

TÜRKİYE'DE ELEKTROMANYETİK - VLF YÖNTEMİ İLE SİĞ ARAŞTIRMALAR

Use of Electromagnetic-VLF Method in Shallow Explorations in Türkiye

Murat BAYRAK* ve O. M. İLKİŞİK*

ÖZET

Elektromanyetik-VLF yönteminde kaynak olarak daha çok, denizasıırı askeri haberleşmeler için yayın yapan radyo vericileri kullanılır. Ölçü noktası civarında bir süreksizlik ya da iletken varsa indüklenen akımlar bileşke vektörün yön ve şiddetini değiştirir. Bu değişim çeşitli biçimlerde izlenerek yeraltı yapısı incelenir. VLF yöntemi seçtiğimiz frekansa ve ortamın öz direncine bağlı olarak yaklaşık 5-70 m arasındaki siğ yapıların araştırılmasında oldukça hızlı ve ucuz bir yöntem olduğu için madencilikte, yeraltısuyu, zemin araştırmaları, çevre sorunları ve arkeolojide giderek artan biçimde kullanılmaktadır.

Ülkemizde bir Türk ekibi tarafından ilk olarak uygulanan VLF yöntemi ile, 15.0-30.0 kHz frekans aralığında yayın yapan uluslararası çeşitli radyo istasyonlarını Anadolu'nun çeşitli yerlerinde ki VLF yayın spektrumları ölçülmüştür. Görülen odur ki, VLF spektrumlarında gözlenen çeşitli frekanslarda ki yayınlar Batı ve Orta Anadolu'da yürütülen araştırmalar için yeterli şiddette bir kaynak alan oluşturmaktadır. Ancak VLF ölçümlerine başlamadan önce verici radyo istasyonlarının belli gün ve saatlerde ki bakım ve onarım sürelerini de dikkate almak gerekmektedir.

Ekibimizde bulunan EDA Omni-Plus elektromanyetik-VLF gereci ile çalışılan sahada incelenen yapıya bağlı olarak bu frekanslardan üçü seçilir ve yere uygulanan 5-10 m açılımlı elektrotlar yanal yönde gezdirilerek iki veya üç boyutlu ölçümler alınır. Farklı frekanslar nispeten farklı derinliklerden bilgi sağlamaktadır. Ölçümler seçilen frekanslarda ki yayın yönüne uygun biçimde alınmalıdır. Düzenegin yanlış yönlendirilmesi önemli hatalara yol açmaktadır. İncelenen probleme bağlı olarak seçilen her bir frekansta çeşitli elektrot ve nokta aralıkları için VLF toplam alan şiddeti, alanın tilt'i, manyetik düşey bileşenin gerçel ve sanal kısımları, görünür öz direnç ve faz değerleri ölçülür. Elde edilen parametreler haritalandığında, olası iletken yerleri, yanal süreksizlikler, sıcak su zonları, kırık-ezik bölgeler, metalik madenler hatta arkeolojik alanlarda duvar izleri açık bir şekilde görülmektedir. Anadolu'nun çeşitli yerlerinde yapılmış olan farklı jeolojik, hidrojeolojik, jeotermal, maden ve arkeoloji problemleri için örnekler verilecek ve değerlendirilmeleri tartışılacaktır. Bazı tipik anomaliler için bir ve iki boyutlu modeller sunulacaktır.

ABSTRACT

In electromagnetic-VLF method, the radio transmitters for overseas military communication are used as a source. If there is any discontinuity or a conductive zone around the measuring site, the direction and the magnitude of induced currents change. By tracing this change in different forms, the underground structure can be interpreted. Since the VLF method is a quick and cheap technique for investigation of shallow (5-70 m) structures, depending on the resistivity of medium and the frequency, it is used increasingly in mineral and groundwater exploration, in foundation and environmental investigations and in archeology.

Using VLF method which, is applied first time by a Turkish crew in our country, the VLF transmission spectra of various radio stations have been measured at different locations of Anatolia in the frequency range of 15-30 kHz. The observed transmissions in different frequencies of VLF spectra provide a source field with adequate intensity for scheduled investigations in West and Central Anatolia. However, prior to VLF measurements at each location, the periodic maintenance and repairing times of the transmitters in certain days or hours should taken in to account.

Using our EDA Omni-Plus electromagnetic-VLF instrument and a depending on the structure under investigation, three of these frequencies chosen and two or three dimensional measurements are taken by shifting the 5-10 m separated electrodes - applied to the ground horizontally. Different frequencies provide information from relatively different depths. Measurements should coincide with the orientation of transmissions in chosen frequencies. Depending on the studying problem, VLF total field intensity, tilt angle, real and imaginary parts of vertical magnetic component, the apparent resistivity and phase values can measured with different electrode and site spacing at each chosen frequency. By mapping the obtained parameters, locations of plausible conductive zones, lateral discontinuities, thermal water containing zones, faulted and crushed zones, metallic ores, and also wall traces in the archeological sites appear clearly. Samples from different geological, hydrogeologic, geothermal, mining and archeological cases will be given and their interpretation will be discussed. One and two dimensional models will be presented for some typical anomalies.

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

GİRİŞ

Radyo dalgalarının yerin elektrik özelliklerinden etkilendiği yıllardan beri bilinmektedir. Elektromanyetik "tilt" tekniklerini kullanarak yerin iletkenliğinin ve dielektrik sabitinin ölçülmesi ilk olarak 1930 larda yapılmıştır (Feldman 1933). 1960 lardan sonra yaygınlaşan çok alçak frekanslardaki m (*Very Low Frequency*) radyo vericilerinin 15-30 kHz arasındaki yayınları iletken jeolojik yapıların araştırılması için elektromanyetik-VLF yönteminin gelişmesine yolaçmıştır. Yerden ölçümlere uygun ilk ticari VLF gerci 1964 de üretilmiş, 1969 ca ise havadan VLF ölçümlerine başlanmıştır (Paterson ve Ronka 1971). Daha sonraları portatif VLF vericileri de kullanılmıştır.

Üzerinde çok çalışılmakla birlikte VLF ölçümlerinin yorumu hala bazı belirsizlikler taşımaktadır. Bir-boyutlu (1-B) yapılar ile ilgilendiği zaman bağıntılar nispeten çözülebilir. Ancak daha yaygın olan 2-B ve 3-B yapılar için matematik daha karmaşıktır ve sayısal modelleme tekniklerine başvurmak gerekir (Kaikkonen 1979, Saydam 1981, Poddar 1982).

VLF YÖNTEMİNİN İLKELERİ

Vericiler ve VLF Dalgaları: Çok büyük uzaklıklar ile iletişimin güvenli bir şekilde yapılabilmesi için VLF frekanslarında yayın yapan ilk verici 1910 ve 1912 arasında kurulmuştur (Watt 1967). Daha sonra 1927 de Rugby (GBR) ile başlayarak yayılan bu vericiler, ikinci dünya savaşı süresince 100 kW'ın üzerinde bir yayının gücü ile deniz - ve denizaltı - haberleşmelerinde kullanılmıştır. Büyük ölçekli tel örgüler biçiminde kurulmuş vericilerden VLF frekanslarında yapılan küresel ölçekli iletişimler bugün de etkin biçimde kullanılmaktadırlar. Çizelge 1'de 15-30 kHz frekans bandında yayın yapan bazı VLF verici istasyonlarının listesi, Şekil 1'de ise Türkiye'de ölçtüğümüz spektrum örnekleri verilmektedir.

$I_0 e^{i\omega t}$ akımı ile beslenen h yüksekliğindeki bir VLF vericisinden yayılan elektromanyetik alanın radyal (r , uzaklık) bileşenleri (V/m veya A/m cinsinden)

$$E_z = (\eta_0 I_0 h / 2\pi) (i\beta/r + 1/r^2 - I/\beta r^3) e^{i\beta r} e^{i\omega t} \quad (1)$$

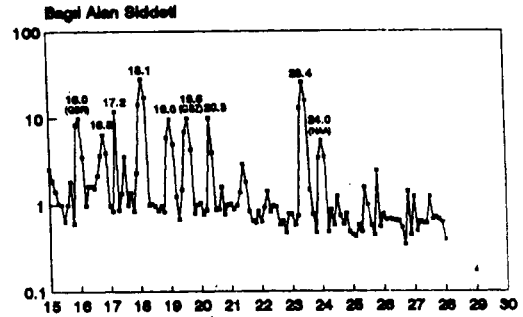
$$H_\phi = (I_0 h / 2\pi) (i\beta/r + 1/r^2) e^{-1/\beta r} e^{i\omega t} \quad (2)$$

bağıntıları ile verilir. Diğer bileşenler yoktur ya da ihmal edilir. Burada $\eta_0 = 377$ Ohm.m) boşluğun iç dirençisi, $\beta (= 2\pi/\lambda)$ yayınının faz sabitidir. (1) ve (2) bağıntılarındaki r^{-1} , r^{-2} ve r^{-3} ile orantılı olan terimler sırasıyla radyasyon, indüksiyon ve elektrostatik terimlerdir. Dikkat edilirse uzak alan ($r \gg \lambda$) bölgesinde radyasyon terimi hem E_z hem H_ϕ için daha baskındır ve yeryüzeyinde birbiriyle aynı fazda düşey elektrik ve teğetsel manyetik bileşenler vardır. Bu elektrik ve manyetik dalga bileşenlerinin büyük uzaklıklarda ki

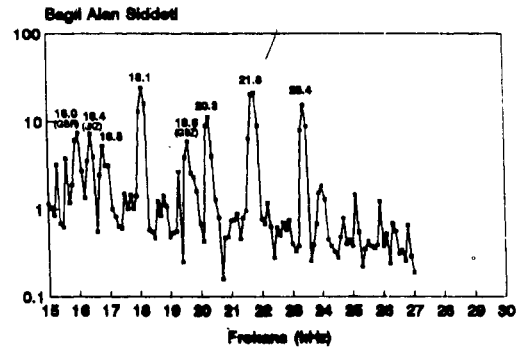
şiddetleri bazı sadeleştirme ve kabuller ile (db, mV/m veya mA/m) cinsinden

ELEKTROMANYETİK-VLF SPEKTRUMU

AKYAZI, 26 HAZİRAN 1993, 16:00



FETHİYE, 11 HAZİRAN 1994, 07:50



Şekil 1: Akyazi ve Fethiye' de ölçülen elektromanyetik-VLF spektrumları.

Figure 1: Electromagnetic-VLF spectrum measured in Akyazi and Fethiye.

$$E_z = 44.3 + 10 \log P - 1010 \log f - 20 \log h_i \quad (3)$$

$$+ 20 \log \Lambda - 10 \log(a \sin(r/a)) - \alpha r$$

$$H_\phi = E - 51.5 \quad (4)$$

bağıntıları ile hesaplanabilir. Burada, P (kW) anten çıkış gücü, f (kHz) yayın frekansı, h_i (km) ionosferdeki yansıma sınırının yüksekliği, Λ vericinin endüyük moddaki etkinliğine bağlı küçük bir katsayı, a Yer'in yarıçapı (6.4 Mm), r Mm (mega metre) cinsinden vericilerden uzaklığı ve α iletken yer ve ionosfer içinde güç kaybını açıklayan sönmüm katsayısıdır (db/Mm). Sönmüm frekans, yayının yönü, ortamın elektrik iletkenliği ve düz oluşu, günün saati, mevsimler, enlem ve güneş aktivitesi gibi birçok etkene bağlıdır (Watt 1967). Boşluğa kıyasla çok farklı dirençlere sahip olan yerkayaçları yüzeyinde ilerlerken değişken eliptik kutuplaşma gösteren elektromanyetik VLF dalgalar TM modunda (*transverse magnetic field*) baskın olup, bir de

VLF özdirenç ölçümleri için önemli olan E_x bileşeni içerir.

Temel Bağlıntılar: Elektromanyetik dalgaların içinde serbest yük bulunmayan ortamda davranışları Maxwell bağlantıları ile açıklanır. Bunlar,

$$\nabla \times \mathbf{E} = -i\omega\mu\mathbf{H} \quad (5a)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = (\sigma + i\omega\epsilon)\mathbf{E} \quad (5b)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = 0 \quad (5c)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (5d)$$

olup (5b) nin rotasyoneli alınarak ve vektörel ilişkiler kullanılarak,

$$\nabla^2 \mathbf{H} + k^2 \mathbf{H} = 0 \quad (6)$$

olduğu gösterilebilir. Burada dalga sayısı $k = (\omega^2 \mu \epsilon - i\omega \mu \sigma)^{1/2}$ dir. Birincil manyetik alanın (H_y) yalnızca yayılma yönüne dik olan y yönünde olduğunu kabul edersek (6) denkleminin genel çözümü,

$$H_{my} = (a_m e^{-iu_m z} + b_m e^{iu_m z}) e^{-ik_x x} \quad (7)$$

şeklinde olur. λ bir sabit ($=k_0 \sin \theta$), θ ; dalganın geliş açısı, $u_m = (\lambda^2 - k_m^2)^{1/2}$ dir. Yer iyonosfer ortamında ilerleyen elektromanyetik-VLF (EM-VLF) dalgaların yüzey direnci (empedansı), yeryüzündeki yatay elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin oranı olarak tarif edilir;

$$E_{0x} / H_{0y} = Z_1 = [i\mu_0 \omega / (\sigma_1 + i\omega\epsilon_1)]^{1/2} \cdot [1 - (k_0^2 / k_1^2 \sin^2 \theta)]^{1/2} \quad (8)$$

geliş açısı $\theta \approx \pi/2$ olup EM-VLF frekanslarında ($k_0^2 \ll k_1^2$) dir. Ayrıca jeofizik uygulamalarda genelde ($\sigma_1 \gg \omega\epsilon_1$) alınabileceğinden

$$E_{0x} / H_{0y} = Z_1 \approx (i\mu_0 \omega / \sigma_1)^{1/2} = 0.7071 (1+i) (\mu_0 \omega / \sigma_1)^{1/2} \quad (9)$$

olur (McNeill ve Labson 1991). (9) bağlantısı homojen bir ortamda yatay elektrik ve manyetik alanlar arasındaki faz açısını 45° ve E nin önde olduğunu göstermektedir.

EM-VLF yönteminde toplam alan şiddeti, alanın tilt'i, düşey bileşenin gerçel ve sanal kısımları gibi manyetik alana ilişkin çeşitli büyüklükler yanısıra (9) dan yararlanarak yeryüzünde birbirine dik yönde ölçülecek E_{0x} ve H_{0y} değerlerinin oranından ortamın görünür özdirenci ve fazı

$$\rho_a = (i/\mu_0 \omega) \cdot |Z_1|^2 = (i/\mu_0 \omega) \cdot |E_{0x} / H_{0y}|^2 \quad (10a)$$

$$\phi_a = \arg Z_1 \quad (10b)$$

bağlıntılar ile bulunabilir.

Nüfuz Derinliği: Bizi (9) bağlantısına ulaştıran kabuller ışığında ve yeraltında düşey doğrultuda ilerleyen bir elektromanyetik dalga için (7) bağlantısı

$$H_{1y} = a_1 e^{-ik_1 z} e^{-ik_x x} \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir. İkinci Maxwell bağlantısından (5b) hareketle

$$E_{1x} = -(1/\sigma_1) \partial H_{1y} / \partial z \quad (12)$$

ve buradan da bazı ara işlemler ile elde edilir. (11) ve dolayısıyla (12) bağlantılarında yer alan $e^{-ik_1 z}$ terimi yer içinde ilerleyen dalga genliğinin derinliğe bağlı olarak azalacağına işaret etmektedir. Karmaşık dalga sayısını

$$k_1 = (-i\mu_0 \omega \sigma_1)^{1/2} = (1-i) (\mu_0 \omega \sigma_1 / 2)^{1/2} \quad (14)$$

biçiminde yazarsak elektromanyetik dalganın başlangıçtaki genliğinin $1/e$ (≈ 0.37) katına indiği derinlik metre cinsinden

$$d_1 = (2/\mu_0 \omega \sigma_1)^{1/2} \quad (15)$$

nüfuz derinliği olarak tarif edilir. Jeofizik araştırmalar açısından çok önemli bir kavram olan nüfuz derinliği seçilen frekansında direnci ρ_1 (veya iletkenliği σ_1) olan bir ortamda yüzeyden d_1 derinliğine kadar olan kayaçlardan bilgi alınabileceğini gösterir.

Bir Boyutlu Modelleme: Elektromanyetik-VLF yöntemi arazide uygulanırken genelde çeşitli noktalarda belirli bir frekanstaki VLF büyüklükleri ölçülür ve haritalanır. İki yatay katman durumunda (ρ_1 , h_1 ve ρ_2) ortamın görünür özdirenci (ρ_a) ve fazı (ϕ_a).

$$\rho_a = \rho_1 |Q_1|^2$$

$$\phi_a = 45^\circ + (180/\pi) \arg Q_1$$

olup burada Q_1

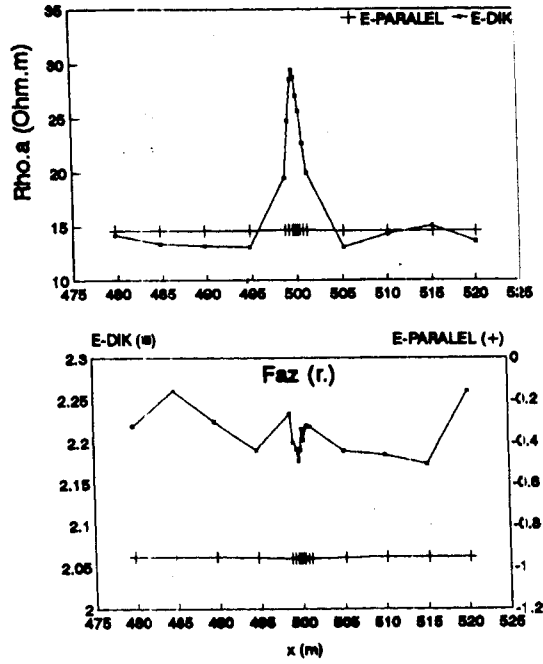
$$Q_1 = [\beta_1 + \tanh(\alpha_1 \sqrt{d})]$$

bağlıntısı ile verilir. α_1 ve β_1 katsayıları ise sırasıyla $a_1 = (\omega \mu_0 \rho_1) h_1$ ve $\beta_1 = (\rho_2 / \rho_1)$ dir. Eğer ρ_1 için geçerli bir yaklaşım yapılabiliyorsa çeşitli h_1 ve β_1 değerleri için hazırlanan abaklar yardımı ile arazide ölçülen ρ_a ve ϕ_a değerlerinden üst katman kalınlığı h_1 ve alt katman özdirenci ρ_2 her ölçü noktası için ayrı ayrı hesaplanabilir (Mathieson ve Crossley 1981). Bu, örtü tabakasının kalınlığı veya gömülü bir süreksizliğin izlenmesi açısından yararlı ve kolay bir çözümdür.

İki Boyutlu Modelleme: Yeraltının daha karmaşık olduğu durumlarda elektromanyetik modelleme için iki boyutlu sayısal çözümler uygulanır. Bunlar manyetotelirik yöntemle benzer biçimde olup seçilen sayısal çözüm yoluna göre sonlu farklar, sonlu elemanlar v.b. yöntemler olarak bilinir. Şekil 2 de orta noktası 3.6 m derinde gömülü 1x2 m boyutlarındaki bir boşluğun aktarım benzerliği yöntemi ile paralel ve dik

modlarda hesaplanmış iki boyutlu VLF ρ_a ve ϕ_a tepkileri görülmektedir. Çevre ortam direnci 10 Ohm.m olup hesaplamalar için EMCDC yazılımı kullanılmıştır (Madden and Swift 1969). Modelleme, arkeolojik veya çevre açısından öneme sahip olabilecek böyle gömülü bir koridor veya tünelin, vericinin yönü dikkatli bir biçimde seçilerek E-dik durumda sık aralıklarla yapılacak VLF ölçümleri ile belirlenebileceğini göstermektedir.

ELEKTROMANYETİK-VLF (BOSLUK)



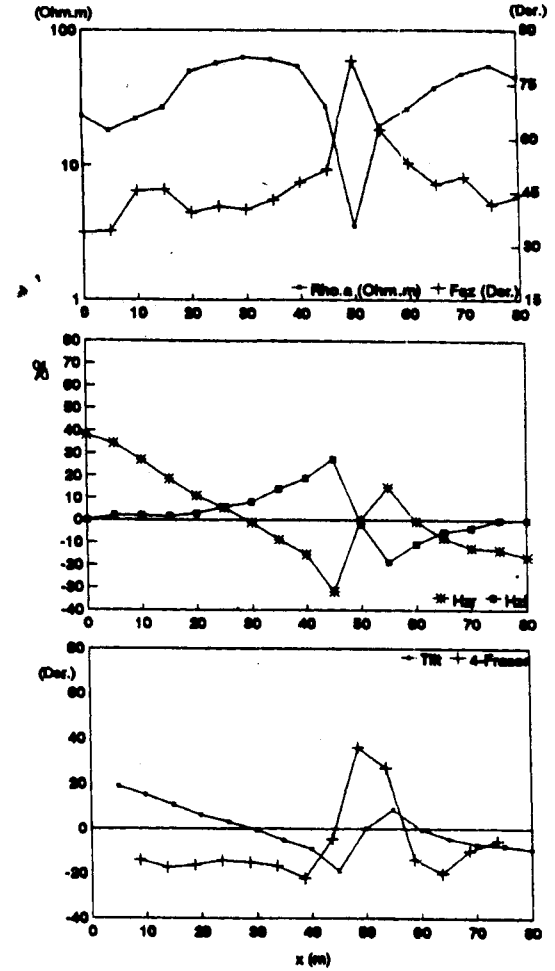
Şekil 2: 3.6 m derinde gömülü 1x2m boyutlarındaki bir boşluğun paralel ve dik modlarda iki boyutlu VLF ρ_a ve ϕ_a tepkileri. Çevre ortam direnci 10 Ohm.m dir.

Figure 2: Two dimensional VLF ρ_a and ϕ_a responses (in perpendicular and parallel modes) of a 1x2 cavity which is buried at 3.6m. The resistivity of surrounding medium is 10 Ohm.m.

ARAZİ ÖRNEKLERİ

Şekil 3 de İstanbul Dudullu'da kısmen yerleşilmiş bir alanda (şehir içi elektromanyetik kirlenme olmasına rağmen), gömülü bir metal su borusu üzerinde ölçülen elektromanyetik -VLF büyüklükleri görülmektedir. Profilin başlangıcından 50 m uzakta öz direnç azalırken faz değerleri yükselmekte, gerçel ve sanal bileşenler işaret değiştirmekte, tilt açısı işaret değiştirirken Fraser filtre sonuçları yüksek bir anomali vermektedir.

DUDULLU, KEMERDERE MEVKİ F-Doğrultusu, VLF 19.0 kHz

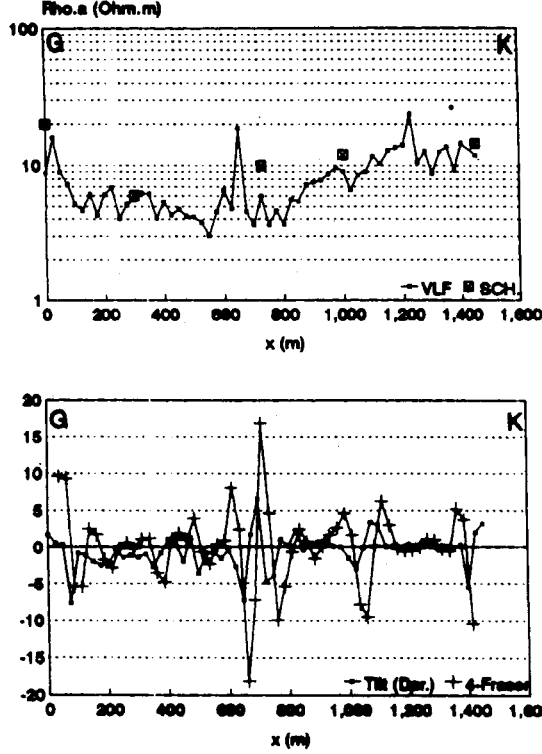


Şekil 3: İstanbul, Dudullu'da gömülü bir metal su borusu üzerinde ölçülen elektromanyetik-VLF büyüklükleri.

Figure 3: Electromagnetic-VLF quantities measured on a buried metal water pipe in Istanbul, Dudullu.

Sakarya, Akyazı'da jeotermal bir alan üzerinde yaptığımız EM-VLF ölçüm sonuçları ise Şekil 4 de verilmiştir. 100 m civarından sıcak su alınan kuyulara yakın geçen L-1000 doğrultusu boyunca ölçülen VLF (16.0 kHz) ve Schlumberger (AB12=10 m; H. Şahin 1993, kişisel görüşme) görünür öz direnç değerleri çok iyi bir uyum göstermektedir. "Tilt açısı" ve Fraser filtre sonuçları da iletken zonlar üzerinde anomali vermektedir. Daha büyük elektrot açılımı (> 20 m) ve daha seyrek ölçüm aralığı (50-500 m) nedeniyle elektrik öz direnç yöntemi ile görülemeyen ayrıntılar 5- 10 m elektrot açılımı ve daha sık (< 25 m) alınabilen VLF yöntemi ile ayrıntılı biçimde izlenebilmektedir. Yüzeyde kaynayan jeotermal sıvılar ile doymun olan ortamın iletken olması nedeniyle ölçümler 10-15 m gibi oldukça sığ derinlikleri yansıtmaktadır.

AKYAZI
1000-Doğrultusu, VLF 16.0 kHz



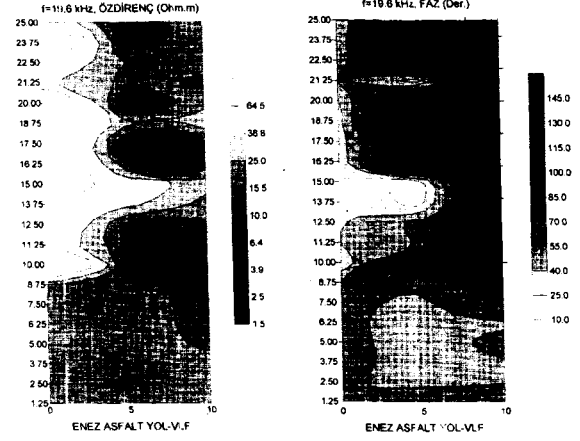
Şekil 4: Sakarya, Akyaşı' da jeotermal bir alan üzerindeki EM-VLF büyüklükleri. (Üstte) 1-1000 doğrultusu boyunca ölçülen VLF ve Schlumberger (AB/2=10 m ; Şahin 1993, kişisel görüşme) görünür öz direnç değerleri. (Altta) Aynı doğrultu üzerinde "tilt açısı" ve Fraser filtre sonuçları. Anomaliler iletken zonları belirlemektedir.

Figure 4: Em-VLF quantities on a geothermal field in Akyazi, Sakarya. (Above) VLF and Schlumberger (AB/2=10 m; Şahin 1993, pers. comm.) apparent resistivity values. (Below) "Tilt angle" and Fraser filtered results on the same profile. Anomalies indicate conductive zones.

Şekil 5 da Enez'de asfalt yol altında kalmış arkeolojik bir yapıyı üzerinde ölçülen EMVLF görünür öz direnç ve faz haritası görülmektedir. E-dik durumda yapılan ölçüler 5 m lik bir elektrot açılımı ve 1.25x2.5 m lik bir grid aralığı ile alınmıştır. Islak killi kumlu iletken ($\rho_a = 5-20$ Ohm.m) bir ortamda gömülü yüksek dirençli ($\rho_a >100$ Ohm.m) mermer yapılar alanın sol üst yarısında izlenebilmektedir.

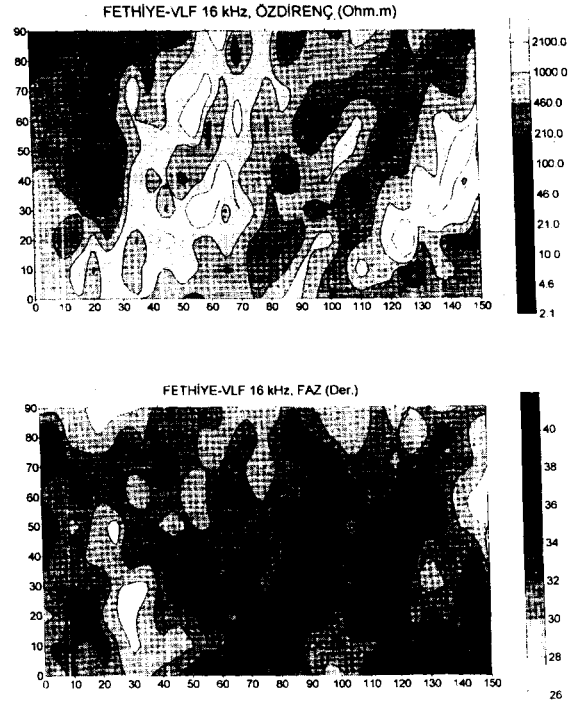
EM-VLF yöntemi ile 16.0 kHz de Muğla, Fethiye'de krom cevheri üzerinde ölçtüğümüz görünür öz direnç ve faz haritaları ise Şekil 6 da yer almaktadır. Ana kayacın 1000-5000 Ohm.m arasında değişen çok yüksek görünür öz dirençlerine karşın, 200 Ohm.m den daha küçük görünür öz dirençler ve 32° den yüksek faz değerleri olası iletken cevherin yerini ve yönelimini belirlemektedir. Ölçümlerimiz diğer jeofizik ölçümler

ve bilinenler ile büyük bir oranda uyumludur (A Adalan 1994, kişisel görüşme).



Şekil 5: Enez' de asfalt yol altında gömülü kalmış arkeolojik bir yapının üzerinde ölçülen EM-VLF görünür öz direnç ve faz haritası.

Figure 5: The measured EM-VLF apparent resistivity and phase map of a buried archeological ruin located beneath the asphalt paved road in Enez.



Şekil 6: EM-VLF yöntemi ile Fethiye' de bir kromit cevheri üzerinde 116.0 kHz de ölçülen görünür öz direnç ve faz haritası.

Figure 6: The measured apparent resistivity and phase map using EM-VLF method at 16.0 kHz on a chromite ore in Fethiye.

SONUÇLAR

Ülkemizde ilk defa uyguladığımız elektromanyetik-VLF yöntemi kullanım açısından kolay ve hızlı bir yöntemdir. Yayındaki vericilerin alan şiddetleri ve süreklilikleri

çeşitli yörelerde izlenmiş ve Türkiye'deki ölçümler için yeterli kaynak-alan oluşturdukları görülmüştür.

Akyazı jeotermal alanında, sıcak su içeren sıg ve düşey iletken yapılar üzerindeki EMVLF ölçümleri, elektrik özdirenç (Schlumberger) ölçümleri ile tam uyumlu olup daha küçük elektrot açılımı ile çalışıldığından daha ayrıntılı bilgi sağlamaktadır.

Araştırma ortamının herhangi bir şekilde tahrip olmaması gereken durumlarda; örneğin arkeolojik yapıların incelenmesinde elektromanyetik-VLF yöntemi çok başarılıdır.

Ortamın direncine ve seçilen frekansa bağlı olarak sıg sayılabilecek metalik maden aramalarında cevherin 2 hatta 3 boyutlu konumu açıkça belirlenebilmektedir.

KATKI BELİRTME

Sunulan çalışmalar 91K121050 numaralı D.P.T. projesi sağlanan gereçler ile yapılmıştır. Araştırmalarımız ayrıca İ.Ü. Araştırma Fonu (493/230791 ve 621/070794) ve Milli Prodüktivite Merkezi'nce de desteklenmiştir. Akyazı'daki kampa katılmamıza izin veren MTA Jeofizik Etütleri Dairesi'ne, çalışmalarımıza ilgileri için H. Şahin'e (MTA) ve A. Adalan'a (Aktaş-Birlik) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Bayrak, M., 1993, VLF Ölçümleri ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendisliği AD., İstanbul.

Çizelge 1: Çok alçak frekansta yayın yapan bazı Elektromanyetik-VLF verici erir in listesi.

Table 1: List of some electromagnetic-VLF (*Very Low Frequency*) transmitters.

KODU	İSTASYON	F(kHz)	GÜÇ(kW)	ENLEM	BOYLAM	BAKIM
FUO	Bordeu, FRANSA	15.1	500	44°65' N	0°48' W	
GBR	Rugby, İNGİLTERE	16.0	750	52°20' N	1°11' W	Salı 1000-1400
JXZ	Heigeland, NORVEÇ	16.4	350	66°25' N	13°01' E	
	FRANSA	16.8				
UMS	Moscow, RUSYA	17.1	1000	55°49' N	38°01' E	
NDT	Yosami, JAPONYA	17.4	50	34°58' N	137°01' E	Ayın ilk Perşembe-Cuma'sı: 2300-0900 Diğer Perşembe-Cuma: 2300-0700
	Criggeon, İNGİLTERE	19.0				Çarşamba
GBZ	Oxford, İNGİLTERE	19.6				
NSS	Annapolis, Maryland, ABD	21.4	400	38°59' N	76°27' W	Salı: 1200-2000 Salı: 2000-2200 test 2. ve 4. Çarşamba Operatör talimi
NWC	Exmouth, AVUSTURALYA	22.3	1000	21°49' S	114°09' E	Pazartesi: 0000-0800 Eğer Pazartesi tatilse Perşembe: 0000-0400
	Rhauderfehn, ALMANYA	23.4				
NPM	Lualualei, HAWAI	23.4	600	21°25' N	158°09' W	Ay'ın son Çarşamba-Perşembesi: 1800-0400 Diğer her Çarşamba-Perşembe: 1800-0200
NAA	Cutler, Maine, ABD	24.0	1000	44°38' N	67°16' W	Pazartesi:1200-2000. Her Pazartesi: 2000-2200 test. Eğer Pazartesi tatilse, izleyen Cuma ve 1, 3. ve 5. Perşembe Operatör talimi.
NLK	Jim Creek, Seattle, ABD	24.8	125	48°12' N	121°55' W	Perşembe: 1600-2400 Günışığında: 1500-2300
NAU	Aguada, PORTO RIKO	28.5	100	18°23' N	67°11' W	Çarşamba: 1200-2000

Crossley, D.J., 1981, The theory of EM surface wave impedance measurements, in Collect. L.S., and Jensen. O.G., Eds., Geophysical applications of surface wave impedance measurements. Geological Survey of Canada, 81-15,1-17

Feldman, C.B., 1933, The optical behavior of the ground for short radio waves. Proc. IEEE, 21, 764-801.

Fraser, D.C., 1969, Contouring of VLF-EM data. Geophysics. 34, 958-967.

Kaikkonen, P., 1979, Numerical VLF modelling. Geophysics Prospecting, 27, 815-834.

Madden, T.R., and Swift, C.M., 1969, Magnetotelluric studies of the electrical conductivity structure of the crust and upper mantle. in American Geophysical Union Mon. 13, The Earth's Crust and Upper Mantle. 469-479.

Mathieson, C., and Crossley, D.J., 1981, Interpretation of single frequency VLF data, in Collette, L.S., and Jensen, O.G., Eds., Geophysical applications of surface wave impedance measurements. Geological Survey of Canada, 81-15, 49-65.

Poddar, M., 1982, Very low frequency response of a perfectly conducting half-plane in a layered half-space. Geophysics. 47, 1059--1067.

Paterson, N.R. ve Ronka, V., 1971, Five years of surveying with the very low frequency-electromagnetic method. Geoprospection. 9, 7-26.

Saydam, A.S., 1981, Very low-frequency electromagnetic interpretation using tilt angle and ellipticity measurements. Geophysics., 46, 7-26.

Watt, A.D., 1967, VLF radio engineering. Pergamon Press, New York.