

BANDIRMA-KÖSEMTUĞ TÜMÜLÜSÜNDE MANYETİK ve SP UYGULAMALARI

Applications of Magnetic and SP Method in Kösemtuğ Tumulous

Zafer AKÇIĞ* ve Rahmi PINAR*

ÖNSÖZ

Arkeolojik aramalarda manyetik yöntem ile doğal potansiyel yönteminin birlikte kullanılarak yapı parametrelerinin saptanması bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Uygulamada, Bandırma yöresinde daha önce saptanmış Kösemtuğ tümülüsünde önce manyetik ölçümler yapılmıştır. Manyetik ölçümler üzerinde modelleme ve güç spektrumu teknikleri uygulanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise araziden alınan doğal potansiyel ölçümleri Hilbert dönüşümleri yardımıyla değerlendirilerek yapı parametreleri elde edilmiştir.

Sonuçta elde edilen yapı parametrelerinin önceden bilinen tümülüsün yapısı ile uyumlu olduğu saptanmıştır.

ABSTRACT

This study mainly focuses on finding out structural parameters using magnetic method and self-potential method together in archaeological surveys.

First of all magnetic measurements have been made in Kösemtuğ tumulous in pre-determined region in Bandırma. Modelling and power spectrum techniques have been applied on magnetic measurements. In the second step of the survey, structural parameters have been obtained by evaluating the self-potential measurements with the help of Hilbert transform.

Consequently, it has been found that obtained structural parameters are harmonious with the structure of the tumulous.

GİRİŞ

Arkeolojik alanların fotoğraflarının çekilerek yüzeydeki belirtilerin (Beazeley 1919) yorumlanmasıyla başlayan çalışmalar günümüzde Lanstad fotoğrafları (Avery 1977, vd.) ile sürdürülmektedir.

1950' li yıllarda başlayan arkeojeofizik çalışmalar, 1960' lardan sonra artan bir ivme ile günümüze kadar süregelmiştir. Özellikle manyetik, elektrik, elektromanyetik, IP, sismik ve radar yöntemleri bu konuda geniş uygulama alanları bulmuştur. IP, sismik ve radar yöntemleri bu konuda geniş uygulama alanları bulmuştur. Bu konularda günümüzde yaygın bir kaynakça oluşmuştur (Scollar 1962, Aspinall ve Lynam 1970, Weymouth 1986, Pınar ve Akçığ 1992, vd.).

Gravite yönteminin bu tür aramalarda tek başına kullanılması oldukça sınırlıdır (Linnington 1966). Ancak günümüzde geliştirilen mikrogravite aletleri ile yöntemin uygulanabilirliği daha da artacaktır. Doğal potansiyel (SP) yöntemi ise ilk olarak denizde Corvin (1973) tarafından ve karada da Wynn ve Sherwood (1984) tarafından uygulanarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada ise manyetik ve SP yöntemleri birlikte kullanılarak, elde edilen verilerinden değişik değerlendirme yöntemleri yardımıyla yapı parametreleri saptanmıştır.

UYGULANAN YÖNTEMLER

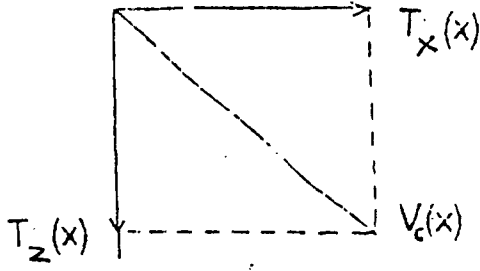
Uygulamada manyetik verilere modelleme ve güç spektrumu teknikleri uygulanmıştır. Modellemede Talwani ve Heirtzler (1964) ve güç spektrumunda da Spector ve Grant (1970) yaklaşımları kullanılmıştır. Ancak literatürde bu yöntemlere ilişkin yaygın bir kaynakça bulunmadığından, burada, bu yöntemlerin ayrıntı ve özelliklerine tekrar değinilmiştir.

Hilbert Dönüşümü

İkinci aşamada SP verilerine uygulanan Hilbert dönüşümü (HD); uzunluk veya frekans ortamına eşit genlikli tek ve çift işlevleri birbirine dönüştüren doğrusal bir dizge olarak tanımlanır.

Karmaşık ortamda bir $V(x)$ fonksiyonu, x ve z yönündeki türevlerden elde edilen karmaşık bileşenlerin toplamından oluşur (Şekil 1).

* DEÜ Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü - Bornova - İZMİR



Şekil 1: Karmaşık gradiyentin bileşenleri.

Figure 1: The components of the complex gradient.

$$V_0(x) = \frac{\partial V(x)}{\partial x} + i \frac{\partial V(x)}{\partial z} \quad (1)$$

$$V_c(x) = T_x(x) + iT_z(x) \quad (2)$$

$T_x(x)$ ve $T_z(x)$ arasındaki ilişki ise HD ile kurulur.

$$T_x(x) \xrightarrow{HD} -T_z(x) \quad (3)$$

Genlik ve evre ise sırasıyla,

$$G(x) = [T_{x^2}(x) + T_{z^2}(x)]^2 \quad (4)$$

$$\phi(x) = \tan^{-1} [T_x(x) / T_z(x)] \quad (5)$$

bağıntıları tanımlanır.

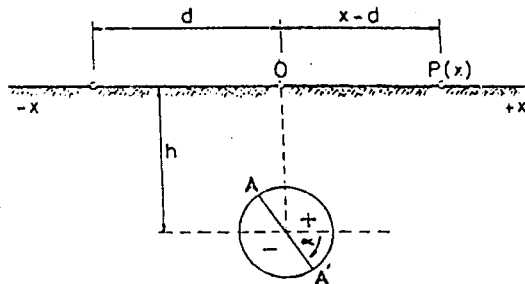
Uygulamada, HD leri Fourier dönüşümleri ve evrişim yöntemi yardımıyla gerçekleştirilir. Bu çalışmada ise HD. evrişim yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Evrişimde kullanılan HD işleci

$$(-\pi x)^{-1} = x^{-1} (1 - e^{i\pi x}) \quad (6)$$

bağıntısı ile tanımlanmıştır (Rabiner ve Gold 1974).

Silindir biçimli bir yapının parametrelerin HD ile çözümü

α açısıyla ucaylanmış silindir şekilli bir yapının P noktasındaki bağıntısı (Şekil 2),



Şekil 2: SP yönteminde silindir modeli.

Figure 2: Cylinder model in SP method.

$$V(x) = M \frac{x \sin(\alpha) + h \cos(\alpha)}{X^2 + h^2} \quad (7)$$

ile tanımlanır (Heiland 1968). Bağıntıda; M katsayılı, α ucaylanma açısı, d ölçü başlangıcının silindirin merkezinin izdüşümüne olan mesafe, $X=x+d$ ve h silindirin odak değerlendirmesidir.

(7) bağıntısı ile tanımlanan potansiyel ifadesinin karmaşık bileşenleri ise,

$$T_x(x) = M \frac{\sin(\alpha)(X^2 + h^2) - 2X[X \sin(\alpha) + h \cos(\alpha)]}{(X^2 + h^2)^2} \quad (8)$$

$$T_z(x) = M \frac{\cos(\alpha)(X^2 + h^2) - 2h[X \sin(\alpha) + h \cos(\alpha)]}{(X^2 + h^2)^2} \quad (9)$$

denklemleriyle verilir. (7) ile verilen yapı parametreleri α , h, M, ve d (7), (8) ve (9) kullanılarak çözülür. Bu çözümler aşağıda sıra ile verilmiştir.

a) $V(x)=0$ için (7) nin çözünden,

$$X_a = -h \cotan(\alpha) \quad (10)$$

b) $T_x(x) = 0$ için (8) den,

$$X_1 = \frac{h \cos(\alpha) + h}{\sin(\alpha)} \quad (11)$$

$$X_2 = \frac{h \cos(\alpha) - h}{\sin(\alpha)} \quad (12)$$

c) (8) ve (9) un $T_x(X) = 0$ ve $T_z(X) = 0$ için çözümlerinden,

$$T_x(X=0) = M \frac{\sin(\alpha)}{h^2} = c \quad (13)$$

$$T_z(X=0) = -M \frac{\sin(\alpha)}{h^2} = e \quad (14)$$

d) $X=0$ değeri de $G(X=0)$ dan,

e) α , h ve M'de (11), (12), (13) ve (14) bağıntılarından yararlanarak sırasıyla,

$$X_m = X_1 - X_2 \quad (15)$$

$$X_m = \frac{2h}{\sin(\alpha)} \quad (16)$$

$$\alpha = -\cos^{-1} \left(\frac{2X_a}{X_m} \right) \text{ veya } \alpha = -\tan^{-1} \left(\frac{c}{e} \right) \quad (17)$$

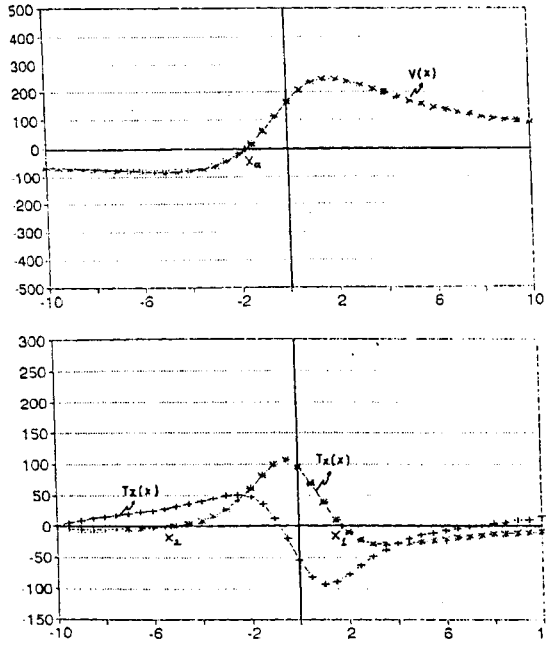
$$h = \frac{-X_m}{\cotan(\alpha)} \quad (18)$$

$$M = \frac{V(x=0)h}{\cos(\alpha)} \quad (19)$$

yardımları tanımlanır.

Yapılan çözümlerin amacıyla bir silindirin potansiyel anomalisi, yatay ve düşey gradientleri (7), (8) ve (9) bağıntıları yardımıyla hesaplanmıştır. (Şekil 3). Elde edilen eğriler (15), (16), (17), (18) ve (19) yardımıyla değerlendirilerek yapı parametreleri hesaplanmıştır (Çizelge 1). Çizelge 1 incelendiğinde hesaplanan ile teorik değerler arasında oldukça iyi bir uyumun varlığı görülmektedir.

Uygulamada kullanılan çubuk modeli çözümleri için de aynı yaklaşımlar geçerlidir. Ancak öngörülen çubuk modelinde uygulamada başarılı sonuç elde edilemediğinden burada ayrıntılı çözümler verilememiştir.



Şekil 3: Kuramsal potansiyel eğrisi ve karmaşık gradientleri.
Figure 3: Theoretical potential curves and its complex gradients.

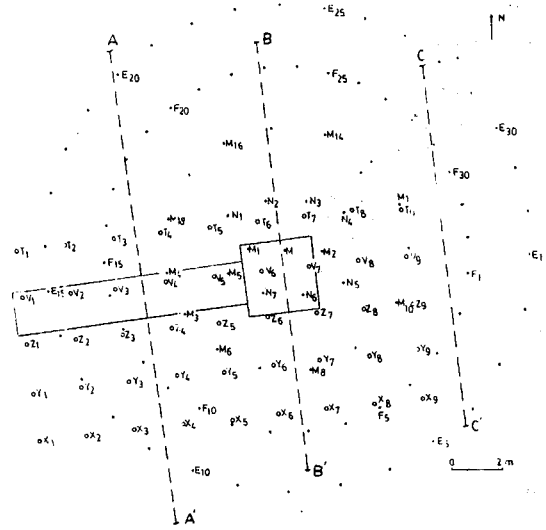
Çizelge 1: Silindir model analitik uygulama sonuçları.

Table 1: Analytical application results of cylinder model.

Parametreler	$\alpha(^{\circ})$	h(m)	M	d(m)
Kuramsal	60	3	1000	10
HD Sonuçları	60.3	3.07	1032	10.5

UYGULAMALAR

İki aşamalı olarak yapılan uygulamalarda manyetik ölçümler AA', BB' ve CC' profillerinde, SP uygulamaları ise AA' ve BB' profillerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Gerek manyetik gerekse SP ölçümlerinde örnekleme aralığı 0.5 m olarak seçilmiştir.



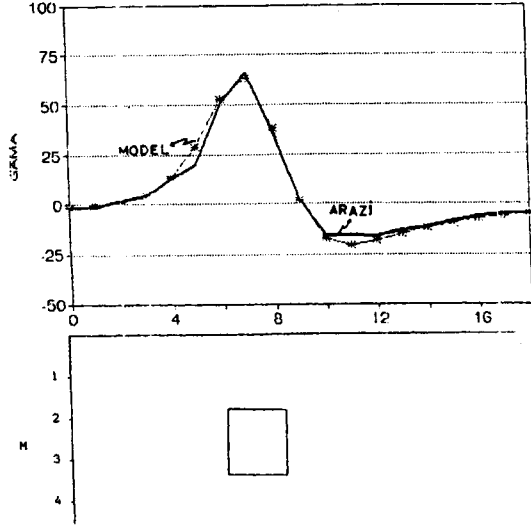
Şekil 4: Lokasyon haritası.

Figure 4: Location map.

Dromos (mezara giden yol) ve mezar odasına ait AA' ve BB' profillerine ait manyetik modelleme uygulamaları Şekil 5 ve 6 da verilmektedir. Yine aynı profillere ait güç spektrumu uygulama sonuçları ise Şekil 7' de görülmektedir. Elde edilen parametreler karşılaştırıldığında gerçek yapı ile oldukça iyi bir uyumun varlığı gözlenmektedir. CC' profilinde ise bir anomal elde edilmediğinden herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır.

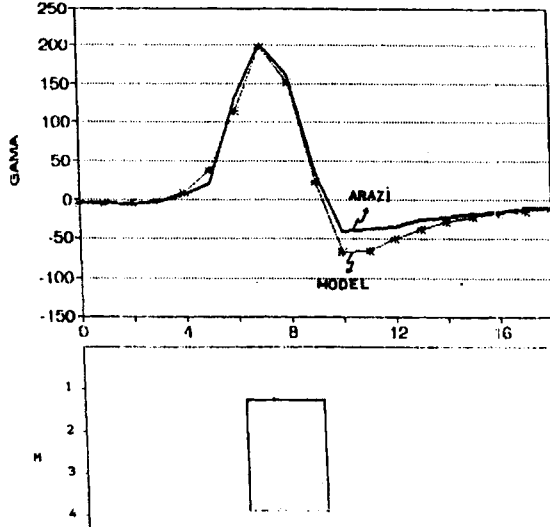
Sp uygulamalarında ise araziden elde edilmiş potansiyel anomalisine önce x yönünde türev uygulanarak yatay gradient elde edilmiş daha sonrada HD yardımıyla düşey gradient elde edilmiştir. Bu yaklaşım kullanılarak AA' ve BB' profillerine ait sonuçlar Şekil 8 ve 9' de görülmektedir. Köklerden yararlanarak yöntem bölümünde açıklanan izlençe (silindir model) uyarınca saptanan yapı parametreleri de Çizelge 2 de verilmiştir. Çizelgeden görülebileceği üzere elde edilen sonuçlar gerçek bulgularla iyi bir uyum sunmaktadır.

Çubuk modeline ilişkin uygulamada ise silindir çözümünden elde edilen parametreler kullanılarak bir çubuğun oluşturacağı potansiyel anomalileri (AA' profili) hesaplandığında gerçek arazi verileri ile uyuşmadığı görülmektedir (Şekil 10). Bu nedenle çubuk modeli için parametre çözümleri yapılmıştır.



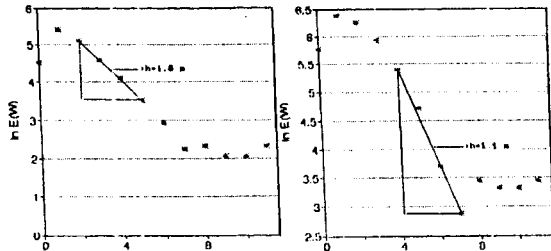
Şekil 5: AA' profiline ait manyetik model.

Figure 5: Magnetic model belongs to AA' profile.



Şekil 6: BB' profiline ait manyetik model.

Figure 6: Magnetic model belongs to BB' profile.



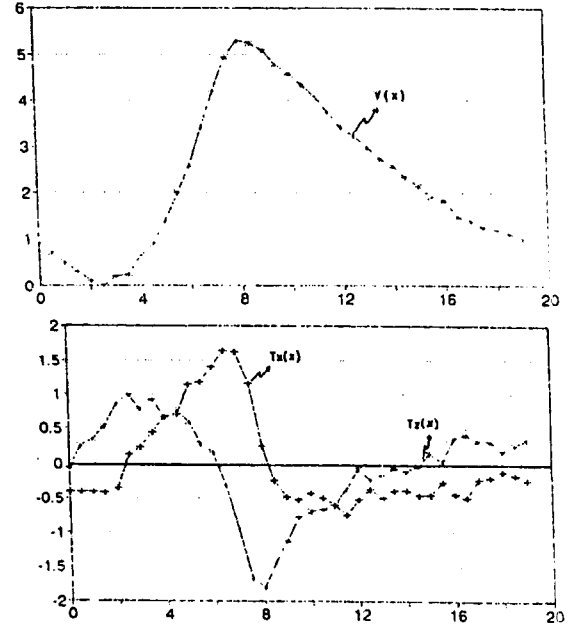
Şekil 7: AA' ve BB' profillerinin güç spektrumu grafikleri.

Figure 7: The power spectrum graphs AA' and BB' profiles.

Çizelge 2: Silindir modeli sayısal uygulama sonuçları.

Table 2: Numerical application results of cylinder model

Parametreler	$\alpha(^{\circ})$	h(m)	M	d(m)
Dromos (AA')	84	3.0	3.6	9.5
Mezar odası (BB')	69	3.5	5.3	8.0



Şekil 8: AA' profiline ait potansiyel anomalisi ve karmaşık gradientleri.

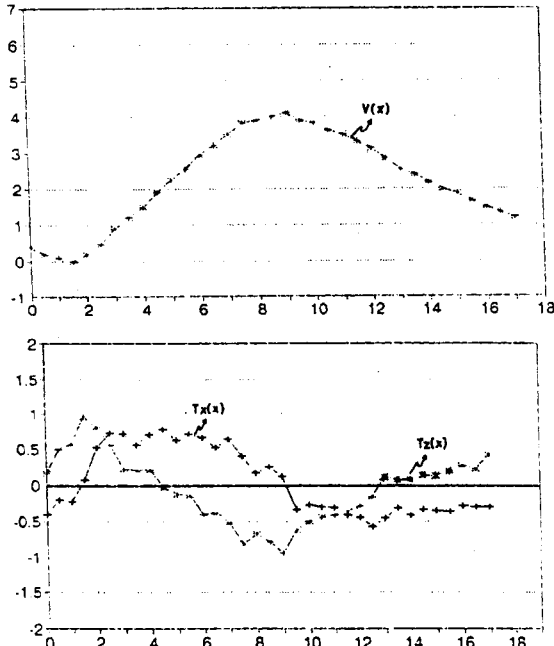
Figure 8: The potential anomaly and complex gradients belong to AA' profile.

SONUÇLAR

Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, genelde derin aramalara yönelik jeofizik sığ araştırmalarda da etkin olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Ancak arkeolojik problemler kendilerine özgü özellikler sunduğundan seçilecek yöntemlerin ve uygulama türlerinin çok dikkatli seçilmesi gerekir. Bu yaklaşımların ışığında Bandırma-Kösemtuğ tümülüsünde gerçekleştirilen tüm çalışmaların sonuçları aşağıda verilmektedir.

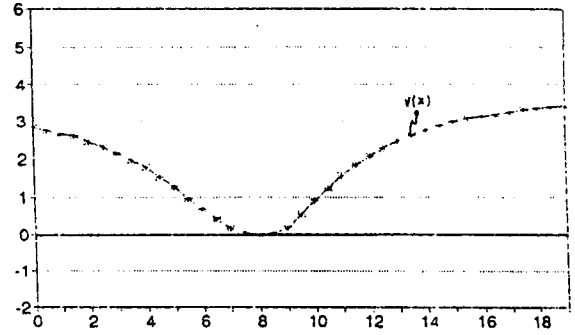
1. Manyetik yöntem bu tür yapı gösteren tümülüslerde (kiler içinde andezitten yapılmış) oldukça başarılı sonuçlar vermiştir.
2. Modelleme ve güç spektrumu gibi değerlendirme teknikleri bu tür alanlarda da başarı ile kullanılabilir.
3. SP uygulamalarında, dirençsiz ortamdan dirençli ortama geçişte gözlenen anomali türü elde edilmiştir.

4. Model uygulamalarında SP' de silindir modeli yapıyı gerçekçi biçimde yansıtmaktadır. Bu modelden yola çıkarak yapılan parametre kestiriminde oldukça sağlıklı sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 9: BB' profiline ait potansiyel anomalisi ve karmaşık gradyentleri.

Figure 9: Potential anomaly and complex gradients belong to BB' profile.



Şekil 10: Çubuk modeli potansiyel anomalisi.

Figure 10: Potential anomaly of the dike model.

KAYNAKLAR

- Aspinall, A. and Lynam, J.T., 1968, Induced polarization as a technique for archaeological surveying. *Prosp. Archaeo.* 3, 91-93.
- Beaseley, G.A., 1919, Air photography in archaeology: *Geographical J.* 53, 330-335
- Corvin, R.F., 1973, Offshore application of self-potential prospecting. Ph. D. dissertation, Univ. of California, Berkeley.
- Heiland, C.A., 1968, Geophysical exploration: Hafner Publishing Co.
- Linington, R.E., 1966, Test use of a gravimeter on Etruscan chamber tombs at Cerveteri. *Prosp. Archaeo.* 1, 37-41.
- Lynons, T.R. and Avery, T.E., 1977, Remote sensing: A handbook for archaeologist and cultural resource manager US: Govern. Print. Off.
- Pınar, R. ve Alçığ., Z., 1992, Köşemtuğ tümülüsünün jeofizik yöntemlerle araştırılması, VIII. Uluslararası Arkeometri Sonuçları Toplantısı Kitabı, 133-155.
- Rabiner, L.R. and Gold, B., 1975, Theory and application of digital signal processing: Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall.
- Scollar, L., 1962, Electromagnetic prospecting method in archaeology in Gungary, *Geophysics*, 51, 561-567
- Spector, A. and Grant, F.S., 1970, Statistical models for interpreting aeromagnetic data, *Geophysics*, 25, 293-302.
- Talwani, M. and Heirtzler, J.R., 1964, Computation of magnetic anomalies caused by two dimensional structures of arbitrary shape in computers in the mineral industries, Part I: Stanford University Publications, Geol. Sciences, 8, 464-480.
- Weymouth, J.W., 1986, Archaeological site surveying program at the Univ. of Nebraska. *Geophysics*, 51, 538-552.
- Wynn, J.C. and Sherwood, S.I., 1984, The self-potential (SP) method an inexpensive reconnaissance and archaeological mapping tool. *Jour. of Field Archaeology*, 11, 195-204.