

ENEZ-ÇATALTEPE TÜMÜLÜSÜNDE ELEKTROMAGNETİK-VLF VE ELEKTRİK ARAŞTIRMALAR

Electromagnetic and Electrical Investigations at Enez-Çataltepe Tumuli

O. Metin İLKİŞİK* , Murat BAYRAK* , Sait BAŞARAN*
Ahmet T. BAŞOKUR*** ve Emin ULUGERGERLİ***

ÖZET

1993 ve 1994 yaz aylarında Edirne'nin Enez ilçesi'ndeki Çataltepe Tümülüsü üzerinde jeofizik elektromagnetik ve elektrik yöntemlerle kazı öncesi araştırmalar yapılmıştır. Tümülüsün yüksekliği yaklaşık 15 m, çapı ise 70 m kadar olup K 27° D yönünde hafif bir uzanım göstermektedir.

Dünyadaki çeşitli haberleşme amaçlı 15-30 kHz vericilerinden yayılan elektromagnetik dalgaların, inceleme alanında indüklediği ikincil alanların incelenmesi esasına dayanan elektromagnetik VLF yöntemi ile zeminin elektrik öz direncindeki değişimlere bağlı olarak 5-30 m arasındaki derinliklerden bilgi almak mümkündür. Çataltepe tümülüsü üzerinde 5x25 m kareleyle 385 noktada iki ayrı radyo vericisi için manyetik alanın gerçel ve sanal bileşenleri, eğim açıları, ortamın görünür öz direnci ve fazi ölçülmüştür. Veriler yaklaşık 100 m² bir alanda olası bir iletkenin izini taşımaktadır. Bu iletkeni güney, doğu ve batıda dikdörtgen biçiminde çevreleyen öz direnci yüksek değer bir yapı vardır.

Elektrik yöntemde ise yere uygulanan akımın oluşturduğu gerilim farkı, elektrodlar ile belirli bir geometrik düzende ölçülür, ve eğer yer altında beklenmeyen bir yapı varsa görünür öz direnç değerlerinde yanal veya düşey değişimler gözlenir. Tümülüs üzerinde beş ayrı doğrultu boyunca yaklaşık 10 m derinliği izleyen geometrik düzende yapılan görünür öz direnç ölçümleri temelde başka ilkelere dayanan elektromagnetik VLF yöntemi sonuçları ile çok iyi bir uyum göstermektedir.

Tümülüsün fiziksel özelliklerini hiçbir şekilde bozmayan bu jeofizik yöntemler, son derece pahalı ve zahmetli olan arkeolojik kazıları açısından çok önemli bilgiler sağlamaktadır. Çalışmalara 1995 kazı döneminde de devam edilecektir.

ABSTRACT

In summers of 1993 and 1994 pre-excavation investigations has been made using geophysical electromagnetic and electrical methods on Çataltepe Tumuli in Enez Town Of Edirne. The height of tumuli is 15 m with a radius of 70 m and its orientation is N 27° E.

Electromagnetic VLF method based on the measurement of the induced secondary fields by primary electromagnetic waves of several 15-30 kHz communication transmitters on the world.

Electromagnetic measurement may provide information up to depths of 5-30 depending on the resistivity of the ground. Real and imaginary components of the total magnetic field, tilt-angle, apparent resistivity and phase of media have been measured for two different radio transmitters at 385 site with a grid of 5x2.5 m on Çataltepe Tumuli. The data show a plausible conductive zone with an area of 100 m². Another rectangular shape structure surrounding the conductive zone show high resistivity values at south, east and west.

In electrical methods, the potential difference caused by the applied current to the ground is measured using a certain geometrical configuration of the electrodes, and any unexpected structure beneath the earth leads to corresponding changes on the apparent resistivity values. The apparent resistivity measurement along five different profiles on the tumuli with an electrode separation which provide investigation depth of 10 m indicate a perfect coincidence with the results of the electromagnetic-VLF method which the measurement principles are quite different. These geophysical methods which are not destructive for tumuli provide very important information for the expensive and difficult archeological excavations.

* İstanbul Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Avcılar 34850, İstanbul.

** İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Prehistorya Anabilim Dalı, Vezirler 34459, İstanbul

*** Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Beşevler 06100, Ankara.

GİRİŞ

Eski Çağ'da Ainos adını taşıyan Enez, Ege Denizi'nin kuzey sahilinde, Meriç nehrinin denize döküldüğü alanda, Balkanlar ile Güneydoğu Avrupa'yı Anadolu'ya bağlayan kara ve deniz yollarının kesiştiği yerde kurulmuş önemli bir kültür, ticaret ve liman şehriydi. 1971 yılında başlayan ve halen devam eden kazı ve araştırmalar, Enez ve çevresinin MÖ 5200 yıllarından (Neolitik Çağ) itibaren yerleştirildiğini ortaya çıkartmış, ayrıca değişik kültürleri yansıtan binlerce kalıntının belgelenmesine neden olmuştur.

Enez (Ainos) içinde yapılan kazılarda üst üste gelen beş ayrı kültür tabakasına ait siyasi, dini kalıntılarının yanısıra, eski Enez halkının maddi refah düzeyini yansıtan oturma birimlerinden örnekler ve nekropol genişliğine çıkarılmıştır. Bölgede yapılan yüzey araştırmalarında ise, ilk köy topluluklarının yaşadıkları höyükler, düz yerleşmeler ile tümülüsler saptanmıştır.

Bilindiği gibi, toprakla örtülü arkeolojik katman ve yapı kalıntılarının ortaya çıkartılması maddi külfet gerektirmektedir. Bu nedenle, kazı öncesi jeofizik yöntemler uygulayarak toprak altındaki kalıntı ve katmanları belirlemek, kazıya daha bilimsel ve ekonomik bir durum yaratmak arzusuyla Enez'deki MÖ birinci bin yıla tarihlenen Çataltepe Tümülüsü'ndeki arkeolojik amaçlı jeofizik çalışmalara başlandı.

Tümülüs, içinde mezar odası veya odaları bulunan yapay toprak tepedir. Mezar odaları, yuvarlak, dikdörtgen veya kare biçimli, dromosu (giriş koridoru) olan taş veya ahşap malzemeden, kubbeli veya düz çatılı olarak yapılmıştır (Şekil 1).

YÖNTEMLER

Elektromagnetik-VLF Yöntemi

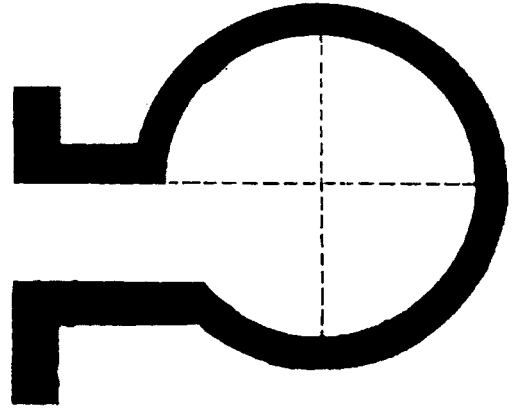
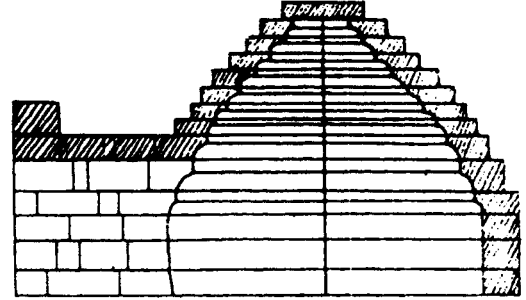
1920'lerden sonra çok büyük uzaklıklarla haberleşmek için kurulan çok alçak frekanstaki (*Very Low Frequency*) radyo vericileri, sığ derinliklerin araştırılması için elektromagnetik-VLF yönteminin gelişmesine yol açmıştır. Elektromanyetik dalgalara ilişkin kuramlar, ortamın elektrik özdirenci ρ ve ölçümlerin yapıldığı frekans f ise VLF yöntemi ile yaklaşık olarak

$$d = 500 (\rho/f)^{1/2} \quad (1)$$

-metre- derine kadar olan bölgeden bilgi alınabileceğini göstermektedir. VLF yayın frekanslarının 15-30 kHz ve yeryüzüne yakın zeminlerin özdirençlerinin 5-1000 Ohm.m arasında değiştiği dikkate alınırsa pratik araştırma derinliği yaklaşık 5-100 m arasındadır.

Yerden veya havadan yapılabilen uygulamalarda kullanılan sistemin özelliklerine bağlı olarak, radyo dalgasının düşey manyetik vektörünün ölçü noktasındaki gerçel ve sanal bileşenleri, eğim açısı, toplam manyetik

alan şiddeti ve (yerdeki uygulamalarda) elektrik alanın gerçel ve sanal büyüklükleri ölçülebilir.



Şekil 1: Bir örnek olarak Hasluck' a göre Trakya' da Eriklice kubbeli mezar yapısı.

Figure 1: The structure of Eriklice tumuli in Thrace after Hasluck, as an example.

Genellikle vericiden oldukça uzak bölgelerde çalışıldığından ortamın görünür özdirenci

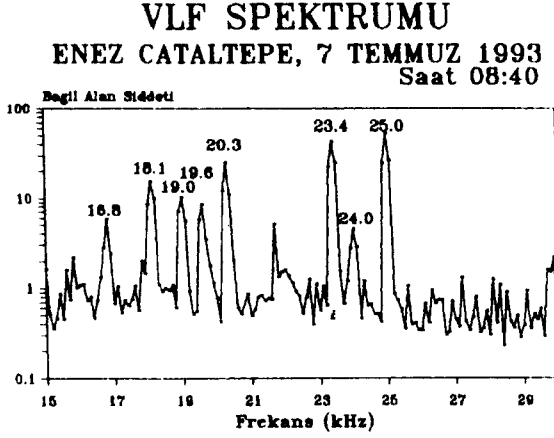
$$\rho_a = (1/\mu\omega) |\mathbf{E}_x/H_y|^2 \quad (2)$$

ve fazı

$$\phi_a = \phi_{E_x} - \phi_{H_y} \quad (3)$$

bağıntılarından bulunabilir. VLF yöntemine ilişkin ayrıntılar Mcneill ve Labson (1991) ve Bayrak'da (1993) bulunabilir. VLF verilerinin sağladığı görüntülerden yer belirlemenin yanısıra, yeraltının bir ve iki boyutlu olduğu durumlar için sayısal modellemeler de yapılabilir.

Haftalık veya aylık belirli bakım saatleri dışında sürekli yayın yapan uluslararası radyo istasyonları olduğu gibi, günün belli saatlerinde yayın yapıp susan yerel vericiler de vardır. Her araştırma bölgesinde, yayındaki vericilerin kontrol edilmesi gerekir. Şekil 2'de Enez Çataltepe Tümülüsü üzerinde algılanan VLF yayın spektrumu verilmiştir.



Sekil 2: Enez Çataltepe Tümülüsü üzerinde 7 Temmuz 1993 te sabah 8:40 ta kaydedilen VLF yayın spektrumu.

Figure 2: The recorded VLF transmission spectrum at Enez Çataltepe tumulu on July 7th of 1993, 8:40 a.m.

Elektrik Yöntem

Elektrik özdirenç yönteminde ise yeryüzünde iki noktadan elektrodlar yardımı ile yerin için "P" elektrik akımı verilir. Yeryüzünde diğer iki noktadaki elektrodlar yardımı ile de bu akımın oluşturduğu " ΔI " gerilim farkı ölçülür. Belirli bir konumda yerleştirilen elektrodların düzenine bağlı olan katsayı " K " ise, ortamın görünür öz direnci

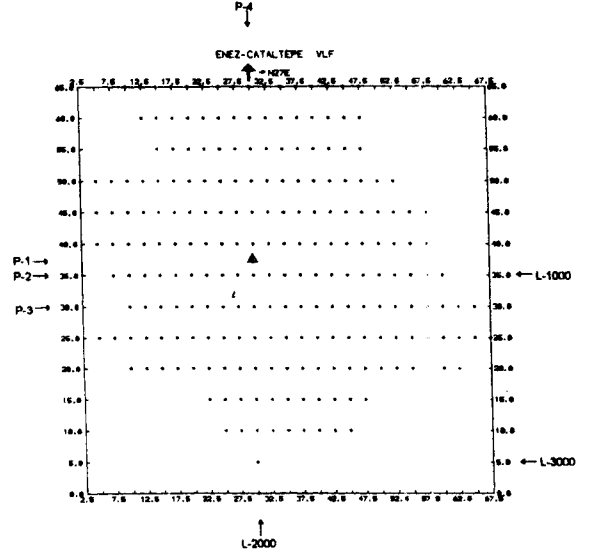
$$\rho_a = k \cdot (\Delta V / I) \quad (4)$$

bağıntısından hesaplanır. Farklı özellikteki kayaç veya toprakların oluşturduğu bir yerde ölçülen görünür öz direnç, ortam birimlerinin gerçek öz direncinden biraz farklı olabilir. yeraltındaki yanıl değişimleri iyi algılayabilmek için, genellikle bir doğrultu boyunca dizilen elektrodlar arasındaki uzaklık araştırmada hedeflenen yaklaşık derinliğin iki katı kadar seçilir. Ölçü noktaları arasındaki uzaklık ise hedef derinliğin yarısı kadar olmalıdır (Başokur, 1992). Elektrodlar arası uzaklıklar sabit tutularak profil boyunca ilerlenir. Ölçülen görünür öz direnç değerlerinin uzaklığa bağlı olarak çizimin yeraltındaki yanıl değişimleri yansıtmaması, dolayısı ile ölçü yerinin yerini belirtmesi beklenir.

VERİLER

Enez Çataltepe'deki araştırmalarımız için Fransa'dan 16.8 kHz de yayın yapan vericinin ve GBZ (Oxford, Birleşik Krallık) vericisinin 19.6 kHz deki yayınları seçilmiştir. Ölçümlerde kullanılan "EDA Omni Plus" sistemi üç ayrı frekansta aynı anda ölçüm yapabilmektedir. Çalışılan sürede üyü kalitede algılanan bu yayınların ölçümleri için ise elektrod aralığı 5 m alınmıştır.

1993 Temmuz ayındaki elektromagnetik-VLF ölçümleri 2.5x5 m aralıklı bir kareyaj ile 65 x 65 m boyutlarında bir alanda yapılmıştır, Şekil 3.

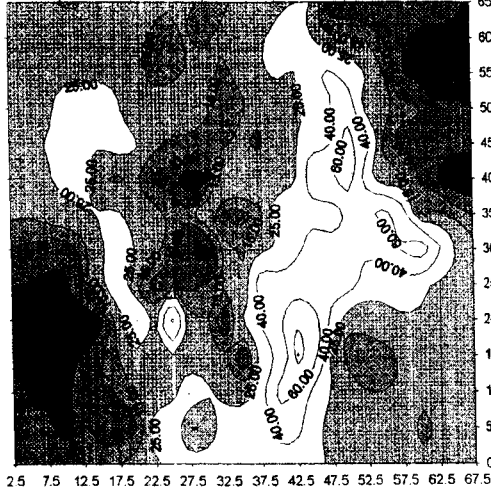
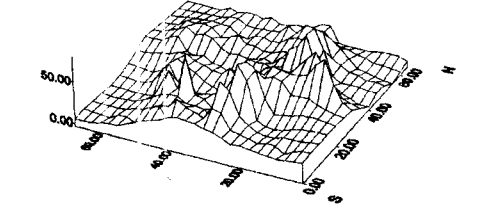


Sekil 3: Enez Çataltepe Tümülüsü üzerindeki ölçüm verileri. 1993 Temmuz ayındaki VLF ölçümleri 2.5x5 m aralıklı kareyaj üzerinde yapılmıştır (noktalar). 1993 Ağustos ayında Wenner yöntemi kullanılan elektrik ölçümler P-1, P-2, P-3 ve P-4 doğrultuları boyunca yapılmıştır. 1994 Temmuz'undaki VLF kontrol ölçümleri ise L-1000, L-2000 ve L-3000 doğrultuları üzerindedir.

Figure 3: Measurement sites on Enez Çataltepe Tumulu. July 1993 VLF measurements are made on a 2.5x5 m grid (dots). August 1993 electrical measurements using Wenner method were made along P-1, P-2, P-3 ve P-4 lines. July 1994 VLF control measurements locates on L-1000, L-2000 and L-3000 lines.

Ayrıca, Ağustos 1993 te D-B ve K-G yönlü bazı doğrultular üzerinde wenner yöntemi ile ($a = 10$ m) elektrik özdirenç ölçümleri alınmıştır. Yaklaşık bir yıl sonra 1994 Temmuz ayında kontrol amacı ile yine D-B ve K-G yönlü bazı doğrultular üzerinde daha sık sık aralıklı noktalarda (L-1000, 1.25m) elektromagnetik-VLF ölçümler tekrarlanmıştır.

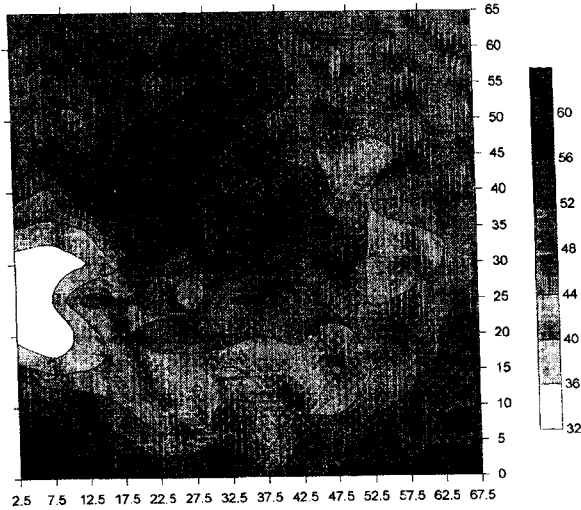
Şekil 4 de Enez Çataltepe Tümülüsü üzerinde elektromagnetik VLF yöntemi ile 19.6 kHz te (GBZ, Oxford) ölçülen görünür haritası verilmiştir. Şekil 5 de ise aynı frekanstaki görünür faz değerleri çizilmiştir. Yüksek dirençli bölgelerde genelde beklendiği gibi küçük ($\phi_a < 45^\circ$), alçak dirençli (iletken) yapıların civarında ise büyük faz açısı ($\phi_a > 50^\circ$) gözlenmektedir. Her iki görüntü, burada verilmeyen gerçel bileşen, tilt v.b. gibi diğer verilerle birlikte yorumlandığında Çataltepe Tümülüsü'nde grid üzerinde 35 ± 5 m kuzey, ve 30 ± 2.5 m doğu noktaları altında yoğunlaşan ve yaklaşık kuzey-güney yönünde uzanım gösteren bir iletken vardır.



Şekil 4: Çataltepe Tumülüsü üzerinde elektromanyetik-VLF yöntemi ile 19.6 kHz de (GBZ, Oxford) ölçülen görünür öz direnç haritası. Grid değerleri "metre" dir.

Figure 4: Map of measured apparent resistivities at 19.6 kHz. (GBZ, Oxford) on Çataltepe Tumuli using electromagnetic-VLF method. Grid values are in "meters".

Eğer varsa (!) alttaki mezar yapısının izi budur. Bunun etrafını doğuda, batıda ve güneyde direnci yüksek bir yapı (muhtemelen koruyucu duvar veya taşlar) çevirmektedir. Kuzeyde yüksek dirençli iz gözlenmiştir.



Şekil 5: Çataltepe Tumülüsü üzerinde 19.6 kHz' te (GBZ, Oxford) ölçülen görünür faz haritası. Grid değerleri "metre" dir.

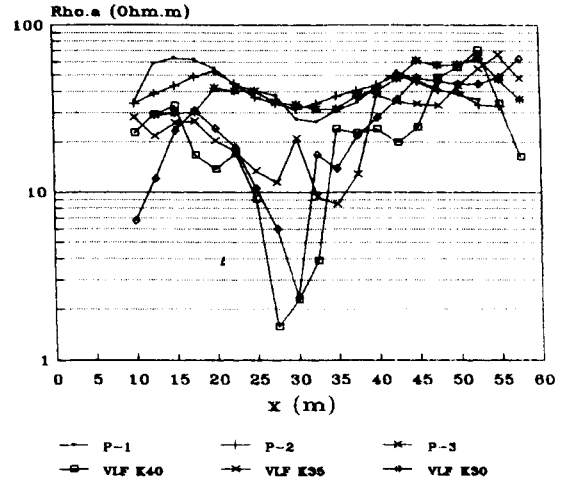
Figure 5: Map of measured apparent phases at 19.6 kHz (GBZ, Oxford) on Çataltepe Tumuli. Grid values are in "meters" dir

Çataltepe Tumülüsü üzerinde elektromagnetik-VLF yöntemle yapılan görünür öz direnç ölçümleri, temelde farklı ilkelere dayanan elektrik-Wenner yöntemiyle yapılan görünür öz direnç değerleri ile çok iyi bir uyum göstermektedir, Şekil 6. Her iki yöntem de ortada bir iletken ve kenarda direnci yüksek bir yapının varlığına işaret etmektedir. Ortalardaki VLF değerlerinin elektrik-Wenner yönteminden daha küçük olması her iki yöntemdeki elektrot açılımlarının çok farklı olmasından kaynaklanmış olmalıdır. 30 m aralıkla uygulanan akımın oluşturduğu gerilimin 10 m aralıkla algılandığı elektrik-Wenner yöntemine kıyasla 5m lik gerilim algılama aralığı ile çalışan VLF yöntemi derinlerdeki yanal değişimlerin yerini biraz daha belirginleştirmektedir.

Şekil 7 de tepeden geçen yaklaşık doğu-batı yönlü doğrultu boyunca 19.6 kHz deki 1993 ve 1994 VLF görünür öz direnç değerleri ile birlikte çizilmiştir. 1993 te P-2 doğrultusu üzerinde elektrik wenner yöntemiyle ölçülen görünür öz direnç değerleri de aynı şekil üzerinde yer almaktadır. Bir yıl ara ile tekrarlanan elektromagnetik-VLF ölçümleri ortamın nem oranındaki değişimden kaynaklanan küçük farklar dışında aynı belirtiyi yakalamıştır. 1994 deki görünür öz dirençler (sadece tepe kesiminde) kuraklığa bağlı olarak biraz daha yüksek çıkmaktadır. Ancak "M" biçimindeki belirti bütün ölçümlerde görülmektedir

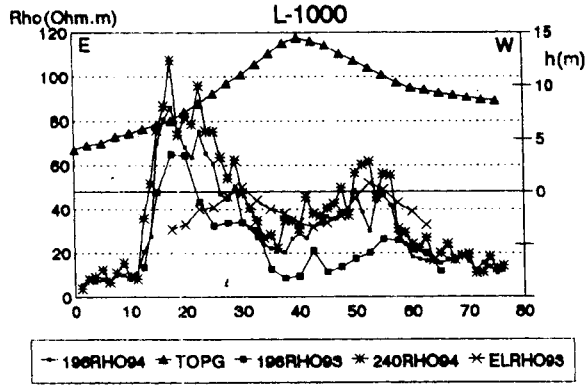
ENEZ - CATALTEPE

G.OZDIRENC, a=10m - VLF 19.6 kHz



Şekil 6: Çataltepe Tumülüsü üzerinden yaklaşık doğu-batı yönünden geçen P-1, P-2, ve P-3 doğrultuları boyunca ölçülmüş elektrik öz direnç (Wenner, a=10 m) değerleri ile aynı doğrultulara karşı gelen K30, K35 ve K40 boyunca ölçülen VLF görünür öz direnç değerleri.

Figure 6: Electrical resistivity values (Wenner, a=10 m) along P-1, P-2 and P-3 profiles which are crossing Çataltepe Tumuli approximately in east-west orientation and VLF apparent resistivity values along corresponding K30, K35 and K40 lines.



Şekil 7: Çataltepe Tümülüsü üzerindeki (TOPG) 1993 ve 1994 yılı ölçümlerinin karşılaştırılması 196RH093 ve 196RH094, sırasıyla 1993 ve 1994'de 19.6 kHz'de ölçülen, 240RH094 ise 1994'de 24.0 kHz'de (daha sığ) ölçülen görünür özdirençler olup ELRH093, 1993'de elektrik Wagner yöntemi ile ölçülen görünür özdirenç değerleridir.

Figure 7: Correlation of 1993 and 1994 measurements on Çataltepe Tumulus (TOPG). 196RH093 and 196RH094 are 19.6 kHz measurements in 1993 and 1994 respectively. 240RH094 is 24.0 kHz (shallower) apparent resistivities in 1994, and ELRH093 is apparent resistivities measured by electrical Wenner method in 1993.

SONUÇLAR

Çataltepe Tümülüsü'nde grid üzerinde 35 ± 5 m kuzey, ve 30 ± 2.5 m doğu noktaları altında yoğunlaşan ve yaklaşık kuzey-güney yönünde uzanım gösteren bir iletken vardır. Varsa eğer alttaki mezar yapısının izi budur. Bunun etrafını doğuda, batıda ve güneyde direnci yüksek bir yapı (muhtemelen koruyucu duvar veya taşlar) çevirmektedir.

Çataltepe tümülüsü üzerinde elektromagnetik-VLF yöntemle yapılan görünür özdirenç ölçümleri ve elektrik-

Wenner yöntemi ile yapılan görünür özdirenç değerleri çok iyi bir uyum göstermektedir. Her iki yöntemde ortada bir iletken ve kenarlarda direnci yüksek bir yapının varlığına işaret etmektedir.

Bir yıl ara ile tekrarlanan elektromagnetik-VLF ölçümleri ortamın nem oranındaki değişimden kaynaklanan küçük farklar dışında aynı belirtiyi yakalamıştır.

Çataltepe Tümülüsü yanısıra farklı çağlara ait birçok arkeolojik yapının bulunduğu Enez'de VLF ve elektrik özdirenç yanısıra doğal gerilim, manyetik, sismik v.b. gibi bazı diğer yöntemlerin de uygulandığı jeofizik araştırmalara gelecek yıllarda devam edilecektir.

KATKI BELİRTME

T.C. Kültür Bakanlığı Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nün izni ve maddi desteği ile yürütülen proje ayrıca İstanbul Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Fonu'nca da desteklenmektedir (Proje No: 621/070794).

KAYNAKLAR

- Başokur, A.T., 1992, *Magnesia ve Meandrum (Ortaklar) Argavlı Tümülüsü'nde jeofizik araştırmalar*. TC Kültür Bak. Anıtlar ve Müzeler Gen. Müd., VIII. Arkeometri Sonuçları Toplantısı (25-29 Mayıs 1992) Bildirileri Kitabı, 71-80, Ankara.
- Bayrak, M., 1993, *VLF Ölçümleri ve Değerlendirilmesi*. Y. Lis. Tezi. İ.Ü. Fen Bil. Ens., Jeofizik Müh. AD., İstanbul.
- McNeill, J.D. ve Labson, V.F., 1991, *Geological mapping using VLF radio fields*. (Ed. Nabighian, M.N.) *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, v2, Application, Part B. 521-640, SEG, Tulsa.