

JEOFİZİK

CİLT 13, SAYI 1-2 / MART-EYLÜL 1999 VOL. 13, NO. 1-2 MARCH-SEPTEMBER 1999

Üç Boyutlu Hilbert Dönüşümünün
Gravitede Model Verilere
Uygulanması
Nihal BECERİK ve Rahmi PINAR

Hamitabat Sahası Doğal Gaz Alanının
Kuyulardan Kazanılan Termal Parametreler ile
Yeniden Değerlendirilmesi
A. Kenan TEZCAN

Eğmir Helenistik (Leidy) Dönemi Yatırında (Tümülüs)
Arkeojeofizik Araştırmalar,
Denizli-Türkiye
Ahmet ERCAN

Germencik Jeotermal Alanının
Sıcak Yerleri
Ahmet ERCAN ve Hüdevendigar ŞAHİN

Application of Three Dimensional
Hilbert Transformation
To Gravity Model Data
Nihal BECERİK and Rahmi PINAR

The Reappraisal of Hamitabat Gas Field Through
The Thermal Parameters Gained
from The Wells
A. Kenan TEZCAN

Archaeogeophysical Investigations
At Egmir Lydian Tomb,
Denizli-Turkey
Ahmet ERCAN

Hot Parts
of Germencik Geothermal Field
Ahmet ERCAN and Hüdevendigar ŞAHİN



TMMOB JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI
THE CHAMBER OF GEOPHYSICAL ENGINEERS OF TÜRKİYE

IYI
bir
internet
servis sağlayıcı
değiliz!

EN
İYİSİYİZ

Tecrübe
Güven ve
Hızla
tanışmak için
bizi
ARAYINIZ !



ODTÜ Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı 06531 ANKARA
Tel: 0 312 2101048 Fax: 0 312 2101049
<http://www.tr-net.net.tr>
e-mail : sales@tr-net.net.tr

TR-net, ODTÜ Geliştirme Vakfı kuruluşu olan "Orta Doğu Yazılım Hizmetleri A.Ş." nin Internet servisi



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 DEMİNAĞ

YÖNETİM KURULU

Executive Committee

Osman DEMİRAĞ
Mehmet ALTINTAŞ
Musa KAYNAK
M. Tankut KILINÇ
Kadircan AKTAŞ
Ahmet GÜLEK
Önder TEKELİ

EDİTÖRLER

Editors

İbrahim AYDIN
Günruh BAĞCI
M. Emin CANDANSAYAR

TMMOB JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI

Mithatpaşa Cad. 45/15 P.K. 255
Kızılay - ANKARA - TÜRKİYE
Tel: (312) 435 13 79 Pbx
Fax: (312) 432 10 85
e-mail: jfino@jeofizik.org.tr

DİZGİ VE BASKI

KOZAN OFSET

Matbaacılık San. ve Tic. Ltd. Şti.
Tel: (312) 384 20 04
Fax: (312) 341 28 60

YILDA İKİ KEZ MART VE EYLÜL AYLARINDA YAYIMLANIR

Published Twice a Year
in March and September

ISSN 0259-1472

CİLT 13, SAYI 1-2 / MART - EYLÜL 1999
VOL. 13, NO. 1-2 MARCH - SEPTEMBER 1999

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ÜÇ BOYUTLU HİLBERT DÖNÜŞÜMÜNÜN GRAVİTEDE MODEL VERİLERE UYGULANMASI	3
Application of Three Dimensional Hilbert Transformation To Gravity Model Data Nihal BECERİK ve Rahmi PINAR	
HAMİTABAT SAHASI DOĞAL GAZ ALANININ KUYULARDAN KAZANILAN TERMAL PARAMETRELER İLE YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	19
The Reappraisal of Hamitabat Gas Field Through The Thermal Parameters Gained from The Wells A. Kenan TEZCAN	
EĞMİR HELENİSTİK (LİDYA) DÖNEMİ YATIRINDA (TÜMÜLÜS) ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMALAR DENİZLİ- TÜRKİYE	31
Archaeogeophysical Investigations At Egnair Lydian Tomb, Denizli-Turkey Ahmet ERCAN	
GERMENCİK JEOTERMAL ALANININ SICAK YERLERİ	51
Hot Parts Of GERMENCİK Geothermal Field Ahmet ERCAN ve Hüdevendigar ŞAHİN	
ODA ÜYELERİ	71

ÜÇ BOYUTLU HILBERT DÖNÜŞÜMÜNÜN GRAVİTEDE MODEL VERİLERE UYGULANMASI

Application of Three Dimensional Hilbert Transformation To Gravity Model Data

Nihal BECERİK* ve Rahmi PINAR*

ÖZET

Yapıların yarattığı potansiyel alanların, x, y, z yönlerindeki türevlerine ulaşmak ve buradan hareketle yapı parametreleri hakkında bilgi edinmek amacıyla 3-boyutlu (3-B) Hilbert Dönüşümü kullanılmaktadır. Günümüze değin bu yöntem, manyetik prospeksiyonda, model verilere uygulanmıştır. Bu çalışmada 3-B Hilbert dönüşümünün gravitede uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak gravit nokta kaynak potansiyelinin (U) analitik olarak birinci (g_x, g_y, g_z) ve ikinci ($g_{xx}, g_{xy}, g_{yy}, g_{zx}, g_{zy}, g_{zz}$) bileşenleri elde edilmiştir. Bu bileşenler, gravitede ölçülebilen tek bileşen olan g_z çekim ifadesine 3-B Hilbert Dönüşümü uygulanarak da hesaplanmıştır. Her iki şekilde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, yöntemin gravite verilerine sağlıklı bir şekilde uygulanabileceği anlaşılmıştır. Daha sonra, eğimli prizmatik yapılar model verisine 3-B Hilbert dönüşümü uygulanmış ve yapı sınırları sağlıklı olarak saptanmıştır. Sonuçta, Laplace diferansiyel denklemi kullanılarak hesaplanan g_{zz} bileşenine (ikinci düşey türev), 3-B Hilbert dönüşümü kullanılarak da ulaşılmıştır. Her iki şekilde hesaplanan g_{zz} bileşenleri karşılaştırıldığında uyum içinde oldukları görülmüştür. Böylece, günümüze değin Laplace diferansiyel denklemi kullanılarak elde edilen g_{zz} bileşenine, 3-B Hilbert dönüşümüyle de ulaşılabileceği ispatlanmıştır.

ABSTRACT

Three Dimensional (3-D) Hilbert Transformation has been applied to reach the derivatives of potential in x, y, z directions, and it is possible to estimate the structural parameters of a body. Up to now, this method has successfully applied to synthetic magnetic data. Applicability of 3-D Hilbert Transformation to gravity problems was explored in this study. To this end, first (g_x, g_y, g_z) and second ($g_{xx}, g_{xy}, g_{yy}, g_{zx}, g_{zy}, g_{zz}$) derivatives for point source model in gravity were obtained analytically. The same derivatives were also calculated by applying the method of Hilbert Transformation to the gravity force g_z . Then the results obtained from this two approaches were compared. This comparison has shown that 3-D Hilbert Transformation can be successfully applied to gravity problems. 3-D Hilbert Transformation was also applied to the synthetic data of an inclined prismatic structures and the structure boundaries were determined successfully. Finally, g_{zz} (second vertical derivative) components which were calculated through the use of the Laplace differential equation, were also reached with 3-D Hilbert Transformation. As g_{zz} components, obtained by these two different methods, were compared, they were found to be in accord. Therefore, g_{zz} values can also be derived through the 3-D Hilbert Transformation besides the procedures of the Laplace differential equation which has been used up to now.

* DEÜ Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İZMİR.

GİRİŞ

Hilbert dönüşümü elektrik mühendisliği ve sinyal analizinde uzun zamandır uygulanmasına rağmen (Bracewell 1965), jeofizik çalışmalarda ilk olarak 1970'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Hilbert dönüşümü yardımıyla potansiyel alanların ölçülemeyen bileşenleri hesaplanabilmekte ve elde edilen bu bileşenlerden de anomaliye neden olan yapının fiziksel parametreleri saptanabilmektedir.

2-boyutlu (2-B) Hilbert dönüşümü ilk olarak, manyetik verilerde yapı parametrelerinin tayini için kullanılmıştır (Nabighian 1972, Green ve Stanley 1975, Stanley ve Green 1976, Rao ve diğ. 1981, Mohan ve diğ. 1982, Rao ve diğ. 1983).

Sismik çalışmalarda, sismik izlerin Hilbert dönüşümü alınarak, sanal bileşene ulaşılır ve hesaplanan bu sanal bileşen ile sismik iz birlikte kullanılarak, karmaşık iz oluşturulur. Karmaşık izden, yansıma kuvveti ve anlık fazlar zaman ortamında saptanarak, jeolojik yapıya ulaşmaya çalışılır (Taner ve diğ. 1979).

Pınar (1985), Orta Karadeniz bölgesi gravite verilerinin yorumu için 2-B Hilbert dönüşümünü kullanmıştır.

Jeofizikçiler, uzun yıllar boyunca gravite, manyetik ve SP yönteminde, 2-B Hilbert dönüşümünü kullanarak, yapı parametrelerini bulmaya çalışmışlardır. Ancak bu teknik uygulamada, incelenen yapının iki boyutlu potansiyel dağılımı sunması ve değerlendirmede kullanılacak profilin, yapı uzanımına dik doğrultuda alınmış olması koşulu ile sınırlıdır (Nelson 1986).

3-B Hilbert dönüşümü kullanılarak düşey ve yatay bileşenler arasındaki geçiş bağıntıları ilk olarak Nabighian (1984) tarafından verilmiştir. Nabighian (1984), bileşenler arasındaki geçiş bağıntılarını frekans ortamında tanımlamış ve manyetikte gömülü prizmatik bir model veriye 3-B Hilbert dönüşümünü uygulamıştır. Nelson (1986), 3-B Hilbert dönüşüm bağıntılarını uzay ortamında tanımlamış ve dönüşümü, manyetikte küp model verisine uygulamıştır.

Bu çalışmada, manyetik model verilere uygulanan 3-B Hilbert dönüşümünün, gravitede kuramsal verilere uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla gravitede nokta kaynak potansiyel verisinin g_x çekim ifadesine,

3-B Hilbert dönüşümü uygulanarak ölçülemeyen birinci (g_x, g_y) ve ikinci ($g_{xx}, g_{xy}, g_{yy}, g_{zx}, g_{zy}, g_{zz}$) bileşenler elde edilmiştir. Aynı zamanda, sözkonusu bileşenler, U nokta kaynak potansiyelinin x, y ve z yönünde analitik türevleri alınarak da hesaplanmıştır. Her iki şekilde elde edilen bileşenler karşılaştırıldığında, iyi bir uyumun varlığı gözlenmiş ve 3-B Hilbert dönüşümünün gravitede başarıyla uygulanabileceği gösterilmiştir. Böylece, gravitede ölçülebilen tek bileşen olman g_x çekim ifadesini kullanarak, ölçülemeyen diğer bileşenlere ulaşmak mümkün olmaktadır.

Bu ispattan sonra, yöntemin anomaliye neden olan yapının sınırlarının tespit edilebilmesindeki uygulanabilirliğini araştırmak amacıyla eğimli prizmatik yapılar modeline 3-B Hilbert dönüşümü uygulanmıştır. Sonuç olarak, yöntemin X-Y düzlemindeki yapı sınırlarının belirlenmesinde oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

BOYUTLU HILBERT DÖNÜŞÜMÜNÜN TEORİSİ

3-B Hilbert Dönüşümüne Ait Temel Bağıntılar

Konvolüsyon teoremini kullanarak bir fonksiyonun Fourier ve Hilbert dönüşümleri arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde yazılabilir (Nabighian 1984):

$$F[g_x(x)] = -i \operatorname{sgn}(\omega) F[g_x(x)] = H.F[g_x(x)] \quad (1)$$

Burada;

$$\operatorname{sgn}(\omega) = \frac{\omega}{|\omega|} = \begin{cases} +1 & \text{ise } \omega > 0 \\ 0 & \text{ise } \omega = 0 \\ -1 & \text{ise } \omega < 0 \end{cases}$$

ve

$$H = -i \operatorname{sgn}(\omega)$$

dır. Bu bağıntılarda; H frekans ortamı 1-B Hilbert dönüşüm işleğini, x uzay ortamı bağımsız değişkenini, ω frekans ortamı bağımsız değişkenini ve F ise Fourier dönüşümünü ifade etmektedir.

Potansiyel fonksiyonu U ve onun yatay ve düşey türevlerinin Fourier dönüşümleri arasında aşağıdaki ba-

ğintılar bulunmaktadır.

(a) İki boyutlu ortam için,

$$\begin{aligned} F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] &= i\omega F(U), \\ F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right] &= |\omega| F(U). \end{aligned} \quad (2)$$

(b) Üç boyutlu ortam için;

$$\begin{aligned} F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] &= iu F(U), \\ F\left[\frac{\partial U}{\partial y}\right] &= iv F(U), \\ F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right] &= \sqrt{u^2 + v^2} F(U). \end{aligned} \quad (3)$$

Frekans ortamı ifadeleri

Hilbert dönüşüm çifti oluşturan, bir potansiyel alan verisinin yatay ve dikey bileşenleri arasındaki ilişki, (1) ve (2) eşitlikleri kullanılarak;

$$\frac{\partial U}{\partial z} = H\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] \quad (4)$$

$$F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right] = -i \operatorname{sgn}(\omega) F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] \quad (5)$$

ve

$$F\left[\frac{\partial U}{\partial x} + i \frac{\partial U}{\partial z}\right] = [1 + \operatorname{sgn}(\omega)] F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] \quad (6)$$

Üç-boyutlu Hilbert dönüşümüne ulaşmak için pek çok yol vardır. Bu çalışmada, Nabighian (1984) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Nabighian (1984).

$$\sqrt{u^2 + v^2} = iu \frac{-iu}{\sqrt{u^2 + v^2}} + iv \frac{-iv}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (7)$$

eşitliğini kullanarak işe başlamıştır. Burada; u ve v iki boyutlu frekans ortamı bağımsız değişkenleridir. (7) eşitliği $F(U)$ ile çarpılarak ve (3) eşitliği kullanılarak,

$$F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right] = \frac{-iu}{\sqrt{u^2 + v^2}} F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] + \frac{-iv}{\sqrt{u^2 + v^2}} F\left[\frac{\partial U}{\partial y}\right] \quad (8a)$$

bulunur.

$v=0$ (iki-boyutlu ortam) için Fourier ve Hilbert dönüşümleri arasındaki ilişki;

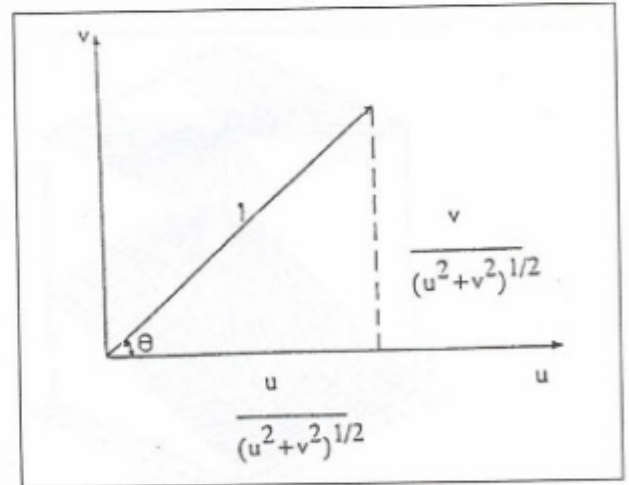
$$F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right] = -i \frac{H}{|H|} \left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] = i \operatorname{sgn}(u) F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] \quad (8b)$$

dır. Yukarıdaki (4), (5) ve (6) eşitlikleri bir potansiyel fonksiyonunun yatay ve dikey türevleri arasındaki iki-boyutlu Hilbert dönüşümünü ifade etmektedir. Nabighian (1984), bileşenleri $u/(u^2 + v^2)^{1/2}$ ve $v/(u^2 + v^2)^{1/2}$ olan, (u, v) uzayında birim vektör olarak verilen genleştirilmiş signum işlecini

$$\operatorname{sgn}(u, v) = \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} e_x + \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} e_y$$

şeklinde tanımlamıştır (Şekil 1). Burada, e_x ve e_y , x ve y doğrultusundaki birim vektörlerdir. Eşitlik 1'de verilen iki boyutlu dönüşüm işleci, üç-boyutlu olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$H = -i \operatorname{sgn}(u, v) = H_1 e_x + H_2 e_y$$



Şekil 1. (u, v) uzayında birim vektör olarak tanımlı genleştirilmiş signum fonksiyonu (Nabighian, 1984).

Figure 1. A generalized signum function defined as a unit vector in the (u, v) plane (Nabighian, 1984).

Burada;

$$H_1 = -\frac{iu}{\sqrt{u^2 + v^2}}, \quad (9a)$$

$$H_2 = -\frac{iv}{\sqrt{u^2 + v^2}}$$

dır. Yatay türev işleğini;

$$\nabla_h = \frac{\partial}{\partial x} e_x + \frac{\partial}{\partial y} e_y, \quad (9b)$$

olarak ve (8a) eşitliğini kullanarak, bu iki vektörün çarpımı:

$$F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right] = H.F[\nabla_h U] \quad (10a)$$

olur. Daha açık bir şekilde yazılırsa,

$$F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right] = H_1.F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] + H_2.F\left[\frac{\partial U}{\partial y}\right] \quad (10b)$$

olur. Bu eşitlik, yatay türevlerden dikey birinci türevin hesaplanması için yeni bir yöntemi göstermektedir.

H_1 ve H_2 işlemleri Şekil 2'de verilmektedir. (3) ve (10a,b) bağıntıları kullanılarak,

$$F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] = -H_1.F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right]$$

$$F\left[\frac{\partial U}{\partial y}\right] = -H_2.F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right] \quad (11a)$$

ya da,

$$F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] = -H_1.F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right] \quad (11b)$$

$$H_1.F\left[\frac{\partial U}{\partial y}\right] = H_2.F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] \quad (12)$$

yazılabilir.

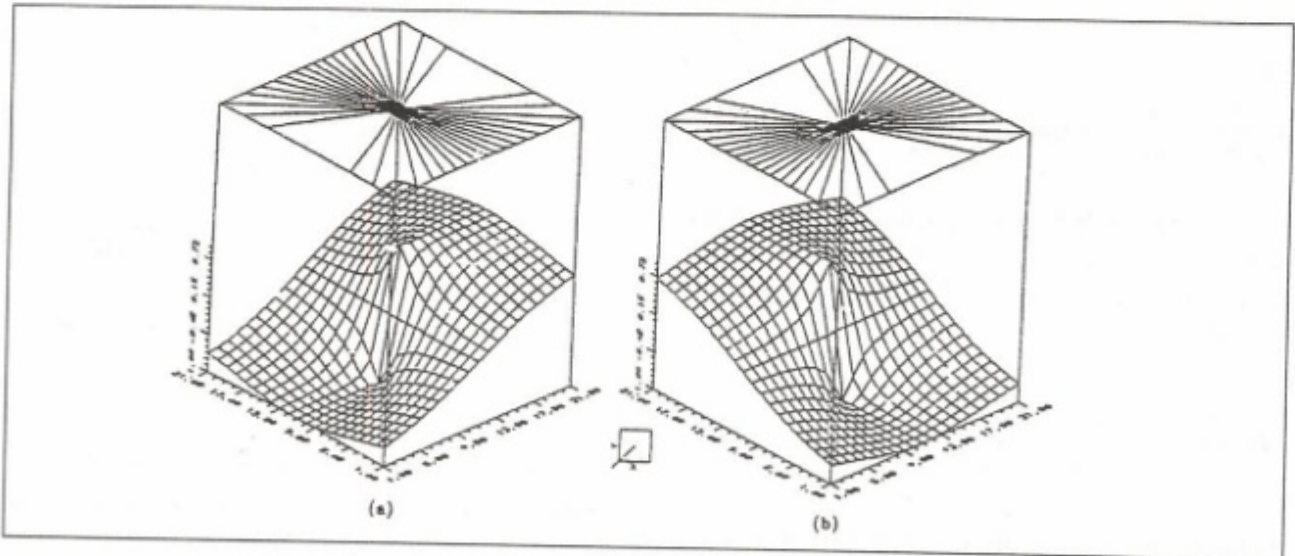
H , H_1 ve H_2 işlemleri aşağıdaki bağıntıları sağlar.

İki-boyutlu ortam ($v=0$, $H_1=H$, $H_2=0$) için;

(10a, b) ve (11a) eşitlikleri kullanılarak,

$$F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right] = H.F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right],$$

$$H.F\left[\frac{\partial U}{\partial z}\right] = H.H.F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right] = -F\left[\frac{\partial U}{\partial x}\right]$$



Şekil 2. Frekans ortamında 3-B Hilbert dönüşüm işlemleri (Becerik, 1995). a) H_1 b) H_2 (İşleç boyu: 21 x 21)

Figure 2. 3-D Hilbert transformation operators in frequency domain (Becerik, 1995). a) H_1 b) H_2 (Operator length: 21x21)

eşitlikleri bulunur ve bunlardan yararlanılarak,

$$H_1 H_2 = -1 \quad (13a)$$

olduğu görülür.

Üç-boyutlu ortam için;

(10a,b), (11a,b) ve (12) eşitlikleri kullanılarak,

$$\begin{aligned} F \left[\frac{\partial U}{\partial z} \right] &= H_1 \cdot F \left[\frac{\partial U}{\partial x} \right] + H_2 \cdot F \left[\frac{\partial U}{\partial y} \right] \\ H_1 \cdot F \left[\frac{\partial U}{\partial z} \right] &= H_1 \cdot H_1 \cdot F \left[\frac{\partial U}{\partial x} \right] + H_2 \cdot H_1 \cdot F \left[\frac{\partial U}{\partial y} \right] \\ &= (H_1 \cdot H_1 + H_2 \cdot H_2) \cdot F \left[\frac{\partial U}{\partial x} \right] = -F \left[\frac{\partial U}{\partial x} \right] \end{aligned}$$

eşitlikleri bulunur ve bunlardan yararlanarak,

$$H_1 \cdot H_1 + H_2 \cdot H_2 = -1 \quad (13b)$$

bulunur. H işlecini gösterdiği gibi, (13b) eşitliği (13a) eşitliğinin üç-boyutlu ifadesidir. Sonuç olarak (6) eşitliği analitik sinyal tanımını iki boyuttan üç boyuta,

$$\begin{aligned} F \left[\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} + i \frac{\partial U}{\partial z} \right] &= \left(1 + \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \right) \cdot F \left[\frac{\partial U}{\partial x} \right] + \left(1 + \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \right) \cdot F \left[\frac{\partial U}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (14)$$

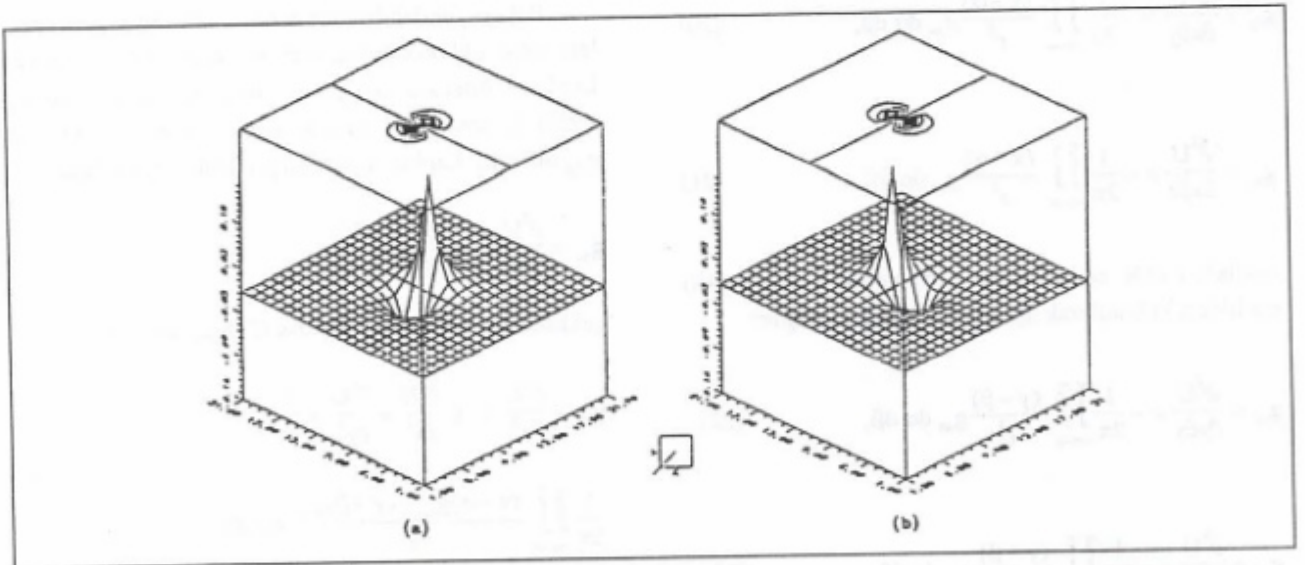
şeklinde genelleştirmektedir. Bu eşitlik, üç boyutlu sig-num işlevini oldukça basit ve açık bir şekilde ifade etmektedir.

Uzay ortamı ifadeleri

(10a,b) ve (11a,b) eşitlikleri frekans ortamında çarpma işlemi olduklarından, bunların uzay ortamı ifadeleri evrişim işlemine karşılık gelir. Nabighian (1984) bu özellikten yararlanarak aşağıdaki uzay ortamı işlemlerine ulaşmıştır:

$$\begin{aligned} h_1 &= F^{-1} \left(\frac{-iu}{\sqrt{u^2 + v^2}} \right) = \frac{1}{2\pi} \frac{x}{(x^2 + y^2)^{3/2}}, \\ h_2 &= F^{-1} \left(\frac{-iv}{\sqrt{u^2 + v^2}} \right) = \frac{1}{2\pi} \frac{y}{(x^2 + y^2)^{3/2}}. \end{aligned} \quad (15)$$

h_1 ve h_2 işlemleri Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. Uzay ortamında 3-B Hilbert dönüşüm işlemleri (Becerik, 1995) a) h_1 b) h_2 (İşleç boyu: 21x21)
Figure 3. 3-D Hilbert transformation operators in frequency domain (Becerik, 1995). a) H_1 b) H_2 (Operator length: 21x21)

(10a,b) ve (11a,b) eşitliklerinin uzay ortamı ifadeleri, potansiyel alan verileri için, iki-boyutlu Hilbert dönüşümünün üç-boyutlu genelleştirilmiş şeklini gösterecektir. Burada, potansiyelin x , y ve z yönündeki türevleri olan;

$$g_x = \frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(x-\alpha)}{r^3} \frac{\partial U}{\partial z} d\alpha d\beta, \quad (16)$$

$$g_y = \frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(y-\beta)}{r^3} \frac{\partial U}{\partial z} d\alpha d\beta, \quad (17)$$

$$g_z = \frac{\partial U}{\partial z} = \frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(x-\alpha) \frac{\partial U}{\partial \alpha} + (y-\beta) \frac{\partial U}{\partial \beta}}{r^3} d\alpha d\beta \quad (18)$$

ifadelerine ulaşılır. Burada (α, β) , (x, y) düzlemindeki integral noktalarıdır.

Eşitlik (16)'nın x , y ve z 'e göre kısmi türevleri alınarak (Nelson, 1988):

$$g_{xx} = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = -\frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(x-\alpha)}{r^3} g_{xz} d\alpha d\beta, \quad (19)$$

$$g_{xy} = \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} = -\frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(x-\alpha)}{r^3} g_{yz} d\alpha d\beta, \quad (20)$$

$$g_{xz} = \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} = -\frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(x-\alpha)}{r^3} g_{zx} d\alpha d\beta, \quad (21)$$

eşitlikleri elde edilir. Eşitlik (16) yerine (17) ve (18) eşitlikleri kullanılarak aşağıdaki ifadelere ulaşılır:

$$g_{yx} = \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial x} = -\frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(y-\beta)}{r^3} g_{zx} d\alpha d\beta, \quad (22)$$

$$g_{yy} = \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = -\frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(y-\beta)}{r^3} g_{yz} d\alpha d\beta, \quad (23)$$

$$g_{yz} = \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} = -\frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(y-\beta)}{r^3} g_{zx} d\alpha d\beta, \quad (24)$$

$$g_{zx} = \frac{\partial^2 U}{\partial z \partial x} = \frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(x-\alpha)g_{yz} + (y-\beta)g_{zy}}{r^3} d\alpha d\beta, \quad (25)$$

$$g_{zy} = \frac{\partial^2 U}{\partial z \partial y} = \frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(x-\alpha)g_{yz} + (y-\beta)g_{zy}}{r^3} d\alpha d\beta, \quad (26)$$

$$g_{zz} = \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = \frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(x-\alpha)g_{zx} + (y-\beta)g_{yz}}{r^3} d\alpha d\beta. \quad (27)$$

Laplace Diferansiyel Denlemi ve 3-B Hilbert Dönüşümü ile İlişkisi

Eğer $U(x, y, z)$ en az iki kez diferansiyeli alınabilen skaler bir fonksiyon ise,

$$\nabla^2 U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \quad (28)$$

Laplace diferansiyel denklemini sağlar.

Potansiyel dağılımları her mertebeden kısmi türevlere sahip olduklarından, serbest uzayın her noktasında Laplace diferansiyel denklemini sağlarlar (Kellog 1929). U potansiyel fonksiyonunun kısmi türevi olan g_{zz} bileşeni, Laplace diferansiyel denklemini kullanılarak;

$$g_{zz} = \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right)$$

şeklinde tanımlanabilir. Eşitlik (27) kullanılarak;

$$g_{zz} = \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) =$$

$$\frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty-\infty} \frac{(x-\alpha)g_{zx} + (y-\beta)g_{yz}}{r^3} d\alpha d\beta. \quad (29)$$

elde edilir. Bu eşitlik Laplace diferansiyel denklemini ile 3-B Hilbert dönüşümü arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

3-B HILBERT DÖNÜŞÜMÜNÜN GRAVİTE MODELLERİNE UYGULANMASI

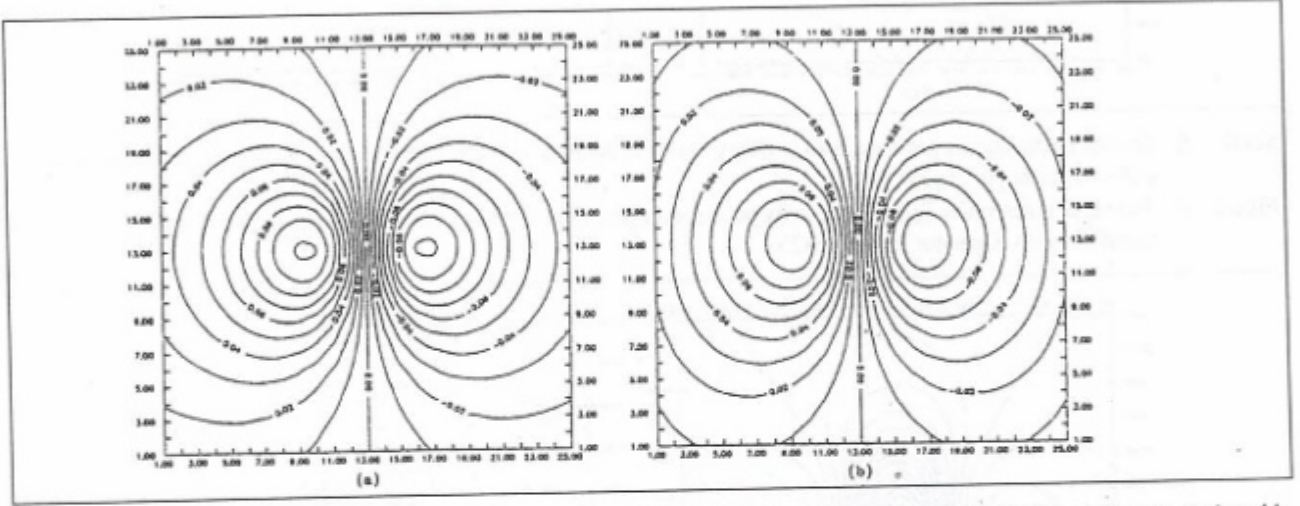
Gravite potansiyelinin düşey türevi olan g_z bileşenine, 3-B Hilbert dönüşümü uygulanmış ve düşey bileşenden hareketle, (16) ve (17) nolu bağıntılar kullanılarak, g_x ve g_y bileşenlerine ulaşılmıştır. İşlemin sağlama-sını yapmak amacıyla, g_x ve g_y bileşenlerinden hareketle, (18) eşitliği kullanılarak g_z bileşenine dönülebilir.

g_x ve g_y bileşenlerinin sayısal türevleri alınarak, g_{xx} , $g_{xy} = g_{yx}$, g_{yy} bileşenleri elde edilir. Elde edilen ikin-

ci bileşenlerden, (25), (26) ve (27) bağıntıları yardımıyla, sırasıyla g_{zx} , g_{zy} ve g_{zz} bileşenlerine ulaşılır. g_{zz} bileşenine, (29) bağıntısında verilen, Laplace diferansiyel denklemi kullanılarak da ulaşmak mümkündür.

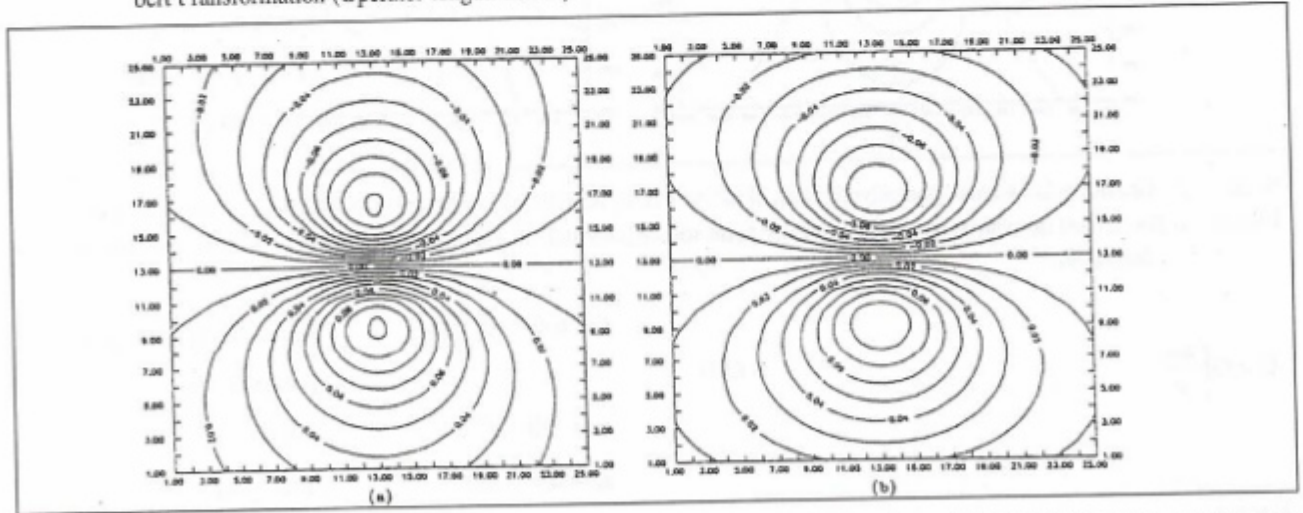
NOKTA KAYNAK POTANSİYELİ

Yöntemin gravitede uygulanabilirliğini ispatlamak amacıyla, ilk olarak nokta kaynak potansiyeli ve türevleri, Newton potansiyel bağıntısından analitik olarak hesaplanmıştır (Şekil 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a, 10a, 11a, 12a)



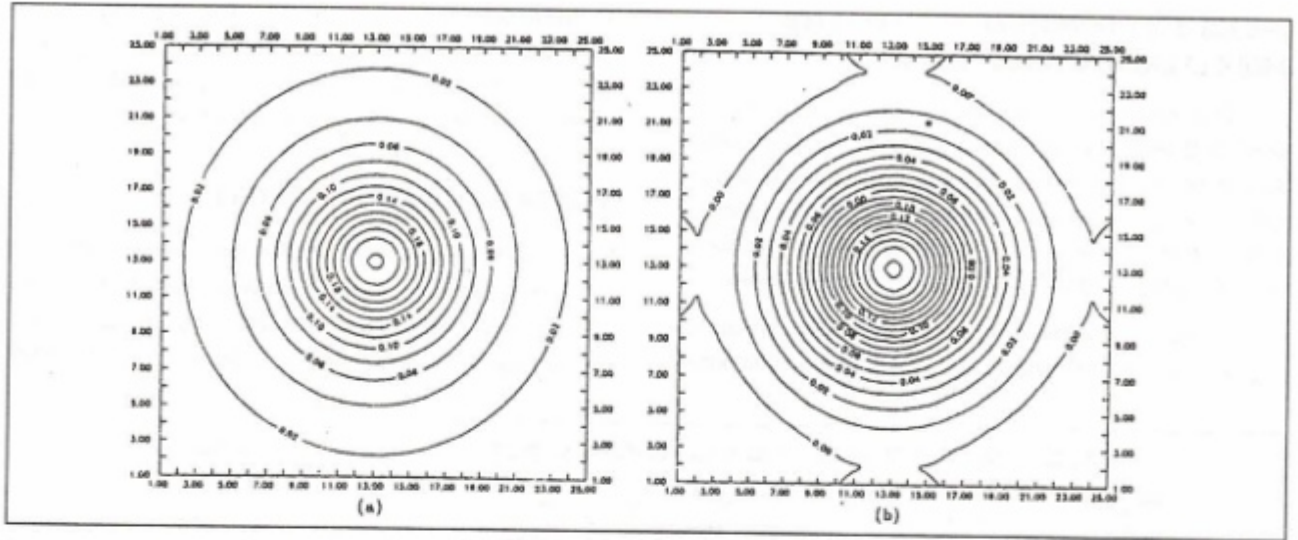
Şekil 4. Gravite nokta kaynak potansiyelinin g_x yatay türevi. a) Analitik olarak hesaplanan, b) 3-B Hilbert dönüşümünden elde edilen (İşleç boyu: 25x25)

Figure 4. The horizontal derivative (g_x) of the gravity point source potential. a) Analytically calculated, b) Derived from 3-D Hilbert transformation (Operator length: 25x25)



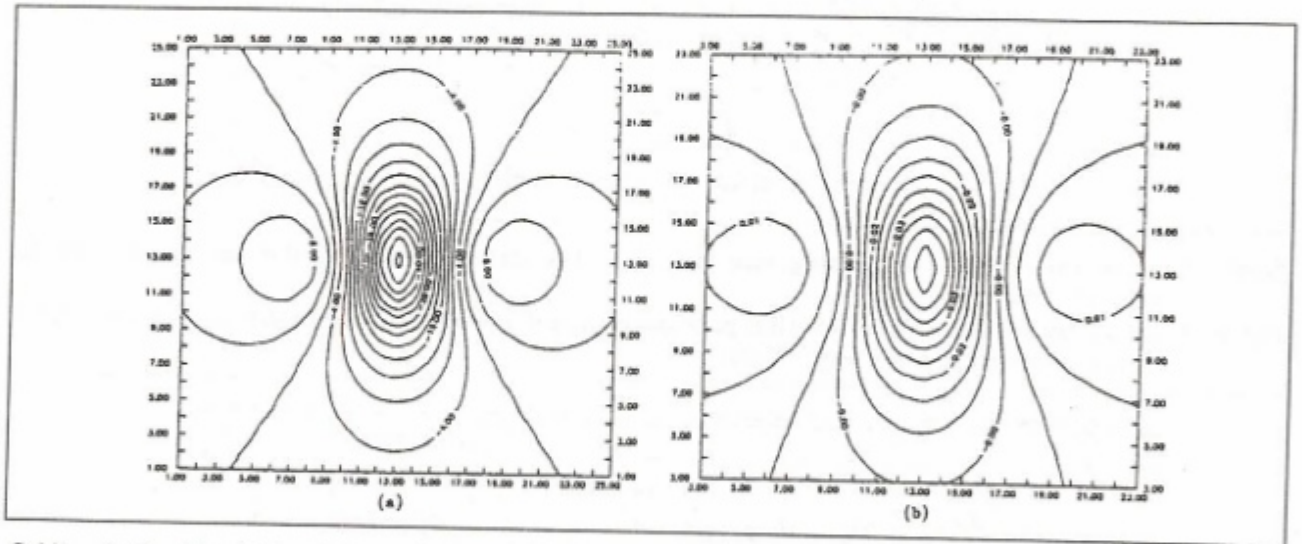
Şekil 5. Gravite nokta kaynak potansiyelinin g_y yatay türevi. a) Analitik olarak hesaplanan, b) 3-B Hilbert dönüşümünden elde edilen (İşleç boyu: 25x25)

Figure 5. The horizontal derivative (g_y) of the gravity point source potential. a) Analytically calculated, b) Derived from 3-D Hilbert transformation (Operator length: 25x25)



Şekil 6. Gravite nokta kaynak potansiyelinin g_z düşey türevi. a) Analitik olarak hesaplanan, b) 3-B Hilbert dönüşümünden elde edilen (İşleç boyu: 25x25)

Figure 6. The vertical derivative (g_z) of the gravity point source potential. a) Analytically calculated, b) Derived from 3-D Hilbert transformation (Operator length: 25x25)



Şekil 7. Gravite nokta kaynak potansiyelinin g_{xx} ikinci türevi. a) Analitik olarak hesaplanan, b) Sayısal türevle ulaşılan.

Figure 7. The second derivative (g_{xx}) of the gravity point source potential. a) Analytically calculated, b) Obtained from numerical derivation.

$$U = G \int \frac{dm}{r} \quad (30)$$

Burada;

$$dm = dx dy dz,$$

$$r = [(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2},$$

$$G = 6.67 \cdot 10^{-8} \text{ cgs.}$$

(Evrensel gravitasyonel çekim sabiti),

$$m = 1.0 \cdot 10^{15} \text{ gr}$$

(Kütle),

$$z_0 = d = 5 \text{ km}$$

(Derinlik),

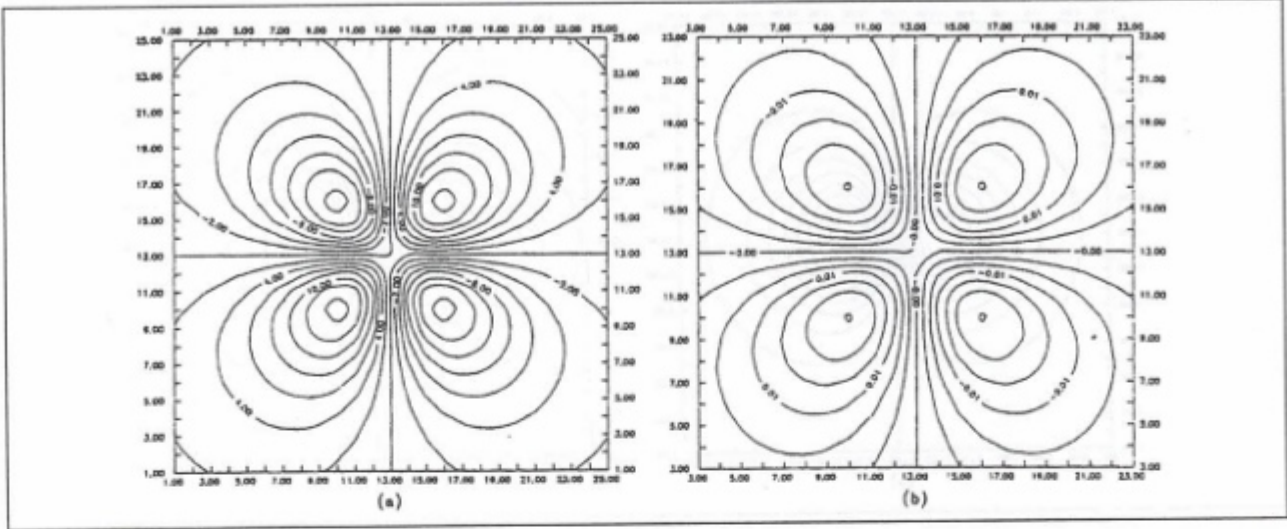
$$\Delta x = \Delta y = 1 \text{ km}$$

(Örnekleme aralığı)

$$\text{Veri uzunluğu: 25 km}$$

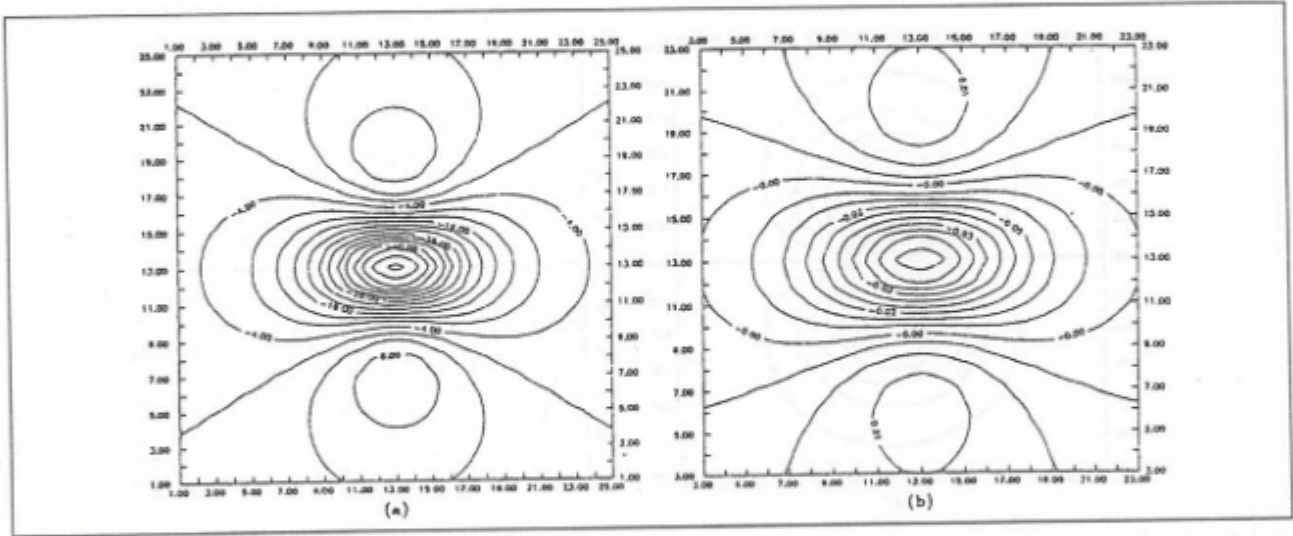
(X ve Y doğrultusunda)

dır. Daha sonra nokta kaynak potansiyel verisinin g_z



Şekil 8. Gravite nokta kaynak potansiyelinin g_{xy} ikinci türevi. a) Analitik olarak hesaplanan, b) Sayısal türevle ulaşılan.

Figure 8. The second derivative (g_{xy}) of the gravity point source potential. a) Analytically calculated, b) Obtained from numerical derivation



Şekil 9. Gravite nokta kaynak potansiyelinin g_{yy} ikinci türevi. a) Analitik olarak hesaplanan, b) Sayısal türevle ulaşılan.

Figure 9. The second derivative (g_{yy}) of the gravity point source potential. a) Analytically calculated, b) Obtained from numerical derivation.

çekim ifadesine, 3-B Hilbert dönüşümü uygulanarak ölçülemeyen birinci (g_x, g_y) ve ikinci ($g_{xx}, g_{xy}, g_{yy}, g_{xy}, g_{zz}$) bileşenler elde edilmiştir.

Nokta kaynak potansiyeli için elde edilen;

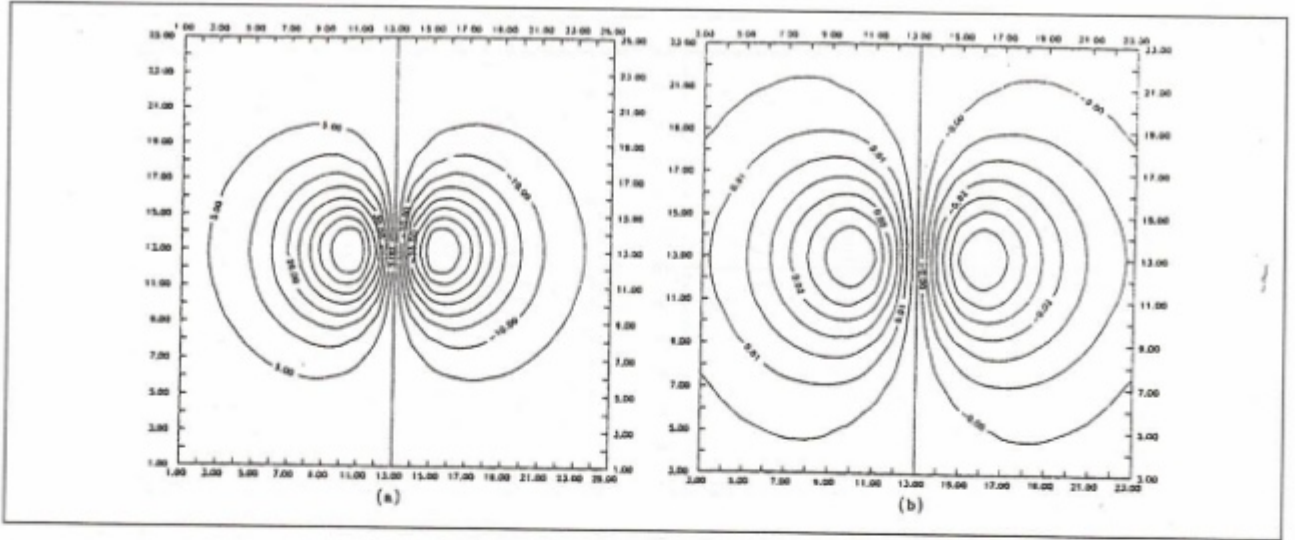
– g_x, g_y, g_z bileşenleri, Şekil 4b, 5b ve 6b'de

– $g_{xx}, g_{xy} = g_{yx}, g_{yy}$ bileşenleri, Şekil 7b, 8b ve

9b'de,

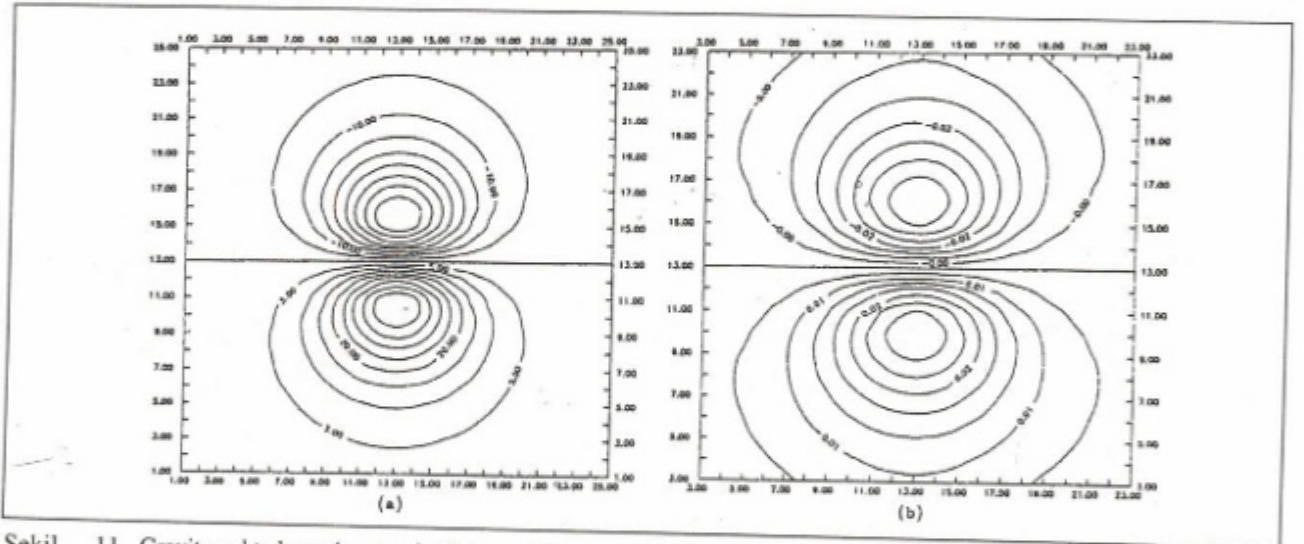
– g_{xx}, g_{xy} ve g_{zz} bileşenleri, Şekil 10b, 11b ve 12b'de verilmektedir.

Gravite potansiyelinin ikinci düşey türevi olan g_{zz} bileşeni analitik olarak, Hilbert dönüşümü ve Laplace diferansiyel denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bunlar sırasıyla Şekil 12a, b, c'de verilmektedir. Söz konusu şekiller karşılaştırıldığında, benzer oldukları, yalnızca genlik değerlerinde bazı farklılıkların bulunduğu görülmektedir.



Şekil 10. Gravite nokta kaynak potansiyelinin g_{xx} ikinci türevi. a) Analitik olarak hesaplanan, b) 3-B Hilbert dönüşümünden elde edilen (İşleç boyu: 21x21)

Figure 10. The second derivative (g_{xx}) of the gravity point source potential. a) Analytically calculated, b) Derived from 3-D Hilbert transformation (Operator length: 21x21).



Şekil 11. Gravite nokta kaynak potansiyelinin g_{yy} ikinci türevi. a) Analitik olarak hesaplanan, b) 3-B Hilbert dönüşümünden elde edilen (İşleç boyu: 21x21)..

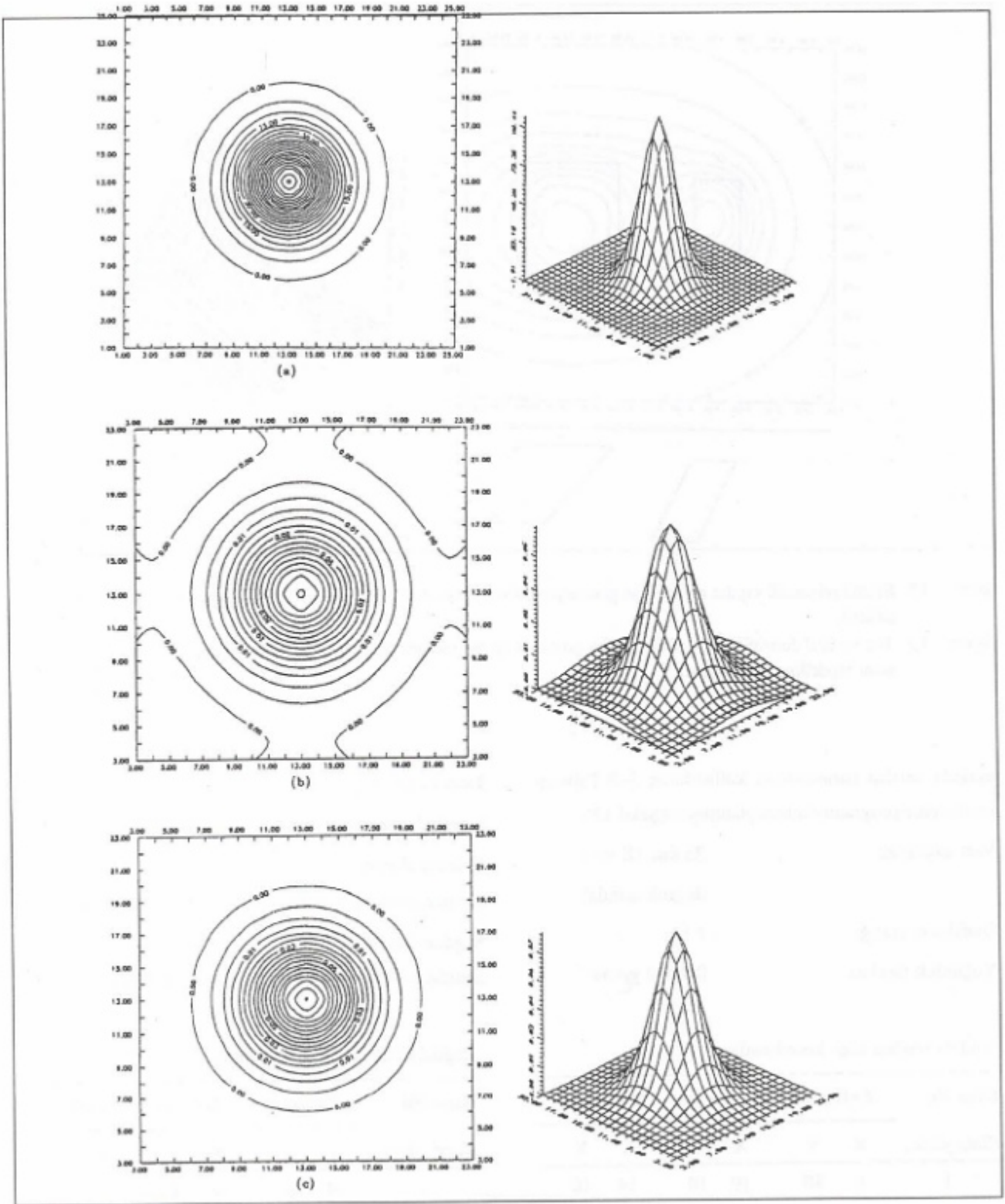
Figure 11. The second derivative (g_{yy}) of the gravity point source potential. a) Analytically calculated, b) Derived from 3-D Hilbert transformation (Operator length: 21x21).

Her iki şekilde elde edilen bileşenler karşılaştırıldığında, iyi bir uyumun varlığı gözlenmiş ve 3-B Hilbert dönüşümünün gravitede başarıyla uygulanabileceği gösterilmiştir. Ayrıca, Laplace diferansiyel denklemi kullanılarak ulaşılan g_z bileşenine, 3-B Hilbert dönüşümüyle de ulaşılabilmektedir.

EĞİMLİ PRİZMATİK YAPILAR

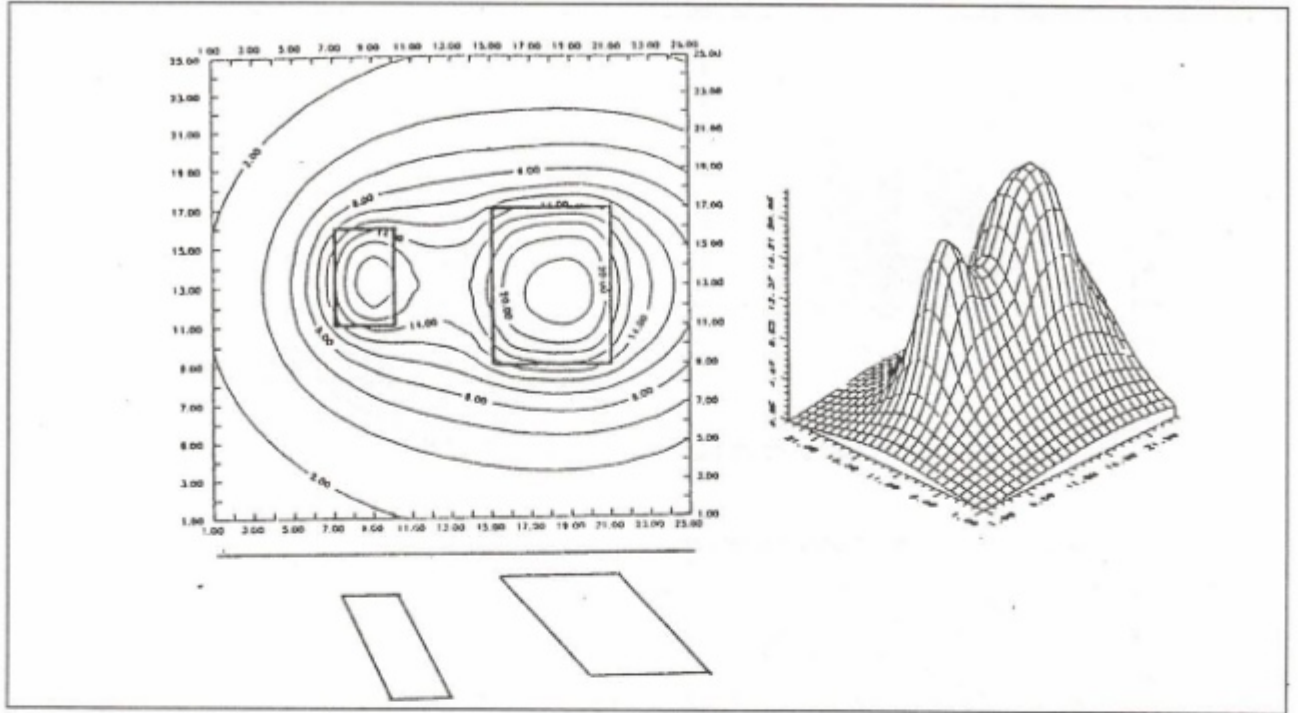
Yöntemin gravitede uygulanabilirliğini ispatlayan nokta kaynak potansiyeli örneğinden sonra 3-B Hilbert dönüşümü, yapı sınırları belli olan eğimli prizmatik yapılar modeline uygulanmıştır.

Eğimli prizmatik yapıların gravite çekim ifadesi g_z ,



Şekil 12. Gravite nokta kaynak potansiyelinin g_{zz} ikinci türevi. a) Analitik olarak hesaplanan, b) 3-B Hilbert dönüşümünden elde edilen (işleç boyu: 21x21), c) Laplace diferansiyel denkleminde elde edilen.

Figure 12. The second derivative (g_{zz}) of the gravity point source potential. a) Analytically calculated, b) Derived from 3-D Hilbert transformation (operator length: 21x21), c) Derived from Laplace differential equation.



Şekil 13. Eğimli prizmatik yapılar modeli için gravite potansiyelinin g_z düşey türevi (3-B Talwani Modelleme programı ile elde edilen).

Figure 13. The vertical derivative (g_z) of the gravity potential for the inclined prismatic structures model (derived from 3-D Talwani Modelling Programme).

aşağıda verilen parametreler kullanılarak 3-B Talwani modelleme programıyla hesaplanmıştır (Şekil 13).

Veri uzunluğu : 25 km. (X ve Y doğrultusunda)
Önekleme aralığı : 1 km.
Yoğunluk farkları : 0.4, 0.2 gr/cm^3 .

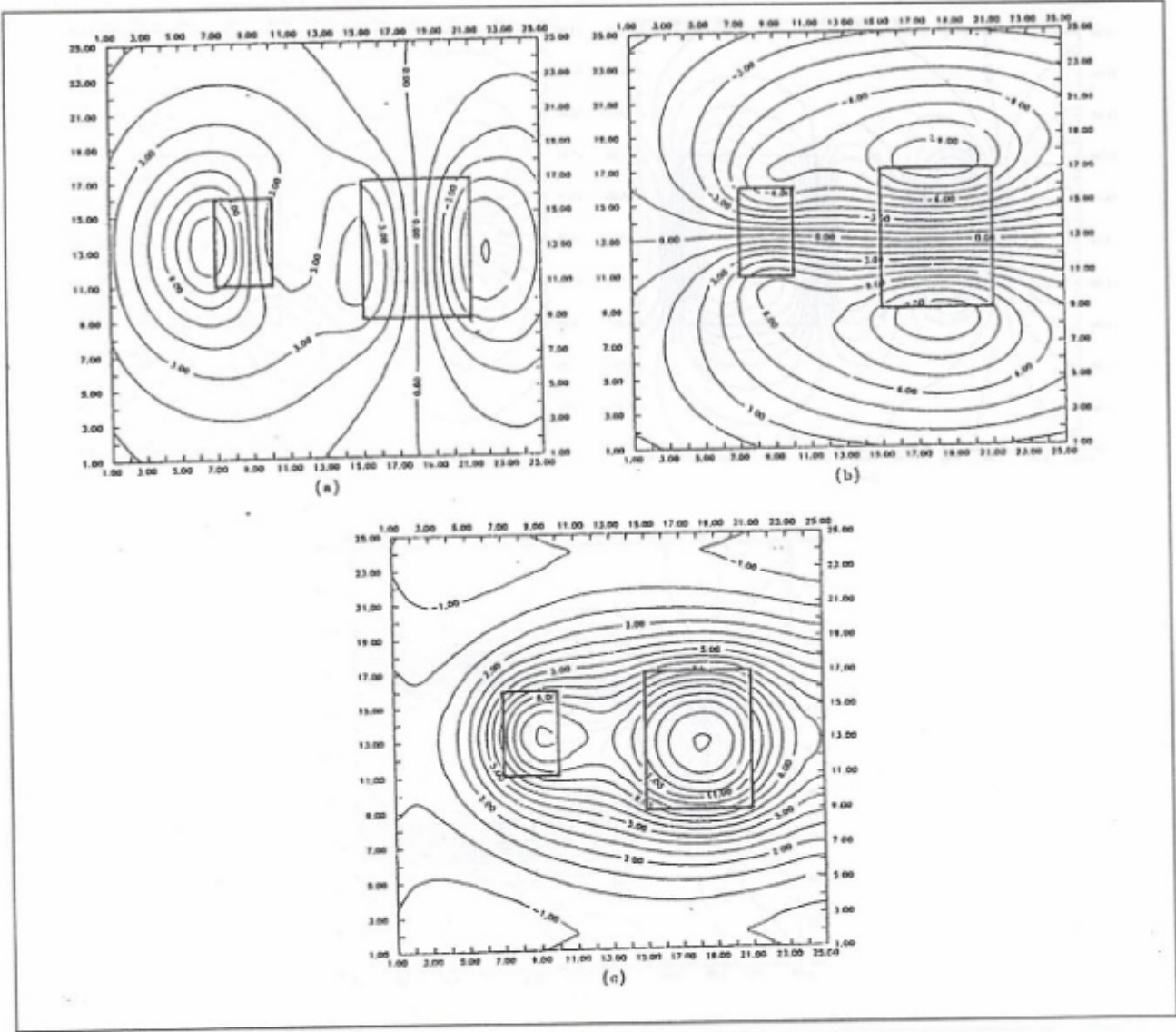
Lamina sayısı : 3
Lamina köşelerinin sayısı : 4, 4, 4
Soldaki bloğun laminalarının derinlikleri : 1.5, 5.5, 9.5 km.
Sağdaki bloğun laminalarının derinlikleri : 1, 5, 9 km.

Soldaki bloğun köşe koordinatları

Köşe No:	Z=1.5 km		Z=5.5 km		Z=9.5 km	
(Saat yönü)	X	Y	X	Y	X	Y
1	6	10	10	10	14	10
2	6	15	10	15	14	15
3	9	15	13	15	17	15
4	9	10	13	10	17	10

Sağdaki bloğun köşe koordinatları

Köşe No:	Z=1 km		Z=5 km		Z=9 km	
(Saat yönü)	X	Y	X	Y	X	Y
1	14	8	18	8	22	8
2	14	16	18	16	22	16
3	20	16	24	16	28	16
4	20	8	24	8	28	8



Şekil 14. Eğimli prizmatik yapılar modeli için gravite potansiyelinin, Hilbert dönüşümü ile hesaplanan, birinci türevleri (İşleç boyu: 25x25). a) g_x , b) g_y , c) g_z .

Figure 14. The first derivatives of the gravity potential obtained from 3-D Hilbert transformation for the inclined prismatic structures model (Operator length: 25x25). a) g_x , b) g_y , c) g_z .

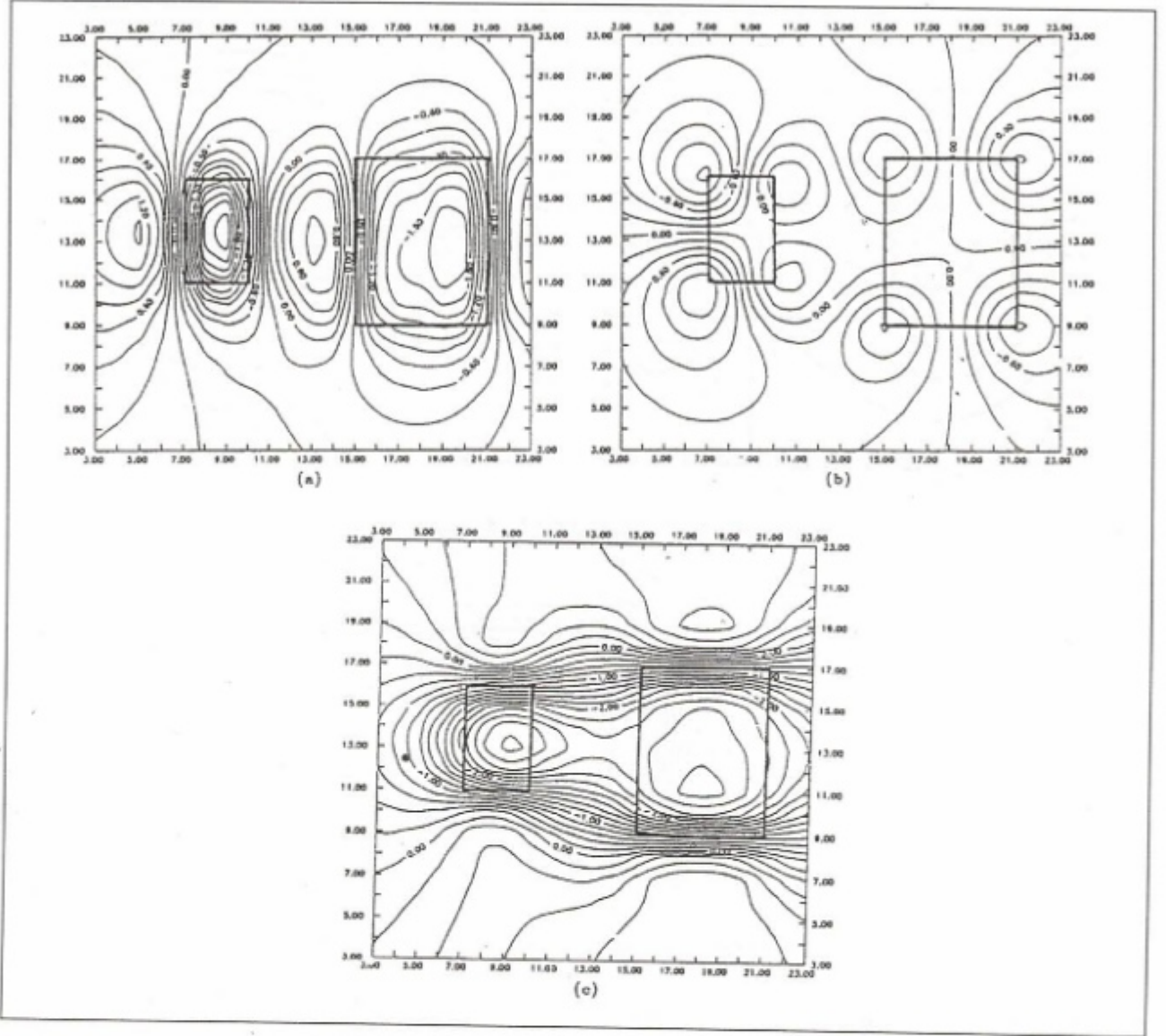
Eğimli prizmatik yapılar modeli için elde edilen;

- g_x , g_y ve g_z bileşenleri Şekil 14'de,
- g_{xx} , $g_{xy} = g_{yx}$, g_{yy} bileşenleri, Şekil 15'de,
- g_{zx} , g_{zy} ve g_{zz} bileşenleri, Şekil 16a,b ve 17a'da,
- Laplace diferansiyel denkleminde sayısal olarak

hesaplanan g_{zz} bileşeni, Şekil 17b'de verilmektedir.

3-B Hilbert dönüşümü yardımıyla g_z çekim ifadesinden elde edilen bileşenlerin incelenmesiyle:

- * g_y ve g_{zy} bileşenlerindeki, maksimum/minimum odakların ve g_{yy} bileşenindeki, dönüm noktalarının uzanımları, x yönündeki yapı sınırlarını,



Şekil 15. Eğimli prizmatik yapılar modeli için gravite potansiyelinin, sayısal türevle elde edilen, ikinci türevleri. a) g_{xx} , b) g_{xy} , c) g_{yy} .

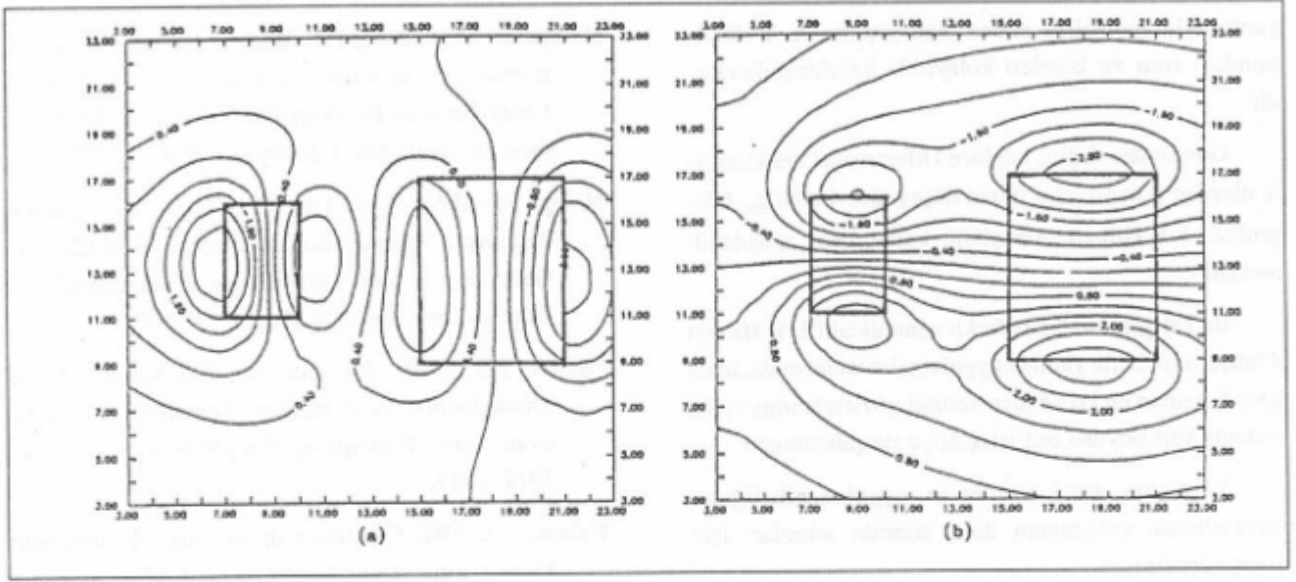
Figure 15. The second derivatives of the gravity potential obtained from numerical derivation for the inclined prismatic structures model. a) g_{xx} , b) g_{xy} , c) g_{yy} .

- g_x ve g_{zx} bileşenlerindeki, maksimum/minimum odakların ve g_{xx} bileşenindeki, dönüm noktalarının uzanımları, y yönündeki yapı sınırlarını,

- g_{xy} bileşenlerindeki, maksimum minimum odakların ise yapı köşelerini belirlediği sonucuna ulaşılmaktadır.

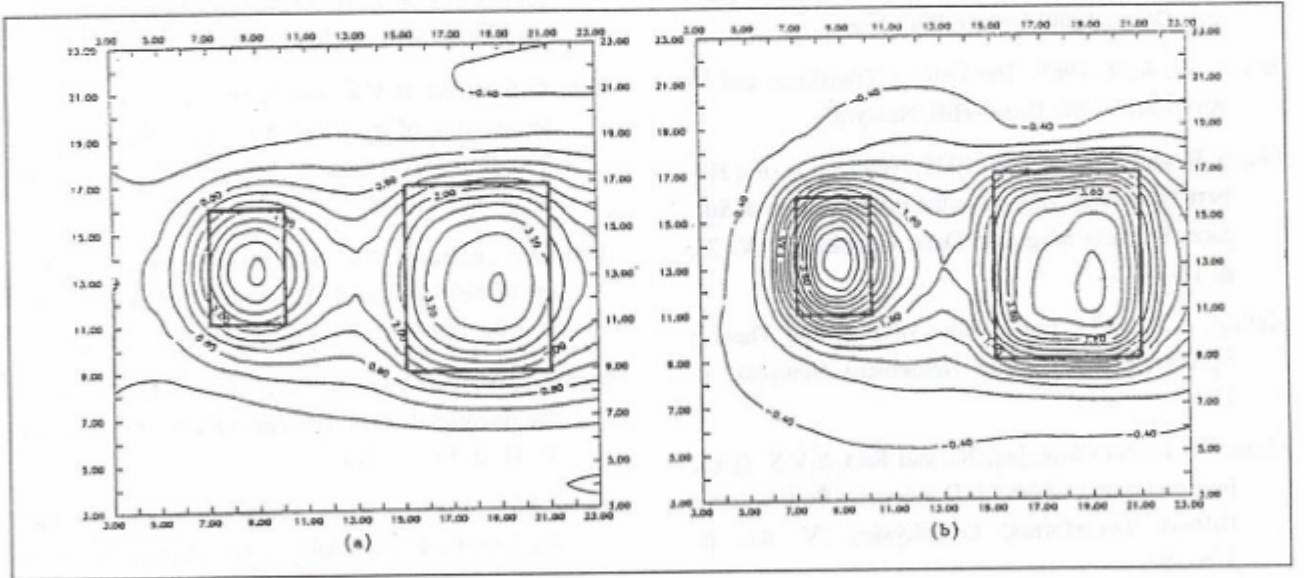
SONUÇLAR

2-B Hilbert dönüşümünün pratikte kullanılabilirliği, incelenen yapının iki boyutlu potansiyel dağılımı sunması ve değerlendirmede kullanılacak profilin, anomalî uzanımını dik kesmesi koşulu ile sınırlı olmasına rağmen, 3-B Hilbert dönüşümü hiçbir sınırlama olmaksızın Newton potansiyel dağılımını sağlayan tüm kütle-



Şekil 16. Eğimli prizmatik yapılar modeli için gravite potansiyelinin, Hilbert dönüşümü ile hesaplanan, ikinci türevleri (İşleç boyu: 21x21). a) g_{zx} , b) g_{zy} .

Figure 16. The second derivatives of the gravity potential obtained from 3-D Hilbert transformation for the inclined prismatic structures model (Operator length: 21x21). a) g_{zx} , b) g_{zy} .



Şekil 17. Eğimli prizmatik yapılar modeli için gravite potansiyelinin g_{zz} ikinci türevi. a) 3-B Hilbert dönüşümü ile hesaplanan (İşleç boyu: 21x21), b) Laplace diferansiyel denkleminde elde edilen.

Figure 17. The second derivative (g_{zz}) of the gravity potential for inclined prismatic structures model. a) Obtained with 3-D Hilbert transformation (Operator length: 21x21), b) Derived from Laplace differential equation.

lere uygulanabilir. 3-B Hilbert dönüşümü gravite modellerine başarıyla uygulanabilmekte ve dönüşüm yardımıyla gravite potansiyelinin tüm birinci ve ikinci türevlerine ulaşılabilir.

Bilindiği gibi gravite yönteminde, yalnızca potansiyelin birinci düşey türevi olan g_z çekim ifadesi ölçülebilmektedir. Diğer birinci ve ikinci bileşenler, Hilbert dönüşümü kullanılarak hesaplanabilmekte ve bu bileşenler

yardımıyla anomaliye neden olan yapının X-Y düzlemindeki sınır ve köşeleri kolaylıkla belirlenebilmektedir.

Günümüze değin, Laplace Diferansiyel denklemleriyle ulaşılan potansiyelin ikinci düşey türevi olan g_{zz} bileşenine, 3-B Hilbert dönüşümü kullanılarak ulaşılabilmektedir.

Bu çalışma sırasında farklı uzunluktaki 3-B Hilbert dönüşüm işleci ile yapılan uygulamalar sonucunda, uzun işleç boyunun en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiş ve bu nedenle veri boyuna eşit işleç boyu ile çalışılmıştır.

Yöntemin arazi verilerine uygulanabilirliğinin araştırılması, çalışmanın daha sonraki adımları için amaç edinilmiştir.

KAYNAKLAR

- Becerik, N. 1995, The Application of 3-D Hilbert Transformation in Gravity Method, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Bracewell, R.M. 1965, The Fourier Transform and Its Application; Mc Graw-Hill, Newyork.
- Green, R. and Stanley, J.M. 1975, Application of a Hilbert Transform Method to the Interpretation of Surface-Vehicle Magnetic Data; Geophysics, V. 23, p. 18-27.
- Kellog, A.D. 1929, Foundations of Potential Theory; Springer-Verlag Berlin Heidelberg Newyork, p. 123.
- Mohan, N.L., Sundararajan, N., and Rao, S.V.S. 1982, Interpretation of Some 2-D magnetic Bodies using Hilbert Transforms; Geophysics, V. 47, p. 376-387.
- Nabighian, M.N. 1972, The Analytic Signal of Two Dimensional Magnetic Bodies with Polygonal Cross-Section: Its Properties and Use for Automated Interpretation; Geophysics, V.37, p. 507-517.
- Nabighian, M.N. 1984, Toward a Three Dimensional Automatic Interpretation of Potential Field Data via Generalized Hilbert Transforms: Fundamental Relations; Geophysics, V.49, p. 780-786.
- Nelson, J.B. 1986, An Alternate Derivation of the Three-Dimensional Hilbert Transform Relations from First Principles; Geophysics, V. 51, p. 1014-1015.
- Nelson, J.B. 1988, Calculation of the Magnetic Gradient Tensor from Total Field Gradient Measurements and Its Application to Geophysical Interpretation; Geophysics, V. 53, p. 957-966.
- Pınar, R. 1985, Karmaşık Gradient Yönteminin Düşey Süreksizliklere Uygulanması ve Bilgisayarla Gerçekleştirimi; E.Ü. Bilgisayar Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, Cilt: 8, Sayı: 1, sf. 1-17.
- Roa, O.A., Babu, H.V.R. and Narayan, P.V.S. 1981, Interpretation of magnetic Anomalies due to Dikes: The Complex Gradient Method; Geophysics, V. 46, p. 1572-1578.
- Rao, O.A., Babu, H.V.R. 1983, Quantative Interpretation of Self-Potential Anomalies due to 2-D Sheet-Like Bodi; Geophysics, V. 48, p. 1659-1664.
- Stanley, J.M. and Green, R. 1976, Gravity Gradients and the Interpretation of Truncated Plates; Geophysics, V. 41, p. 1370-1376.
- Taner, M.T., Koehler, F. and Sheriff, R.E. 1979, Complex Seismic Trace Analysis; Geophysics, V. 44, p. 1041-1063.

HAMİTABAT SAHASI DOĞAL GAZ ALANININ, KUYULARDAN KAZANILAN TERMAL PARAMETRELER İLE YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

The Reappraisal of Hamitabat Gas Field Through The Thermal Parameters Gained from The Wells

A. Kenan TEZCAN*

ÖZET

Bu çalışmada, Hamitabat Doğal Gaz Sahasının, hidrokarbonların, yüksek sıcaklıklı bir ortamdan, yukarıdaki, daha düşük sıcaklıklı bir ortama migrasyonu sonucu, bu ortama kazandırdığı yüksek sıcaklık özelliğinden yararlanarak, yeniden değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Hamitabat doğal gaz üretim alanı Trakya baseni içinde yer almaktadır. Yaklaşık 3200 m derindeki Eosen kumtaşı rezervuarından üretim yapılmaktadır. Mart 1993 itibarı ile kümülatif üretim miktarı 65.3 milyon MSCF olan küçük bir sahadır.

Önce, termal değer olarak kullanılacak ısı akısı ve deniz seviyesine göre 3000 m derinlikteki bir düzlem üzerindeki sıcaklık değerlerinin, kuyu dibi statik sıcaklık değerlerinden hesaplanmaları ve haritalanmaları hakkında bilgiler verilmiş, doğal gaz kümülatif üretim haritalarının hazırlanış şekli açıklanmıştır.

Çalışmada, ilk olarak, kümülatif gaz üretimleri ile ısı akıları arasında bir grafik çizilmiş ve incelenmiştir. Grafik'te, Kümülatif üretimlerin, ısı akıları ile bir doğru şeklinde arttığı görülmüştür. İki değer

ABSTRACT

The investigation is on the appraisal of Hamitabat Gas Field through the only physical parameter of the hydrocarbon containing reservoirs, the high temperature, produced by the upwardly migrated hydrocarbons from a higher temperature environment to a shallower reservoir.

Hamitabat gas field is situated in the Thrace Basin in NW of Turkey. It produces from a 3200 m deep sandstone reservoir. Its cumulative production, from 1976 to March 1993, is 65.3 milyon MSCF. It is comparatively a small field.

Firstly, some information on the thermal parameters, the heat flow, temperature distribution on a plane at 3000 m depth from sea level and their mappings are given. Also, the preparation of the cumulative natural gas production map is described.

Secondly, to see the high temperature character of the reservoir, the graph of the cumulative natural gas productions vs heat flows is drawn. A linearly increasing relationship has been found between them is to be 43%. This result proved that, in Hamitabat, the hydrocarbon carrying reservoir is having higher

* Selanik Cad. 78/9, Bakanlıklar, Ankara

grubu arasındaki korelasyon katsayısı da %43 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, rezervuarın doğal gaz taşıyan kısmının, civarına oranla daha yüksek sıcaklıklı olduğunu ve üretimin de bu miktara bağlı olarak arttığını göstermiştir.

Bu bağımlılığın alansal dağılımını incelemek için de Kümülatif Gaz Üretimi ve Isı Akısı haritaları karşılaştırılmıştır. Ve, ısı akısı yükselimleri ile kümülatif doğal gaz üretimi yükselimlerinin büyük oranda çakıştıkları gözlenmiştir.

Bu sonuçtan yararlanılarak, sahanın gelişim yönleri belirlenmiş ve buralarda seçilen, yeni ve ümitli alanlarda, sondaj için, mevcut jeolojik ve jeofizik etüdlerin yeniden incelenmeleri önerilmiştir.

İkinci olarak da, kuyulardaki su üretim haritası hazırlanmış ve ısı akısı haritası ile karşılaştırılmıştır. Bu kez, haritalar arasında bir uyumsuzluk görülmüştür. İki değer grubu arasındaki korelasyon katsayısı da -%13 bulunmuştur.

Bu durum, rezervuar suyunun, doğal gazinkinden farklı bir kökeni olduğu ve farklı kaynaktan geldiği şeklinde yorumlanmıştır. Bunun bilinmesi, etkili bir rezervuar yönetimi bakımından yararlı olabilecektir.

Benzer çalışmaların bütün petrol ve doğal gaz üretim alanlarında yapılmasının önemi belirtilmiştir.

temperature in respect to its environment.

Thirdly, the cumulative natural gas production map is compared with the thermal maps and important associations between their highs are observed.

Basing on these results, some new promising localities, on the trends of the distribution of thermal highs are selected for the reexaminations for extending Hamitabat Field.

Finally, a map of cumulative water productions of the wells is also prepared and compared with the heat flow maps. No association could be found among their highs. And, their correlation coefficient is found to be -13%. This is interpreted as, the water in the reservoir have a different source from than that of the natural gas.

This knowledge may be helpful for establishing an efficient field management.

The benefis of the similar studies in all oil and gas fields are emphasized.

GİRİŞ

Jeofizik aramalarında, hidrokarbonlar, dolaylı olarak doğal kaynaklardan biridir. İçlerine yerleştikleri hazne kayaçlarının fiziksel özelliklerinden farklı, jeofizik olarak ayırdedilebilir bir fiziksel özelliği bilinmemektedir.

Ancak, hidrokarbonların, yukarıya doğru göçleri esnasında beraberlerinde taşıdıkları bir özellik olan, yüksek sıcaklık özelliği ve bunu göçettikleri ortama taşıma özelliği, hidrokarbon aramaları yönünden incelenmemiş özelliklerdir.

Bu özellikler, ilk defa, TPAO'nun Trakya'daki Hamitabat Doğal Gaz Alanı'nda, benzerlerine oranla çok küçük bir alanın genişletilmesi ve gelişme yönlerinin ve yerlerinin belirlenmesi için ele alınıp incelenmiş bulunmaktadır.

Bu amaçla, veri olarak, kuyuların bitiminde yapılan testler esnasında ölçülen taban sıcaklıklarından hesaplanan statik sıcaklıklar kullanılmıştır.

Başlangıç olarak, bu veri yardımı ile gerekli termal büyüklüklerin elde edilişleri; bunların ve kuyuların kümülatif hidrokarbon üretimlerinin hüritalandırılmaları açıklanmıştır.

Çalışmanın temelini de kümülatif doğal gaz üretimi ile bu termal değerlerin grafik ve harita olarak karşılaştırılması oluşturmıştır. Sonuçta, bütün bu yapılar değerlendirilerek Hamitabat Doğal Gaz Alanının olası gelişme yön ve yerleri belirlenmiştir.

Metodun, halen geliştirilmiş veya geliştirme aşamasında olan veya tükenmekte olan bütün doğal gaz ve petrol alanlarının geliştirilmelerinde veya tükenmiş alanların yeniden kazanılmalarındaki olası katkıları vurgulanmıştır.

İkinci bir konu olarak da ısı akısı haritası ile, hazırlanan kümülatif su üretim haritası karşılaştırılmıştır. Bu yolla, suyun kaynağının doğal gaz'ınki ile aynı olup olmadığının anlaşılacağı gösterilmiştir.

Bu çalışma, evvelce de incelenmiş olan konunun (Tezcan, 1993), şekiller yönünden daha görselleştirilmiş ve ek yorumlarla daha geliştirilmiş şeklidir.

JEOLJİ VE TARİHÇE

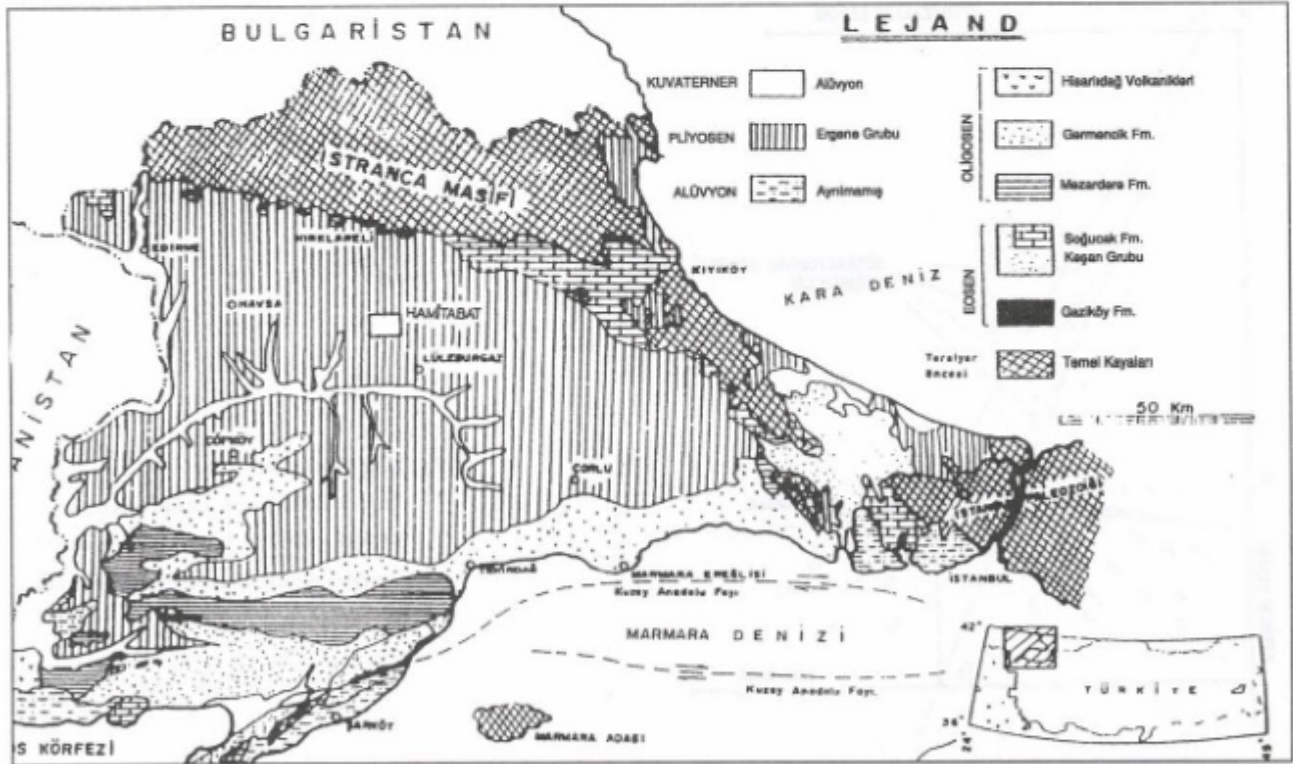
Hamitabat gaz üretim alanı (Şekil 1) trakya Baseni içinde yer almaktadır. basenin tabanını Paleozoik yaşlı metamorfikler oluşturmaktadır. Taban üzerinde sırası ile Eosen, alt, orta, üst Oligasen ve Miyosen yaşlı tortul birimler yer almaktadır. En üstte de bunlarla diskordan Plio-Kuvaterner Ergene formasyonu bulunmaktadır.

Bütün bu tortul birimler, kil, şeyl, marn, kumtaşı aralanmalarından oluşmaktadır.

Hazne kayacı yaklaşık 3200 metre derinlikteki Eosen kumtaşlarıdır.

Metamorfik tabanın Hamitabat'taki derinliği 4500 m tahmin edilmektedir.

Sahada ilk kuyu, 1969 yılında, son kuyu ise 1985 yılında açılmıştır. Toplam 32 kuyu mevcuttur. bunların 27'si gazlı çıkmıştır. Üretime 1976 yılında başlanmıştır. Mart 1993 itibarı ile toplam üretim miktarı 65.3 milyon MSCF'dir.



Şekil 1. Trakya Havzası Jeoloji Haritası ve Hamitabat Doğal Gaz Alanı.

Figure 1. The Geological Map of Thrace Basin and Hamitabat Field.

HİDROKARBON REZERVUARLARININ GENEL TERMAL ÖZELLİKLERİ

Bilindiği gibi, Hidrokarbon rezervuarları, üst kısımları geçirimsiz bir örtü ile kapalı, geçirimli yapılardan oluşmaktadır.

Daha derinlerde oluşan veya bulunan hidrokarbonlar, küçük yoğunluklu olmaları nedeniyle, çeşitli tektonik veya stratigrafik nedenlerle oluşmuş geçirimli, sulu kanallar boyunca bu rezervuarlara göç ederler. Rezervuar içindeki suyu iterek veya onunla yer değiştirerek, onun yerini alırlar. Ve, burada etrafına oranla daha yüksek sıcaklıklı bir ortam oluştururlar. Şekil 2, böyle bir modeli görselleştirmektedir.

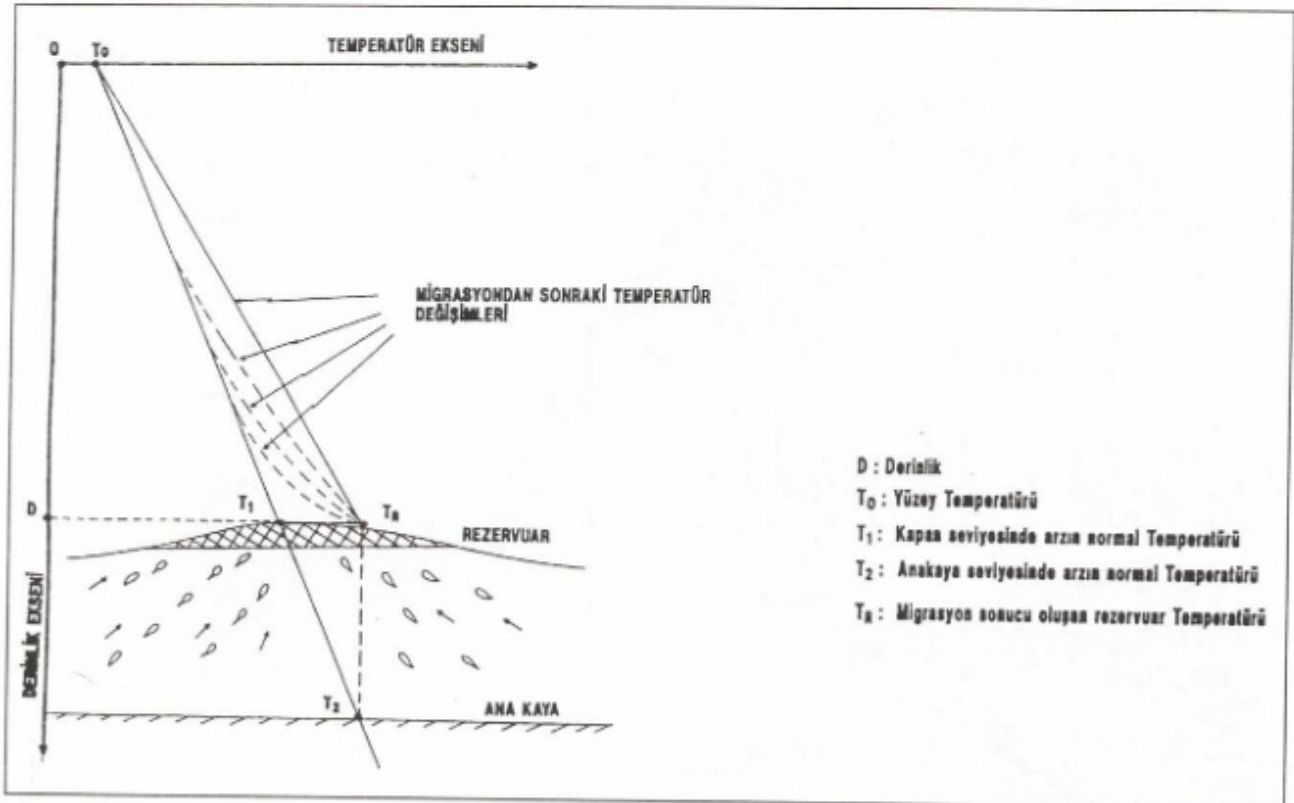
Böyle bir oluşumun sonucu, rezervuarı saran ortamın sıcaklığı artar. Isısal denge durumunda da, yer yüzeyinde, gözlemlenildiği bir ortam oluşur.

Ancak, rezervuarın, 3000-400 m gibi derinde olma-

sı durumunda, yer yüzeyinde jeotermal gradyentin farkedilebilir bir anomali verebilmesi çok uzun bir zaman alır. Genelde pratik olarak imkansızdır. Bu nedenle, ısısal dengenin oluşamayacağı kadar genç bir rezervuar durumunda, ölçü seviyesi, yaklaşık, rezervuar seviyesi olan kuyu dibi sıcaklık ölçülerinden yararlanmanın ayrı bir önemi olacaktır.

TEKNİK BİLGİ; TERMAL VE KÜMÜLATİF ÜRETİM HARİTALARI VE GRAFİKLER İLE İLGİLİ AÇIKLAMALAR

Bu bölümde, değerlendirmelerde kullanılan, ısı akısı, deniz seviyesinden rezervuar derinliği mertebesindeki bir kesit üzerinde (-3000 m derinliğindeki) sıcaklık dağılımı, kümülatif üretimler ve bunlarla ilgili grafik ve korelasyon katsayıları hakkında bilgiler verilmiş, formül ve değerler açıklanmıştır.



Şekil 2. Yüksek sıcaklıklı bir hidrokarbon rezervuarının oluşumu.
Figure 2. Formation of a high temperature hydrocarbon reservoir.

Thermal Büyüklükler

Bu amaç için a) kuyu tabanında ölçülen sıcaklıklardan hesaplanan statik taban sıcaklıkları ve b) Türkiye'de 1 metre derinlikteki yıllık ortalama zemin sıcaklıklarının veren formülden (Tezcan, 1992) hesaplanan sıcaklıklardan yararlanılmıştır. Bu son değerleri veren formül,

$$T1=57.487-1.078*(La)+0.102*(Lo)-0.00488*H \quad (1)$$

şeklindedir. Burada, La, enlem; Lo, boylam, olup her iki değer de derece ve ondalıkları cinsindendir. H, deniz seviyesinden yükseklik, metre cinsinden; T1, arz yüzeyinin 1 m derinliğindeki yıllık ortalama sıcaklık °C cinsindendir.

Bu iki değer takımı ve kuyu tabanındaki ölçü derin-

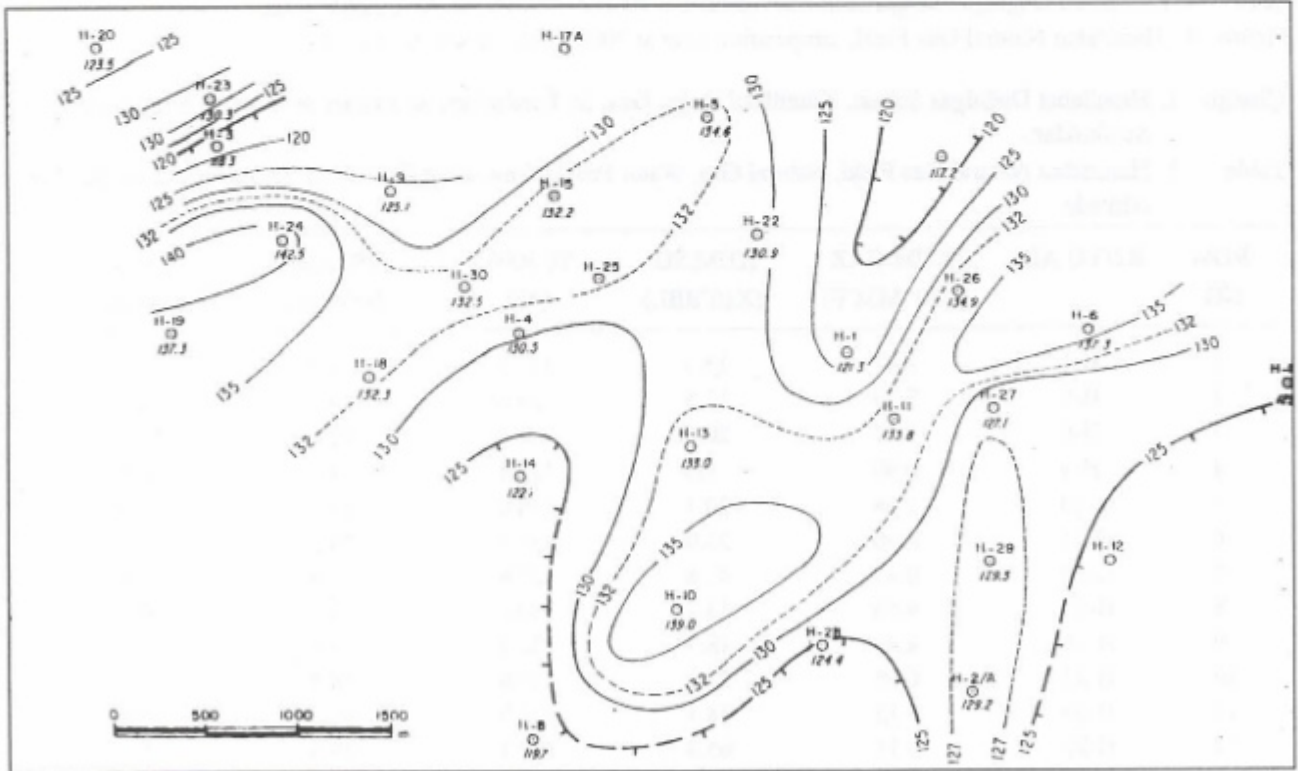
liklerini kullanarak, Hamitabat gaz üretim alanının termal özelliklerini aksettiren aşağıdaki iki çeşit harita (Şekil 3 ve 4) hazırlanmıştır.

Isı Akısı Haritası

Isı akısı değerleri, sedimanter kayalar için ortalama bir termal iletkenlik değeri olan 2.1 mW/mK değeri ile o kuyu için hesaplanan jeotermal gradyent çarpılarak elde edilmiştir (Çizelge 1). Isı akısı haritası, mW/m² cinsinden olan bu değerlerle çizilmiştir.

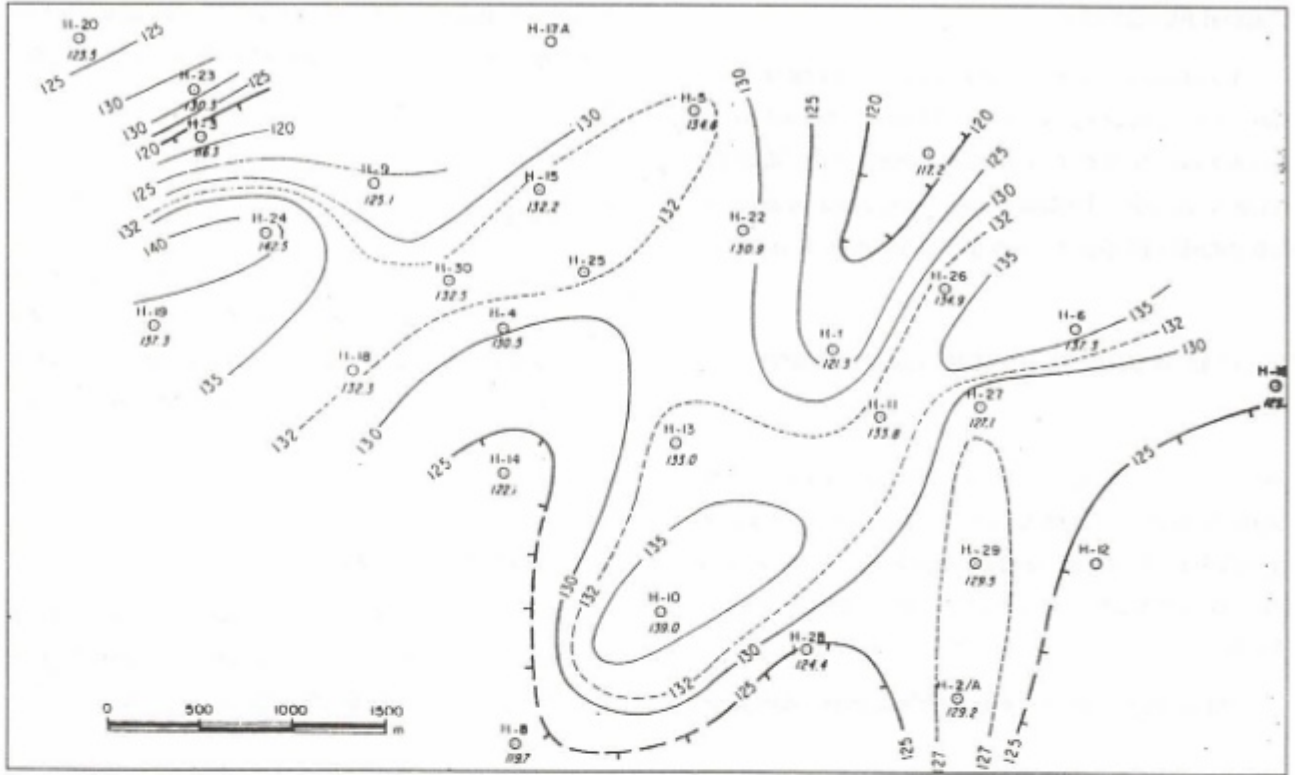
Sıcaklık Dağılım Haritası

Deniz seviyesinden 3000 m derinlikteki bir kesit üzerindeki sıcaklıklar her bir kuyu için hesaplanmış (Çizelge 1) ve dağılım haritası (Şekil 4) çizilmiştir.



Şekil 3. Hamitabat Doğalgaz Sahası, Isı Akısı Haritası (mW/m²).

Figure 3. Hamitabat Natural Gas Field, Heat Flow Map (mW/m²).



Şekil 4. Hamitabat Doğalgaz Sahası, deniz seviyesinden 3000 m derinde sıcaklık dağılımı haritası ($^{\circ}\text{C}$).

Figure 4. Hamitabat Natural Gas Field, temperature map at 3000 m below sea level ($^{\circ}\text{C}$).

Çizelge 1. Hamitabat Doğalgaz Sahası, Kümülatif Doğal Gaz, Su Üretimleri, Isı Akıları ve -3000 m Kotundaki Sıcaklıklar.

Table 1. Hamitabat Natural Gas Field, Natural Gas, Water Productions, Heat Flows and Temperatures at -3000 m Altitude.

ROW NO	KUYU ADI	KÜM.GAZ ($\times 10^6$ MSCF)	KÜM.SU ($\times 10^3$ BBL)	T(-3000 $^{\circ}\text{C}$)	ISI AKI (mW/m^2)	(LA.-70) (mW/m^2)
1	H-1	2.47	13.3	121.3	71.3	1.3
2	H-5	3.33	12.5	134.6	80.3	10.3
3	H-6	5.17	20.0	137.3	82.0	12.0
4	H-9	0.90	9.8	125.1	74.5	4.5
5	H-10	1.98	20.1	139.0	83.0	13.0
6	H-11	6.90	23.9	133.8	79.8	9.8
7	H-12	0.73	42.8	123.8	72.8	2.8
8	H-13	4.55	13.2	133.0	79.1	9.1
9	H-15	4.41	18.7	132.2	78.8	8.8
10	H-22	6.05	23.8	130.9	78.4	8.4
11	H-26	6.15	38.1	134.9	80.3	10.3
12	H-27	5.11	65.8	127.1	75.3	5.3
13	H-28	2.58	11.3	124.4	73.3	3.3
14	H-29	2.61	31.1	129.5	76.8	6.8
15	H-30	10.05	13.4	132.5	79.2	9.2

Doğal Gaz Kümülatif Üretim Haritası

Mart 1993 tarihi itibarıyla, kuyuların kümülatif üretimleri göz önüne alınarak Çizelge 1 hazırlanmıştır.

Doğal gaz sahasının değerlendirilmesini yaparken, herbirinin yaklaşık yaşları 15 yıl civarında olan kuyuların kümülatif üretimleri büyüklüğünde bir rezervuar parçasını temsil ettikleri varsayılmıştır (Şekil 5).

Isı Akısı ve Kümülatif Üretim Büyüklükleri Arasındaki Grafik Bağntı ve Korelasyon

Kümülatif üretimlerle termal büyüklükler arasında aşağıda açıklanan şekilde regresyon doğruları ve korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

Sahadaki, kuyudibi statik sıcaklıkları bilinen 22 kuyudan, kümülatif üretimleri yüksek (>15milyon MSCF) olan değerleri arasında, Şekil 6'daki grafik çizilmiş ve aralarındaki bağıntıyı veren aşağıdaki regreasyon doğrusu hesaplanmıştır.

$$\text{Küm.Gaz} = -15.8 + 0.250 * (\text{Isı Akısı}) \quad (2)$$

veya

$$\text{Küm.Gaz} = 1.69 + 0.250 * (\text{Isı Akısı} - 70) \quad (2a)$$

Burada Küm.gaz, milyon MSCF; Isı Akısı, mW/m² cinsindendir.

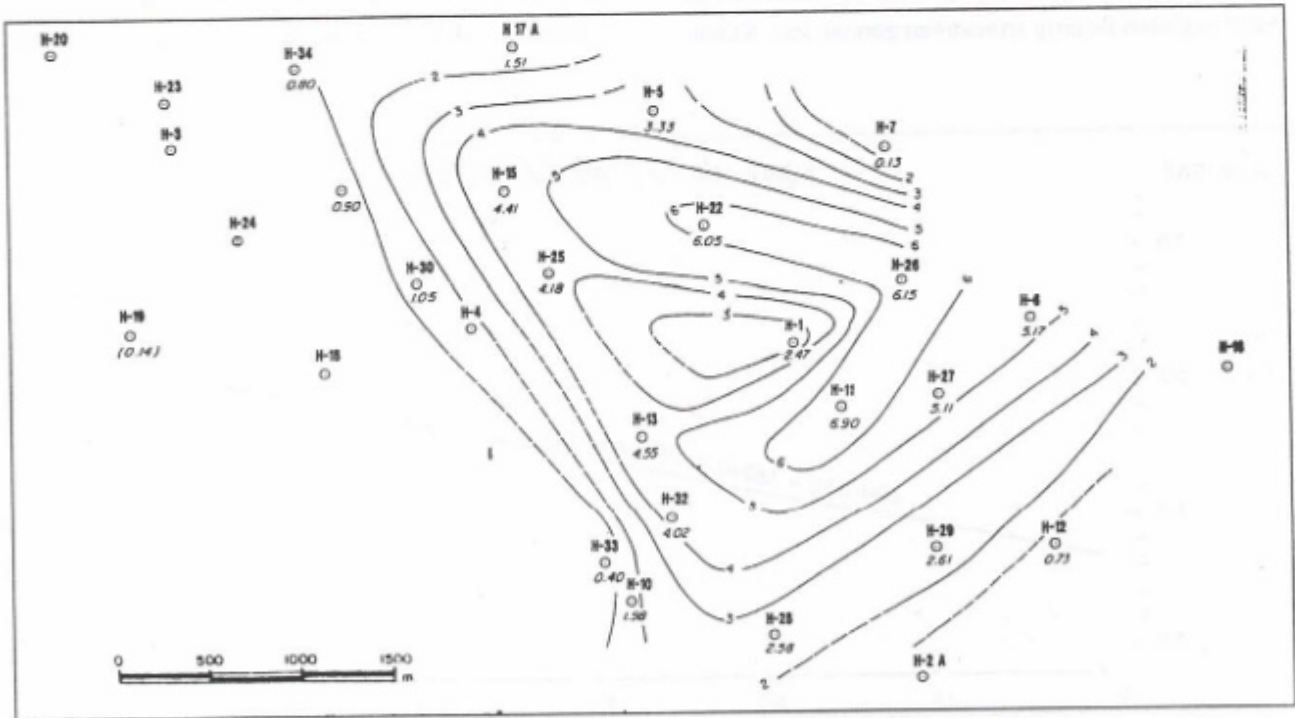
Yine aynı iki değer takımı arasındaki Korelasyon Katsayısı, C (Küm.Gaz., Isı Akısı)=%43 bulunmuştur.

(-3000 m) Kotundaki sıcaklık Değerleri ile Kümülatif Üretim Arasındaki Bağntı ve Korelasyon

Kümülatif Gaz Üretimleri ile deniz seviyesinden 300 m derinlikteki sıcaklık değerleri arasındaki bağıntıyı veren regresyon doğrusu da

$$\text{Küm.Gaz} = -17.9 + 0.165 * T(-3000) \quad (3)$$

olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Hamitabat Doğalgaz Sahası, Mart 1993 için kümülatif doğal gaz üretimi haritası (x milyon MSCF).

Figure 5. Hamitabat Natural Gas Field, cumulatif natural gas Production map for March 1993 (x Million MSCF).

Burada Küm.Gaz, MSFC cinsinden ; T(-3000), °C cinsindendir.

Kümülatif Gaz Üretimi Değerleri ile deniz seviyesinden 3000 m derinlikte hesaplanan sıcaklık değerleri arasındaki Korelasyon Katsayısı da, C (Küm.Gaz., T (-3000))= %43 bulunmuştur.

DEĞERLENDİRME; DOĞAL GAZ ÜRETİMLERİ İLE ISI AKISILARININ GRAFİK VE HARİTA OLARAK KARŞILAŞTIRILMALARI

Bundan sonraki kısım ve bölümlerde, bütün karşılaştırmalar termal değerlerden diğeri de aynı sonuçları verdiği için sadece ısı akısı değerleri ile yapılmıştır. Isı Akısı değerlerinin kullanılmasının yararı, gerektiğinde, Türkiye'nin mevcut Isı Akısı Haritası ile, diğer bölgelerin, değerleri ile karşılaştırma olanağını vermesidir (Tezcan ve Turgay, 1991; Tezcan, 1995).

Sıcak Bir Rezervuar Varlığının Kanıtı; Grafik Karşılaştırma

İlk olarak, Kümülatif Doğal Gaz Üretimlerinin, Isı Akısı değerleri ile artıp artmadığını görmek için, Kümü-

latif Gaz üretimlerinin Isı Akılarına bağlı olarak grafiği çizilmiştir (Şekil 6).

Grafikte, gerçekten, genelde, Isı akılarının yüksek olduğu kuyularda Kümülatif üretimlerinde yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Eşitlik (2) ve (2a), artışı belirleyen regresyon doğrusunun denklemleridir.

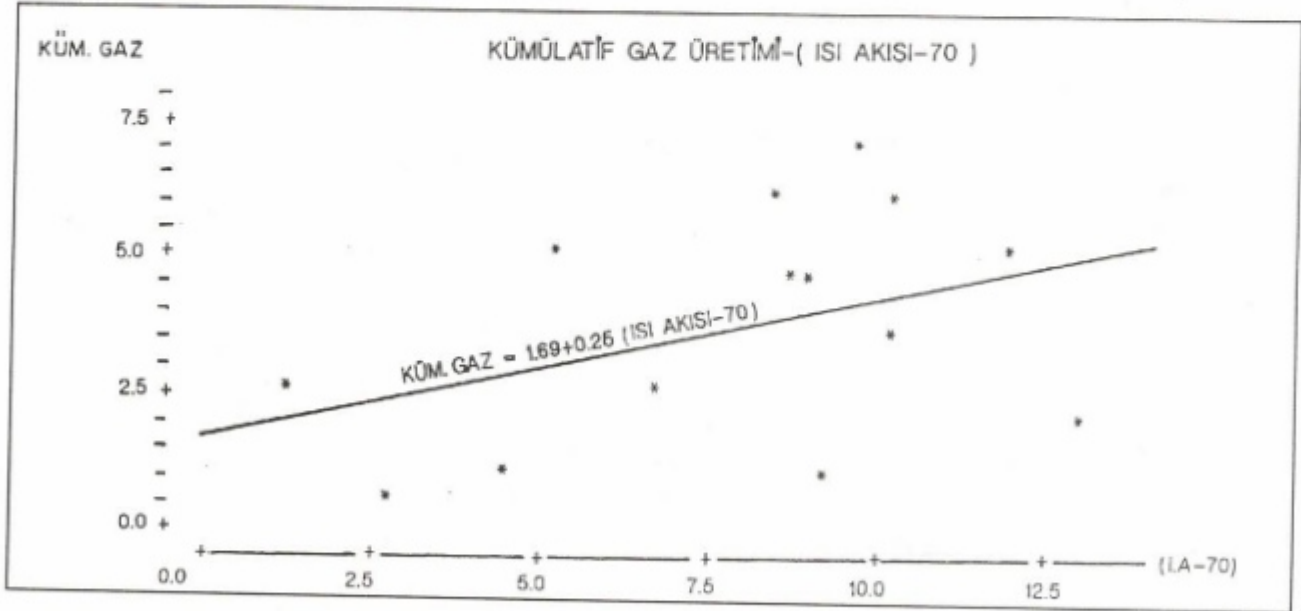
Grafiğin bu durumu, rezervuar sıcaklığının, içinde yer aldığı ortamına oranla, daha yüksek olduğunu kanıtlamaktadır.

Ayrıca, çizilen regresyon doğru denklemi de kuyu üretimlerinin, kaba da olsa, oransal olarak karşılaştırılmalarına imkan vermektedir.

Bunu takiben, kümülatif üretimlerle ısı akılarının alansal dağılımlarını görmek ve karşılaştırmalar yapabilmek için, aşağıdaki inceleme yapılmıştır.

Yüksek Isı Akılı Alanlarla Yüksek Üretim Alanlarının Çakışıklık Durumları

Hamitabat Doğal Gaz Alanının, yerin ortalama ısı akısı değeri 63 mW/m² olduğu gözönüne alındığında, yüksek ısı akılı bir bölgede yeraltığı görülmektedir.



Şekil 6. Kümülatif Doğal Gaz Üretimleri - (Isı Akısı-70) Grafiği.

Figure 6. The Graph of Cumulative Naturel Gas Production vs (Heat Flow-70).

Aşağıda, yüksek değer ve düşük değer olarak belirtilen nitelikler, bu yüksek ısı akılı alan içindeki göreceli değişikliklerdir (Şekil 4).

i) Isı Akısı Haritasında, alanın güney doğusunda yer alan, GB-KD yönlü (H-10, H-11, H-26 ve H-6) da, aynı yerde kümülatif üretimleri yüksek bir alan olarak yer almaktadır (Şekil 3). Görüldüğü gibi, iki cins yüksek değerli alan, tamamiyle birbiri ile çakışır durumdadır.

ii) Isı Akısı Haritasında, alanın kuzeybatısındaki, yine GB-KD yönlü (H-19, H-18, H-24, H-15, H-22, H-5 sondaj yerlerinin belirlediği yön), yüksek değerli anomalinin sadece kuzeydoğudaki yarısı, Kümülatif Üretim Haritasındaki (H-22, H-15, H-5) kuyuları etrafındaki kısımlar, yüksek değerli kümülatif üretim alanı ile çakışmaktadır. diğer yarısı (H-19, H-18, H-24) ise pratik olarak üretimsizdir.

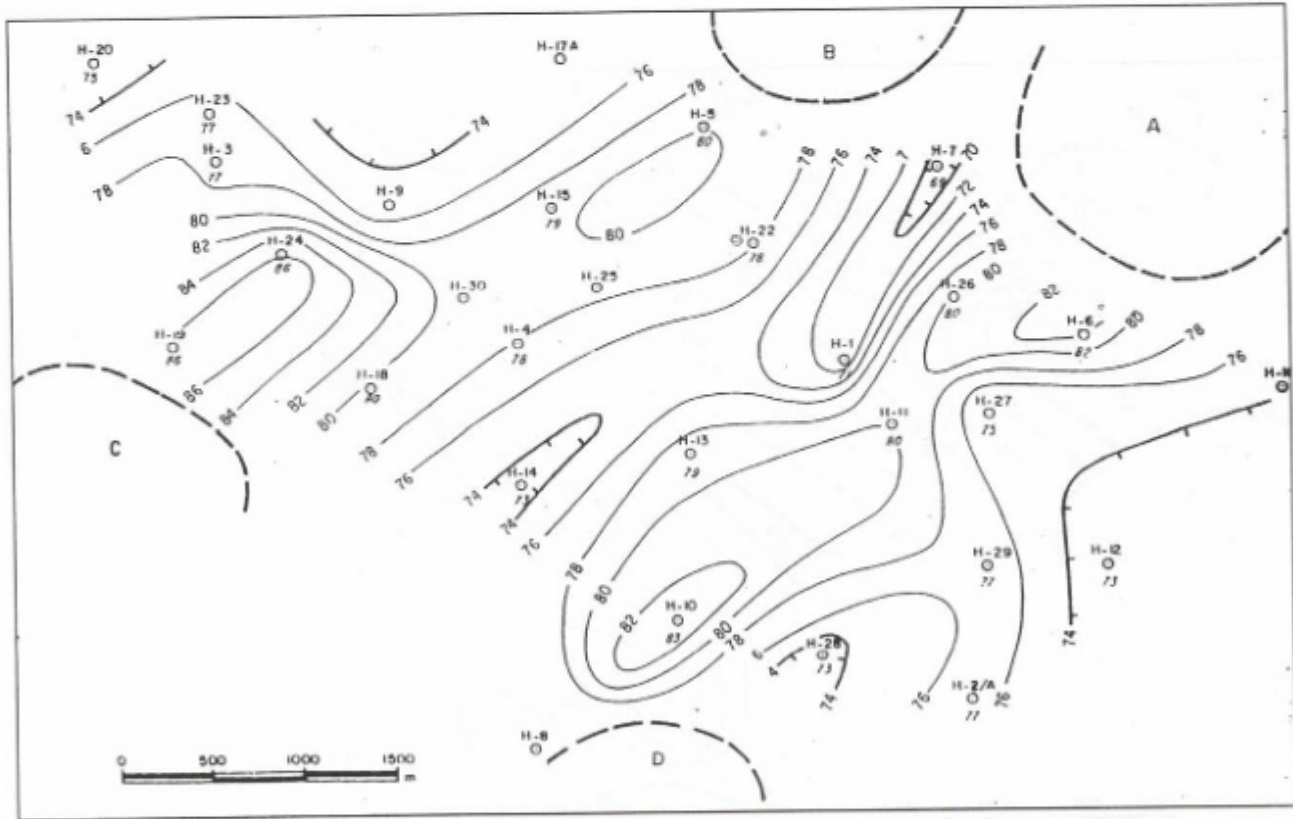
Harita karşılaştırmasında alınan bu sonuç, yüksek

kümülatif üretim alanlarının %75'inin, yüksek ısı akılı alan olarak Isı Akısı Haritalarında görülebildiğini göstermiştir. Hamitabatın çok küçük bir alan ve doğalgaz alanı olduğu düşünüldüğünde, bu önemli bir sonuçtur.

HAMİTABAT'TA GELİŞİM OLASILIĞI OLAN ALANLAR

Yukarıdaki sonuca dayanarak Hamitabat Doğal Gaz Alanının gelişme olasılığı olan kısımlarını trend'ler şeklinde belirleme olanağı doğmuştur. bunlar GB-KD yönlüdür. bu trend'ler üzerinde ve üretim alanının dışında sezilen, bu çalışmada ümitli alan olarak nitelendirilen alanlar, A,B,C ve D olarak Isı Akısı Haritasında gösterilmişlerdir (Şekil 7).

İşaret edilen bu alanlarda, mevcutlardan, veya yeniden yapılacak jeolojik ve jeofizik etüdlerle tesbit edilecek sondaj noktaları, yüksek ısı akılı uzanımlar üzerinde bulunacaklar ve buluş yönünden şanslı olacaklardır.



Şekil 7. Hamitabat Doğalgaz Sahası, Isı Akısı Haritası (mW/m^2) ve incelenmeleri önerilen alanlar (A, B, C, D).

Figure 7. Hamitabat Natural Gas Field, Heat Flow Map (mW/m^2) and the areas suggested for reinvestigations (A,B,C,D).

Bu durum, üretilen suyun rezervuara doğal gazın geldiğinden farklı bir ortamdan geldiğine işaret etmektedir.

Böyle bir bilgi, rezervuar yönetimi "Field Management" bakımından yararlı olabilir.

Ayrıca, bu bilginin kazanılmış olması, üretilen suyun bazı senaryoların yapımına imkan da verebilmektedir. Örneğin, rezervuar basıncının, rezervuarın dışında, rezervuarla bağlantılı fakat henüz keşfedilmemiş başka rezervuardan doğal gaz gelişini önlediği şeklinde bir yorum yapılabilmesi durumunda, uygun yerlere açılacak su kuyularından su çekilerek, basıncın düşürülmesi ve dolayısıyla da, rezervuara doğal gaz gelişini sağlanabilir ve de üretim arttırılabilir.

Çıkmakta ve çıkacak olan su 130 °C'lık bir sıcak sudur. Bu suyun Lüleburgaz'da şehir ve sera ısıtıcılığında kullanılması mümkündür.

SONUÇ

i) Doğal gaz alanında doğal gazın bir yapı içinde bulunduğu ortamlar diğer kısımlara oranla daha yüksek sıcaklıktadır.

ii) Doğal Gaz taşıyan bu yüksek sıcaklıklı alanların GB-KD yönlü iki uzanım şeklinde olduğu belirlenmiştir.

iii) Doğal Gaz alanının dışında fakat bu uzanımlar üzerinde seçilen A,B,C ve D alanları, doğal gaz taşıma yönünden ümitli alanlar olup; sondaj yeri tesbiti bakımından, mevcut veya yeniden yapılacak jeolojik ve jeofizik etüdlerle en kısa zamanda ele alınmaları gerekli alanlardır.

iv) Termal haritalardaki dağılımlarla kümülatif su üretim haritasındaki yükselimler arasındaki uyumsuzluk, suyun orijininin doğal gazından farklı olduğuna işaret etmektedir. Bu durumun bilinmesinin, sahanın üretim programlanması yönünden katkısı olabilir.

v) Sahada çıkmakta olan ve rezervuardaki sıcaklığı 130 °C olan atık suyun Lüleburgaz'ın ısıtılması için değerlendirilme olasılığı incelenmelidir.

vi) Metod, halen geliştirilmiş veya geliştirme aşamasında olan veya tükenmekte olan bütün doğal gaz ve

petrol alanlarının daha fazla geliştirilmeleri, tükenmiş alanların yeniden kazanılmaları gibi geliştirmenin her aşamasında önemli yönlendirmeler yapabilecek güçtedir.

vii) Hamitabat Sahası çok küçüktür ve bir gaz sahasıdır. Metodun büyük sahalarda ve özellikle petrol sahalarında çok daha sonuç alıcı olması beklenmelidir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın yayımına izin veren TPAO Genel Müdürü Sayın Osman Demirağ'a ve başlangıcı 1993'e kadar giden çalışmaya veri sağlayan o zamanki Arama Grubu Başkanı Sayın Dursun Açıkbaz ile her aşamada önemli katkıları olan yine o zamanki Trakya Bölge Arama Müdürü Sayın M.Ali Duygu'ya teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Tezcan, A.K., and Turgay, M.I., 1991, Heat Flow and Temperatur distributions in Turkey. Geothermal Atlas of Europe, E. Hurtig, V. Çernak, R.Haenel and V. Zui (eds.), Hermann Haack Verlag, Gotha, Germany.
- Tezcan, A.K. 1992, Formula for calculation of ground temperature at 1 m depth in Turkey. Geothermics, 21, 415-417.
- Tezcan, A.K., 1993, Hamitabat sahası doğal gaz kuyularındaki termal değerler ve alanın geliştirilmesine olası katkıları. Türkiye Petrol Jeologları Demeği bülteni, C.5/1, Aralık 1993, TPJD; Ankara.
- Tezcan, A.K. 1995, Geothermal Explorations and Heat Flow in Turkey. Terrestrial Heat Flow and Geothermal Energy in Asia. Mohan L. Gupta and Makoto Yamano (eds.), Oxford & IBH Publishing Co. PVT.LTD., New Delhi, India
- Tezcan, A.K. 1995, Hamitabat Sahası doğal gaz alanının, kuyulardan kazanılan termal parametreler ile yeniden değerlendirilmesi. Trakya Havzası Jeolojisi Sempozyumu, 30 Mayıs-3 Haziran 1995, Lüleburgaz.

EĞMİR HELENİSTİK (LİDYA) DÖNEMİ YATIRINDA (TÜMÜLÜS) ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMALAR DENİZLİ- TÜRKİYE

Archaeogeophysical Investigations At Egmir Lydian Tomb, Denizli-Turkey

Ahmet ERCAN^{1,2}

ÖZET

Denizli (Tengüzlü)- Ladik ilinde yerleşim Kalkolitik çağdan başlar, Tunç, Hitit, Frig, Karya, Lidya, Pers, Helenistik Roma, Doğu Roma, Selçuk, Osmanlı uygarlıkları ile sürer. Bu uygarlıklara özgü kalıntılar tüm ili bezemiştir. Bunlardan biri olan, Eğmir Toptaş tümülüsü, çapı 25 m, görünür yüksekliği 3.7 m. ve üzeri karbonat çakıllı toprakla örtülmüş yarım yumurta biçimindedir. Arkeojeofizik çalışmalar, 3 metre aralı, herbiri 40 metre boyulu, D-B uzanımlı 10 doğrultu boyunca 1'er metre aralarla, Elektrik, Elektromanyetik (VLF), Radyometrik, Manyetik, Gradiometrik ve sürekli biçimde Yeraltı Radarı (GPR) kullanılarak yapılmıştır. Tümülüste karşılaşılan öz dirençler, ortalama; 160 ± 40 , kil dolgu boşluk 50 ± 50 , çakıllı toprak 200 ± 50 , taş kalıntı 400 ± 100 ohm-m'dir. Schlumberger kaydırması ile, $b=1$, $r=14.5$ m için 5-6, $r=15.5$ m için 8-9 metre derinlikler incelenmiştir. O nedenle tümülüs üzerinde tarla başından 5 metre derinlik incelenmiştir. Elektrik delgi ile 50 m'ye Yeraltı Radarı ile 11 m'ye Radyometrik ile 0.5-1 m'ye dek bakılmıştır. ROA(x) eğrilerinde bölgesel ve yerel belirtiler belirgindir. Ortadaki iletken bölüm tümülüsün içinin toprak ile dolu olduğunu, kenardaki dirençli kesimler ise tümülüsü

ABSTRACT

Antic civilization in Anatolia and Laodikeia (Ladik-Tengüzlü Denizli) goes back to Chalcolithic age (4000BC) and continues with Bronze, Hittite, Phrygian, Carian, Lydian, Persian, Hellenistic, Roman, Eastern Roman, Selchuk, and Ottoman periods. All over province is adorned with remnant of above civilizations. Toptaş tomb in Eğmir is one of these remnants taking place in a hill side with apparent dimensions of 25 meters of diameter, 3.7 meters of height from ground level, which covered with carbonated pebble stones and clay mixture, making a form of an half egg. Integrated geophysical surveyings, namely, Ground Penetrating Radar (GPR), D.C. Electrical Resistivity, Electromagnetic (VLF), Radiometric, Magnetic and Gradiometric surveying were run along the 40 meters long 10 profiles, separated 3 meters apart, with sampling interval of 1 and 0.1 meters. Maximum investigation depths for GPR is about 11 meters with 100 MHz antenna and 30 meter for VLF and 15 meters for electrical resistivity, 0.5 to 1 meters for radiometry. Average resistivities for soil are

1 Yeraltı Aramacılık Bilimsel Araştırma Kuruluşu, Spor Cad. Acısu Sok. 9/2 Beşiktaş, İstanbul

2 İTÜ Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ayazağa, İstanbul.

çevreleyen bir duvar olabileceğini işaret eder. Oda içinde elektrik öz direncin 50 Ohm-mi dolayında iletken olmuş olması ve içinde yer yer 450 Ohm-m'ye ulaşan belirtiler görülmesi, tümülüs içinde taş yapıların olduğunu, ancak tavandan düşen toprak dolgusu ile yer yer örtüldüğünü gösterir. Tümülüsün iç duvarlarını yansıtan belirtilerinin genliği 400 ile 600 ohm-m arasında. Bunun büyüklüğü duvar üzerindeki örtünün inceliği ile orantılıdır. Buna göre dış çevre duvarı genişliği en çok 20 metre dolayındadır. Tümülüsün üst toprak dolgusu 1.5 m, taş örgü katman 2.6 m, toprak dolgu 4.5-5 metre, tümülüs taban derinliği ise 8 ile 11.5 metre dolayındadır.

VLF akım yoğunluğu iletken bölüm üzerinde büyük eksi değerler vermiştir. Radyometrik K-40 ışı-nımı değerleri 0.2 ile 2.6 cps arasında değişmektedir. Çevredeki kayalar karbonatlı kireçtaşları ve şistlerdir. Kireçtaşları ve killerin ışı-nı değerleri düşük iken diğer metamorfik ve volkaniklerin yüksektir. K-40 kapanımları veren yerler taşlı kesimleri gösterir.

Alanda ortalama T- γ manyetik toplam alanı değeri 45750 gamma dolayındadır. Yüksek değerler 46300, düşük değerler 42300 gamma dolayındadır. Yüksek mıknatıslanma olan yerlerde gömülü mıknatıslanabilir metal ya da volkanik/metamorfik kayalar beklenebilir. Yüksek manyetik kapanımlar daha çok tümülüsün güney, güney-doğusunda yer almaktadır. Bu durum taş yapı kalıntılarının bu kesimde olduğunun bir işareti olabilir.

Birleşik Jeofizik yoruma göre, tümülüs girişi (dramos); İ27 noktasından H24 noktasına doğru, ön oda G24 girişinde G28-G21 arasında, ana oda girişi F20'de dir. Bu sonuçları kanıtlamak için C16 ve F20 noktaları altına yoklama çukuru (sondaj) kazılması önerilmiştir. Radar ölçümlerine göre mezar bir soygun geçirmiş A-B doğrultuları üzerinde 20-24 noktaları arasındaki kalıntılar götürülmüştür. J17 ile H17 noktaları arasındaki 9 m. boylu kuşak 1.3'den başlayıp 2.3 metreye derinleşen bir kalıntı ile simge-lenmektedir.

Yapılan kazılarda dramos'un kuzeyde, ön ve arka odaya birleşik, tepenin tam altında ise taş tekneli bir yakma yeri bulunmuştur. Gömüt önceden soyulduğundan, müzelik bulgu edinilememiştir.

160±40, clay filled rooms 50±50, soil with pebbles 200±50, stones 400±100 ohm-meters. There are not sufficient coincidences or signatures among the anomalies produced by different technics. However, the soil on the Tumuli represents with lower resistivity, minus minimum VLF current density, higher magnetic, and K-40 radiation emission. Same quantities are reserve for the country rock which is limestone's.

Electric resistivity submits a typical circular type anomaly which is higher at circumference and lower in the middle of hill, which was interpreted such that there may exist a encircling wall around the tomb with diameter of 20 meters and inside may be filled with soil. However such a circumference wall appear to be shifted from the present situation of the tomb. Local resistivity anomalies in the middle of conductive zone turned out to be stone structures of the grave room. Estimated depths to discontinuities from top to bottom are 1.5 meters, for top soil, 2.5 meters for stone sealing, 4.5 to 5 meters for soil fill, 8 to 11.5 meters for the basement or to the construction starting level.

K-40 radiometric values are lower (0.2 to 1.5 cps) on resistive, and higher (1.5 to 2.6 cps) on conductive places, because of relatively lower K-40 radiation emission of carbonated rocks with respect to clay. Total field magnetic values are around 42300 and 46300 gammas and they are relatively higher on soils and lower on limestones. GPR values reveal that original structure of tomb had been destroyed during different civilization periods and many stone walls removed by entrances from the north and southern sides.

If grave rooms and dramos were filled with soil, target axis lies from J27, on south, to F20, on north. Otherwise, SE or W sides are more promising. To verify the geophysical interpretation. We suggested digging several test holes at C16 and F20 locations. After excavation, a typical Hellenistic style was found on the north, addition to a cremation place beneath the crest.

GİRİŞ

Denizli, Batı Anadolu'da ve Ege bölgesinin güney doğusundadır. İlin en alçak yeri; 170 m ile Büyük Menderes çukurundaki Sarayköy Ovası, en yüksek noktası ise 2571 m ile Honaz Dağı (Cadmos)'dır (Şekil 1).

Denizli ilinde yerleşim Kalkolitik Çağda başlar, günümüze dek gelir. Denizli, Ege kıyılarını İç Anadolu ve Suriye'ye bağlayan yollar üzerinde bulunması nedeni ile çok çeşitli budanların akımına uğramıştır (Akurgal 1985). En eski yerleşim izleri Kalkolitik çağda (İ.Ö. 4000-3000) ve bunu izleyen Tunç çağında (İ.Ö. 3000-2000) izlemektedir. Bu çağlara özgü yerleşim alanı kazısı yapılan Beycesultan höyüğüdür. Ayrıca Çivril, Baklan, Acıpayam ve Tavas ovalarında da bu dönem kültürlerini yansıtan bir çok höyük bulunmaktadır (Bay-sal ve diğ., 1995).

Toptaş gömütü (tomb-tümülüs), Denizli ili Eğmir köyü güney doğusunda Toptaş semtinde tarla içinde yer alır. Yaklaşık tepe yüksekliği 3.7 metre olan tümülüsün çapı 25 metre dolayında olup biçimi yarıyuvara benzer. Özgün yüksekliğinin 7-8 metre olduğu sanılan tümülüs üzerinde tarım yapıldığı için 3.5-4 metrelik kısmı sürme ile çevreye dağılmıştır. Genelde 1.5 cm boylu karbonat çakılları ile kum-kil karışımı olan tümülüs dolgusu üzerinde çeşitli yerlerde çeşitli zamanlarda kaçak kazı yapılmıştır. Kaçak kazıların yapıldığı yerler güney ve batı yamaçlar ve tepe noktası altı ile son olarak 1995'te kuzey yamacıdır. Kuzeydeki kaçak kazı yüksekliği tarla düzeyi olup taban genişliği 5 metre alan tepye dek uzanan üçgen biçimli bir çukurluktur. Sonradan doldurulan bu oyuğun şimdiki derinliği 1.5-2 metredir. A, B, C, D, E doğrultularını yaklaşık 20-25'inci noktalar arasında kesen bu çukur tabanı kuzeye bakan bir üçgen biçimindedir (Şekil 7). Tarla sahibinin verdiği bilgilere göre, bu kazıdan 2 römork taş çıkarılmış, bu taşlar Eğmir köyünde ev yapımında kullanılmıştır. Açılan oyuklar, tarla sahibince doldurularak düzeltilmiştir. Son kazıdan çıkan taşların dramos (gömüt girişi) yolunun olduğu sanılmaktadır. Ön oda ya da ana odaya henüz girilip girilmediği bilinmemektedir.

Helenistik döneme özgü Denizli dolayındaki tümülüslerde dramos genellikle güney, güney doğuda yer al-

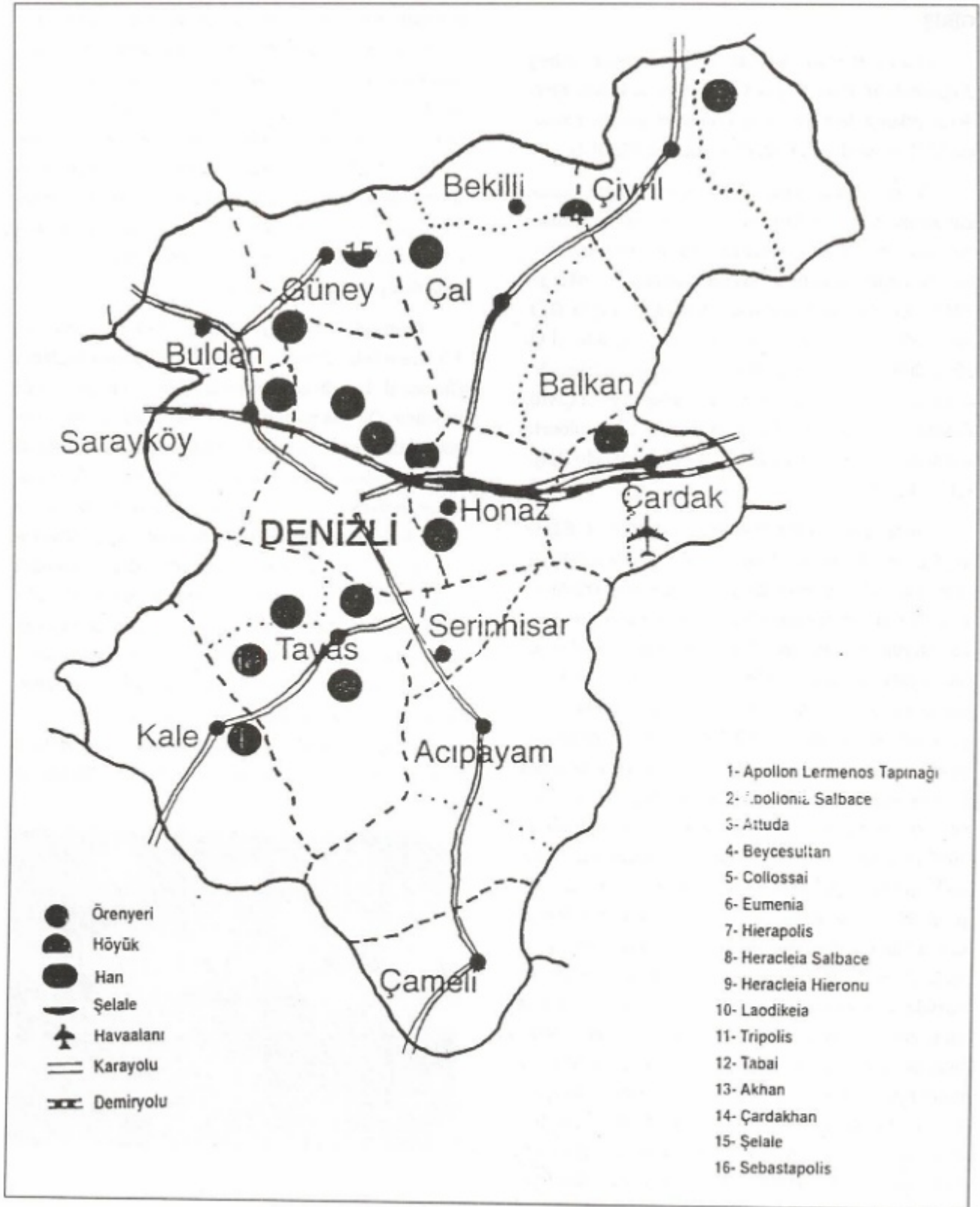
maktadır. Ancak Eğmir tümülüsünde dramos kuzey, kuzey batıda beklenmektedir. Helenistik dönemde yapılan tümülüsler, bir gelenek durumuna gelen soygunlarla önce Romalılar sonra Bizanslılarca soyulmuşlardır. Osmanlı ve Cumhuriyet dönemlerinde zarar verilmeyen tümülüsler, 1950'li yıllar sonrasında yeni bir soygun girişimine uğramışlardır. Romalı ve Bizanslılarca soyulmuş tümülüsler, içindikiler alındıktan sonra genellikle onarılmıştır. Dramoslar genellikle o yörede bulunan moloz taşlardan yapılmıştır (Fotoğraf 1).

Dramoslar genelde yüksekliği 1.5-2 metre, eni 1 ile 1.5 arasındadır. Dramos bir mezar ön odasına bağlanır. Dramos ile bu oda arası genellikle büyük bir taş engelle kapalıdır. Ön oda boyutu 5 ile 6 metre, mezar odası boyutu 3 ile 6 metre arasında olabilir. Bazı tümülüslerde mezar ön odası yoktur. Mezar odasında iyi işçilik yoksa, taşlar arasından kum sızması ile mezar ve dramos kil ve toprakla doldurulmuş olabilir. Mezarları soygundan korumak için Tümülüs tepe noktası altına değil, eksenden belli miktarda yana kaymış biçimde yerleştirmek gelenek olmuştur. Mezar genelde o yöredeki büyük kayalarla yapılmıştır. Eğmir'de bu taşlar traverten ya da kireç taşı olup, kof, bol erime boşluklu, tebeşirimsi görüntüdedir. Mezar yapısı genelde o yerdeki toprak düzeyinden başlayarak yapılır. Toprak kazılarak bir çukur açma gibi oluşumla karşılaşılmamıştır. Genelde, tümülüsün



Fotoğraf 1. Kazı öncesi Toptaş Tümülüsü ve jeofizik ölçüler.

Picture 1. Toptaş tumulus before excavation, and during the geophysical surveying.



Şekil 1. Denizli ili, ilçeleri ve ören yerleri (Baysal ve diğ., 1995).

Figure 1. Distribution of antic sites in Denizli, Turkey.

çevresine tepeyi tutsun diye yüksekliği 1 ile 2 metre olan çember biçiminde bir duvar, yığma taşlarla örülür. Bu duvar içine mezar odası, ön oda yerleştirilir. Ana ve ön oda genellikle yontulu şırlan kayalardan yapılır. Daha sonra üzeri o yöredeki toprak ya da çakıl toprak karışımı ile konik biçimde örtülür. Konik tepe üzerine kayrak taşlar örülerek, tümülüs bir yarım duvar ya da koni biçimine dönüştürülür (Şekil 2 ve 3).

Gerek, Tümülüsün yapılmağa başladığı taban derinliğini ve kültür katını belirlemek ve gerekse tümülüs içindeki dramos, ön oda ve ana oda (mezar odası) yer ve derinliğini belirlemek üzere bu yazının özünü oluşturan jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Çıkışlar yeraltı görünür kat haritaları, doğrultuları boyunca kesitler ve derinlik delgileri biçiminde alınmıştır. Üç gün ile sınırlı yerey çalışmalarında Toptaş tümülüsünün ön yapılış türüne uygun jeofizik araştırma yöntemleri seçilmiştir. Bunlar, Yeraltı Radarı, VLF, Elektrik (delgi ve kaydırma), Radyometrik, Manyetik ve Gradyometrik uygulamalardır.

Tümülüs Ölçeklenmesi

Tümülüs üzerinde jeofizik ölçü almak için yaklaşık KG yönlü doğrultular atılmıştır. Birbirine koşut ve araları 3'er metre olan doğrultuların boyu 40'ar metredir. Her doğrultu, dx= 1'er metre aralarla örneklenmiştir. Doğrultular KB'dan GD'ya doğru A, B, C, D, E, F, G, H, I ve J olarak adlandırılmış, her doğrultu üzerindeki noktalarla güneyden kuzeye doğru 0, 1, 2, 3, 40 olarak numaralandırılmıştır. A, B, J doğrultuları tümülüsün kıyısından geçerken, diğerleri üzerinden geçer. Tümülüs tepesinin başladığı ve bittiği yerler C'de 20-24, D'de 11-32, E'de 9-34, F'de 8-35, G'de 9-35, H'de 9-34, I'de 12-33, J'de 20-21 noktaları arasındır (Şekil 4).

Çevrede Tümülüsler

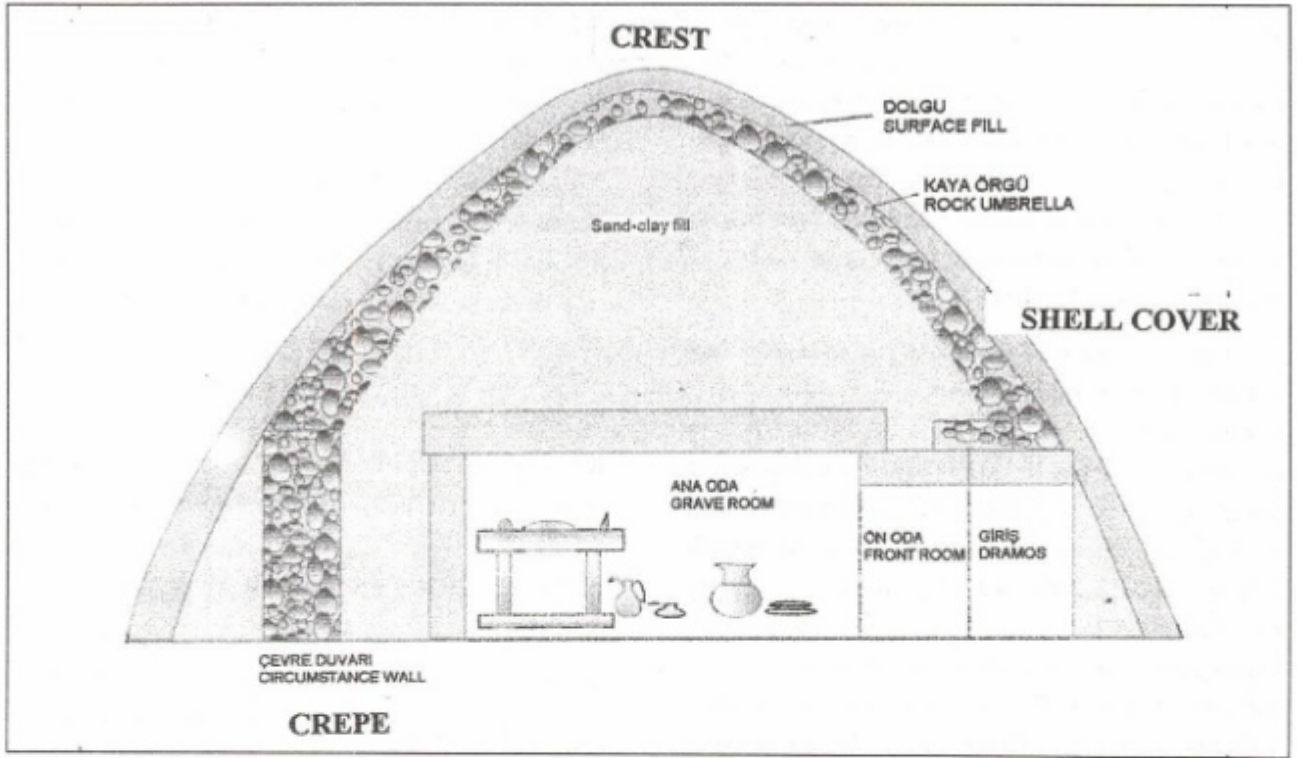
Denizli'de bu tür tümülüsler yaygındır. Bunların bir çoğu belirlenmiş, bir kısmı ise soygunların uğrak yeri olmuştur. Bunlardan Denizli Kabalar köyündeki Tümülüsde konik kapak örtü-döşeme taşı kayrak mika, kloritli şist, dolgu karbonatlı kil ve kireçtaşı çakılı karışımıdır. Tepe yüksekliği 15 metre, çapı 40 metre dola-

yındadır. Çevre duvarı bulunmuştur, ayrıca doruktan 12-13 metre aşağıya 2 metre çaplı kuyu açılmış ana ve ön oda bulunamamıştır. Goncalı - Çelikçi Laodikya'daki tümülüs doruk yüksekliği 14-15 metre arasında, çapı 50 metre kadar olup, dolgu killi dere çakılı topraktır. Yamaçlardan soyma için 3 yerden kazı yapılmıştır. Pamukkale doğusunda kaynaklar bölgesindeki tümülüs tepesi yüksekliği 10-12 metre dolayında, çapı 40-50 metre arasında olup, külah kesimi enaz 2-3 metre toplam kalınlığında 20-50 metre boylu mikaşist, killi şist taşları ile örülmüştür. 4-5 yerde soygun izi vardır. Eğmir'deki tümülüs çapı 25-30 metre dolayında olup, külah örgü taşları çift sürme amacı ile kaldırılmıştır. 3.7 metre yüksekliğindeki tepenin bugünkü durumunda salt toprak dolgu örtü görevini üstlenmektedir (Fotoğraf 2).

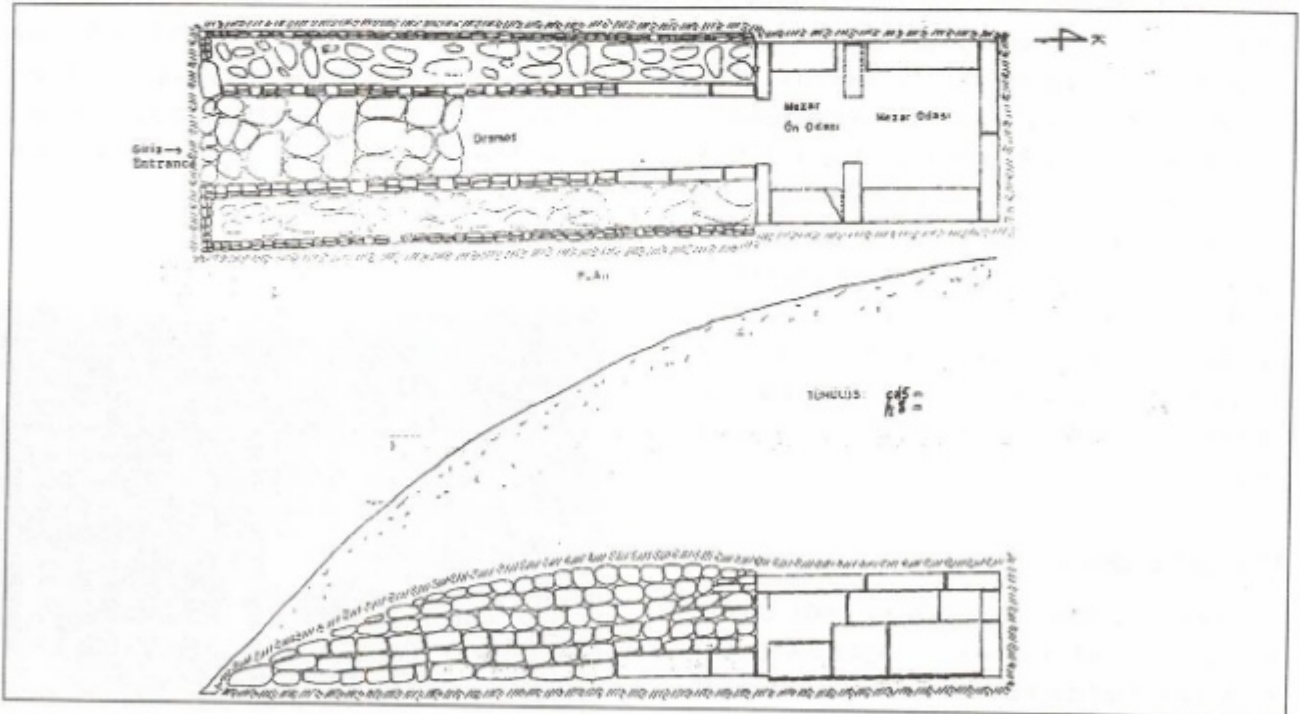
Bu güne dek edinilen bilgilere göre Denizli yöresinde tümülüslerin çapı 25 ile 45 m, yüksekliği 8-12 metre dolayındadır. Ortalama olarak dramos (giriş); genişliği 1.5 ile 3, yüksekliği 1.5-2 m, boyu 2 ile 8 metre, kenarları taş yığını, ortası koridor üstü üçgen biçiminde tavanlıdır. Dromosu izleyen mezar ön odası; genişliği 2.5, boyu 1.5, yüksekliği 1.5 m olup düzgün kesme taş ile örülü içi boşdur. Buna bir kapı ile bağlı asıl mezar odası ise; eni 2.5 m, boyu 2-2.5 m, yüksekliği 1.5 metre olup içi boş ve bir köşesinde kralın yattığı taş parçası yer alır. Tümülüslerde, çoğunlukla dromos güneş gören yanda olur.



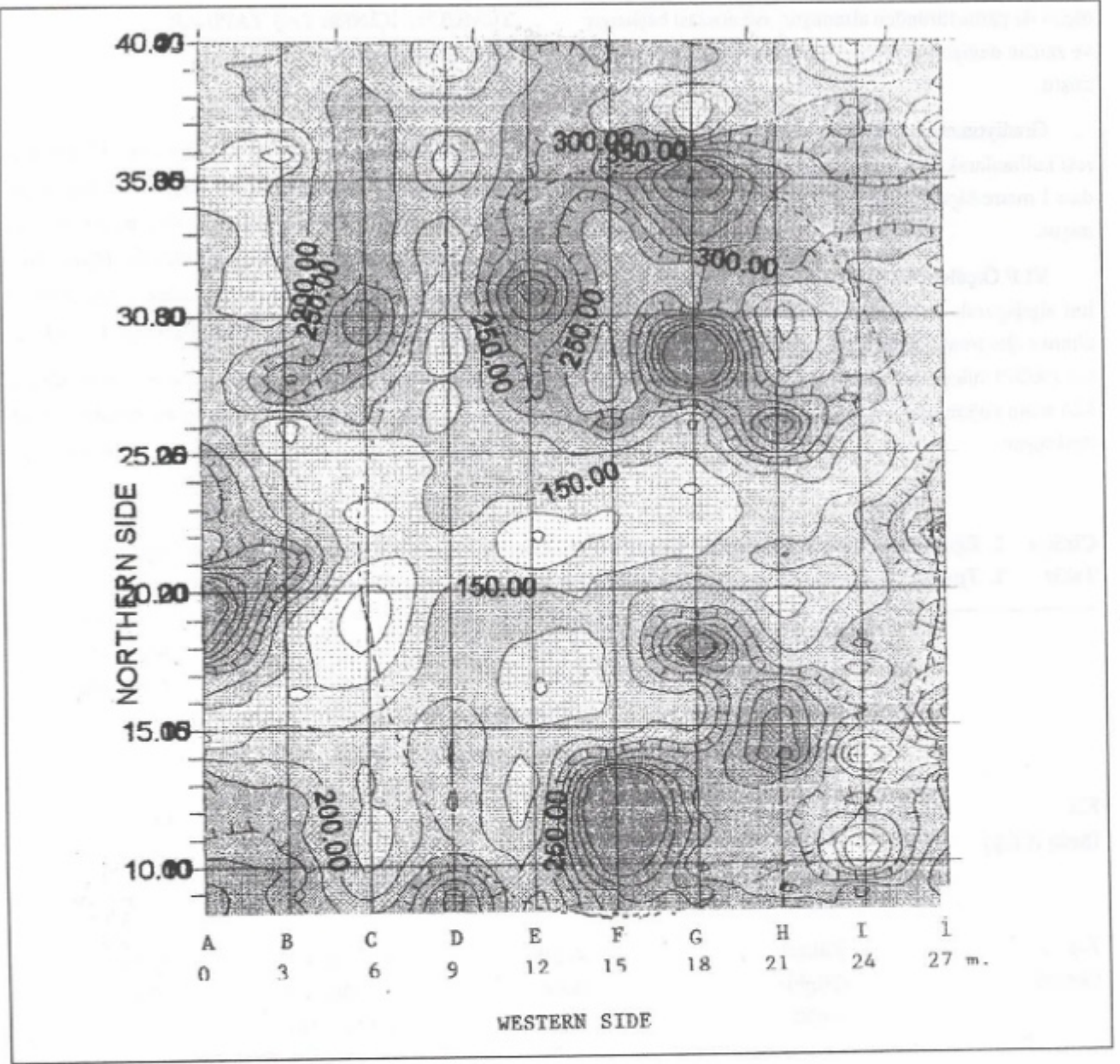
Fotoğraf 2. Pamukkale'de Roma türü bir tümülüs.
Picture 2. Roman type tumulus at Hieropolis.



Şekil 2. Genelleştirilmiş bir tümülüs kesiti.
Figure 2. Generalized typical tumulus section.



Şekil 3. Beylerbeyi tümülüsü kesiti (altta) ve üstten görünüşü (üstte).
Figure 3. Section (below) and projection (above) of Beylerbeyi tomb.



Şekil 4. Doğru akım elektrik özdirenç kat haritası. Serim DB, dizilim Schlumberger, $r=14.5$ m.

Figure 4. D.C. electrical resistivity map. Schlumberger, lay-out direction EW, $AB/2 = 14.5$ meters.

JEOFİZİK ÖLÇÜLER

Yeraltı Radarı Ölçümleri. 100 Mhz'lik antenler kullanılarak, doğrultuları güneyden kuzeye tarayarak (A0-A40 gibi) ve anten eksenlerini ölçü doğrultusuna dikey tutarak 0.10 metre aralıklarla alınmıştır. EM dalga hızı $100 \text{ m}/\mu\text{Sn}$ olarak ayarlanmıştır. Bu duyarga ile bakma derinliği yaklaşık 12 metre olmuştur.

Elektrik Özdirenç Ölçümleri. Schlumberger dizilimli, $I=10 \text{ mA}$ durağan akım vererek alınmıştır. Kaydırma ölçümleri $r_1=14.5$ ve $r_2=15.5$, $b=1 \text{ m}$ için doğrultular boyunca alınmış, ölçülen değerler iki nokta arasına atanmıştır. Yaklaşık inceleme derinliği 5 ile 8 metre arasındadır.

Manyetik Alan Ölçümleri. toplam manyetik alan

ölçeri ile gama türünden alınmıştır. A0 noktası başlangıç ve zaman değişimini ölçmek için ana nokta olarak seçilmiştir.

Gradiyometrik Ölçümler, UNIMAC magnetometresi kullanılarak $dy = 0.55$ m yükseklik ayrılığı seçilerek $dx = 1$ metre ölçü aralıkları ile doğrultular boyunca alınmıştır.

VLF Ölçümleri, WADI ile 18.1 khz'lik radyo sinyali algılayarak doğrultular boyunca 1'er metre aralarla alınmış elektromanyetik alanın % gerçek (%IP) ve % sanal (%OP) bileşenleri ölçülmüş, ölçüm sırasında SIG-MA akım yoğunluğu anında görüntülenmiş ve değerlendirilmiştir.

TÜMÜLÜS İÇİNDE TAŞ YAPILAR VE DOLGULAR

Elektrik Kat Haritaları

Schlumberger $b = 1$ m, $r_1 = 14.5$ ve $r_2 = 15.5$ m için KG doğrultusunda serim ve bu doğrultuda kayma ile sürdürülmüştür. Atama G1, G2 gerilim uçları ortasına yapılmıştır. Kullanılan akım $I = 10$ mA'dır. Eğmir Toptaş'da gözlenen görünür elektrik özdirenç değerleri ve olası yorumları izleyen biçimdedir (Çizelge 1 ve 2).

Hesaplara göre $r = 14.5$ metre için inceleme derinliği 6, $r = 15.5$ metre için 8-9 metre dolayındadır. Tümülüsün ortada 3.7 metre yüksekliğinde bir yarım yuvardan

Çizelge 1. Eğmir tümülüsünde karşılaşılan iki ayrı birime karşı çeşitli jeofizik yöntemlerin simgesel tepkileri.

Table 1. Typical responses of geophysical methods for commonly faced two materials at Eğmir tomb.

	Elektrik Özdirenç D.C. (Electric Resistivity) Ohm-m	K-40 Işınım (Radiation)	VLF Akım Yoğunluğu (Current Density) cps	Magnetik (Magnetic) Gamma
Kil (Soil) (Clay)	Alçak (Low) 50-100	Yüksek (High) 1.5-2.6	- En düşük (-Minimum) (-10 to -30)	Orta (Medium)
Taş (Stone)	Yüksek (High) > 400	Alçak (Low) 0.2-1.5	± En yüksek (± Maximum) (-3 to + 10)	Yüksek (High)

Çizelge 2. Denizli-Eğmir - Toptaş tümülüsünde simgesel görünür elektrik özdirenç değerleri.

Table 2. Typical apparent resistivity values of Toptaş tomb, Eğmir-Denizli.

	ROA Ohm-m	
Tümülüs üzerinde ortalama değer	160 ± 40	Average Resistivity
Kil dolgu boşluk	50 ± 50	Voids filled with clay
Sıkı, yer yer taşlı toprak	200 ± 50	Pebble mixed soil, stiff
Taş ve kayadan oluşmuş kalıntılar	400 ± 100	Remnants made of rocks and stones

oluşturduğuna göre, tepe kesimdeki ölçülerde 9 metrelik girişle tarla düzeyinin 6 metre ile 3 metre altına inildiği, yuvar dışındaki alanlarda (1 ile 12'nci noktalar arası) tarla düzeyinin 6 ile 9 metre altından bilgi edinildiği anlaşılmaktadır. Diğer bir deyimle, tümülüsün doğal topoğrafyası nedeniyle, kat haritalarında görülen elektrik öz direnç değerleri aynı derinlik düzlemindeki değerleri yansıtmadığı değerlendirilmede gözönünde bulundurulmuştur. Şöyleki tümülüs altındaki taban topoğrafyası bile ölçülere yansımış olabilir. Tümülüsün yaklaşık tepe noktası E-D 23 - F22 noktasına denk gelmektedir. Genel olarak 300 Ohm-m'den büyük öz direnç değerleri ile kapanımlar oluşturmuş kesimler taş yapı ya da boş bölümler olarak 50-100 Ohm-m'lik iletken kesimler ise içi kil toprak ile dolu boşluklar ya da kuşaklar olarak yorumlanmıştır.

Bölgesel Elektrik Belirti

Yanal elektrik kaydırma ölçüleri; bir uzun dalga boyu bölgesel (regional) ve onun üzerine binmiş yüksek sıklıkta belirtileri içerir. Büyük dalga boylu belirtinin en büyük dalga boyu 30 metre, genişliği (tepeden-çukura) 200 ohm-m dolayındadır. Sinizoidal biçimli bölgesel belirti tümülüsün üzerine denk gelen yerlerde küçük, tümülüs etekleri dışında kalan yerlerde büyüktür. Tümülüsün kuzey kenarı dışında kalan A doğrultusu ile güney kenarındaki I doğrultusunda bu tür bir bölgesel etki görülmez.

İletkenlik işareti tümülüs üzerinde, dirençli işaretler genelde tümülüs dışındadır. Ortadaki iletken bölüm çevre duvarı arasında kalan tümülüs oda sınırlarını gösterir. Kenarlardaki yüksek öz dirençli kesimlerin tümülüsün çevre duvarını gösterdiği sanılmaktadır. Tümülüs üzerinde iletkenlik belirteci oluşması, boşlukların kil ile dolu olduğunu işaret eder. İletken bölüm içindeki dirençli kesimler, ön-ana oda işaretleri olabilir. Tümülüs dışındaki dirençli belirtiler ise, ana kaya ya da tümülüs yanındaki yapıların işareti olabilir. Tümülüsün iç odasının tümü iletken kuşak üzerinde yer alır. Elipsoidal-çember biçiminde olan tümülüsün çevre duvarlarının yaklaşık kalınlığı, yıkıntılarla birlikte 1-1.5 metredir. Duvarın batıdaki kesiti genellikle (B, D), doğudaki (I) belirtisi ile simgelenmiştir. Bu ikisinin arasındaki işa-

retler oda içindeki kalıntıları yansıtır. Oda içinde elektrik öz direncin 50 Ohm-m düzeyinde iletken olması ve içinde yer yer 450 Ohm-m'ye ulaşan belirtiler görülmesi, tümülüs içinde taş yapıların olduğunu, ancak tavan dan düşen toprak dolgusu ile yer yer örtüldüğünü gösterir. Tümülüsün iç duvarlarını yansıtan belirtileri genişliği 400 ile 600 ohm-m arasındadır. Bunun büyüklüğü duvar üzerindeki örtünün inceliği ile orantılıdır. Buna göre olası dış duvarla çevrilmiş odanın çapı 20 m dolayındadır (Şekil 5).

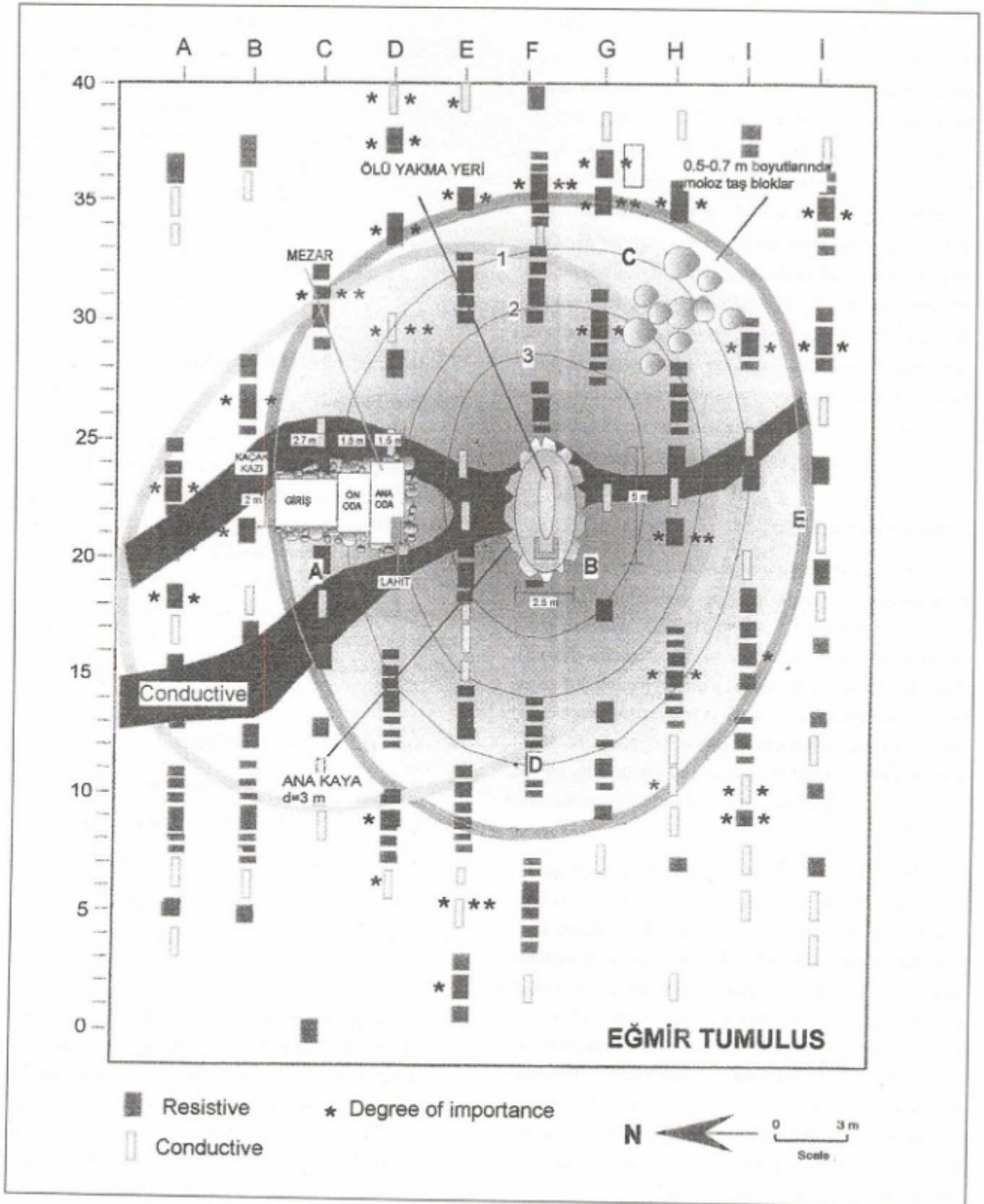
TÜMÜLÜS TABAN DERİNLİĞİ

Simgesel Elektro

Tümülüsün yapılmaya başlandığı taban derinliğini belirlemek üzere G30 noktasında Schlumberger dizilimi ile ölçüler alınmıştır. En büyük $2r = 140$ m için, yeraltı elektrik öz direnç delgi tepkisi HKH türüdür. G30 noktasının tarla düzeyinden yüksekliği z_0 , yaklaşık 1.5 metredir. Bu yükseklik altında 5 tane katman bulunmuştur. Bu katmanların yukarıdan aşağıya öz dirençleri (RO), kalınlıkları (H), taban derinlikleri (D) ve ölçü noktası yüksekliğine göre kodları (z) ve türleri aşağıda verilmiştir.

N	RO	H	D	z	TÜR
1	300	1.5	1.5	0	Tümülüs üst toprak dolgusu
2	150	0.7	2.2	-2.2	Nemli Toprak dolgu
3	470	0.4	2.6	-2.6	Taş örgü katmanı
4	135	2.3	4.7	-4.7	Toprak dolgu
5	720	-	-	-	Kaya taban

Bu değerlere göre tümülüsün taban derinliği, bugünkü tarla düzeyinin 4.7 m altındadır. Bunun üzerinde 2.3 metre kalınlığında toprak dolgu, önü üzerinde 0.4 kalınlığında tümülüsü duraylı tutmak için yapılan taş örgülü katman ve onun üzerinde 0.7 metre kalınlığında nemli toprak dolgu ve en üstte de üzerinde bugün tarım yapılan 1.5 metre kalınlığında kuru toprak yer alır. Bu sonuca göre tarla düzeyinden bugünkü yüksekliği 3.7 metre olan tümülüsün tabanına erişmek için inilmesi gereken derinlik $3.7+4.7 = 8.4$ metre dolayındadır.



Şekil 5. Doğrultular boyunca yüksek ve düşük öz dirençli süreksizlikler ile buluntuların karşılaştırılması.
Figure 5. Correlation of excavation results with low and high resistive zones, along the profiles.

VLF SÜREKSİZLİKLERİ

VLF değerlendirmelerinde, süzölmüş gerçek bileşen (akım yoğunluğu SIGMA); iletkenler üzerinde artı bir doruk, dirençli birimler üzerinde eksi bir çukurluk verir. Süzölmüş sanal bileşen ise örtü katmanının durumuna göre artı ya da eksi doruk verebilir. Sanal bileşen bulunan yapının iletkenliğini işaret eder. Su içeren süreksizliklerde sanal sifıra yakın ve gerçel bileşenden küçük iken, madenler üzerinde genliği gerçel bileşen kadar büyür. Tuzlu su üzerinde %IP artı doruk değer alırken %OP değeri eksi çukur değer alır. Buna göre yapılan VLF değerlendirme sonuçları, doğrultular boyunca yer, belirti genliği önemi ve WADI yazılım değerlendirme sonucu ile verilmiştir. Artı değerler gözönüne alınmaksızın eksi belirtilerin birleştirilmesi sonucu olası yeraltı arkeolojik süreksizliği ortaya çıkmıştır. Buna göre dirençli süreksizlik ya da mezar odası CD doğrultuları ve 12-24 noktaları arasındadır. D-B uzanımlı süreksizliğin boyutu 3 m (K-G) ve 12 m (D-B), alanı ise 36 m²'dir.

RADYOMETRİK ÖLÇÜMLER

Gama spektrometresi ile tümülüsten çıkan radyoaktif ışınlardan K-40 potasyum ve U-Uranyum radyasyonu 10 saniyelik sayım 1 metre aralarla 400 noktada alınmıştır. Ayrıca, her 10 noktada bir 6 kanallı olarak TC, TC-S, Th, K-40, U, U⁺ radyasyonu da ölçülmüştür.

En belirgin işaret veren K-40 radyasyonu olmuştur. Bunun değerleri 0.2 ile 2.6 cps arasında değişmektedir. Çevredeki kayalar karbonatlı kireçtaşları ve şistlerdir. Kireçtaşları ve killerin ışın değerleri düşük iken diğer metamorfik ve volkaniklerin yüksektir.

MANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİ

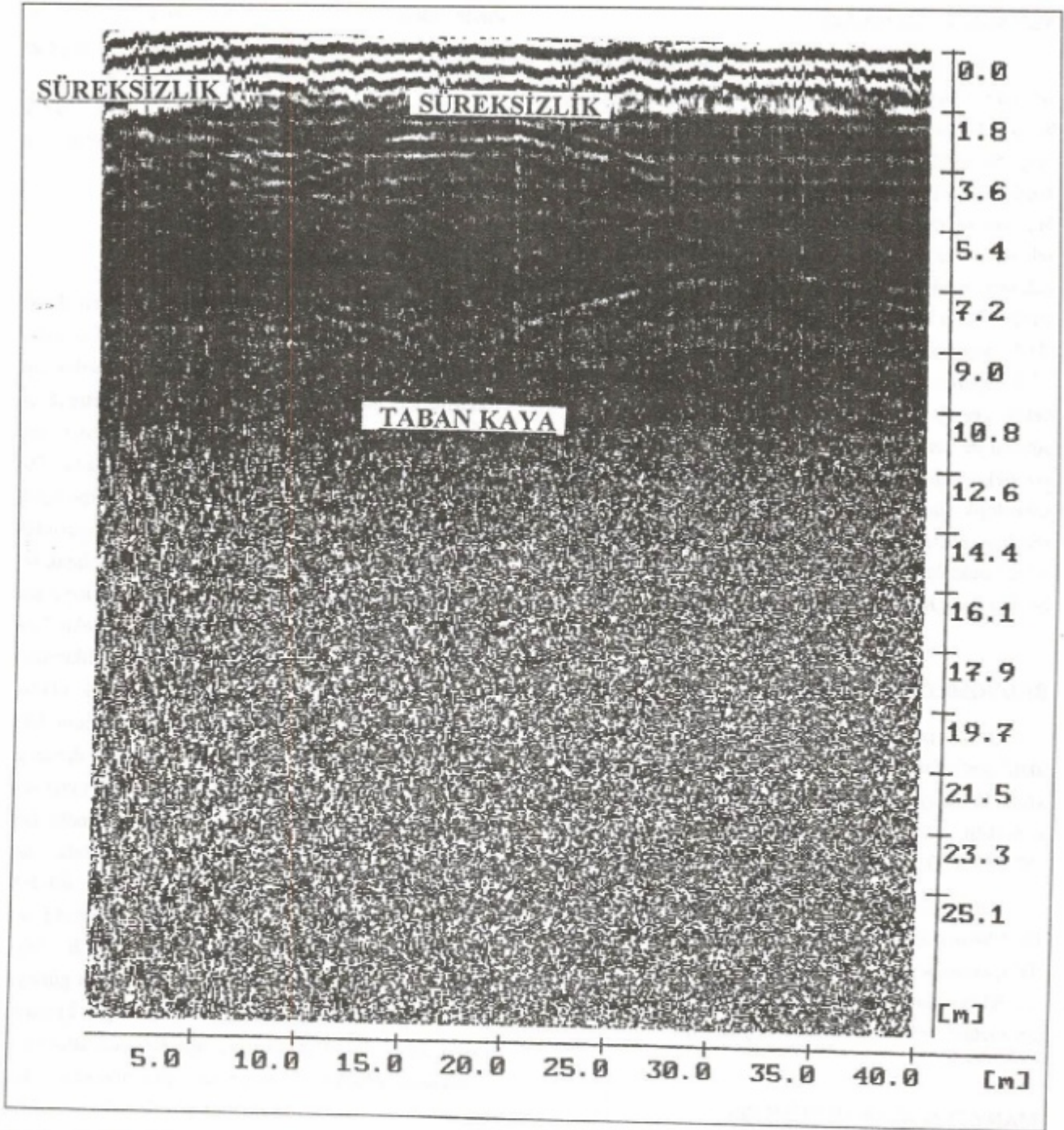
Alanda ortalama T-yer manyetik toplam alanı değeri 45750 gamma dolayındadır. Yüksek değerler 46300 düşük değerler 42300 gamma dolayındadır. Yüksek mıknatıslanma olan yerlerde yer içinde mıknatıslanabilir metal ya da volkanik/metamorfik kayalar beklenebilir. Yüksek manyetik kapanımlar daha çok tümülüsin güney, güneydoğusunda yer almaktadır. Güneydoğuda manyetik alan büyümesi, taş yapılı kalıntıların bu ke-

simde olduğunun bir işareti olabilir. Manyetik alan değerlerinin 43000-46000 arasında değişmesi ve simgesel belirti vermemesi ilginçtir. Gradiometrik ölçülerden beklenen sonuç edinilememiştir. Ancak yer yer yüksek öz dirençli kesimlerin yüksek magmatik alan noktalarına denk gelmesi göze çarpmaktadır.

YERALTI RADARI BELİRTİLERİ

100 Mhz alıcı-verici duyaraları 50 cm aralı olarak tutulmuş, merkez doğrultu boyunca gezerken 10 cm aralı ölçüler alınarak, yeraltı radar kesitleri çıkarılmıştır. 100 Mhz için inceleme derinliği yaklaşık 22 metre dolayında olmuştur. Kesitlerde izleneceği gibi, tümülüs üzerindeki toprak yatay katmanlı olarak görülmüştür. Tümülüs içinde yeralan kaya kütleleri üzerinde hiperbolik saçılmalar gözlenmiştir (Şekil 6). Tümülüsin inşaa edilmeğe başlandığı toprak düzeyi düz bir yüzey olarak izlenmiş olup, olasılıkla bu taban, o yörenin ana kayasına denk gelmektedir. Taban derinliği 10.5 m dir. Şekil 7'de doğrultular boyunca karşılaşılan radar süreksizliklerinin yerleri batıdaki başlangıç noktasından uzaklık olarak (H32.5 m) gibi ve o süreksizliğin ölçü noktası altındaki üst yüzeyinin derinliği 6.2 m gibi ve önem derecesi (***) yıldız sayısı ile belirtilmiştir. Hiperbolik radar süreksizliklerinin kuzeybatıda B, C, D, E 0-3 noktaları arasında olmuş olması ilginçtir. Çünkü bu noktalar, var olan tepenin dışındadır. B1.9-C0.7 - D0.2- E0-F0, G1.7, H1.7, I(-1), J0.8 arasında yer alan KG uzanımlı bir kuşak ilgi çekmektedir (Şekil 7). Kuzeyde B- doğrultusu dolayında 5.6 metre olan bu süreksizlik güneye gittikçe sığlaşmakta GH arasında doğruya doğru 2 metrelik bir girinti yaptıktan sonra yeniden KG doğrultusunda uzanmakta, güneyde 1.2 m'ye dek sığlaşmaktadır. Olası bir kalıntı olabilecek süreksizliği denetlemek üzere J0.8 noktasından başlamak üzere belirtilen derinliklerden yoklama yapılması önerilmiştir. Ancak bu süreksizlik kazılarak bakılmamıştır.

Radar bilgilerine göre diğer önemli bilgiler, kaçak kazı alanının batısında KB-GD doğrultusunda yaklaşık 50-60 cm genişliğinde 7 metre uzunluğunda bir süreksizlik olup derinliği 2 ile 8.2 metre arasına değişir (Şekil 7). Kaçak kazı yapılan yer 1.8 ile 2.5 derinliğinde bozul-

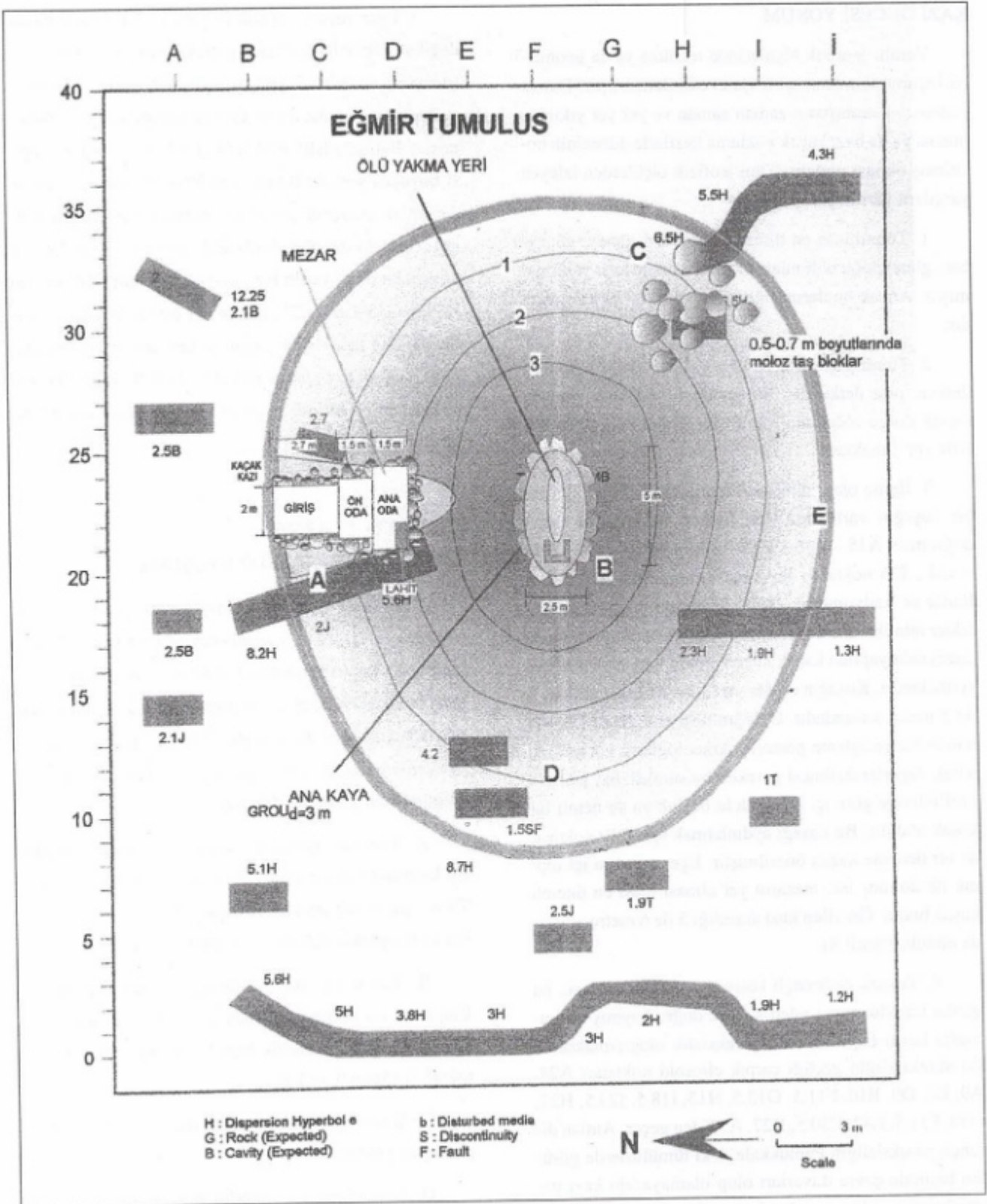


Şekil 6. Eğmir Toptaş Tümülüsü yeraltı radar görüntüsü ve yorumu. Doğrultu H.

Figure 6. Ground penetrating radar section at Eğmir, Toptaş tomb and interpretations. Profile H.

muş bir alan olarak Yeraltı Radarı'na (YR) yansımıştır. Diğer önemli süreksizlikler H17-H17 ve J17 arasında 9 metre boylu 1.3 ile 2.3 metre derinliğindeki süreksizliklerdir. GD'da görülen süreksizlik J35 noktasından başlayıp

I35 ve H32 noktasına uzanır derinliği 4.3 m'den 6.5 m'ye derinleşir. Yeraltı radarı ölçümlerinde karşılaşılan süreksizliklerin tümünde süreksizlik derinliği güneyden kuzeye doğru artmaktadır.



Şekil 7. Radar kesitlerinden bulunan süreksizlikler ve buluntularla karşılaştırılması.
Figure 7. Correlation of excavation results with radar discontinuities.

KAZI ÖNCESİ YORUM

Yeraltı jeofizik ölçülerinde tekdüze ya da geometrik biçimi tanımlanmış bir işaret edinilememiştir. Bunun nedeni, ya sırataşların zaman zaman ve yer yer yıkılmış olması ya da bazı kaçak yoklama kazılarla düzeninin bozulmuş olması olabilir. Tüm jeofizik ölçülerden izleyen yargılara varılmıştır.

1. Tümülüsün en dirençli kesimleri güney, güneybatı, güneydoğu bölümleridir. Bu kesimde kazı yapılmamıştır. Ancak bunların yığma taş olması beklenmektedir.

2. Tümülüsün orta ve kuzey, kuzeydoğu kesimleri iletken, orta iletkenidir. Bu durum K, KD'nun genelde toprak dolgu olduğunu işaret eder. Kaldı ki dramos burada yer almaktadır.

3. İlginç olan, tümülüsü tam ortadan bölen iletken bir kuşağın varlığıdır. Çok iletken bu kuşağın eksen doğrultusu A15 - B16 - C19 - D21 - E22 - G24 - H24 - I24 , I26 noktaları boyunca uzanır. Manyetik, VLF, Radar ve Radyometrik -K40, ölçümleri bu gerçeği destekler niteliktedir. C19 - D21 - E22 noktaları tümülüsün kuzeyinde yapılan kaçak kazı alanının batı sınırına denk gelmektedir. Kuşağın en dar yeri 1 m, en geniş yeri ise 3 ile 5 metre arasındadır. C doğrultusu aralığında DB yönünde bir genişleme gösterir. Arkeologların görüşü alınarak değerlendirilmesi gereken bu süreksizlik, jeofizik özelliklerine göre içi kil ile dolu boşluk ya da nemli bir kuşak olabilir. Bu kuşağı aydınlatmak için C19 noktasına bir deneme kazısı önerilmiştir. Eğer mezarın içi toprak ile dolmuş ise, mezarın yer alması olası en önemli kuşak budur. Önerilen kazı derinliği 5 ile 6 metre arasında olabilir (Şekil 8).

4. Yüksek öz dirençli kesimler, izdüşüm olarak, bu günkü tümülüs tepesinden kuzeye doğru kaymış bir yuvarla kesiti biçiminde bir süreksizlik oluşturmaktadır. Bu süreksizliğin geçtiği çarpık elipsoid noktaları A24, A9, B9, D9, E10, F11.5, G13.5, H15, I18.5, I23.5, H27, G30, F31.5, E32, C30.5, B27, A23'den geçer. Anılan dirençli süreksizliğin Pamukkale'deki tümülüslerde görülen biçimde çevre duvarları olup olamayacağı kazı uzmanlarına sorulması ve bu durumu kanıtlamak üzere deneme kazılarının G30 (3.8-5 m) ve F12 (7m) noktasına yapılması önerilmiştir.

5. Eğer, mezar, ön oda ve girişin içi toprak dolgulu değil ve kapak taşları halen götürülmemişse, gerek, giriş (dramos) ve gerekse kral mezarı ya da odaiçi beklenen yerlerin biri batıda, diğeri GD'da olduğu izlenimi uyanmıştır. Batıdaki E10, F13, G14 , H14 ile F13-G16 çizgisi boyunca yeraltı. Bunun için F10-12 arasına 7 metre derinlikte yoklama çukurları açılması önerilmiştir. Güneydoğudaki dirençli süreksizlik, genişliği 1 ile 2 metre dolayında olan, yarım bir yay biçimindedir. Yay eksen H35.5, G33-G28, H27, I29 ve I31 çizgisi boyunca yeraltı. Mevcut tepe dışına taşan bu kesimin ortası boş olabilir. Yoklama çukurları için G33-G28 ile H27-I31 arası kazılabilir. Burada yapılan kazıda yığma taş bulunmuştur (Şekil 8).

KAZI BULGULARININ

JEOFİZİK İŞARETLERLE UYUŞUMU

Kazı öncesi tümülüste uygulanan çeşitli jeofizik yöntemlerin işaretleri arasında pek açık bir ilişki gözlenmemiştir. Kazı sonrasında bulgularla, türlü belirtilerin karşılaştırılması öğretici olmuştur. Aşağıda yöntem-süreksizlik ilişkileri sunulmuştur. Tümülüste kazı tepenin her yerinde sürdürülmemiştir. Kazılan yerler A, B ve C ile gösterilen yerlerdir (Çizelge 3).

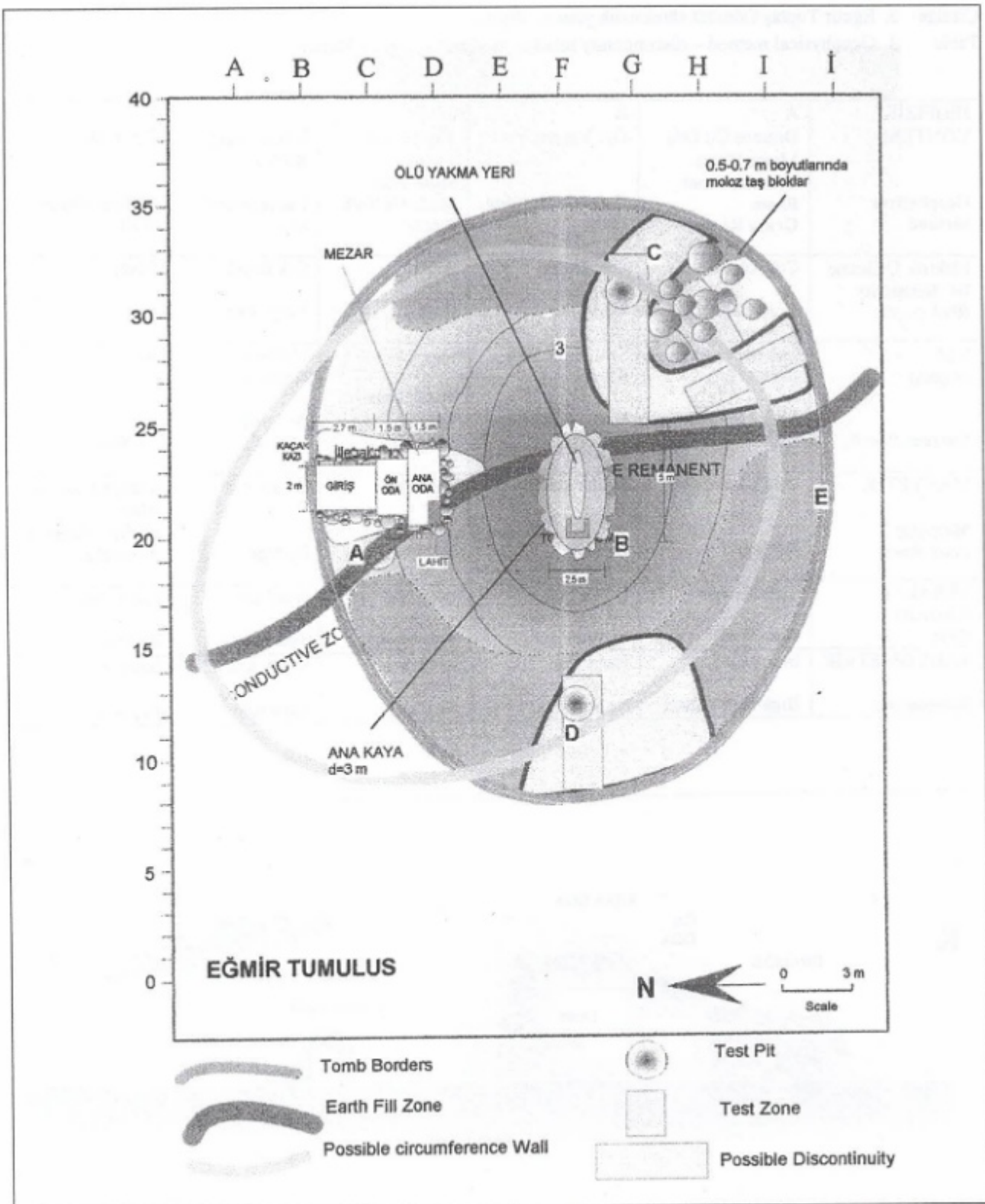
A- Tepenin kuzeyinde kaçak kazı alanında yer alır. Bu kesimde dramos, ön oda ve mezar odası çıkmıştır. Tüm yapının salt taş yan duvarları olup, üstü açık ve içleri killi toprakla doludur (Fotoğraf 3 ve 4).

B- Kazısı tepenin tam doruğu altında yapılmıştır. Bulgu taş bir tek nereden oluşan ölü yakma yeridir. Üstü tamamıyla 3-3.5 metrelik toprak örtü ile kaplıdır (Fotoğraf 5) (Şekil 9 ve 10).

C- Kazısında kütleli taş yığıntı yer alır. Arkeolojik değeri yoktur.

D- Bölümünde kazı yapılmamıştır.

E- Çevre duvarlarını belirlemek üzere kazı yapılmamıştır.

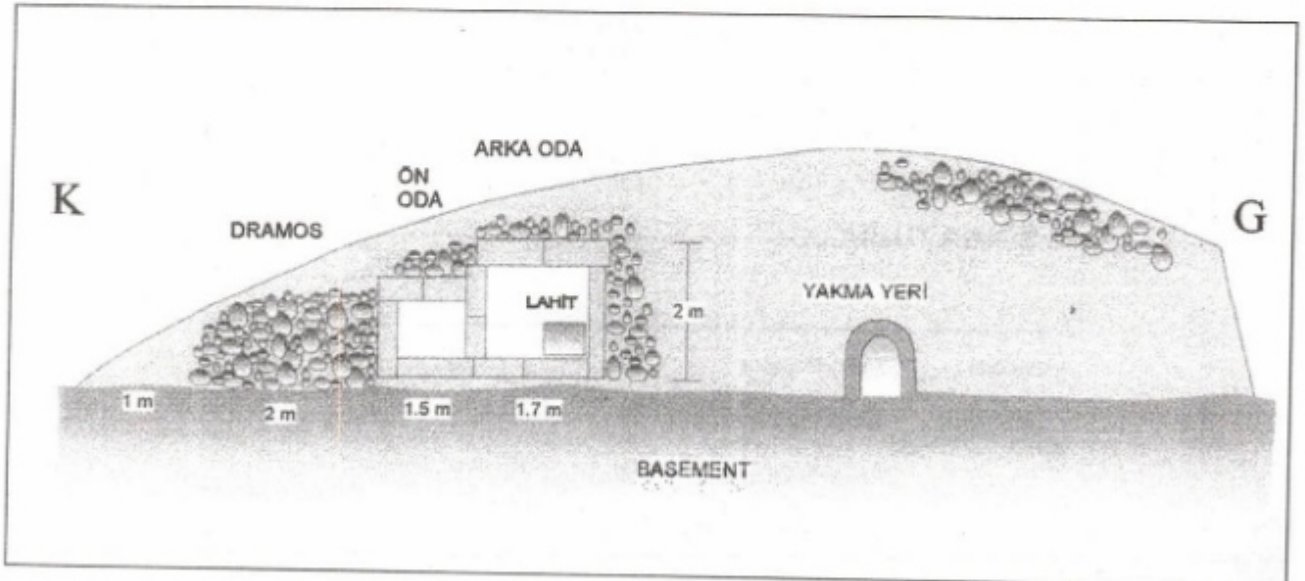


Şekil 8. Kazı öncesi jeofizik hedef ve deneme kazı yerleri ile hazır sonuçlarının karşılaştırılması.
Figure 8. Geophysical interpretation and recommendation for test pits prior to the final archeological excavation.

Çizelge 3. Eğmir Toptaş Gömütü süreksizlik yöntem ilişkisi.

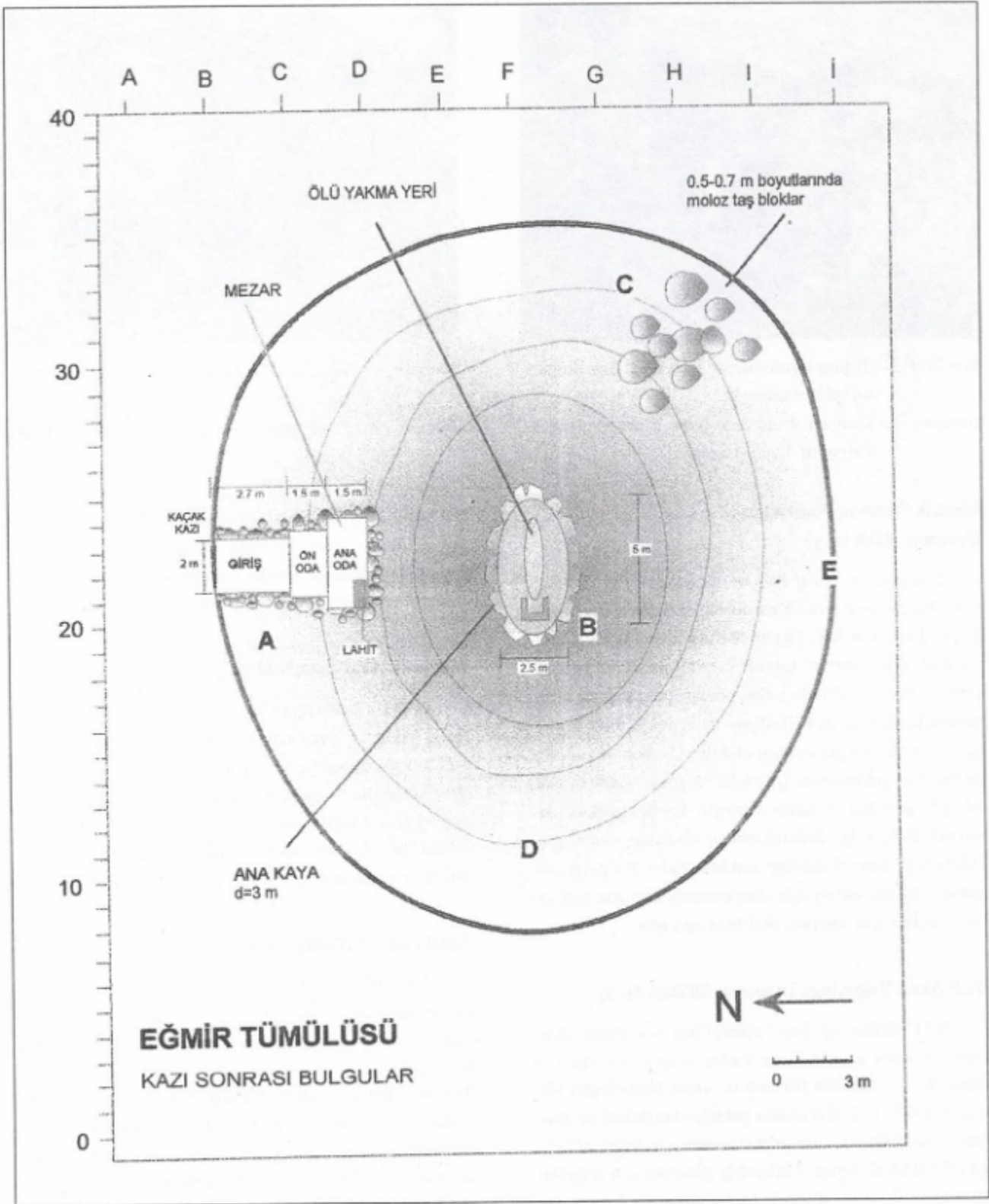
Table 3. Geophysical method – discontinuity relation at Eğmir – Toptaş Tumulus.

JEOFİZİK YÖNTEM Geophysical Method	A Dramos Ön Oda Mezar Odası Dramos, Front Room Grave Room	B Ölü Yakma Yeri Funereal Burning Place	C Taşlı Kütle Yığını Stone Piles Made Of Rock Blocks	D Kazılmamış Bölüm Unexcavated Site	E Çevre Duvarı Circumference Wall
Elektrik Özdirenç DC Resistivity ROA (x, y)	Çok Küçük Very Low	Çok Küçük Very Low	Büyük High	Çok Büyük Very High	Büyük High
VLF (Sigma) Current Density	Çok Büyük Eksi (Dirençli) Large Magnitude (-25; -15)	Çok Büyük Eksi (Dirençli) Large Magnitude (-15; -15)	Küçük Eksi (-) Small Negative Value (-3; -5)	Medium Negative Anomaly (-5; -10)	İşaret Yok No Sign
MANYETİK Magnetic Total Field	Belirti Yok No Sign	Belirti Yok No Sign	Belirti Yok No Sign	Belirti Yok No Sign	Yüksek Manyetik Alan Higher Magnetic Anomalies
YERALTİ RADARI GPR	Yan Duvarlar Side Walls	Belirti Yok No Sign	İşaret Var Sign Exists	İşaret Var Sign Exists	İşaret Yok No Sign
RADYOMETRİK Radiometric	Büyük K40 High K40 Values	İşaret Yok No Sign	İşaret Yok No Sign	Büyük K40 High K40	İşaret Yok No Sign



Şekil 9. Kazı sonrasında belirlenen, tümülüsün kuzey – güney kesiti.

Figure 9. NS section of tumulus after completion of the excavations.





Fotoğraf 3. Toptaş tümülüsünde kazı ile çıkan; dramos ön oda ve ana oda.

Picture 3. Dramos, front and grave room after excavation of Toptaş tumuli.

Elektrik Özdirenç Haritalama

Uyuşumu ROA (x, y)

Dramos ve odalar (A) ve ölü yakma yeri (B) üzerinde beklenenin tersine en düşük öz dirençle karşılaşmıştır. Bunun nedeni, (A) ve (B)'nin üzerinde taş çatı olmaması, oda içlerinin toprakla dolu olması ve yan duvarlarla koruma altında kalan odalar içine yağışla sızan suların bu kesimi sürekli olarak daha nemli tutarak çevreye göre iletken göstermesi olabilir. C- deki yüksek öz direnç taş yığıntısının işaretidir. Ancak, sanki aranan oda gibi yanıltıcı bir işaret vermiştir. D- deki yüksek öz dirençli bölüm, kazılmamış olmakla birlikte, yine C gibi yığma taş kesimi içerdiği sanılmaktadır. E- çevre duvarları yüksek öz dirençle simgelenmiş olmakla birlikte kazılmadığı için uyum belirlenememiştir.

VLF Akım Yoğunluğu Uyuşumu SIGMA (x, y)

VLF iletkenliği (+) / dirençliliği (-) yeraltındaki süreksizlikleri ayırt etmede kullanılmıştır. A- nin yan duvarları (-) SIGMA (iletkenlik, akım yoğunluğu) (dirençli) [-15- (-28)] arasında genliği olan belirti ile simgelenmiştir. Dramos ve odalar içinde kil dolu olduğu için SIGMA değerleri iletkenliği gösteren artı değerler vermiştir. B, C'de dirençli işaret olmasına karşın, (-) genliğin küçük olması arkeolojik bir yapı olmadığını gösterir. Salt (-) dirençli değerlerin konturlanmasıyla çıkan VLF belirtisi ile A- Dramos ve mezar, B- ölü yak-



Fotoğraf 4. Gömüt odası (ana oda) ve kullanılan taşların biçimi.

Picture 4. Grave room and types of stones in Toptaş tumuli.

ma yeri tıpatıp çakışmaktadır. Bu uyumu ile VLF Toptaş tümülüsü araştırmasında en yol gösterici belirtiyi verdiği söylenebilir. Bunun yanında çevre duvarı varlığı üzerine herhangi bir belirti yoktur.

Manyetik Alan Uyuşumu M (x, y)

Yüksek öz dirençli olan çevre duvarlarının bulunduğu yerlerde çok değişken manyetik alan (42300-46300 gamma) değerleri ile karşılaşmıştır. Bunun nedeni kullanılan taşların mıknatıslanması olmayan kireç taşı ve traverten olmasıdır. Ancak, tepenin güney yarısındaki büyük manyetik belirtinin nedeni, tepenin oluşumunda kullanılan metamorfik kayrak kayalardır.

Yeraltı Radarı (GPR) Uyuşumu

100 Mhz'lik anten için inceleme derinliği 10-11 metre olmuştur. GPR kesitlerinde görülenler, taban kayanın çıkıntıları, kaçak kazı alanındaki bozukluklardır. En sığda belirlenen süreksizlikler 1 metre dolayındadır. Tüm doğrultularda taban derinliği batıdan doğuya doğru sığlaşmaktadır. Ne var ki A- dramos ve mezar odalarının radarda seçkin bir işareti yoktur. Ancak batı duvarının işareti vardır. Bunun nedeni çok sığda olan duvarların 100 Mhz'lik antenin görüntü alanı içine girmemesi olabilir. B- yakma yerinde işaret olmaması, ölçü doğrultusu olmamasından kaynaklanır. GPR ölçülerinin başlangıcında birkaç anten için doğrultu yinelenmelidir.



Fotoğraf 5. Tepe noktası altında bulunan, ana kaya içine açılmış yakma leğeni.

Picture 5. Cremation place having found beneath the crest.

Radiometrik Uyuşum

10 saniyelik sayımlarla 6 kanallı olarak algılanan TC, TC-S, Th, K-40 U ve U' dan salt K40 ışıınımı 0.2 ile 2.6 cps arasında değişen belirgin değerler almıştır. Ne var ki bu değerler açıkça arkeolojik kalıntıların varlığını ya da biçimini işaret edici nitelikte değildir.

KAZI SONUÇLARI

Dramos kaçak kazı yapılan alandan başlayarak (K), güneye doğru ön oda ve arka oda ile devam eder. Dramos genişliği 2.20, (DB), boyu 2.7 metre olup, kireçtaşı traverten ana kayasından yapılmıştır. Ön odaya giriş bir kapı taşı ile kapalıdır. Ön ve ana odada kullanılan kumlu kireç taşları 0.7 x 0.7 x 1 m boyutunda düzgün kesilmiştir. Ana oda giriş kapısı 0.8 m'dir. Ana oda genişliği 1.7 x 2 m'dir. Yüksekliği 2 m'dir. Odanın çevresi dolgu moloz ve blok taşlarla kapatılmış olup kazı sırasında ön ve arka odanın tavan taşları yoktur. Ana mezarın tümülüs tepesinden uzaklığı 5 m dolayındadır. Yüzeyden derinliği ise 0.4 ile 0.8 m arasındadır (Fotoğraf 3, 4 ve 5).

Tepenin tam altında ana kaya 5 metre boyulu 2 metre enli elipsoid biçiminde oyulmuştur. Ölü yakma yeri olan bu bölüm içinde kireçtaşı leğen gibi oyulmuştur. Leğenin batı kesiminde taht biçiminde yapılmış bir taş oyma yer alır. Doğrultusu D-B'dir. Leğen ve ana kayanın tepe noktasından derinliği 3 m dolayındadır. Bu kesimde ölü yakılmıştır. Tüm yapı ana kaya üzerine yapılmıştır. Ön oda ve ana mezar çevresi moloz kayalarla örtülmüş olmasına karşın tepe altı genellikle küçük çakıllı killi toprak ile örtülmüştür. Dramos ve mezar taban derinliği, tümülüsün etek seviyesinin 0.2-0.3 cm altında ve tarla düzeyindedir. Denizli Müzesi yaş saptamasına göre tümülüs M.Ö. 7 ile 6'ncı yüzyıl Lydia yapısıdır. Tümülüsün alt katmanlarından biri boyutları 60x70x30 cm dolayında olan şekilsiz traverten bloklarla örtülmüştür. Tümülüsün orta kesiminde az olan blok kaya dolgusu, yer yer artış göstermektedir. Tümülüsün her tarafı kazılmamıştır. Kazılan yerler kaçak kazı alanı, tepenin altı ve tümülüsün güney doğusudur.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma T.C. Kültür Bakanlığı Denizli İl Kültür Müdürlüğü Denizli Müzesi ve YERALTI ARAMACILIK akçal ve jeofizik laboratuvar desteği ile yapılmıştır. Arkeolojik araştırmayı yöneten müzeden Sayın Hüseyin Baysal, Haşim Yıldız ve Celal Şimşek'in yılmaz gayretleri ile ölçü alan İTÜ'den öğrencilerime, kaçak kazılar üzerine bilgi veren ve ölçülere destek veren Eğmir köy muhtarına, görüntülerin çiziminde yardımcı olan Mehmet Yılmaz ve özenli yazılımları için Saadet Ülkü ve Sinem Özkesici'ye teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Akurgal, E. 1985, Ancient Civilizations and Ruins of Turkey, Haşet Kitabevi, 122, İstanbul.
- Baysal, H.H., Ceylan, A., Yıldız, H., Yılmaz, S., Karabay, N. ve Şimşek C. 1995, Denizli - Pamukkale tanıtım kitabı, T.C. Kültür Bakanlığı, Denizli Müzesi Yayını, 68.

GERMENCİK JEOTERMAL ALANININ SICAK YERLERİ

Hot Parts Of Germencik Geothermal Field

Ahmet ERCAN^{1,2} ve Hüdevendigar ŞAHİN³

ÖZET

Büyük Menderes çöküntüsünde oluşuk sınırlarını belirleyen kırıklar, doğal uçlaşma (SP) (natural electro - thermal and electro - filtration polarization potential) belirti ile açık bir uyum içinde görülmektedir. Bölgede kırıkların sıcak suları yukarıya taşımada yol görevi yapması ve sıcak basınçlı (belki de devingen) su içeren su yollarının üzerinde doğal uçlaşmanın soğuk yerlere göre daha büyük (> 100 mV) değerlere ulaşması, sıcak ve soğuk yerlerin ayırt edilmesini sağlamıştır. Sıcak bölgeye yaklaştıkça gerilimin türev değerinin artmasının yanı sıra, duyarlılığı bozularak artan genlikte (± 1 den ± 5 mV/m'e değin) duyarsız (değişken) bir gürültü bin-diği izlenmiştir.

Germencik - Ömerbeyli dolayında SP dalga boyları 2 km'yi bulmaktadır. Ölçüler bölgede doğu-batı doğrultusunda kırılmaların olduğunu ve bunların 80°-90° arası dalmırlarla 1000 metreye varan atımları içerdiklerini, K-G doğrultulu kırıklarla kesildiklerini belirtmektedir. En sıcak yerler bu kırıkların kesişme kavşaklarıdır.

ABSTRACT

Considerably good correlation exists between the natural polarization (electro-thermal and electro-filtration) anomalies and faults or tectonic borders along the Büyük Menderes graben formation boundaries. It is possible to set apart heat-induced imbalance of cold and hot sections by consideration of amplitudes and polarities of the natural polarization fluctuations which rise over 100 mV on the hotter places, with respect to the colder sites. Such discontinuities may function as hot water conduits for geothermal water circulation towards the surface. While the observation cross passing the altered zones, there occurred an interesting noise, on the electrical polarization, with amplitudes varying between (± 1 to ± 5 mV/m) caused by unexplained source.

Dipolar natural polarization anomalies of about 100 mV peak - to - trough amplitudes and nearly 2 km peak - to - trough lengths has been measured in a few survey lines in east - west direction at Germencik - Ömerbeyli region. The anomalies do not appear to be related to surface features. Measurements indicate that besides E-W extending fractures, there also exist faults in N-S direction which have estimated westward dipping of 80° to 90° and offset of 1000 meters. Hottest places are junctions or intersections of E-W and N-S trending fault zones.

1 İTÜ Maden Fakültesi Jeofizik Müh. Bölümü, Maslak, İstanbul.

2 Yeraltı Aramacılık Bil. Ar. Kur. Maçka, Beşiktaş - İstanbul.

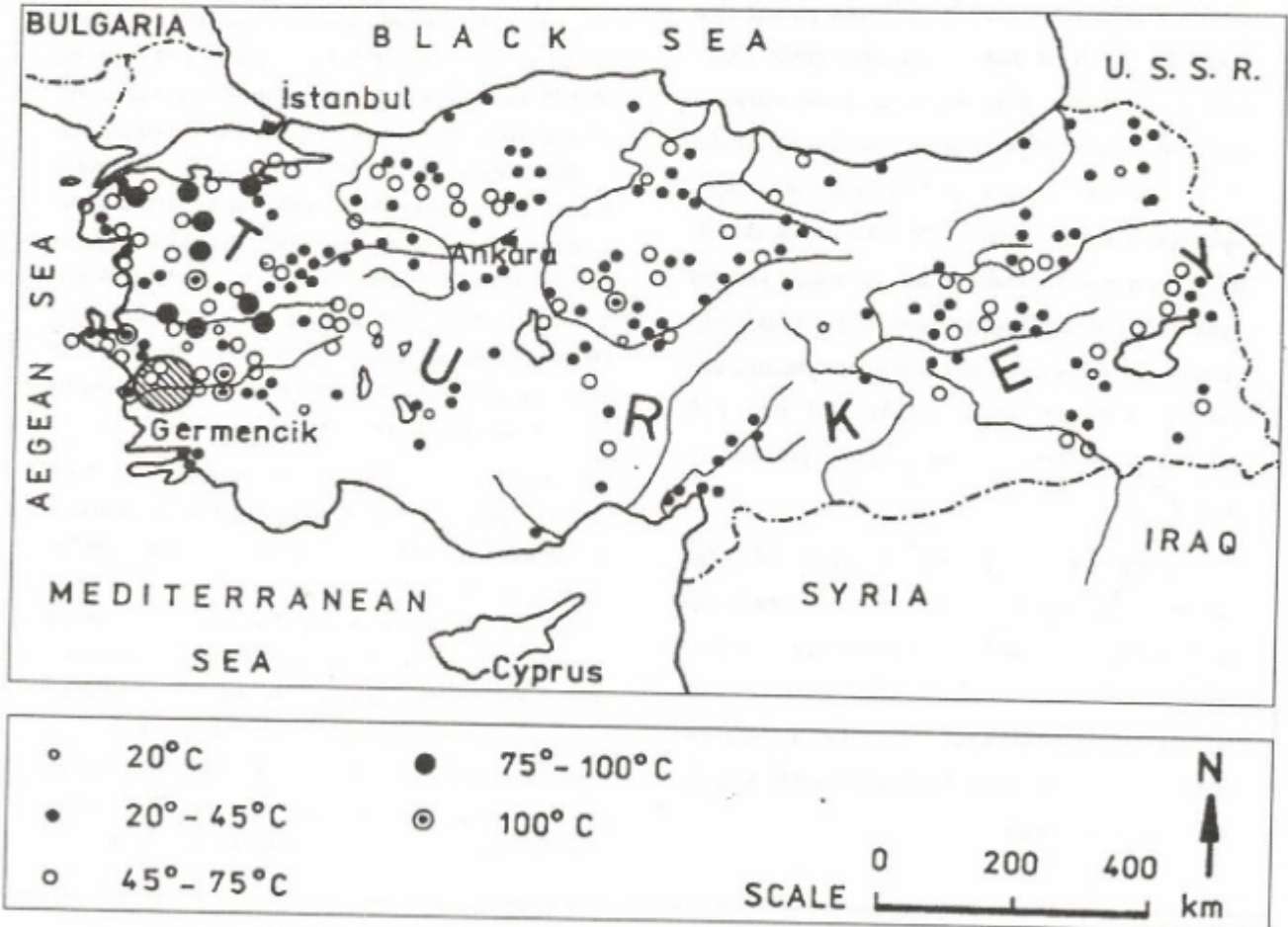
3 Maden Tetkik ve Arama Genel Direktörlüğü Jeofizik Etütleri Dairesi, Ankara.

GİRİŞ

Aktaş sıcak alanı Aydın ili sınırları içinde Hıdırbeyli – Germencik – Ömerbeyli – Alangüllü dörtgeni içinde yer alır. Yukarıda sınırları verilen alan, Aydın dağlarının güneyinde Büyük Menderes çöküntüsünün (graben) batı yakasında yer alır. Çalışmalar Aydın dağlarının yanlarındaki Pliosen tepeliklerinin eteklerinde başlayıp, güneyde devlet karayoluna değin Kuvarterner yaşlı Menderes çökelleri üzerinde sürdürülmüştür. Bu alan içindeki bazı kuyularda sıcaklığın 50°–100°C arasında olması, sıcak su etkili bozulmalar (hidrothermal alterations), jeolojik gözlemlerle saptanan yerel bol kırıklılık ve Aktaş Yamacı “buhar bacası” (Fumarole) (101°C) yerel aşırı ısınmanın birer göstergeleridir (Şekil 1 ve 2).

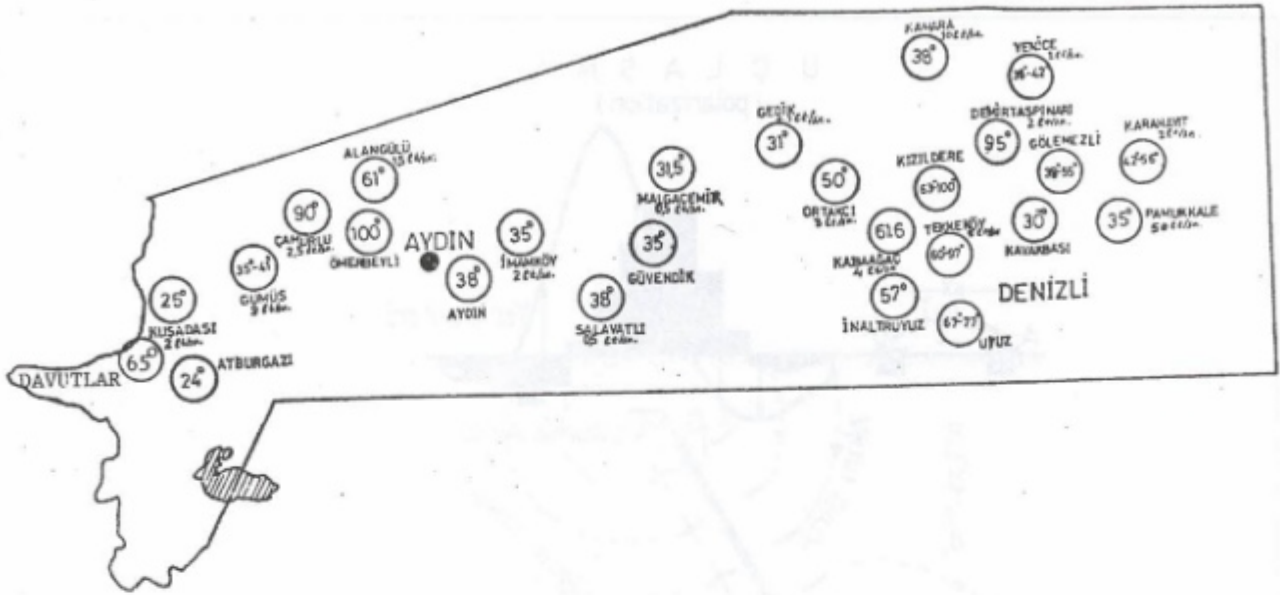
Tüm Menderes ovası Bouguer gravite haritasında sıfır kapanımı içinde kalmaktadır (Şekil 3). Gediz – Menderes ve Söke – Menderes çöküntüleri ile Menderes – Nazilli göçüntüsü gravite haritasında gözlenmekte olup, buralarda Germencik ve Kızıldere jeotermal alanları yer almaktadır.

Özellikle sıcak alanlarda kırık kuşakları, yerel ya da bölgesel iletkenlik, basınç, sıcaklık ve çözelti yoğunluğunu ayıran çizgiler biçimindedir. Sözü edilen ayrılıklar, kırık yüzeyinin bir yanında artı, diğer yanında eksi yüklerin toplanmasına neden olurlar. Dolayısı ile, böyle durumlarda kırık düzlemi bir uçlaşma ayırım düzlemi biçimine dönüşür (Şekil 4). Bir yanda artı bir yanda eksi yüklerin çoğalması kanatlar arası dengesizliği sağlayacağından, dengeyi sağlamak üzere yükün geçişi



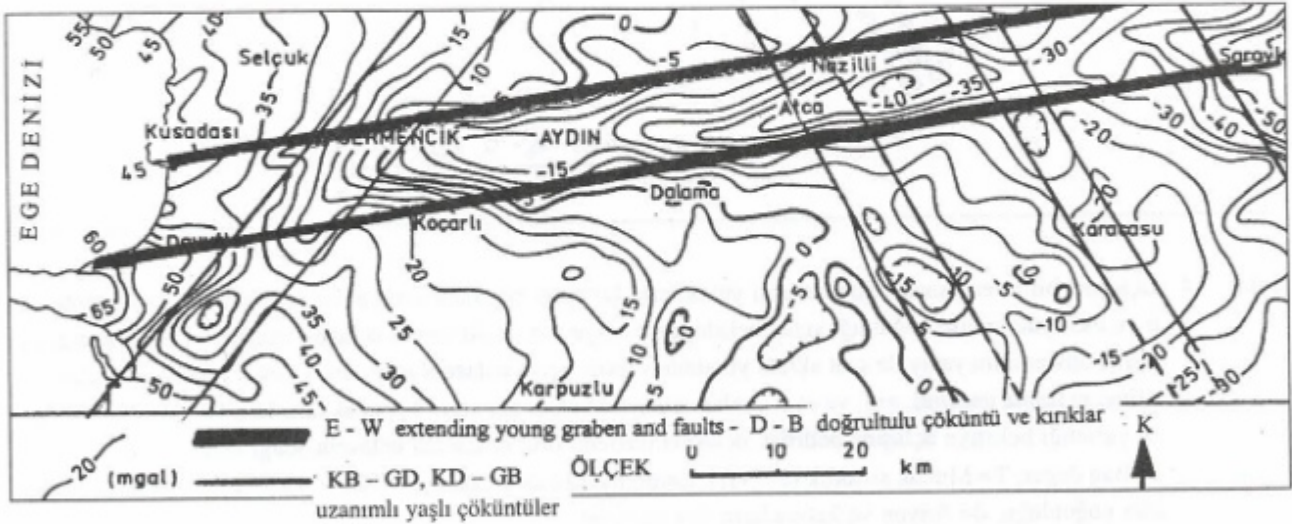
Şekil 1. Türkiye yüzey suları sıcaklık haritası ve Germencik – Ömerbeyli jeotermal alanı.

Figure 1. Surface temperatures of hot springs and Germencik – Ömerbeyli geothermal field's.



Şekil 2. Aydın ilinde suların yüzey sıcaklıklarının dağılımı.

Figure 2. Surface temperatures of hot springs in Aydın.

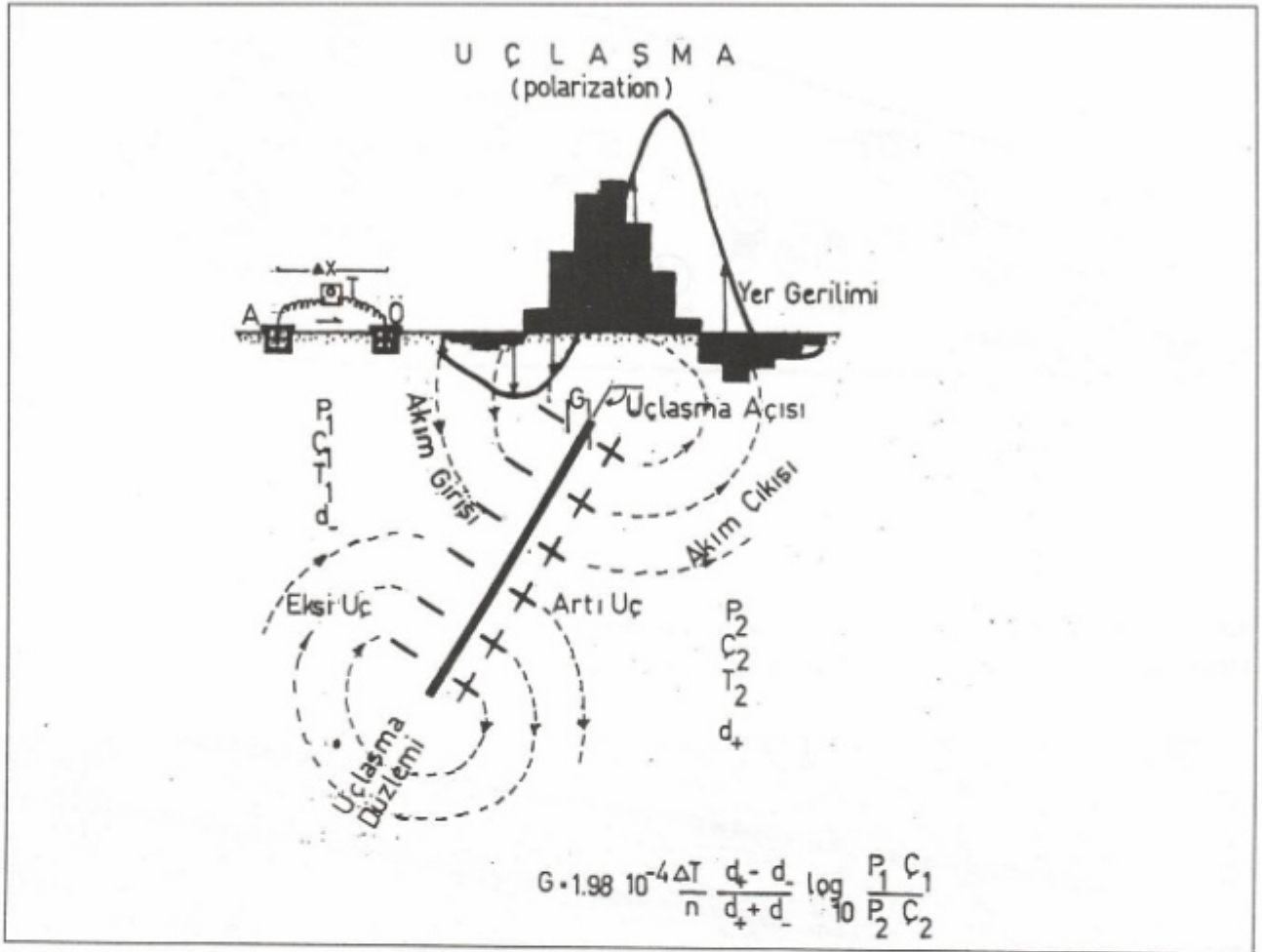


Şekil 3. Aydın ilinin Bouguer yerçekimi ivmesi belirti haritası

Figure 3. Bouguer gravity anomaly map of Aydın.

başlar. Kırık düzlemine dik yönde başlayan bu geçişme doğal kökenli bir elektrik akımına, akan akım da yer yüzünde, uçlaşma odağının izdüşümünde dengeli doğal gerilim alanında bir bozulmaya neden olur. SP ölçümleri ile kırık izinin yeri düzlemi (ya da uçlaşma açısının) bulunabilir. Dolayısı ile SP yönteminin sıcak alanlara uygulanmasının temel amaçları, jeolojik gözlemlerle sap-

tanmış kırıkların varlığının kanıtlanması ya da üstü örtülerek gözlemlen saptanma olasılığı olmayan kırıkların izlerinin güdülmesi, sıcak-soğuk, yüksek basınçlı - alçak basınçlı, sıvı akışı içeren-içermeyen, iletken - dirençli yerel bölümlerin ayrımı, temel derinliği ve temeldeki oluşuk geçiş yerlerinin saptanmasıdır.



Şekil 4. Uçlaşma birimleri tanımı. Artı ve eksi yükünlerin bir çizgi boyunca ayrı yanlarda çoğalmasına **uçlaşma**, artı ve eksi yükünlerin çoğaldığı sınırı belirleyen çizgiye (ya da düzleme) **uçlaşma çizgisi** ya da **düzlemi**, uçlaşma düzleminin yatay ile saat akrebi yönünde yaptığı açıya **uçlaşma açısı**, artı ve eksi yanlar arasındaki gerilime **uçlaşma gerilimi**, artı ve eksi yanlar arasındaki akan akımlara **uçlaşma akımları**, bu akımların yüzeyde yarattığı belirtiy **uçlaşma belirtisi**, uçlaşma düzlemi orta noktasına **uçlaşma odağı** denir.
 r= Bağ değeri, T= Mutlak sıcaklık (273+t) t: Santigrad olarak sıcaklık, P= Elektrolitik çözelti basıncı, c= Yü-
 kün yoğunluğu, d= Anyon ve katyonların devingenliği.

Figure 4. Definitions of the polarization parameters. Accumulations of different ions at different sides of an interface is called as **polarization**. Such an interface is named as **polarization plane** or **line**. **Polarization angle** is clock wise dipping of this interface. Polarization azimuth is the angle between the measuring profile and the projection line of the polarization interface on the surface. Central point of the polarization interface is called as the **polarization focal depth**. Potential between the two sides called as polarization potential. Polarization currents are the ones which flow between negative and positive polarities. Flow direction is normal to the polarization interface. Anomaly which originates from such natural currents is named as the **natural polarization anomaly**. Natural polarization anomaly has two components; one is the **polarization electrical field** and the other is the **polarization potential field**.
 r= Valency, T= Absolute temperature (273+t), t= Temperature in centigrade p= Electrolytic solution pressure, C= Ion concentration, d= Mobility

Bu amaçla son yıllarda sıcak alanlarda SP çalışmaları yapıldığı ve başarılı sonuçlar alındığı izlenmektedir (Morrison ve Corwin 1977; Corwin ve diğ. 1979; Diaz 1980; Corwin ve diğ. 1980; Ercan 1982). Mineral aramalarında SP yönteminin ulaşma derinliği ilk 100 metre içinde kalmasına karşın Kızıldere sıcak alanında doruktan – çukura 150 mV'luk ve 2 km dalga boylu elde edilen çift-ucay (dipolar) kökenli belirtinin en az 500 metre derinlikten kaynaklandığı sanılmaktadır (Ercan 1982). Nitekim, Güney Kaliforniya Imperial Valley East Mesa sıcak alanında 5 km dalga boylu 90 mV genlikli yığinsal SP belirtisi elde edilmiştir (Corwin ve diğ. 1980). Böyle derin belirtilerin nedeni, ya doğrudan doğruya ısıtıcı kaynak, ya da ısı ileten kırık yollarında sıcaklıkla (thermoelectric) ya da su devinimlerinden kaynaklanan (electrokinetic) elektrik akımlardır (Ercan ve diğ. 1986).

Yatay yönde doğal ulaşma değişimi, kırığın her iki yanındaki kayaç bozuşması (alteration) ayrılığından doğabilir. Böyle bir bozuşma sıcak suların kayaç gözeneklerine ve kırıklara yürüterek kayacın suyla dokunağa geldiği yerlerdeki mineralleri bozmasıyla oluşabilir. Sıcaklıkla elektrik akımı yaratan ulaşma katsayılarının (coupling coefficient) artan gözenek sıvısı iletkenliği ile azaldığı gözlenmiştir (Corwin ve diğ. 1980). Doğal ulaşmanın, tüm anlatılan yapının fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili olması, sıcak alanlar üzerinde doğal ulaşma ölçümünün jeolojinin aydınlatılmasında önemli yer tutabileceği düşüncesini güçlendirir.

Ayrıca, kayacın suya doygunlukla, sıcaklıkla ve kimyasal içeriğiyle yükünel (ionic) iletkenliğinin artması, sıcak olan ve sulu olan yerlerin, soğuk ve kuru olan yerlerden ayırt edilmesine yol açar. Bu nedenle, çeşitli derinlik katları için yeraltının elektrosunun çıkarılmasıyla, sıcak kazanın boyutu ve ısınma işleyi ortaya çıkarılabilir.

YEREL YER YAPISI

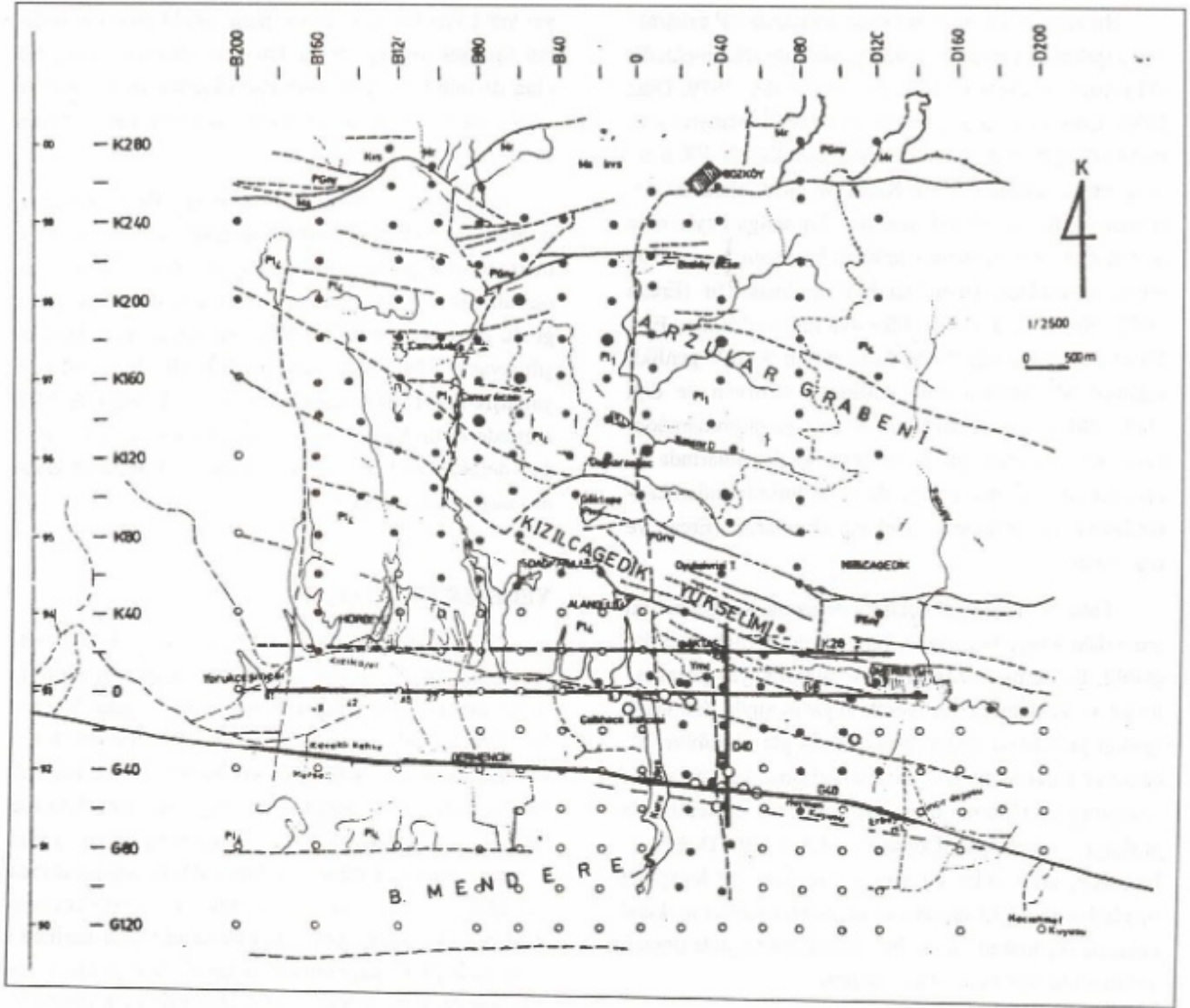
Kızılcaçedik, Bozköy yükselimlerinde yüzeylenen başkalaşmış (metamorphic) kayaçlar Menderes çöküntüsünün temelini oluşturmaktadır. Başkalaşmış kayaçlar, başta gnays olmak üzere çeşitli şistler, kuvarsit, mermer, kalkışist ve serpantinittir. Başkalaşmış kayaçların en altında yer yer derinlik kayacı kökenli (ortho) ve

yer yer çökel kayaç kökenli (para) gözlü gnayslar bulunur (Şimşek ve diğ. 1979). Gnaysın yüzünün yüzeyden olan derinliğinin derin öz direnç ölçümlerinde 1000 ile 1400 metre arasında değiştiği sanılmaktadır (Şahin 1981).

Germencik – Ömerbeyli alanında 1 ile 7 ohm-metre arasında elektrik öz direnci içerdiği sanılan kuvarsit, mermer ve gnaysların birinci hazne kayayı oluşturmaları olasıdır. B20-D40 arasında 1300 metre derinliği içeren gözlü gnayslar içinde asıl hazneyle karşılaşılıp karşılaşmayacağı 1981'de bilinmemekte idi. 1982 yılında, yaklaşık 400-D40 noktasında yapılan ilk delgi ile 1030 metrede sıcak buhara girilmiştir. Daha sonra yapılan 7 ayrı delgide (mekanik sondaj) çeşitli derinliklerde kazayı yakalamıştır (Şekil 5).

YERELEKTRİK YAPISI

MTA jeofizik ekibi Germencik yöresinde 500 metre aralarla araziye kareliyerek Schlumberger dizilimiyle doğru akım öz direnç ölçümleri yapmıştır (Şekil 5), (Şahin 1981). Çeşitli derinlikler için çıkarılan elektrik kat haritalarından biri Şekil 6'da verilmektedir. Bu elektrik kat haritaları aynı derinlikteki değişimi simgelemekle birlikte derine doğru süreklilik içermesi kazan yerini gösterici bir özelliğindedir. Açılımlar D-B doğrultusunda yapıldığı için böyle bir kesit özellikle K-G doğrultusundaki süreksizlikleri saptamada duyarlıdır. Kat haritaları üzerinden D-B doğrultusunda kesit alındığında yatay görünür öz direnç değişim eğrisi elde edilmiştir (Şekil 7). Bilindiği gibi bu eğri, iz doğrultusuna dik geçen Schlumberger dizilimi için bir kırık üzerinde beklenen simgesel belirtidir. Benzer, biçimde aynı doğrultuda SP elektrik alan (türev – dv/dx) ölçüsü, simgesel yelpaze biçimli belirti vermektedir. Süreksizlik yaratan kırık yelpazenin en büyük genlikli yerinde oluşmaktadır (Şekil 8). SP ve elektrik öz direnç belirtilerine göre yaklaşık D40 noktasından K-G doğrultusunda bir kırık geçmektedir (Şekil 9). Kaldı ki jeolojik haritada da aynı noktada KG doğrultusunda bir kırık geçtiği gösterilmiştir. Bu noktada temel derinliği yaklaşık 1300 metredir (Şekil 10). 500 metre yanalarda ise derinliğin 1100-1150 metre arasında olması, K-G doğrultulu bu kırığın batı yakasında yaklaşık 100 metre atımlı ikincil bir yükselimin varlığı düşüncesini güçlendirebilir. İlerde değinileceği gibi aynı kırık SP ölçümleri ile de saptanmıştır. Ay-

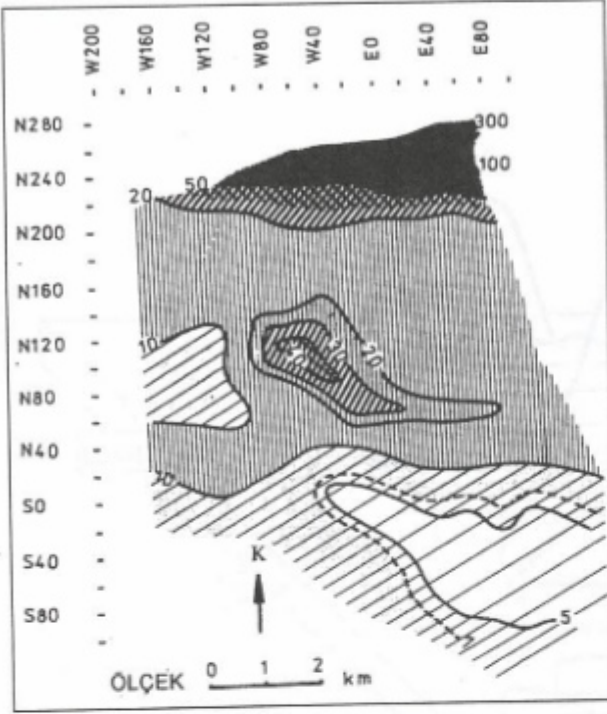


Şekil 5. Germencik-Ömerbeyli Doğal Uçlaşma ve Doğru Akım Elektrik Özdirenç çalışma alanı. Kırıklı doğrular Doğal Uçlaşma ölçümlerinin alındığı doğrultuları, noktalar Schlumberger açma ölçümlerinin alındığı yerleri göstermektedir. Açılımlar çoğunlukla D-B doğrultusundadır.

Figure 5. Profiles along which Natural Polarization and DC resistivity soundings were compiled in Germencik Ömerbeyli area. Broken lines and circles indicate profiles for SP and points for schlumberger resistivity sounding measurements, respectively. Expansions of arrays, for both of them, selected in E-W direction.

rica Şekil 9'dan izlendiği gibi, D40 kırığının doğusu (3 ohm-m) batısına göre (7 ohm-m) daha iletkenidir. İletkenlik çözelti yoğunluğu ve bunların da sıcaklık ile arttığı düşünülürse, D40 kırığının doğu yakasının batı yakasına göre daha sıcak olduğu düşünülebilir (Ercan 1982).

B40 doğrultusunda alınan kesit, K20-B40 noktasında bir kırığın geçildiğini ani özdirenç düşmesi ile simgelemektedir. D40 ve D100 doğrultularında alınan kesitlerde, geçişin yavaş olması, K-G doğrultulu Alan-güllü kırığının doğusunda yeralan bölümde Kızılcağedik güney sınır kırığı ile buna koşut kırık arasında iki tane



Şekil 6. Aydın-Germencik sıcak alanında yapılan Schlumberger ölçümlerinde $r=1000$ metre için çıkarılan "elektrik kat haritası".

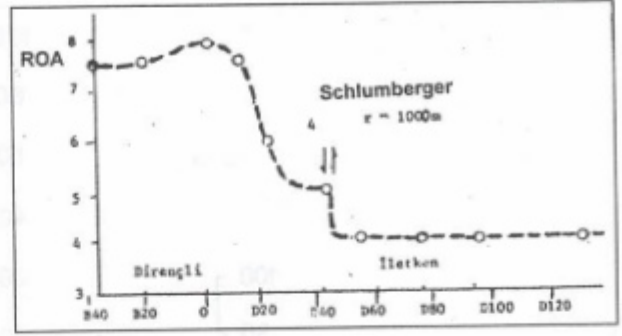
Figure 6. Schlumberger Horizontal apparent resistivity map of Germencik geothermal field for $r=1000$ meter.

değil daha çok sayıda ikincil kırıkların olabileceğini vurgular. 500 metrelik öz direnç örnekleme aralığı bu arada yer alan kırıkların belirti boylarından büyük olduğundan bunların yerlerinin ayrıntılı olarak verilmesini engellemektedir.

Beklenebildiği gibi kuzeyden güneye doğru temel derinliği artmaktadır (Biçmen 1983). Ancak, D-B doğrultusunda alınan ölçümler başka bir görünüş içermektedir. Şöyleki, B40'tan doğuda D160'a gittikçe temel 1300 metre derinlikten 500 metreye değin yükselerek sığlaşır. Oysa, G80 ve G100 doğrultularında temel derinliği yaklaşık 1300 metre olarak aynı kalmaktadır,

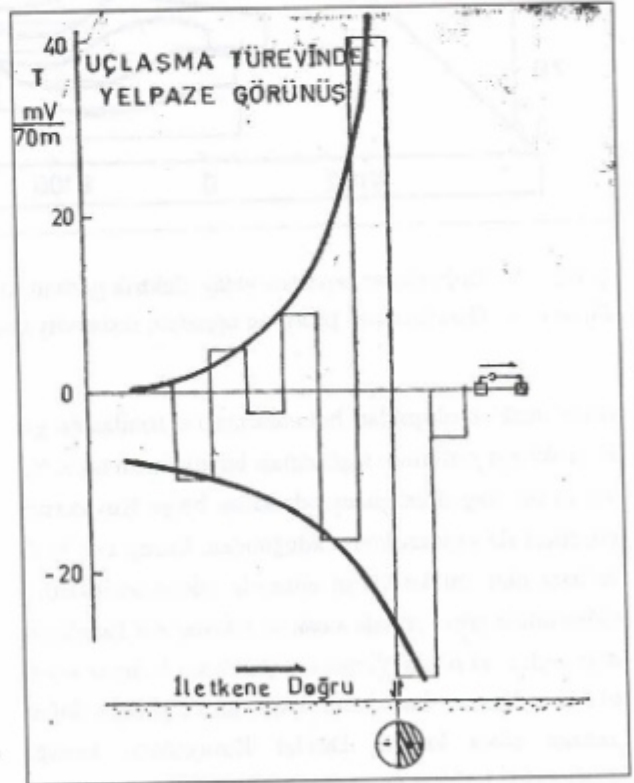
SP ÖLÇÜMLERİ

Yapılan jeolojik çalışmalara göre çöküntü boyunca kırıklar çoğunlukla doğu-batı doğrultusunda egemendir. Ancak kimi kuzey-güney doğrultulu kırıklar, çevrele-



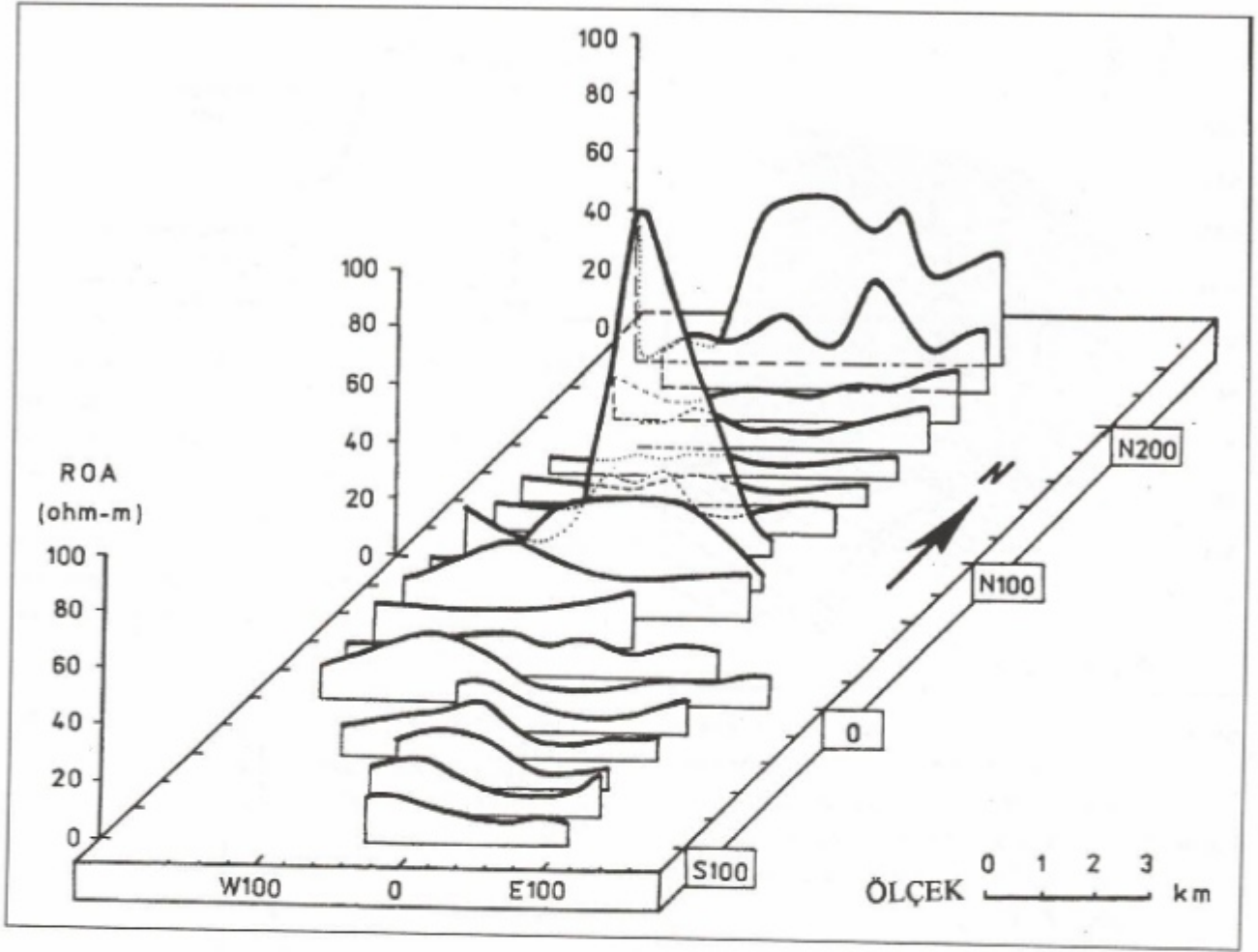
Şekil 7. Aydın-Germencik sıcak alanında (B40 - D120) noktaları arasında G40 doğrultusu boyunca $r=1000$ metre için Schlumberger dizilimi kullanılarak belirlenen yanal görünür öz direnç değişimi.

Figure 7. Schlumberger apparent resistivity profiling curve along the G40 profile between B40 and D120 bench points in Germencik geothermal fields.



Şekil 8. Sıcak sulu bir kırığa yaklaşıırken SP türevinde gözlenen simgesel yelpaze biçimi.

Figure 8. Observed fan type SP gradient while approaching a hot water bearing fault.



Şekil 9. Doğrultular boyunca yatay elektrik görünür öz direnç eğrileri. Schlumberger $r=3000$ m.

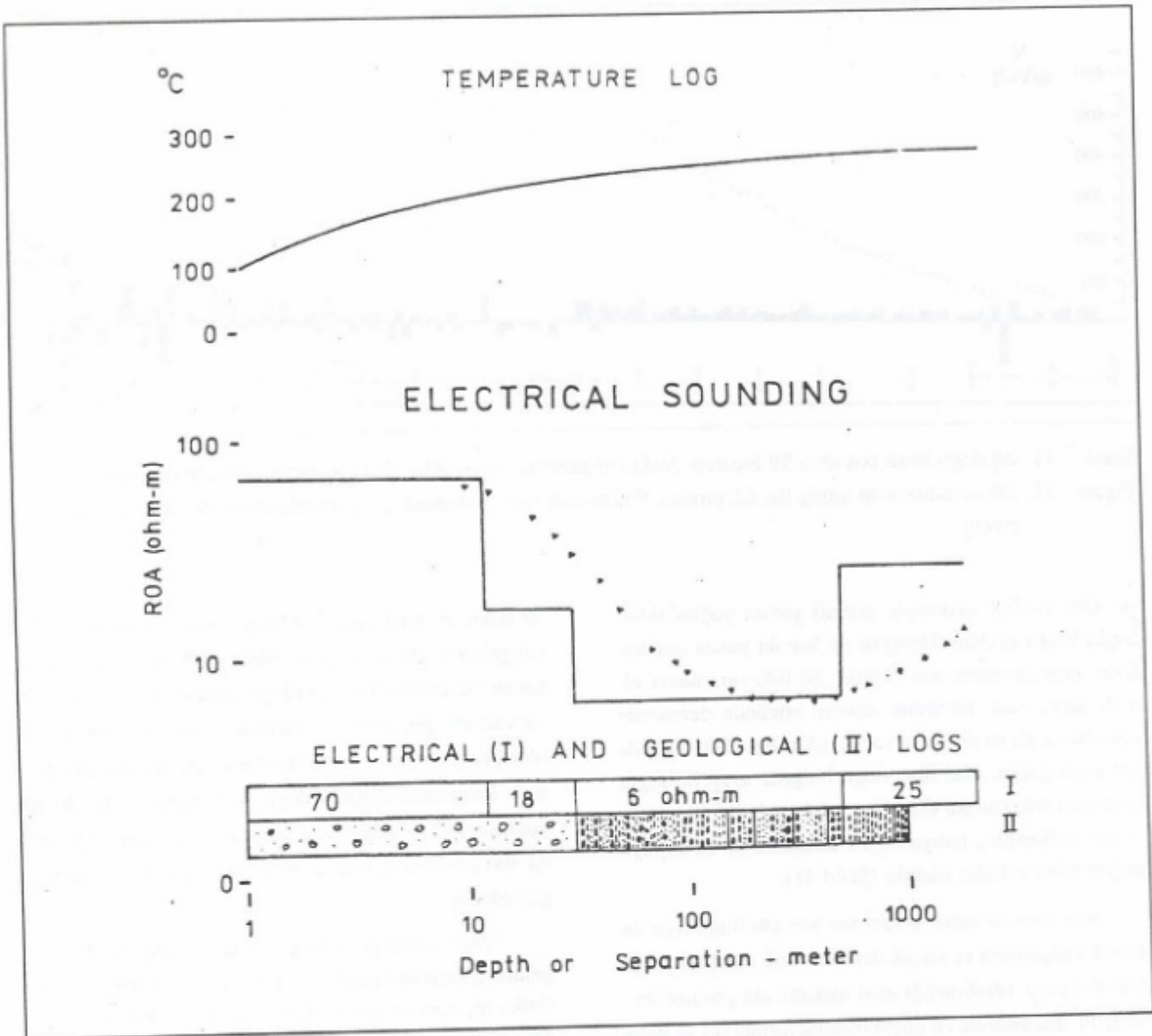
Figure 9. Geoelectrical profiling apparent resistivity curves for the Schlumberger array and $r=3000$ m.

rinde sıcak su oluşukları bulundurması açısından bu gibi kırıkların yerlerinin saptanması büyük önem taşır. Ne var ki $\phi\phi$ çizgisinin güneyinde kalan bölge Kuvaterner çökelleri ile doldurulmuş olduğundan, kuzey ucu belli belirsiz olan bu kırıkların güneyde izlenememektedir. Gözlemlere göre, yörede sıcak su çıkışlarının karşılaşıldığı yerler, a) Aktaş Yamacı – Çallıhoca bahçesi arası, b) Aktaş Yamacı önlerinden başlayan ve güneye doğru uzanan olası kırığın Devlet Karayolunu kestiği (G40–D40) bölgesi ve c) Ömerbeyli köyü yakınıdır. Kabaca en sıcak yerel bölge, Aktaş Yamacı çevresinde 4 km yarıçaplı bir çember içinde kalan yaklaşık 16–20 km^2 'lik bir alandır. Ölçülere SP belirtisi vereceğini sandığımız bu alandan uzakta bir yerde başlanmıştır. D–B

doğrultusundaki kırıklardan en az etkilenmek ve belki K–G doğrultusundakileri belirleyebilmek için açılımlar D–B doğrultusunda ve Aktaş Yamacında 4–5 km batıdan başlatılmıştır. Böylece D–B doğrultusunda her biri yaklaşık 9 km uzunlukta olmak üzere üç SP türev açılımı yapılmıştır. Bunlar $\phi\phi$, K20 ve G40'tır. Beklenen yerel belirtinin genişliği uyarınca iki ölçü alma noktası arası 70 metre tutulmuştur.

$\phi\phi$ Doğrultusu Boyunca SP Ölçümleri

$\phi\phi$ doğrultusu boyunca SP ölçümleri Batıda Yörük Çeşmesi'nden başlatılmış, Çallıhoca Bahçesinin üzerinden, Aktaş Yamacının 400–500 metre aşağısından geçerek Ömerbeyli Camisine bağlanmıştır (Şekil 5 ve 11).



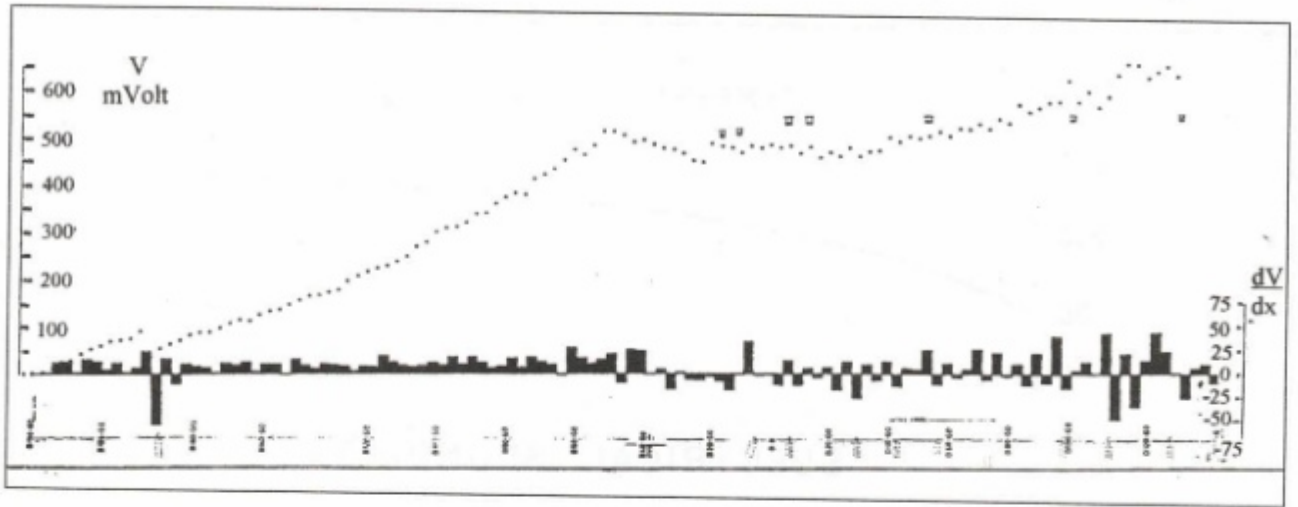
Şekil 10. Germencik jeotermal alanında simgesel elektrik delgi eğrisi.

Figure 10. Typical electrical sounding curve from Germencik geothermal field.

B40 Noktasının Batısındaki Ölçümler. Türev değerleri, B190 ile B40 noktaları arasında genel olarak ısrarlı bir artı (+) uçlaşma gösterirken B40 ile D140 arasında sürekli olarak bir artılı bir eksili değerler vermiştir. Burada mutlak olan, 1) B40'ın doğusunun batısına göre daha iletken olduğu, 2) B40 çevresinde yapısal bir süreksizlik olabileceği ve 3) B40'dan batıya gidildikçe öz direncin büyüdüğüdür (Şekil 9 ve 12).

Buna koşut olarak SP gerilim değerleri, B190'dan B40'a değin hemen hemen değişmeyen, yaklaşık 45'lik

bir eğimle yükselmiş, B40'dan D140'a değin ise 15' eğimli bir doğrunun çevresinde küçük salınımlar yaparak ilerlemiştir. Bu nedenle tek bir doğrultunun ayrı özellikte bu iki parçasının, B40 dönüm noktası olmak üzere, ayrı ayrı ele alınarak incelenmesinde yarar görülmüştür. B40'a iletkenlikleri ayıran bir süreksizlik noktası olarak bakılabilir. Bu süreksizliğin iki yanında izlenen ayrı görüşteki uçlaşmaların kökenleri izleyen biçimde sıralanabilir: a) B40 dokunağının doğusunda ve batısında gözenekleri dolduran elektrolitsel yeraltı sularının



Şekil 11. $\phi\phi$ doğrultusu boyunca SP ölçüleri. Noktalar gerilim, basamaklar elektrik alanını simgelemektedir.

Figure 11. SP measurement along the $\phi\phi$ profile. Points and steps represent the potential and electrical field respectively.

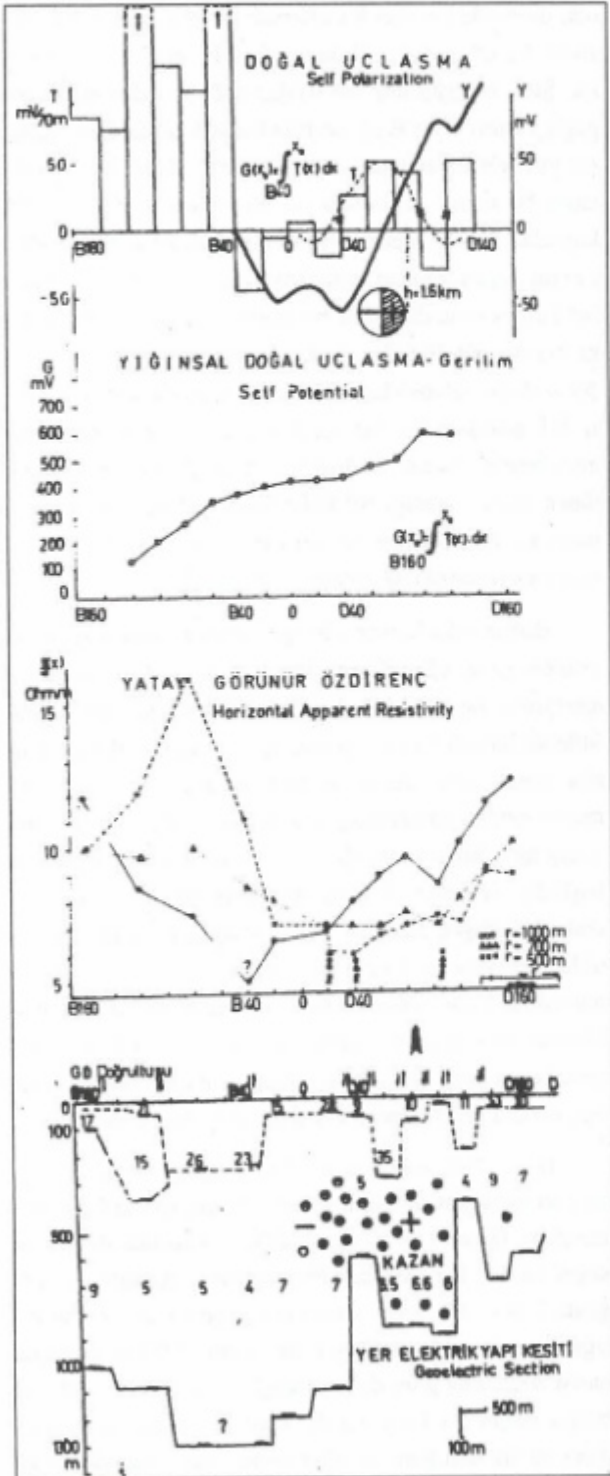
sıcaklık ayrılığı nedeniyle çözelti yükün yoğunlukları başka başka olabilir. Dolayısı ile her iki yanda iletkenlikler birbirlerinden ayrı olabilir. b) B40 orta nokta olmak üzere saat akrebinin dönme yönünde derinlerde olası bir sıcak su döngüsü varlığı (Artı olan batı bölgede yukarıya doğru, eksi olan doğu bölgede aşağıya doğru süzülme) söz konusu olabilir. c) Sığ derinliklerde yatay yönde iletkenlikte batıya doğru süreklilik ya da doğruya doğru süreksizlikler olabilir (Şekil 11).

Söz konusu sıcak yerde, her yer gürültüleri ya da titreşim ölçümleri ve küçük deprem odak dağılımı çalışmaları henüz yapılmadığından mekanizma çözümü belirsizdir. Bu nedenle en güçlü olasılık birinci (a) ve daha sonra üçüncüsüdür (c). Birinci olasılığa göre batı yakasında artılık (anod) özelliğinin oluşması için, doğu yakasına göre daha dirençli ve B40'dan B190'a gittikçe öz direncin büyümesi gerekir. Bu bulguyu destekler nitelikte batı yakada açılan kuyuların çoğu soğuk, doğu yakada kiler ise yer yer 60–70°C'ye varan sıcaklıklardadır. Bunlara ek olarak, elektrik kesite bakmak konuya bir ölçüde açıklık getirebilir (Şekil 12). Kesite göre ortamda, temel üzerinde ana olarak 3 katman vardır. Bunlardan en üstteki 50 ile 75 m kalınlığında, değişken öz dirençlerde simgelenen Kuvaterner çökelleri, onun altında 50 ila 250 metre kalınlıkları arasında değişen ortalama öz direnci 15 ohm-metre olan Pliyosen (1 ve 4) katmanları

ve onun altında da 3–9 ohm-metre öz dirençleri ile simgelenen oldukça derin (900–1000 metre arasında) hazne (reservoir) kayalar olduğu sanılan mermer ve kuvarsitlerdir. En altta ise elektrik temel görünümünde olan gnayslar yatmaktadır. Elektrik çalışmaları göre pliosen katmanları doğruya doğru kalınlaşmaktadır. B190 noktasında 100 olduğu sanılan pliosen alt sınırı B40- $\phi\phi$ da 300 metreye varmakta ve B160 değin aynı düzeyde gitmektedir.

Temel derinliği ise Batıdan (B160) doğruya (B40)'a geldikçe derinleşmekte ve çökelti kalınlığı artmaktadır. Belki de, bunun sonucu olarak, mermer – kuvarsit içindeki öz direnci 9'dan 3 ohm-metreye değin düşmektedir. Ne varki batıdan – doğruya sürdürülen SP elektrik alan ölçümlerinde artı uçlaşma ile karşılaşılması B160'dan B40'a değin yapının dirençliliğinin arttığı ya da temelin derinleştiği izlenimi uyanmaktadır. B40'ın doğusu ve batısındaki SP görüntülerinin ayrılığı bu nokta çevresinde temelde oluşan önemli bir yükseklik değişimi olabilir. Kaldı ki elektrik kesit (Şekil 12), B40 çevresinde 1300 m olan temel derinliğinin D160 çevresinde 500 metreye değin sığlaştığını belirtmektedir. B185 ile B180 arasında artı değerlerin büyük bir genlikle eksi değerine ulaşması, burada bir kırık olasılığını ortaya koyar. Kaldı ki, jeolojinin K–G doğrultusunda K60'a değin indirdiği kırığın uzantısı söz konusu SP belirtisi ile iyibir uyum içindedir. 88–90° arasında bir uçlaşma (polarization)

gösteren bu kırığın üst yüzeyinin derinliği, yığinsal eğrinin doruk ve çukur noktaları arasındaki uzaklığın 2 ile çarpımına eşittir. Diğer bir deyimle d, derinlik değeri 50 metre dolayındadır.



SP elektrik alan (SPE) belirtisinden saptanan değer ise 60 mere dolayındadır. Bu noktadaki Kuvaterner çökeltilerinin kalınlığının 50–60 metre çevresinde olması böyle bir uçlaşmanın Kuvaterner yaşlı bir kırık yüzeyinde oluşabileceğini gösterir. B183 – Gφ noktasında artılık batıda, eksilik doğudadır ve kırığın dahlımı 85° ile 90° ile batıyadır (Şekil 11).

B40 Noktasının Doğusundaki Ölçümler. φφ doğrultusunda B40 noktasının doğu kanadındaki ölçümlerde uçlaşma genellikle artılı eksilidir. Bu olgu doğu bölgesinin göreceli olarak iletken ve bol kırıklı olduğunu simgeler (Şekil 12). B40 ile D140 arasında yığinsal uçlaşma eğrisinde yaklaşık 4 km dalga boyunca bölgesel bir SP belirtisi gözlenmiştir. Bu ana belirti üzerinde D40 ile D100 arasında 2 km dalga boylu ikinci bir belirti vardır. Bunu B20 – Bφ ve D100 – D160 arasında binmiş yaklaşık 500'er metre dalga boylu iki ayrı üçüncül belirtiler izlenmektedir (Şekil 12). Bunlardan başka dalga boyları ölçü aralığı genişliğini geçmeyen (70 m) ve sığ derinliklerdeki yerel öz direnç ayrıntılarından kaynaklandığı sanılan yığinsal gürültülerde vardır (Şekil 8). Taslak (model) çalışmalarından edinilen izlenime göre 4000 metre dalga boylu bölgesel SP belirtisi yaklaşık D60 – D80 arasında 1800 metrede oluşan bir uçlaşma işleyişinden (mechanism) kaynaklanabilir. Bu işleyiş, sıcak suları besleyen ana kırık içinden çıkan yüksek ısı akışı oluşturabilir. Eğer bunun bir döngüden kaynaklandığı söz

Şekil 12. Germencik-Ömerbeyli sıcak alanında φφ doğrultusu boyunca yeraltı jeofizik kesiti. Doğal uçlaşma (türev-ve B40'a göre yığinsal-üstte), Gerilim (B160'a göre yığinsal-üstten ikinci), Yatay Görünür Öz direnç (üstten üçüncü).

Figure 12. Natures of natural polarization variations along the φφ profile and with respect to different base stations. Polarization gradient and potential with respect to B40 base station (above). Polarization potential relative to the B160 base point is shown at second figure from above. Schlumberger apparent resistivity profiling curve is the third from above and estimated electrical resistivity-polarization section, below.

konusu ise bu saat akrebinin dönme yönünün tersinedir. İki kilometredalga boyulu yığinsal SP belirtisinin tümüyle temel yükseltileri ile ilişkili olduğu sanılmaktadır. D75 – $\phi\phi$ noktasının doğusundaki artı kanat sığlaşan temeli, batısındaki eksi kanat ise derinleşen temeli simgelemektedir. Batıda derinleşen temel üzerindeki iletken mermer – kuvarsit eksi bir uç, bunun da doğu yaklaşık 85–90° ile dokunağa gelen dirençli gnays ise artı (+) bir u gibi davranmaktadır. (Mermerin iletkenliği, bol kırıklı ve çatlaklı ve bu çatlaklar arasını dolduran bol mineralli sıcak suların elektrolitik iletkenliği ile sağlanmaktadır). Bu dokunak süreksizliğine olan derinlik 100 metre çevresindedir. SP ölçmelerine göre yapılan bu yorum (Şekil 12)'deki öz direnç kesitine oldukça uymaktadır. Ayrıca D75 – $\phi\phi$ noktasının doğusunun artılık, batısının ise eksilik göstermesi, batı yakasının doğuya göre daha iletken, ya da daha sıcak olduğunu gösterir. Sözü edilen kırık jeolojik haritada Aktaş tepeden doğuya doğru uzanan çift kırık izinden doğuda yer alanıdır. SP merkezinin oldukça derinden çıkması, bu kırığın ısıyı yukarılara taşıyıcı ana kırık görevini üstlenebileceği sanısını güçlendirmektedir. Kaldı ki ileride izleneceği gibi bu kırık Ömerbeyli köyünü de içine alan D60 ile D140 aralığındaki yaklaşık 5 kırıktan en doğuda olanıdır. Bu aralık bölgede en çok kırılan bölgedir ve iyi bir olasılıkla D75'in doğusunda ve D95 – D110 arasında sıcak suyun yukarıya çıkış yolları bulunmaktadır.

B ϕ ve D40 arası SP eğrisinin eksi kanadında oluşan tepelik iyi bir olasılıkla, bu yörede 1300 metre derinliği olan temel üzerinde 1100 metreye değin sığlaşan B. Menderes çöküğü içindeki ikincil bir yükselimden kaynaklanmaktadır. Bu ikincil yükselimin doğu yakasında 1800 metrelerde olduğu varsayılan işleyiş, özellikle sıcak su aramaları için D40–D80 arasının verimli olabileceği izlenimini uyandırmaktadır. Böyle bir yükselim B. Menderes çöküğü içinde oluşabilecek gerilme sonucu kırılmalarla yukarılara değin sokulan atsonosferden kaynaklanabilir (K. Ergin, İTÜ, sözlü bilgi). B20 ile B5 arasında oluşan gerilim ve elektrik alan yaklaşık 130–140 metre derinde yatayla 150° – 160° yapan bir uçuşmayı gösterir biçimdedir (Şekil 12). Bu derinlik yörede Kuvaterner – Pliyosen sınır derinliğine uygundur. Yaklaşık 20° batıya eğimli bir uçuşmanın nedeni Pliyosen katmanının üzerinde Kuvaterner çökelleri içinde göllenmiş tünnek yeraltı suyu olabilir. Kuvaterner içindeki su birikin-

tisi üzerinde eksi yığinsal uçuşma belirtisi elde edilmesinin nedenleri ise, suyun ve hava yüzeyine dokunakta olduğu için su içinde oksijen bolluğudur. 130 – 140 metre derinde yeralan Pliyosen katmanının sığ yerlerinde su, oksijen azlığı ve hidrojen çokluğu nedeniyle, Pliyosen sanki bir indirgeme (reducing) bölümü gibi artılık, bunun üzerinde yeralan Kuvaterner ise göreceli olarak eksiklik kazanmaktadır. Dolayısı ile SP gerilimi bir eksiklik, SPE değerlerinde ise soldan sağa eksiden artıya bir geçiş vardır. G ve E eğrilerinin bakışık olmaması, uçuşma yüzeyinin yatay olmadığını belirtir. Kaldı ki, bu noktanın 50 metre yakınında bir bahçe kuyusu vardır. Bu kuyudan 30–40 metre derinden soğuk su alınmaktadır. Suyun soğuk olması, yakında ısıtıcı görevini üstlenen bir kırığın olmadığını ve bu suyun taşınma ile biriktiğini belirtir niteliktedir. Yakın çevrede, özellikle, B5 – $\phi\phi$ 'ın doğu yakasında sıcak su kuyuları ile karşılaşılması B5 noktasından bir kırığın geçebileceği olasılığını güçlendirir. Ancak bu kırığın vereceği SP belirtisinin, tünnek suyun verdiği SP belirtisinden daha küçük oluşması, kırığın etkisinin SP gerilim ve elektrik alan eğrilerine yansımaları engellemiş olabilir.

Buhar çıkışlarının olduğu yerlerde edinilen deneyimlere göre, eğer iletken kırık kuşağı bir su döngüsü içeriyorsa, bu kırığa yaklaşılan SP değerleri artan genliklerde bir artı bir eksi yönde uçuşarak, genlikleri görünüş olarak yatay duran bir huni biçimi alır. Ölçüm yönünde ortam iletkenleşiyorsa (kırık ilerde ise) huninin geniş ağzı kırığın olduğu yerde, dar ucu ise salınımın başladığı yerdedir. Artı uçuşmaların genliği eksi uçuşmalardan başka olabilir. Bu olgu uçuşma açısına bağlı olduğu ölçüde su döngüsünün ya da elektrik akımının yönüne de bağlıdır. Eğer bir fışkırtma varsa artı ve eksi genliklerin artış hızı eşit, akma ilerleme yönünde ise eksi genliklerin artışı daha büyük, eğer akma ilerleme yönüne ters ise artı genliklerin artışı daha küçüktür (Şekil 11).

D20 – D40 arasında, zarflarına bakılınca, içiçe geçmiş iki huni görünümünü veren SPE değişimleri gözlenmektedir (Şekil 12). Yaklaşık D30 noktasında iletkenlik sınırı vardır. Bu sınırda SPE değerleri, Kuvaterner yakasında 270 – 315 derece arasında uçuşma gösteren bir kırığı simgelemektedir. Diğer bir deyişle D30 noktasında batısı doğusuna göre daha dirençli olan ve 85° – 90° ile batıya dalan bir kırık vardır. Eksi genlikler, artılardan daha büyük olduğundan, eğer varsa, saat yönünde bir su

döngüsü olabilir. Bu kırık, jeolojik haritada Aktaş yama-cından başlayıp güneye doğru uzanan kırıktır. D28 kırığından 500 metre doğuda D42 noktasında, jeolojik harita gösterilmemiş, aynı özellikte ikinci bir kırık daha gözlenmektedir. D10 – D45 arası sözü edilen yüksek sıcaklık, bol su ve basıncı nedeniyle üretim için düşünülebi-lecek bir yer görünümündedir. B80 ile D140 arasında yı-ğınal ve türev değerlerinde ilginç bir görünüş vardır (Şekil 11). D80'den başlayan bir artılı bir eksili uçaşmanın D100'e yaklaştıkça genlikçe büyüdüğü izlenmektedir (Şekil 11). Özellikle su döngüsü içeren yüzey-lenmiş sıcak bölgelere yaklaşıırken belirtilen türde bir SPE değişiminin oluştuğu gözlenmiştir. Kaldı ki, D100 – $\phi\phi$ noktası yakınında olan bahçe kuyusundan sıcak su çekilmektedir.

Bu kırığın (Şekil 5)'de Aktaş tepeden başlayarak doğuya doğru uzanan, birbirine koşut iki kırıktan doğu yandaki olduğu sanılmaktadır. Jeolojik haritada kesikli olarak görülen bu kırık, 85–90° uçaşma açısı ile D95 – $\phi\phi$ noktasında doğal uçaşma eğrilerinde kendini göstermektedir. Uçaşma ölçümlerine göre eksi uçaşma veren kırığın batı yakasının doğusuna göre daha iletken olma-sı beklenirken, eğer kırıktan doğudan batıya bir su dön-güsü olduğu düşünülürse batının dirençli, doğunun ise iletken olması gerekir. Kırık uçaşma merkezinin 100 metre çıkması, tektonizmanın Kuvaterner yaşı oldu-ğunu simgelemektedir. Aslında bu kırığı, 200 metre doğu-da D110 noktası çevresinde ikinci bir kırık izlemektedir. Jeolojik haritada görülmeyen bu kırığın iz doğrultusu-nun bir öncekine koşut olduğu sanılmaktadır. Ancak D110 kırığının G ve E eğrilerine göre dalım açısı 85° – 90° arasında batıya doğru çıkmıştır. Eğer bu böyle ise, D95 – D110 arasında artı yüklerin toplanmış olması ge-rekir. D110 kırığından doğuya doğru SPE eğrisinin artı-lı, eksili ve azalan genliklerle sıfıra gitmesi (bir önceki-nin tersine), D95 – D110 aralığının tektonik olarak ol-dukça kırıklı ve su döngüsünü içerdığını belirtebilir. Çünkü hem D95 ve hem de D110 kırıklarının uçaşma açılarına göre D95 – D119 arasında artı, bu alanın dışın-da ise eksi uçaşma vardır (Şekil 11). Bu durumda bir yorum getirilecek olursa D95 – D110 arasının dışı göre daha dirençli ve soğuk olması gerekirdi. Oysa, D95 – D110 kırıklı aralığından yükselen ve D95 kırığından ba-tıya, D110 kırığından doğuya doğru düşen sıcak su dön-güsü gözlenen türde SP gerilim ve SPE belirtisi verir.

Bu nedenle, D95 – D110 aralığı yüksek basınçlı ve yük-sek sıcaklıklı su döngüsü içeren, üretim için önemli bir bölge olmaya aday görünümündedir. Devingen bol sıcak su içeren böyle bir bölgeye yaklaşıırken SPE ölçüleri mutlak genlik açısından büyümekte ve uçaşma yönü sü-rekli olarak bir artı bir eksi olmaktadır (Şekil 12). (D120 – D140) – $\phi\phi$ aralığı Ömerbeyli köyü içine denk gel-mektedir (Erbeyli'den gelen ana yolun köy içine kıvrıl-dığı noktadan camiye doğru). Bu aralık içinde yaklaşık D122 noktasında 120°–90° arası uçaşma gösteren, bu nedenle yaklaşık 85°–90° batıya dalan bir kırığı simge-leyen SP belirtileri ile karşılaşılmıştır.

Basamaklı SPE eğrisinin D80–D120 arasındaki gö-rünüşi vermemesi, D122 noktasında beklenen kırığın bir su döngüsü içermediği izlenimini vermektedir. D122 kırığının doğusundaki eksilik, iyi bir olasılıkla D110 kı-rığından gelen bol oksijenli suların D110 ile D122 ara-sında toplanmasından oluşmaktadır. Bu nedenle, bu ara-lıkta açılacak kuyulardan yüksek sıcaklık beklememek gerekir. SP eğrilerine göre Ömerbeyli alanında (Cami-nin önü) geçtiği sanılan kırığın dalımı 90° doğusu artı, batısı eksi uçaşma durumundadır. Ömerbeyli içinde açılacak kuyulardan az debi ve ılık su beklenebilir.

Yukarıda sayılan kaynak bilgilerin tümünü kulla-narak $\phi\phi$ doğrultusunda çıkarılan elektrik ve uçaşma yapı kesiti görüntülenmektedir (Şekil 12). Bu kesitte en altta yer alan temel sınırı, eğri üzerinde görülen en de-rindeki katman sınırını simgelemektedir. Jeolojik bilgi-yi karşılaştırılacak olursa özdirenç 20 (ohm–metre) olan bu elektrik katman, gnays olabilir. Elektrik temel derin-liği genel olarak batıdan doğuya doğru sığlaşmakta-dır. Bu genel gidiş üzerindeki ikincil çıkıntılarının boyutu-nun duyarlılığı, yukarıda sayılan yan etkilerin görünür özdirenç (GOZD) etkileri oranına göre değişir.

B160 – D20 arasında geniş derin bir tekne (1200 metre) görünümünde olan çukurluk, doğu yakasında D40 ve D120 altında yapmış olduğu çıkıntılarla (ikincil yükselimler) sanki bir gölet izlenimi vermektedir. Her iki yanından 400 , 500 metrelik duvarlarla (gnays?) ka-patılmış olan bu gölet yaklaşık 500 metrelik derinliği ile bir “kaynar kazan” izlenimini uyandıracak niteliktedir. Kazan içi ve dışının özdirenç 6.5 ohm–m civarında ol-masına karşın kenarlarının özdirenç onlarca ya da yüz-lerce ohm–metredir. Bunun sonucu olarak arazide kazan

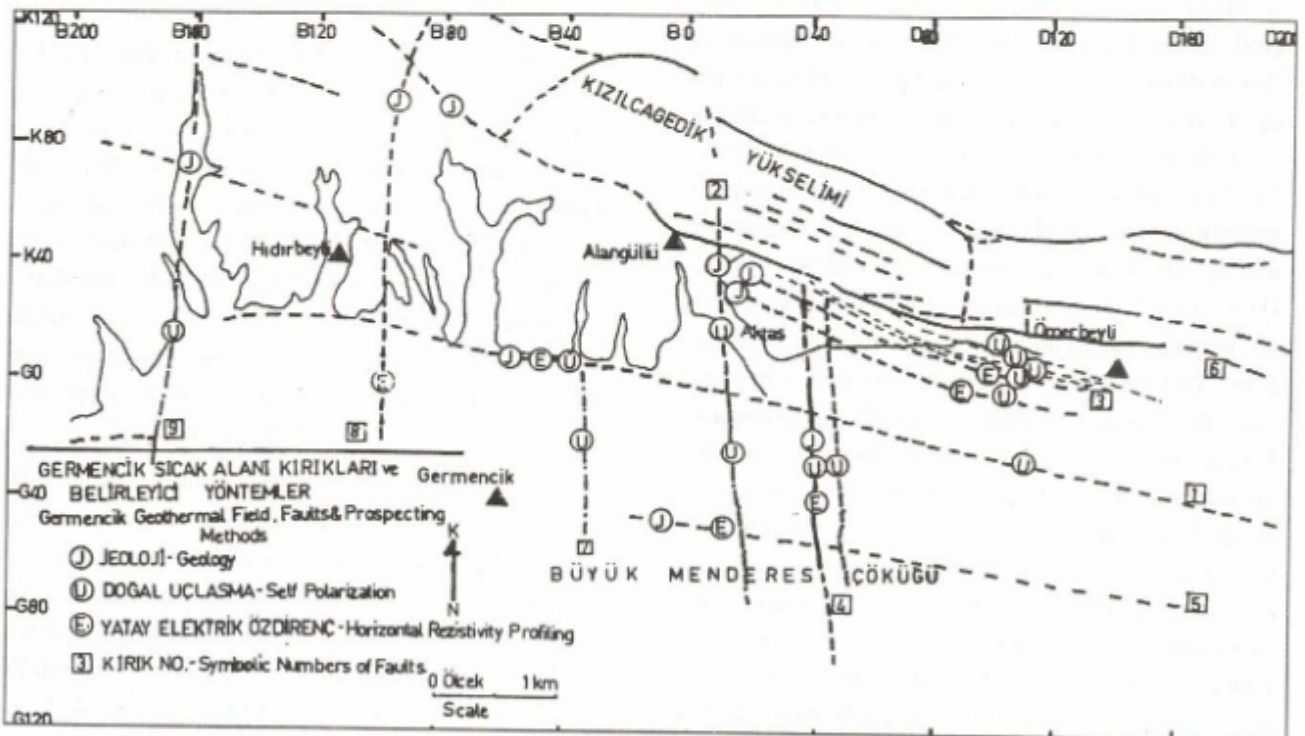
izdüşümü üzerinde açılmış olan bahçe kuyularının çoğu sıcaktır ve kazan kenarları arazide gözlenen D40 ve D100 - 120 kırıklarıyla uyum sağlamaktadır. Ancak kazan için yüksek özdirençli bir kapak belirgin olarak gözlenmemekle birlikte, sığ derinliklerde (200-300 metre) yeralan 10-40 ohm-m özdirençli bölüm batıya doğru ağız açık bir "midye" görünümündedir. Midye kapağının bağlantısı D120, ağız D40 çevresindedir. Belki, bu nedenle, D40 kırığı ile açıklanan doğrultuda bir buhar tüt-sülemesi görülmekte ve sıcak su kuyuları dizilmektedir.

Doğal uçlaşma, derinliğine ve yatay görünür özdirenç ve jeolojik bilgilerin yorumuna göre, B160 - B140, B120 - B140, B120 - B100, B40 - B20, D20 - D40, D40 - D60, D80 - D100, D100 - D120, D120 - D140 arasında birer kırığın olabileceği sanılmaktadır. Şekil 13 üzerinde bu kırıklar bulgunun kökenine göre (J-Jeoloji, U-Uçlaşma, E-Elektrik özdirenç) olmak üzere belirtilmiştir.

Görünür özdirenç kaydırma (electrical profiling) değerleri 500 metre aralarla alınan derinliğine görünür

özdirenç ölçümlerinden $r = 500, 700$ ve 1000 metre için çıkartılmıştır (Şekil 12). Ortam yatay katmanlı ve tekdüze olmadığından aynı r açılımı için yatay yönde inceleme derinliğinin aynı olmaması olağandır. Ancak her üç eğrideki ortak yan, B40 batısında ve D120 doğusunda yüksek özdirençli kanatlar arasında özdirenci 6.5 ohm-m varan çukur bir çanak oluşturmaktadır. İletken TT-türü süreksizlik diye adlandırılan bu belirti kazanın yerini göstermekte olup, kazan kenarlarına dik ya da dike yakın batıya eğimli olduğunu göstermektedir (Ercan 1983).

$r = 500$ metrelik açılım için, B160-B20 arasındaki değerler, Pliyosen birimleri içinde oluşan yüksek özdirençli katmandan kaynaklanmaktadır. Bu eğrinin yaklaşık $200-300$ metre derinlikte özdirencin yatay yönde değişimini simgelemekte olduğu sanılmaktadır. $r = 500$ eğrisinden D20-D40, D40-D60, D100-D120 arasında oluşan kırıklar çıkarılabilmektedir. Ayrıca, kazan içinde özdirenci 6 ohm-m olduğu belirlenmektedir. $r = 700$ metre eğrisi, $r = 500$ 'e göre daha yumuşak bir görüntü içermesi, bu derinlikte düşey süreksizlikler arası yansı-



Şekil 13. Germencik sıcak alanı kırıkları ve bunları belirlemede kullanılan yöntemler.

Figure 13. Tectonics of Germencik geothermal field and methods which were used to identify the fault lines.

ma katsayısının küçüldüğünü belirtir. Kanıya göre, bu eğri 500 metre derindeki bilgileri yansıtmaktadır. Buna göre B40 batısında öz direnç değerleri 9.5 ohm-m çevresinde iken B40'daki süreksizlikten doğuya doğru 6.5 ohm-m düzeyine düşmekte D100-D120 kırığından sonra 10 ohm-m'lik bir değere tırmanmaktadır. Ortadaki çukur alanın (B40-D100) geniş olması, bu açılımda akımların temel yüksekliklerini görecektir ölçüde derine inmediğini belirtmektedir. $r = 1000$ metre için, yatay görünür öz direnç eğrisi sol yandaki (D20 batısı) teknenin temeline değin inemediği için yumuşak bir iniş göstermekte. Ancak akımların yaklaşık D20-D40 arasında temeldeki yükselim engeli ile karşılaşması eğriyi yükseltmektedir. Ayrıca, kazanın sağ kenarındaki yükselim etkisi D80-D120 arasında eğride bir dalgalanma ile simgelenmektedir. Kazan kenarlarının birbirine giren etkileri nedeniyle, $r = 1000$ m eğrisine bakarak kazan içi öz direncini saptama olanağı yoktur. Ancak kazan dışında öz direncin sol yanda 7 ohm-m sağ yanda ise daha büyük olduğu açıktır. Bu derinlik düzeyinde kazan içi ve kazan dışı öz dirençlerinin yaklaşık aynı olması, neresinin daha sıcak olduğu sorusunu yanıtlamaktadır.

B160 - D160 arası SP gerilim eğrisinin biçimi temel yükseltilerine simgeler biçimde batıdan doğuya doğru yükselmektedir. SPE değerleri, açıkça B40'ın batısında ısrarlı biçimde artı değerler alırken B40 doğusunda artılı-eksili değerler alarak dalgalanmaktadır. B40'daki bu süreksizliğin sıcaklık ve çözelti değişiminden kaynaklanması güçlü bir olasılıktır. Buna göre B40 doğusu, batısına göre daha sıcak olabilir. B40'ın batısında SPE değerleri hep artı olduğundan, B40 noktasından başlamak üzere doğuya doğru yığılan değerler yaklaşık 5-6 km dalga boylu bir SP belirtisi vermiştir. G eğrisinin D70-B40 arasında kalan bölümü eksi, D70-D160 arasındaki bölümü ise artı değerlidir. SPE değerleri de D70 eksenine göre bakışık artı değerli bir çan görünümündedir. Bu oluşum tam D70'in altında yaklaşık 1500-2000 metre derinde 90°'lik (düşey) bir uçlaşma işleyişinin varlığını simgelemektedir. Bu merkezin iz düşümü D40 - D120 arasındaki kazanın tam orta noktasına denk gelmektedir. Kazan içinde artı (+) yüklerin kazandışına göre çoğalmasını sağlayarak bir artı - eksi uçlaşma yaratan bu olgunun kökeni iyi bir olasılıkla kazan içindeki aşırı sıcaklıktır. Bu nedenle D40-D120 arasın-

da sınırlanan bölüm yörede aranan "kaynar kazan" olabilir. Benzer uçlaşmanın D40 batısında gözlenmemesi D40-B40 arasında göreceli olarak ılık olduğunu belirtmektedir (Şekil 14).

Özet olarak, yörede 300 ile 1000 metreler arası ortalama 7 ohm-m'lik iletken bir kayaç ile simgelenmektedir. Öz direnci düşüren temel etmen kayaç gözeneklerinin suya doygun olması olabilir. D40 ve D120 de büyük kırıklarla (yükselimlerle) sınırlanan alanın çözeltisi içindeki yük yoğunluğu dengesizliğinden doğan bir uçlaşma vermesi, yörede üretim için ümitli alanın D60 - D80 arası olabileceğini vurgulamaktadır.

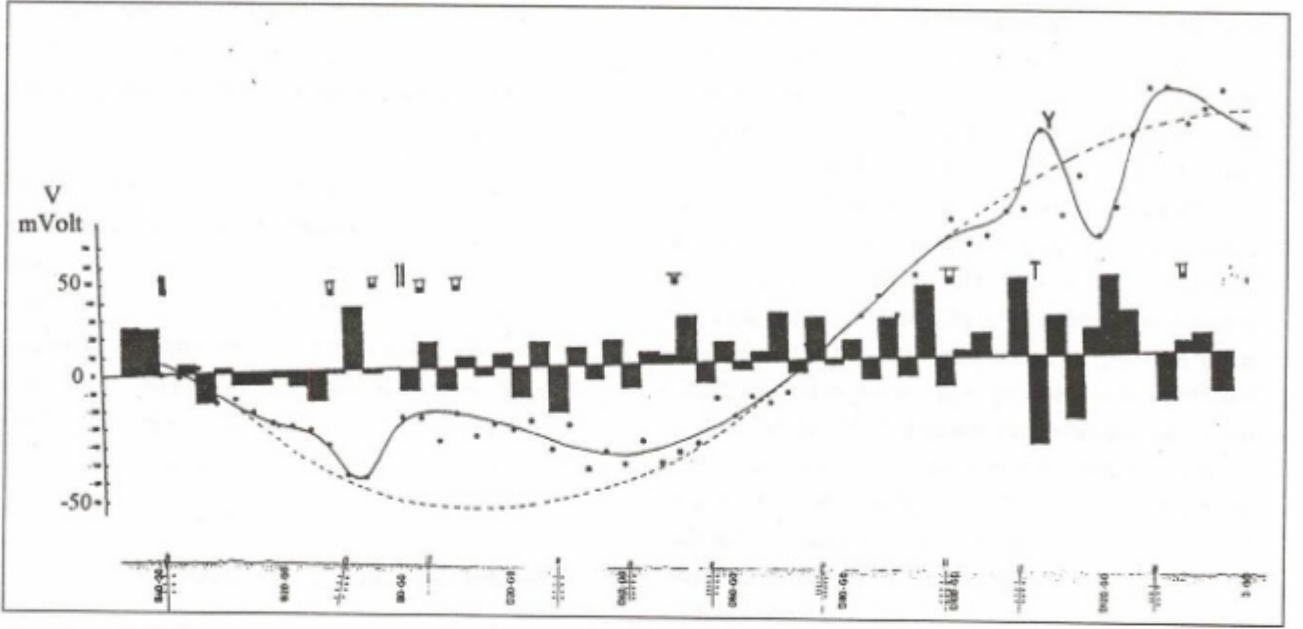
D40- Doğrultusu Boyunca SP Ölçümleri

D40 Doğrultusu, Aktaş Yamacındaki buhardan, Devlet Karayoluna inilen dikmedir. Ölçümler bu doğrultunun güneyde Devlet Kara ve Demir yolunu kestiği yerden başlamış (G40) ve 70 metre aralarla alınan türev ölçümleri ile Aktaş sıcak buhar çıkışı geçerek Kızılcağedik yükselimine ulaşacak biçimde kuzeye doğru sürdürülmüştür (Şekil 15). D40 GK doğrultusunda yapılan bu ölçümlerin amacı; G40 ile Kızılcağedik yükselimi arasındaki alanın sıcak ve soğuk yerlerinin ayrımlanmasının yanısıra sıcak-basınçlı su içeren kırıkları saptamaktır.

Ömerbeyli - Hıdırbeyli (Aydın) Doğrultusunda (K20) SP Ölçümleri

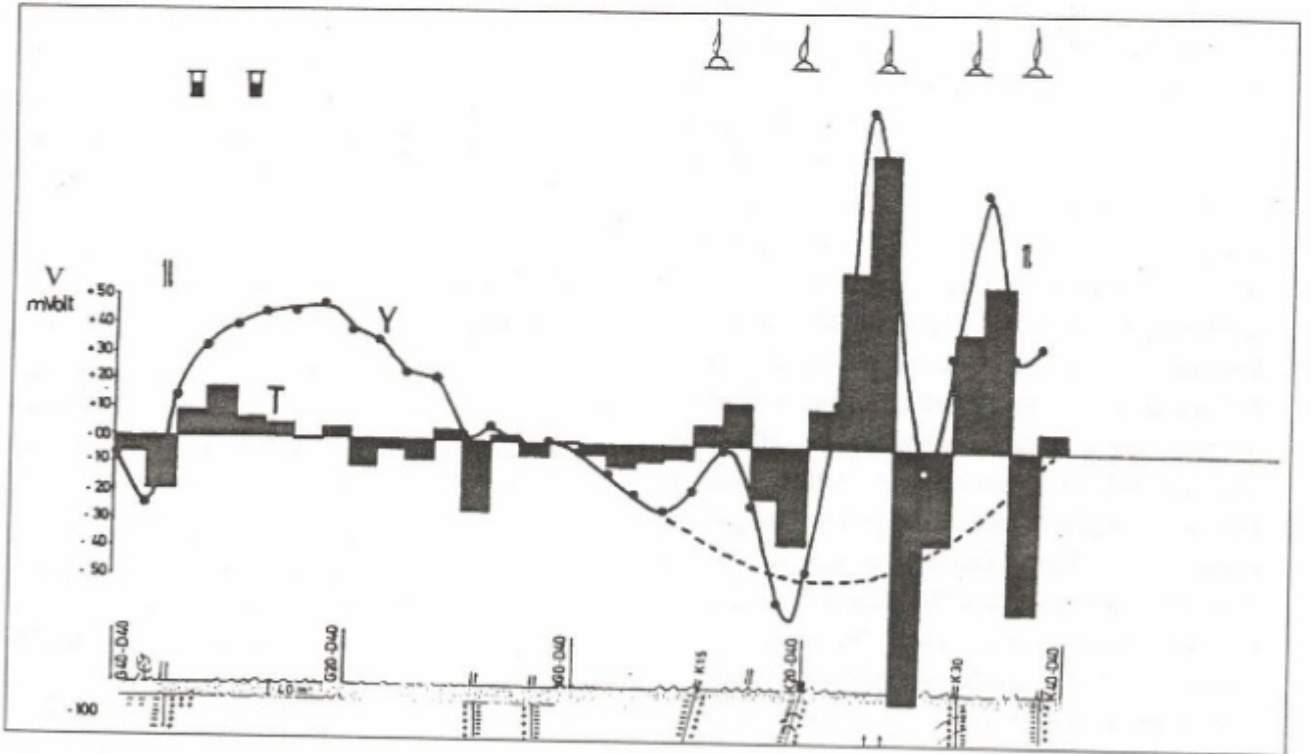
Şekil 5'de "K20 doğrultusu" adı ile anılan ölçüm doğrultusu doğuda Ömerbeyli köyünü, batıda Hıdırbeyli köyüne bağlayan ve Aktaş Yamacı sıcaklık çıkışından geçen 4.5 km'lik bir düz çizgidir.

SPE eğrilerine bakılırsa; türevin sürekli yön değiştirmesinden yapının iletken olduğu anlaşılır. Ölçü ilerleme doğrultusu olan, doğudan batıya doğru türev değerlerinin ardışık yığılması ile oluşan SP eğrisi B60-B20 arasında 100 mV'a varan bir artılık, D20-D120 arasında bir 120 mV'a varan eksilik göstermektedir (Şekil 16). Buradan, K20 doğrultusu boyunca, D20'nin doğusunun, batısına göre daha iletken ve sıcak olduğu anlaşılır. Yaklaşık 1700 metre dalga boylu, doğuda eksi batıda artı



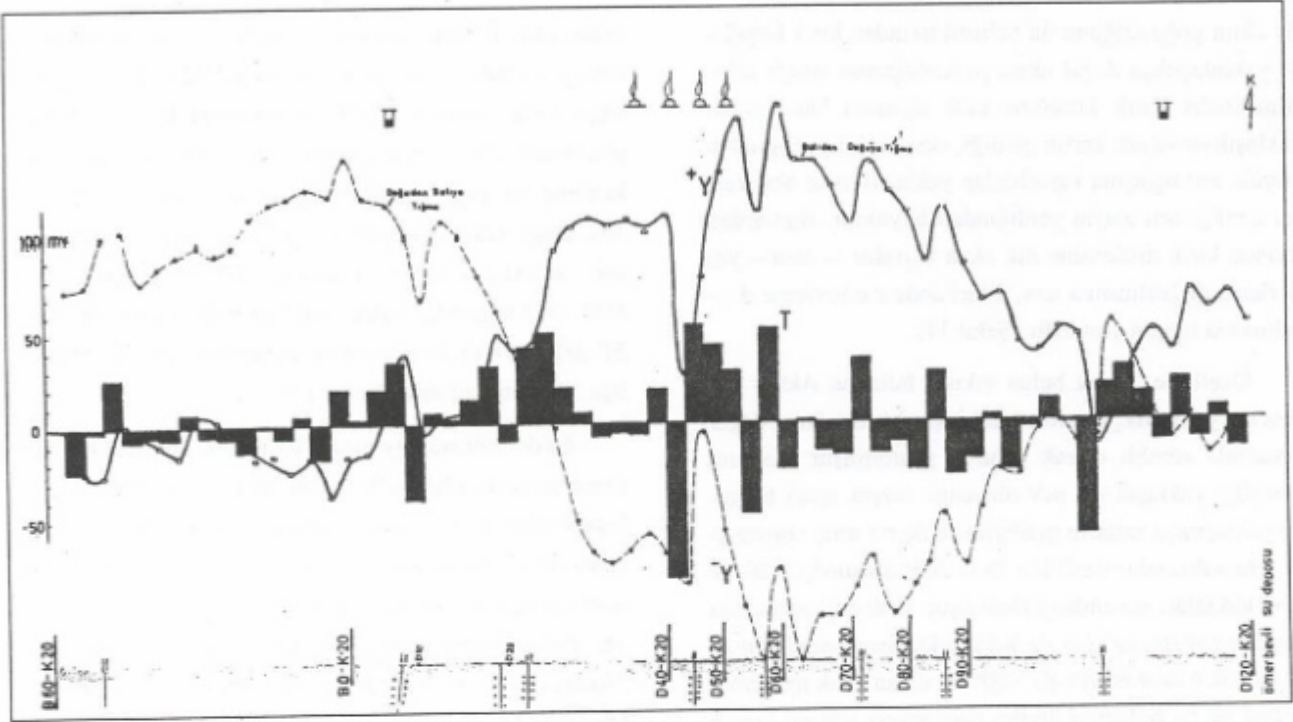
Şekil 14. Germencik sıcak alanında $\phi\phi$ doğrultusunda B40'a göre yığılmış gerilim ve doğuya doğru değişen türev değerleri.

Figure 14. Natural polarization potential curve with respect to the B40 base station, and gradient values along the $\phi\phi$ profile in Germencik.



Şekil 15. Germencik sıcak alanında D40 doğrultusu alınan Doğal uçlaşma ölçüleri.

Figure 15. Natural polarization measurements taken along the D40 profile in Germencik geothermal field.



Şekil 16. Germencik sıcak alanı Hıdırbeyli-Ömerbeyli arası K20 doğrultusu Doğal uçlaşma ölçümleri.

Figure 16. Natural polarization measurements along the K20 profile extending between Hıdırbeyli and Ömerbeyli towns, in Germencik geothermal field.

olan uçlaşma, 1200 metre derinlikte bir oluşum işleyişini simgelemektedir. Doğal olarak bu işleyiş sıcaklık ve aşırı basınçlı su ile ilgilidir. 1200 metre odak derinliği içeren olgunun uçlaşma açısının 90° olması, fiziksel değişimin, D20 yakınında yüzey izi olabilecek bir kırıkça süresizliğe uğratıldığı kanısını güçlendirmektedir (Şekil 16).

Erbeyli – Germencik Arası Devlet Karayolu Boyunca SP Ölçümleri (G40 Doğrultusu)

Erbeyli – Germencik arasında algılanan SP ve SPE değerlerinin görünüşü $\phi\phi$ ve K20 boyunca alınan ölçülere oldukça benzemektedir. B40'ın batı yakasında G-gerilim değerleri sıfır milivolt çevresinde dolaşırken, doğu yakası dalgalanarak artılaşmayı sürdürmektedir. Kabaça, bu görünüşün anlamı, B40 noktasından doğuya doğru temel derinliğinin sığlaşıyor olmasıdır. Sonuçta bu bulgu derin öz direnç eğrisinden elde edilen temel kesitiyle desteklenmektedir.

SONUÇLAR

Germencik – Ömerbeyli yöresinde yapılan SP ve elektrik öz direnç ölçümleri, yöntemin özellikle yöreyi ısıtma görevini üstlenen kırıkların yerlerini, uçlaşma düzlemlerini ya da diğer bir deyişle kırıkların eğim açılarını, uzanım doğrultuları bulmada, sıcaklık, basınç ve iletkenlik ayrılıkları olan parçaları ayırt etmede oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Kırık yüzeyine dik geçen doğrultularda elde edilen SP belirtileri yörede K-G doğrultusunda uzanan kırıkların çoğunun 85° – 90° batıya doğru dalımlı olduğunu ve bunlardan Alangüllü ile Aktaş Yamacı kırığının 1–1.3 km uçlaşma odak derinliğini içerebileceğini göstermiştir (Şekil 12).

Buhar çıkışı ya da sıcak basınçlı suyun sığ derinliğe değin sokulduğu iletken kırık kuşaklarına yaklaşırken SPE ölçümleri bir eksi bir artı değer olarak yaklaşık biçimi yatık bir "huni"ye benzeyen bir zarf içinde salınmaktadır. Huni zarfının geniş ağzı iletken bölüme, ucu ise dirençli yana bakmaktadır. SPE eğrileri, o yörede elekt-

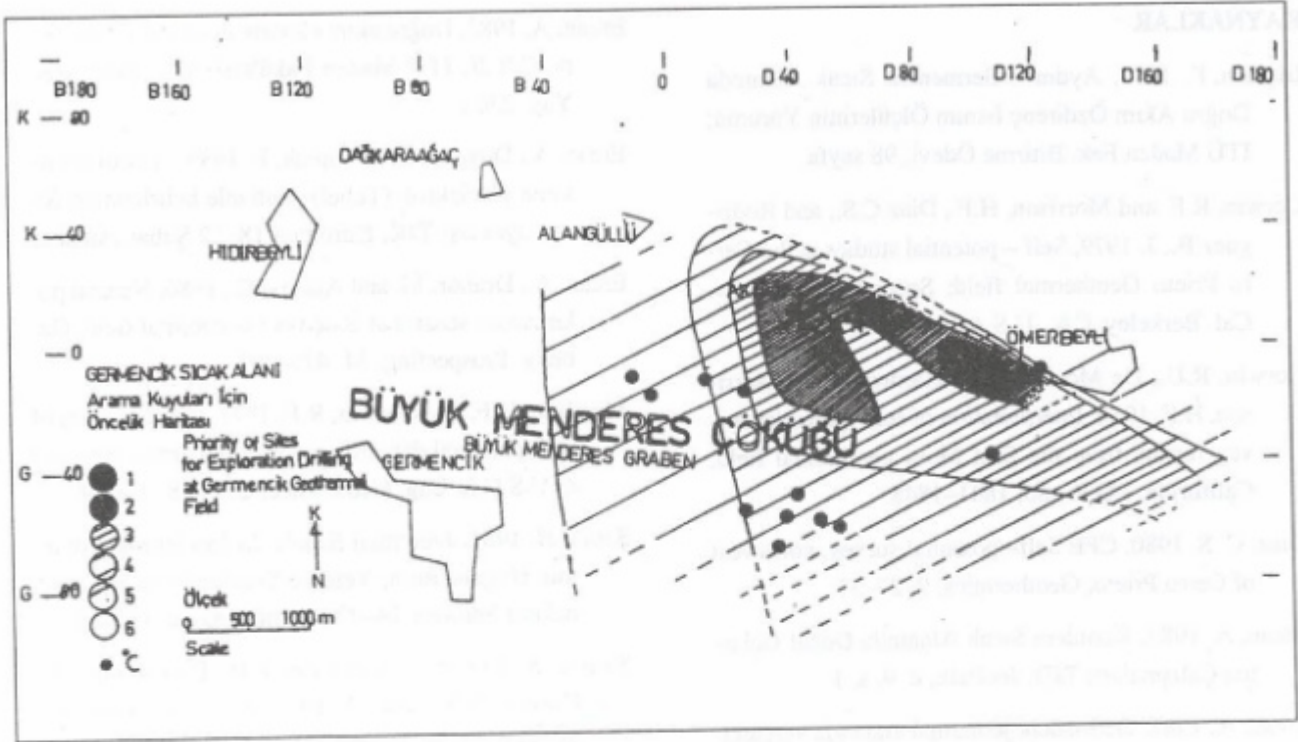
rik akım yoğunluğunu da belirttiklerinden kırık kuşağına yaklaştıkça doğal akım yoğunluğunun arttığı anlaşılmaktadır. Kırık kuşağına eksi uçlaşma kanadından yaklaşıyorsa artı zarfın genliği, eksi zarfın genliğinden büyük, artı uçlaşma kanadından yaklaşıyorsa eksi zarfın genliği artı zarfın genliğinden büyüktür. Bunlardan ilkinde kırık düzlemine dik akan akımlar (+ dan - ye) ilerleme doğrultusuna ters, ikincisinde ise ilerleme doğrultusuna uygun yöndedir (Şekil 11).

Özellikle "sıcak buhar çıkışı" bulunan Aktaş Yamacına yaklaştıkça gerilim değerleri bir ortalama değer civarında sürekli olarak salınım göstermiştir. Salınım genişliği yaklaşık ± 5 mV olmasına karşın, sıcak bölgeye yaklaştıkça salınım genliğinde de bir artış izlenmiştir. Bu salınımlar özellikle D40 doğrultusunda K20 ile K40 noktaları arasında gözlenmiştir. D40 doğrultusunda yapılan çalışmalar, G5 ile K40 noktaları arasında en az 4, en çok 6 tane batıya $85^\circ-90^\circ$ ile dalan kırık içerebileceğini ve bu bölgenin üretim çalışmaları için en uygun yer olduğunu gösterir niteliktedir. G40, G5 arası G5 - K40 arasına göre daha soğuktur. Bu yörede olası basınçlı sıcak su içeren parça K20 ile K30 arasındadır.

SP ölçümlerinde elde edilen belirtinin genişliği çoğunlukla kaynağın derinliğinden çok genişliğine bağlıdır. Ancak K20 ve G40 doğrultuları boyunca gözlenen 1000 metreyi aşkın dalga boylu SP belirtilerinin olası üç kökeni üzerinde durmağa değer; a) Bir kanat ile diğer kanat arasında aşırı basınç, sıcaklık ya da iletkenlik ayrılığı vardır. b) SP eğrisinin artılaşığı bölümde temel sığlaşmakta, eksi olduğu bölümde derinleşmektedir, c) "Çift - ucay" (dipoler) türde G- yığımsal belirtiyi bu yörede gözlenen sıcaklığın kökeni olan, dalga boyunun simgelediği derinlikteki işleyiş oluşturmaktadır. Bunlardan her üçüde olasıdır. Kaldı ki derin öz direnç çalışmalarından gnays temel derinliğinin bu yörede 1300 metre çevresinde olması ve SP eğrisi dalga boyunun yaklaşık bu derinlikteki bir "uçlaşma odağı" varlığını simgelemesi, ikinci ve üçüncü durumların daha olası olabileceğini vurgulamaktadır. Nitekim K20 doğrultusunda 1700 metre dalga boylu bir SP belirtisi elde edilmiştir. Bu belirti, konum olarak D20 noktasının 1200 metre altında -90° ile uçlaşan kaynak niteliğinde bir kırığın ya da sokulum olabileceğini simgelemektedir. Buna göre, D20'nin batısı dirençli, doğusu ise göreceli olarak D100 noktasın

değin aşırı iletken ve sıcaktır. İkinci durum gözönüne alınırsa, temel olarak bilinen gnays D20'den doğuya gittikçe sığlaşmaktadır. D 20'nin batısında bir tane kırık gözükmeyle birlikte, doğusunun beş-altı kırıkla oldukça kırılmış bir yapıyı simgelediği ortaya çıkmıştır (Şekil 13). Doğu yakasının kırıklı yapısı, bu yakada gözlenen aşırı sıcaklığın temel kökenidir. K20 doğrultusunda, D40-D65 arasında "yatık huni" görünüşlü elektrik alan SP değerleri, en iletken ve sıcak yörenin D40-D65 aralığı olduğunu gösterir (Şekil 17).

$\phi\phi$ doğrultusu boyunca D70 noktası dış odak olmak üzere yaklaşık 1200-1300 metre derinliğinde 90° 'lik uçlaşma gösteren bir işleyiş olabilir. Eğer böyle bir ısıtıcı odak var ise Aktaş tepeden geçerek yaklaşık D-B doğrultusunda uzanan çift kırıklar arası üretim için uygun bir yer görünümüne bürünmektedir. Jeolojik haritada da "Aktaş çift kırığı" olarak gözlenen bu kırıkların gerçek sayısının 3 ya da 4 olabileceği SP ölçümlerinden anlaşılmaktadır. Sözü edilen 2 ek kırık bir önceki çift kırık doğrultusunda olup en kuzeydeki Ömerbeyli köyünün güney yarısından geçer. Elde edilen SP ölçülerin bu dört kırık arasında büyük genlikli olması ve uçlaşma yönündeki sık değişimler, bu kuşağın güneyde uzanımının incelenmesinin bir bakıma sıcak kuşağı belirleme ile eş anlamlı olacağı izlenimini uyandırmaktadır. K20 ve $\phi\phi$ doğrultularından edinilen izlenim, B40 noktasının bir özellik ayrılık sınırı ödevini üstlendiğidir. Şöyleki B40'ın doğusu batısına göre daha iletkendir, sıcaktır ve basınçlıdır. Jeolojik haritada B160 ile B200 arasında K-G doğrultusunda uzanan kırığın K20 ile G40 arasında da sürdüğü SP ölçümlerinden anlaşılmıştır. D-B doğrultusundaki ölçümlerde biri D30 ve diğeri D40'da olmak üzere iki tane D-B doğrultusunda kırık vardır. Nitekim, yaklaşık 250 metre aralı her çift kırığın arasında açılan bahçe kuyularından çekilen suların tümü sıcaktır. Yaklaşık D-B doğrultusunda Pliosen tepelerinin önünden geçen kırık, SP ölçümlerinde büyük genlikli uçlaşma değerleri vermiştir. Bu kırık ile D-B doğrultulu Aktaş Yamacı kırıkları arasındaki kuşağın oldukça kırıklı olması bu aralığın üretim için uygun olabileceği izlenimini uyandırmaktadır (Şekil 13 ve 17). Bu bölgede 500 metre aralarla yapılan doğru akım derin Schlumberger ölçümleri ile gnays temelinin üst yüzeyi belirlenmiştir



Şekil 17. Germencik sıcak alanı at nalı biçiminde oluşan arama kuyuları için öncelik haritası.

Figure 17. Horse-shoe type priority anomaly map for production drilling in Germencik.

(Şekil 10). Gnays temeli üzerindeki 100–200 metreye değin olan çıkıntılar Frekans Ortamı Yapay Elektromanyetik, Tellurik ve duyulur frekans manyetotellurik yöntemlerle çabuk olarak saptanabilir. Gnays temelinin altındaki yapıyı çaişmak için yörede Geçici Elektromanyetik Yöntemin ve TUBEL yönteminin kullanılması düşünülebilir (Ercan ve diğ. 1985).

Ayrıca gözenekleri sıcak su ile dolu bölgeyi ayırt etmek için sismik P dalgası hız değişimi, sıcak alanın etkinlik ölçüsünü ve yerlerini sınırlamak için "küçük yer titreşimleri" ölçümleri yapılabilir.

Sonuç olarak; a) Batıdan doğuya gidildikçe temel yükselmektedir. b) D60 ile D100 noktaları arasında yer alan kırıklarda 500 metreye varan atımlar vardır. Ayrıca bu aralıkta temel aniden derinleşmektedir. c) Temel derinliği kuzeyden güneye doğru derinleşmektedir. d) Yaklaşık 100–200 metrenin altında temele değin özdiğer değeri 4 ile 6 ohm-metre arasındadır. En küçük değeri se D20 ile D100 arasında yer almaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma 1981'de bitirilmiş ve sunu biçimine dönüştürülmüştür. O tarihten sonra yapılan jeofizik (sismik, IP) ve sondaj çalışmaları bu çalışmaya konulmamıştır. Bu çalışmanın sürdürülmesinde emekleri geçen, üstün çaba ve çalışma örneği gösteren öğrencilerim Murat Hazinedaroğlu, M. Emin Yavuzkol, Gülçin Özürkan, Faruk Biçmen, İlyas Ekşioğlu, Gönül Çetinok ve Neriman Yılmaz'a teşekkür ederim.

Aydın Jeofizik Kampının araç, konaklama ve yararlanmayı sağlayan MTA Enstitüsü Genel Direktörlüğüne, kamp üyelerinden Jeof. Müh. Alp Dülger ve Topograf Yusuf Uğurcuklu'nun ölçü noktalarının arazide dağıldıkları yerlerin seçilmesinde ve çizim çalışmalarında gösterdikleri ilgi ve gayretleri için teşekkür ederim. Ayrıca, bölgenin yapısı ve kırık varlığı üzerine tartışma olanağı bulduğum Dr. Şakir Şimşek sağolsun.

KAYNAKLAR

- Biçmen, F. 1983, Aydın – Germencik Sıcak Alanında Doğru Akım Öz direnç Isınım Ölçülerinin Yorumu; İTÜ Maden Fak. Bitirme Ödevi, 98 sayfa.
- Corwin, R.F. and Morrison, H.F., Diaz C.S., and Rodriguez B., J. 1979, Self – potential studies at the Cerro Prieto Geothermal field; Special report, Univ. Cal. Berkeley, CA., U.S.A.
- Corwin, R.U., De Moully, G.T., Harding, R.S., Morrison, H.F. 1980, Interpretation of self– potential survey results from the East Mesa geothermal field, California, J.G.R., 86, 1841–1848.
- Diaz, C. S. 1980, CFE Self– potential survey, northwest of Cerro Prieto; Geothermics, 9, 27–37.
- Ercan, A. 1982, Kızıldere Sıcak Alanında Doğal Uçlaşma Çalışmaları; TJD, Jeofizik, c. 9, s. 1.
- Ercan, A. 1982, Germencik jeotermal alanında yerelektirik ve uçlaşma çalışmaları; İTÜ Maden Fakültesi Yayınları, 120 sayfa.
- Ercan, A. 1983, Doğru akım elektrik öz direnç yöntemleri; Cilt II, İTÜ Maden Fakültesi Jeof. Müh. Böl. Yay. 230 s.
- Ercan, A., Duygu, M.A., Toprak, F. 1985, “Petrol rezervinin yerelektrik (Tubel) yöntemle belirlenmesi Sirt, Oyuktaş; TJK, Kurultayı 18–22 Şubat, Ankara.
- Ercan, A., Drahor, M. and Atasoy, E., 1986, Natural polarization studies at Balçova Geothermal field; Geophy. Prospecting, 34, 475–491.
- Morrison, H.F. and Corwin, R.F. 1977, Interpretation of self–potential data from geothermal areas; proposal to U.S.G.S. Eng. Geoscience, U.S.G.S., Cal. 9.
- Şahin, H. 1981, Jeotermal Sahalarda Jeoelektrik Yöntemin Uygulanması; Yeni ve Yenilebilir Enerji Kaynakları Seminer 24–27 Kasım, Ankara, 15 sayfa.
- Şimşek, Ş., Uygur, N., Özbayrak, İ. H., Dikmenoğlu, F., Coşkun, B.S., Aras, A. 1979, Aydın (Germencik – Söke) Alanının Jeotermal Enerji Olanakları, MTA, Petrol ve Jeotermal Enerji Dairesi İnceleme Yazısı, 8 sayfa.

ODA ÜYELERİ

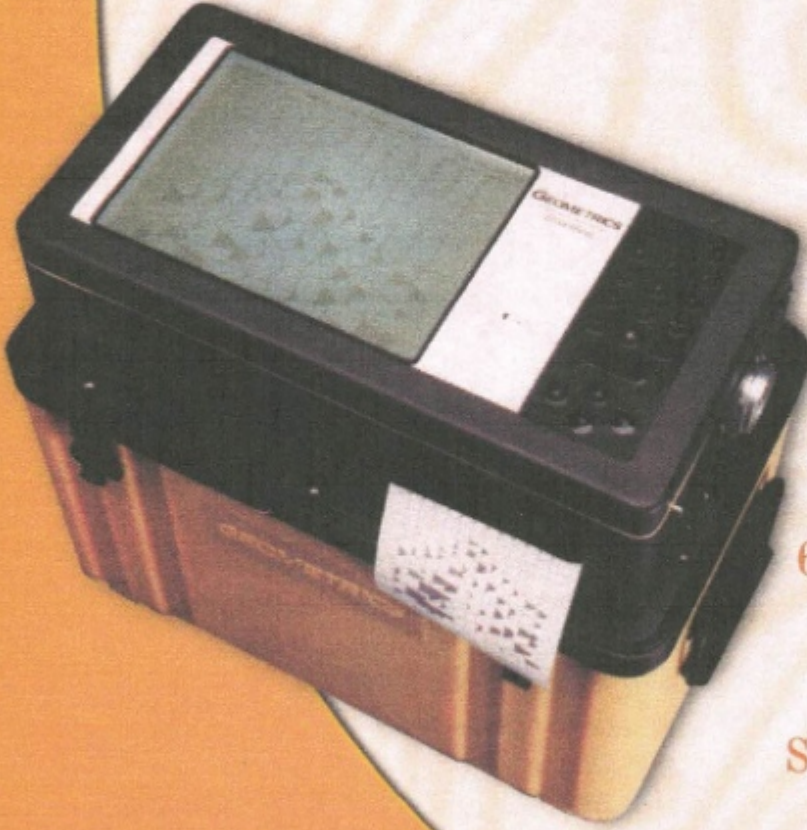
SİCİL NUMARASI	ADI SOYADI	SİCİL NUMARASI	ADI SOYADI
1956	ÖZCAN EVRENOS	1994	SİBEL SANCAKLI
1957	M.TÜREL TÜRK	1995	EMİN KOCAÇINAR
1958	FATMA ŞAHİN	1996	NİLÜFER TATAR
1959	M.MİGE ERGÜN	1997	AYŞEN KARAATA
1960	EBRU TUNÇER	1998	YILMAZ UZUNOĞLU
1961	YUSUF SÜRMELİ	1999	VEYSEL ÖZGENCİL
1962	YASİN ULUCAN	2000	ALEV ÖZTÜRK
1963	NAZİF AYDIN	2001	DERYA ÖZKOÇ
1964	H.RİFKİ GENÇER	2002	FAZİLET GEMİCİ
1965	F. NUR KILIÇER	2003	AHMET BAŞALP
1966	DENİZ GÜNEŞ	2004	N.ENGİN ÇAĞLAR
1967	HÜSEYİN ÖZHAN	2005	TEVFİK TÜRKMEN
1968	SEVGİ YÜNCÜLER	2006	T.BAHADIR VARLI
1969	İSMAİL ERDOĞAN	2007	Z.MURAT TURUNÇ
1970	ABDURRAHMAN USAL	2008	F.CEM EMİRAL
1971	FERUDUN ŞORA	2009	MURAT BULUT
1972	VOLKAN YAZICI	2010	ÇAĞRI İMAMOĞLU
1973	ERKAN SARİMEHMET	2011	MURAT UZUN
1974	TUNCAY ŞERİF	2012	RECEP YILMAZ
1975	Ü.GÜLNUR YILMAZ	2013	Y.ÇAĞLAR SARIDOĞAN
1976	HANDE KORKUTAN	2014	ERDOĞAN HARNUBOĞLU
1977	ELVAN MERTOĞLU	2015	M.ÇAĞRI GENÇ
1978	UĞUR ÖZTÜRK	2016	HACI ANDAÇ
1979	HİKMET ER	2017	SİBEL ÇELİK
1980	ARZU KALAYCIOĞLU	2018	YILMAZ İHTİYAR
1981	NURAY BERBER	2019	MURAT AYTAZ
1982	SUAT ERGİN	2020	H.MURAT ARABACI
1983	TUFAN KIRILMAZ	2021	NURCAN ORAK
1984	BARIŞ KOCAASLAN	2022	A.UYGUR ÇAVUŞ
1985	NEHİR GÜNAY	2023	HIZIR YILMAZ
1986	SELMA GÜLER	2024	HASAN EROĞLU
1987	MEHMET GÜLER	2025	TUNÇ ŞİRİN YILDIZ
1988	SEMA GÜNDÜZ	2026	YUSUF ERCAN
1989	İ.HAKKI AKSU	2027	SEVDA ÖZEL
1990	HAKAN KEÇECİ	2028	DİDEM CEYLAN
1991	K.KAAN ŞEKER	2029	ARDA AYDIN
1992	AYŞEGÜL DURNA	2030	RAMAZAN AKGÜL
1993	H.VOLKAN ATEŞ	2031	GÖKHAN KAN

ODA ÜYELERİ

SİCİL NUMARASI	ADI SOYADI	SİCİL NUMARASI	ADI SOYADI
2032	AYDAN SEZGİ	2070	C. ÇANLAR YALÇINER
2033	HASAN BAŞTAN	2071	SERDAR UYSAL
2034	SAİT YAŞAR	2072	GÜROL ÖR
2035	ESRA ÇARDAKKAYA	2073	PINAR DAĞTEPE
2036	ADNAN ERTURAN	2074	SEVGİ BELDER
2037	SEREF ERKMEN	2075	MEHMET KOCAMAN
2038	S. GÜRCAN ŞENAY	2076	GÜLTEKİN ÖZTÜRK
2039	SERKAN KOÇ	2077	HASAN CANDAN
2040	ŞAHİN GERGİN	2078	HÜSNÜ KARAGÖZ
2041	MURAT BERBEROĞLU	2079	ŞULE BAĞDAT
2042	TUFAN SEVİNÇLİ	2080	YASEMİN ÖZDEMİR
2043	G. DENİZ ERK	2081	EMİNE DEDE
2044	MERİH ŞENER	2082	OKTAY ERGEÇ
2045	BOZBEY KILINÇLI	2083	TUBA ÖZCAN
2046	ÜNAL ÇELİKEL	2084	HÜSEYİN ÖZTÜRK
2047	CEM TEZGELEN	2085	İNCİ AYKAÇ
2048	NİGAR GÜLTEKİN	2086	HİKMET KOÇOĞLU
2049	M.A. BUĞRA DANIŞAN	2087	ASLAN ÇELEBİ
2050	HASAN ARSLAN	2088	A. GÖNENÇ ŞENKAL
2051	ALEV TOPÇULAR	2089	NEDİM AKÇAM
2052	Ö. BAHAR ÜNLÜCÖMERT	2090	BETÜL ÖZTÜRK
2053	ŞAFAK GEZİCİ	2091	TANJU TULGAR
2054	H.ÖZGÜR KÜLLÜK	2092	Ö.RAİF KAZANCI
2055	ERSAN SAYIN	2093	JÜLİDE ŞİMŞEK
2056	İRFAN BÜKEY	2094	BETÜL AYTÜNÖR
2057	EYLEM ERSOY	2095	NESLİHAN İNAL
2058	FARUK SÜREN	2096	TUNCER SEYMEN
2059	ERŞAN TÜRKOĞLU	2097	D.TAYFUN BEŞEVLİ
2060	ÖMER KURT	2098	ÖZCAN KEPİR
2061	DENİZ TERZİ	2099	NURDAN ÇAKMAK
2062	FUAT ÜZMEZ	2100	SEVGİ YAŞAR
2063	İSMET ÇATAKLI	2101	ERTAN ENGİN
2064	HARBİYE KAVAN	2102	BÜLENT TUFAN
2065	GONCA TEPE	2103	İLKAY AKTAŞ
2066	SERDAR SERTTAŞ	2104	KEMAL ERDOĞAN
2067	SERKAN AZDİKEN	2105	EBRU YURTTAŞ
2068	SERHAN GÖREN	2106	Y.EMRE ÜNSAL
2069	AYKUT TEKİN	2107	RABİA KILIÇ



Daha Güvenli Yaşam İçin Yeraltını Çözün...



6,12 veya 24 Kanallı
Sismik Cihaz
İhtiyaçlarınızı
Süratle ve En Uygun
Fiyat Koşullarında
Temin Edebilirsiniz.

TEZCÜR
Uluslararası Teknolojik Ürünler Tic. Ltd. Şti.

Bilkent Plaza A3 Blok No:32 06530 Bilkent-Ankara/TÜRKİYE
Tel: 90(312) 266 24 70-71 Fax: 90(312) 266 24 72
e mail: tezcür@tr-net.net.tr

TELETYPE

