING,
Atilla ULUG, Nuran GÖKÇEN and Erdeniz ÖZEL

An Acoustical Approach for Determining the Topographic Features of the Sea Floor: Side Scan Sonar System

Mahmut OKYAR, M. Nuri BODUR, Vedat EDİGER,
Kemal TİMUR and Mustafa ERGİN

The Ground Problems of Urban Area in Antalya and Their Resolutions by Means of Geophysical Methods

A. Ergün TÜRKER, D. Ali KEÇELİ,
Züheyr KAMACI and M. Ali KAYA

Landslide Investigations by Geophysical Methods Osman DEMİRAG

Evaluation of Geological Maps by Using Self Potential Measurements İbrahim ONUR and Fethi ERGÜDER

The Exploration of Uşak - Banaz Geothermal Area by Geoelectrical Methods

A. Ergün TÜRKER, D. Ali KEÇELİ,
M. Ali KAYA and Züheyr KAMACI

Determination of Lateral Discontinuities Using Self Potential Sounding Measurements İbrahim ONUR



TMMOB JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI
THE CHAMBER OF GEOPHYSICAL ENGINEERS OF TÜRKİYE

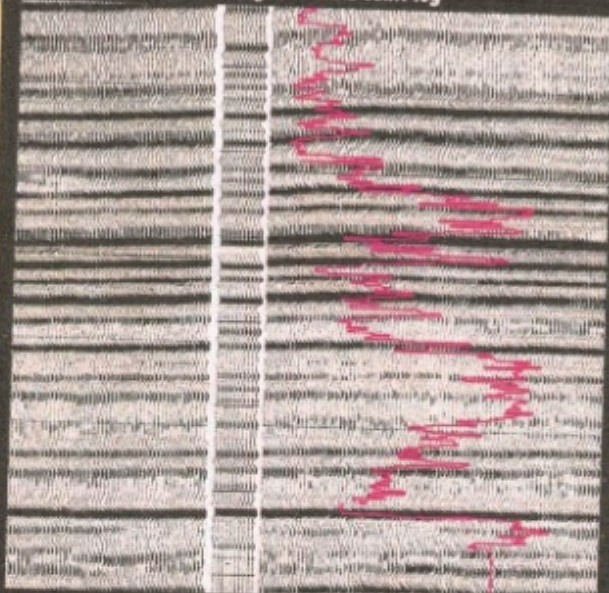


A FULL RANGE OF EXPLORATION AND PRODUCTION SERVICES

▼ Reservoir pressure simulation



▼ Seismic section incorporating a synthetic seismogram and a sonic log

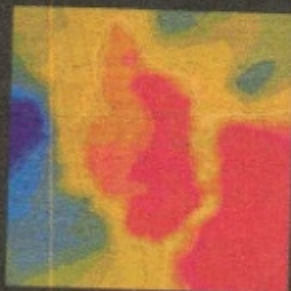


▼ Geological model



▲ Stratigraphic inversion

► Reservoir top mapped from a 3D block



▲ Magnetic field reduced to the pole

◀ The INTEGRAL exploration and production workstation



CGG's MULTI-DISCIPLINARY EXPERTISE

To contribute effectively to oil companies' E&P successes, leading service companies need to master many varied fields of geoscience. In order to meet these requirements, CGG has developed new techniques and services built upon its well established know-how:

- efficient airborne and surface geophysical surveying,
- quality 2D and 3D seismic data acquisition and processing,
- innovative borehole seismic and wireline logging techniques,
- integrated E&P workstation and data processing software,
- advanced reservoir consultancy services.

This unique multi-disciplinary mix

- focuses R&D activity and helps identify technology gaps,
- improves product-user matching and servicing quality,
- capitalizes on inter-disciplinary data dependency and management,
- integrates data acquisition, processing and interpretation.

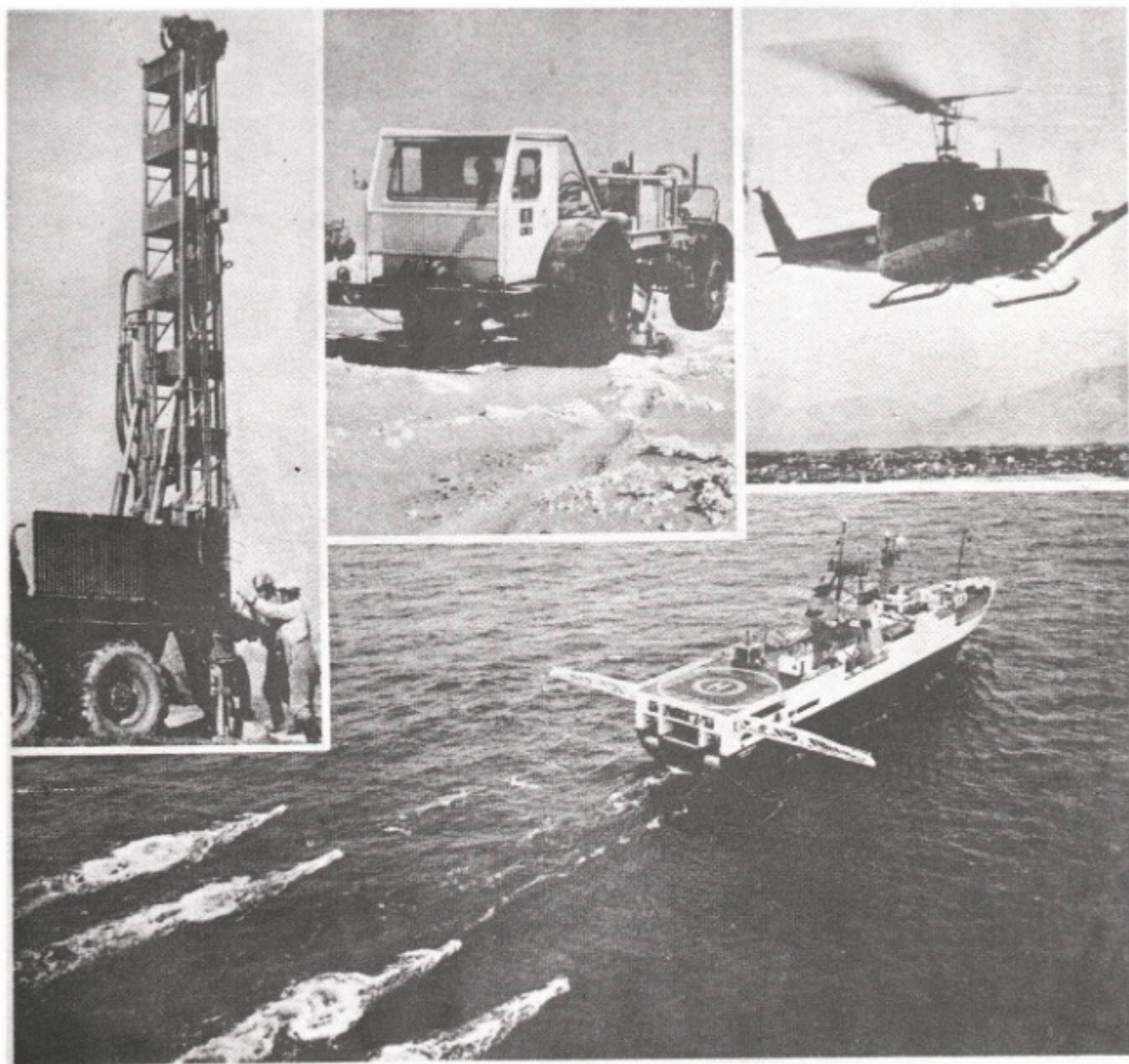
From field data acquisition to your final reservoir or production model, CGG provides precise, timely and cost-effective services that help you maximize your return on E&P investment.

EXPLORATION AND PRODUCTION SERVICES 1, RUE LEON MIGAUX - 91341 MASSY CEDEX FRANCE



EXPLORATION

IN SEARCH OF TOMORROW'S ENERGY



PRAKLA-SEISMOS AG

PHONE: 511/6420
TELEX: 922419 + 922847 + 923250
TELEFAX: 647 68 60



BUCHHOLZER STR. 100
P.O. BOX 510530
D-3000 HANNOVER 51

FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY



JEOFİZİK

TMMOB JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI SÜRELİ YAYINI
JOURNAL OF THE CHAMBER OF GEOPHYSICAL ENGINEERS OF TÜRKİYE

TMMOB JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI

Adına Sahibi ve Sorumlu
Yazı İşleri Müdürü
Osman DEMİRAG

YÖNETİM KURULU Executive Committee

Osman DEMİRAG
A. Uğur GÖNÜLALAN
Caner KOÇYILDIRIM
Cemal KAYA
M. Ali AK
İmam ÇELİK
Cemil KAVUKÇU

YAYIN KURULU Publication Committee

A. Tuğrul BAŞOKUR
Nuran ERGİN
Sinan KAVUKÇU
Gönül KILIÇ
Arzu SEVİNÇ
Emin U. ULUGERGERLİ

TMMOB JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI

Mithatpaşa Cad. 45/15 P.K. 255
Kızılay - ANKARA - TÜRKİYE
Tel : (4) 135 13 79

BASILDIĞI YER

MAYA Matbaacılık Yayıncılık Ltd. Şti.
Tel : 118 01 53 - 125 25 95 - Ankara

DİZGİ

ARTI Ltd. Şti.
Tel : 118 63 80 Fax : 125 08 37 - Ankara

YILDA İKİ KEZ MART VE EYLÜL AYLARINDA YAYINLANIR.

Published Twice a Year
in March and September

CİLT 5, SAYI 1/MART 1991 VOL. 5, NO. 1/MARCH 1991

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ALANYA - MERSİN ARASI DENİZEL BÖLGEDEKİ GENÇ TEKTONİK YAPILAR	3
Neotectonic Structural Features in the Alanya-Mersin Shelf Area (Southern Turkey) Sungu L. GÖKÇEN, Gilbert KELLING, Atilla ULUĞ, Nuran GÖKÇEN ve Erdeniz ÖZEL	
DENİZ TABANININ TOPOĞRAFİK ÖZELLİKLERİNİ ARAŞTIRMAK İÇİN AKUSTİK BİR YAKLAŞIM: YANI TARAYAN SONAR SİSTEMİ	13
An Acoustical Approach for Determining the Topographic Features of the Sea Floor: Side Scan Sonar System Mahmut OKYAR, M. Nuri BODUR, Vedat EDİGER, Kemal TİMUR ve Mustafa ERGİN	
ANTALYA'NIN ZEMİN SORUNLARI VE JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ÇÖZÜMLERİ	27
The Ground Problems of Urban Area in Antalya and Their Resolutions by Means of Geophysical Methods A. Ergün TÜRKER, D. Ali KEÇELİ, Züheyr KAMACI ve M. Ali KAYA	
JEOFİZİK YÖNTEMLERLE HEYELAN ARAŞTIRMALARI	43
Landslide Investigations by Geophysical Methods Osman DEMİRAG	
DOĞAL GERİLİM ÖLÇÜMLERİ İLE JEOLojİK HARİTALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	51
Evaluation of Geological Maps by Using Self Potential Measurements İbrahim ONUR ve Fethi ERGÜDER	
UŞAK - BANAZ JEOTERMAL ALANININ JEOELEKTRİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI	59
The Exploration of Uşak - Banaz Geothermal Area by Geoelectrical Methods A. Ergün TÜRKER, D. Ali KEÇELİ, M. Ali KAYA ve Züheyr KAMACI	
YANAL SÜREKSİZLİKLERİN DOĞAL GERİLİM AÇMA ÖLÇÜMLERİ İLE SAPTANMASI	75
Determination of Lateral Discontinuities Using Self Potential Sounding Measurements İbrahim ONUR	
ODA ÜYELERİ	82

ALANYA - MERSİN ARASI DENİZEL BÖLGEDEKİ GENÇ TEKTONİK YAPILAR

Neotectonic Structural Features in the Alanya - Mersin Shelf Area (Southern Turkey)

Sungu L. GÖKÇEN*, Gilbert KELLING**, Atilla ULUĞ*, Nuran GÖKÇEN* ve Erdeniz ÖZEL*

ÖZET

Bu çalışma Alanya - Mersin kıyı ötesi sismik çalışmaların bulgularını kapsamaktadır. Jeofizik çalışmalar temel alınarak; doğuda Ecemiş Fay Kompleksi ve batıda Anamur Kormakiti yapısal yükselisi tarafından doğu, orta ve batı kesim birimleri olarak bölge üç yapısal alt havzaya bölünebilir.

Araştırmanın sonuçlarının gösterdiğine göre "Ecemiş Kompleksi" bölgenin aktif bir fayını temsil etmektedir.

ABSTRACT

This study summarizes findings of seismic surveys carried out in the Alanya-Mersin off - shore region. On the basis of results obtained from geophysical surveys the region can be subdivided into three structural subbasins namely eastern, central and western units separated by Ecemiş Fault Complex in the east and Anamur Kormakiti structural high in the west.

Results of this survey also showed that "Ecemiş Complex" is an active fault of the region.

GİRİŞ

Bilindiği gibi, Güney Türkiye'nin kara ve deniz kesimi, Doğu Akdeniz ve Levant'ın jeolojik evrimi açısından büyük önem taşır. Yazarların Çukurova Tersiyer havzasında yapmış oldukları uzun süreli bölgesel sedimanter - jeolojik araştırmaların sonuçları havzanın deniz kesiminde de jeolojik araştırmaların devam ettirilmesi gereğini ortaya koymuştur. (Gökçen ve diğ. 1985, 1987, 1988, Kelling ve diğ. 1987, 1990). 1988 yılında başlamış olan bu deniz jeolojisi/jeofiziği araştırması, genelde Alanya - Mersin arasındaki deniz bölgesinde sismik araştırmalar ile dip örneklerinde mikropaleontolojik ve sedimantolojik incelemeler şeklinde yürütülmektedir. Araştırma bölgesi coğrafik olarak kuzeyde Güney Türkiye, doğu - güneydoğuda Girne - Misis Karmaşığı güneyde Kuzey Kıbrıs ve batıda Anamur - Kormakiti yapısal yükselimi arasında kalmakta ve Adana - Silisia ile İskenderun Tersiyer - Güncel alt basenlerinden oluşmaktadır (Şekil 1). Yaklaşık 15.000 km²'lik bölgeyi kapsayan inceleme alanı, 35.5° - 36.5° N enlemi ile 31.5° - 35.5° E boylamları arasında uzanmakta ve batimetrik açıdan 100 - 2000 m arasında değişim göstermektedir.

BÖLGESEL JEOLJİ

Alanya - İskenderun neritik bölgesini de kapsayan Adana - Çukurova baseni, birçok global jeodinamik modelde Afroarap ve Avrasya plakalarının genç Senozoyik'deki çarpışması sırasında oluşmuş tektono-sedimanter bir depolanma alanıdır (Şengör ve Yılmaz 1981, Robertson ve Dixon 1985, Gökçen ve diğ. 1988). Bu yöredeki plaka hareketlerinin oluşturduğu ikinci büyük basen ise, Antalya Havzasıdır.

Çukurova Tersiyer Havzası doğuda, Misis Karmaşığının oluşturduğu kuzeydoğu güneybatı uzanımlı paleosurt ile "Adana Neojen Havzası" ve "İskenderun Neojen Havzası" olarak iki küçük havzaya bölünür. Batıda ise Ecemiş Fayı ile "Mut - Silifke Neojen Havzası" ayrılmıştır (Şekil 1). Bunların bölgedeki güncel uzantıları ise, Alanya - İskenderun şelfi üzerinde yer alan, Adana - Silisia ve İskenderun - Laskiye basenleridir (Gökçen ve diğ. 1990).

İnceleme alanının kara kesimindeki istif iki ana litostratigrafik birimden oluşmaktadır. Bunlar Oligosen yaşlı olistostromik birimden oluşmaktadır. Bunlar Oligosen yaşlı olistost-

* D.E. Ü Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Konak-İZMİR

** University of Keele, Department of Geology, Keele-Saffs., ENGLAND

romik İsalı Fm. ve Burdugaliyen - Tortoniyen yaşlı türbiditik Karataş Formasyonudur. Denizel Karataş Formasyonu üzerine, bölge güneyindeki bazı alanlarda, konglemera - kumtaşı - marn ardalamasından oluşmuş, deltajik - sığ denizel fasiyesler içeren - Tortoniyen - Messiniyen yaşlı Kızıldere formasyonu gelir. Çukurova Havzası'ndaki bu jeolojik ana özelliklere ek olarak, basandeki Genç Miyosen istifinin, yörenin K-KB kesiminde derin denizel fasiyeste ve ince olduğu, güneyinde ise (örn. Iskenderun Körfezi) sığ denizel ortamda oluşmuş kalın bir sedimantasyonun ürünü olduğu saptanmıştır (Kelling ve diğ. 1967, Gökçen ve diğ. 1988 ve 1990).

İnceleme alanının kara kesiminde yapılmış sedimanter jeolojik araştırmaların başlıcaları Schmidt (1961), Schietecatte (1971), Yalçın ve Görür (1984), Kelling ve diğ. (1987), Yetiş (1988), Gökçen ve diğ. (1985, 1987, 1988, 1990), ve Kapur ve diğ. (1989, 1990)'dır.

Deniz kesimi çalışmaları çok daha kısıtlı olan basende, son yıllarda araştırmalardan örnekler Evans ve diğ. (1978), Shaw ve Bush (1978), Catani ve diğ. (1983), Camerlenghi ve Cita (1987), Özhan (1988), Anastasakis ve Kelling (1989) ve Kelling ve diğ. (1990)'dan oluşmaktadır.

MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada kullanılan sismik kesitler ve zemin örnekleri Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü R/V K. Piri Reis gemisiyle NE-AK 88 ve NE-AK 89 seferleri sırasında alınmıştır. Bu seferlerde izlenen porfillerin konumları Şekil 2'deki haritada görülmektedir. Kesikli çizgi ile gösterilen hatlar NE-AK 90 seferinde ölçülmüş olanlardır.

Jeofizik çalışmalarda yaklaşık 1500 km uzunluğundaki profiller boyunca ölçülen sismik kesitler, enerji kaynağı olarak Bolt PAR 600 B tipi hava tabancası kullanılarak alınmıştır. 0.67 lt hacimli hava tabancasında 137 atm hava basıncı kullanılmış ve patlamalar 4 m su derinliğinde yapılmıştır. Patlama sıklığı su derinliği ile ilişkili olarak genellikle 4 s seçilmiştir.

Alıcı ünite olarak tek kanal Benthos 460 hidrofon dizilimi (streamer) kullanılmış ve sinyaller Korhn-Hite 3700 tipi Butterworth band geçişli süzgeçten çeşitli frekans bandlarından geçirildikten sonra, EPC 3200 kayıt ünitesinde grafik olarak kaydedilmişlerdir. Bu sinyaller ayrıca analog veri-iletim çalışmaları için kullanılmak üzere aynı zamanda manyetik bandlar üzerinde de depolanmışlardır.

Aralarında yaklaşık 10 m uzaklık bulunan hava tabancası - hidrofon dizilimi ile sıfır açılımlı sürekli yansıma kayıtları (zero-offset continuous reflection records) alınmakta ve üzerinde gidilen profilin altındaki jeolojik yapı belirlenebilmektedir.

Deniz çalışmaları sırasında sismik ölçümlerin yanısıra Benthos 2171 tipi karotiyer kullanılarak deniz tabanı örneklemeleri de yapılmıştır. Sedimantolojik ve mikropaleontolojik araştırmalar için kullanılan karotlar 2^{3/2} inch çapındaki plastik borular içerisine deniz tabanından itibaren düşey yönde 1-3 m boyunda sedimentlerin alınmasıyla oluşmuştur. İkisinin su derinliği 97 m, diğer üçünün 1050 m olduğu 5 ayrı noktadan alınmış (Şekil 2) karotlar laboratuvarında boyuna olarak ikiye bölünmüş ve bir bölümünde 15 cm'de bir 200 gram ağırlığında örnekler alınarak "yıkama" yapılmış ve örnekler mikroskop incelemesine hazırlanmıştır. Mikroskopta bu örneklerin foraminifer ile ostrakod içerikleri saptanmış ve bu fauna ortamsal ve zamansal açıdan yorumlanmıştır.

Deniz çalışmaları sırasında gemi konumu kıyı bazlı olarak DECCA RM 916-c radar vasıtasıyla belirlenirken, aynı zamanda NAVCOM 2200 uydu navigasyon cihazı ve model 2750 işlemcisiyle de sürekli olarak kontrol edilmiştir.

VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 2'deki hatlar boyunca alınan sürekli sismik yansıma kayıtları litolojik bakımdan değerlendirilmiştir. Hatlardan bazıları örnek olarak Şekil 3, 4 ve 5'de görülmektedir. Şekil 3'deki yaklaşık 75 km uzunluğundaki X - X' kesitinde gemi rota dönüşüm noktası X' ile gösterilmektedir. Bu kesitte düşey eksen saniye cinsinden sismik dalgaların gidiş - dönüş zamanını ve yatay eksen ise uzaklığı göstermektedir. Seyir sırasında belirli aralıklarla alınan "referans noktalarının" koordinatları kesitler üzerinde verilmiştir. Buna göre yaklaşık bir yatay mesafe ölçeği belirlenmekte ve düşey zaman ölçeği de takribi derinlik ölçeğine dönüştürüldüğünde düşey abartmanın yaklaşık 11.5 misli olduğu anlaşılmaktadır.

Söz konusu sismik kesitin litolojik bakımdan incelenmesinde, iki ana katmanın varlığı ortaya konmuştur. Buna göre üstteki Holosen ve Pliyo - Kuvaterner birimleri Q ve P-Q sembolleri ile gösterilmiş; Pliyo - Kuvaterner'in altında yer alan üst Miyosen (Messiniyen) birimi ise M harfi ile simgelenmiştir.

X - X' kesitinin morfolojik bakımdan değerlendirilmesinde, X - X' arasında önce bir kıta şelfi ve daha sonra kıta yokuşu izlenmektedir. 14 ve 15 no'lu referans noktaları arasında, kıydan itibaren belirgin bir şekilde izlenebilen Messiniyen tavanı aniden yok olmakta ve kayıt cihazlarında yapılan kazanç artırımına rağmen devamlılığı izlenememektedir. Bu durum Anamur Burnu ile Kıbrıs Kormakiti (Koruçam) Burnu arasında düşey atımlı bir fayın mevcudiyeti şeklinde değerlendirilmiştir (Şekil 3).

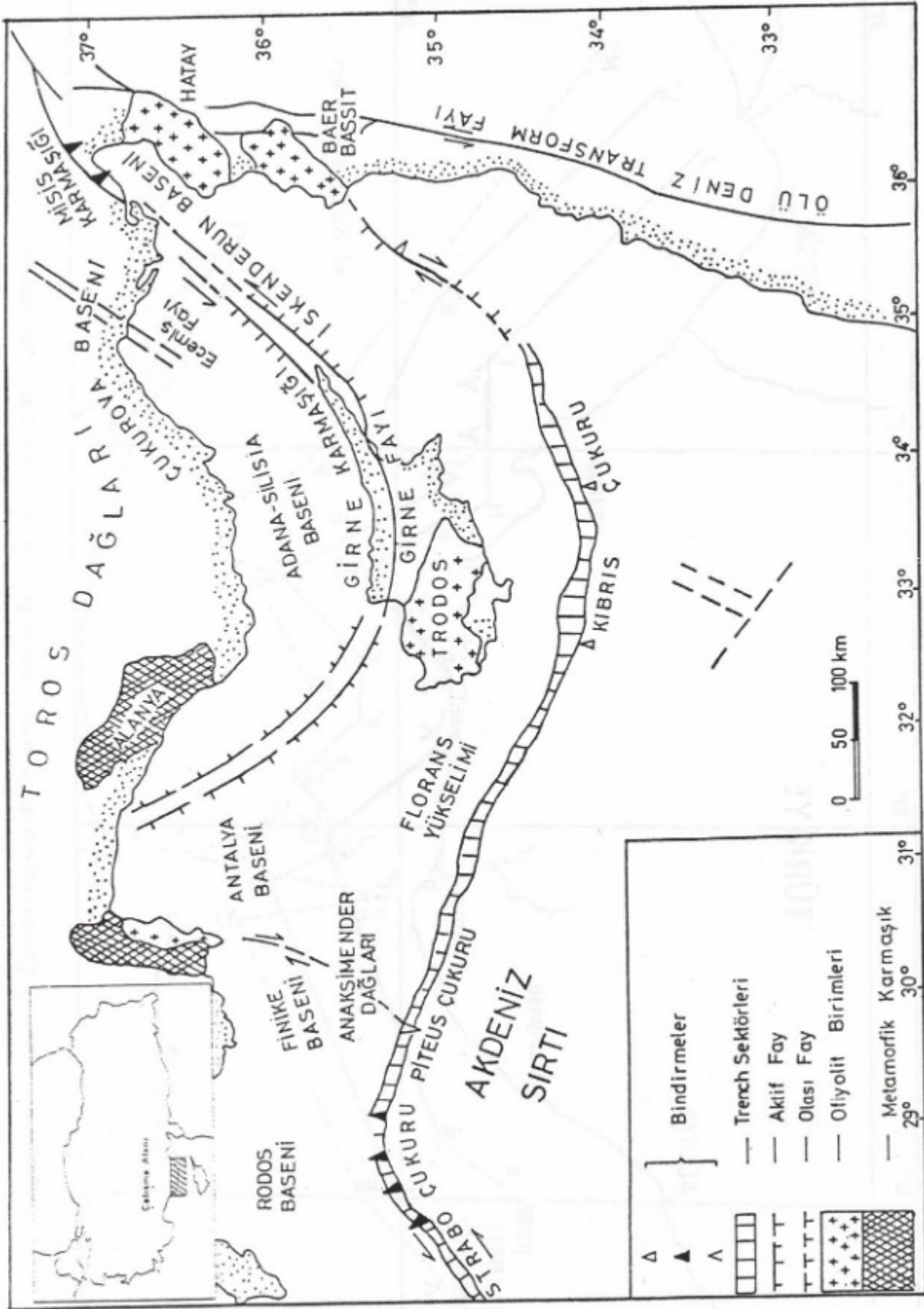
Kesitin X' - X'' kesiminde ise, takriben 11 no'lu referans noktası üzerinde deniz tabanı ile Messiniyen arasındaki morfolojik benzerlik, yöredeki genç, fakat derin bir faylanmanın varlığı şeklinde yorumlanmaktadır. nitekim Şekil 4'de gösterilen kesitte, Ecemiş Fay Kompleksi Holosen sedimanlarını da etkilemiş olmasından bu fayın güncel etkinliğini sürdürdüğü anlaşılmaktadır. Başka deyişle Ecemiş Fayı, bir normal fay niteliğinde ve KD-GB doğrultusunda Mersin-Kıbrıs arasında uzanmakta ve Q hatta P - Q sedimanlarını yaklaşık olarak 300 m düşümle kesmektedir. Keza, konumu Şekil 2'deki haritada gösterilen Z-Z' kesitinde de Q ve P-Q sedimanları ile Messiniyen sınırı güzel bir şekilde görülmektedir. Messiniyen tavanını da kesen düşey faylar yine kesit üzerinde belirtilmiştir (Şekil 3).

Yapılan sismik çalışmalar ile paleontolojik verilerin değerlendirilmeleri sonucunda ve önceki literatür (örneğin Hsu ve diğ. 1973) bilgilerinden de yararlanılarak çalışma alanı içerisinde Pliyokuvaterner - Messiniyen sınırının izopak haritası çıkarılmıştır (Şekil 6). Bu haritada ayrıca bölgedeki Messiniyen öncesi ve sonrası faylar ile kayma bölgeleri (slumplar) belirtilmiştir.

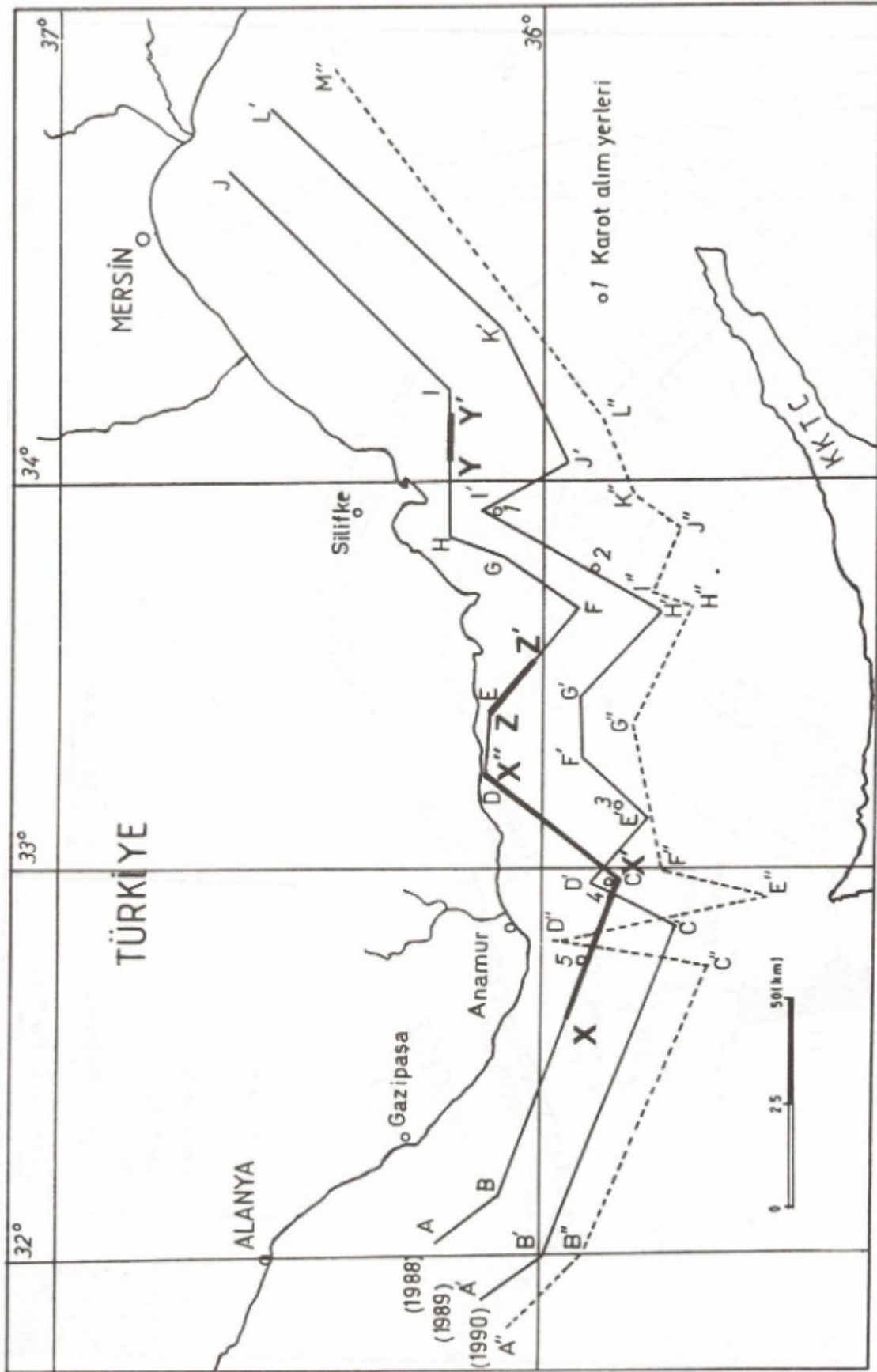
SONUÇLAR

Alanya - Mersin arası deniz bölgesine ait Pliyokuvaterner - Messiniyen izopak haritası Şekil 6'da verilmektedir. Söz konusu haritada Messiniyen ve Messiniyen sonrası faylar farklı semboller ile gösterilmekte ve blok atım yönleri + ve - işaretleri ile belirtilmektedir. Aynı zamanda bu harita üzerinde antiklinal ve büyüme fayları ve bindirme zonu gibi tektonik yapılar ile kayma şeklindeki tektono-sedimanter yapılar da muhtelif semboller ile işaretlenmiştir.

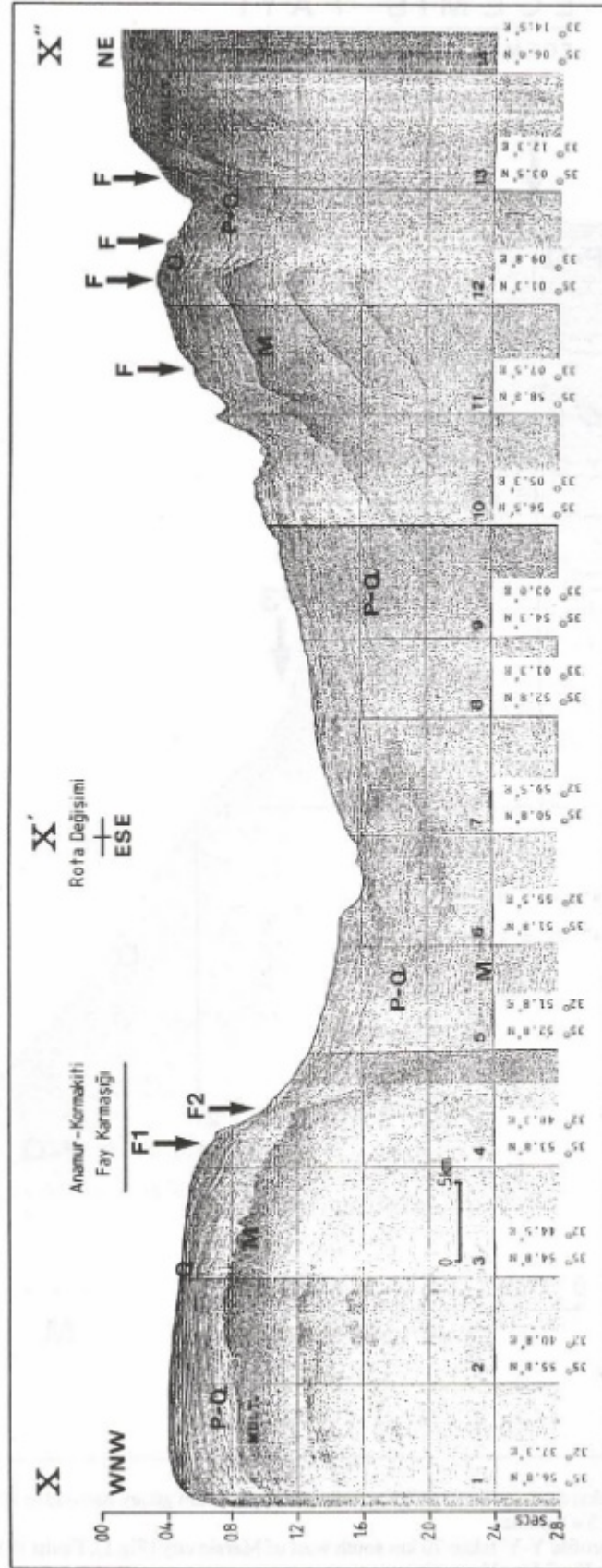
Araştırma sonuçları Alanya - Mersin kıyı ötesinin üç alt yapısal bölgeye ayrıldığını göstermiştir. Bunlar Çukurova, Adana - Silisia ve Iskenderun bölgeleridir (Şekil 1). Bu ayrımı yapan faylar Messiniyen ve Messiniyen sonrası olarak iki gruptur ve izopak haritası (Şekil 6) bunu destekler. Bölgenin doğusunda yer alan alt basen, tuz domları büyüme faylarının



Şekil 1. Çalışma alanı ve burada yer alan ana yapısal unsurlar ile tektono-sedimanter birimler.
Fig. 1. Location map (inset) and basic structural elements and tectono-sedimentary units in the area.



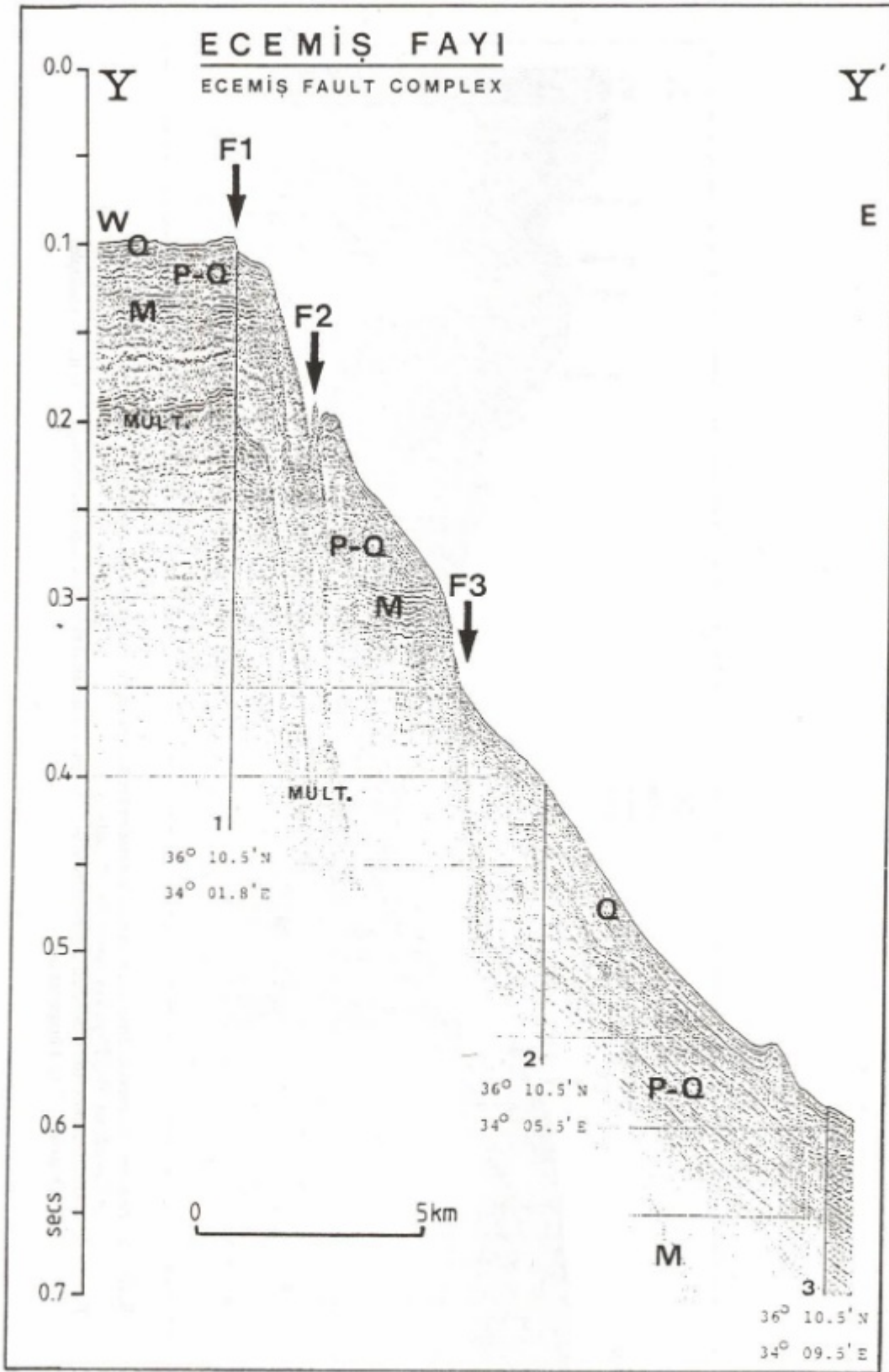
Şekil 2. Çalışmada kullanılan sismik profillerin konumu işaretli yerlerin ayrıntıları Şekil 3 - 5'de verilmiştir.
Fig. 2. Direction of seismic profiles used in the study. See Figs. 3 - 5 for details.



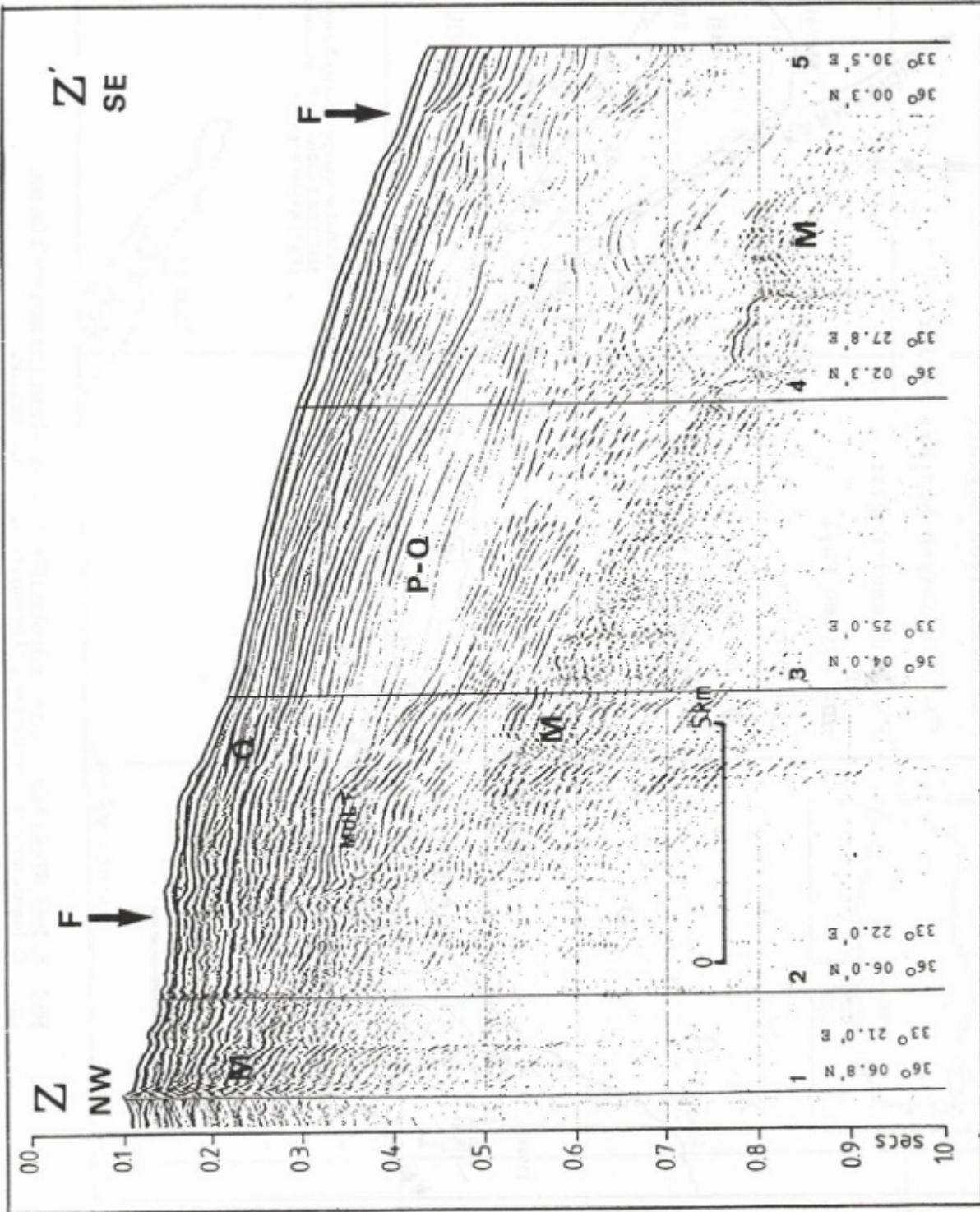
Şekil 3. Anamur - Kormakiti deniz altı yükselimi üzerinden fay kompleksi ve düşey fayları gösteren sismik profil (X - X'), F: Fay,

Q: Kuvaterner, P-Q: Pliyo-kuvaterner, M: Multiple.

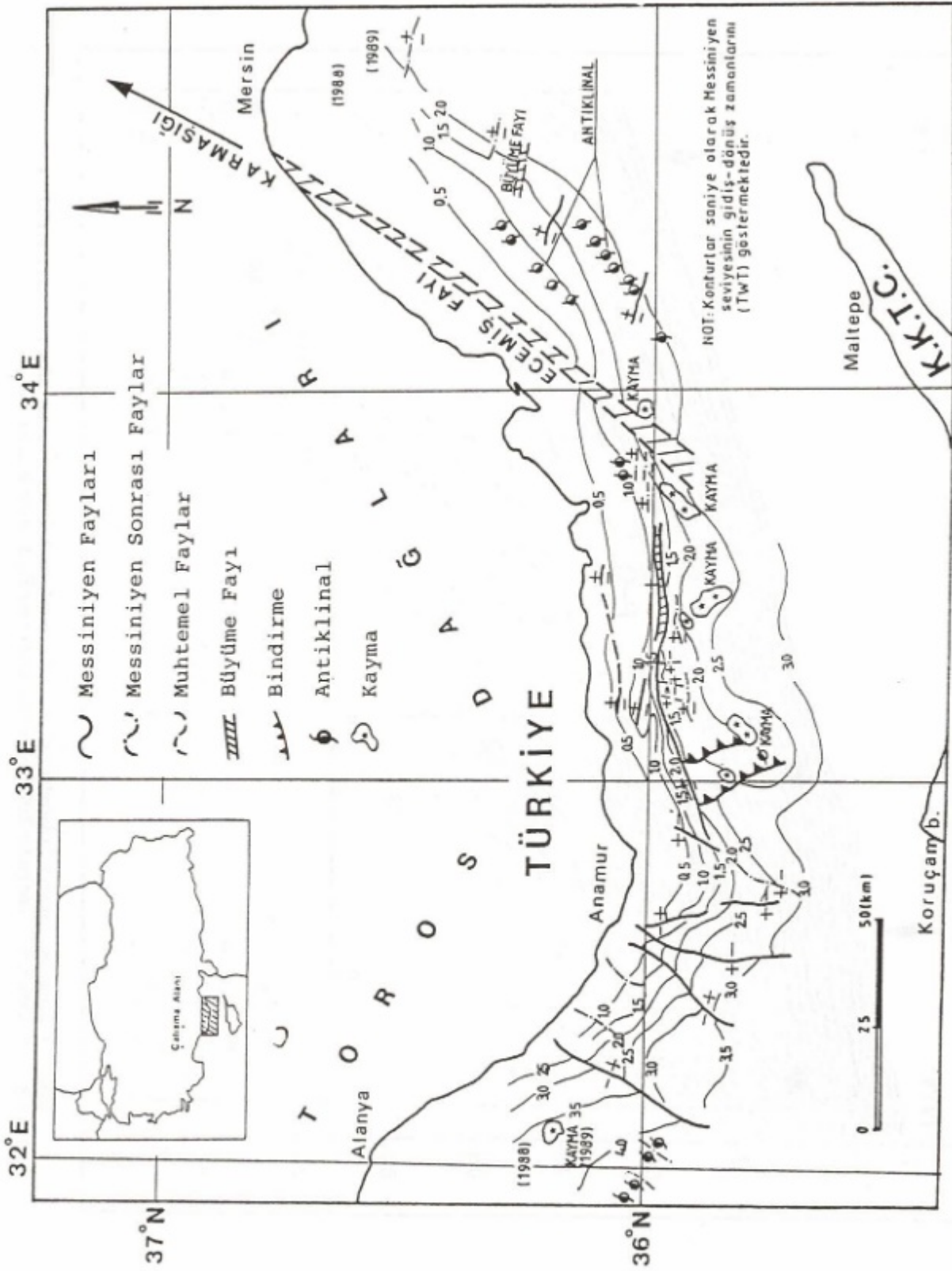
Fig. 3. A fault complex and individual down-faults in the Anamur - Kormakiti structural high (submarine). F: fault, M: multiple, Q: Quaternary, P-Q: Pliocquaternary.



Şekil 4. Ecemiş Fay kompleksi deniz uzantısının Mersin'den yaklaşık 70 km güney batısından alınmış sismik yansıma kesiti (Y-Y').
 Fig. 4. Details of seismic profile Y-Y' taken 70 km south west of Mersin city (Fig.1). Faults (F1, F2, F3) are interpreted as Ecemiş Fault Complex. See Fig.3 for abbreviations.



Şekil 5. Kuzeybatı - Güneydoğu doğrultusunda aydınlatılmış bölgeden alınan sismik yansıma kesiti (Z-Z').
Fig. 5. Details of seismic profile Z-Z'. See Fig.1 for location and Fig.3 for abbreviations.



Şekil 6. 1988 - 89 çalışmaları sonucunda elde edilmiş PliyoKuvaterner - Messiniyen sınırı izopak haritası.
Fig. 6. Isopach map of the plio Quaternary - Messinian boundary in the study area.

yanısıra kaymalarla da belirlenir. Çukurova Tersiyer Havzası'nın batı sınırını oluşturan Ecemiş Fay'ı, Şekil 6'dan da görüldüğü gibi, önceden bilinenin aksine (Yetiş 1985) günümüzde de aktiftir. Orta ve batı tektonik üniteler ise, kaymaların yanı sıra, E-W ve NNE-SSW uzanımlı normal faylar ve bindirmelerle karakteristiktir.

Çalışma sahasında Pliyosen ile Kuvaterner ayrılmış ve fosil zonlaması yapılmıştır. Şekil 2'de konumları verilmiş karotların ostrakod ve foraminifer içerikleri zaman ve ortam koşulları açısından değerlendirilirken, bölgenin sedimantasyon hızı ile güncel su sütunu kalınlıkları gözönünde tutulmuştur. Pliyosen'in Kuvaterner'den paleontolojik olarak ayrımı ve Kuvaterner zonlaması ancak son yıllarda kısmen açıklık kazanabilmiştir. Bunun çalışma alanında da gözlenmiş başlıca nedenleri ise, Kuvaterner başlangıcında (glasiyal dönemde) ortam koşullarının elverişsizliğinden kaynaklanmış fauna yetersizliği ile Post-Glasiyal faunanın günümüze kadar olan tek düzeliliği olabilecektir. Bununla beraber araştırmada elde edilmiş ve özellikle birey sayısı açısından zengin olan ostrakod, bentik ve planktik foraminifer topluluklarında *Cytheropteron alatum* (SARS), *Hyalinea balthica* (SCHROETER), *Globigerinoides sacculifer* (BRADY) ve *Globorotalia truncatulinoides* (d'ORBIGNY) Pleyistosen formu, Pleyistosen - Aktüel formlar olarak bilinmektedir. Buna göre örneklenmiş istifin, sediman birikme hızı ve karot kalınlığından elde edilmiş yıl hesabı da gözönünde tutularak Orta - Üst Pleyistosen - Holosen zaman dilimi içinde yer alabileceği anlaşılmıştır. Fauna, batimetreyi belirleyen özellikleri açısından değerlendirildiğinde, tektoniğe bağlı olabilecek yerel oynamaları ile topluluğa sürüklenmiş allokon bireylerin varlığını göstermekte, bu sonuç da sismik yorumları desteklemektedir.

KAYNAKLAR

- Anastasakis, G. and Kelling G. 1990, Tectonic connection of the Hellenic and Cyprus arcs their probable landwards extension, *Marine Geology* (in press).
- Catani, G., Lenardon, G., Marchetti, A., Tunis, G. and Vinci, A. 1983, Sedimentological and seismic features in the Cyprian sector of the Eastern Mediterranean sea: Preliminary results, *Bollettino Di Oceanologia Teorica Ed Applicata* 4, 311-317.
- Camerlenghi, A. and Cita M.B. 1987, Setting and tectonic evolution of some Eastern Mediterranean deep - sea basins, *Marine Geology* 75, 31 - 55.
- Evans, G., Morgan, P., Evans, W.E, Evans, T.R. and Woodside, J.M. 1978, Faulting and halokinesis in the Northeastern Mediterranean between Cyprus and Turkey, *Geology* 6, 392 - 396.
- Gökçen, S.L., Kelling G., Floyd P.A. ve Gökçen, N. 1985, Adana Baseni Misis karmaşığı Karataş formasyonu türbidit kumtaşlarının kil mineralojisi, II. Ulusal Kil Sempozyumu Bildirileri Kitabı, Hacettepe Yayını, 93 - 103, Ankara.
- Gökçen, S.L., Kelling, G., Gökçen, N. ve Floyd, P.A. 1987, Çukurova baseni Misis karmaşığının stratigrafik ve tektonik evrimi, *Yerbilimleri* 14, 231 - 243, Ankara.
- Gökçen, S.L., Kelling, G., Floyd P.A. and Gökçen, N. 1988, Sedimentology of a Late Cenozoic collisional sequence: The Misis complex, Adana, Southern Turkey, *Sedimentary Geology* 59, 205 - 235.
- Gökçen, S.L., Kelling, G., Gökçen, N ve Floyd, P.A., 1990, Genç senozoyik yaşlı çarpışan plaka sınırlarındaki istiflerin sedimenter jeolojik evrimine bir örnek: Misis karmaşığı, Çukurova baseni - Adana, A.Acar Yerbilimleri Sempozyumu Bildirileri Kitabı, Ç.Ü. Müh. Mim. Fakültesi Yayını, 1 - 10, Adana (Baskıda).
- Hsu, K.J., Cita, M.B. and Ryan, W.B.F., 1973, The origin of the Mediterranean evaporites, in: W.B.F. Ryan, K.J.Hsu and others (Eds.), *Unit. Repors of deep-sea drilling project*, U.S. printing Office, Washington D.C., 13, 1023 - 1231.
- Kelling, G., Gökçen, S.L., Floyd, P.A., and Gökçen, N., 1987, Neogene tectonics and plate convergence in the Eastern Mediterranean: New data from Southern Turkey, *Geology* 15, 425-429.
- Kelling, G., Gökçen, S.L., Gökçen, N., Uluğ, A., and Özel, E., neotectonics and sedimentation in the Neogene Cilicia Basin, Southern Turkey IESCA-90 tebliğ özetleri, D.E.Ü. Jeoloji Mühendisliği bölümü Bornova İzmir, 1990.
- Özhan, G., Sismik yansıma verileri ışığında Kuzeydoğu Akdeniz Türkiye Jeoloji Bülteni, 31, 51 - 62, 1988.
- Robertson, A.H.F and Dixon, J.E., Introduction: Aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean. In: J.E. Dixon and A.H.F. robertson (Eds.), *the geological evolution of the Eastern Mediterranean area*, philos. trans., R. Soc. London, Ser. A. 317, 141 - 177, 1985.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., 1981, Tethyan Evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *tectonophysics* 75, 181 - 241.
- Schmidt, G.C., 1961, Stratigraphic nomenclature of the Adana region, petroleum district VII, *Turkish Petroleum Administration Bulletin* 6, 47 - 62.
- Schietecatte, J.P., Geology of the Misis Mountains, in Campbell, J., Ed. *The geology and history of Turkey, tripoli, petroleum exploration Society Of Limya*, 305 - 312, 1971.
- Shaw, H.F., and Bush P.R., 1978, The mineralogy and geochemistry of the recent surface sediments of the Cilicia basin, Northeast Mediterranean, *Marine geology*, 27, 115 - 136.
- Yalçın, M.N., and Görür, N., 1984, Sedimentological evolution of the Adana basin, in Tekeli, O. and Gönçüoğlu, M.C., (Edits) *Geology of the Taurus belt: Ankara, Mineral Research and Exploration Institute*, 165 - 172.
- Yetiş, C., 1985, Akkuyu santrali deprem kuşağında mı? *Milliyet*, Yıl 35, Sayı 13357, (Düşünenlerin Düşünceleri).
- Yetiş, C., Reorganization of the tertiary stratigraphy in the Adana basin, Southern Turkey, *Newsl. Stratigr.* 20, 1, 43 - 58.

DENİZ TABANININ TOPOĞRAFİK ÖZELLİKLERİNİ ARAŞTIRMAK İÇİN AKUSTİK BİR YAKLAŞIM: YANI TARAYAN SONAR SİSTEMİ

An Acoustical Approach for Determining the Topographic Features of the Sea Floor: Side Scan Sonar System

Mahmut OKYAR*, M. Nuri BODUR*, Vedat EDİGER*, Kemal TİMUR*, Mustafa ERGİN*

ÖZET

Deniz tabanının topoğrafik özelliklerinin bilinmesi deniz jeolojisinde ve mühendislik çalışmalarında önemli bir rol oynar. Jeolojik önemi, deniz tabanındaki yüzeysel sedimentlerin dağılımının belirlenmesi, kaya mostralarının yerlerinin saptanması ve mikrotopoğrafik yapıların (kum dalgaları, çakıl kümeleri, akıntı izleri v.b.) araştırılmasıdır. Mühendislik çalışmalarında ise; batıkların aranması, deniz tabanının derinleştirilmesi için yapılan tarama faaliyetlerinin izlenmesi, denizaltı kablo ve boru hatlarının döşenmesi için uygun yerlerin belirlenmesidir. Yanı tarayan sonar sisteminin bu tür çalışmalar için en ekonomik ve güvenilir sistemlerden biri olduğu bilinen bir gerçektir.

Bu makalede, ODTÜ-DBE'nce çeşitli jeolojik ve jeofiziksel araştırmalarda kullanılan yanı tarayan sonar sisteminin tanıtımına ve sonar kayıtlarının (sonograf) yorumlanmasına değineceğiz. Sonar kayıtları, Bilim Araştırma gemisi ile, İstanbul Boğazı, Anamur ve Mersin Körfezlerinde 40 metreden az su derinliklerinde alınmıştır. Deniz tabanında tane boyutları farklı yapıda çeşitli sediman grupları, çapa tarama izleri, deniz yosunları kümelenmeleri, kum ve çakıl dalgaları, gibi değişik türde yapılar tanınabilmektedir.

ABSTRACT

The knowledge of topographic features of the sea floor plays an important role in marine geological and engineering surveys. Of geological importance are; determination of bottom sediment distribution; identification of rock-outcrop locations, and the study of microtopographic features (sand waves, gravel patches, ripples, etc.). Applications for engineering works include; search for shipwrecks, monitoring of the sea-floor dredging activities and investigation of submarine pipeline and cables. The side scan sonar system is considered to be one of the most effective and reliable system for this kind of surveys.

In this paper, we briefly discuss the application of a side scan sonar system and the interpretation of resulting sonar records (sonograph) obtained during the geological and geophysical surveys by IMS-METU. Sonographs are taken onboard the R/V Bilim in Bosphorus and the bays of Anamur and Mersin at water depths less than 40 m. On the sea floor, various types of sediments, anchor dredging traces, sea-grass communities, sand and gravel waves are recognized.

GİRİŞ

Deniz tabanının topoğrafik özelliklerini araştırmak için jeofiziksel olarak iki temel akustik yöntem mevcuttur. Bunlar ses yankılanması (echo-sounding) ve yanı tarayan sonar (side scanning sonar) yöntemleridir (Mc Qullin ve Ardu 1977).

Ses yankılanması yönteminde deniz tabanı topoğrafik özellikleri, hüzmeye şeklinde akustik dalgalar kullanılarak araştırılır. Bu akustik dalgaların hüzmeye açısı (beam angle) genellikle 5° ile 30° arasındadır (Shepard 1973). Günümüzde ise

hüzmeye açısı 5° veya daha az olan akustik dalgalar da kullanılmaktadır (MacPhee 1976). Elektrikli iskandil sistemi olarak da isimlendirilen bu ses yankılanması yönteminde en önemli özellik, akustik dalga hüzmelerinin asıl ekseninin düşey doğrultuda olmasıdır. Böylelikle geminin bünyesine monte edilen, elektrik enerjisini akustik enerjiye, akustik enerjiyi de elektrik enerjisine dönüştüren aygıt (transducer) aracılığıyla seyir hatının altında kalan deniz tabanındaki topoğrafik özellikler düşey bir kesit şeklinde kayıt edilebilmektedir.

* O.D.T.Ü. Deniz Bilimleri Enstitüsü, P.K. 28, Erdemli, 37731 İçel.

Yanı tarayan sonar sisteminde ise kullanılan akustik dalga hızının ana eksenini düşey doğrultuda olmayıp yatay düzlemle 10° den fazla bir açı yapmaktadır. Ayrıca bu akustik dalga hızının yatay düzlemdeki açılabilir değeri 3° den az olmasına karşın, düşey düzlemdeki değeri 7.5° - 50° arasında olmaktadır (Şekil 1). Bu özelliklere sahip iki adet transducer gemi bünyesinden bağımsız olarak arkadan çekilen sinyal verici (tow - fish) sağ ve sol taraflarına monte edilmiş durumdadır. Bu transducer'ler yardımıyla seyir hattının sancak (starboard) ve iskele (port) taraflarında yer alan, yüzlerce metre genişliğindeki bir tabanın topoğrafik özellikleri kısa sürede ve ayrıntılı olarak incelenebilmektedir.

Bu sistemlerin tarama menzili (scanning range), kullanılan akustik dalga hızının frekansı ile ters orantılı olmaktadır. Şöyle ki, 100 kHz lik bir akustik dalga hızı en fazla 600 m lik bir mesafeyi tarayabildiği halde, çok daha düşük frekanslarda (6.5 kHz) bu değer 22 km ye ulaşmaktadır. Ancak düşük frekanslı bir akustik dalga hızı çok uzun bir mesafeyi (menzili) taramasına rağmen, ayrımlılık (resolution) azalmakta, buna karşın yüksek frekans kullanıldığında ise tarama menzili daralmasına rağmen ayrımlılık (resolution) artmaktadır (Stefanon 1985). Yanı tarayan sonar sistemleri bu özelliklere bağlı olarak kullanım amacına göre üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar,

I- Kıta Sahaneli Sınırları İçerisinde Kullanılanlar:

Bu grup içerisinde bulunanlar, aynı zamanda Yüksek Ayrımlı Yanı Tarayan Sonar Sistemleri olarak da adlandırılırlar. Bunların tarama menzili her bir kanal için en az 25 en fazla 600 m arasında olup frekansları 100 - 500 kHz civarındadır. Örnek olarak EG-G ve Klein firmalarının ürettiği Model 259 ve Model 521T/422S-101F yanı tarama sonar sistemleri gösterilebilir.

II- Kıta Eğimi Sınırları İçerisinde Kullanılanlar:

Bu gruptakiler, Orta Menzilli Yanı Tarayan Sonar Sistemleri olarak bilinmektedirler. Tarama menzilleri, her bir kanal için 600 - 1500 m ye ulaşmaktadır. Frekansları ise yaklaşık 35 - 50 kHz civarındadır. Örnek olarak Klein, Kelvin Hughes ve Geomacanique Compagnie Française firmalarının ürettiği Model 521T/422S-101GF, SOL-100 ve Towed Surveying Asdic cihazları gösterilebilir.

III- Derin Denizlerde Kullanılanlar:

Bu gruptakiler, Uzun Menzilli Yanı Tarayan Sonar Sistemleridir. En çok bilineni National Institute of Oceanography'in geliştirdiği Gloria adlı yanı tarayan sonar sistemidir. Frekansı 6.5 kHz, tarama menzili ise 22 km dir.

Yanı tarayan sonar sistemleri güncel bir jeofiziksel yöntem olarak deniz bilimlerinin jeolojik, biyolojik, hidrografik ve mühendislik araştırmalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Yabancı kaynaklarda, bu konularla ilgili olarak çok sayıda araştırmalar yer almaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir. Belderson ve diğ. (1972) sonar cihazının uygulama alanlarını (jeoloji, biyoloji, hidrografi ve mühendislik) ayrıntılı bir şekilde incelemişler ve bunlarla ilgili kayıtların yorumlarını açıklamışlardır. Flemming (1976) sonar sisteminin analizini özellikle kayıtların deformasyon nedenlerini ve bunların giderilmesini matematiksel bağantılarla açıklamış, ayrıca çeşitli bölgelerden alınan sonar kayıtlarını yorumlamıştır. Bryant (1975) ve Russel (1978) yanı tarayan sonar sisteminin hidrografik araştırmalarda kullanımını izah etmişlerdir. Gene benzer şekilde deniz yüzeyindeki fiziksel olayların (dalga hareketi, yüzey akıntıları v.b) sonar aygıtıyla belirlenmesi konularında çalışmalar yapılmıştır (Thorpe ve Hall 1983, Thorpe ve diğ. 1985). Newton ve Stefanon (1975) yanı tarayan sonar sistemini deniz biyolojisi alanında kullanmışlardır. Aynı şekilde

deniz dibi çökellerinin ve küçük topoğrafik yapıların incelenmesinde sonar sistemi kullanılmıştır (Stefanon 1985, Colantoni ve diğ. 1981).

Bizim buradaki amacımız ise deniz bilimlerinde böyle-sine geniş bir uygulama alanına sahip jeofiziksel bir yöntem olan yanı tarayan sonar sistemini kısa ve öz bir şekilde tanıtmak, bu sistemlerle elde edilen kayıtların yorumlanmasında temel kabul edilen ilkeleri açıklamak ve son olarak da ilginç olacağını umduğumuz bazı kayıt örneklerini sunmaktır.

YANI TARAYAN SONAR SİSTEMİ

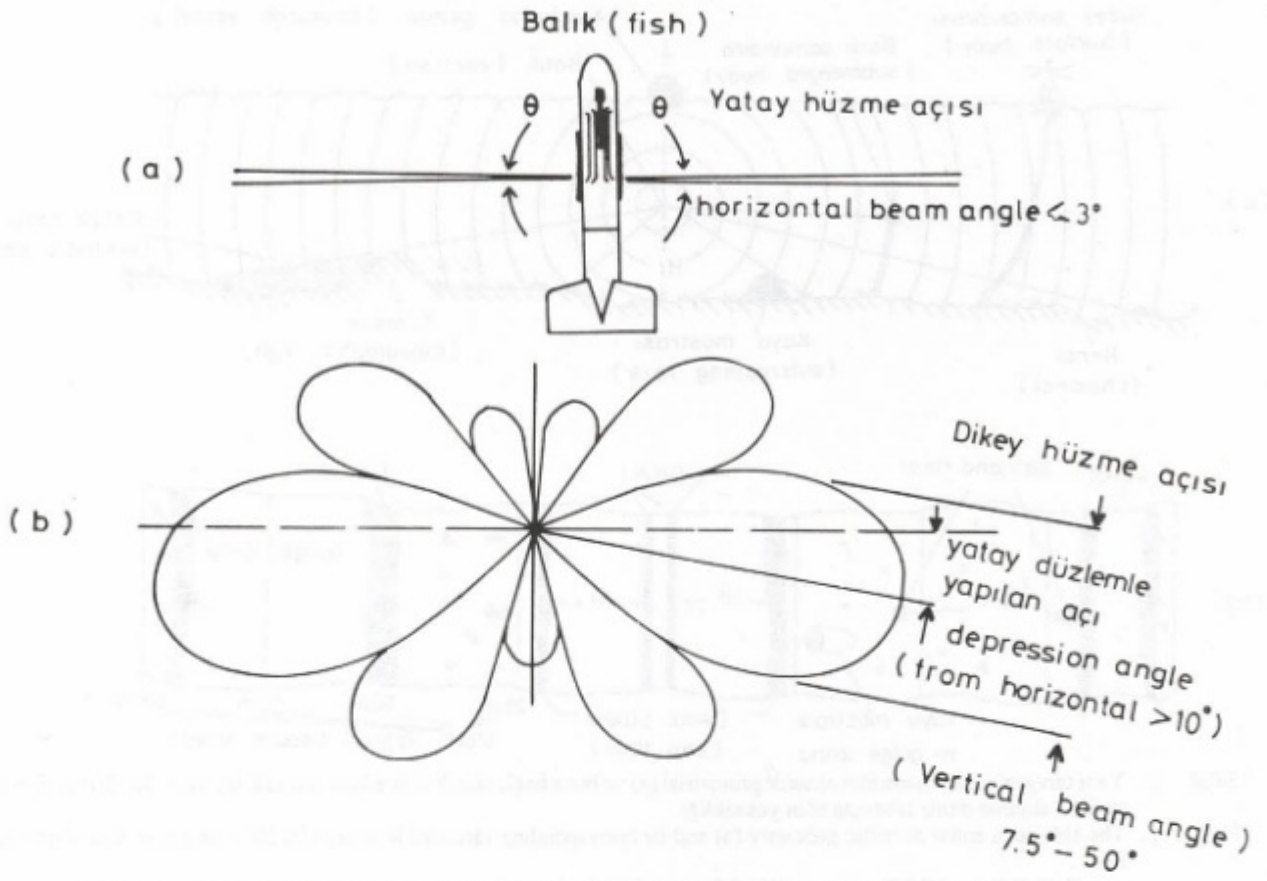
Esas olarak yanı tarayan sonar sistemleri üç ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar, denizde çekilen sinyal verici - alıcı (tow - fish), grafik kayıtedici ve bu iki birim arasındaki elektriksel bağlantıyı sağlayan çekme kablodur (Şekil 2). Daha geliştirilmiş yanı tarayan sonar sistemlerinde bunlara ek olarak manyetik teyp ünitesi ilave edilmiştir. Sayısal olarak da kayıt yapabilen bu sistemlerde, hızla şeklindeki akustik ışınların neden olduğu distorsiyon etkileri giderilmektedir.

Yanı tarayan sonar sisteminin su altı ünitesi olan sinyal verici - alıcı (tow - fish), hidrodinamik bir yapıya sahip olduğundan geminin salınım hareketlerinden pek fazla etkilenmemektedir. Sistemin sancak (starboard) ve iskele (port) taraflarına birer adet transducer elementi monte edilmiştir. Bu transducer'ler çok kısa aralıklarla (0.1 milisaniye) hızla şeklindeki akustik dalgalar gönderirler. Deniz tabanındaki engebeli yüzeylerden yansıyan bu dalgalar, tekrar aynı transducerler tarafından algılanır ve elektrik akımına çevrilerek çekme kablolu aracılığıyla grafik kayıtediciye gönderilirler. Sinyal verici - alıcının deniz tabanından olan yüksekliği, çalışma esnasında kullanılan kayıt edici cihazın tarama menzili % 10 - 20 si kadar olmalıdır. Çünkü sistemin yüksekte çekilmesi durumunda akustik geometriye bağlı olarak kayıt üzerinde boşluklar meydana gelmektedir (Şekil 3). Sinyal verici - alıcının deniz tabanına nazaran yüksekliği çekme kablolu aracılığıyla veya gemi hızıyla ayarlanmaktadır.

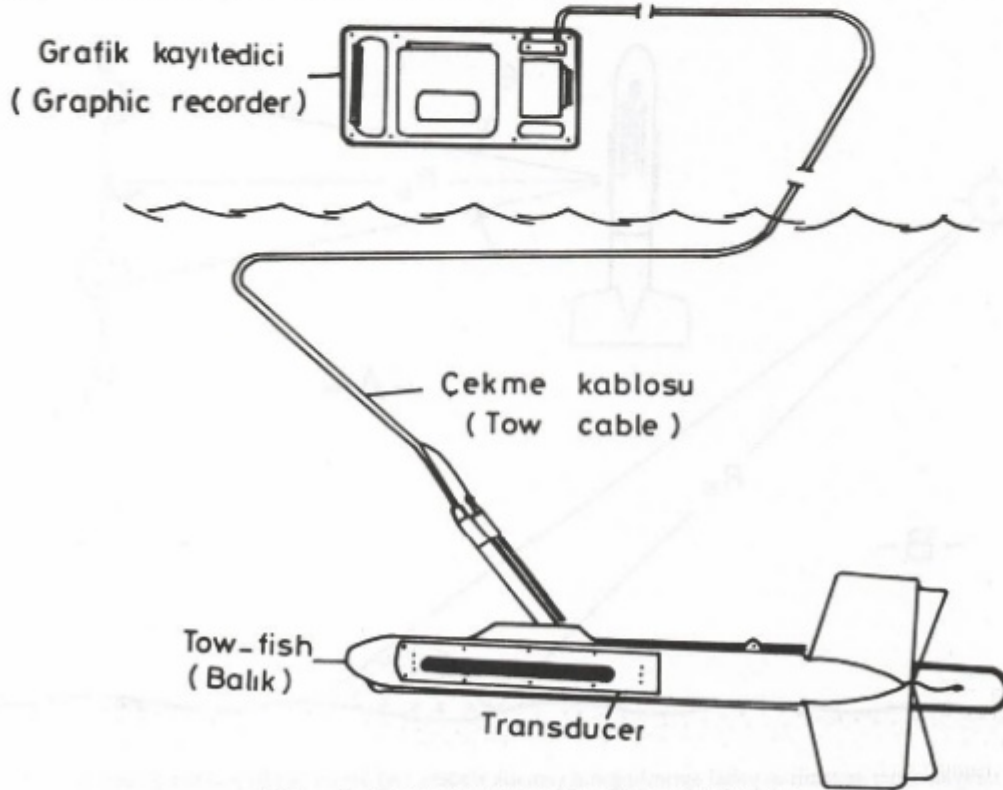
Yanı tarayan sonar sisteminin grafik kayıtedicileri genelde iki kanallı olup iletken bir sıvı ile nemlendirilmiş demir iyonları ihtiva eden, özel bir kayıt kağıdı kullanırlar. Standart kuru kayıt kağıtları sadece dar bir tarama menzili içerisinde oluşan çok güçlü sinyalleri iletmediği için daha az kullanılmaktadır. Çekme kablolu aracılığıyla grafik kayıtediciye ulaşan elektrik akımı burada güçlendirilerek kayıt edici cihazda bulunan baskı bıçağına iletilir. Bu elektrik akımının baskı bıçağının hemen üzerinde yer alan nemli kayıt kağıdına geçmesiyle birlikte, gelen sinyallerin şiddetlerine bağlı olarak demir iyonları farklı tonlarda açığa çıkar. Deniz tabanının farklı tonlarda elde edilen bu görüntüsüne sonograf adı verilir. Kayıt edici cihazlar çalışma koşullarına göre ayarlanabilen farklı tarama menzilleri ihtiva etmektedirler. Mesela EG-G firmasının ürettiği Model-259 iki kanallı grafik kayıt edici altı değişik (50-500 m) tarama menzili, gene aynı firmanın Model 260 grafik kayıt edicisi dokuz değişik (25-600 m) tarama menzili ihtiva etmesine rağmen, bunların magnetik teyp uyumlu olanları Model-521T onüç değişik (25-600 m) tarama menzili ihtiva etmektedir.

Yanı tarayan sonar sistemlerinin ayrımlılığı (resolution) yani, deniz tabanında birbirine çok yakın mesafede bulunan iki cismin sonograf üzerinde birbirlerinden ayrı olarak algılanabilmesi, bu cisimlerin seyir hattına nazaran konumlarına bağlı olmakta ve ayrı olarak ifade edilmektedir. Bunlar;

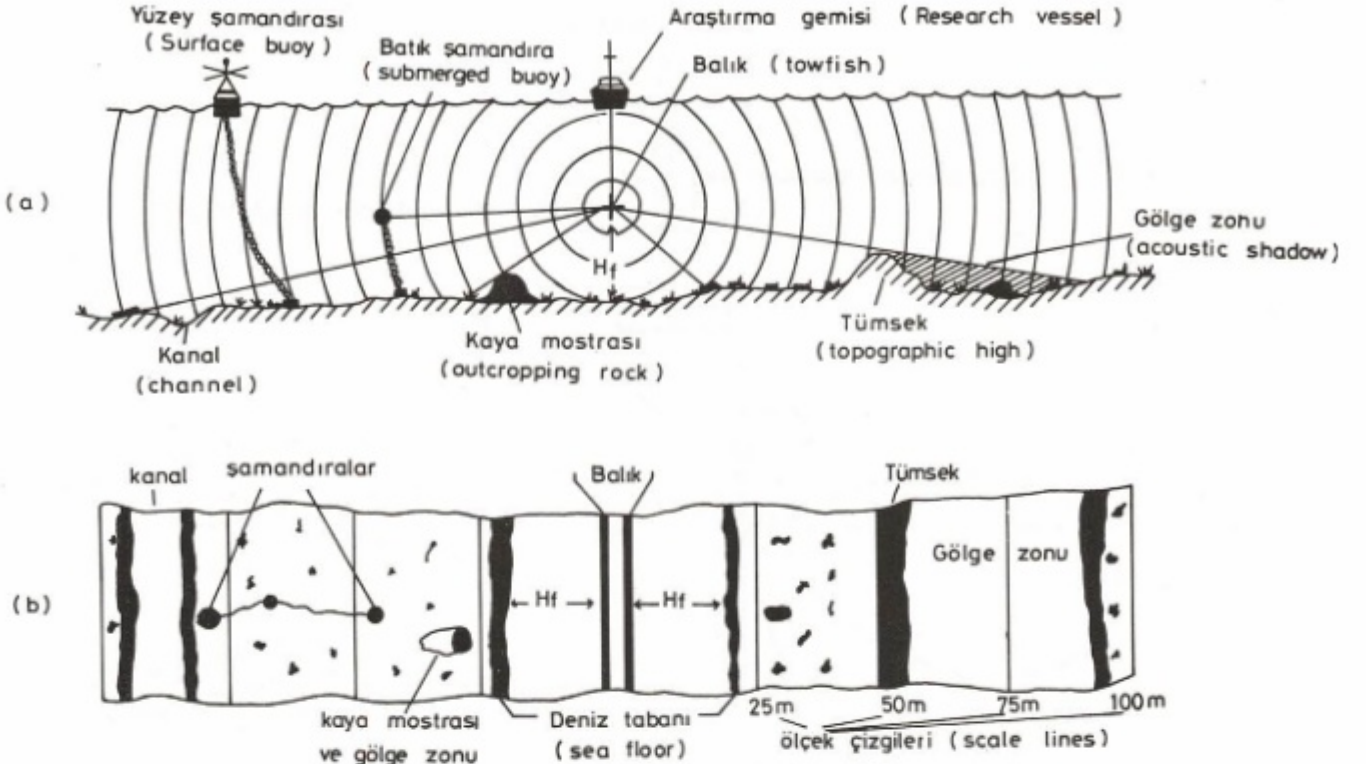
Yanal ayrımlılık (transverse resolution); Seyir hattına paralel doğrultuda bulunan ve tarama menzili içine giren iki cismin sonograflarda seçilebilmesi için gerekli olan en yakın mesafedir. Bu ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Şekil 4).



Şekil 1. Yanı tarayan sonar sistemindeki akustik dalga hüzmesinin, (a) üstten ve (b) düşey görünümü.
Fig. 1. Acoustical beam pattern of side scan sonar system, (a) horizontal and (b) vertical views.

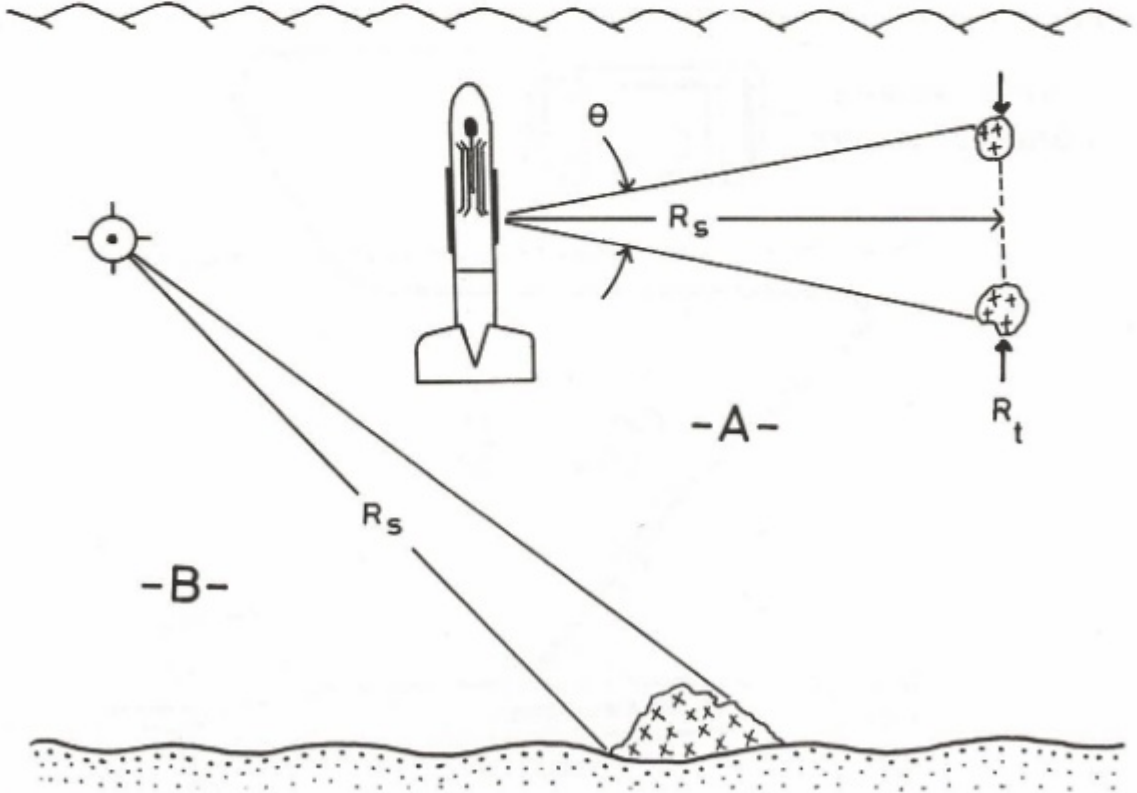


Şekil 2. Yanı tarayan sonar sisteminin ana bileşenleri.
Fig. 2. The main components of a side scan sonar system.



Şekil 3. Yanı tarayan sonar sisteminin akustik geometrisi (a) ve buna bağlı olarak elde edilen şematik bir sonar kaydı (b), H_f = sinyal verici - alıcının deniz tabanına olan yüksekliği.

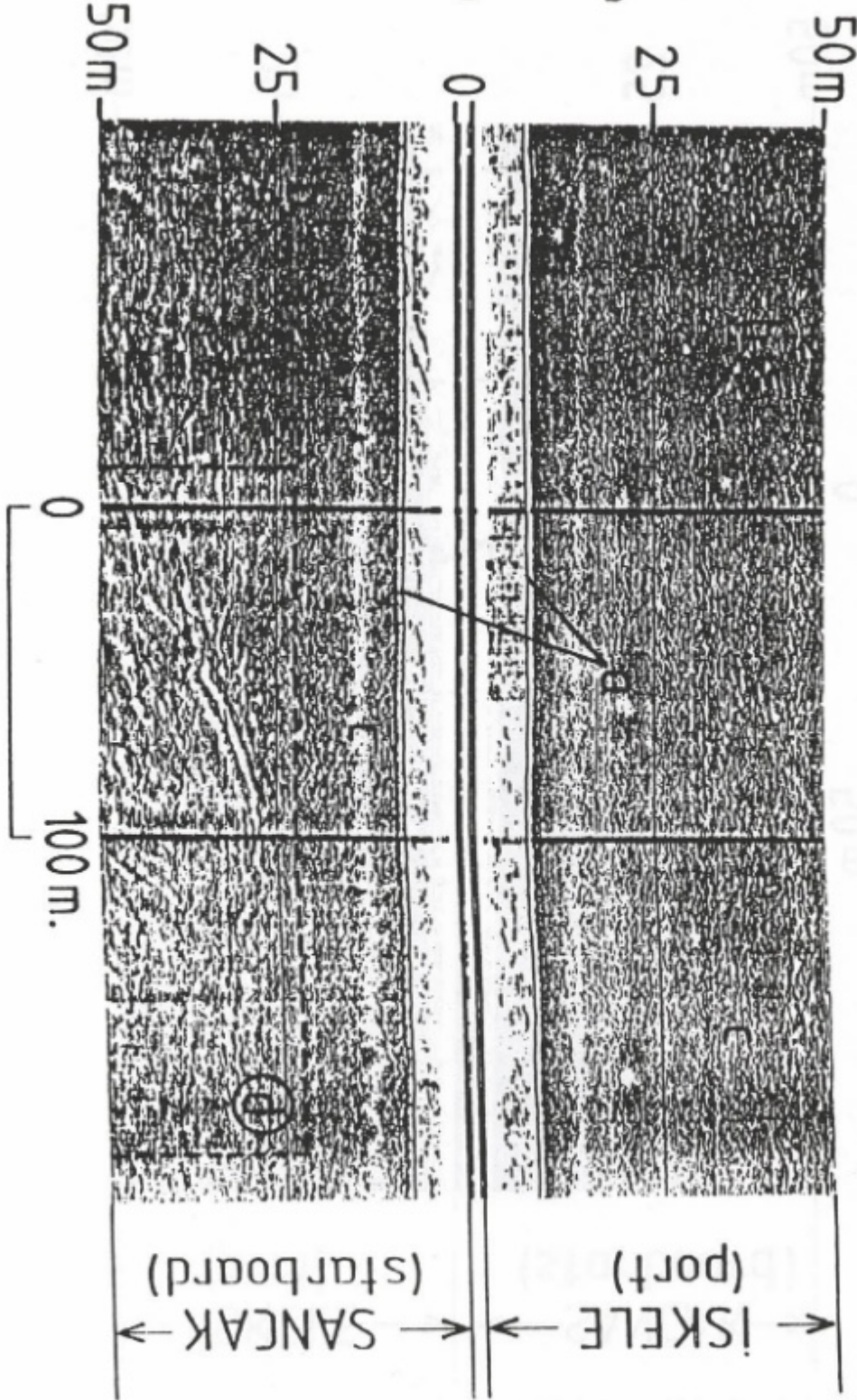
Fig. 3. The side scan sonar acoustic geometry (a) and its corresponding recorded imagery (b), H_f = height of fish above the sea floor.



Şekil 4. Yanı tarayan sonar sisteminin yanıl ayrımılığının şematik ifadesi, (A) üstten ve (B) yandan görünüm.

Fig. 4. The schematic illustration of the side scan sonar system's transverse resolution, (A) top and (B) horizontal view.

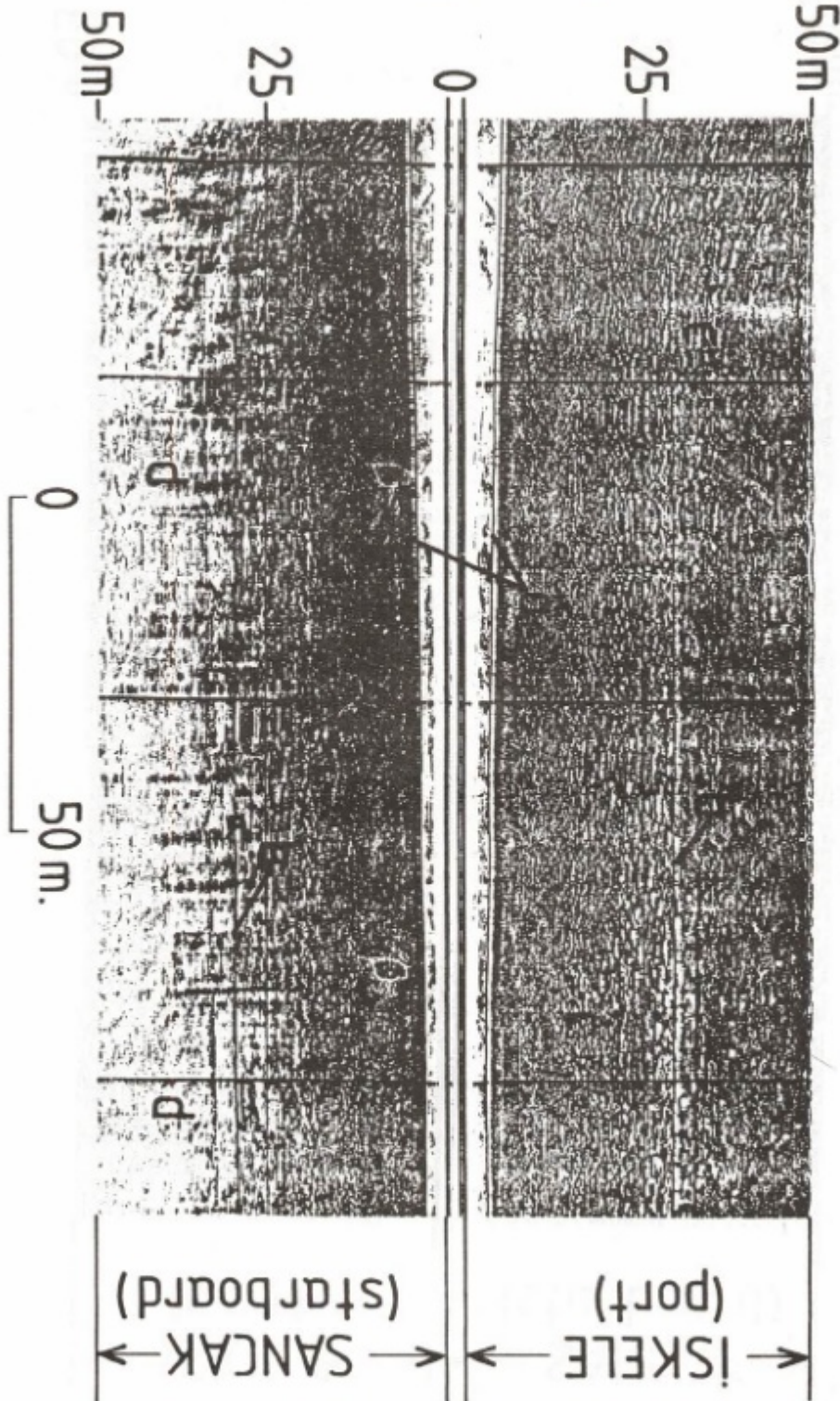
TARAMA MENZİLİ (scanning range)



Şekil 5. İstanbul Boğazında yaklaşık 38 m su derinliğinde, 50 m lik tarama menziline alınmış bir sonar kaydı. Deniz tabanı (a), deniz yüzeyi (b) kavrık kumlu çakıl (c) ve çapa tarama izleri (d), Okyar 1987.

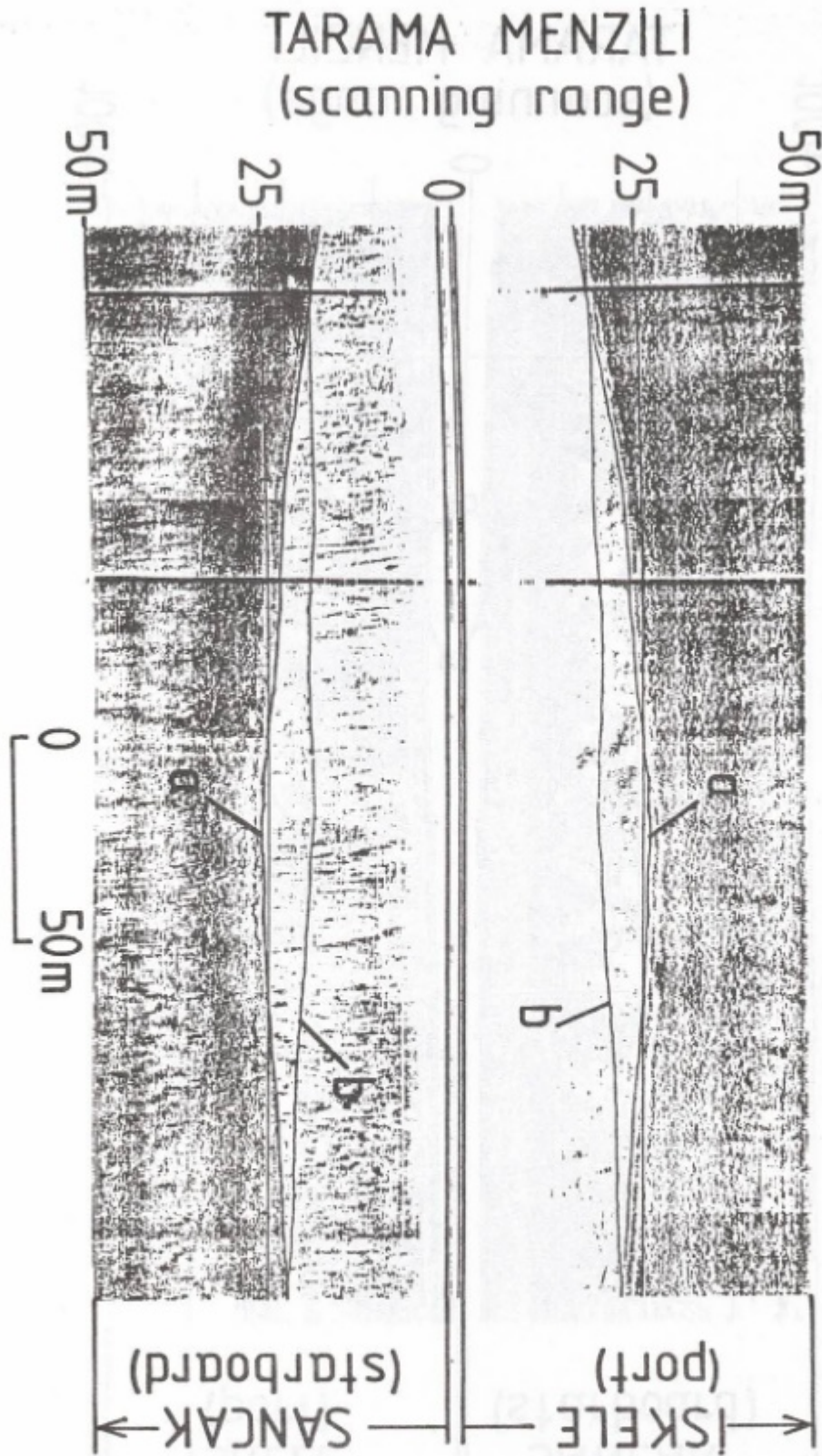
Fig. 5. A sonography within the 50 m scanning range, recorded from the Strait of Bosphorus at about 38 m water depth. Sea floor (a), Sea Surface (b), sandy gravel with shell (c) and, anchor dragging traces (d).

TARAMA MENZİLİ (scanning range)



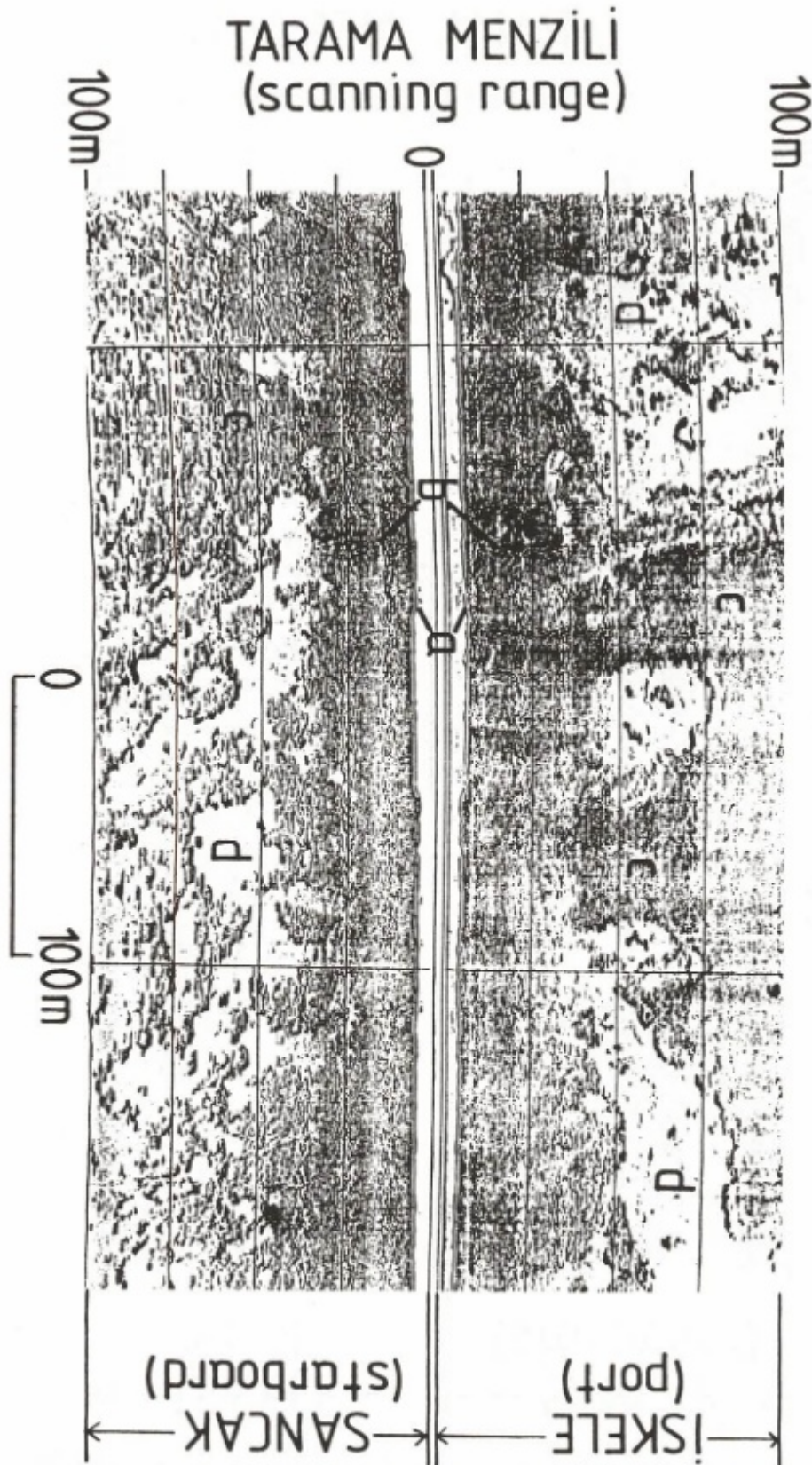
Şekil 6. İstanbul Boğazında yaklaşık 34 m su derinliğinde, 50 m lik tarama menzilinde alınmış bir sonar kaydı. Deniz tabanı (a), deniz yüzeyi (b), kavrıklı çakıl (c) ve kum (d), Okyar 1987.

Fig. 6. A sonography within the 50 m scanning range, recorded from the Strait of Bosphorus at about 34 m water depth. Sea floor (a), Sea Surface (b), shelly gravel (c) and sand (d).



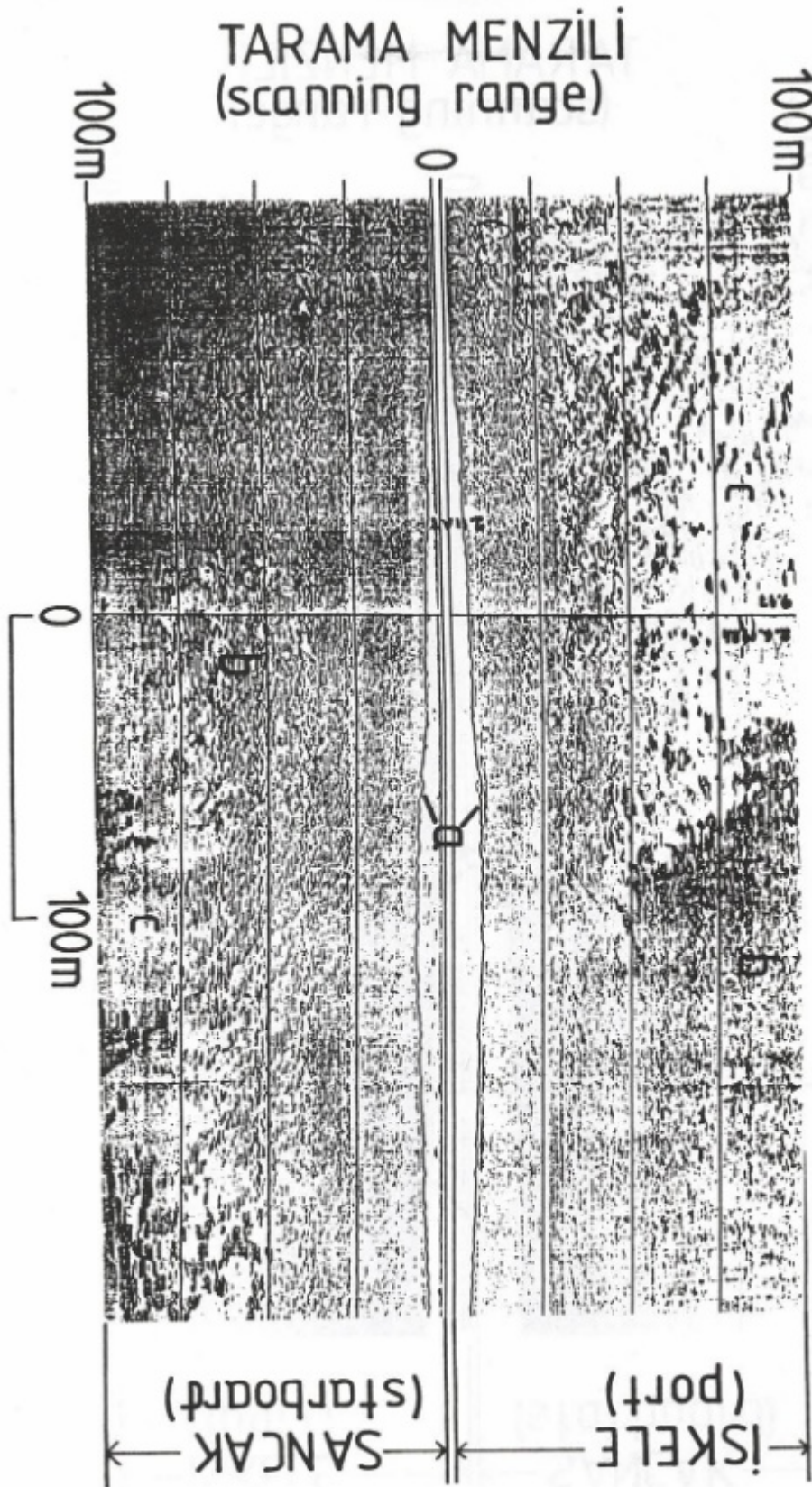
Şekil 7. İstanbul Boğazında yaklaşık 45 m su derinliğinde, 50 m lik tarama menzilinde alınmış bir sonar kaydı. Sinyal verici - alıcının tabandan fazla yüksekte olması nedeniyle kaydın ilk 25 m lik kısmı kaybolmuştur. Sancak tarafındaki kazancın fazla olması, kayıta koyulaşmaya neden olmuştur. Deniz tabanı (a), deniz yüzeyi (b), Okyar 1987.

Fig. 7. A sonograph within the 50 m scanning range, recorded from the Strait of Bosphorus at about 45 m water depth. First 25 m part of the record lost due to increasing height of fish above the sea bed. Much more gain setting on starboard led to a darker appearance record on this side. Sea floor (a), sea surface (b).



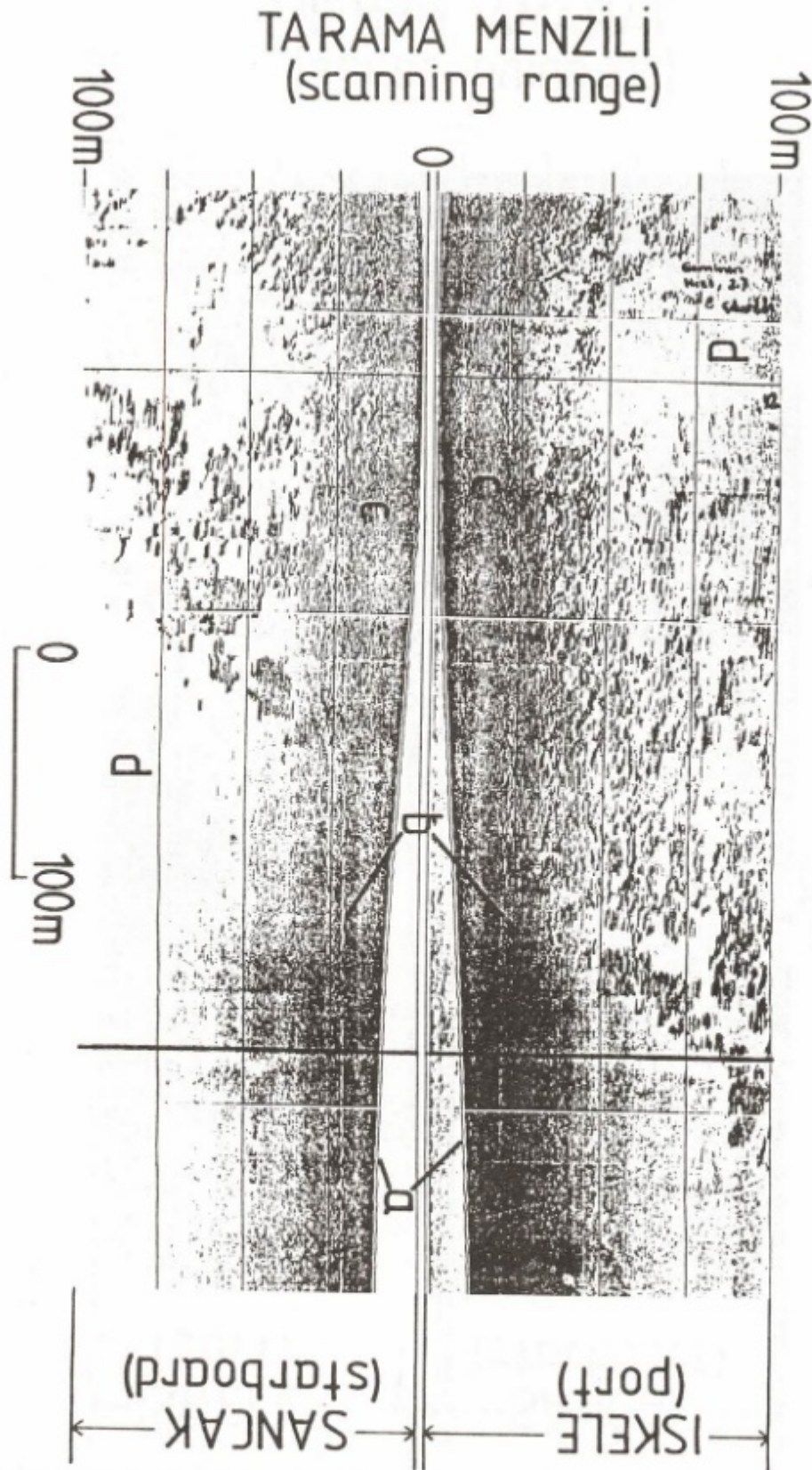
Şekil 8. Anamur Körfezinde yaklaşık 20 m su derinliğinde, 100 m lik tarama menzili içinde alınmış bir sonar kaydı. Deniz tabanı (a), deniz yüzeyi (b), deniz yosunları (c) ve kum (d), (Ediger 1987).

Fig. 8. A sonograph within the 100 m scanning range scale, recorded from the Bay of Anamur at about 20 m water depth. Sea floor (a), sea surface (b), sea grass (c) and sand (d).



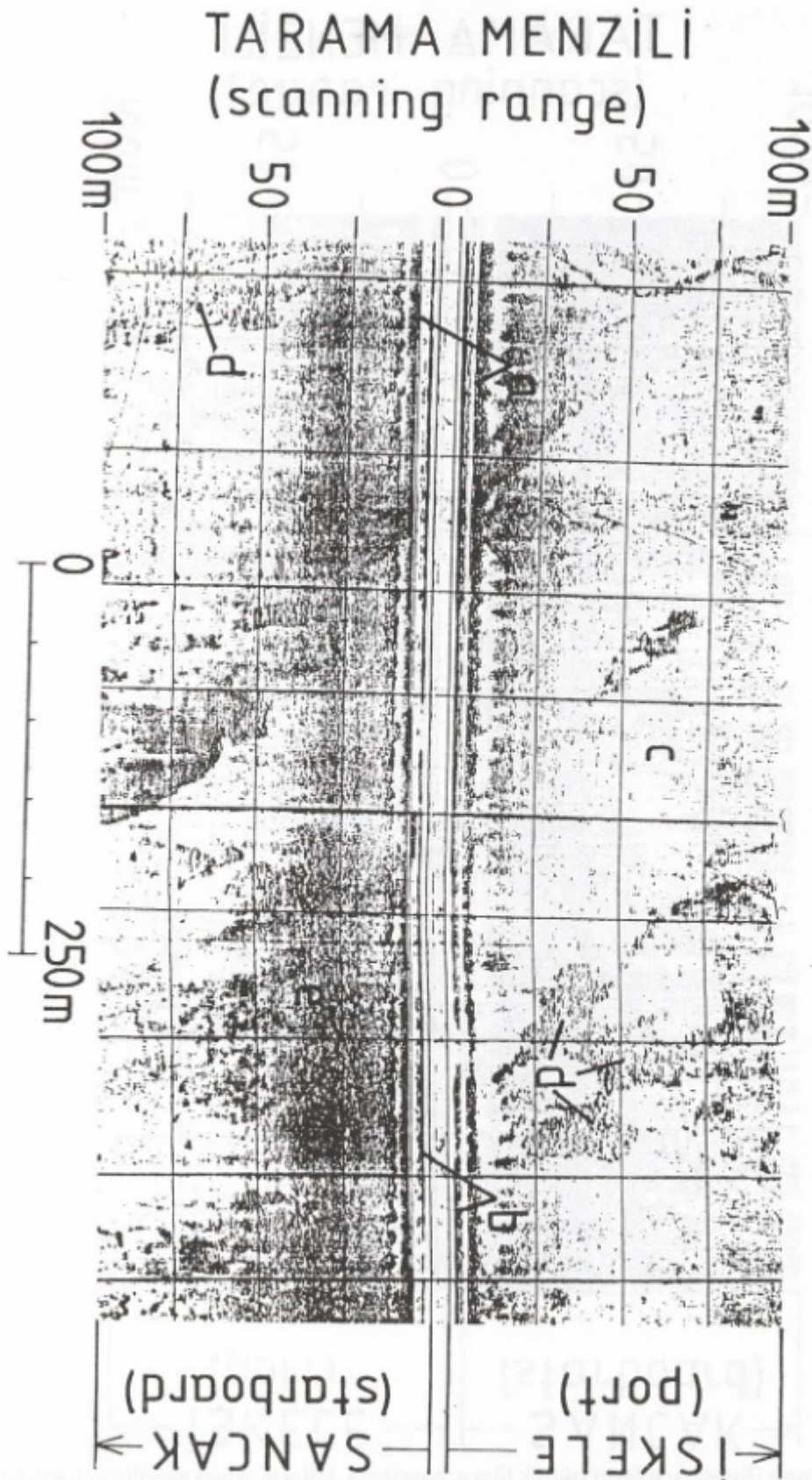
Şekil 9. Anamur Körfezinde yaklaşık 30 m su derinliğinde, 100 m lik tarama menziliinde alınmış bir sonar kaydı. Deniz tabanı (a), deniz yosunları (b) ve kum (c), (Ediger 1987).

Fig. 9. A sonograph within the 100 m scanning range scale, recorded from the Bay of Anamur at about 30 m water depth. Sea floor (a), sea grass (b) and sand (c).



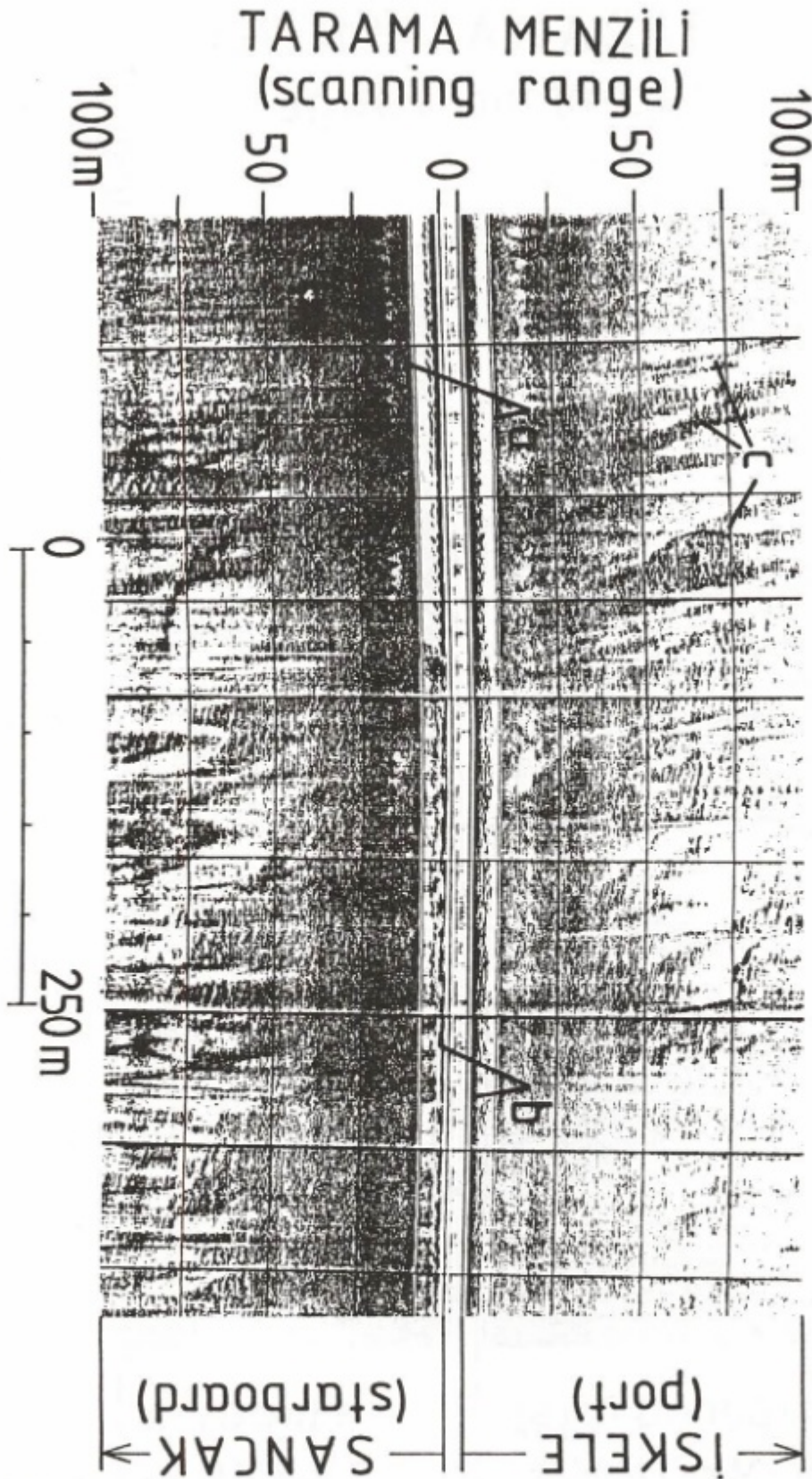
Şekil 10. Anamur Körfezinde yaklaşık 30 m su derinliğinde, 100 m lik tarama menziline alınmış bir sonar kaydı. Deniz tabanı (a), deniz yüzeyi (b) deniz yosunları (c) ve kum (d), (Ediger 1987).

Fig. 10. A sonograph within the 100 m scanning range scale, recorded from the Bay of Anamur at about 30 m water depth. Sea floor (a), sea surface (b), sea grass (c) and sand (d).



Şekil 11. Mersin Körfezinde (Karaduvar bölgesi) yaklaşık 7 m su derinliğinde, 100 m lik tarama menziliinde alınmış bir sonar kaydı. Deniz tabanı (a), deniz yüzeyi (b), çamurlu kum (c), çakıl kümeleri (d), kumlu çakıl (e), (Bođur 1987).

Fig. 11. A sonograph within the 100 m scanning range recorded from the Bay of Mersin (Karaduvar area) at about 7 m water depth. Sea floor (a), sea surface (b), muddy sand (c), gravel patches (d) and sandy gravel (e).



Şekil 12. Mersin Körfezinde (Karaduvar bölgesi) yaklaşık 10 m su derinliğinde, 100 m lik tarama menziline alınmış bir sonar kaydı. Deniz tabanı (a), deniz yüzeyi (b) ve çamurlu kumlu taban materyali üzerindeki çatallanmış kum dalgaları (c), (Bodur 1987).

Fig. 12. A sonograph within the 100 m scanning range recorded from the Bay of Mersin (Karaduvar area/ at about 10 m water depth. Sea floor (a), sea surface (b) and bifurcated sand waves (c) on muddy sandy bottom materials.

$$R_t = M \times R_s$$

R_t = yanıl ayrımlılık (transverse resolution), metre

$M = \theta^2/57.3$ yatay düzlemdeki akustik hüme açısının radyan cinsinden değeri

R_s = Sinyal verici - alıcı ile objeler arasındaki uzaklık, metre

Menzil ayrımlılığı (range resolution); Seyir hattına dik doğrultuda bulunan ve tarama menzili içine giren iki cismin sonograflarda seçilebilmesi için gerekli olan en yakın mesafedir. Bu ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$R_r = \frac{P_d \times V_s}{2}$$

R_r = menzil ayrımlılığı (range resolution), metre

P_d = kayıtlı cihazın çalışma anındaki tarama menziline bağlı olarak değişen darbe süresi (pulse duration), saniye

V_s = su ortamındaki ses hızı, m/saniye.

SONAR KAYITLARININ YORUMLANMASI

Sonograf denilen sonar kayıtlarının yorumlanması ile bu yorumlar sonucunda elde edilecek bulgulara göre haritaların hazırlanması, birbirlerinden farklı özellikler taşımaktadır. Biz bu makalede sadece kayıtların yorumlanmasını ele almaktayız. Haritaların hazırlanmasına ilişkin teknikler ve sonar kayıtlarındaki alansal distorsiyonların düzeltilmesiyle ilgili olarak ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır (Mudie ve diğ. 1970, Flemming 1976, Prior ve diğ. 1979, Kolouch 1984, Hobbs 1986).

Sonar kayıtlarında iki önemli özellik göze çarpar. Bunlardan birincisi, su kolonu içerisinde çekilmekte olan sinyal verici - alıcısının deniz tabanına ve deniz yüzeyine olan uzaklığının sürekli bir çizgi olarak kayıt edilebilmesidir. Bu iki mesafenin toplanmasıyla su derinliği hesaplanabilmektedir. İkinci özellik ise, deniz tabanının değişik özelliklerinin kayıtlara farklı tonlarda yansımalarıdır. Kayıtlar üzerinde ton farklılığının oluşmasında iki etken rol oynamaktadır (Flemming 1976).

Bunlardan birincisi çalışma anında kayıtedici cihazda yapılan ayarlamalardan kaynaklanmaktadır ve tamamen alet-seldir. Mesela aletin kazancı artırıldığında koyu tonda bir kayıt, azaltıldığında ise açık tonda bir kayıt elde edilmektedir. Çalışma esnasında bu tür ayarlamalar kaçınılmaz olmaktadır, bu nedenle yorum yaparken herhangi bir yanılgıya düşmemek için bu tür değişiklikler çalışma anında kayıt üzerinde belirtilmelidir.

Kayıtlar üzerindeki ton farklılığının ikinci nedeni ise tamamen yansıyan sinyallerin gücüyle ilgilidir. Bu da deniz tabanındaki yansıtıcı yüzeylerin akustik özelliklerine ve tabandaki topoğrafik düzensizliklere bağlı olmaktadır. Şöyle ki, su ortamında ilerleyen akustik dalgalar sismik yansıma katsayısı yüksek olan bir ara yüzeyden yansındıkları zaman, yansıma katsayısı daha düşük bir yüzeye nazaran daha fazla bir enerjiye sahip olarak geriye dönmekte ve oluşturduğu elektrik akımı da aynı oranda arttığı için sonar kayıtlarında koyu bir ton oluşmasına neden olmaktadır.

Mesela, kayalık yüzeyler çok koyu bir tonda görülmesine karşın çamurla kaplı olan bölgeler çok daha açık bir tonda görülecektir. Bu gibi materyalleri suya nazaran akustik empedanslarına bağlı olarak yansıtıcı özelliklerini yüksekten zayıfa doğru; kaya, çakıl, kum, çamur vb. şeklinde sıralamak mümkündür.

Deniz tabanındaki topoğrafik düzensizliklerde sonar kayıtlarında ton farklılığına yol açmaktadır. Mesela topoğrafik yükseltiler (kaya blokları, kum dalgaları, kum ve çakıl kümeleri vb.) deniz tabanına nazaran daha koyu tonda görülürler. Çünkü

bu tür yükseltiler transducerlerden gelen akustik dalga ışınlarına karşı dik konumda daha geniş yüzeylere sahip olmaları için iyi bir yansıtma özelliği göstermektedirler. Ayrıca bu tür topoğrafik yükseltilerin arka tarafına sinyal ulaşmadığı için buralarda bir akustik gölge zonu oluşur. Deniz tabanında çukur şeklinde bulunan topoğrafik düzensizlikler ise tabana nazaran daha açık bir ton gösterirler çünkü, akustik sinyallerin bu tür yerlerden yansıması zayıf olmaktadır.

Akustik dalgaların girişim olayı da sonar kayıtlarında ton değişikliğine ve sürekli bir iz oluşmasına neden olurlar, bu girişim olaylarının nedeni üçe ayrılır (Flemming 1976).

I. Şayet yanı tarayan sonar sistemi çalışırken sinyal verici - alıcının (tow - fish) yakınında yüksek frekanslı bir sismik cihaz (echo sounder gibi) kullanılıyor ise her iki kaynaktan çıkan akustik dalgaların girişime uğraması sonucu kayıtlar üzerinde sürekli bir iz oluşacaktır.

II. İkinci bir girişim olayı ise, denizsuu içerisindeki yoğun askı maddelerinden (suspended matter) kaynaklanmaktadır. Bunlar özellikle akarsu ağzlarında ve akarsuların taşkın dönemlerinde meydana gelir ve sonar kayıtlarının tamamen veya kısmen koyulaşmasına yol açarlar. Aynı etki yoğun balık sürüleri tarafından siyah lekeler halinde görülür.

III. Üçüncü tür girişim olayı da geçen gemilerin yayınladığı ultrasonik dalgaların girişimidir. Bunlar kesikli çizgiler halinde görülürler ve kolayca ayırt edilirler.

SONAR KAYITLARIYLA İLGİLİ ÖRNEKLER

Kayıtların yorumlanmasıyla ilgili temel ilkeler bir önceki bölümde açıklanmıştır. Bu bölümde ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nce İstanbul Boğazı, Anamur ve Mersin Körfezlerinde yapılan jeolojik ve jeofiziksel çalışmalara ait (EG-G Mart 1B Side Scan Sonar cihazı kullanılarak) bazı sonar kayıtları, altlarındaki açıklayıcı bilgilerle okuyuculara sunulmuştur (Şekil 5 - 13).

SONUÇ

Bu çalışmalar jeofiziksel bir yöntem olan yanı tarayan sonar sisteminin deniz bilimlerinde (jeolojik, biyolojik ve hidroğrafik) ve mühendislik hizmetlerinde (denizaltı kablo ve boru hatlarının döşenmesi, platformların inşaatı, batıkların aranması ve tarama faaliyetlerinin kontrol edilmesi vb.) başarılı bir şekilde kullanılabileceğini kanıtlamaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu makale ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nce İSKİ (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi), Anamur Kanalizasyon ve Deniz Deşarjı ve Mersin Kanalizasyon ve Deniz Deşarjı projeleri için yapılan oşinografik çalışmalara ait jeolojik ve jeofiziksel bulgulara dayanarak hazırlanmıştır. Deniz saha çalışmalarının oluşturulmasında katkıları bulunan Enstitümüzün tüm idari, akademik ve teknik personeline teşekkür ederiz. Ayrıca makalenin hazırlanışı esnasında yardımlarını esirgemeyen Jeofizik Mühendisi Halise Okyar'a burada teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Belderson, R.H., Kenyon, N.H., Stride, A.H. and Stubbs, A.R. 1972, Sonographs of the Sea Floor. A Picture Atlas, Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Bodur, M.N. 1987, Recent Inshore Sedimentation in the Bay of Mersin. Master Thesis. O.D.T.Ü. D.B.E., Erdemli-İÇEL.
- Bryant, R.S. 1975, Side Scan Sonar Fot Hyrography İan evaluation by the Canadian hyrographic service, International Hydrographic Review 52, 43 - 56.
- Colantoni, P., Fabri, A. and Gallignani, P. 1981, Seismic stratigraphic interpretation of high resolution profiles: some applied examples, Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata 23, 89-106.

- Ediger, V. 1987, Recent Sedimentation in the Bay of Anamur. Master Thesis, O.D.T.Ü.D.B.E., Erdemli-İÇEL.
- Flemming, B.W. 1976, Side Scan Sonar: A practical guide, International Hydrographic Review 53, 65 - 92.
- Hobbs, C.H. III. 1986, Side Scan Sonar as a tool for mapping spatial variations in sediment type, Geo-Marine Letters 5, 241-245.
- Kolouch, D. 1984, Interferometric Side Scan Sonar A Topographic Sea-Floor Mapping System, International Hydrographic review 61, 35 - 49.
- MacPhee, S.B. 1976 Developments in Narrow Beam Echo Sounders, International Hydrographic Review 53, 43 - 52.
- McQuillin, R. and Arduş, D. A. 1977, Exploring The Geology Of Shelf Seas, Graham and Trotman Limited, London.
- Mudie, J.D., Normark, W.R. and Cray, E.J. 1970, Direct mapping of the Sea-Floor using Side Scanning Sonar and transponder navigation, Geological Society of America Bulletin 81, 1547 - 1554.
- Newton, R.S. and Stefanon, A. 1975, Application of Side Scan Sonar in Marine Biology, Marine Biology 31, 287 - 291.
- Okyar, M. 1987, Late Quaternary Sedimentation in the Strait of Bosphorus: A Geophysical Approach. Master Thesis. O.D.T.Ü.D.B.E., Erdemli-İÇEL.
- Prior, D.B., Coleman, J.M. and Garrison, I.E. 1976, Digitally Acquired Undistorted Side Scan Sonar Images Of Submarine Landslides, Mississippi River Delta Geology, Geological Society of America Bulletin 7, 423 - 425.
- Russel, I.C. 1978, Dual Channel Side Scan Sonar, uses an operation in hydrographic surveying, International Hydrographic Review 55, 27-100.
- Shepard, F.P. 1973, Submarine Geology. Harper and Row Publishers, Newyork.
- Stefanon, A. 1985, Marine sedimentology through modern acoustical methods: I. Side Scan Sonar, Bolletino di Oceanologia Teorica ed Applicata 3, 3-38.
- Thorpe, S.A. and Hall, A.J. 1983, The characteristics of breaking waves, bubble clouds, and near surface currents observed using side-scan sonar. Continental shelf Research 1, 353 - 384.
- Thorpe, S.A., Hall, A.J., Packwood, A.r. and Stubbs, A.R. 1985, The use of a towed side scan sonar to investigate processes near the sea surface, Continental Shelf Research 5, 597 - 607

ANTALYA'NIN ZEMİN SORUNLARI VE JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ÇÖZÜMLERİ

The Ground Problems of Urban Area in Antalya and Their Resolutions by Means of Geophysical Methods

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

ÖZET

Antalya kenti zemini travertenlerle kaplıdır. Daha önce burada çalışanlar jeolojik görüşlerini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalara göre, sahil kenarındaki travertenlerde birçok kırıklar, faylar, alterasyon zonları ve mağaralar bulunmaktadır. Bu alanın çok karmaşık ve heterojen bir yapısı vardır. Böyle ortamlarda inşaat zemininde yapılacak sınırlı sayıdaki mekanik sondaj numunelerine bakarak, zeminin mühendislik özelliklerini ve yapısal durumunu aydınlatmak olası değildir. Yalnızca zemin taşıma gücünü küçük almak, hasarı önlemek için yeterli değildir. Bu güçlüğü yenmek için, jeolojik yöntemlerden sismik ve elektrik yöntemleri birlikte kullanılarak zeminin yapısal durumu, mühendislik özellikleri, taşıma gücü, emniyet gerilmesi ve elastisite parametreleri ile kompleks ve heterojen yapısı tanımlanabilir.

Bilindiği gibi, yeraltı suyu etkisindeki fay zonlarında genellikle düşen blok diğer bloka göre düşük özdirenç ve yüksek IP gösterir. Oysa kendine özgü jeolojik koşullardan dolayı Antalya'daki travertenlerde düşen bloklar diğer bloklara göre yüksek özdirenç ve düşük IP gösterir. Bu karakteristik özellikler Antalya'da travertenlerin kırık zonlarını tanımlamaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca Antalya'daki travertenler mağaralardan dolayı düşük IP ve yüksek özdirenç göstermektedir. Antalya'daki zemin araştırmalarında jeofizik yöntemlerin kullanılması zaman ve parasal kazanç sağlamaktadır.

Antalya'da çok katlı yapılaşma hızla artmaktadır. Gelişen bir kendir. Birçok zemin sorunu bulunan bu kente ait jeoteknik haritaların bir an önce yapılması zorunludur.

ABSTRACT

The ground in Antalya urban area is covered by travertins which have been studied extensively by a number of authors from the geological point of view. According to those studies, travertins near to shore have many fracture, faults, alteration zones and caverns. In some part of the area, it has very complexity and heavy heterogeneity. In such areas, it is not possible to elucidate structural situation and engineering properties of the ground or foundation from drillings and samples in limited number on the construction area and also to use a permissible bearing capacity as a low value does not sufficient to prevent any hazard. In order to overcome this difficulty, seismic and electrical technics of the geophysical methods should be used because they can determine structural geology, foundation engineering properties, permissible bearing capacity and elastic modulus which cause complexity and heterogeneity of foundation. In a fault zone, it is known that fall down segment generally shows lower apparent resistivity and higher IP parameter than other segment has. But, travertins in Antalya show contrarily higher apparent resistivity and lower IP parameter because of cavern. This is a characteristic properties for determination of travertins fractures zones in Antalya. Our applications show that the geophysical methods is the best one for foundation investigations in Antalya because of its gain of time and financial reason.

Antalya is a town developing quickly with a number of high buildings. For this reason, its geotechnical map should be made by means of geophysical methods.

GİRİŞ

Jeofizik mühendisliği uygulamalarında, inşaat mühendislerine verilecek en önemli parametre zemin emniyet gerilmesi ile zeminin elastisite parametreleri ve zemin altının yapısal özellikleridir. Bunun için Antalya travertenlerinde; zemin

emniyet gerilmesini, zeminin elastik parametrelerinin ve temel hafriyatı ile birlikte zeminin sökülebilirliğinin, ayrıca zeminin yapısal durumunun; yani kırıkların, çatlakların ve fayların, erime boşluklarının ve mağaraların, alterasyon zonlarının ve killeşmelerin, yeraltı suyu durumunun saptanması gerekmektedir.

* Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Isparta.

Bunlardan başka mühendislik yönünden belki de en önemlisi hızla büyüyen şehirdeki atık suların içme suyu olarak kullanılmakta olan yeraltı suyuyla karışmasıdır.

Yukarıdaki sorunların bir veya bir kaçının çeşitli zeminlerde de bulunabileceği ve jeofizik mühendisliği uygulamalarıyla çözümlendiği bilinmektedir. Ancak Antalya ilindeki benzer şekilde zeminle ilgili pek çok sorunun bir arada olduğu seyrek karşılaşılan bir zemin türüdür. Bu bakımdan Antalya ilindeki zemin sorunlarının daha ziyade jeofizik mühendisliği uygulamalarıyla çözümlenebileceği bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır.

ANTALYA ZEMİNİNİN JEOLJİK DURUMU

Antalya kentinde zemin travertenlerle kaplıdır. Travertenler Pleistosen devrinin iki buzul dönemi arasında, kalsiyum bikarbonatlı sulardaki kalsiyum karbonatın çökmesi ile oluşmuştur. Bu travertenler çökme devrindeki bitkileri sararak çeşitli şekiller oluşturmuşlardır. İçlerindeki bitkiler günümüze kadar çürümüş olduklarından travertenler gözenekli bir görünüm kazanmışlardır. Traverten kalınlıklarının bazı bölgelerde 300 metreye ulaştığı ileri sürülmektedir. Antalya'daki travertenlerin oluşum türleri;

- 1) Sıkı dokulu masif traverten,
- 2) Gözenekli ve süngerimsi traverten,
- 3) Bitki dokulu traverten,
- 4) Oolitik traverten,

olarak gözlemlenmiştir. Bunlardan "bitki dokulu travertenler ile oolitik travertenler" in daha çok erime boşlukları geliştirdikleri belirtilmektedir. Travertenler deniz kıyısından iç kesimlere doğru yer yer traverten özelliğini nispeten yitirmekte ve kilce zenginleşmektedir.

Can Aydar ve Jean - François Dumont'un çalışmalarına göre, Antalya travertenlerinde görülen dizilmelerde üç ana çizgisellik doğrultusunun varlığı belirtilmektedir (Şekil 1).

(I) Travertenlerin kuzey kısmında, bitkisel değişimlerle kendini gösteren ve sürekli olmayan kuzeydoğu - güneybatı çizgisellikleri görülür.

(II) Kuzeybatı - güneydoğu çizgisellikleri travertenlerin kuzey kısmında koyu renk bant veya çizgilerle belli olmaktadır. Bu doğrultu kuzeybatı - güneydoğu kıyı kısmından Antalya şehrinin doğusuna uzanan bir çizgi ile belirtilebilir.

(III) Kuzey - güney çizgisellikleri daha seyrek, fakat çok sürekli. Kuzeyden güneye travertenlerden kıyıya kadar uzanmaktadır.

Bu gözlemlenen doğrultular Miyosen sonrası genç tektoniğe bağlanabilir. Travertenler içerisinde gözlenen çizgisellikler tektonik midir? Şimdiye kadar gözlemi ve tanımı yapılmış hiç bir fay yoktur. Bu karstik sirkülasyon çizgileri, traverten biçimine giren gerçek fay çizgilerini takip edebilir. Pliyo-Kuvaterner genç tektoniğe bağlanabilen yeni faylar gerilim tektoniği nedeniyle yeraltı sularının sirkülasyonuna çok elverişlidir. Antalya travertenlerinin oluşturduğu bu gözenekli masa altında, travertenlerin hemen altında bulunan en yeni fayları takip eden su sirkülasyonu, bunlar içerisinde uzun karstik akıntı izleri halinde kendini gösterir.

Kıyı şehrindeki travertenlerin deniz tarafından aşındırılması, oyulması ve ayrıştırılması ile büyük blokların deniz tarafları desteksiz kalmakta ve bunun sonucunda sahil iç kesimlerinde kırıklar ve ayrılmalar oluşmaktadır. Travertenlerde erime boşlukları olup, bu erime boşlukları çeşitli kesimlerde mağara türü boşlukların oluşmasına neden olmaktadır. Yüzeyde söz konusu boşluk araları kırmızı renkli killere dolu görünmektedir. Antalya şehrinin zeminini, birbiri ile bağlantılı irili ufaklı mağaraların yer aldığı, kırıklı, çatlaklı, çok kompleks ve heterojen bir yapıya sahiptir.

ANTALYA ZEMİNİNDE YÜKSEK YAPILARI BEKLEYEN RİSK

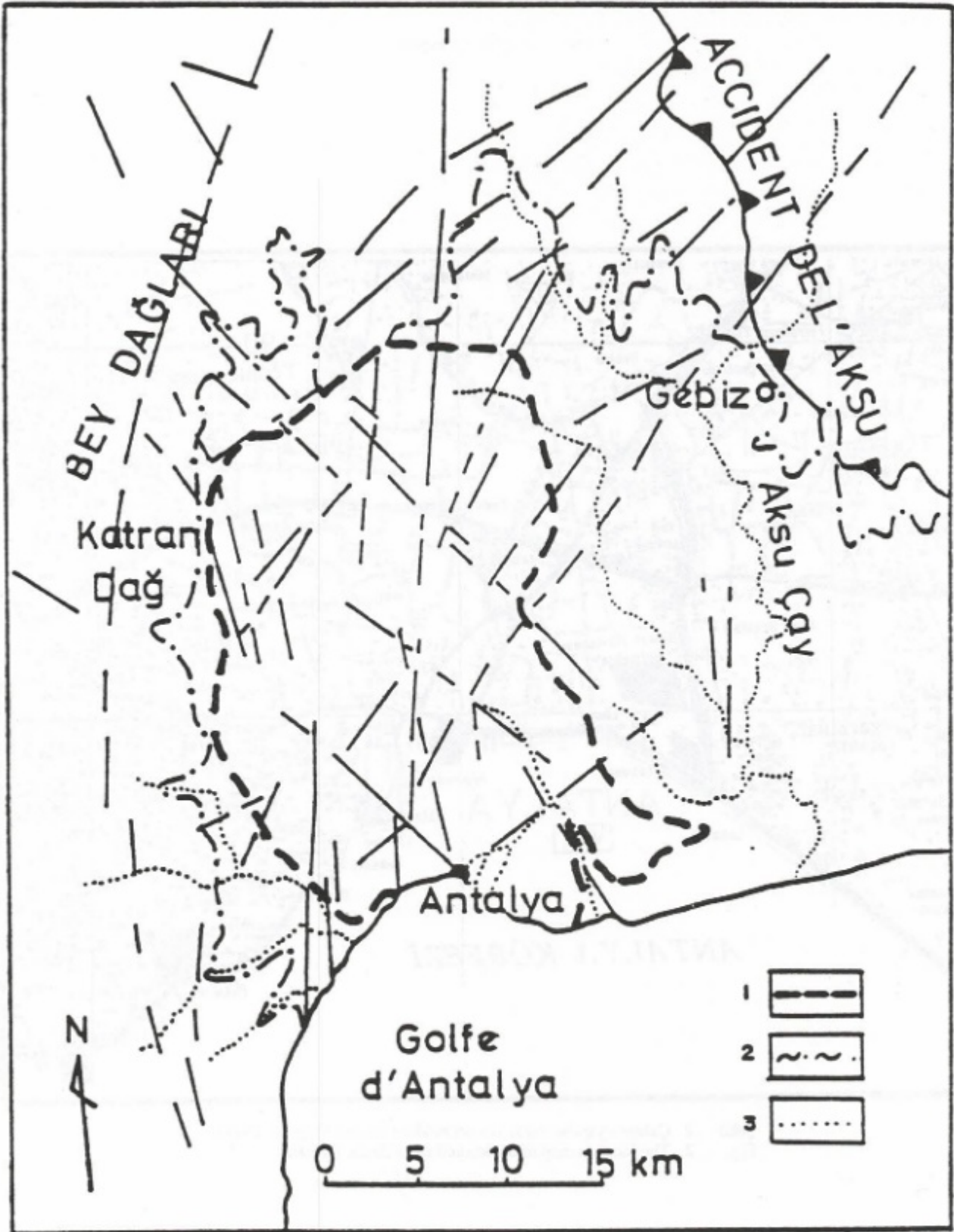
Antalya travertenlerinin oluşturduğu gözenekli masa üzerinde büyük binaların beş yıldızlı otellerin hızla artışı beraberinde zemin sorunlarını da getirmektedir. Yeraltı boşluklarının geometrileri Antalya'daki Atatürk parkında görülebileceği gibi çok düzensiz olarak gelişmiştir. Yüzeyden görünmeyen bu mağara ve erime boşlukları üzerine gelebilecek yüksek binalar ile yine falezdeki kırık, çatlak ve mağaraların üzerine oturacak yüksek bina ve beş yıldızlı oteller risk taşımaktadır. Yeni binaların yükselmesiyle ve zamanla bu yapılarda hasar olabilir. Sadece zemin emniyet gerilmesini küçük almak hasarı önlemek için yeterli değildir. Aksine zemin emniyet gerilmesini küçük almakla bina yükü artacağı için görünmeyen boşluk ve mağaraların tavanları daha kolay çökebilecektir. Bunun yanında travertenlerin ve kilce zengin kısımların yanal ve düşey değişimlerini içeren heterojen zeminde farklı oturmalar hasara neden olabilir. Bunun için travertenlerdeki kırıkların, çatlakların, erime boşluklarının, mağaraların ve alterasyon zonlarının saptanması gerekmektedir.

Traverten falezlerinin gelişmeleri de duraysız şevlerin ve heyelanların gelişmesi gibi daima geriye yani karaya doğru olacağından, falez gerisindeki kırıkların etüdü bu bakımdan önem taşımaktadır. Falez duraylılığı için eğer varsa iç kesimlerdeki örtülü kırıkların yerlerinin ve konumlarının saptanması gereklidir. Nitekim eski Orduevi ve PTT binaları, falezdeki duraylılığı bozduğu için yıktırılmış ve park haline getirilmiştir.

Antalya'da kanalizasyon yoktur. Her bina 20 - 30 m derinliğinde açtığı sondaj ile rast geldiği traverten boşluklarına kanalizasyonunu vermektedir. Bu durum ilerde çevre kirlenmesine neden olabileceği gibi traverten boşluğuna bırakılan asidik atıklar, boşluk ve mağaraların genişlemesine neden olabileceğinden zamanla oturmalarla binalarda hasarlar görülebilir.

ANTALYA ŞEHRİNİN ZEMİN SORUNLARININ ÇÖZÜMÜ İÇİN YAPILMASI GEREKENLER

Antalya travertenlerinde; zemin emniyet gerilmesinin, zeminin elastik parametrelerinin, temel hafriyatı ile zeminin sökülebilirliğinin, zeminin yapısal durumu ile mühendislik özelliklerinin saptanması gerekmektedir. Sınırlı sayıdaki mekanik sondaj ile böylesine heterojen bir zeminin mühendislik özelliklerini ve yapısal durumunu aydınlatmak olası değildir. Bu güçlüğü yenmek için, jeofizik yöntemlerden sismik ve elektrik yöntemleri birlikte kullanılarak zemin emniyet gerilmesi, zeminin elastisite parametreleri, zeminin yapısal durumu ile zeminin mühendislik özellikleri saptanabilir. Bu amaçla yapılan çalışmaların yerleri Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Antalya travertenleri ve civarında çizgisellik haritası. 1. Traverten sınırı; 2. Kuvaterner ve Pliyo Kuvaterner sınırı; 3. hidrografik ağ (Aydar ve Dumont 1979).

Fig. 1. The map of structural zones of Antalya travertins and surrounding area. 1. Boundary of travertins; 2. Boundary of Quaternary and Plio-Quaternary; 3. Hydrographic map (after Aydar and Dumont 1979).

Zemin Emniyet Gerilmesi

Bir yapının temel projesi hazırlanırken zemin taşıma gücünün ve zemin emniyet gerilmesinin göz önünde tutulması gerektiği ve bunların daha çok statik yöntemlerle belirlendiği bilinmektedir. Zemin emniyet gerilmesi kavramı, kaya ve zemin mekanizmasının ilk gelişimi ile birlikte tanımlanmıştır. Zemin emniyet gerilmesi uygulayıcı mühendis için oturmalar, taşıma gücü, zaman etkenleri ve zeminin heterojenliği gibi faktörleri ortadan kaldırdığından günümüze kadar kullanılagelmiştir. Bu kavramın oturma ve taşıma gücü faktörlerini içerdiği varsayılır. Genel anlamıyla, zeminin nihai taşıma gücünün uygun bir güvenlik sayısına bölünmesiyle bulunan zemin emniyet gerilmesinin; yeraltı suyunu, arazinin heterojenliğini, çatlak sistemlerini ve özelliklerini, poroziteyi göz önüne almaması çok kaba bir klavuz olduğu izlenimini vermektedir. Bu kavram, jeolojik koşulların çok iyi bilindiği ve zemin özelliklerinin birçok kez denendiği durumlarda projelendirme için faydalıdır. Yerleşim merkezlerinde taşıma gücü ile oturmaların hesaplanmasının yanında yükleme ve SPT deneylerinin yapımındaki güçlükler V_s enine dalga hızlarından yararlanmayı ön plana çıkarmıştır. E. Türker ve A. Keçeli tarafından V_s enine dalga hızlarından zemin emniyet gerilmesinin ve V_p boyuna dalga hızlarından taşıma gücünün hesaplanması için bağıntılar geliştirilmiştir. (Türker 1988).

Zemin emniyet gerilmesi (σ_e)

$$\sigma_e = \rho \cdot V_s \cdot \frac{T_0}{4} \text{ kg/cm}^2$$

ile taşıma gücü (σ_n) ise

$$\sigma_n = \rho \cdot V_p \cdot \frac{T_0}{4} \text{ kg/cm}^2$$

olarak tanımlanabilir. burada ρ yoğunluk, T_0 zemin hakim titreşim periyodudur. Bu bağıntılardan elde edilen zemin emniyet gerilmesi değerleri aynı yerdeki statik yöntemlerle elde edilen zemin emniyet gerilmesi değerleri ile büyük bir uyumluluk göstermektedir. Sismik yöntemlerle hesaplanan zemin emniyet gerilmesi değerleri güvenle ve büyük bir kolaylık içerisinde kullanılabilir.

Antalya'daki zemin etütlerinde bu yöntemle elde edilen zemin emniyet gerilmesi değerleri 2 kg/cm² ile 12,5 kg/cm² arasında değişmektedir. Bu değerler Yazganlar İnşaat alanında 2 kg/cm², Alke Otelinde 2,5 kg/cm², Birmaş A.Ş. inşaat alanında 2,5 kg/cm², Cender Otelinde 5 kg/cm², Antalyaspor Mensupları Yapı Kooperatifinde 10 kg/cm² ve Etmen Yapı Kooperatifinde 12,5 kg/cm² civarında saptanmıştır. Etmen Yapı Kooperatifinin inşaatı buna göre projelendirilmiş ve kaba inşaatı iki sene önce tamamlanmış olan 12 katlı bu binalarda herhangi bir hasar izi görülmemektedir.

Zeminin Elastik Parametreleri

Sismik yöntemle V_s ve V_p dalga hızlarından zemin emniyet gerilmesi saptanırken diğer elastik parametreleri (Young Modülü E, Kayma Modülü G ve Poisson oranı μ) elde etmek olanaklıdır.

Temel Hafriyatı ile Zeminin Sökülebilirliği

V_p boyuna dalga hızı değerleri ile kayaların sökülebilirliği arasındaki deneysel ilişkiden yararlanarak makina parkı ve zeminin sökülebilirliği hakkında karar verilebilmektedir (Şekil 3).

Zeminin Yapısal Durumu ve Mühendislik Özellikleri

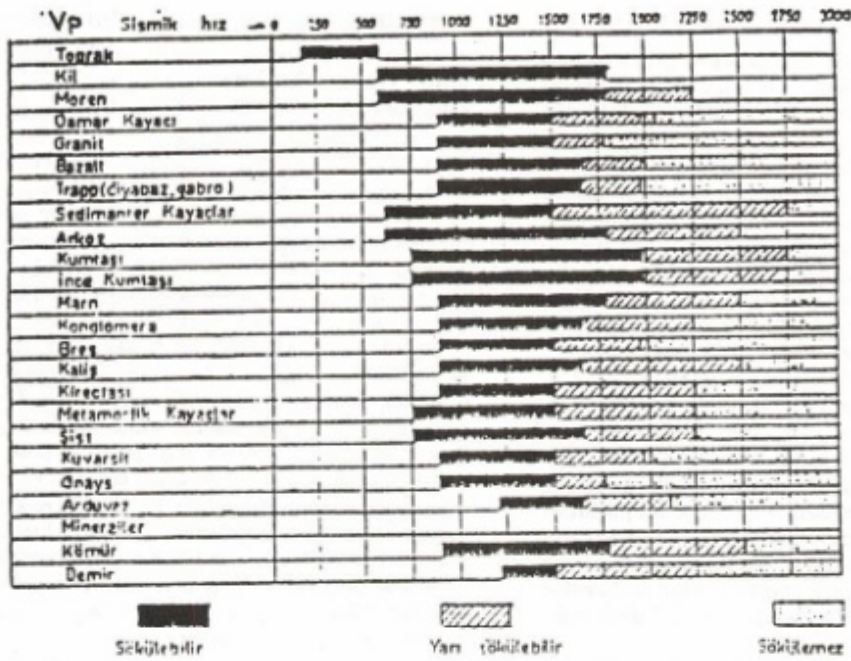
Bu amaçla sismik ve özdirenç çalışmaları birlikte yapılmıştır. Örneğin Talya Otelı bitişindeki Birmaş A.Ş. inşaat sahasında sismik broadside (Şekil 4) ve çeşitli doğrultularda in-line çalışmaları yapılmıştır. In-line çalışmalarından W-E doğrultusundaki zaman - uzaklık grafiği Şekil 5 te görülmektedir. Şekil 4'teki broadside çalışmasında sismik hız vektörlerinin değerleri çeşitli yönlerde ve farklı ölçü noktalarında aşırı hız farklılıkları göstermektedir. Düşük hız değerlerinin varlığı zemin altının aşırı derecede kırıklı ve boşluklu olduğunu göstermektedir. Sismik hızlar kayaların mekanik özelliklerini yansıttığından V_p dalga hızının 1000 m/s den küçük değerleri zayıf sağlamlıkta zemin türüne, V_s dalga hızı 1000 m/s ile 2500 m/s arasındaki değerler orta sağlamlıkta zemin türüne ve V_p dalga hızı 2500 m/s den büyük değerler ise sağlam zemin türüne tekabül eder. İnşaat zeminini altında sismik dalga hızları (600 m/s - 3500 m/s) arasında değerler aldığından düşük sismik hızlar bozmuş (altere) traverten bölgelerini, orta derecedeki sismik hızlar ise travertenlerin kısmen altere kısmen orta sıklıktaki bölgelere sahip olduğunu göstermektedir. Orta sıklıktaki traverten bölgeleri süreklilik göstermemektedir. Şekil 5'teki in-line çalışmasına göre elde edilen zaman-uzaklık grafiği aşırı kırıklılığın varlığını ve derinlere doğru bu kırıkların devam ettiğini açıkça göstermektedir.

Elastisite modülü (Young modülü) E, zeminin sağlamlığını, sertliğini, bir başka deyişle zeminin katlılığını yansıtır. İnşaat alanında elastisite modülünün (767 kg/cm² - 29925 kg/cm²) arasında değerler alması yine bu zeminin zayıf sağlamlıkta bir zemin olduğunu belirtir. Örneğin, betonun elastisite modülü değeri (100 000 kg/cm² - 300 000 kg/cm²) arasında ve granitin ise 500 000 kg/cm² civarında olduğu bilinmektedir. Bu örneklerle göre inşaat alanının elastisite değerlerinin düşük olduğu anlaşılmaktadır. İnşaat alanı için dinamik kayma modülünün (265 kg/cm² - 11 250 kg/cm²) arasında değerler alması zeminin yanal kuvvetlere karşı dayanıklılığının zayıf olduğunu belirtmektedir.

Yukarıda sözü edilen sismik hızların ve dinamik elastisite parametrelerinin inşaat alanı altındaki dağılımları izlendiğinde travertenlerin üç boyutlu olarak, yani düşey ve yanal doğrultularda kısa aralıklarda mekanik özelliklerinin farklılaşma gösterdiği anlaşılmaktadır.

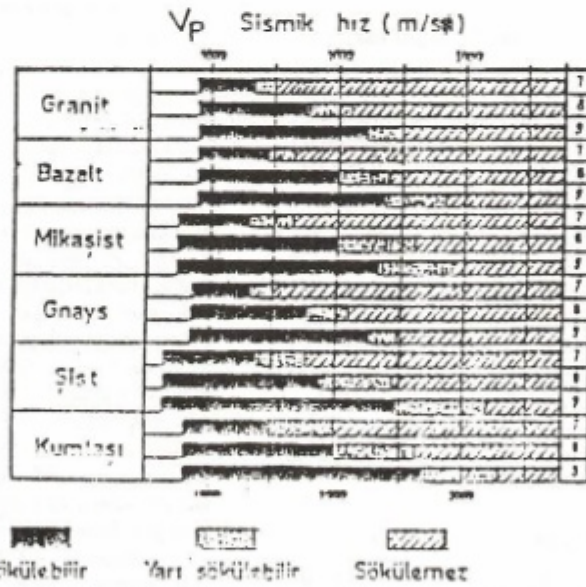
İnşaat zemininin altındaki travertenlerin yanal ve düşey doğrultularda elektrik akımı iletim özellikleri bu noktaların ayrışma ve bozuma özelliklerini, yani bloklaşmalı, kırıklı, mağara türü boşluklu ve gözenekli yapının su, kil veya hava ile dolu olup olmadığını yansıtmaları bakımından ve ayrıca sismik çalışmayla korelasyon için özdirenç ve etkisel kutuplaşım % frekans etkisi (EIP) ölçüleri alınmıştır. Bu ölçüler düşey elektrik sondaj (DES) ve profil ölçüsü şeklindedir. Elektrik özdirenç değerleri (Şekil 6 ve Şekil 8) kırık hattını varsa boşlukları ve kil, silt, kum bakımından katmanlaşma özelliğini saptamak için, EIP ise (Şekil 7 ve Şekil 9) söz konusu ortamların traverten alterasyonu miktarını, su muhtevasını ve konsolidasyon durumunu yansıtmaları bakımından uygulanmıştır.

Özdirenç ve EIP değerlerine baktığımızda sismik çalışmaya paralel heterojen bir yapı görülmektedir. Prensip olarak sağlam ve sıkı travertenlerin elektrik akımı iletmeleri zayıf olacağından özdirenç değerleri de yüksek olacaktır. Altere olmuş traverten bölgelerinin bir miktar ıslak kil içermeleri nedeniyle elektrik akımını iyi iletmeleri sonucu özdirenç değerlerinin küçük olması gerekir. Traverten boşlukları ise özellikle mağara türü durumlarda elektrik akımı havadan iletilemeyeceği için çok yüksek özdirenç değerlerinde olması gerekir. Bu nedenle inşaat sahası zemininde elde edilen yüksek özdirenç değerleri sağlam traverten bölgelerine, düşük özdirenç değerleri



Ölçek bir dişli hidrolik ripperle donatılmış 320 HP gücündeki çekici için geçerlidir.

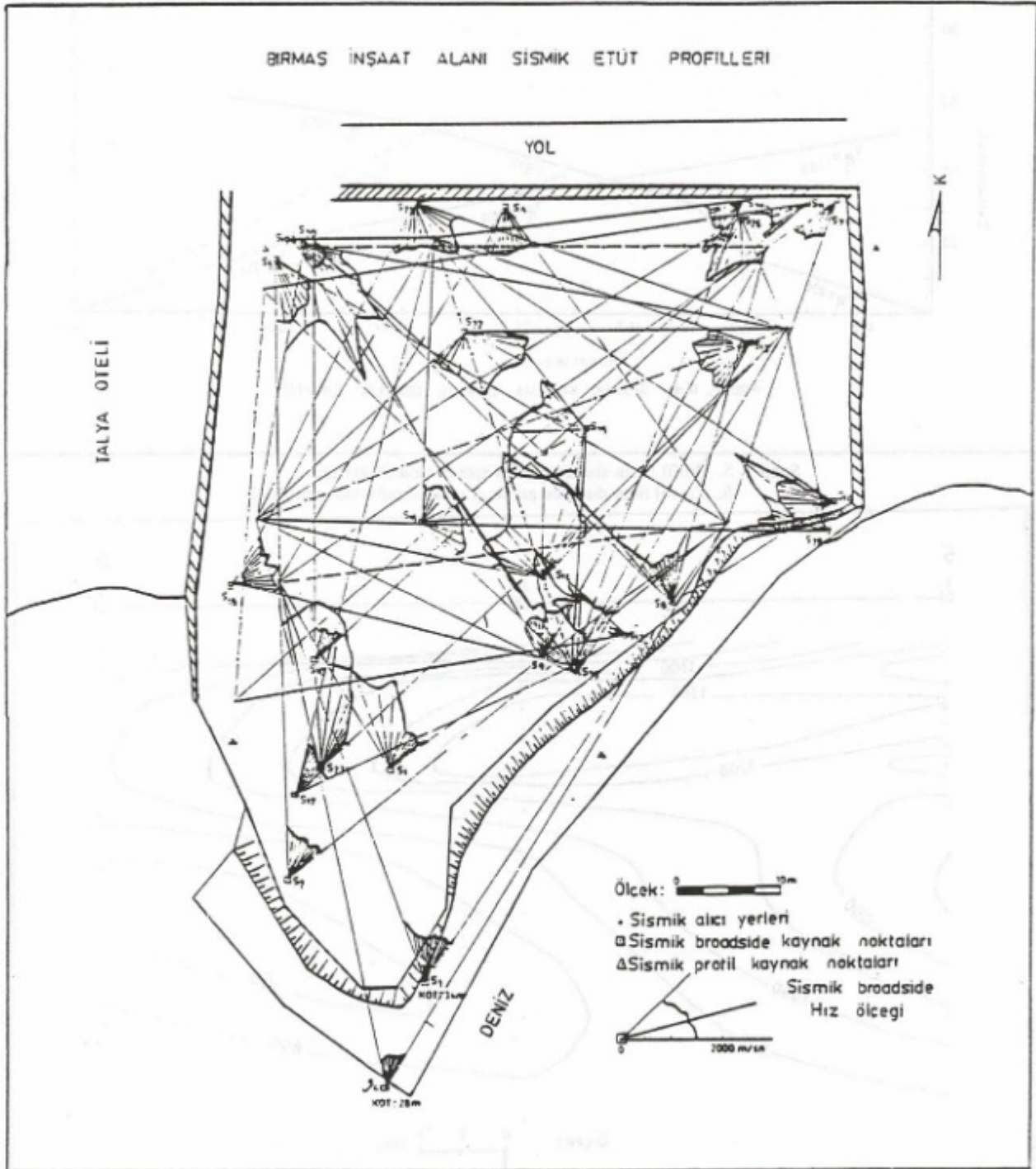
- 1- 380 HP'lik bir çekiciye monte edilmiş bir dişli ripper için yukarıdaki rakamlar %10 arttırılacaktır.
- 2- 230 HP'lik bir çekiciye monte edilmiş bir dişli ripper için rakamlar %15 azaltılacaktır.
- 3- Yarı sökülebilir durumda ripperin kullanımı rentabl değildir. Bu durumda, ya ripper yardımcı bir çekici ile donatılmalı veya kazılacak kayacı çatlatmak için hafif patlatmalar yapılmalıdır.



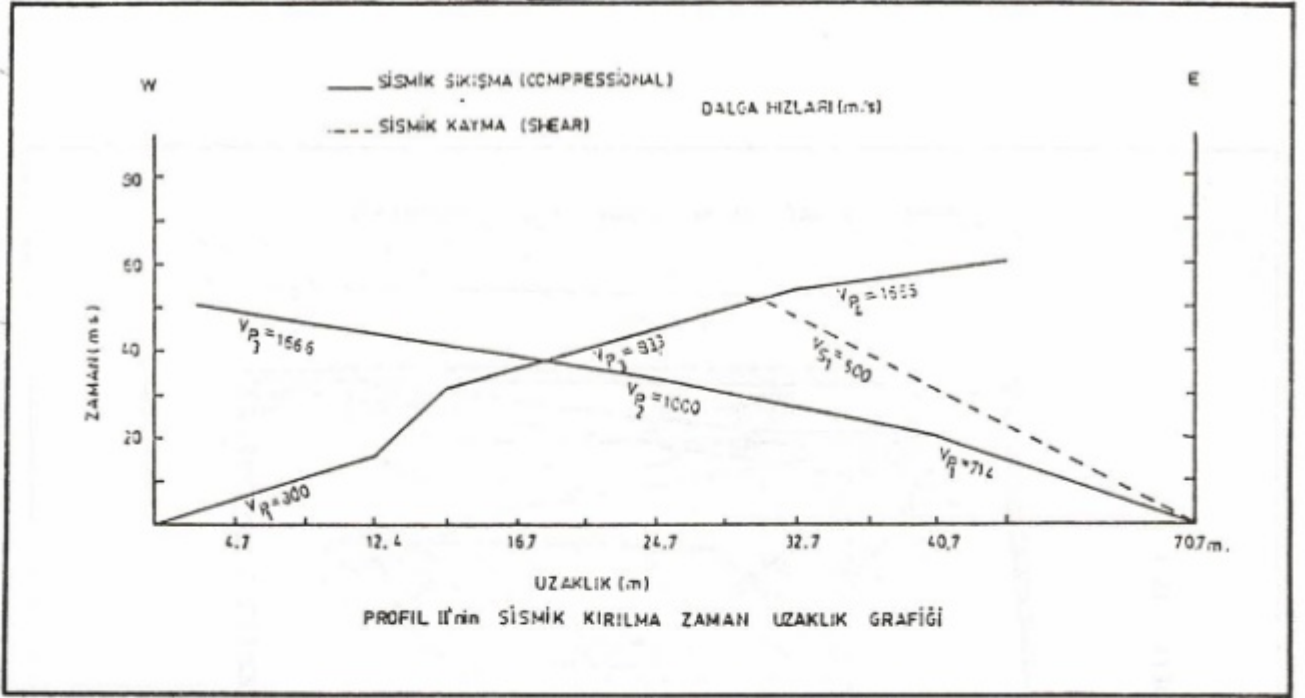
7: Ripper 7-B (1 dişli, 185 HP); 8: Ripper 8-B (1 dişli, 280 HP)
 9: Ripper 9-B (1 dişli, 320 HP); 1946 Caterpillar, dokümanlarına göre)

Şekil 3. Sismik hızlarla ilgili kazılabilirlik çizelgesi.

Fig. 3. Typical chart of ripper performance related to seismic wave velocities.

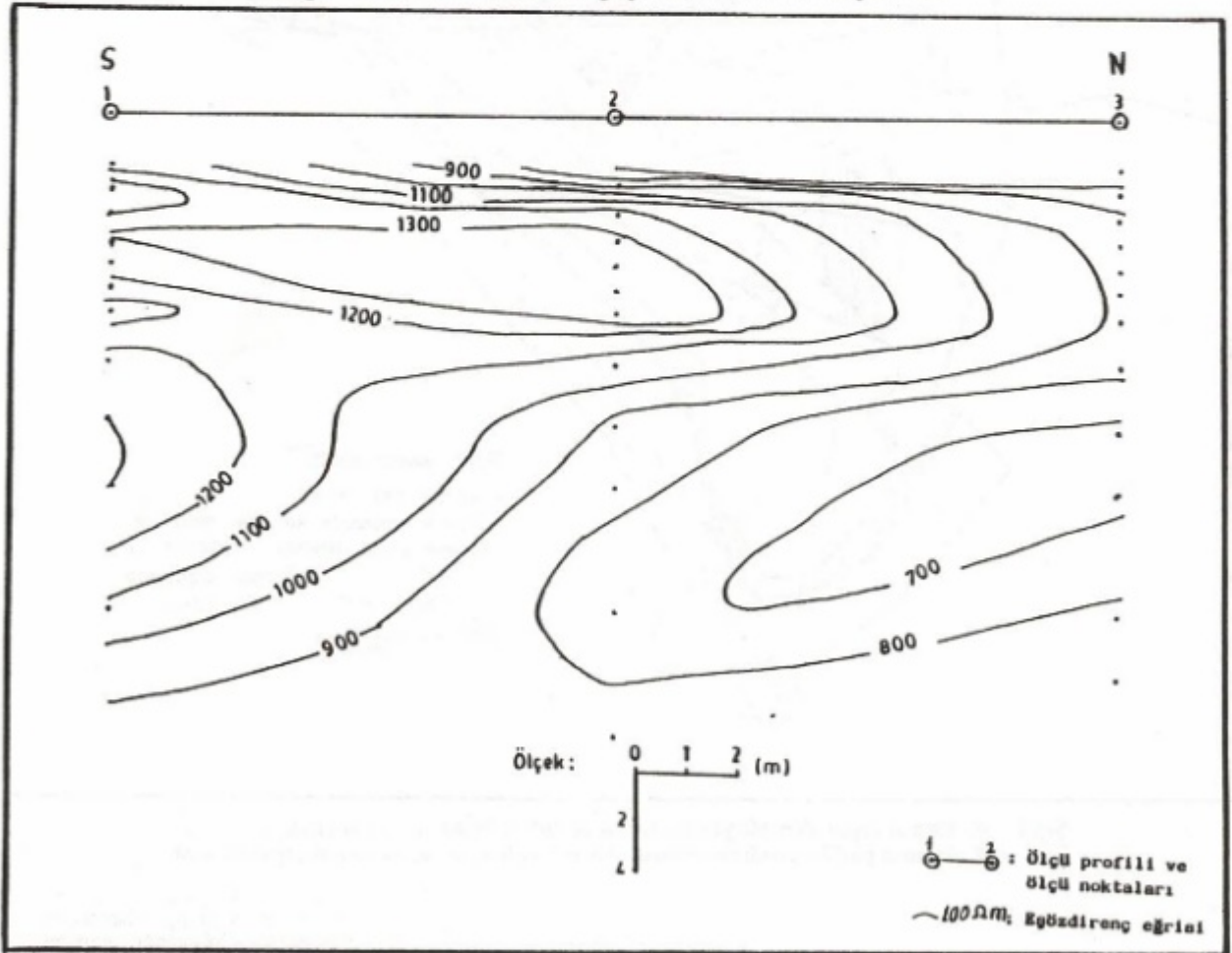


Şekil 4. Birmaş inşaat alanında yapılan sismik profilleri (broad-side ve in-line).
 Fig. 4. Seismic profiles conducted (broad-side and in-line) at the Birmaş construction area.



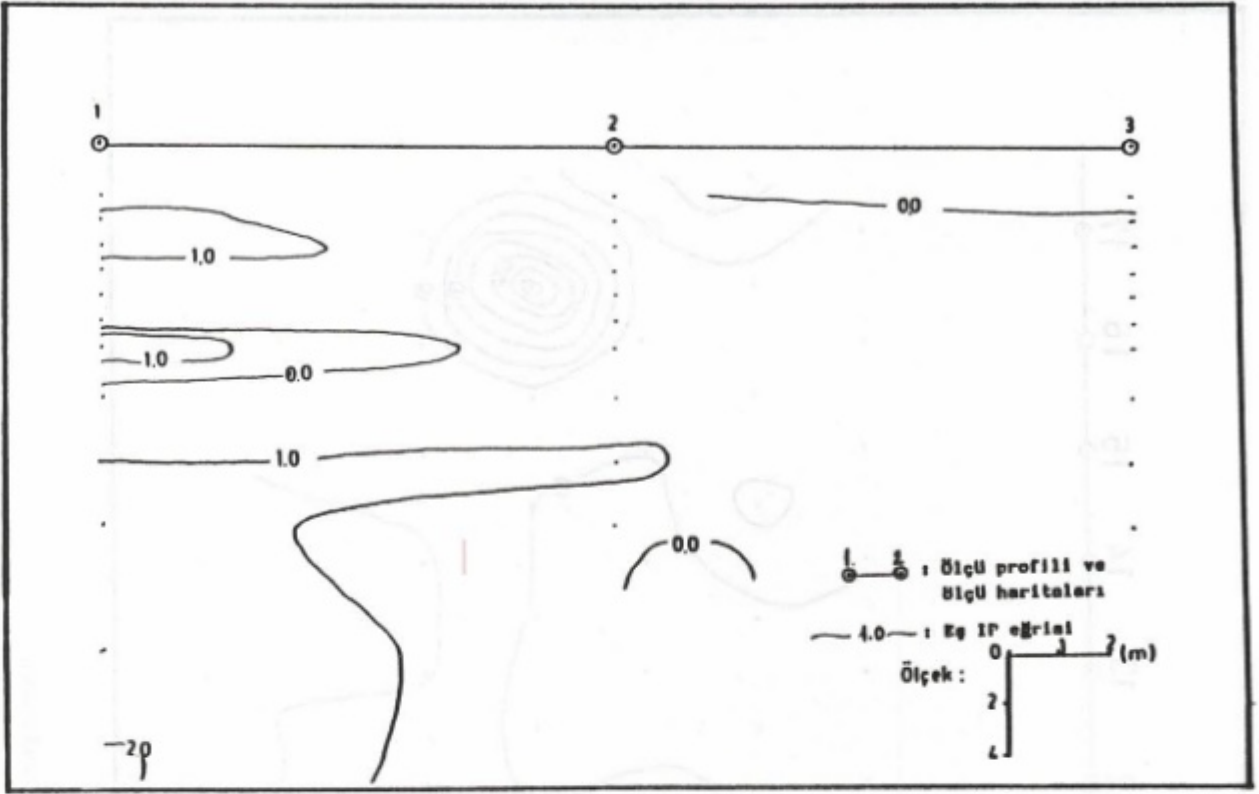
Şekil 5. Profil II'nin sismik kırılma zaman-uzaklık grafiği.

Fig. 5. Travel time-distance graph of seismic refraction profile II.

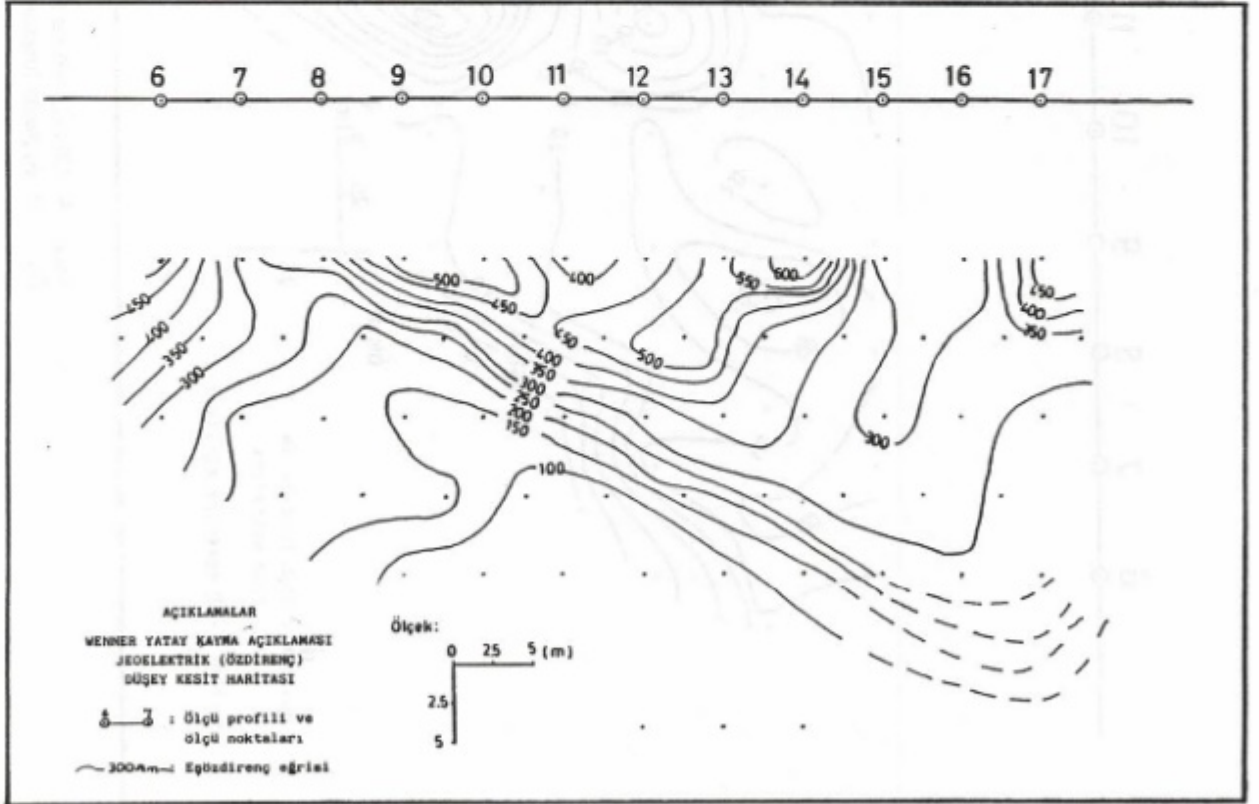


Şekil 6. Görünür öz direnç kesiti.

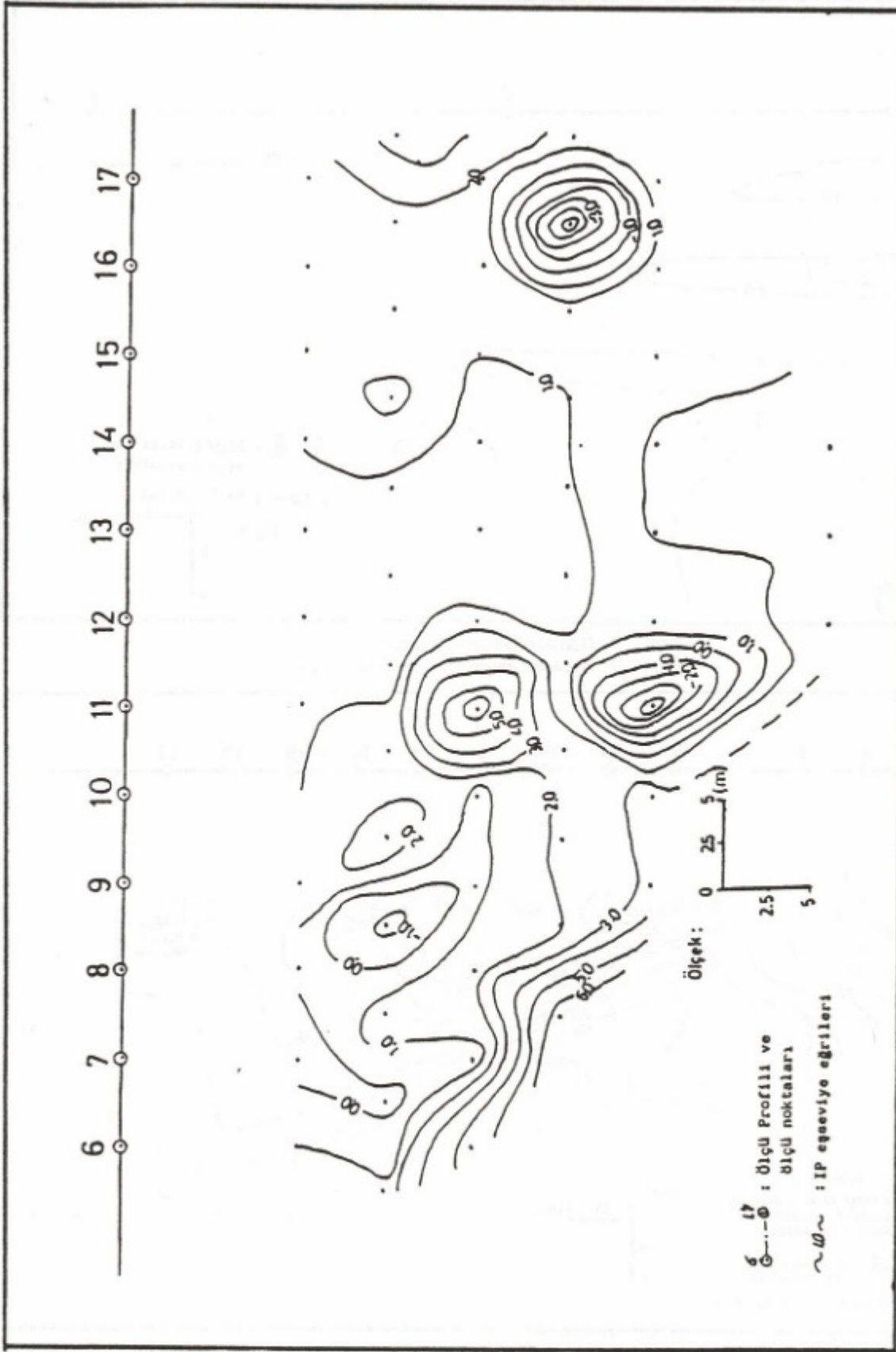
Fig. 6. Apparent resistivity pseudosection.



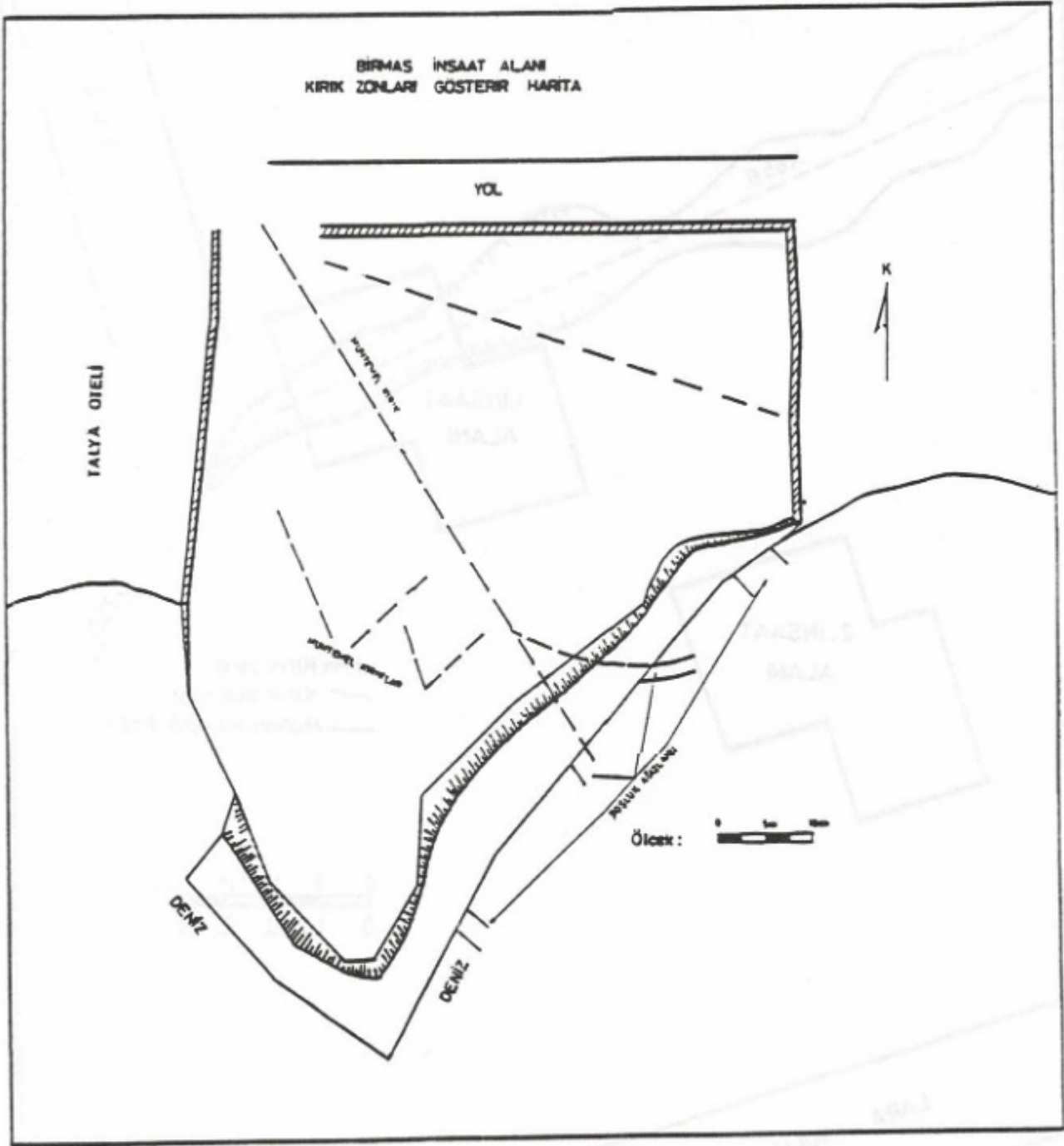
Şekil 7. Görünür frekans etki kesiti.
Fig. 7. Apparent frequency effect pseudosection.



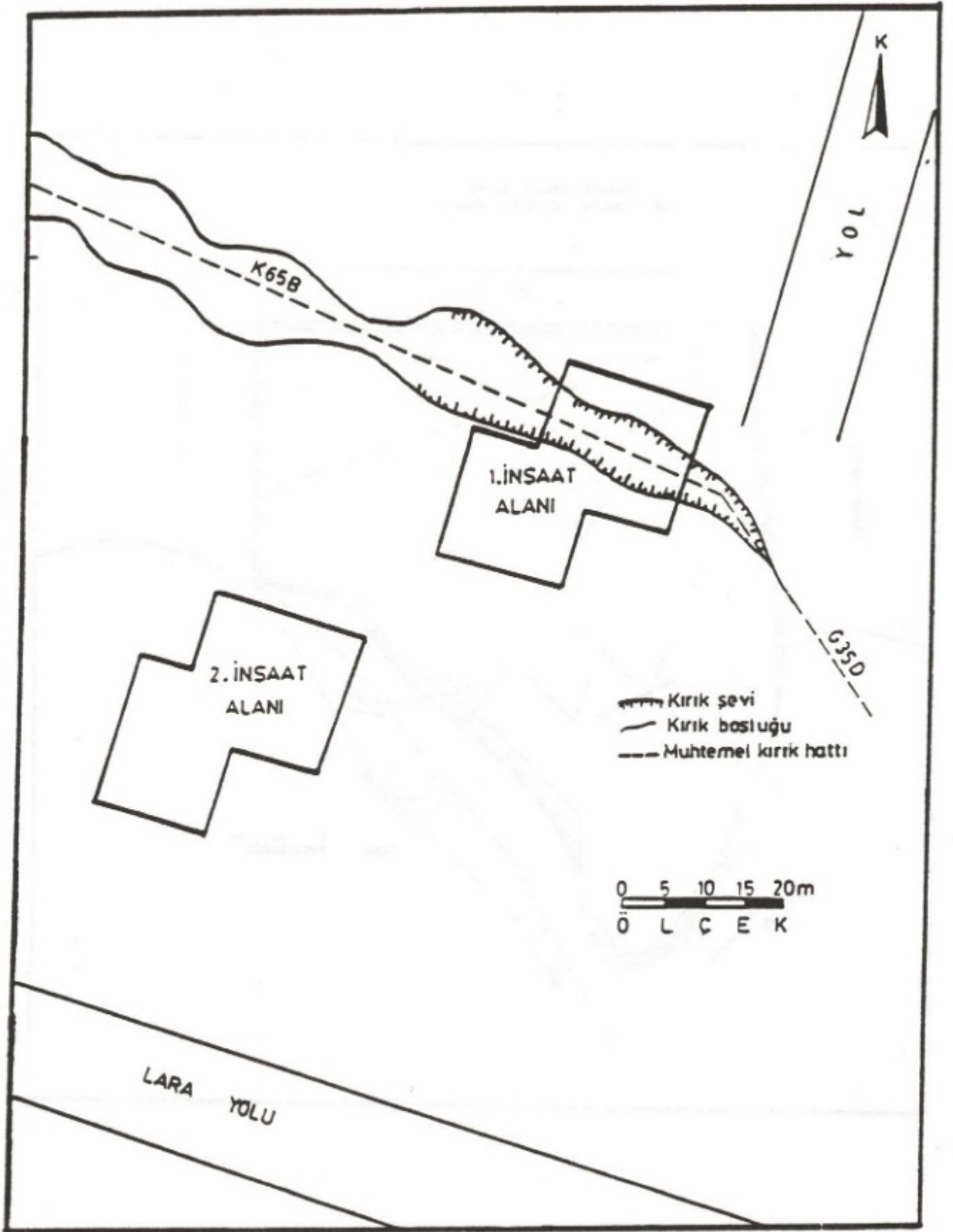
Şekil 8. Görünür öz direnç kesiti (Wenner).
Fig. 8. Apparent resistivity pseudosection (Wenner).



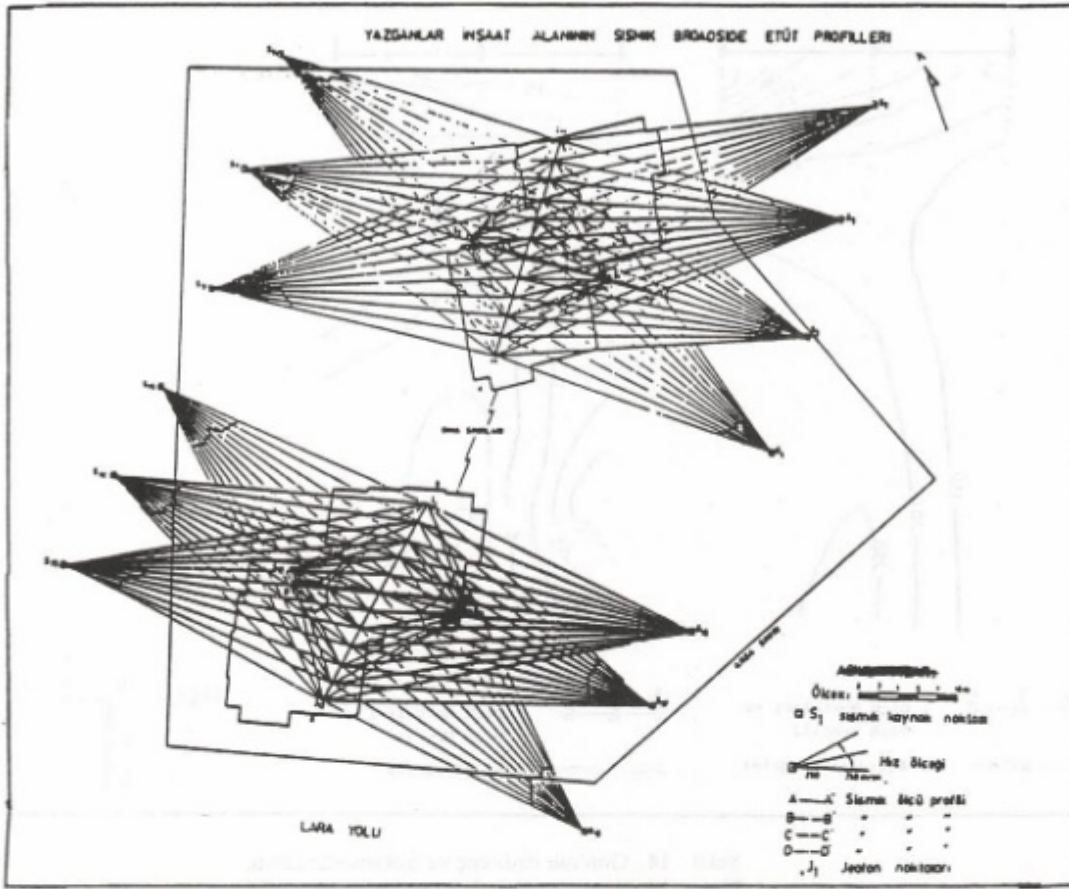
Şekil 9. Görünür frekans etki kesiti.
Fig. 9. Apparent frequency effect pseudosection.



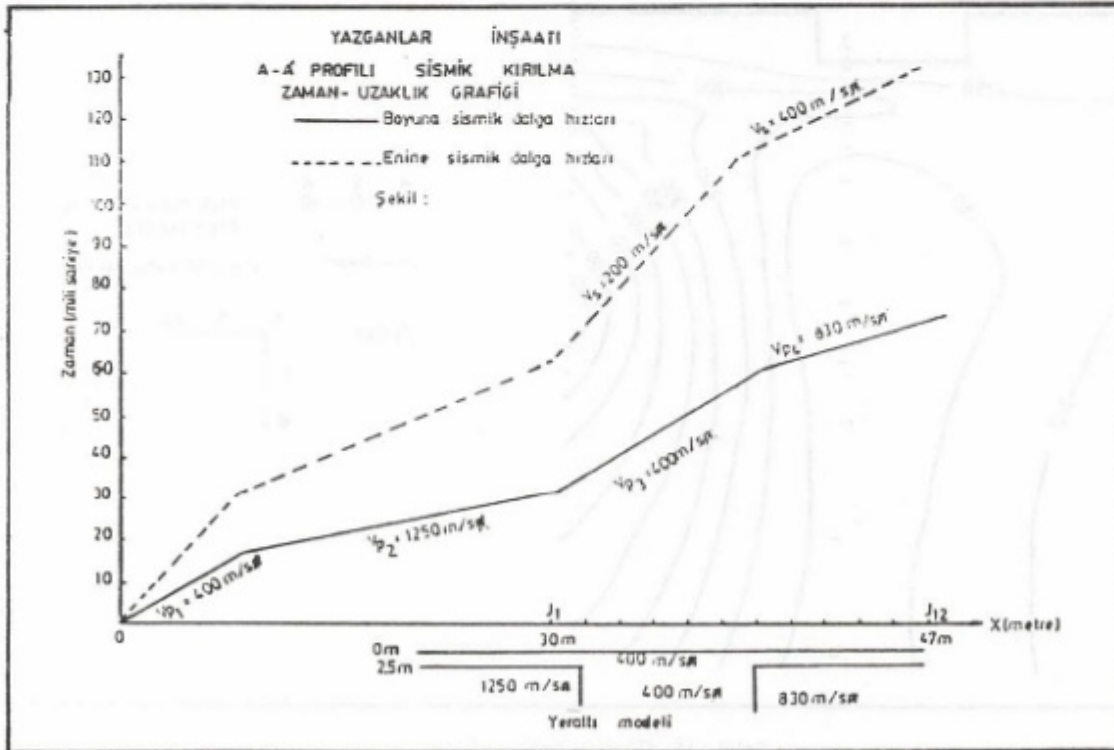
Şekil 10. Birmaş inşaat alanı kırık zonlarını gösterir harita.
Fig. 10. Faults zones map of the Birmaş construction area.



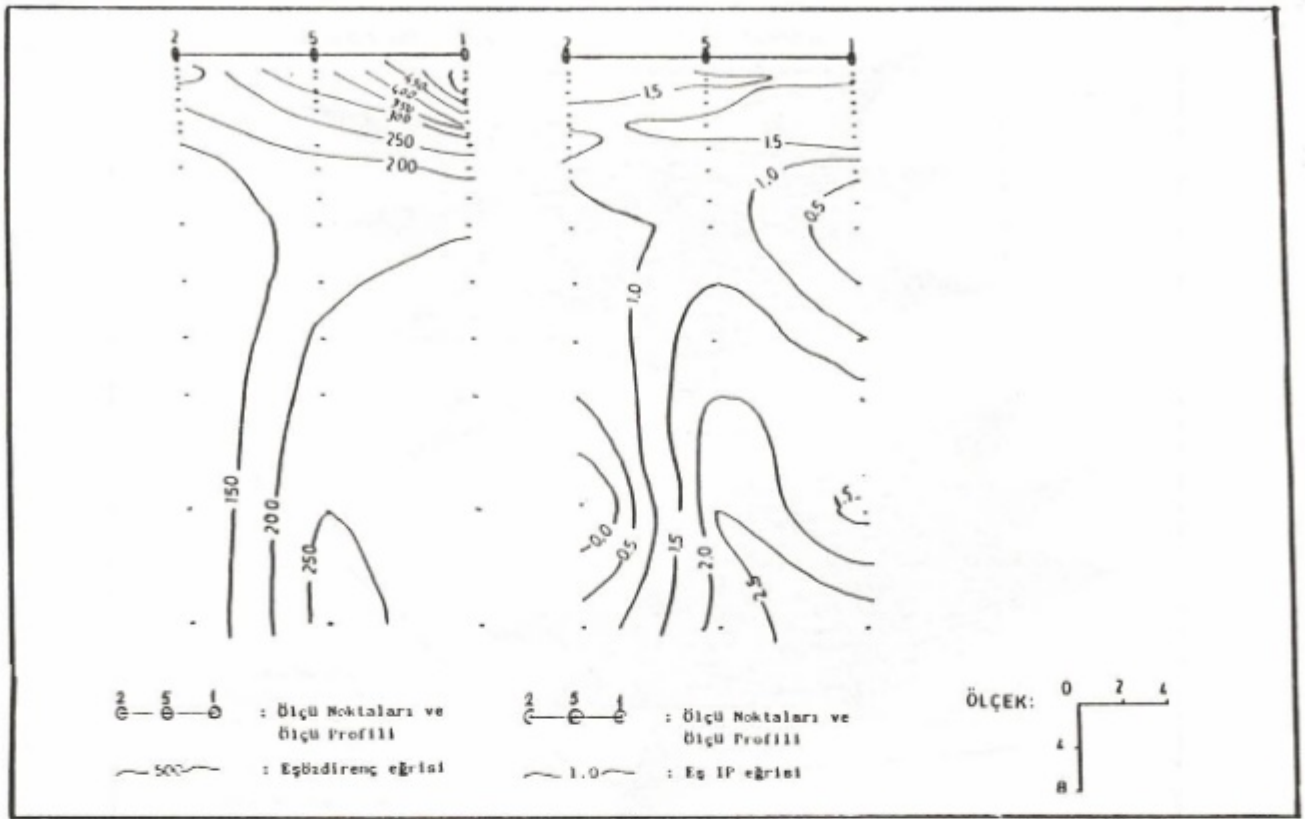
Şekil 11. Yazganlar inşaat şirketi inşaat sahaları
Fig. 11. Yazganlar Construction area



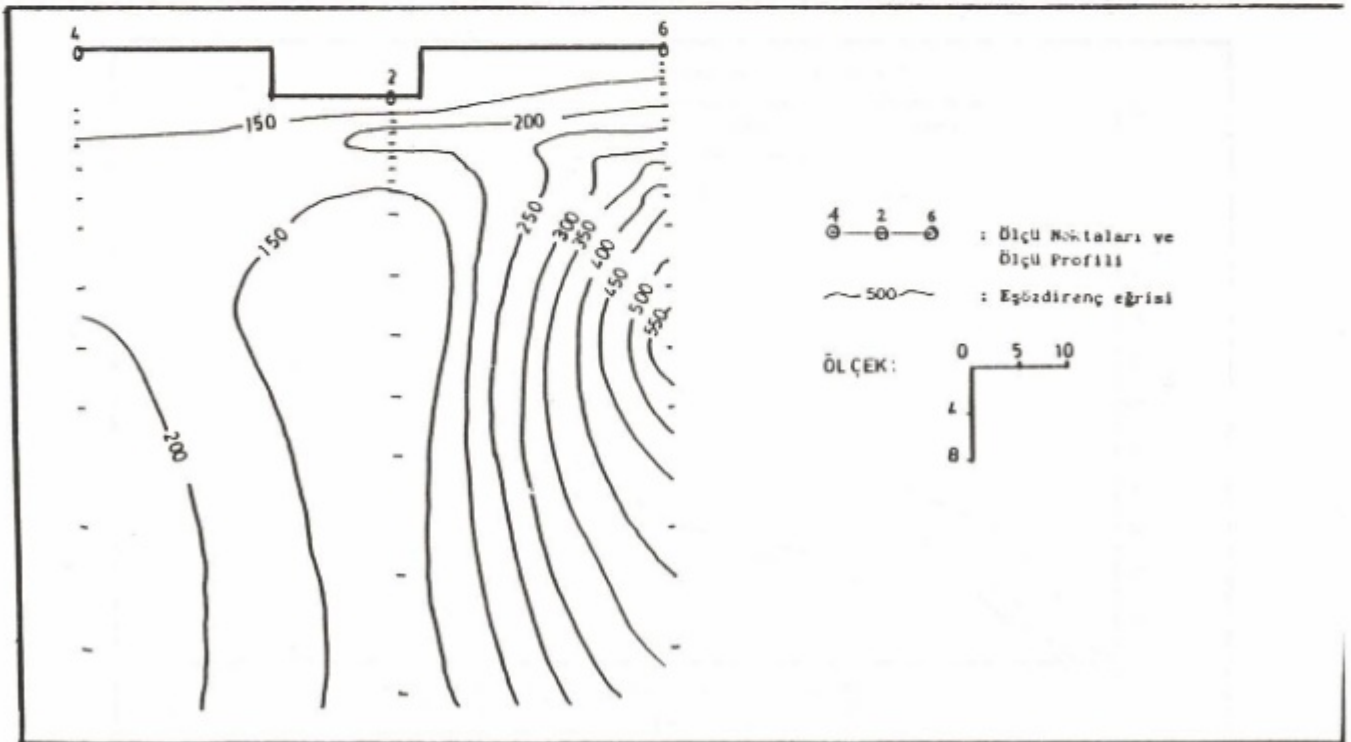
Şekil 12. Yazganlar inşaat alanında yapılan sismik etüt profilleri (broad-side ve in-line).
Fig. 12. Studied seismic profiles (broad-side and in-line).



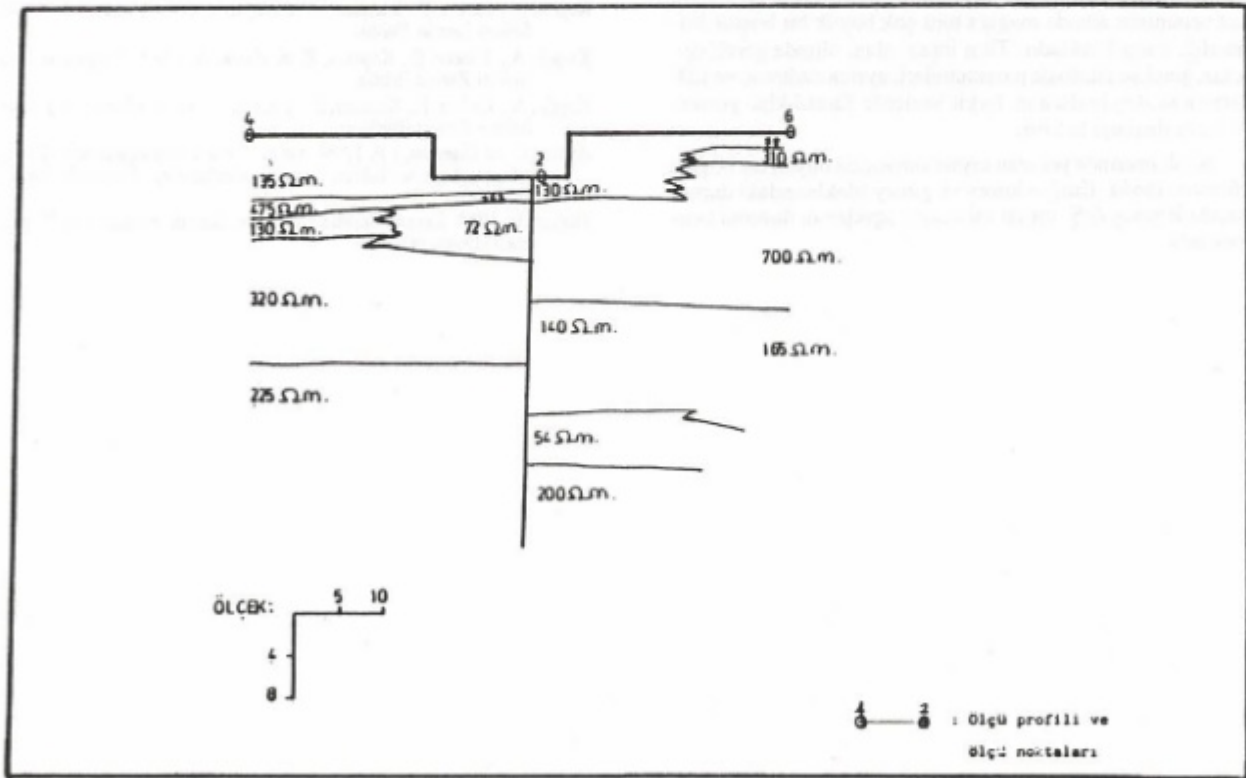
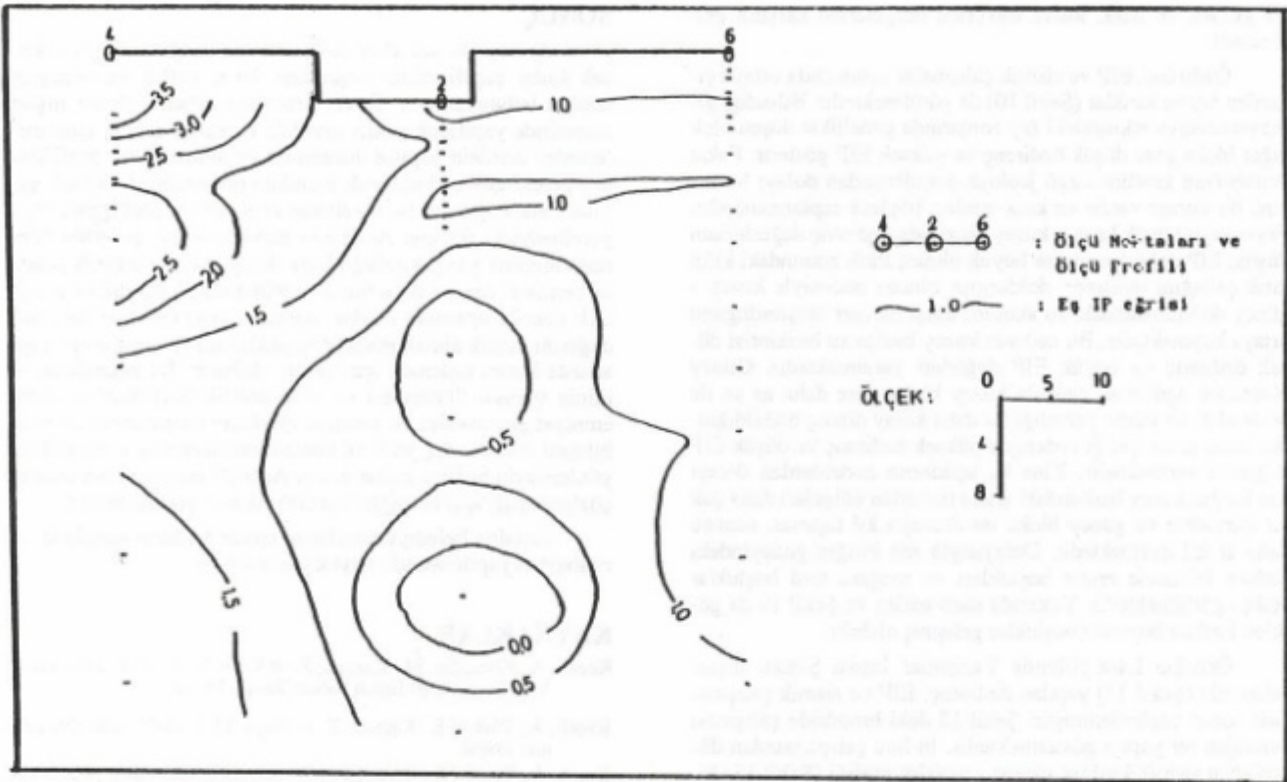
Şekil 13. Yazganlar inşaat alanı A-A' profili sismik kırılma zaman - uzaklık grafiği
Fig. 13. Traveltime - distance graph of A-A' seismic refraction profile.



Şekil 14. Görünür öz direnç ve frekans etki kesiti.
Fig. 14. Apparent resistivity and frequency effect



Şekil 15. Görünür öz direnç kesiti.
Fig. 15. Apparent resistivity pseudosection.



ise gevşek ve ıslak, altere traverten bölgelerine karşılık gelmektedir.

Özdirenç, EIP ve sismik çalışmalar sonucunda ortaya çıkarılan fay ve kırıklar (Şekil 10) da görülmektedir. Bilindiği gibi, yeraltısuyu etkisindeki fay zonlarında genellikle düşen blok diğer bloka göre düşük özdirenç ve yüksek EIP gösterir. Fakat Antalya'nın kendine özgü jeolojik koşullarından dolayı bunun tersi bir durum vardır ve kırık zonları böylece saptanmaktadır. Fayın veya büyük kırığın kuzey blokunda özdirenç değerlerinin düşük, EIP değerlerinin ise büyük olması kırık zonundaki kilin kırık çatlağını tamamen doldurmuş olması nedeniyle kuzey - güney doğrultusundaki su akımına karşı bariyer oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle kuzey blokta su birikintisi düşük özdirenç ve büyük EIP değerleri yaratmaktadır. Güney blokta ise açıklanan nedenle kuzey bloka göre daha az su ile beslendiği ve sahile yakınlığı ile daha kolay direnç olabildiğinden daha az su içeriği nedeniyle yüksek özdirenç ve düşük EIP değerleri vermektedir. Yine bu açıklanan nedenlerden dolayı ana kırığın kuzey blokundaki altere traverten bölgeleri daha çok kil içermekte ve güney bloku ise drenajla kil taşıması sonucu daha az kil içermektedir. Dolayısıyla ana kırığın güneyindeki blokun falezinde erime boşlukları ve mağara türü boşluklar açıkça görülmektedir. Yukarıda sözü edilen ve Şekil 10 da görülen kırıklar boyunca boşluklar gelişmiş olabilir.

Örneğin Lara yolunda Yazganlar İnşaat Şirketi inşaat sahasında (Şekil 11) yapılan özdirenç, EIP ve sismik çalışmalarla sorun çözümlenmiştir. Şekil 12 deki broadside çalışması heterojen bir yapıyı göstermektedir. In-line çalışmasından düzenlenen sismik kırılma zaman - uzaklık grafiği (Şekil 13) kırıkların varlığını ortaya koymaktadır. Özdirenç (Şekil 14, şekil 15, Şekil 17) ve EIP (Şekil 14, Şekil 16) heterojeniteyi ve kırık yapısını ortaya koymaktadır. Sismik hızların yüksek olduğu yerlerde yüksek özdirenç sismik hızların düşük olduğu yerlerde düşük özdirenç ve düşük EIP değerinin elde edilmesi nedeniyle inşaat zemininin altında mağara türü çok büyük bir boşluk bulunmadığı anlaşılmaktadır. Tüm inşaat alanı altında gerek sismik hız, gerekse elastisite parametreleri, ayrıca özdirenç ve EIP değerlerinin dağılımlarının farklı yerlerde farklılıklar göstermesi heterojeniteyi belirtir.

Kırık üzerinde yer alan inşaat sahasında büyük bir boşluk görülmemektedir. Kırığın kuzey ve güney bloklarındaki durum yukarıda Birmaş A.Ş. inşaat sahasında açıklanan duruma benzetilmektedir.

SONUÇ

Antalya'da yer alan travertenlerde mağara oluşturabilecek kadar çeşitli erime boşlukları, kırık, çatlak ve bozuşma zonları bulunmaktadır. Böyle heterojen ortamlarda bir inşaat zemininde yapılacak sınırlı sayıdaki mekanik sondaj numunelerinden zeminin yapısal durumunu ve mühendislik özelliklerini gereği gibi aydınlatmak mümkün olmayabilir. Yüksek yapılar hasara uğrayabilir. Özellikle taneli zemin özelliğinde olan yeraltısuyuna doygun Arapsuyu mevkiinde ve traverten alterasyonlarının yaygın olduğu Lara dolaylarında mekanik sondaj ile zeminin yapısal durumunu ve mühendislik özelliklerini sağlıklı olarak saptamak zordur. Ayrıca zemin emniyet gerilmesi değerini küçük almak mağara boşluklarının üzerine gelen inşaatlarda hasarı önlemek için yeterli değildir. Bu nedenlerle zeminin yapısal durumunu ve mühendislik özelliklerini, zemin emniyet gerilmesini ve zeminin elastisite parametrelerini verebilmesi bakımından jeofizik yöntemlerden sismik ve jeoelektrik yöntemlerin birlikte kullanılması Antalya zemininin sorunlarını çözmek için en sağlıklı jeoteknik etüt yöntemleridir.

Antalya belediye sınırlarını içeren yerlerin jeoteknik haritalarının yapılmasında büyük yarar vardır.

KAYNAKLAR

- Keçeli, A., Köseoğlu, M., Kamacı, Z. ve Kaya, M.A. 1987, Üçler Etmen Yapı kooperatifi İnşaat Sahası Zemin Etüdü.
- Keçeli, A., Türker, E., Kamacı, Z. ve Kaya, M.A. 1988, Alke Oteli Zemin Etüdü.
- Keçeli, A., Türker, E., Köseoğlu, M., Kamacı, Z., ve Kaya, M.A. 1988, Falez İnşaat, Turizm ve Ticaret A.Ş. İnşaat Sahası Zemin Etüdü.
- Keçeli, A., Türker, E., Kamacı, Z. ve Kaya, A. 1988, Akdeniz Üniversitesi Öğretim Üyeleri S.S. Konut Yapı Kooperatifi Zemin Etüdü.
- Keçeli, A., Türker, E., Kamacı, Z. ve Kaya, A. 1988, S.S. Antalyaspor Mensupları Yapı Kooperatifi Zemin Etüdü.
- Keçeli, A., Türker, E., Kamacı, Z. ve Kaya, A. 1989, Cender Oteli İnşaat Sahası Zemin Etüdü.
- Keçeli, A., Türker, E., Kamacı, Z. ve Kaya, A. 1989, Yazganlar İnşaat Şirketi Zemin Etüdü.
- Keçeli, A., Türker, E., Kamacı, Z. ve Kaya, A. 1989, Birmaş A.Ş. İnşaat Sahası Zemin Etüdü.
- Aydar, C. ve Dumont, J.F. 1979, Antalya Travertenlerinde Görülen Düzlemlerde Elde Edilen Landsat Görüntüleri Üzerinde Yapılan Gözlemler.
- Türker, E. 1988, Zemin Taşıma Gücünün Sismik Yöntemlerle Saptanması (Doktora Tezi).

JEOFİZİK YÖNTEMLERLE HEYELAN ARAŞTIRMALARI

Landslide Investigation by Geophysical Methods

Osman DEMİRAĞ*

ÖZET

Heyelan araştırmalarında en geçerli ve pratik yöntemler sismik ve elektrik yöntemlerdir. Ancak son zamanlarda çok duyarlı gravite ve magnetik yöntemler de kullanılmaya başlanmıştır.

Heyelan alanlarında uygulanan sismik teknikler, sörüne ve araştırılan alanın jeolojik karakteristiklerine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterebilmektedir.

Heyelan araştırmalarında elektrik yöntem uygulamaları ise ağ düzeninde ölçümleri, düşey elektrik sondajları (DES) ve çok yünlü ölçümleri içermektedir.

Heyelan dinamiğinin araştırılması sözkonusu olduğunda zaman bağımlı ve sistemli (regime-type) gözlemler yapılmaktadır.

Heyelan araştırmalarında kullanılan gravite yöntemi uygulamaları; tek noktada veya sistemli gözlemlerle gravite alanının zamana göre değişiminin ölçülmesi şeklinde yürütülmektedir. Aynı ölçüm ilkesi manyetik araştırmalar içinde geçerlidir. Ancak heyelan gelişme alanları genelde düşük magnetik parametre değeri taşıyan kayalardan oluşmaktadır. Bu nedenle çok duyarlı quantum magnetometreleri kullanılmaktadır.

Heyelan alanlarında uygulanan jeofizik yöntemlerle heyelanın sınırları, kayma yüzeyinin derinliği, heyelan külesinin farklı kayaç kesimleri, yeraltısuyu ve askılı su tablasının durumları, filtrasyon akışının hızı ve temel kayanın derinlik, yapı ve bileşimi gibi özellikleri saptanabilmektedir.

ABSTRACT

The most practical and currently used geophysical methods for landslide investigation are the seismic and electrical methods. Recently, high precision gravitational and magnetic methods have also begun to be used for the study of landslides.

The procedures used in seismic investigations on landslide areas are extremely varied, depending on the problem to be dealt with and on the geological characteristics of the site under study.

Characteristic future of the application of electrical exploration to the study of landslides include increased observation network density, contraction of (AB) line separations when performing electrical soundings, and the use of multiazimuth measurements. Regime-type electrical exploration observations are organized as the purpose is to study landslide process dynamics.

Gravitational exploration as applied to landslide is based on the study of the gravitational force either by single (one-off) measurements or by analysis of time-dependent gravity variations as determined by multiple (regime) observations.

Magnetic exploration is based on the study of the magnetic field by way of one-off observations and on the study of magnetic-field observations with time using regime data for the same points. Magnetic exploration is feasible only if highly sensitive and highly precise equipment of the quantum magnetometer type is available.

Geophysical methods are applied on the determination of the outer boundaries of a landslide, determination of the depth of the surface failure, subdivision of the landslide body into separate rock complexes, determination of the position of the ground water table and temporarily perched ground water, determination of the direction and intensity of filtration flow and determination of bedrock depth, composition and structure.

GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusuna bağlı olarak aynı hızda artış gösteren endüstriyel ve tarımsal alan kullanımı ile Litosfer'e

yeni baskılar yapılmakta ve böylece çeşitli boyutlarda jeolojik olayların gelişmesine ortam hazırlanmaktadır. Bunlardan birisi de heyelanlardır.

* EİE Genel Müdürlüğü, Jeofizik Şubesi, Ankara

İnsanlık tarihinin hemen hemen tüm kesitinde doğal afet olarak açıklanan ve büyük ölçüde arazi ve can kaybına neden olan bu olaylarda, insanın doğal ortamı olan Litosfer'deki ekonomik etkinlikleri büyük önem taşımaktadır.

Örneğin madencilik, konut yapımı ve benzeri etkinliklerle her yıl yaklaşık 100 milyon ton kaya kazılmakta ve yer değiştirilmektedir. Ayrıca baraj, konut, büyük endüstriyel yapı, sulama, geniş alanlarda yapılan toprak ıslah çalışmaları ile jeolojik ve meteorolojik süreçler bazen kökünden değişikliğe uğratılmaktadır.

Heyelanları da kapsayan ve devamlı olarak artan bu olayların oluşum mekanizmaları ve oluşumu etkileyen etmenlerin iyice kavranabilmesi, olumsuz etkilerinin azaltılması veya tümüyle engellenmesi olanağı; mühendislik jeofiziği, mühendislik jeolojisi ve diğer ilgili disiplinlerin ortaklaşa çalışmaları ile yaratılabilir.

Bugün dünyada tarım alanlarını, karayolu ve demiryollarını ve benzeri tüm mühendislik yapılarını heyelanlardan korumak için çalışma yapmayan tek bir ülke yoktur. Ancak önemli olan bu çalışmaların boyutu ve kurumsallaştırılmasıdır. Örneğin, Japonya'da bu disiplin 1958 yılında çıkartılan "Heyelan Önleme yasası" ve 1969 yılında çıkartılan "Dik Yamaçlardaki Çökmelerin Neden Olduğu Afetlerden Korunma Yasası" ve birçok düzenleyici yönetmelik ile sağlanmaktadır. Türkiye'de "Afetler Yasası"nın yeterliliği ise her zaman tartışmalıdır.

HEYELAN VE YAMAÇ YENİLMELERİ

Heyelanlar ve yamaç yenilmeleri, bir tepenin yamacı veya bir yamacın yüzey kısmı boyunca bazı etkileyici ve başlatıcı nedenlerle denge durumunun yitirilmesiyle oluşan iki tür zemin çökmesidir. Bunlar aslında birbirine çok benzer olaylardır ve ayırdedilmeleri oldukça zordur. Ancak yine de kendilerine özgü bazı belirleyici özellikleri vardır. Bu konuda Japon

araştırmacılar tarafından geliştirilen bir yaklaşım Çizelge 1 de verilmektedir.

Çizelgedeki kıyaslamadan da görüleceği gibi heyelan, büyük kütlelidir ve nisbeten tatlı eğimli bir yamaç boyunca yavaş hareket etmektedir ve kayan kütle az bozuşmuştur. Oysa yamaç yenilmeleri daha dik eğimli yamaçlarda çok bozuşmuş kütlelerin hızlı hareketiyle gelişmektedir. Heyelanlar, çok geniş alanlardan yamaç yenilmesine benzer ölçüde küçük olanlarına kadar geniş bir aralıkta yer alırlar. Heyelanların belirteci sayılan etmenlerden birisi yamaç eğimidir. Genel olarak tipik bir yamaç yenilmesi, eğimi 30° - 60°, yüksekliği 10 - 30 m olan, 1 - 2 m derinlikli küçük ölçekli oluşumlardır. Heyelanlarda ise yamaç uzunluğu en az 100 - 200 m ve derinlik ise yine en az 20 metredir.

Büyük hacimli heyelanlar yoğun yağışların ortasında değil, yağışlar bittikten sonra oluşur. Çok hızlı hareket eden yamaç yenilmesi ise genellikle yağış doruk değerlerinin öncesi veya sonrası oluşabilirler. Ayrıca heyelanlarda 1000 metrekareden daha geniş bir alan ve 30° den daha düşük eğimler belirgin özelliklerdir.

HEYELANLARIN ARAŞTIRILMALARI

Heyelanların önlenmesi planlarının uygulanabilmesi için ön araştırma, tanıma (reconnaissance) ve ayrıntılı araştırma gibi aşamaların geçilmesi gerekir. Ön araştırmalarda hava fotoğrafları, topoğrafik haritalar ve diğer ilgili bilgiler derlenir. Daha sonraki tanıma aşaması arazide başlatılır ve gözlemlere dayanarak heyelanın özellikleri kavranmaya çalışılır. Önleme planları için ayrıntılı arazi deneyi, çalışma ve etütler sürdürülür.

Heyelanların temel araştırma başlıkları ve kullanılan yöntem ve teknikler Çizelge 2 de sunulmaktadır. Bu çizelgede yer alan tekniklerin ayrıntılarına bir başka incelememizde yer vermek üzere özellikle Jeofizik yöntemler üzerinde durulacaktır.

Çizelge 1. Heyelanlarla yamaç yenilmeleri arasındaki farklar

Table 1. Difference between landslides and slope failures

	HEYELANLAR	YAMAÇ YENİLMELERİ
JEOLOJİ	Özel jeolojik yapı ve formasyonların bulunduğu yerlerde oluşur	Jeolojik yapı ile çok az ilişkilidir.
ZEMİN	Özellikle kohezyonlu zeminlerde etkindirler (kayma yüzeyi gibi)	Çok sık olarak kumlu zeminlerde dahi oluşur (ayrışmış granit, örtü toprak vb.)
TOPOĞRAFYA	5° - 20° tatlı eğimlerde oluşur ve üst kesimlerinde çoğu kez plato şeklinde topoğrafyaya sahiptir	Genellikle 30° den daha dik yamaçlarda oluşur
ETKİNLİK DURUMU	Devamlı veya yinelenen oluşumlar şeklinde	Aniden oluşur
HAREKET HIZI	Hız normal olarak günde 0.01 - 10 mm den daha azdır	Günde 10 mm den daha fazla olmak üzere yüksek hızdır
KÜTLELER	Az bozuşmuş kütlelerdir ve genelde ilk şeklini koruyarak hareket eder	Çok bozuşmuş kütleyle sahiptir.
KAYMA NEDENİ	Yeraltı suyu ile önemli ölçüde etkilenir	Sağanak yağmur sırasında yağış şiddetinden etkilenir
ÖLÇEK	1-100 ha ya kadar büyük ölçektedir.	Küçük ölçeklidir
BELİRTİLER	Kayma öncesi çatlaklar, topoğrafik bozulmalar yeraltı suyu seviyesinde dalgalanmalar	Birkaç belirtisi olur ve aniden kayar
EĞİM	10° - 25°	35° - 60°

HEYELAN ARAŞTIRMALARINDA JEOFİZİK YÖNTEM UYGULAMALARI

Heyelan araştırmalarında jeofizik yöntemlerin kullanılışının yaygınlaşmasının nedeni, heyelanı oluşturan kaya ve toprak kütlelerinin zaman içinde doğal koşullarda gelişebilecek değişimler hakkında güvenilir bilgilerin elde edilmesine olanak sağlamasıdır.

Jeofizik yöntemlerin bugün en yaygın kullanılanları sismik ve elektrik yöntemlerdir. Ancak son yıllarda yüksek duyarlılıklı gravite ve manyetik yöntemler de kullanılmaya başlanmıştır.

Sismik yöntemlerle heyelan gözlemleri yapılırken elde edilen verilerin irdelenmesinde sadece hızlar değil, daha çok seçilen bir noktadaki bazı dalga fazı varış zamanları gözönünde bulundurulmaktadır. Bu tür gözlemlerde ayrıca boyuna, enine dalgaların a_p , a_s soğurma sabitleri ve V_p , V_s hızlarındaki azalmalar ya da a_p , a_s etkin sönüm sabitlerinin ve V_p , V_s hız azalmalarının saptanması büyük önem taşır.

Elektriksel Araştırmalar

Hidrojeolojik ve mühendislik jeolojisi araştırmalarında bilindiği gibi çoğu kez yapay doğru akım veya elektrokimyasal ve filtrasyon kaynaklı doğru akım alanı kullanılmaktadır. Öl-

Çizelge 2. Heyelan araştırmalarının temel yöntemleri ve kullanım sıklığı. A: her yerde kullanılır, B: birçok yerde kullanılır, C: gerektiği yerde kullanılır.

Table 2. Survey items and methods in landslide investigation and the frequency of their use. A: used at all sites, B: used at most sites, C: used where required.

ARAŞTIRMA BAŞLIKLARI	ARAŞTIRMA YÖNTEMİ	KULLANIM SIKLIĞI
Heyelan alanının özelliklerinin ilk aşama değerlendirme çalışmaları	Hava fotoğrafları ve uzaktan algılama	B
	Yeraltı ısısı	C
	Sismik araştırmalar	B
	Doğal radyoaktivite araştırmaları	C
	Elektrik araştırmaları	C
Yüzeysel deplasmanların araştırılması	Elektrik logları	C
	Yüzey araştırmaları	A
	Havadan fotogrametri	B
	Ekstensometre ölçümleri	A
Yerçi ve kayma yüzeyindeki deplasmanların araştırılması	Tiltmetre ölçümleri	A
	Sondaj	A
	Pipe Strain Gauge ölçümleri	A
	Eğim ölçer gözlemleri	A
Kayma yüzeyinde etkin yeraltısuyu basıncı araştırmaları	Hareket ölçer gözlemleri	C
	Yeraltısuyu seviyesi ölçümleri	A
Yeraltısuyu ve taşıma kapasitesinin araştırılması	Boşluk suyu basıncı ölçümleri	C
	Su kalitesi analizi	C
	Yeraltısuyu izlemeleri	B
	Yeraltısuyu gözlemleri	A
	Pompaj testi	C
Zemin Deneyleri	Yeraltısuyu model çalışmaları	C
	Fiziksel test	A
Hidrolojik Testler	Dayanım testi	A
	Yağış miktarı gözlemi	A
	Kar gözlemi	B
	Erime gözlemi	C

Sismik Yöntemler

Sismik ölçümler sırasında belirlenen sismik özellikler ve elastik titreşim alanının yapısı, kayaçların fiziko-mekanik özellikleri, bileşimi, konumu ve diğer bazı özellikleri ile yakından ilgili olduğundan heyelan alanlarındaki jeolojik yapı, hidrojeolojik koşullar ve heyelan kütlelerini oluşturan kayaların mühendislik jeolojisi parametrelerinin saptanmasında kullanılmaktadır. Uğraşılacak soruna ve heyelanın jeolojik karakteristiğine bağlı olarak birleştirilmiş sismik yöntem dizileriyle yüzeyde ve ortam içinde P, S, R, L dalga hızları ölçülmekte ve P, S için anizotropi sabitleri (μ_p , μ_s) hesaplanmaktadır. Heyelan alanlarının bu yöntemle araştırılmasında gözlenen en önemli olgu, açılal ölçümlerin kullanılışıdır.

çülen değerler ise elektriksel özdirenç ρ , kayaç polarizasyonu (% η olarak) ve doğal elektrik alanı E (mV/m).

Yoğun bir şebeke gözlemi, sık elektrik sondaj ve açılal ölçümler kullanılır. Heyelan sürecinin dinamiğinin araştırılması amaçlandığında zamana bağlı gözlemler yapılır. Bu durumda özellikle özdirenç anizotropi parametreleri önem kazanır.

Gravite Yöntemi

Tek ölçümlerle ya da zamana göre sistematik gözlemlerle gravite değişimlerinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmalardır. Bu değişimlerin, yapıyı ve heyelan oluşumundaki gelişmeleri yansıttığı SSCB de kanıtlanmıştır.

Aslında heyelan alanlarında bu değişim, ortalama değerden 1-3 gu sapma kadardır. Ancak bazı durumlarda, gözlem periyodu sırasındaki heyelan etkinliğinin düzeyine, gözlem noktalarının olduğu yerlerdeki jeolojik özelliklere ve diğer bazı etmenlere bağlı olarak bu sapmalar 4-8 gu olabilmektedir.

Eldeki verilere göre zamana göre gravite değişimi iki etmene bağlıdır. Bunlar, heyelan gelişimi nedeniyle oluşan yoğunluk değişimi ve heyelan kütlelerini oluşturan kayaların düşey yöndeki mikro hareketleriyle ilgili ivmedir. Bu ivmeye, heyelan işlevi, sismik mikro titreşimler ve atmosferik basınçtaki değişimlerden ötürü kaya yüzeyini etkileyen yüklerdeki değişim gibi etmenler neden olabilir. Kuramsal olarak bu düşey mikro hareketlerin hemen hemen eşit değişimli (equivariable) olduğu varsayılırsa, o zaman 1-20 gu ivmelerin oluşabilmesi için bu hareketlerin 1 Hertz'in binde birinden daha küçük titreşim frekanslı olması gerekir (milimetrik hareketler).

Mühendislik Jeofiziği çalışmalarında, birbirinden farklı seriler halinde zamana bağlı, sistemli (regime-type) gravimetrik ölçümler sırasında aynı nokta için elde edilen Bouguer anomalileri (Δg_B) kullanılmaktadır. Ancak tek noktadaki ölçüm hatası $+0.2 - 0.3$ gu dan fazla olmamalıdır.

Manyetik Yöntem

Uygulamalar tek tek gözlem veya aynı noktalarda yapılan zamana bağlı, sistemli gözlemlerle manyetik alan değişiminden elde edilen verilere dayandırılmıştır. Heyelan gelişme alanları çoğu kez düşük manyetik parametre değerleri sunan kayalardan oluşmakta ve araştırmalar yalnızca çok duyarlı quantum magnetometreleri (duyarlılık 0.1 nT, doğruluk $+ 0.3$ nT ye kadar) ile yapıldığında iyi sonuçlar alınmaktadır. Tekil gözlemler, kayaç litolojisinin belirlenmesi ve doğal kayaç çatlaklığı ve tektonik faylanmadan daha yüksek değerlerle karakterize olan alanların haritalanmasında yararlıdır. Zaman bağımlı ve sistemli gözlemlerde ise çok daha fazla mühendislik bilgisi üretilir.

Son yıllarda SSCB de yapılan çalışmalarda yüzeyden 1, 2, 3 m yükseklikte 2 m karesel ağ kullanılarak yapılan mikromanyetik ölçümler ile çok iyi sonuçlar alınmıştır. Mikromanyetik alan, yapıya ve kil, çamur ve çamurlu hafif kumlar gibi tipik heyelan malzemesinin dokusuna ilişkin ayrıntılı bilgiler sağlayabilmektedir. Ayrıca bu alan büyük gerilmeler sırasında bu tür kayalarda oluşan makro ve mikro çatlaklar nedeniyle meydana gelen ikincil dokunun bir göstergesi de olmaktadır. Mühendislik jeofiziği değerlendirmelerinde genel olarak manyetik alan eşdeğer grafiklerindeki anomalilere ve farklı zaman ve çeşitli yüksekliklerde ölçülmüş verilere göre hazırlanan güller (roses) önem kazanmaktadır.

HEYELANLARIN GELİŞME KOŞULLARININ ARAŞTIRILMALARI

Heyelanların geliştiği alanlardaki koşulların incelenmesi aşağıda sıralanan temel sorunları kapsamaktadır:

- 1) Heyelan alanının dış sınırlarının ve heyelan kütleli içindeki blokların sınırlarının saptanması (bu blokların jeomorfolojik belirtilerle ayırdedilemediği durumlarda),
- 2) Kayma yüzeyinin derinliğinin belirlenmesi,
- 3) Litolojik bileşim, yapısal dayanım, çatlak yüzeyi ve özellikleri, gerilim durumu gibi özelliklere göre farklı kaya karmaşığının ayrılınması ve böylece heyelan kütlelerinin alt bölümlendirilmesinin yapılması,
- 4) Yeraltı suyu düzeyinin ve geçici askılı su tablası düzeyinin ve durumunun saptanması,
- 5) Filtrasyon akışının şiddet ve yönünün belirlenmesi,

6) Heyelan yamacını oluşturan kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin ve konumlarının değerlendirilmesi (yoğunluk, çatlaklık, deformasyon, filtrasyon özellikleri, dayanımları, gerilim, yüksek sismisiteli alanlarda ayrıca elastik özelliklerin saptanması),

7) Birçok durumda bunlara ek olarak temel kayanın derinlik ve biçiminin, litolojik-petrolojik bileşiminin, fay zonlarının yerlerinin ve karstlaşma düzeyinin belirlenmesi çok önem taşımaktadır.

Çok kapsamlı bir araştırma programının gereğini açıkça ortaya koyan bir modelde her aşamada yer alan jeofizik uygulamalar da P ve S dalgalarına uygulanan kırılma ilişki yöntemi (Refraction Correlation Method, RCM), düşey elektrik sondaj, elektrik profil ölçüsü (EP) ve yardımcı olarak da duyarlı gravite-manyetik, SP, IP, yer ısı ölçümleri (0.5 - 1 m derinliğe kadar) gibi yöntemler yer almaktadır. Ancak heyelan kütlelerinin karmaşık jeolojik yapısı, bu işlevlerin başarılmaları için bazı koşulların sağlanmasını gerektirmektedir. Bunlar;

1) Yeterli yoğunlukta bir gözlem ağına hazırlanması;

a) RCM- DES ve DES/IP yöntemleriyle yapılan araştırmalar da her heyelan sahasında en az iki-üç boyuna ve enine profil üzerinde çalışmalı ve bu profiller arasındaki optimal uzaklık boyuna olanlarda 20 - 50 m, enine profillerde 20 - 100 m olmalıdır. Jeofon aralıkları 2 - 5 m, DES noktaları arası ise 10 - 25 m olarak seçilmelidir.

b) EP, SP ve ısı ölçümlerinde gözlem noktaları arası 5 - 10 m, profil aralığı ise 10 - 50 m olmalıdır.

c) Yüksek duyarlı gravite ölçümlerinde profiller arası 20 - 100 m, gözlem noktaları arası ise 2 - 10 m olmalıdır.

d) Yüksek duyarlı manyetik ölçümlerde her kilometrekare alana 10 - 40 bin ölçü noktası yayılmalıdır.

2) Çalışmaların olası en kısa sürede tamamlanması,

3) Zaman bağımlı sistemli gözlemler için ön hazırlıkların yapılması,

4) Yüzey çalışmalarının desteklenmesi için kuyu içi gözlemlerinin hazırlanması,

5) Jeofizik yöntemlerinin birleştirilmesidir.

Heyelan dış sınırlarının ve blok dış sınırlarının jeofizik yöntemlerle saptanması

Sınırları jeomorfolojik olarak belirlenemeyen (özellikle eski heyelanlar) heyelanların dış sınırları ancak uygun jeofizik yöntemlerle saptanabilir. Yamacın dengedeki kesiminden faylanmış kısmına geçiş çizgisi, kütleinin sismik ve elektriksel özelliklerinde gözlenen süreksizlikler ve özellikle V_p , V_s hızlarında azalma, sismik ve elektriksel anizotropi sabitleri değerinde artmalar ile belirlenebilir.

Dış sınırların havadan ve alışılmış jeofizik yöntemlerle belirlenemediği durumlarda duyarlı gravite çalışmaları yararlı sonuç verebilir. Bu çalışmalarda atmosferik basınç farkının maksimum olduğu günlerde 3 - 5 adet periyodik ölçüm yapılır ve gravite değerinin büyüklüğünde gözlenecek büyük değişimler, araştırılan alandaki jeolojik özellikleri yansıtabilir.

Zaman-bağımlı sistemli ölçüm verilerine dayanarak üretilen gravite kuvvetinin (σ) sapma (ortalama-kare) grafikleri, heyelanın tüm jeolojik yapısının temel elementleri hakkında çok belirgin bilgiler verir.

Heyelanın topuk kısmındaki çok altere olmuş materyaller σ nin yüksek ortalama değeri ile belirginlerdir. Heyelanın diğer kesimleri ve bloklar üzerinde ortalama σ değerleri daha düşüktür. Bu değer yamacın dengede olan kısmında en düşük değeri alır. Kesin heyelan alanlarında bitişik bloklar σ nin zamana göre değişiminin farklı fazları ile de belirginleşirler.

Kayma yüzeyinin derinliğinin bulunması

Heyelan kütlelerindeki yer değiştirmenin heterojen kütleler arasındaki ortamda (tali heyelanlarda olduğu gibi) ve özellikle temel kayanın, kayan kütlelerin hemen altında bulunduğu durumlarda jeofizik uygulamalarla çok iyi sonuçlar alınmaktadır. Ancak kayma yüzeyinin eğrisel lineer (curvilinear) olduğu, homojen dizilmemiş kayaçların bulunduğu veya kayma yüzeyinin farklı litolojik bileşimdeki birimleri kestiği durumlarda kesin sonuca gidilmesi çok güçleşmektedir.

Tali kaymalardaki kayma yüzeyleri, gravite, elektrik ve ya sismik yöntemlerle tek tek belirlenebilir.

Kayma yüzeyinin tabakalanmamış homojen kayaç olduğu durumda derinlik ve geometri elektrik ve sismik uygulamalarla saptanmaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi kayma yüzeyinin farklı litolojideki birimlerle kesildiği zor koşullar da sismik, jeofizik kuyu yöntemleri veya ikisi birarada uygulanmaktadır. Bunların en etkinisi ultrasonik logdur (UL). Deneyimlere göre UL ile kayma yüzeylerine ilişkin hız sınırları en güvenilir şekilde saptanmaktadır. Yüzeylerin yapısı ise bu hız kriterine göre belirlenebilir (Goryainov ve Matveev 1988).

Heyelan kütlelerinin farklı kayaç karmaşıklıklarına göre bölümlendirilmesi

Kesit ve haritalar şeklinde bölümlendirmeler çok duyarlı manyetik, gravite ve çeşitli türde elektrik profil teknikleri ile yapılabilir. Manyetik gözlemler bir ağ düzeninde $+0.5 - 3$ nT duyarlılıkla yürütülür. Bu uygulamalarla yeterli bilginin sağlanmadığı durumlarda tek tek seçilen profiller boyunca çok hassas gravite ölçümleri yapılır. Gözlem aralığı $5 - 20$ m arasındadır. Sonuçlar ΔT , Δg haritaları ve grafikler şeklinde hazırlanır. Bu sorunun çözümü için sismik veriler de kullanılabilir. Sismik çalışmalar sabit patlatma noktası - jeofon aralığı ile yapılan profil ölçümleri ya da çeşitli düzenlemelerle boyuna enine profiller ile yapılır. Heyelan alanının kesit olarak bölümlendirilmesi için genel olarak DES, DES/IP ve RCM sismik uygulamaları yapılır.

Yeraltısuyu ve Askılı Su Tablası Konumunun Saptanması

Bu sorun sismik araştırmalar ile çözülür. Bilindiği gibi doygun ve doygun olmayan formasyon veya katmanlar arasında V_p hızında da önemli farklılaşmalar olmaktadır. Tam doygunluk sınırında $V_p = 1450 - 2700$ m/s hız değeri bir ayırdedici özellik olarak alınmaktadır. Askılı su tablası daha hızlı bir sönüm gerçekleştirir ve $V_p = 1450 - 1700$ m/s değeri ile belirginleşir. Uygulama karşılıklı atışlı boyuna profiller ve enine profiller ile yapılır.

Filtrasyon Akımının Yön ve Şiddetinin Belirlenmesi

Heyelanlar genel olarak içinde filtrasyon akımının gerçekleştiği büyük bir drenaj oluşturmazlar. Bu tür bir akımın yapısı ve gelişmesi, doğal gerilim (SP) araştırmaları ile gözlemlenir. Ölçümler gerilim yöntemi ile ve günlük ısı değişimleri gözönünde bulundurularak yapılır. Güvenilirliği artırmak için aynı zamanda elektrik profil ve yer ısı ölçümleri de yapılabilir. Sonuçların güvenilirliği SP ölçümlerinin $0.5 - 1$ m derinlikte yapıldığında artmaktadır. SP anomalisi ve dağılımları kayaç litolojisi ile önemli ölçüde etkilenmektedir. Yüksek oranda kil içeren kayaçlar pozitif anomali verirler. Benzeri anomaliler ise iç içe doğru su akıntılarının olduğu kesimler üzerinde de görülmektedir.

Homojen kayaçların yaygın olduğu yerlerde SP eş gerilim haritaları filtrasyon akımının şekli, yönü ve şiddeti hakkında yararlı bilgiler verir. Yeraltısuyu derinliğinin 10 metreye kadar olduğu durumlarda ise filtrasyon akımının hızı, yüklenmiş kütle yöntemi (charged body method, CBM) ile saptanabilir.

Temelkaya Derinliği, Bileşimi ve Yapısının Saptanması

Temelkaya derinliği standard sismik ve DES teknikleriyle belirlenebilir. Temelkayanın bileşim ve yapısı için ilk aşama da manyetik yöntemler uygulanır. Çeşitli bileşimdeki kayaçlar manyetik alan şiddeti ve karakterine göre haritalanır. Fay ve karstik zonlar genellikle uzamış (elongated) anomaliler ile ayırt edilir. Bunlar pozitif, negatif veya değişken değer verebilirler. Ancak karstik zonların salt manyetik verilere göre belirlenmesi çok zordur. Çünkü bu tür zonlar ya alan şiddetindeki çok küçük düşüşler (~ 10 nT ye kadar) ya da oldukça yüksek artışlar ($20 - 30$ nT ye kadar) ile karakterize olurlar. Ayrıca böyle zonlar üzerinde alınan anomalilerin şiddeti, boşlukların dolgu yüzeyi ve dolgu materyalinin manyetik özellikleri ile de doğrudan ilişkilidir. Manyetik verileri desteklemek için profiller boyunca $5 - 20$ m aralıklı seçilen noktalar da gravite ölçümleri de yapılmalıdır. Temelkayanın tek blok olduğu durumlarda bu veriler yeterli bilgileri verebilir.

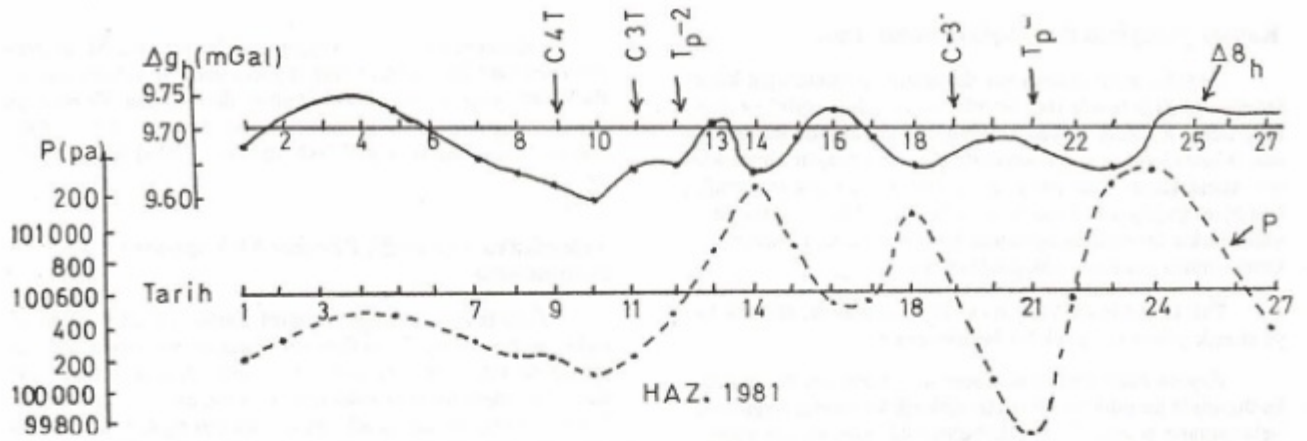
Elektrik profil ölçüsü ve DES çalışmalarıyla temelkaya bütün olarak incelenebilir. Ancak fayın karakter ve lokasyonunun, karstik zonların, temelkaya ayrışma zonu kalınlığının ve yatay ve düşey yönde çatlaklık düzeyinin nicel kestirimleri saptanmasında en etkin yöntem yine de sismiktir.

Tektonik fay zonlarının etkinliği ise sistemli gravimetrik gözlemlerle belirlenebilir. Kaya kütleleri içinde blokların makro deplasmana uğradığı ve büyük gerilmelerin oluştuğu diri tektonik fay zonları, yüzeydeki ortalama değeri düzeyine göre oluşan yerel anomaliler ile tanınabilir.

HEYELAN REJİMLERİNİN JEOFİZİK ARAŞTIRMALARI

Zaman-bağımlı, sistemli jeofizik araştırmalarda gözlem ağı; araştırma alanına ait verilere, yörede gelişmiş farklı dışsal (exsogenic) oluşumlar ve ölçümlerde yanlışlara neden olabilecek etmenlere (yüksek gerilim hattı, yapay titreşimler vb.) dayanılarak hazırlanır. Gözlem noktaları jeodezik olarak yerleştirilir. Düzenli periyotlarda ölçümlerin yapılabileceği şekilde bu noktalar sabitleştirilir. Heyelan rejimlerinin araştırılmasında gravite yöntemi uygulamaları; çekim kuvvetinin zamanla değişiminin (magnitüd, faz, periyot vb.) heyelan gelişme ritmi ve kayaçların konum ve özelliklerinin zamana bağlı değişimlerini yansıttığı gerçeğine dayandırılmaktadır. Örneğin gravite ölçümünün yapıldığı yerdeki kütlelerin gerilme deformasyonundan (tensile strain) etkilendiği düşünülürse, o zaman kayaç yoğunluğu da azalacaktır. Çünkü düşey yönde mikro hareketler gelişecektir. Bunun karşısı durumda yani sıkışma deformasyonunda (compressive strain) gravite kuvveti azalacaktır. Böylece devamlı gözlemlerle kütlelerin ne zaman hangi tip deformasyona uğradığı saptanabilecektir.

Heyelan deplasmanının maksimum huza eriştiği periyotların, gravite kuvvetinin göreceli olarak azaldığı periyotlara rastladığı kanıtlanmıştır. Gravite kuvvetinin maksimuma çıktığı periyotlar ise genellikle olaydan birkaç gün öncesine rastlar. Bu nedenle manyetik ve gravite gözlemleri, heyelanların önceden kestirilmeleri için çok önem taşır (Şekil 1).



Şekil 1. Heyelanın bir noktasında gravite (Δg_N) ve çevredeki atmosferik basıncın (P) zamana göre değişim grafikleri. Oklar, en büyük heyelan deplasman oranlarının $T_p - 2$ çatlak ölçer ve S4, S3 yer göstergeleri okumalarına göre belirlendiği noktaları göstermektedir.

Fig. 1. Graphs of the time variation of gravity (Δg_N) at a point in a landslide and of atmospheric pressure (P) in the vicinity of the landslide. The arrows indicate the time of maximum landslide displacement rates measured by a $T_p - 2$ crack meter and S-4 ve S-3 placement indicators.

Son yıllarda deneysel olarak ulaşılan sonuçlar, bir heyelan gelişme ritminin, düzgün bir hareket dizisi şeklinde olmadığı ve sönüm süresinin aylarca ve hatta yıllarca sürebileceğini göstermiştir. Böyle ritimler daha ziyade heyelan alanının ömrünün çeşitli evrelerinde gelişen durum ve özellik değişimlerini yansıtan çok sayıda periyotlardan oluşmaktadır. Örneğin bir heyelan alanında tek bir noktada yapılan gravite ölçümü, çekim kuvvetinin 5 dakika gibi çok kısa periyotlarda dahi değişebileceğini göstermiştir. Bu değişimler düşey yönlü mikro hareketlerle ilişkilidir. Ayrıca tek nokta da günlük olarak yapılan ölçümlerde gravite kuvveti magnitudünde görülen iniş çıkışlar, atmosferik basınçtaki değişimlerle nitel olarak ilişkilendirilmiştir (Şekil 1).

Profiller üzerinde yapılan rejim-tipi manyetik gözlemlerle heyelan formasyonlarının deplasmanlarının yönü ve oranı hakkında önemli bilgiler sağlanır. Heyelan alanını uzunlamasına kesen ve "manyetik strip" olarak bilinen bölgeler üzerinde yapılan rejim-tipi mikromanyetik ölçümlerle ise her gözlem devri için hazırlanan elemanter manyetik alandan izodayn gülleri ile kayaçların mikro-makro kırıklığının doğrultuları saptanır. Bunlar gerilim düzeyindeki değişimlere çok duyarlıdır. Heyelan işlevinden etkilenmemiş kayaçlar için hazırlanan izodayn gülleri, pratik olarak zamana göre sabit kalmışlardır.

Heyelan rejimlerinin elektrik yöntemlerle araştırılması, elektrik alan parametrelerinin kayaçların durum (state) ve özelliklerine doğrudan bağlı olduğu ilkesi üzerine dayandırılmıştır. Bilindiği gibi öz direnç birçok etmene bağlıdır. Genel olarak;

$$\rho = P_c \cdot P_s \cdot P_p \cdot P_w \cdot P_{sat}$$

şeklinde yazılır. Bu bağıntıda; P_c iletkenlik parametresi, P_s yüzey iletkenlik parametresi, P_w formasyon suyunun elektrik öz direnci, P_{sat} doygunluk parametresi ve P_p porozite parametresidir.

Heyelan kütesinin durumuna (katı, doygun vb.) ilişkin bilgi özellikle P_p parametresi ile sağlanır. Formasyon durumundaki değişimler, Diğer tüm parametrelerin zamana göre sabit kaldığı (P_c, P_s, P_w, P_{sat}) durumunda öz direnç (ρ) değeri ile incelenebilir. P_c ve P_s nin gerçekten zamana göre sabit kaldığı koşullarda formasyon suyu içindeki mineral konsantrasyonu ve formasyonun nem içeriği önemli ölçüde değişebilir. İşte bu nedenle heyelan kütesinin durumunun, öz direnç kullanılarak

gözlenmesinde hidrolojik koşulların zamana göre değişmediği ($P_w = \text{sabit}$, $P_{sat} = \text{sabit}$) varsayılır. Temel hidrojeolojik koşulların sabit olması gerekliliği ise heyelan sürecinin göreceli olarak hızlı olduğu durumlarda (örneğin maden ve taş ocaklarında yamaç kaymaları 10 - 20 gün sürebilir) karşılanabilmektedir.

Heyelan gelişimine bağlı olarak kayaçların yapısında gelececek değişimler, öz direnç anizotropi parametrelerine dayanılarak gözlemlenebilir. Bu yaklaşım şu şekilde özetlenebilir:

a) Gelişimin yönsel karakteri; (kırık tipinin lineer yapısal formundaki gelişmeleri hızlandırır)

b) Anizotropi parametrelerinin yalnızca ortamın yapısına bağlılığı

Bilindiği gibi anizotropi sabiti;

$$\lambda_p = \sqrt{\rho_y / \rho_x}$$

$$P_y = P_c \cdot P_s \cdot P_{py} \cdot P_{sat} \cdot P_w$$

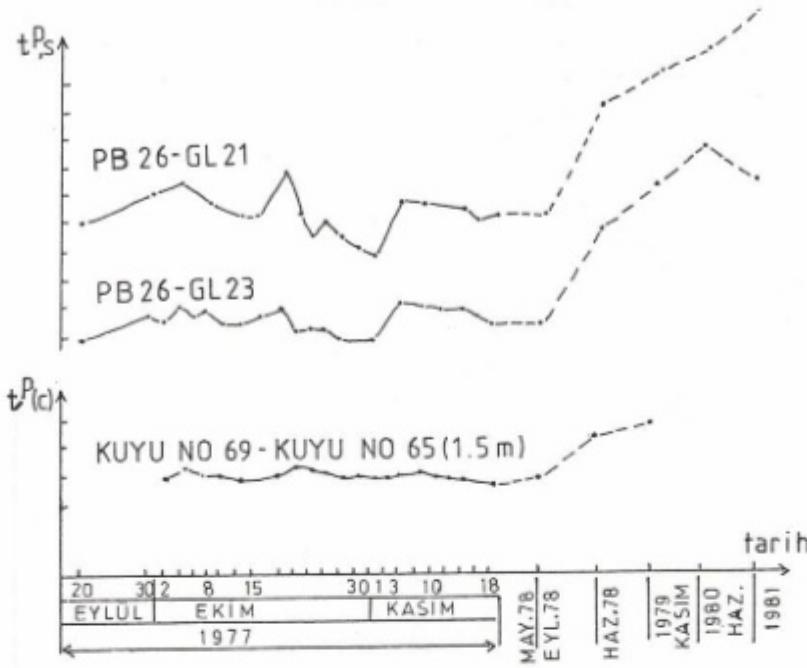
$$P_x = P_c \cdot P_s \cdot P_{px} \cdot P_{sat} \cdot P_w$$

P_y, P_x anizotropi elipsinin büyük ve küçük eksenleri boyunca öz direnç değeridir ve buradan

$$\lambda_p = \sqrt{P_y / P_x}$$

şeklinde hesaplanır. Burada anizotropi değerinin hidrojeolojik koşullara bağlı olmadığı ve sadece ortamın yapısı ile belirlenebileceği görülmektedir.

Aynı sonuç IP anizotropi sabiti için (λ_η) geçerlidir. λ_p ve λ_η anizotropi sabitlerinin hidrojeolojik koşullardan bağımsız oluşu gerçeği, bu değerlerin kullanılarak bir heyelanın deplasman öncesi hazırlık aşamasındaki durumunun gözlenebileceğini göstermektedir. λ_p ve λ_η birkaç yolla ölçülebilir. ancak en güvenilir yöntem "quadripole" kullanılarak iki azimut veya dairesel ölçümlerin yapılması ya da iki-bileşen yöntemidir (TCM). Ölçümde gereken duyarlılığın sağlanabilmesi için sabit ölçümlü TCM dizilimi kullanılarak dairesel ölçümlerin yapılması önerilmektedir. Ayrıca TCM ile profileme de yapılabilir. Profil aralıkları heyelan kütesinin kalınlığına göre seçilir. Ölçüm periyotları ise heyelan prosesinin sürecine göre düzenlenir. Bu tür



Şekil 2. Zhukovka (Crimea) heyelanındaki sabit sismik gözlem sonuçları (T_p - P dalgası yayılım süresidir).
Fig. 2. Results of stationary seismic observations at the "Zhukovka" landslide area.

ölçümlerin sonuçları, λ_p , λ_n zaman serileri olarak veya ortalama değerden veya alana ait temel değerden sapmalar şeklinde gösterilebilir.

Özdirenç anizotropi parametrelerinin zaman - bağımlı, sistemli ölçümleri, bir heyelanın gelişiminin çeşitli evrelerinin tanınmasında ve sürelerinin saptanmasında kullanılabilir.

Heyelan rejimlerinin araştırılmasında sismik yöntemlerin kullanılışının fizik temeli ise süreç sırasında elastik titreşim alan parametrelerinde gelişecek değişimlerin bilinen kurallarıdır. Bunlar heyelan kütesinin gerilme durumunda ve dayanım (strength) özelliklerindeki değişimlerle ilgilidir. Zaten bu parametrelerin birbirleriyle ilişkileri de sonuçta kaya duraylılığını belirlemektedir. Genel olarak söylemek gerekirse heyelan, gözlenen sismik hızlarda bir değişim ölçüldüğü anda başlamış varsayılır. Sismik özelliklerde oluşan bu değişimler, çok büyük olasılıkla, deplasman yönünde (kayma eksenı boyunca) saptanmaktadır. Hareketin başlamasından önceki evrede, yamacın geçici olarak dengedeki kesiminde veya plato kenarlarında ölçülen hızlar sonrakilere oranla yüksektir.

Heyelan sürecinin dinamiğinin kavranabilmesi için yapılan zaman-bağımlı, sistemli (regime-type) sismik gözlemler, yamacın dengedeki kısmını da kapsayan 1-2 eksenel profil boyunca yapılır. Eğer gerekirse en aktif zon üzerinde seçilecek 1-2 adet enine profil boyunca da ölçümler sürdürülür. Ayrıca heyelan kütesinin en ilgi çekici kesimlerinde tek tek dairesel sismik sondaj (circular seismic sounding, CSS) yöntemi kullanılarak çalışmalar yapılabilir. Yüzeiden yapılan gözlemler genellikle kuyu için sismik sondaj (IBSS) ve düşey sismik profil (VSP) teknikleri ile yapılacak ölçümlerle birlikte sürdürülür. IBSS kuyuları yamacın henüz kaymaya başlamamış bölümünde bir eksenel profil boyunca delinirler. Böylece gözlem ağı o alanda deplasman başlayana kadar sabit kalmış olur. Dolayısıyla sismik özelliklerdeki değişimler heyelanın başlangıcının belirtici olurlar. IBSS kuyuları genel olarak 5-15 m aralıklı

olarak 3-6 adet delinirler. Sismik alıcılar kuyu içine çeşitli derinliklerde ve en az 3 - 4 kademeye yerleştirilir.

Heyelan sürecindeki gelişimin özelliği düzlemsel ve bir kesit boyunca genellikle VSP yönteminin dairesel tekniği ile (CVSP) incelenir. CVSP, IBSS gözlemi için kullanılan tüm kuyularda yapılır. Ayrıca kütenin en hareketli zonlarında (bozulmuş zonlar) CVSP ölçümü yapılması da önerilmektedir. Sismik alıcılar, kuyu yerine göre en az birisi kayma ekseninde olmak üzere çeşitli açılarda yerleştirilir. Profil boyu 30 - 50 m, alıcıların aralığı ise 5 - 10 m olarak seçilmelidir.

Sismik yöntem uygulamalarına ilişkin bir örnek Şekil 2 de verilmiştir. Şekilde, platonun geçici olarak dengede olan kısmında küçük deplasmanların görülmeye başlandığı yerde, boyuna dalga yayılım sürelerinden (t_p) önemli artışlar olduğu görülmektedir. Bu gözlem, platodaki kütlelerin dengesindeki azalma ile de uyum göstermiştir. Nitekim bu yönelim plato kaymalarının kaymasından 2.5 - 3 yıl öncesini göstermektedir.

SONUÇ

Heyelanların jeofizik mühendisliği uygulamaları ile küçük ayrıntılara kadar incelenebileceği, ancak bunun hiç de kolay olmadığı ve özellikle ölçü aygıtı olanaklarının yanısıra pilot çalışmalara, deneyim ve bilgiye, sağlıklı bir örgütlenmeye gereksinim duyulduğunu vurgulamaya çalıştık. Türkiye'de yukarıda sıralanan tüm modelin uygulandığını söyleyebilmeyi çok isterdik. Ancak yetersiz de olsa yapılan çalışmaların örneklerinin çoğalması sevindiricidir. Kamu kurumlarının ve özel mühendislik firmalarının işbirliği içinde çalışmalarını bu modelin daha da geliştirilerek ülkemizde de tüm özellikleriyle uygulamaya aktarılacağını umuyoruz.

KAYNAKLAR

Goryainov N.N. and Matveev V.S., 1988, Landslides and Mudflows, UNEP/UNESCO, Moscow 1988.

DOĞAL GERİLİM ÖLÇÜMLERİ İLE JEOLojİK HARİTALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Evaluation of Geological Maps by Using Self Potential Measurements

İbrahim ONUR* ve Fethi ERGÜDER**

ÖZET

MTA ve EKI - TKI tarafından yapılan Zonguldak Taşkömürü Havzası jeolojik haritalarında süreksizlikler ile ilgili yorum farklılıkları görülmüştür. Yorum farklılıklarının giderilmesine yardımcı olmak amacıyla Kilimli, Çatalağzı ve Gelik (Zonguldak) bölgelerindeki farklı yorumlanan süreksizlikler üzerinde doğal gerilim ölçümleri alınmıştır.

Doğal gerilim ölçümlerinin değerlendirilmesinden, çalışma alanlarında fayların ve dokanakların yerüstündeki konumları saptanmıştır. Böylece, söz konusu iki haritada yeralan bazı süreksizliklerin varlığı ya da yokluğu açığa kavuşturulmuştur. Bu veriler, ileride yapılacak ayrıntılı jeolojik çalışmalara ışık tutacaktır.

ABSTRACT

It has been noticed that some differences exist concerning the interpretation of some discontinuities on the geological maps prepared by the MTA and EKI - TKI for Zonguldak Hardcoal Basin. In order to clarify these differences, self potential measurements were carried out in Kilimli, Çatalağzı and Gelik Districts on the discontinuities with conflicting interpretation.

The locations and orientations of the faults and contact zones in the areas surveyed have been determined by interpreting the self potential anomalies. As a result, the presence or absence of some of the discontinuities shown on these two maps have been verified. The data obtained will be utilized in the detailed geological studies to be carried out in the future.

GİRİŞ

Karadon Taşkömürü İşletmesi (Kilimli, Çatalağzı, Gelik) sahaları (Şekil 1), gelecek için Türkiye Taşkömürü Kurumunun (TTK) taşkömürü rezervi açısından büyük önem taşımaktadır. İşletme projeleri için sahanın yapısal jeolojisinin, özellikle fayların önceden bilinmesi ve üretimin buna göre planlanması gerekmektedir.

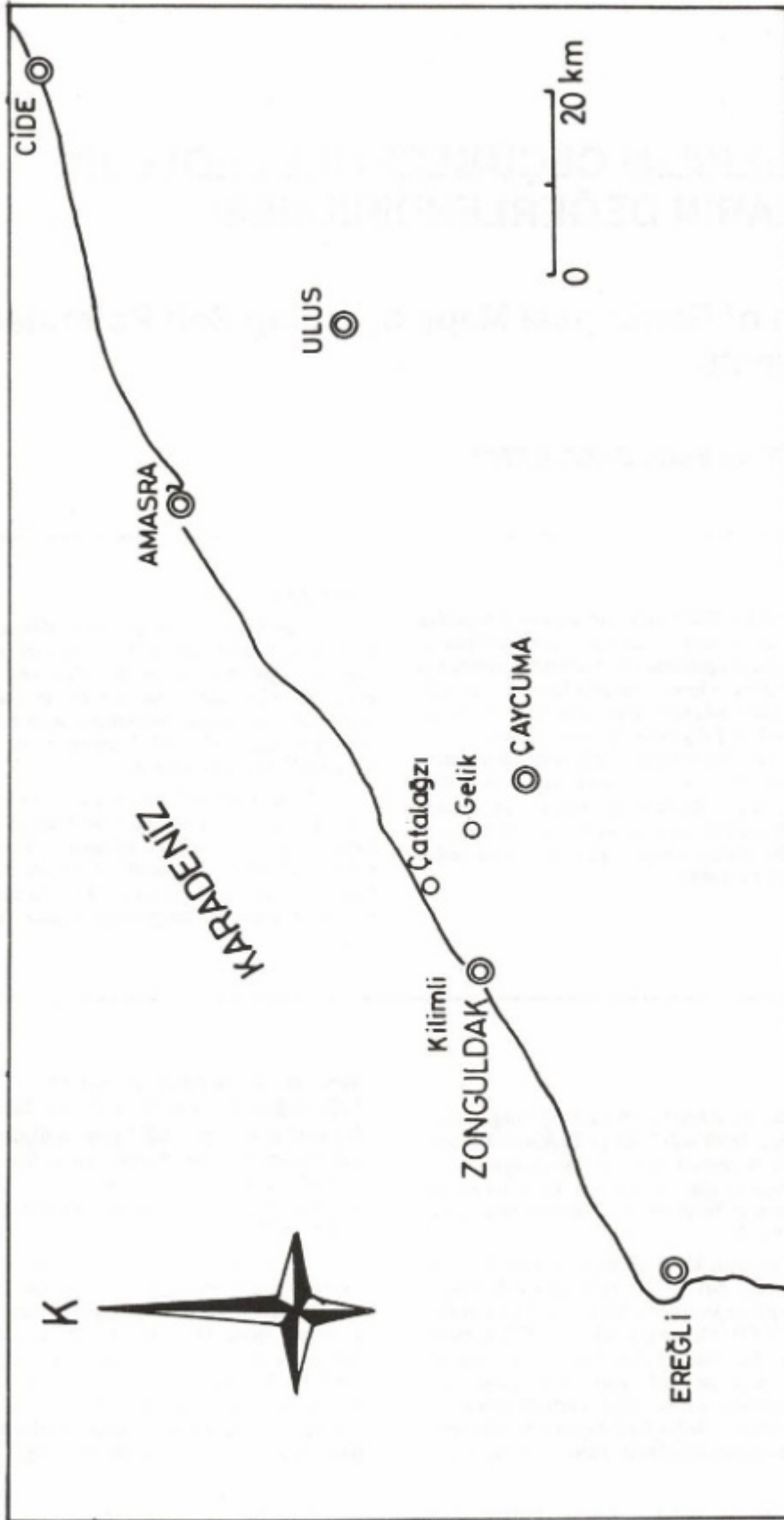
Anılan sahaya ait geniş kapsamlı iki adet jeolojik harita bulunmaktadır. Bunlardan biri 1977 - 1978 yıllarında EKI - TKI işbirliği ile jeolojik ve jeofizik (özdirenç) çalışmaları sonucunda hazırlanan 1/10000 ölçekli jeolojik harita (TTK, rapor no. 3), diğeri daha sonraki yıllarda MTA tarafından yapılan jeolojik haritadır (TTK, arşiv no. 141). haritalar karşılaştırıldığında bazı yorum farklılıkları açık olarak görülebilmektedir. Özellikle faylardaki uyumsuzluklar dikkat çekicidir. Haritalar arasındaki yorum farklılıklarının giderilmesine ve ayrıntılı ça-

lışmalara yardımcı olunması için 89 - 1 (Kilimli), 89-2 ve 89-3 (Çatalağzı), 89 - 4 ve 89 - 5 (Gelik) olarak isimlendirilen ölçü doğrultuları boyunca doğal gerilim ölçümleri yapılmıştır. Ölçü doğrultuları Apsiyen, Barremiyen ve Westfaliyen yaşlı, sırası ile Fliş-Velibey kumtaşı - kireçtaşı - İncivez serisi, Barremiyen kireçtaşı ve karbonifer formasyonlarını içermektedir (Kaynar ve diğ. 1978).

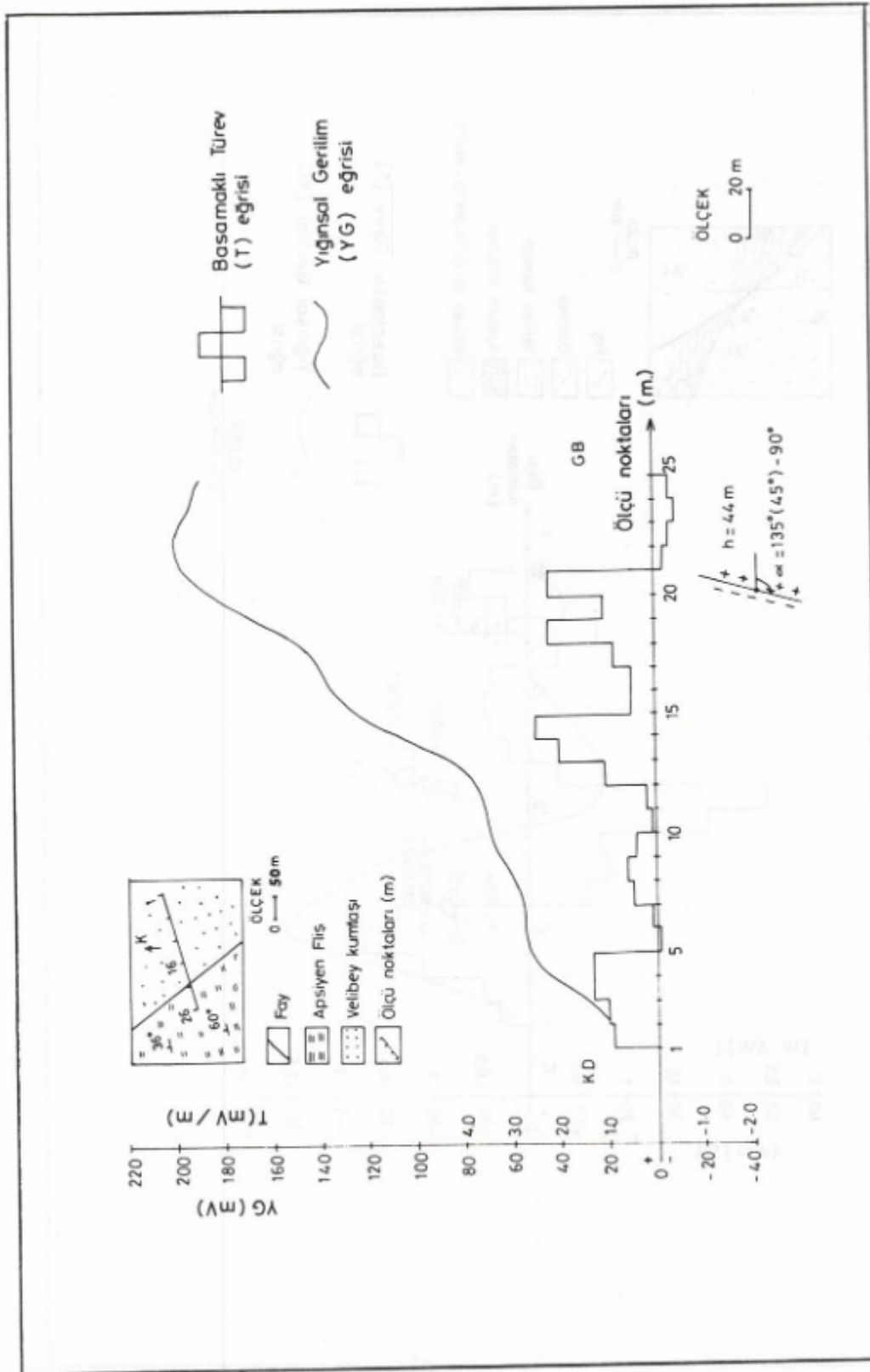
Doğal gerilim yöntemi, mineral ve çözelti arasındaki elektrokimyasal etkimeden dolayı yerde oluşan doğal elektriksel gerilimlerin ölçülmesine dayanır. Tortul ortamlarda ölçülen gerilimler, iyonik tabakalar (ionic layers), elektrofiltrasyon, pH farkları ve electro-osmosis olarak iyi bilinen olaylarla açıklanabilirler (Paranis 1972). Aşırı sıcaklık, sıvı akışı, geçirgenlik, iletkenlik ve basınç farkları nedeniyle oluşan iyon konsantrasyon farkı bir gerilim farkı yaratır. Bu da yerde doğal akım akışına neden olur. Çalışılan sahada; Fliş, kumtaşı, kireçtaşı ve

* H.Ü. Zonguldak Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü - ZONGULDAK

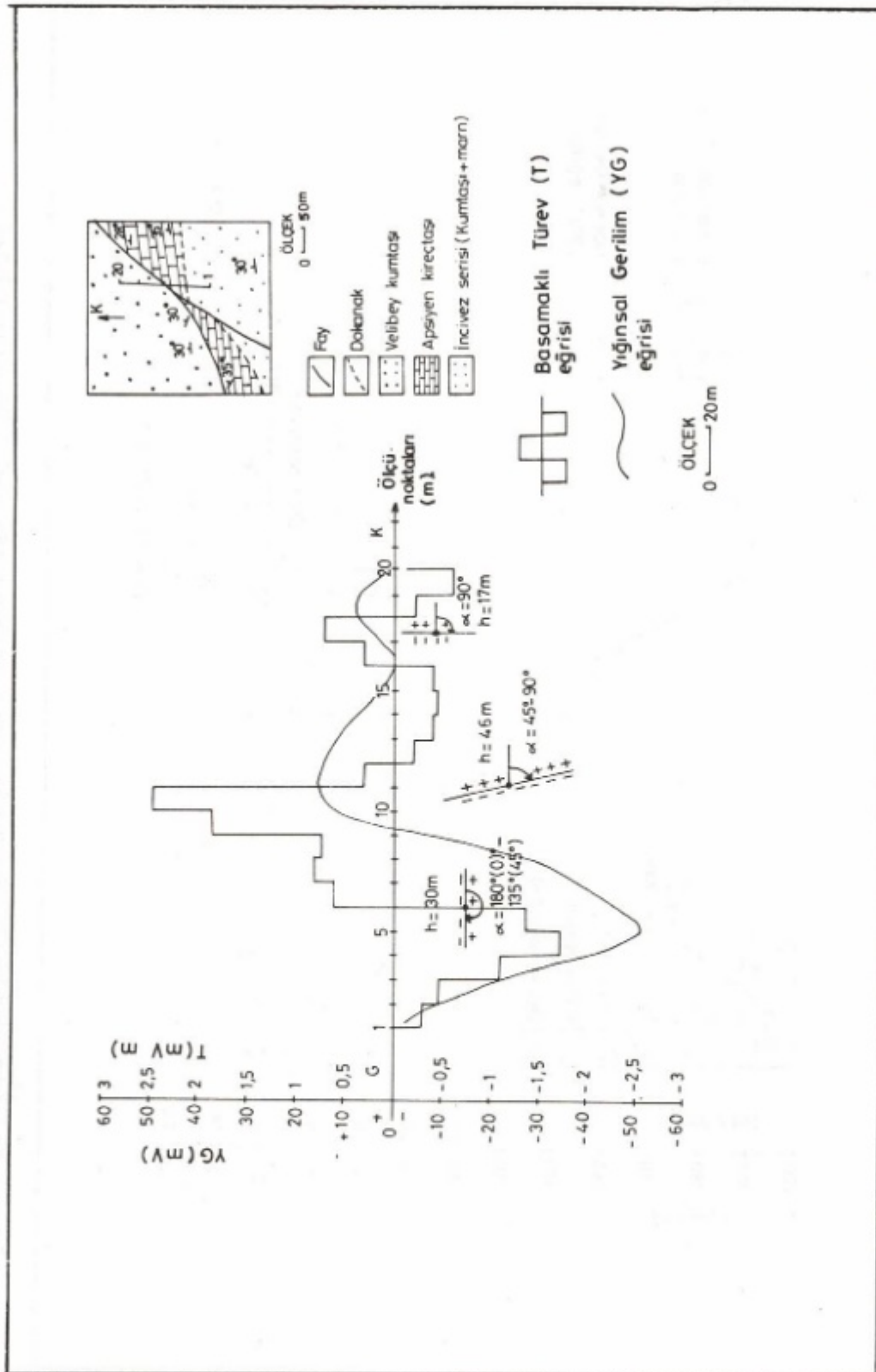
** Türkiye Taşkömürü Kurumu, Aramalar Dairesi - ZONGULDAK



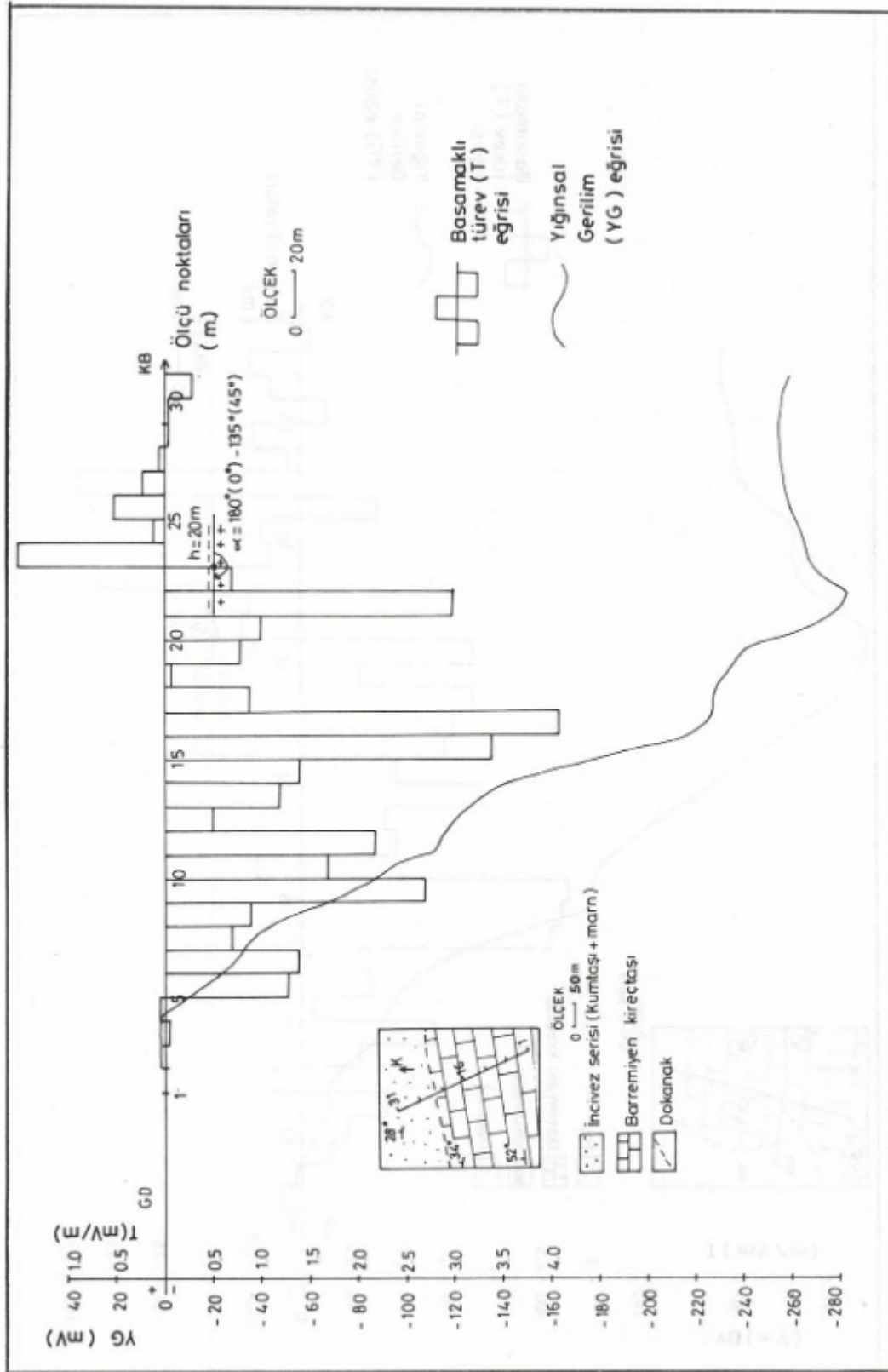
Şekil 1. Zonguldak Taşkömürü Havzasındaki Kilimli, Çatalağzı ve Gelik bölgelerinin yeri.
Fig. 1. Location of Kilimli, Çatalağzı and Gelik Districts in the Zonguldak Hardcoal Basin.

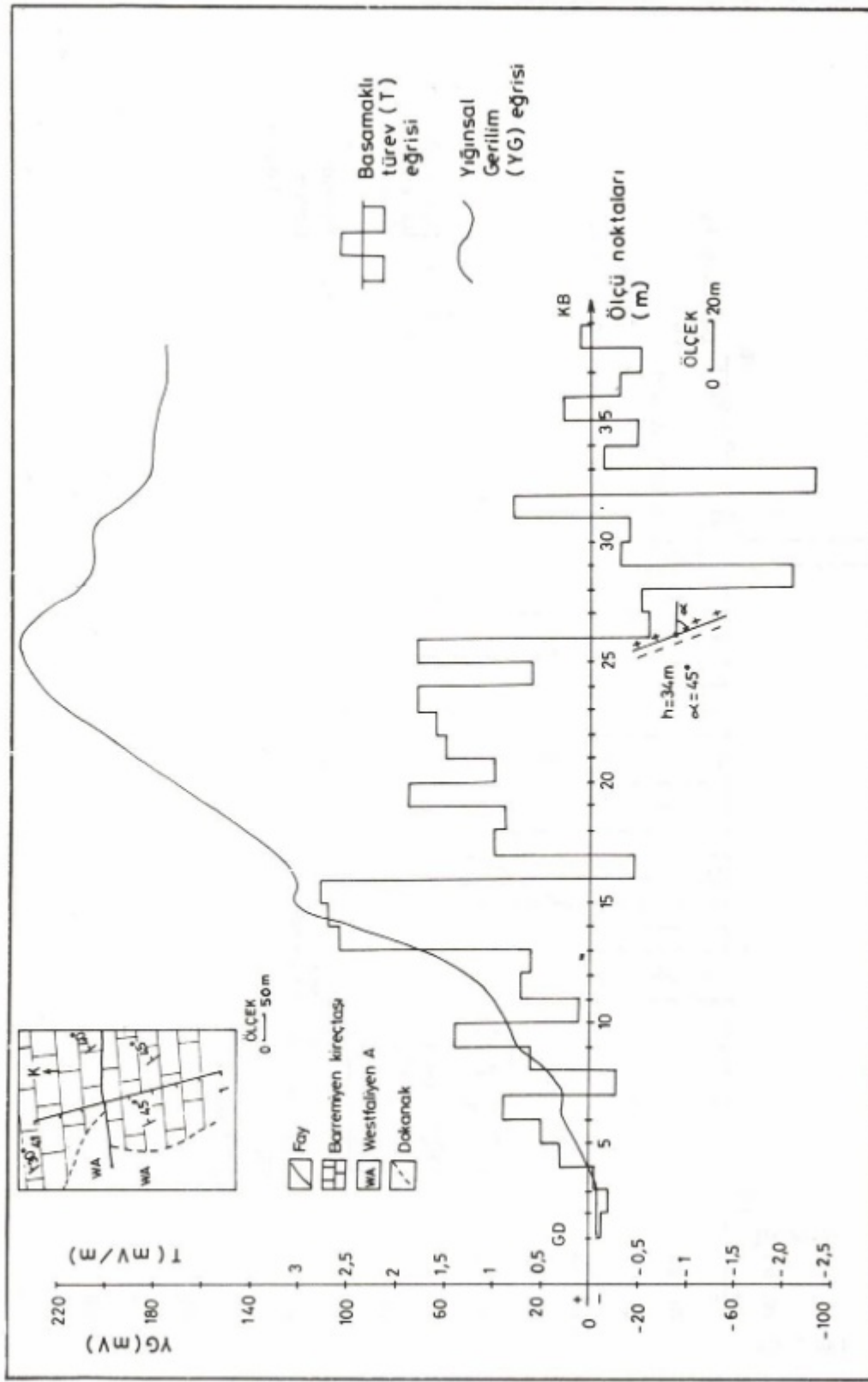


Şekil 2. 89-1 (Kilimli) doğrultusu üzerinde ölçülen doğal gerilim anomalileri, yorumu ve Kilimli Bölgesinin jeolojik haritası
 Fig. 2. SP anomalies measured on the 89-1 (Kilimli) profile, their interpretation and geological map of the Kilimli District.

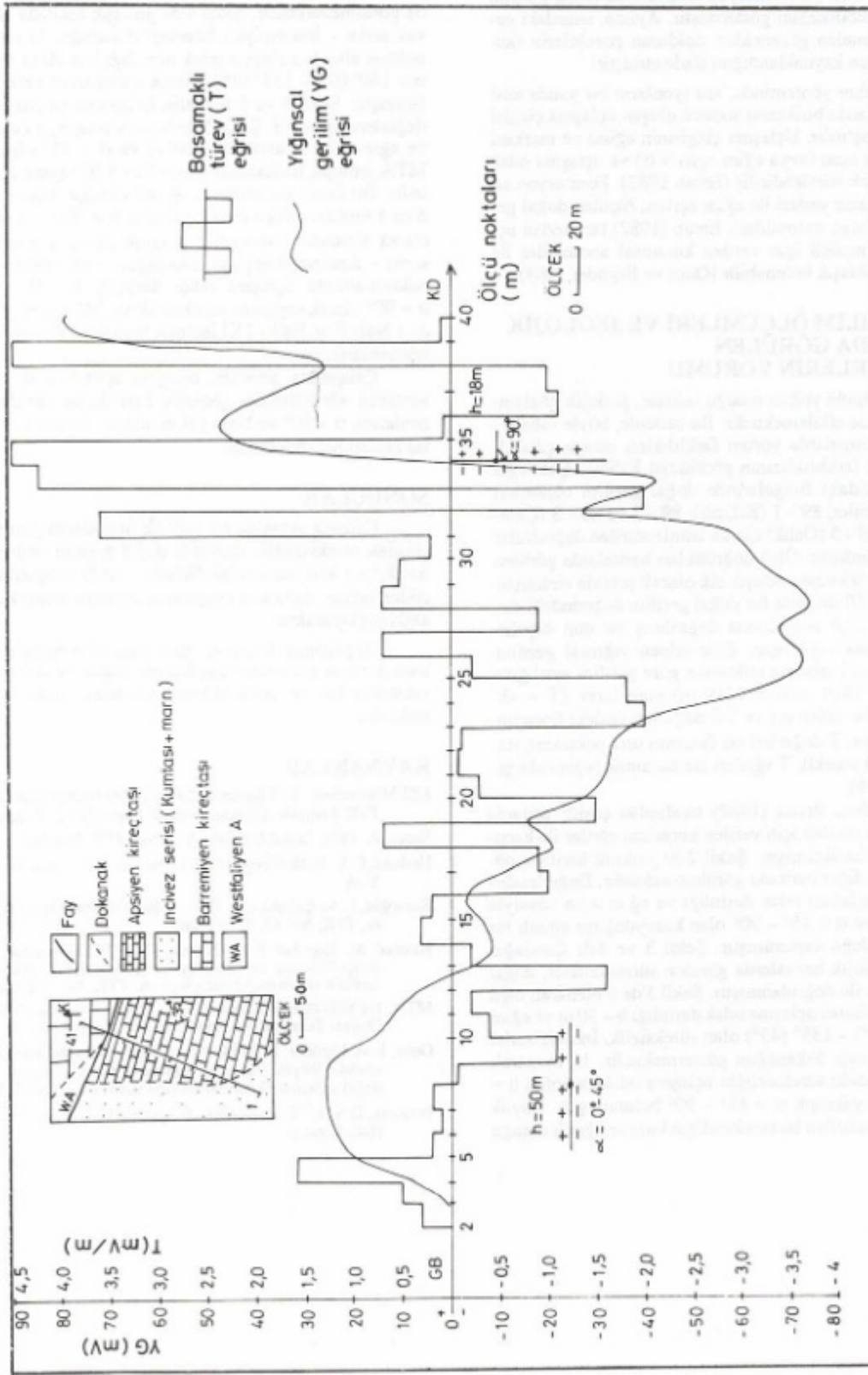


Şekil 3. 89-2 (Çatalağzı) doğrultusu üzerinde ölçülen doğal gerilim anomalileri, yorumu ve Çatalağzı Bölgesinin jeolojik haritası.
Fig. 3. SP anomalies measured on the 89-2 (Çatalağzı) profile, their interpretation and geological map of the Çatalağzı District.





Şekil 5. 89-4 (Gelik) doğrultusu üzerinde ölçülen doğal gerilim anomalileri, yorumu ve Gelik Bölgesinin jeolojik haritası.
Fig. 5. SP anomalies measured on the 89-4 (Gelik) profile, their interpretation and geological map of the Gelik District.



Şekil 6. 89-5 (Gelik) doğrultusu üzerinde ölçülen doğal gerilim anomalileri, yorumu ve Gelik Bölgesinin jeolojik haritası.
Fig. 6. SP anomalies measured on the 89-5 (Gelik) profile, their interpretation and geological map of the Gelik District.

Karbonifer formasyonları arasında iletkenlik farkı bulunmaktadır (Karaoğlu ve Çalışkan 1987). Heiland (1946) duyarlı doğal gerilim ölçümleri ile formasyon sınırlarında doğal gerilim farkları elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, sınırdaki gerilimlerin muhtemelen gözenekleri dolduran çözeltilerin iletkenlik farklarından kaynaklandığını ifade etmiştir.

Doğal gerilim yönteminde, artı iyonların bir yanda eksi iyonların diğer yanda birikmesi sonucu oluşan uçlaşma çizgisi (veya yüzeyi) araştırılır. Uçlaşma çizgisinin eğimi ve merkezi sırasıyla uçlaşma açısı (veya eğim açısı = α) ve uçlaşma odak derinliği (h) olarak isimlendirilir (Ercan 1982). Formasyon sınırlarının ve fayların yerleri ile eğim açıları, ölçülen doğal gerilim ve elektrik alan anomalileri, Ercan (1982) tarafından uçlaşmış bir küre modeli için verilen kuramsal anomaliler ile karşılaştırarak yaklaşık bulunabilir (Onur ve Ergüder 1988).

DOĞAL GERİLİM ÖLÇÜMLERİ VE JEOLÖJİK HARİTALARDA GÖRÜLEN SÜREKSİZLİKLERİN YORUMU

Bitki örtüsünün yoğun olduğu sahalarda, jeolojik gözlemleri olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, böyle sahalardaki jeolojik çalışmalarda yorum farklılıkları ortaya çıkabilmektedir. Yorum farklılıklarının görüldüğü Kilimli, Çatalağzı ve Gelik (Zonguldak) Bölgelerinde doğal gerilim ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler, 89 - 1 (Kilimli), 89 - 2 ve 89 - 3 (Çatalağzı), 89 - 4 ve 89 - 5 (Gelik) olarak isimlendirilen doğrultular boyunca sürdürülmüştür. Ölçü doğrultuları haritalarda görülen süreksizlik yüzey izlerine yaklaşık dik olacak şekilde alınmıştır (Şekil 2 - 6). Her 50 metrede bir doğal gerilim değerindeki değişim belirlenip ölçü noktalarına dağıtılmış ve tüm ölçüler başlangıç noktasına yığılmıştır. Elde edilen yığılmalı gerilim (YG mV) değerleri başlangıç noktasına göre gerilim ayrılığını simgelemektedir. Ölçü aralığına (10 m) göre türev ($T = -E \text{ mV/m}$) değerleri hesaplanmış ve YG değerleri öndeki fincanın bulunduğu noktaya, T değerleri iki fincanın orta noktasına atanarak YG eğrileri sürekli, T eğrileri ise basamak biçiminde çizilmiştir (Şekil 2-6).

Arazi eğrileri, Ercan (1982) tarafından çeşitli açılarda uçlaşmış bir küre modeli için verilen kuramsal eğriler ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Şekil 2'de jeolojik haritada görülen süreksizlik diğer haritada görülmemektedir. Değerlendirme sonucunda, uçlaşma odak derinliği ve eğim açısı sırasıyla yaklaşık $h = 44$ ve $\alpha = 45^\circ - 90^\circ$ olan kuzeydoğuya eğimli bir fayın mevcut olduğu saptanmıştır. Şekil 3 ve 4'de Çatalağzı bölgesine ait jeolojik haritalarda görülen süreksizlikler, doğal gerilim ölçümleri ile doğrulanmıştır. Şekil 3'de 6 numaralı ölçü noktası altında bulunan uçlaşma odak derinliği $h = 30$ m ve eğim açısı $\alpha = 180^\circ (0^\circ) - 135^\circ (45^\circ)$ olan süreksizlik, İncivez serisi ile Apsiyen kireçtaşı dokanağını göstermektedir. 11 numaralı ölçü noktası altındaki süreksizliğin uçlaşma odak derinliği $h = 46$ m, eğim açısı yaklaşık $\alpha = 45^\circ - 90^\circ$ bulunmuştur. Büyük Fay olarak isimlendirilen bu süreksizliğin kuzeye eğimli olduğu

saptanmıştır. Ayrıca, 17 - 18 numaralı ölçü noktaları arasında yaklaşık $h = 17$ m odak derinliği ve $\alpha = 90^\circ$ eğim açısı olan bir süreksizlik daha bulunmuştur. Bu süreksizlik jeolojik haritalarda görülmemektedir. Şekil 4'de jeolojik haritada görülen İncivez serisi - Barremiyen kireçtaşı dokanağı, 23 numaralı ölçü noktası altında uçlaşma odak derinliği $h = 20$ m ve eğim açısı $\alpha = 180^\circ (0^\circ) - 135^\circ (45^\circ)$ olarak saptanan süreksizlikle doğrulanmıştır. Şekil 5 ve 6'da Gelik Bölgesine ait jeolojik haritalar değerlendirilmiştir. Şekil 5'de saptanan uçlaşma odak derinliği ve eğim açısı sırasıyla $h = 34$ m ve $\alpha = 45^\circ$ olan süreksizlik MTA jeolojik haritasında gösterilen K10 fayına denk gelmektedir. Bu fayın kuzeybatıya eğimli olduğu bulunmuştur. Şekil 6'da 8 numaralı ölçü noktası altında $h = 50$ m ve $\alpha = 0^\circ - 45^\circ$ olarak saptanan süreksizlik jeolojik haritada görülen İncivez serisi - Apsiyen kireçtaşı dokanağını göstermektedir. 34 ölçü noktası altında uçlaşma odak derinliği $h = 18$ m, eğim açısı $\alpha = 90^\circ$ olarak saptanan süreksizlik ise MTA jeolojik haritasında 1 Nolu Fay, EKI - TKI jeolojik haritasında Esenli Fayı olarak isimlendirilmiştir.

Çalışmada, genelde, uçlaşma açısı $\alpha = 0^\circ - 45^\circ$ arası saptanan süreksizlikler jeolojik haritalarda görülen dokanak zonlarını, $\alpha = 90^\circ$ ve buna yakın olarak saptanan süreksizlikler ise fayları belirtmektedir.

SONUÇLAR

Çalışma sahasına ait jeolojik haritalarda yorum farklılığı görülen süreksizlikler üzerinde doğal gerilim yöntemi uygulanarak, söz konusu süreksizliklerin varlığı araştırılmıştır. Elde edilen veriler, daha sonra yapılacak ayrıntılı jeolojik çalışmalara katkı sağlayacaktır.

Uygulaması kolay ve ekonomik olan doğal gerilim yöntemi, jeolojik gözlemleri güçleştiren yoğun bitki örtüsü ile kaplı sahalarda fay ve dokanakların belirlenmesinde başarı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- EKI Müessesesi - TKI Kurumu, 1978, 1/10000 Ölçekli Jeoloji Haritası, TTK Aramalar Dairesi, Jeofizik Rapor No. 3, Zonguldak.
- Ercan, A. 1982, Doğal Uçlaşma Yöntemi, İTÜ, İstanbul.
- Heiland, C.A. 1946, Geophysical Exploration, Prentice-Hall, Inc., New York.
- Karaoğlu, L. ve Çalışkan, S. 1987, Kilimli Büyük Fay Çalışması Raporu, TTK, No. 43, Zonguldak.
- Kaynar, A., Ergüder, F. ve Kocak, C. 1978, Zonguldak İli Kilimli-Ayıcı-Kırmsa ve Deliklimeşe Tepesi Arası Alanın Jeolojik-Jeofizik (özdirenc) Etüdü Raporu, TTK, No. 3, Zonguldak.
- MTA, 1/10000 ölçekli Karadon Sahası Jeoloji Haritası, TTK Aramalar Dairesi Teknik Büro Arşiv No. 141, Zonguldak.
- Onur, I. ve Ergüder, F. 1988, Asker Tepe - Kilimli (Zonguldak) yöresindeki Büyük Fayın Konumunun yatay görünür özdirenc ve doğal uçlaşma ölçümleri ile saptanması, Jeofizik 2, 135 - 142.
- Parasnis, D.S. 1972, Principles of Applied Geophysics, Chapman and Hall, London.

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 km² lik bir bölümünde sıcak su hazne kayacını saptamak amacıyla jeoelektrik yöntemlerden öz direnç (resistivity), etkiyel kutuplaşma (IP, induced polarization) ve doğal gerilim (SP, self potential) uygulanmıştır.

İnceleme alanı çeşitli kalınlıklarda, 600 metre derinliklere kadar kilitaşı-çakıtaşı ve kireçtaşı ardalanması gösterdiği için geleneksel öz direnç 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 km² 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 öz dirençli örtü kayası ve altındaki yüksek öz dirençli hazne kayası için öz direnç 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 öz direnç, doğal gerilim (SP) ve etkiyel 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 Isparta Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü - ISPARTA

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 sularlardır.

Doğal gerilim ölçüleri 10 doğrultu boyunca hem gradient 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 öz direnç haritaları ve değişik doğrultularda jeoelektrik kesitler düzenlenmiştir.

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

JEOLJİ

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 çakıltısı gelir. Ultramafik kaya parçalarından yapılmış monojenik çakıltısı iyi çimentolanmıştır. Miyosen, çakıltısı - kumtaşı - çamurtaşı - kilaşı - tuf - killi kireçtaşı ardalanması ile devam etmektedir. Tuf içeren çakıltısı 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 çakıltısı - kumtaşı - kilaşı birikimi Hamamboğazı kaplıcası civarında geniş dalgalı kıvrımlıdır.

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

EKONOMİK JEOLJİ

Jeotermal enerji yerkabuğunun derinliklerindeki yüksek ısıyı oluşturan 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 ısısını, 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 ısısı 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. Yüzeye daha yakın olan monojenik çakıltısı 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.

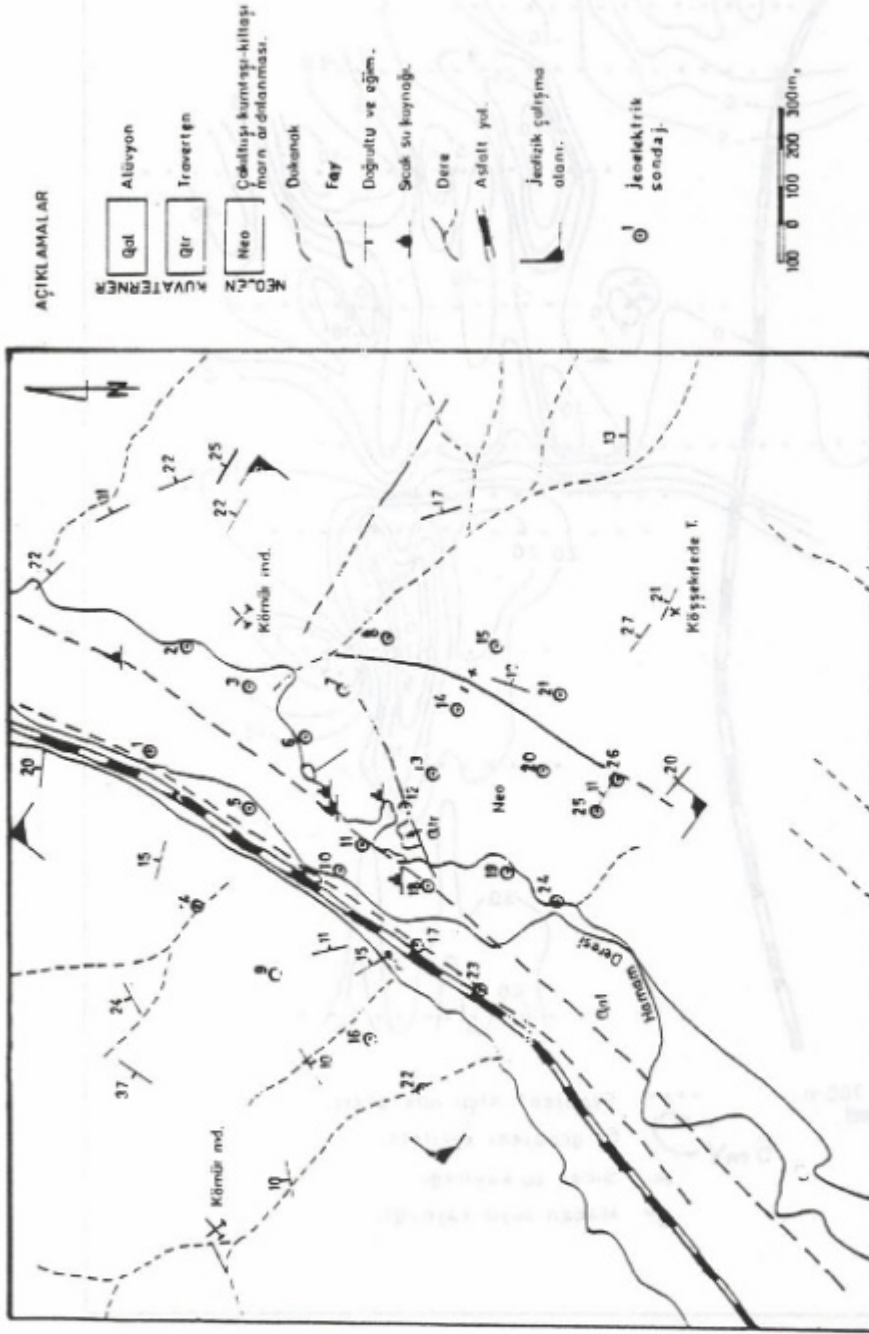
Hazne kayadaki su bütünlemesi kırıklar ve faylar yardımıyla olmaktadır. Bölgenin aldığı yağış miktarı jeotermal alanın beslenme olanakları için yeterlidir.

JEOFİZİK ÇALIŞMALAR VE ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bilindiği gibi, elektrik akımını iyi ileten ortamların öz direnç değerlerinin büyük olacağı doğaldır. Genel olarak birçok arazide yapılan ölçü değerleri sonucu sıcak su ortamının öz direncinin 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 öz dirence sahip olarak farklılık gösterecektir. Eş öz direnç haritalarını ve kesitlerini jeotermal enerji açısından inceleyen etrafına göre, bu küçük öz direnç değerlerine sahip ortam farklılaşmalarını baz olarak kabul etmek gerekir.

Ana yöntem elektrik öz direnç yöntemidir. Bunun yanında etkiyel kutuplaşma (IP), faz farkı ölçüleri ve doğal gerilim (SP) ölçüleri kullanılır. Schlumberger dizilimiyle AB = 2000 m ye varan elektrod açıklığı ile alınan öz direnç 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 öz direnç 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.

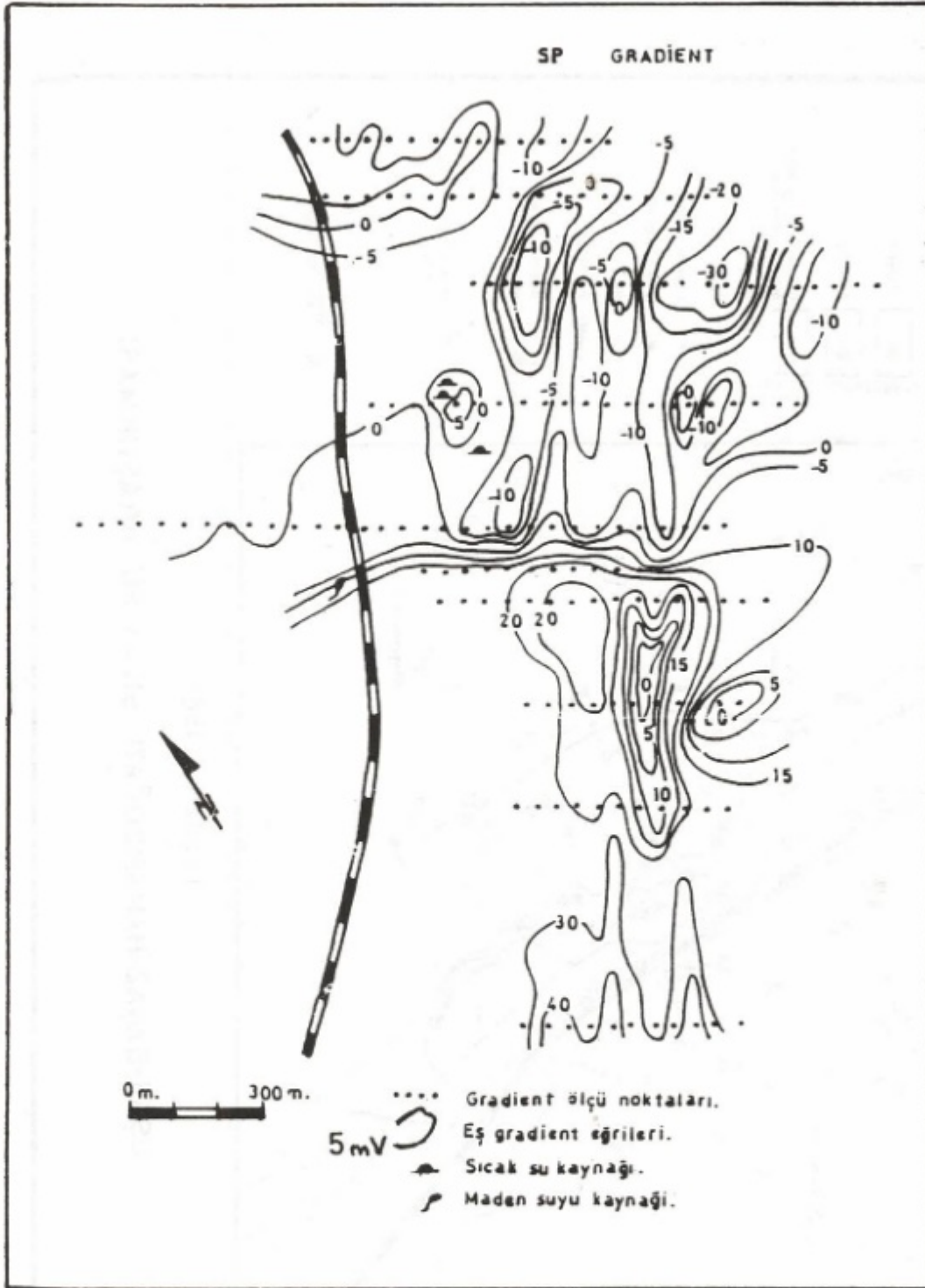
Doğal gerilim (SP) ölçülerinin doğruluğunu denetlemek ve değerlendirmelere yardımcı olmak amacıyla hem gradient (Şekil 2) hem de potansiyel (Şekil 3) ölçüleri alınmıştır. Yöntemin gereği olarak sıcak suların çıktığı yerlerde SP ölçü değerleri artı ve soğuyarak aşağıya dönüş yapan yerlerde eksi değerlere ulaşacaktır. Ancak sıcak su kaynaklarının bulunduğu yerlerde örtü katmanlarının kalın ve kilaşı 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 gradient haritalarının her ikisi de sıcak su kaynaklarının etrafında dikkate değer kapan-



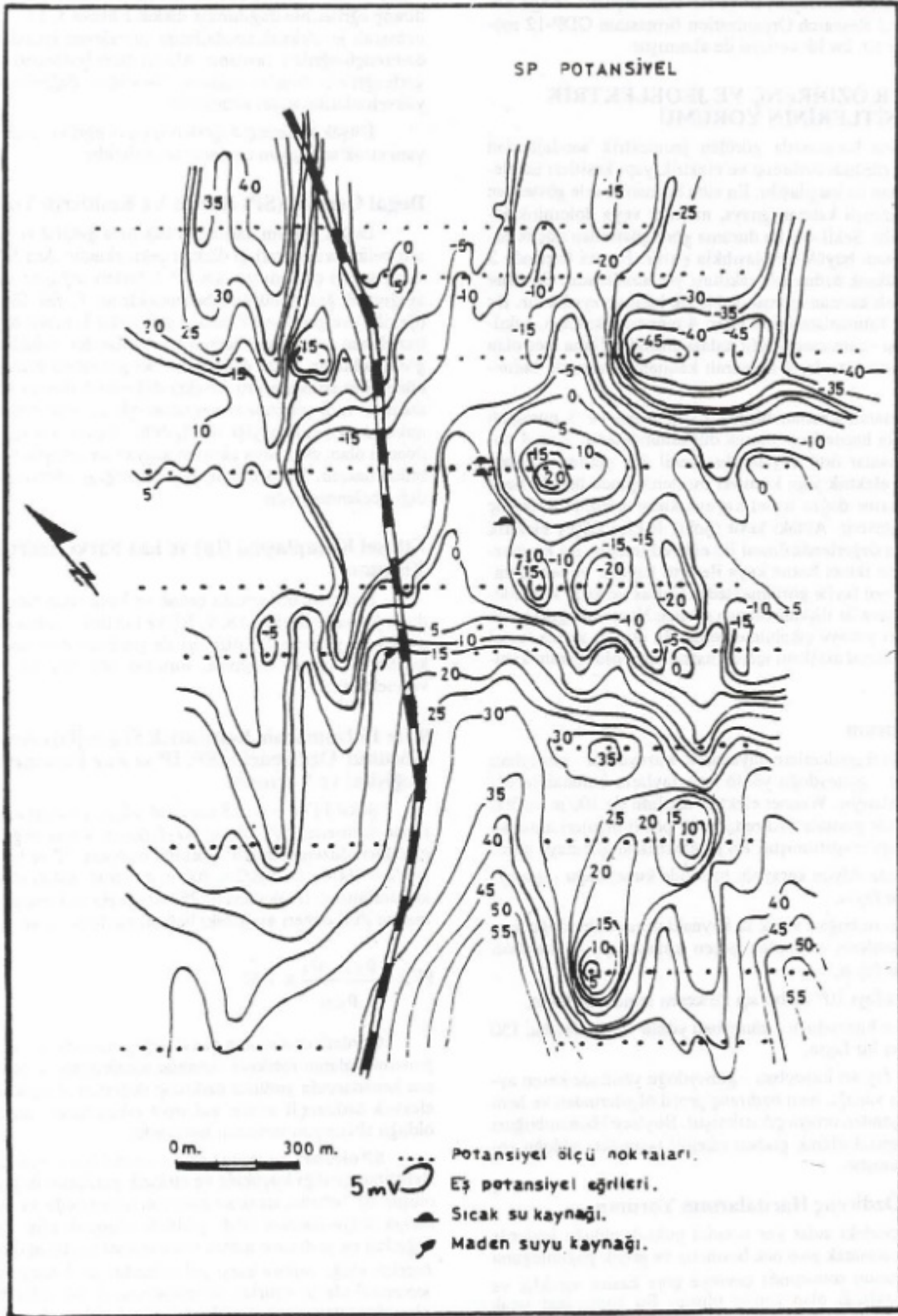
Taşdelen(1987)

UŞAK-BANAZ-HAMAMBOĞAZI SICAK SU ARAŞTIRMASI

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.

Jeo elektrik 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 karşılaşılır. En altta bir numara ile gösterilen yüksek öz dirençli katman gnays, mermer veya dolomitik kireç taşı olabilir. Şekil 4'te bu duruma göre gösterilen düşük öz dirençli katman büyük bir olasılıkla sisttir. Bunun üzerinde 3 numaralı, yüksek öz dirençli çakıtaşı yer almaktadır. En üstte ise 4 numaralı katman içerisinde birçok katman ayrılabilir. Bu ardalı katmanlara işaret eder. 4 numaralı katman, çakıtaşı - kumtaşı - çamurtaşı - tüfit ardalıdır. 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. Altta 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 yükseltilerine 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 çıkışı ve eksi SP değerleri soğuyan sıcak suyun aşağıya doğru dönüşünü belirtmektedir. Gerek SP gradient (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 görünür 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

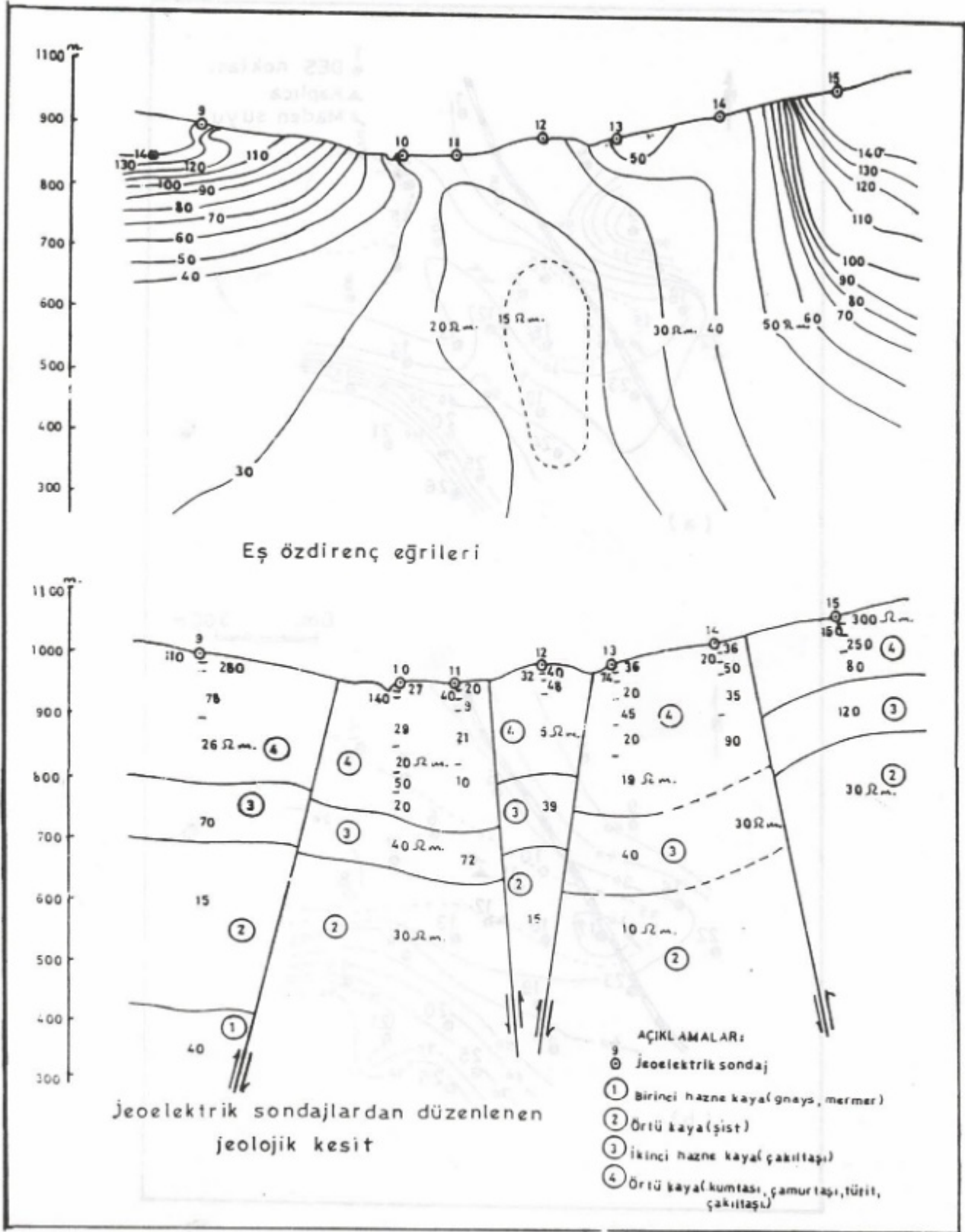
Şekil 11'de 9 ile 15 numaralı ölçü noktaları arasında görünür öz direnç, SP, IP ve faz farkının yanal değişimlerinin grafikleri düzenlenmiştir. Görünür öz direnç, IP ve faz farkı için $AB/2 = 100 \text{ m}$ ve $AB/2 = 200 \text{ m}$ elektrod aralığındaki ölçüler kullanılmıştır. IP ölçüleri (0,25) ve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

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

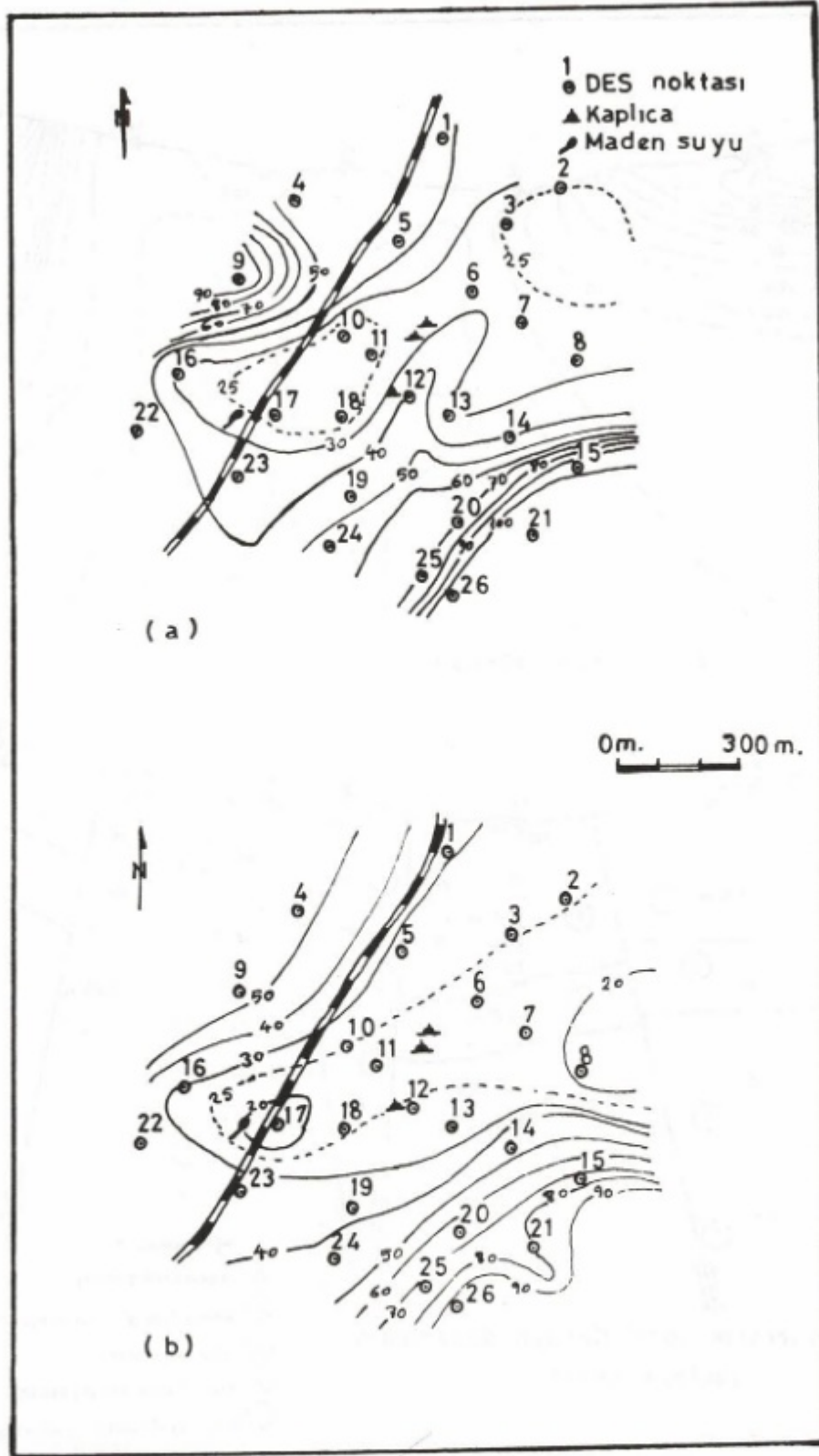
Görünür öz direncin yanal değişimindeki düşük değerler jeotermal alanın merkezi üzerinde ölçülmüştür. Jeotermal alanın kenarlarında görünür öz direnç değerleri yüksektir. Düşük elektrik öz dirençli zonlar yukarıya çıkan sıcak suların neden olduğu alterasyon zonlarını işaret eder.

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.

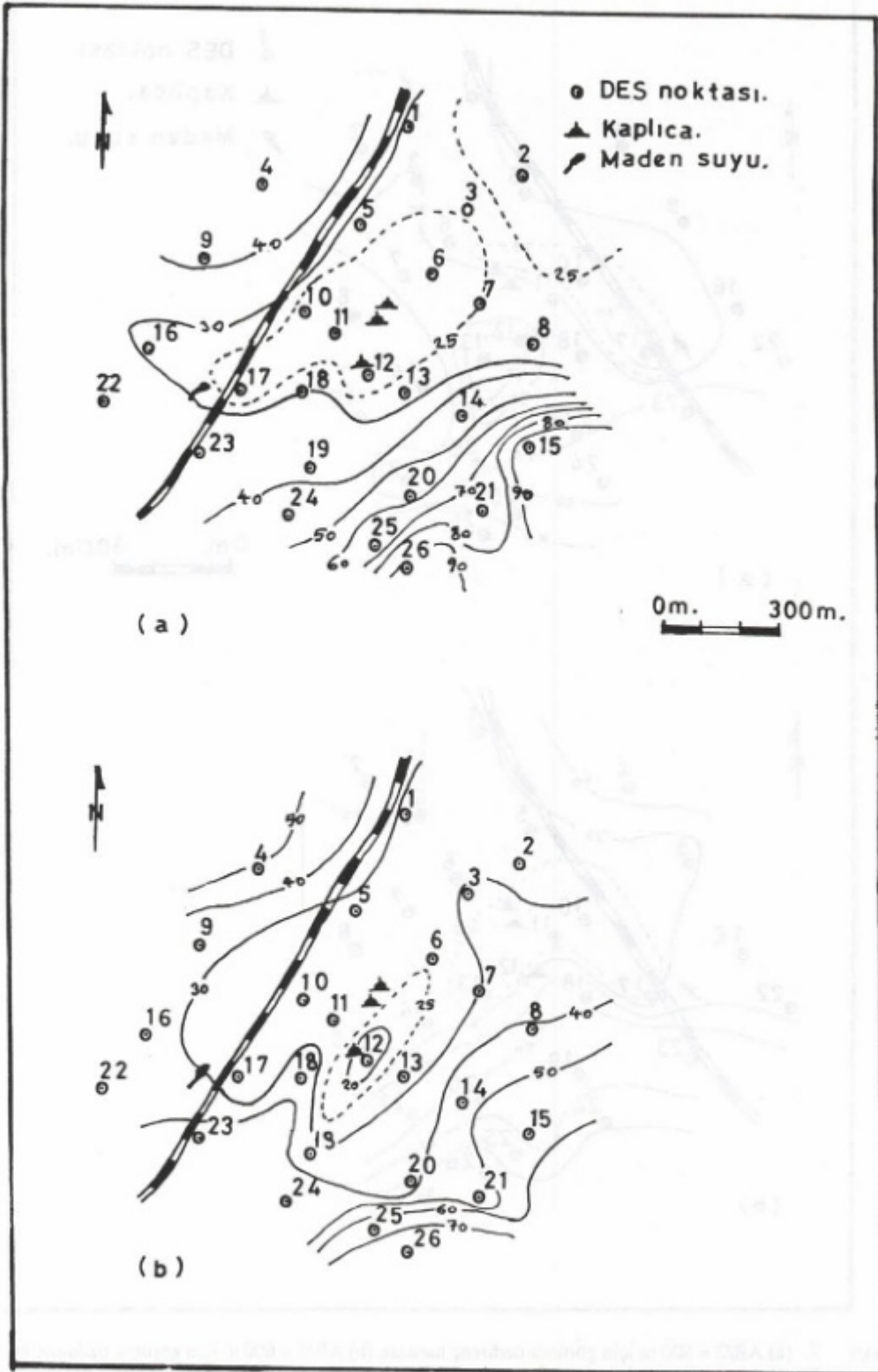
IP profilinde yüksek IP değerleri kil ve pirit nedeniyle



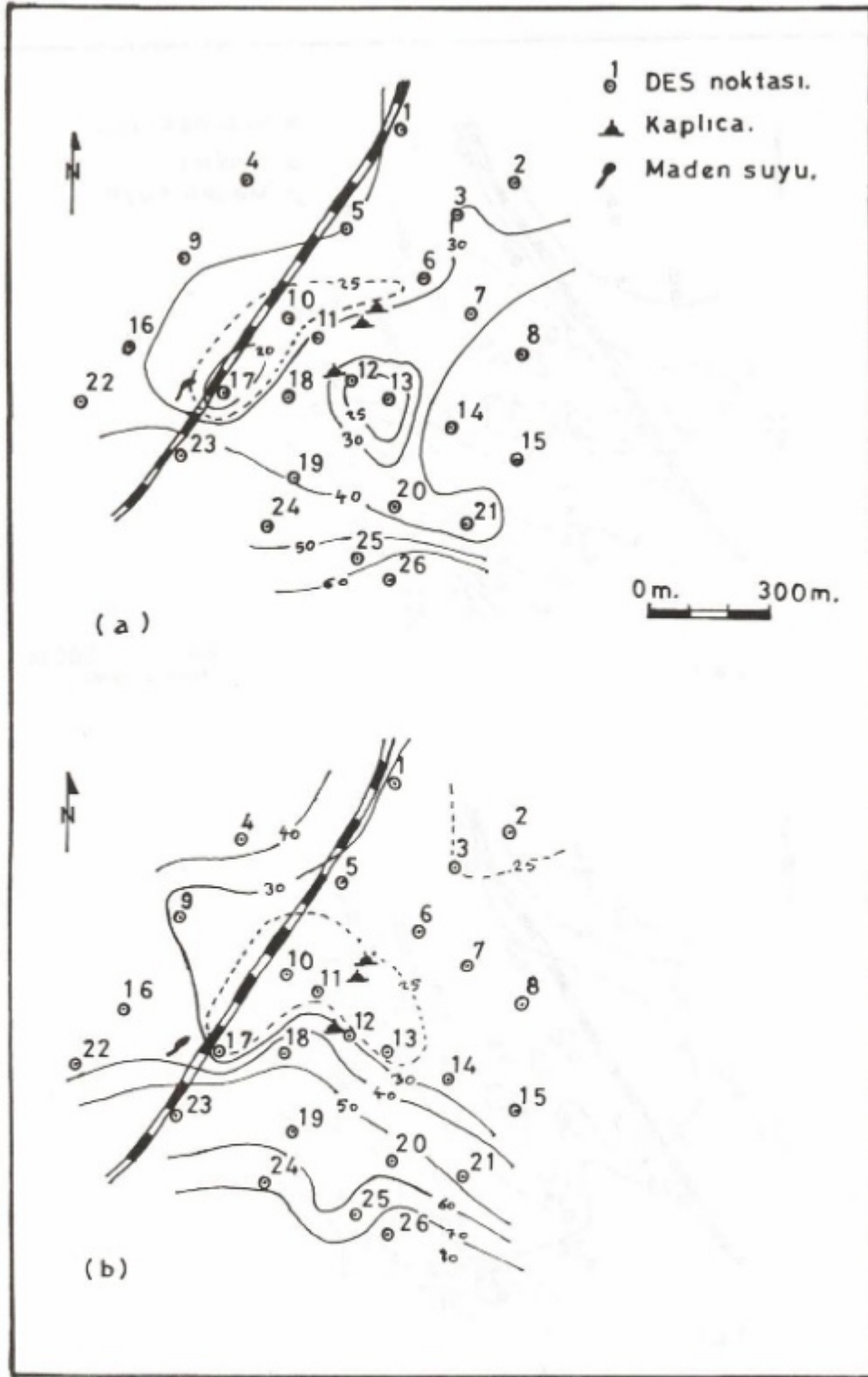
Şekil 4. Eş öz direnç eğrileri ve jeoelektrik ölçülerden düzenlenen jeolojik kesit
Fig. 4. Resistivity curves and geological section taken from geoelectrical measurements



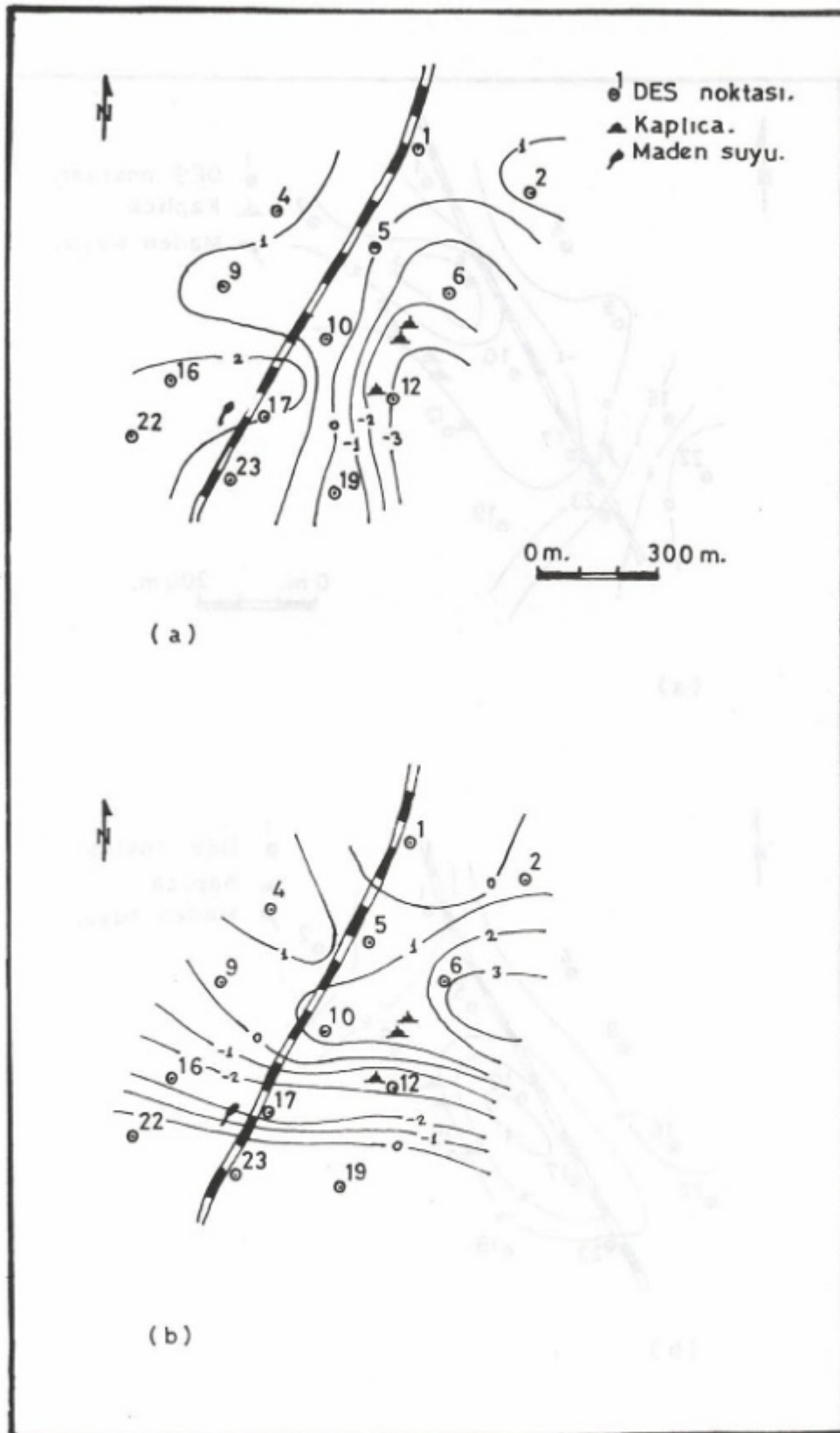
Şekil 5: (a) $AB/2 = 100$ m için görünür öz direnç haritası, (b) $AB/2 = 200$ m için görünür öz direnç haritası
 Fig. 5: (a) Apparent resistivity map for $AB/2 = 100$ m, (b) Apparent resistivity map for $AB/2 = 200$ m



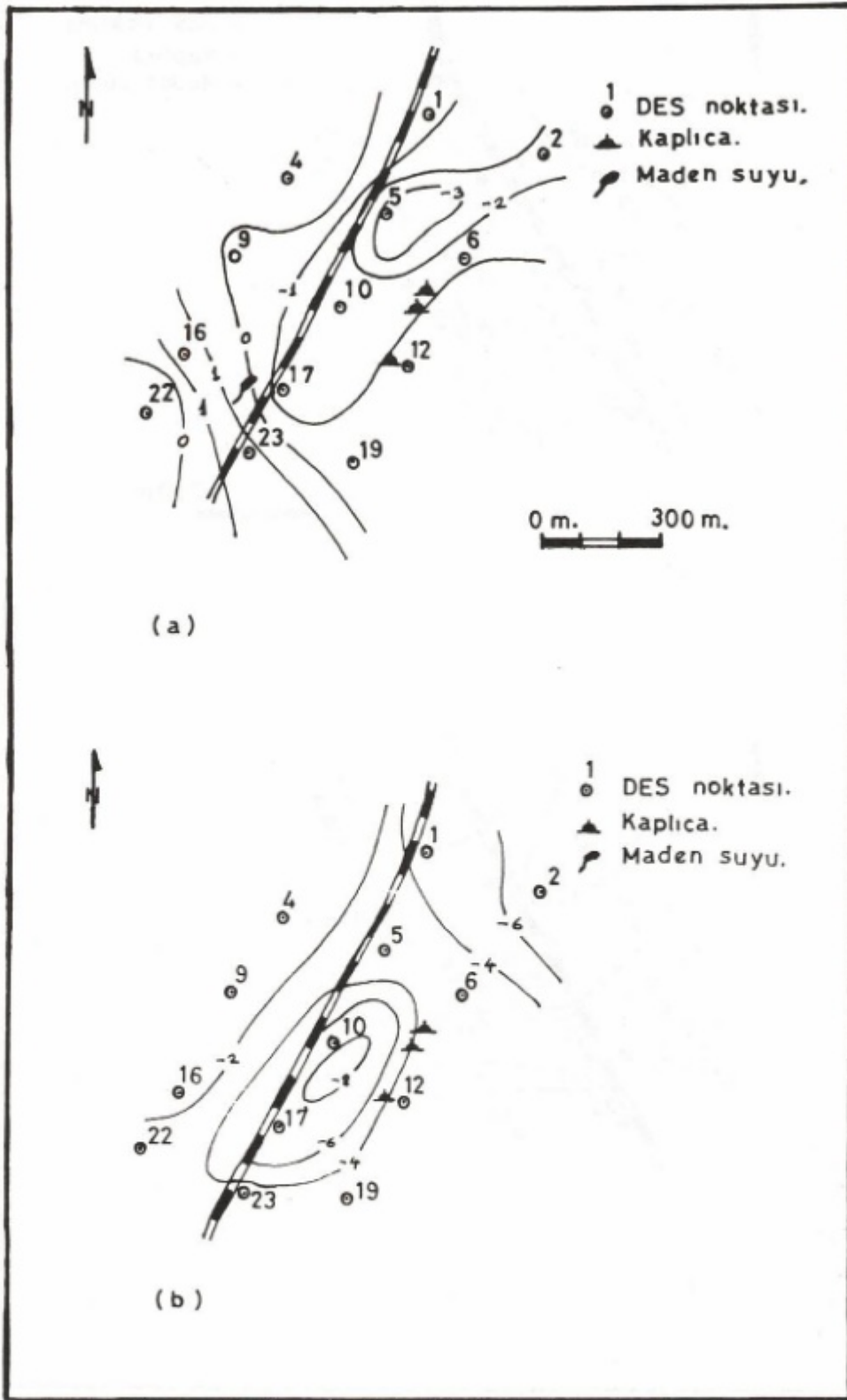
Şekil 6. (a) $AB/2 = 250$ m için görünür öz direnç haritası, (b) $AB/2 = 400$ m için görünür öz direnç haritası
Fig. 6. (a) Apparent resistivity map for $AB/2 = 250$ m, (b) Apparent resistivity map for $AB/2 = 400$ m



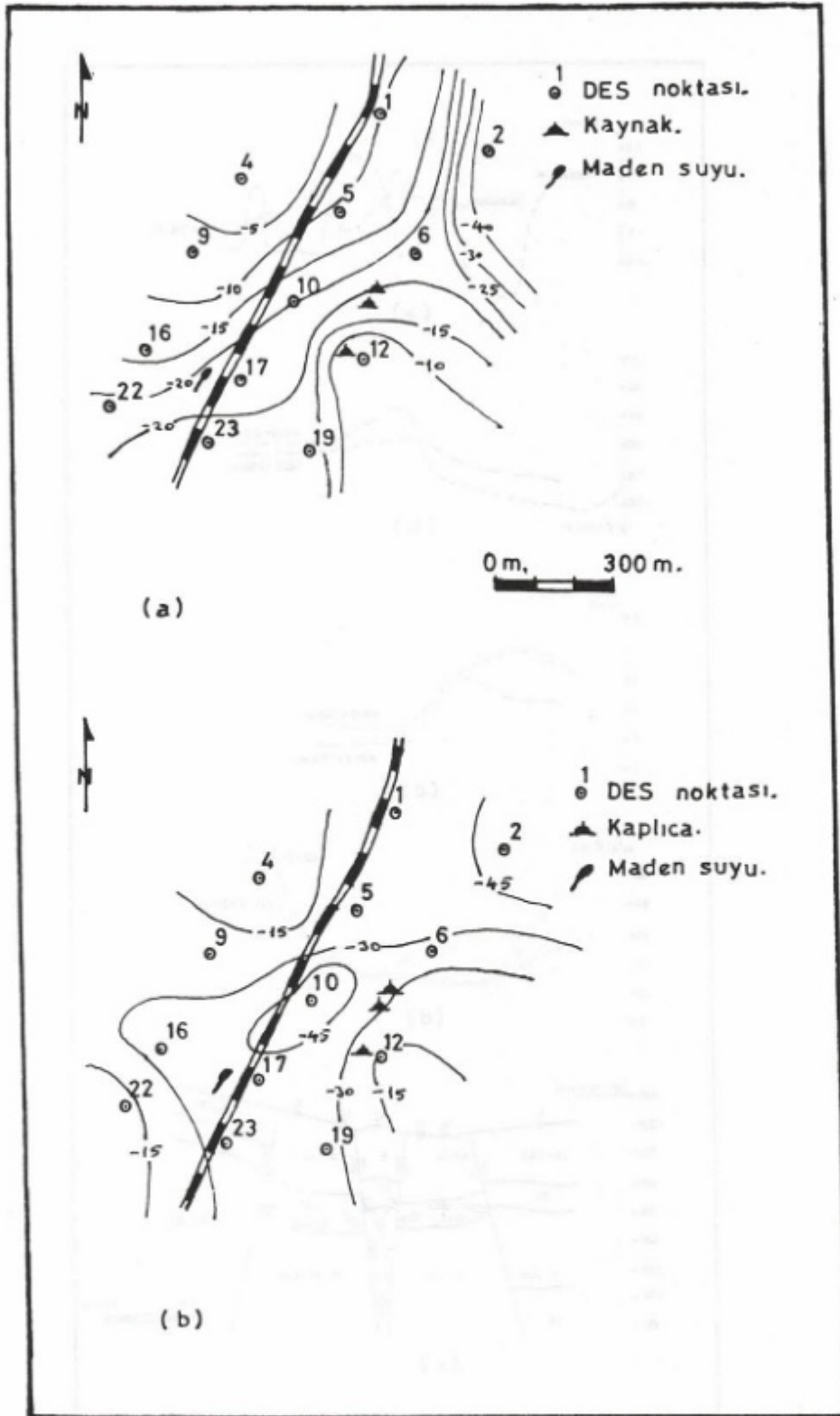
Şekil 7. (a) $AB/2 = 500$ m için görünür öz direnç haritası, (b) $AB/2 = 600$ m için görünür öz direnç haritası
 Fig. 7. (a) Apparent resistivity map for $AB/2 = 500$ m, (b) Apparent resistivity map for $AB/2 = 600$ m



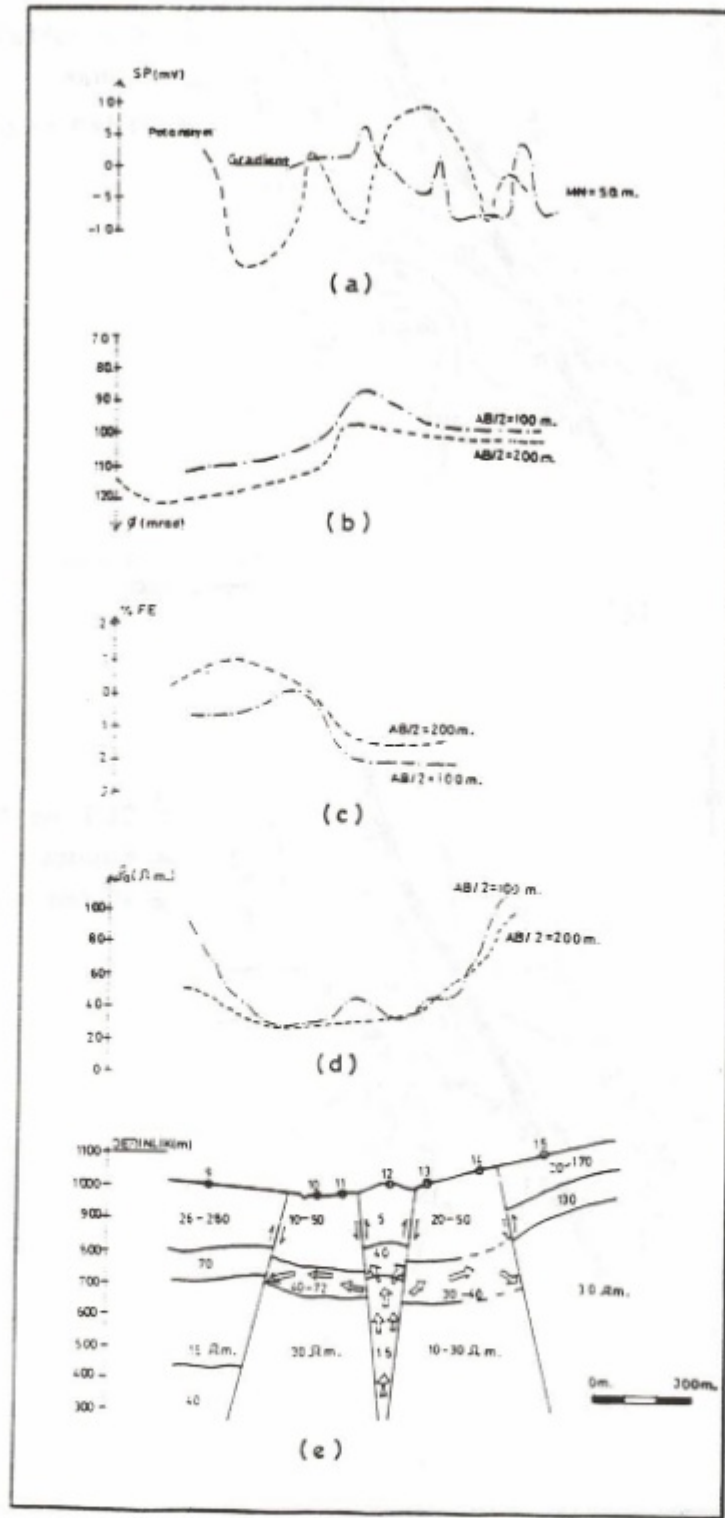
Şekil 8. (a) $AB/2 = 100$ m için % FE eğrileri, (b) $AB/2 = 200$ m için % FE eğrileri
 Fig. 8. (a) Curves of PFE for $AB/2 = 100$ m, (b) Curves of PFE for $AB/2 = 200$ m



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.

oluşabilir. Sıcak suların hareketi sonucunda depolanan saçılmış pirit büyük bir olasılıkla etkiyel kutuplaşmayı artırmaktadır.

Faz farkı profiline baktığımızda jeotermal alanın merkezinde belirtiler görülmektedir.

Görünür öz direncin yanal değişimi, SP, IP ve faz farkı profilleri birlikte dikkate alınınca verilebilecek mekanik sondajın yeri kolaylıkla belli olmaktadır.

GENEL YORUM

Tüm harita ve kesitlerle birlikte öz direnç, SP, IP ve faz farkı çalışmaları gözönüne alındığında, belirtilerin ve yörede görülen sıcak su kaynaklarının fayların kesim bölgelerinde olduğu görülmektedir. Bu kesimlerde artı SP değerlerinin düşük ve yüksek görünür öz dirençli eğrilerin arasında yer alışı sıcak suyun bulunduğu bölgeyi daha iyi belirlemektedir. Şekil 2, 3, 5 ve 7 incelendiğinde iki seviyede sıcak su haznesi saptanmıştır. Birinci sıcak su haznesi 600 m derinde, ikinci sıcak su haznesi ise 200 m derinde yer almaktadır.

Bu durumda önem derecesine göre aşağıda sıralanan 3 noktada sondaj yapılabileceği anlaşılmaktadır.

1) Eş öz direnç haritalarında en düşük öz dirençli bölge 12 numaralı jeoelektrik sondajı civarındadır. Ayrıca $AB/2 = 300$ ve 400 m için eş öz direnç haritalarında 11 numaralı jeoelektrik sondajı da düşük öz dirençli zon kapsamaktadır. 11 ve 12 numaralı jeoelektrik sondajları civarında SP değerleri geniş bir alanda sıfır civarında bir dönüm noktasına sahiptir. Dolayısıyla 11 ve 12 numaralı jeoelektrik sondajlarının arasında ve aradaki olası fayı kesecek biçimde bir mekanik sondajın uygun olacağı düşünülmüştür.

2) Görünür öz direnç haritalarında 17 numaralı jeoelektrik sondajı civarında düşük öz dirençli bir zon yer almaktadır. Ayrıca burada SP artı değerdedir. Diğer bölgelerden farklı olarak, özellikle bu bölgede, soğuyan sıcak suyun mineralce daha zengin olan sızıntılarının ortamda yarattıkları kimyasal özellik nedeniyle IP ve faz farkı değerleri büyüktür. Bu özellik sıcak su haznelerinin metalik mineral içeriği açısından en zengin olduğu kesimi belirtmektedir. 16 ve 17 numaralı jeoelektrik sondajları arasında olası fayı kesecek biçimde bir mekanik sondajın uygun olacağı düşünülmüştür.

3) 6 numaralı jeoelektrik sondajının civarında SP artı değerdedir. Görünür öz direnç değerleri de düşüktür. Burada açılacak mekanik sondajdan sıcak su alınabileceği düşünülmüştür.

Bu saptamalardan sonra birinci derecede önemli olan yerde açılan mekanik sondaj ile 140 m derinlikte 55°C de 15 lt/s'lik ve 15 metreye artezyen yapan sıcak su elde edilmiştir.

SONUÇLAR

Uşak ili Banaz ilçesi Hamamboğazı jeotermal alanında görünür öz direnç, SP, IP ve faz farkı yöntemleri ile yapılan incelemelere göre;

1) Şekil 4 ve Şekil 11'de görüldüğü gibi yapısal durum ve faylanma özellikleri aydınlatılmıştır.

2) İki seviyede sıcak su haznesi saptanmış, bunlardan birincisi 600 m derinde ve ikincisi 200 m derinde yer almaktadır.

3) Daha sığ derinlikte bulunan sıcak su haznesini yakalayabilmek için öncelikle 12 numaralı jeoelektrik sondajının civarında mekanik sondaj yapılmıştır. Bu mekanik sondaj ile 140 m derinlikte 55°C de 15 lt/s'lik ve 15 metreye artezyen yapan sıcak su elde edilmiştir.

Bütün bu çalışmalar, görünür öz direnç, doğal gerilim (SP), etkiyel kutuplaşma (IP) ve faz farkı karşılaştırılması ile sıcak su aramalarının daha sağlıklı, hızlı ve çok ucuza başarılı bir biçimde yapılabileceğini ve gereksiz yatırımlardan kaçınılabileceğini ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- Demirören, M. 1971, Çanakkale - Ayvacık - Tuzla Jeotermal Enerji Sahası Resistivite Etüdü. 1. Jeotermal Enerji Sempozyumu - Ankara.
- Fournier, O.R. 1977, The use of Mixing Models in the Prediction of Underground Conditions in Geothermal System, Symposium on Geothermal Energy in Ankara.
- Şahin, H. 1981, Jeotermal Sahalarda Jeoelektrik Yönteminin Uygulanması. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semineri, EİE Yayını, Ankara.
- Şimşek, Ş. 1981, Ömerbeyli - Germencik Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semineri, EİE Yayını, Ankara.
- Taşdelen, S. 1987, Uşak - Banaz - Hamamboğazı Jeotermal Alanının ve Dolaylarının Jeolojik Araştırması. Y. Lisans Tezi - Isparta.
- Tezcan, A.K. 1971, Sarayköy - Kızıdere Jeotermal Enerji Sahasında Kuru Buhar Üretme İmkânı. Türkiye 1. Jeotermal Enerji Sempozyumu, Ankara.
- Zohdy, A.A.R. 1978, Total - field resistivity mapping and sounding over horizontally layered media (bipole - dipole geothermal) Geophysics 43, 748 - 766.

YANAL SÜREKSİZLİKLERİN DOĞAL GERİLİM AÇMA ÖLÇÜMLERİ İLE SAPTANMASI

Determination of Lateral Discontinuities Using Self Potential Sounding Measurements

İbrahim ONUR*

ÖZET

Zonguldak ili Kırımsa - Ayiçi (Kilimli) yöresindeki süreksizliklerin yüzey izine dik olarak alınan Kuzeybatı - Güneydoğu doğrultusu boyunca doğal gerilim açma ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerden, 20 metre örnekleme aralığı ile çeşitli gerilim kol boyları için görünür türev değerleri hesaplanmıştır. Ölçü doğrultusundaki yatay görünür türev eğrileri ile görünür türev kesiti çizilmiştir. Sonuçta, görünür özdirenç kesitinde işaretli yanal süreksizliklerin doğal gerilim açma ölçümleri ile de belirlenebileceği gösterilmiştir.

ABSTRACT

Self Potential sounding measurements have been carried out along the NW-SE measuring profile perpendicular to the surface trace of Zonguldak province. From these measurements, the apparent gradient of the potential values have been calculated for various dipole lengths using a sampling interval of 20 m. The curves representing the apparent gradient of the self potential and the apparent gradient section of the measurement line have been drawn. As a result, it has been demonstrated that the lateral discontinuities shown on the apparent resistivity geoelectric section can be determined also with self potential sounding measurements.

GİRİŞ

Zonguldak ili Kırımsa-Ayiçi (Kilimli) yöresi Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) ve Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ) jeolojik haritalarında (Ergüder ve diğ. 1990) görülen süreksizliklerin yüzey izine dik olacak şekilde alınan Kuzeybatı-Güneydoğu (KB-GD) doğrultusu boyunca Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) tarafından görünür özdirenç kaydırma ölçümleri yapılmıştır. Schlumberger diziliminde yarı açılım boyu $r = 180, 340$ ve 500 m seçilerek bu derinliklere atanan görünür özdirenç değerlerinin eşdeğer olanlarının birleştirilmesiyle görünür özdirenç kesiti oluşturulmuştur (Şekil 1). Bu kesitin değerlendirilmesi sonucu bulunan yanal süreksizliklerin yerleri ve eğimleri hem kesit üzerine işaretlenmiş hem de Şekil 2'de MTA ve TKİ jeolojik haritalarından alınan süreksizliklerle birlikte gösterilmiştir (Ergüder ve diğ. 1990). 51 nolu ölçü noktası altında saptanan süreksizlik gömülü (G) bir süreksizlik olarak yorumlanmıştır. Bu süreksizlik yukarıda değinilen jeolojik haritalarda görülmemektedir.

Çalışmada, özdirenç kaydırma ölçümleri ile bulunan gömülü süreksizliğin ve diğer süreksizliklerin varlığını araştırmak

ve özdirenç yöntemine destek olması amacıyla aynı KB-GD doğrultusu üzerinde doğal gerilim açma ölçümleri de yapılmıştır. Ölçü doğrultusu Apsiyen kireçtaşı formasyonu ve İncivez serisi (marn+kumtaşı) üzerindedir. Altta ise sırasıyla Barremiyen kireçtaşı ve Karbonifer formasyonları bulunmaktadır (Kaynar ve diğ. 1978).

KB-GD DOĞRULTUSUNDA YATAY GÖRÜNÜR TÜREV EĞRİLERİ VE KESİTİ

1000 m uzunluklu KB-GD ölçü doğrultusu boyunca, örnekleme aralığı $l = 20$ m alınarak, doğal gerilim açma ölçümleri yapılmıştır. Her beş ölçüde bir, iki fincan arasındaki gerilim ayrılığı belirlenip ölçü noktalarına doğrusal dağıtılmış (çözelti yoğunluğu gerilim düzeltmesi) ve düzeltilmiş değerler seçilen başlangıç noktasına yığılmıştır. Böylece, başlangıç noktasına göre doğal gerilimin değişimini gösteren yığınsal gerilim (açma) değerleri elde edilmiştir.

Yatay görünür türev değerlerini elde etmek için, ölçü doğrultusu boyunca $l = 20$ m örnekleme aralığına göre, önce

* H.Ü. Zonguldak Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü - ZONGULDAK

gerilim kol boyu $L = 20$ m alınarak ($n = L/l = 1$) iki ayrıncı y-
ğnsal gerilim değeri arasındaki ayrılık

$$dG_i = G_{i+1} - G_i \quad (1)$$

eşitliği (Ercan 1982a) ile hesaplanmıştır. Burada i gerilim farkı
örnekleme sayacıdır. Sonra, görünür türev (T , mV/m) değerle-
rinin hesabı için

$$T_j(L) = (-\text{Elektrik alan}) = \delta G / \delta X = \sum_{i=j}^{j+n-1} dG_i / L \quad (2)$$

eşitliğinden (Ercan 1982a) yararlanılmıştır. Burada, L gerilim
kolunun boyu (m), j seçilen gerilim kol boyunun ortasına ata-
nacak türev değerlerinin sayacıdır ve $n = L/l$ oranı tam bölüne-
bilir seçilmiştir.

Çalışmada; T değerleri hesaplanırken, seçilen gerilim kol
boyu tüm açılım uzunluğuna (1000 m) göre küçük ise ölçülen
değer doğrudan gerilimin uzaklığına göre birinci türevi ($\delta G / \delta X$)
olduğundan eşitlik (2) de verilen dG , ardışık toplamı, L
değerine bölünmemiştir. Bu şekilde elde edilen türev değerleri
seçilen gerilim kol boyunun ($L = 20$ m) ortasına atanarak $n = 1$
için yatay görünür T (mV/m) eğrisi çizilmiştir. (Şekil 3, $n = 1$).
Aynı işlem bu kez $L = 40$ m ($n = 2$), $L = 60$ m ($n = 3$), $L = 80$
m ($n = 4$) ve $L = 100$ m ($n = 5$) gerilim kol boyları için yi-
nelenerek Şekil 3'de görülen diğer yatay görünür türev eğrileri
elde edilmiştir. çalışmada, gerilim farkı değerlerinin türev de-
ğeri sayılabilmesi için, ölçü doğrultusu uzunluğunun onda biri
(1/10), alınabilecek en uzun gerilim kol boyu olarak kabul
edilmiştir.

Gerilim kol boyunun kısa tutulması durumunda ($L = 20$
m, $n = 1$ durumu) çizilen görünür türev eğrisi Şekil 3'de görü-
ldüğü gibi sığ derinliklerin uçlaşma özelliklerini yansıtan yerel
belirti görünümündedir. Eksili artılı yönlerde değişim gösteren
türev eğrisinin yanal süreksizlikler için değerlendirilmesi, Ercan
(1982b) tarafından çeşitli α açısıyla uçlaşmış ve uçlaşma
odak derinliği h olan bir küre modeli için verilen kuramsal türev
eğrileri ile karşılaştırarak yapılmıştır. $n = 1$ durumu için saptan-
an süreksizliklerin konumları Şekil 3'de gösterilmiştir. Jeolo-
jik haritalardan aktarılan ve görünür öz direnç kaydırma öl-
çümleri ile bulunan süreksizliklerin hepsi görünür türev eğrisi-
nin yorumundan da saptanabilmektedir. Ayrıca, 75 - 76 ölçü nok-
tası arasında $h = 16$ m ve $\alpha = 90^\circ$ olan bir süreksizlik daha bu-
lunmuştur. Bu süreksizlik, TKI jeoloji haritasında gösterilen
İncivez serisi - Alüvyon dokanağına denk gelmektedir. Görü-
nür öz direnç kesitinde 51 nolu ölçü noktası civarında gömülü
(G) olarak gösterilen süreksizlik, T ($n = 1$) eğrisi üzerinde uç-
laşma odak derinliği $h = 112$ m, uçlaşma açısı $\alpha = 270^\circ$ (90°)
- 315° (45°) olarak bulunan kuzeybatıya eğimli süreksizlikle
simgelenmektedir.

Gerilim kol boyu $L = 40$ m alındığında ($n = 2$ durumu),
sıgdaki uçlaşabilir yapıların etkileri görünür türev eğrisinde
kısmen gözlenebilmektedir (Şekil 3, $n = 2$). Gerilim kol boyu
 $L = 60$ m ($n = 3$) ve $L = 80$ m ($n = 4$) alındığında görünür türev
eğrilerinin sıgdaki uçlaşabilir yapıların etkisinden gittikçe
arındığı, $L = 100$ m ($n = 5$) durumunda ise derinlerin uçlaşma
özellikliğini yansıtan bölgesel belirti özelliği kazandığı görü-
lmektedir. Bölgesel belirtinin değerlendirilmesi de Ercan (1982b)
tarafından küre modeli için verilen kuramsal türev eğrileri ile
karşılaştırarak yapılmış ve yanal süreksizliğin uçlaşma odak
derinliği yaklaşık $h = 300$ m, uçlaşma açısı $\alpha = 270^\circ$ (90°) -
 315° (45°) arasında (90° ye daha yakın) bulunmuştur. Bu sü-
reksizlik, kuzeybatıya eğimli olup 51 nolu ölçü noktası civarı-
nın altındadır (Şekil 3). Görünür öz direnç yerelektrik kesitinde
aynı ölçü noktası civarında gömülü (G) olarak gösterilen sü-

reksizliğe denk gelmektedir. Kısa gerilim kolu ($L = 20$ m, $n = 1$)
kullanıldığında da saptanan bu süreksizliğin uçlaşma odak
derinliğinin bölgesel belirtinin yorumuna göre $h = 300$ m ol-
duğu dikkate alındığında süreksizliğin çok daha derinlere
uzanması olasıdır. Jeolojik haritalarda görülmeyen gömülü sü-
reksizliğin varlığı görünür türev eğrilerinin yorumuyla doğru-
lanmıştır. Bununla beraber, kesin sonuç ancak yapılacak bir
sondayla ortaya çıkacaktır.

Çalışmada, ayrıca, KB - GD doğrultusu boyunca görünür
türev değerlerinin düşey düzlemde dağılımını yansıtan, doğal
gerilim görünür türev kesiti çizilmiştir (Şekil 4). Bu amaçla,
hesaplanan türev değerleri gözönüne alınan her bir gerilim kol-
lunun ($L = 20, 40, 60, 80$ ve 100 m) orta noktasından $L/2$ de-
rinliğe atanmış ($n = 1, 2, 3, 4$ ve 5) ve eş türev değerlerinden
eksi işaretli olanları kesikli çizgi ile artı işaretli olanları sürekli
çizgi ile birleştirilmiştir. Doğal gerilim yönteminde seçilen ge-
rilim kol boyuna göre hangi derinlikteki uçlaşma özelliklerinin
yansıtıldığı tam olarak bilinemediğinden, burada inilecek derin-
liğin gerilim kol boyunun yarısı olduğu kabul edilmiştir. Kısa
gerilim kolu kullanıldığında sığ derinlikteki uçlaşma özellikleri-
nin, daha büyük gerilim kolu kullanıldığında göreceli olarak
daha derinlerin uçlaşma özelliklerinin yansıtıldığı çalışmada
ortaya konmuştur.

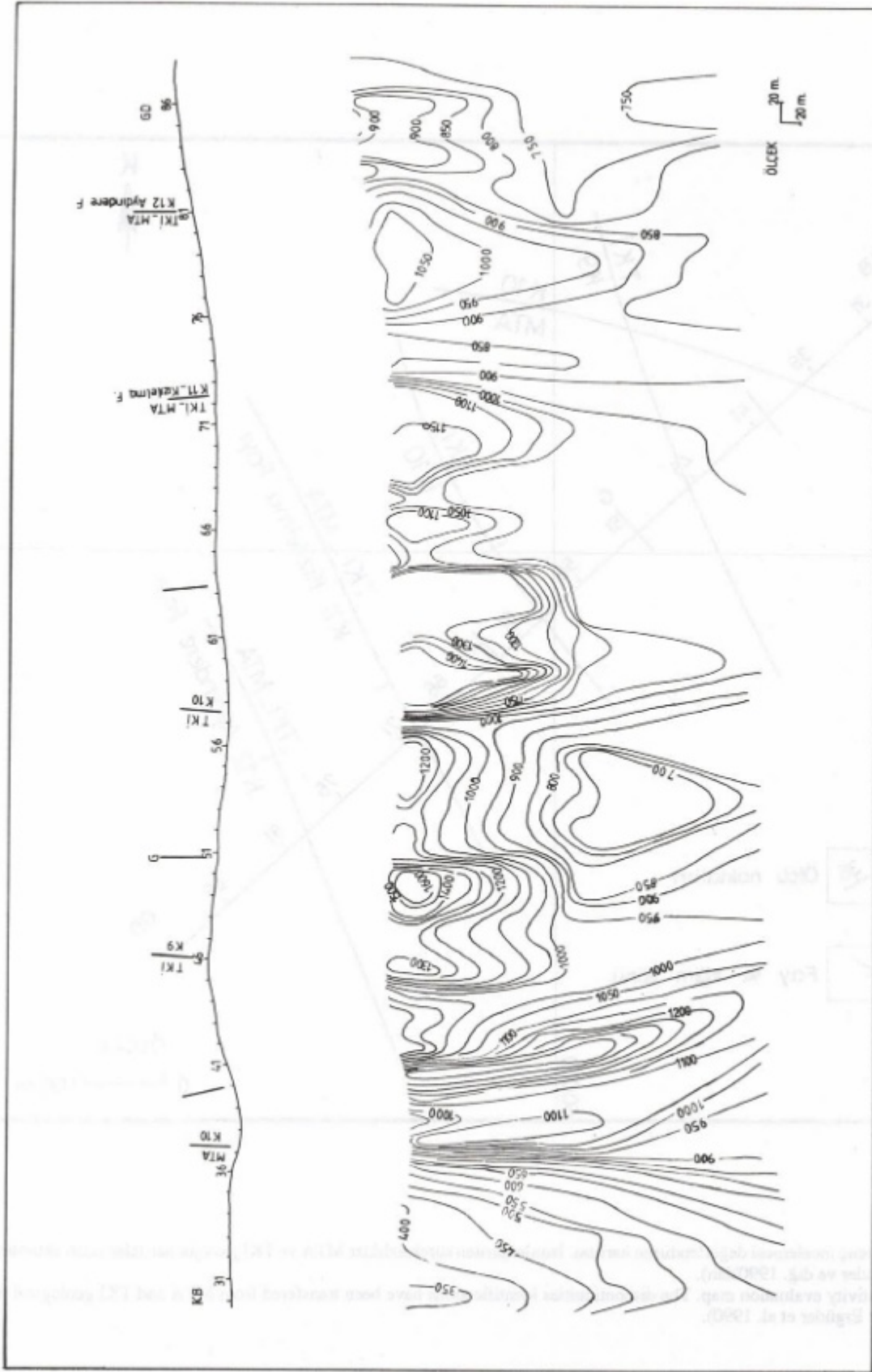
Görünür türev eğrilerinin yorumundan saptanan yanal
süreksizlik, çizilen görünür türev kesiti üzerine aktarılmıştır
(Şekil 4). Yanal süreksizliklerin, görünür türev eğrilerinin sık-
laşarak fay düzlemi eğimine uygun biçimde süreklilik göster-
diği yerlere, sıfır kapantısı üzerine ve iki sıfır eğrisinin arasına
denk geldiği görülmektedir. Bu saptamalar, görünür türev ke-
sitinden yanal süreksizliklerin sadece yerlerinin bulunmasına
yol gösterecektir. Derinlik kontrolü olmadığı için, çizilen ke-
site dayanarak uçlaşma odak derinliği kestirimi yapılamaz.
Uçlaşma parametrelerinin belirlenmesi çalışmada sunulduğu
gibi çeşitli gerilim kol boyuna göre çizilen yatay görünür türev
(-elektrik alan) eğrilerinin biçimlerine bakarak yapılmalıdır.

SONUÇLAR

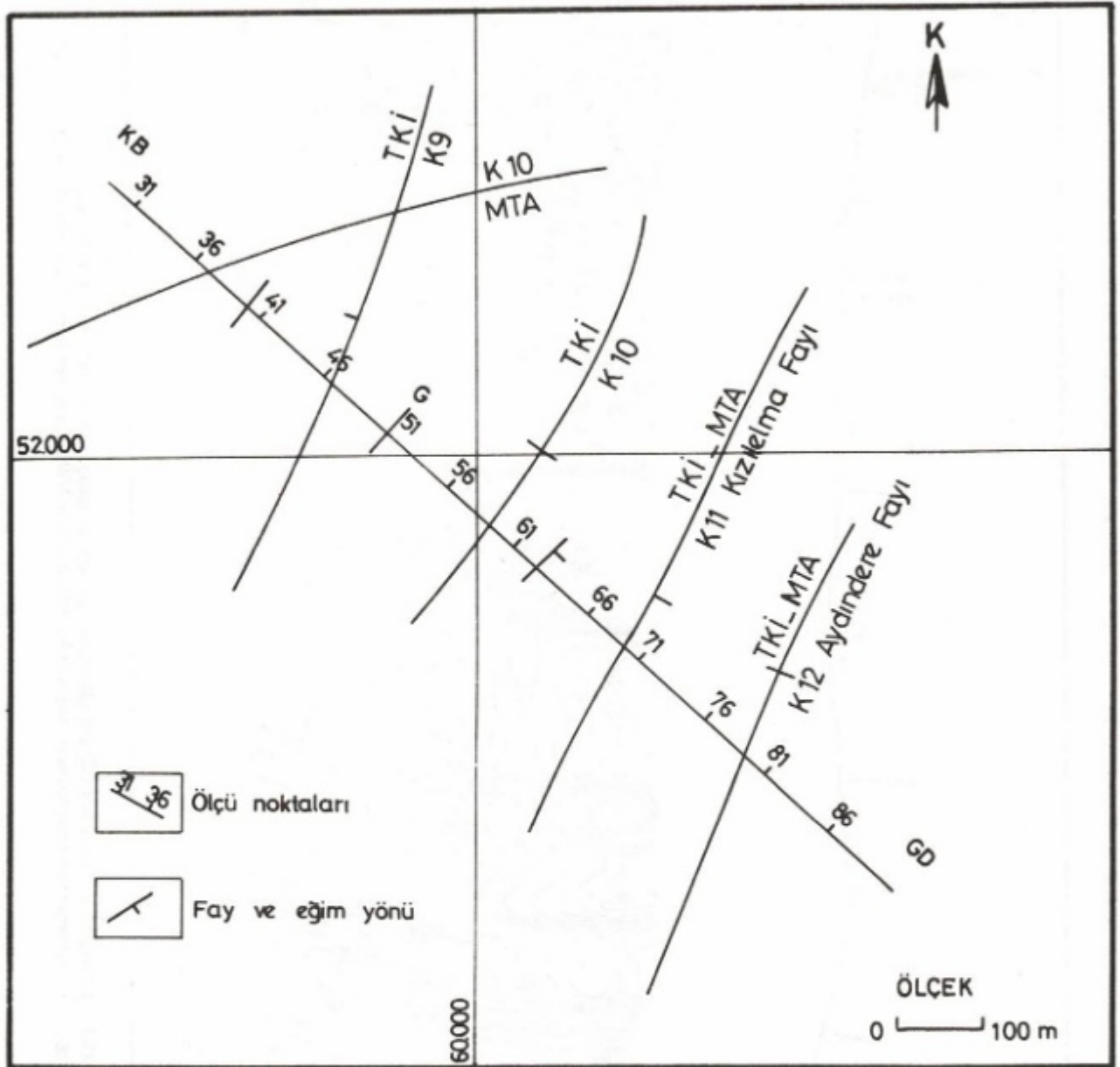
Kırumsa-Ayiçi (Kilimli) yöresinde alınan KB-GD özdi-
renç doğrultusu üzerinde ayrıca doğal gerilim açma ölçümü
yapılarak çeşitli gerilim kol boyları için yatay görünür türev
eğrileri elde edilmiştir. Bunların değerlendirmesinden, jeolojik
haritalardan aktarılan ve öz direnç ölçümleri değerlendirme ha-
ritasında gösterilen yanal süreksizliklerin hepsi doğrulanmıştır.
Jeolojik haritalarda görülmeyen gömülü süreksizliğin varlığı
ortaya çıkarılmıştır. Yöntemin yanal süreksizlik yerlerini bul-
ma başarısı gözönüne alındığında, hem jeolojik haritaların ay-
rıntılılandırılmasına katkı sağlayacağı, hem de öz direnç doğru-
lularının sayısını azaltacağından zaman ve maliyet açısından,
ekonomi sağlayacağı açıktır.

1000 m lik ölçü doğrultusu boyuna göre kısa gerilim kolu
 $L = 20$ m alındığında, elde edilen görünür türev eğrisi yerel
belirti özelliği göstermiştir. Gerilim kol boyu $2L$ (40 m) alın-
dığında yerel uçlaşma etkileri kısmen gözlenebilmiştir. $3L$ (60
m) ve $4L$ (80 m) durumunda yerel uçlaşma etkileri gittikçe
kaybolmuş ve $5L$ (100 m) drumunda görünür türev eğrisi böl-
gesel belirti özelliği kazanmıştır. Buna göre, bölgesel uçlaşma
kaynağının belirlenebilmesi için seçilecek gerilim kol boyunun
ölçü doğrultusu boyunun en az onda biri kadar alınması öneri-
lebilir. Örnekleme aralığının (l) kısa gerilim kol boyuna (L) eşit
alınması türev değerlerinin hesaplanmasını kolaylaştıracaktır.

Çalışmada, ayrıca, çizilecek görünür türev kesitinden
yanal süreksizliklerin yerlerinin nasıl bulunabileceğine bir
açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

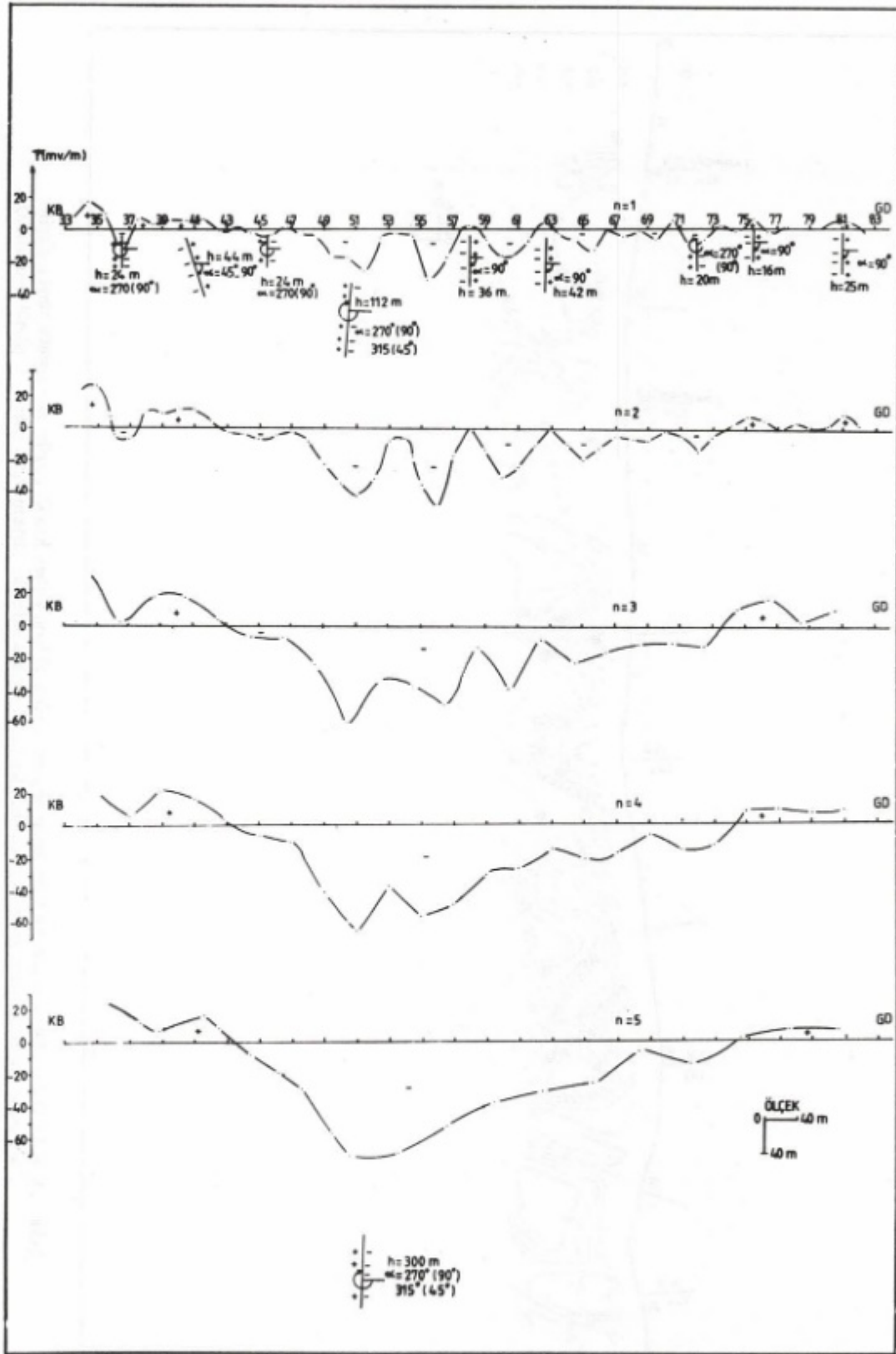


Şekil 1. Kilimli Yöresinin KB-GD doğrultusundaki görünür öz direnç kesiti (Ergüder ve diğ. 1990'dan).
Fig. 1. Apparent resistivity pseudo-section of Kilimli District in NW-SE direction (after Ergüder et al. 1990).



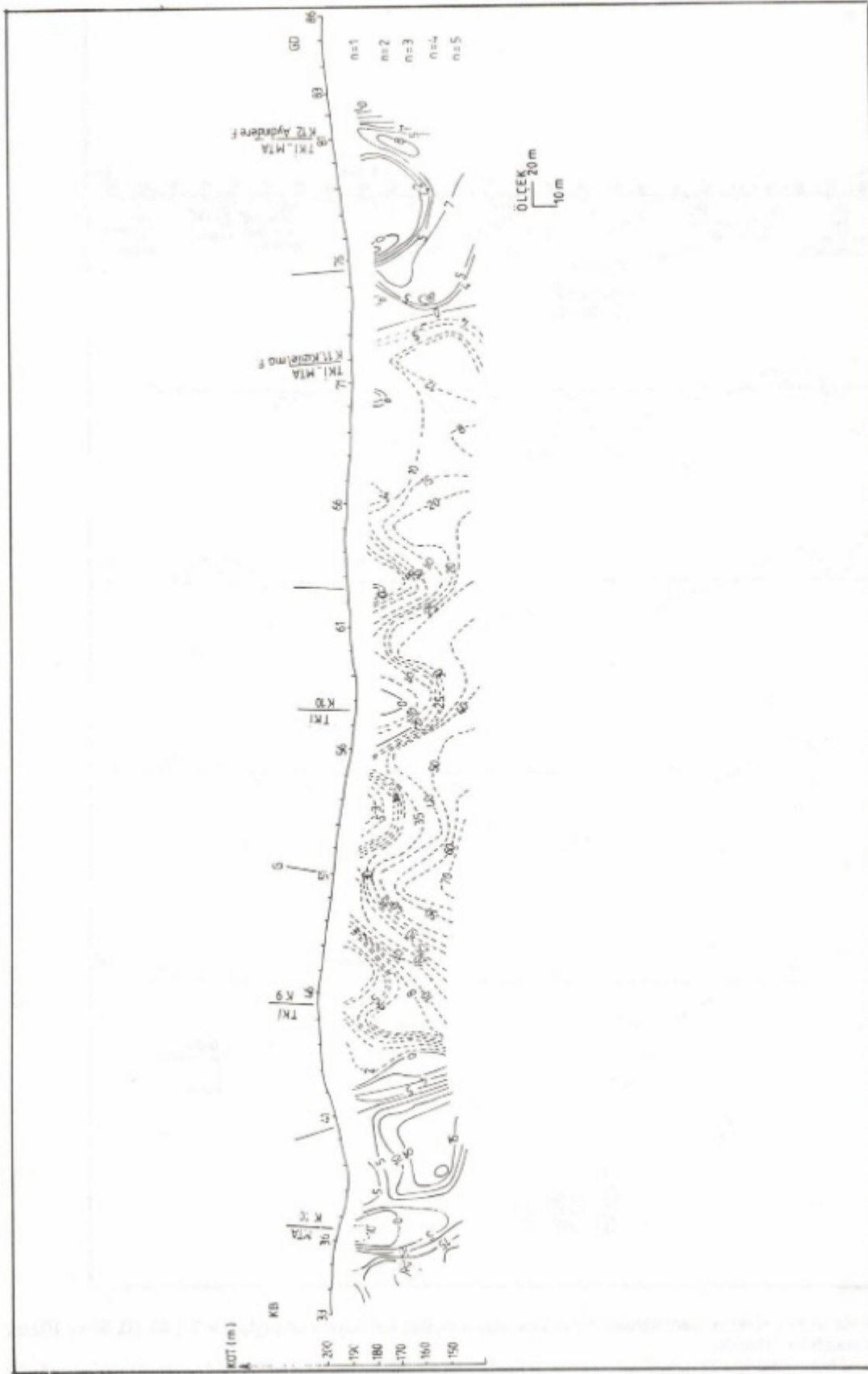
Şekil 2. Öz direnç incelemesi değerlendirme haritası. İsimlendirilen süreksizlikler MTA ve TKI jeolojik haritalarından aktarılmıştır (Ergüder ve diğ. 1990'dan).

Fig. 2. Resistivity evaluation map. The discontinuities identifications have been transferred from MTA and TKI geological maps (after Ergüder et al. 1990).



Şekil 3. Yatay görünür türev (-elektrik alan) eğrileri. Gözönüne alınan gerilim kol boyları sırasıyla $L = 20, 40, 60, 80$ ve 100 m, örnekleme aralığı $l = 20$ m dir.

Fig. 3. The curves of horizontal apparent gradient (-electrical field). The measuring dipole lengths are $L = 20, 40, 60, 80$ and 100 m, respectively. Sampling interval is $l = 20$ m.



Şekil 4. KB-GD doğrultusunun görünür türev kesiti ve yanal süreksizliklerin yerleri. Kesikli çizgiler eksi işaretli, sürekli çizgiler artı işaretli türev eğrilerini göstermektedir. İsimlendirilen süreksizlikler fay düzlemi yüzey izlerini, G gömülü süreksizliği göstermektedir.

Fig. 4. Apparent gradient section of the NW - SE profile and locations of the lateral discontinuities. The dashed and solid lines show the curves of apparent gradient which are marked negative and positive, respectively. The named discontinuities show the surface traces of the fault plane and G demonstrates the buried discontinuity.

KATKI BELİRTME

Çalışmaya veri sağlayan başta Fethi Ergüder ve Lütfi Karaoglu olmak üzere TTK Aramalar Dairesi Başkanlığı Jeofizik ekibine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Ercan, A. 1982a, Kızıldere sıcak alanında doğal uçlaşma ölçümleri, Jeofizik 9, 105 - 108.
- Ercan, A. 1982b, Doğal Uçlaşma Yöntemi, Ders notu, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- Ergüder, F., Karaoglu, L. ve Çalışkan S. 1990, TTK Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi Kilimli - Esenli Arası Sahanın Detaylandırma Jeofizik (özdirenç) Etüdü, TTK Aramalar Dairesi Başkanlığı, Rapor No. 62, Zonguldak.
- Kaynar, A., Ergüder, F. ve Koçak, C. 1978, Zonguldak İli Kilimli - Ayıçi - kırınma ve Deliklimeşe Tepesi Arası Alanın Jeolojik - Jeofizik (özdirenç) Etüdü, TTK Aramalar Dairesi Başkanlığı, Rapor No. 3, Zonguldak.

ODA ÜYELERİ

SICIL NUMARASI	ADI SOYADI	SICIL NUMARASI	ADI SOYADI
958	İbrahim ÇENGEL	979	Naci YILMAZTÜRK
959	Cemil YÜCEMEN	980	M. Ferruh AKALIN
960	Ahmet ÜÇER	981	Evrin KAYA
961	Sevindik KİPER	982	Bülent KÜNTBETLİOĞLU
962	Ömer DUMAN	983	Hale DEMİR
963	Faik Alkan TETİK	984	Demet HAZARHÜN
964	Semra BİNGÖL	985	Necmettin MÜLAYİM
965	İfakat ŞAHBAZOĞLU	986	Şenol DULKADİROĞLU
966	Hakan ŞAHİN	987	Hayri ÜNSAL
967	Metin DAYLAK	988	Cem YILMAZEREN
968	Ferit EKŞİ	989	Mehmet Cem EMİR
969	Levent KOÇAK	990	Ali Rıza EZGÜ
970	Serap GÜZEL	991	Orhan ÖZTÜRK
971	Ahmet LEZGİ	992	Mehmet UZUN
972	Hülya AKTAŞ	993	Yusuf BAYRAK
973	İbrahim KOCABAŞ	994	Demir AKIN
974	Fehmi AKSARAY	995	Engin KAYA
975	Ali AYDIN	996	Tülay YILMAZ
976	Gürsel ERSOY	997	İbrahim BURKAY
977	Mübeccel AYHAN	998	Mustafa ALBAYRAK
978	Selma COŞKUN	999	Mutay GÜNGÖR

The proven technology to help you reduce
risk and increase your success rate - worldwide



Allgemeines Bohrunternehmen Wathlingen GmbH

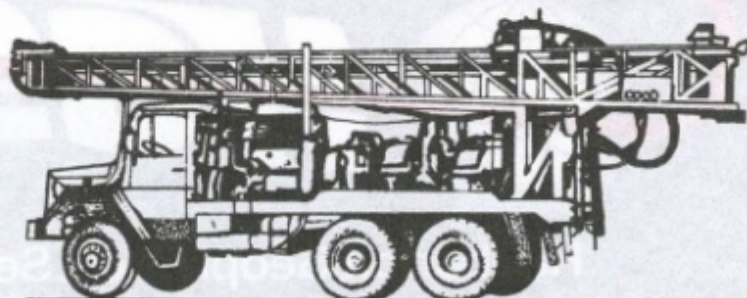
3101 WATHLINGEN POSTFACH 31, TELEFON: 051 44 - 3343

TELEX: 9 25 009 CEBRB - D. W. GERMANY

DRILLINGS FOR PROSPECTING - WATER - DEPTH GAUGE - CORE BORING -

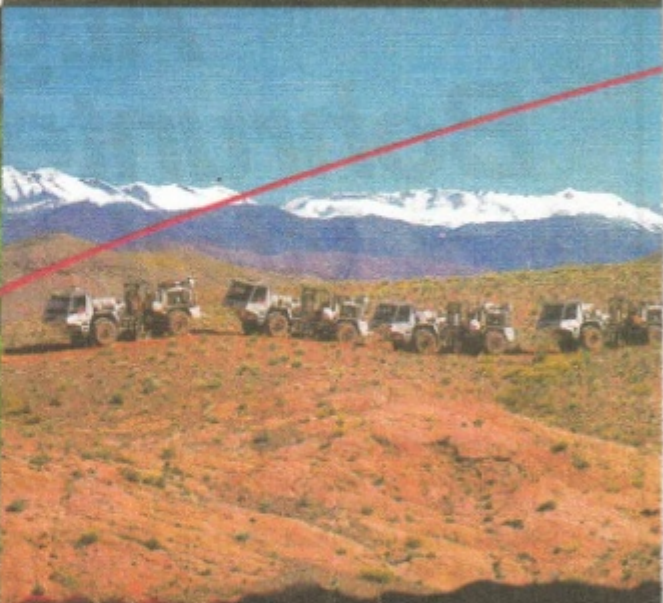
BUILDING GROUND WATER DESCENDING - GEOPHYSICS AND SEISMIC

ÇANKAYA CAD. 23/2 ANKARA TEL: 125 91 98 - 136 34 63



ajans iletim 300503

**The proven technology to help you reduce
risk and increase your success rate – worldwide.**



HGS

Halliburton Geophysical Services

6909 Southwest Freeway Houston, TX 77074 Ph: (713) 774-7561 FAX: (713) 778-3487/Telex: 76-2781

A Halliburton Company