

28747

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VLF ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat BAYRAK

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
(Yerfiziği Programı)

Haziran-1993

ÖNSÖZ

Tezimizin konusu, sığ yer katmanlarının elektrik özelliklerini hızlı ve ayrıntılı olarak belirlemede başarılı olan VLF yöntemi ile yapılmış bir dizi uygulamadır. Ülkemizde bir Türk ekibi tarafından ilk kez uygulanan VLF yöntemine ait teorik bilgiler kısaca verilmiş, Dünyadan alınan örnekler tanıtılmış ve Avcılar Kampüsü alanı ile Tekirdağ SIT alanındaki ölçmeler tartışılmıştır.

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca bilgi ve kaynak yardımını gördüğüm Sayın Prof.Dr. O.Metin İlkışık'a teşekkür ederim. Bu çalışma "Elektromanyetik ve Termik Yöntemlerle Jeotermal Araştırmalar-91K121050" isimli DPT projesinden alınan OMNI-VLF gereci kullanılarak yapılmış olup, Milli Prodüktivite Merkezince de kısmen desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZ	IV
ABSTRACT	V
I. GİRİŞ	1
II. MATERYAL VE METOD	3
2. ELEKTROMANYETİK YÖNTEMLER	3
2.1. Elektromanyetik Yöntemlerin Kullanılan Kaynağa Göre Sınıflandırılması	7
2.1.1. Doğal Kaynaklı Elektromanyetik Yöntemler	8
2.1.2. Yapay Kaynaklı Elektromanyetik Yöntemler	10
2.2. Elektromanyetik Yöntemlerin Ölçülen Parametre Cinsine Göre Sınıflandırılması	18
2.2.1. Eğim Açısını Ölçme Yöntemleri	18
2.2.2. Şiddet Ölçümleri	18
2.2.3. Şiddet Bileşenlerini Ölçme Yöntemleri ..	19
2.3. Elektromanyetik Yöntemlerin Uygulama Şekillerine Göre Sınıflandırılması	19
3. VLF YÖNTEMİ	22
3.1. VLF Birincil Alanı	22
3.2. VLF Anomalileri	27
3.3. VLF Yönteminde Ölçülen Büyüklükler	29
3.4. Topoğrafik Düzeltmeler	31
3.5. Yorumlama	33
3.5.1. Bazı Genel Anomaliler	34
3.6. Model Tepkiler	35
3.7. Katmanlı Yer Modeli	41
3.8. Dayk Modeli	41
3.9. Sayısal Modelleme	44

4. JEOFİZİK VLF GERECİ	47
4.1. VLF İstasyonları	47
4.2. Ölçü Modu	47
4.3. Jeofizik VLF Cihazı	50
4.3.1. VLF Gerecinin Özellikleri	54
4.3.2. Çalıştırma Kuralları	56
4.3.3. Tuşlar	59
4.3.4. Sistemin "Başlatılması"	61
4.3.5. Ölçüm Yöntemleri	62
5. DÜNYADAN ÖRNEKLER	65
5.1. Maden Aramaları	65
5.2. Yeraltısuyu Çalışmaları	66
5.3. Mühendislik Çalışmaları	66
5.4. Arkeolojik Araştırmalar	67
5.5. İyonosferik Çalışmalar	68
III. BULGULAR	70
6. İ.Ü. AVCILAR KAMPÜSÜ VLF ARAŞTIRMASI	70
6.1. Çalışma Alanının Jeolojisi	70
6.1.1. Jeolojik Özellikler	70
6.1.2. Tektonik Özellikler	71
6.1.3. Yeraltı Suyu ile İlgili Özellikler	72
6.2. Jeofizik VLF Çalışmaları	72
IV. TARTIŞMA VE SONUÇ	91
V. ÖZET VE SUMMARY.....	93
VI. KAYNAKLAR	96
VII. EKLER	
EK 1. İ.Ü. Avcılar Kampüsü'ü Araştırma Alan'ı Haritası	
VIII. ÖZGEÇMİŞ	101

ÖZ

VLF ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Radyo-Dalgası Yöntemi VLF (10-30 kHz) bandında yayın yapan radyo vericilerini kullanır. VLF yöntemi yaklaşık 5-50 m arasındaki sığ iletken yapıları araştırmada oldukça hızlı ve ucuz bir yöntem olduğu için madencilikte, yeraltısuyu, zemin araştırmaları, çevre sorunları ve arkeolojide kullanılmaktadır.

Ülkemizde bir Türk ekibi tarafından ilk olarak uygulanan VLF yöntemi ile, 15.0-30.0 kHz frekans aralığında yayın yapan radyo istasyonlarını belirlemek amacıyla İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde 7 Eylül 1992 ve 13 Ocak 1993 tarihlerinde VLF yayın spektrumları elde edilmiştir. Ayrıca VLF ölçümlerinin yön'e bağlı olarak nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla 19.0, 20.3 ve 22.3 kHz frekansları ve 10 m elektrod aralığı için üç farklı yönde 4 VLF ve 3 öz direnç parametresi ölçülerek gerekli karşılaştırma yapılmıştır.

Daha sonra VLF Yöntemi ile İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde jeofizik deneme alanında belirlenen doğrultu boyunca 16.0 kHz ve 19.6 kHz frekansları için doğu-batı (EW) ve kuzey-güney (NS) doğrultularında ölçümler alınmıştır. 10 m elektrod aralığı ile 46 noktada 4 VLF ve 3 öz direnç parametresi ölçülmüştür.

ABSTRACT

In The VLF-Radio Wave technique, the electromagnetic transmissions in the frequency range of 10-30 kHz is used. VLF method properly has applicated at mining, groundwater, archeology and ground prospecting to detect the shallow conductive structures. This method is quite quick and cheap and it provides information 5-50 m depths.

VLF technique has been applied in Turkey as a first time by our Turkish group. The VLF spectrums in 7 September 1993 and 13 January 1993 are obtained in the frequency of 15.0-30.0 kHz. In addition, to find the change depending on the direction for the 19.0, 20.3 and 22.3 kHz frequencies and (for 10 m electrode spacing) had surveyed for 3 different directions and 4 VLF and 3 resistivity parameters had compared.

Then using VLF method for 16.0 kHz and 19.6 kHz frequencies a survey has been done along at I.Ü. Avcılar Campüs. The direction of the chosen profile is 321° E at each site east-west (EW) and north-south (NS) directed. In this study electrode distance had taken 10 m and measurements are made at each site 4 VLF and 3 resistivity parameters had surveyed on 46 points.

I. GİRİŞ

Askeri amaçlı haberleşme amacıyla yirmi yıldan fazla bir süredir 10-30 kHz frekans aralığında yayın yapan güçlü VLF vericileri maden ve yeraltı araştırmaları için geliştirilen jeofizik VLF elektromanyetik yönteminin kaynağını oluşturmaktadır. VLF yöntemi elektromanyetik alanların bileşenlerindeki değişimlerin ölçülmesine dayanan indüktif bir arama yöntemidir. İlk olarak 1930 larda kullanılan bu yöntem ile (Frolov, 1961) arazinin öz direncini saptamak için önceleri manyetik alanın düşey bileşeni veya alanın eğimi ölçülürdü. Yöntem, hafif ve pahalı olmayan ekipmanı, saha çalışmalarındaki hızı, ekipmanın işleyiş tarzındaki kolaylık ve sonuç olarak düşük arama maliyeti gibi faktörler nedeniyle 1960 lardan sonra teknolojik gelişmelere paralel olarak mineral aramalarında sıkça uygulanır olmuştur. İlk zamanlarda jeofizikçiler yalnızca manyetik bileşenleri ve eğim açısı'nı ölçerlerdi. Eğim açısı iletken ince bir maden damarını iyi bir şekilde belirler (Fraser, 1969; Paterson ve Ronka, 1971). Ayrıca VLF yöntemi üstü örtülü jeolojik yapılarda masif sülfid iletkenleri aramak için kullanıldı (Telford v.d., 1977). Daha sonraları Saydam (1981) ve diğer araştırmacılar yöntemi birçok parametreyi ölçecek ve yorumlayacak biçimde geliştirmişlerdir. Dipol EM sistemleri için yorum analitik veya nümerik modelleme ile yapılmaktadır (Ward ve diğ., 1968). Çevre kayanın yüksek öz dirençlere sahip olması dipol EM verisinin yorumunda doğruluğu ve derinliği arttırır. Ayrıca, Lowrie ve West (1965), Sarma ve Maru (1971), Gaur ve diğ. (1972) ve Gaur ve Verma (1973), skala-model denemeleri sonucunda iki boyutlu (2-B) tekniklerin kullanılmasının iletkenin yer ve derinliğinin güvenilir biçimde saptanabildiğini göstermişlerdir.

Dalga-eğim ölçmeleri havadan sistemlere uygulandığı kadar

(Arcone 1979; Herz 1986), manyetotelürük esaslı VLF ölçümleri yerde de başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Guineau 1975; Fisher, Le Quang ve Muller 1983; Hjelt, Kaikkonen ve Pietila 1984; Benderitter ve Robin 1987).

İlk kez bir Türk ekibi tarafından uygulanan VLF yöntemi ile 15.0-30.0 kHz frekans aralığında yayın yapan radyolar saptanmış ve İ.Ü. Kampüs alanında belirli bir doğrultu boyunca belirlenen noktalarda 4 VLF ve 3 öz direnç parametresi ölçülmüştür, doğrultu boyunca elde edilen parametreler mevcut iletkenlerin yerini belirlemektedir.

Ayrıca yine kampüs alanındaki büyük bir heyelan ile Tekirdağ'daki bir arkeolojik alanda yapılan örnekler sunulmuştur.

II. ELEKTROMANYETİK YÖNTEMLER

Çeşitli frekanslardaki doğal yada yapay elektromanyetik alanların yer içi ve üzerindeki yayınına dayanan elektromanyetik yöntemler mineral araştırmalarında yaygın biçimde kullanılır ve çeşitli derinliklerde bulunan özellikle elektrik iletkenleri iyi bir biçimde belirler.

Bir elektromanyetik alan -veya dalga- nın davranışı; elektrik alan şiddeti (\underline{E}), manyetik indüksiyon (\underline{B}), manyetik alan şiddeti (\underline{H}), dielektrik yerdeğiştirme (\underline{D}) ve elektrik akım yoğunluğu (\underline{J})'den oluşan beş vektör ortamında tarif edilir ve Maxwell denklemleri olarak bilinen şu dört diferansiyel denklem ile belirlenir;

$$\nabla \times \underline{E} = -\partial \underline{B} / \partial t \quad (\text{Faraday Yasası}) \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \underline{H} = \underline{J} + \partial \underline{D} / \partial t \quad (\text{Ampere Yasası}) \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \underline{B} = 0 \quad (\text{Solenoidal B}) \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \underline{D} = \rho_q \quad (\text{Coulomb Yasası}) \quad (2.4a)$$

(2.4a) bağıntısı gereğinden daha fazla geneldir. Sıfırdan farklı bir iletkenliğe sahip herhangi bir ortamda ρ_q yük yoğunluğu çok kısa bir zaman içinde dengeye ulaşır. Buradan hareketle 2. Maxwell denkleminin iki tarafınında diverjansını alarak (2.4a) denkleminin

$$\nabla \cdot \underline{D} = 0 \quad (2.4b)$$

olduğu gösterilebilir (Patra ve Mallick, 1980). Yerküreye ilişkin elektromanyetik uygulamaların çoğunda ortamın tekdüze (homojen) ve yönbağımsız (izotrop) olduğu kabul edilirse şu ek bağıntılar geçerlidir.

$$\underline{D} = \epsilon \underline{E} \quad (2.5)$$

$$\underline{B} = \mu \underline{H} \quad (2.6)$$

$$\underline{J} = \sigma \underline{E} \quad (\text{Ohm yasası}) \quad (2.7)$$

ϵ dielektrik geçirgenlik, μ manyetik geçirgenlik ve σ elektrik iletkenliktir.

2.1'den 2.4'e kadar olan denklemler klasik elektromanyetik indüksiyon olayını tanımlar.

1. Maxwell denkleminin (2.1) her iki tarafının rotasyonelini alırsak,

$$\nabla \times (\nabla \times \underline{E}) = \nabla \times (-\partial \underline{B} / \partial t)$$

$\underline{B} = \mu \cdot \underline{H}$ alınır ve ikiside türev olduğundan $\nabla \times$ ile $\partial / \partial t$ yerdeğiştirirse

$$\nabla \times (\nabla \times \underline{E}) = \nabla \times (-\partial / \partial t \mu \cdot \underline{H})$$

$$\nabla \times (\nabla \times \underline{E}) = -\mu \partial / \partial t (\nabla \times \underline{H}) \quad (2.8)$$

2. Maxwell denkleminde $\underline{D} = \epsilon \cdot \underline{E}$ ve $\underline{J} = \sigma \cdot \underline{E}$ bağıntılarına kullanılarak aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

$$\nabla \times \underline{H} = \sigma \cdot \underline{E} + \epsilon \partial \underline{E} / \partial t$$

bunu (2.8) de yerine koyarsak

$$\nabla \times (\nabla \times \underline{E}) = -\mu \partial / \partial t (\sigma \cdot \underline{E} + \epsilon \partial \underline{E} / \partial t)$$

bulunur. Burada

$$\nabla \times (\nabla \times \underline{E}) = \nabla \cdot (\nabla \cdot \underline{E}) - \nabla \cdot (\nabla \cdot \underline{E}) - \nabla^2 \underline{E}$$

vektörel eşitliği kullanılarak

$$\nabla \cdot (\nabla \cdot \underline{E}) - \nabla^2 \underline{E} = -\mu \cdot \epsilon \partial^2 \underline{E} / \partial t^2 - \mu \cdot \sigma \partial \underline{E} / \partial t \quad (2.9)$$

olur. $\nabla \cdot \underline{D} = \rho_q$ ve $\underline{D} = \epsilon \cdot \underline{E}$ kullanılarak

$$\nabla \cdot \epsilon \cdot \underline{E} = \rho_q \rightarrow \nabla \cdot \underline{E} = \rho_q / \epsilon$$

yazılabilir.

Göstermek mümkündür ki, serbest uzayda veya iletken bir ortamda, elektrik yükü hacim yoğunluğu olan ρ_q uygulanan alan dağılımından bağımsızdır ve sifıra eşit alınabilir. Bu durumda (2.9) bağıntısı

$$\nabla^2 \underline{E} = \mu \cdot \epsilon (\partial^2 \underline{E} / \partial t^2) + \mu \sigma (\partial \underline{E} / \partial t) \quad (2.10)$$

olarak bulunur. Benzer biçimde, 2. Maxwell denkleminin her iki tarafının rotasyonelini alınır ve \underline{E} elenirse

$$\nabla^2 \underline{H} = \mu \cdot \epsilon (\partial^2 \underline{H} / \partial t^2) + \mu \cdot \sigma (\partial \underline{H} / \partial t) \quad (2.11)$$

bulunur. Burada (2.10) ve (2.11) bağıntıları vektörel biçimde zaman ortamındaki genel dalga denklemleridir. Periyodik alan değişimlerinin zamana bağımlılığı $e^{i\omega t}$ biçiminde ise (2.10) ve (2.11) bağıntıları frekans ortamında

$$\nabla^2 \underline{E} = -i \cdot \omega \sigma \underline{E} - \epsilon \mu \omega^2 \underline{E} \quad (2.12)$$

$$\nabla^2 \underline{H} = -i \cdot \omega \sigma \underline{H} - \epsilon \mu \omega^2 \underline{H} \quad (2.13)$$

veya $k^2 = i \omega \mu \sigma - \epsilon \mu \omega^2$ yazarak

$$\nabla^2 \underline{E} = k^2 \underline{E} \quad (2.14)$$

$$\nabla^2 \underline{H} = k^2 \underline{H} \quad (2.15)$$

olur. Yerküreyi oluşturan kayalar içinde 10^5 Hz'den küçük frekanslarda yerdeğiştirme akımları iletkenlik akımlarından çok daha küçük, yani $\epsilon \mu \omega^2 \ll \omega \mu \sigma$ olduğundan (Keller ve Frischknect, 1966) (2.14) ve (2.15) bağıntıları

$$\nabla^2 \underline{E} = i \omega \mu \sigma \underline{E} \quad (2.16)$$

$$\nabla^2 \underline{H} = i \omega \mu \sigma \underline{H} \quad (2.17)$$

biçiminde yazılabilir. Bu durumda ortamı ve dalganın ortam içindeki davranışlarını gösteren bir katsayı olan k dalga sayısı

$$k = (i \omega \mu \sigma)^{1/2} \quad (2.18)$$

olur. (2.16) ve (2.17) denklemlerinin genel çözümü

$$\underline{E}_{x,y} = E_0 e^{i\omega t + kz} + E_0 e^{i\omega t - kz} \quad (2.19)$$

$$\underline{H}_{y,x} = (k/i \omega \mu) (E_0 e^{i\omega t + kz} - E_0 e^{i\omega t - kz}) \quad (2.20)$$

olup, $E_0 e^{i\omega t + kz}$ sanal terimdir ve yerden gelip uzaya giden bir dalgayı gösterir, $E_0 e^{i\omega t - kz}$ terimi ise gerçek terim olup uzaydan gelip yer içine doğru ilerleyen bir dalgayı gösterir ve kaynaktan uzaklaştıkça şiddetin azalması gerektiğinden gerçek çözüm olarak alınır.

Nüfuz Derinliği Olayı

Jeofizik uygulamalarda elektromanyetik dalga denkleminin genel çözümü olan

$$\underline{E}_{x,y} = E_0 e^{i\omega t + kz} + E_0 e^{i\omega t - kz} \quad (2.21)$$

bağıntısında $e^{i\omega t}$ terimi zamanla sinüoidal değişimi, son terim e^{-kz} ise derinlikle değişimi göstermektedir. Karmaşık bir sayı olan dalga sayısı

$$k = (\omega \mu \sigma / 2)^{1/2} + i(\omega \mu \sigma / 2)^{1/2} \quad (2.22)$$

biçiminde yazılırsa gerçel kısım $\text{Re}(k)$ elektromanyetik dalganın sönümünü, sanal kısım $\text{Im}(k)$ ise derinlikle sinüoidal değişimi gösterir (Ward ve Hohmann, 1987).

Bir ortam içinde ilerleyen elektromanyetik dalganın nüfuz derinliği olan d , başlangıçtaki alan şiddetinin (genliğinin)

1/e (=0.37) katına indirildiği derinlik olarak ifade edilir.

Yani $\text{Re}(k) \cdot z = 1$ yazılırsa

$$d = (2 / \omega \mu \sigma)^{1/2} \quad (2.23)$$

şeklinde elde edilebilir. μ yerine boşluğun manyetik geçirgenliği μ_0 alınır ve sabitler yerine konulursa nüfuz derinliği metre cinsinden

$$d = 503.3 (\rho / f)^{1/2} \quad (2.24)$$

bağıntısı ile bulunur.

(2.24) bağıntısı yer içinde ilerleyen bir dalganın nüfuz derinliğinin ortamın direnci ile doğru, dalganın frekansı ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle, belli bir frekanstaki dalga yüksek dirençli ortamlarda daha derin veya düşük dirençli (iletken) ortamlarda daha sığ bilgiler sağlar.

Karmaşık dalga sayısı olan k ,

$$k^2 = (i\omega\mu\sigma - \omega^2\epsilon\mu) \quad (2.25)$$

idi. VLF ölçmelerinde, ortamı ve dalganın ortam içindeki davranışlarını belirleyen k ifadesinde, kayaç cinsleri içinde oluşan yerdeğiştirme akımlarına işaret eden ikinci terim olan $(-\omega^2\epsilon\mu)$ ihmal edilmeyip nüfuz derinliği formülü

$$d = 503.3 (\rho/f)^{1/2} 1/((1+f^2)^{1/2}-f) \quad (2.26)$$

şekline girer (Crossley, 1981).

Şekil 2.1, çeşitli frekanslar da yer kabuğunda olması mümkün öz direnç değerleri için elektromanyetik dalgaların nüfuz derinliklerini göstermektedir.

Tekdüze, yönbağımsız ve içinde elektrik yükü bulunmayan bir ortamda herhangi bir düzlem dalga sadece yatay elektrik alan (TE) veya sadece yatay manyetik alan (TM) modlarında ayrı ayrı incelenebilir. Her iki mod için gerekli işlemler yapıp empedanslar hesaplanırsa (İlkışık, 1980),

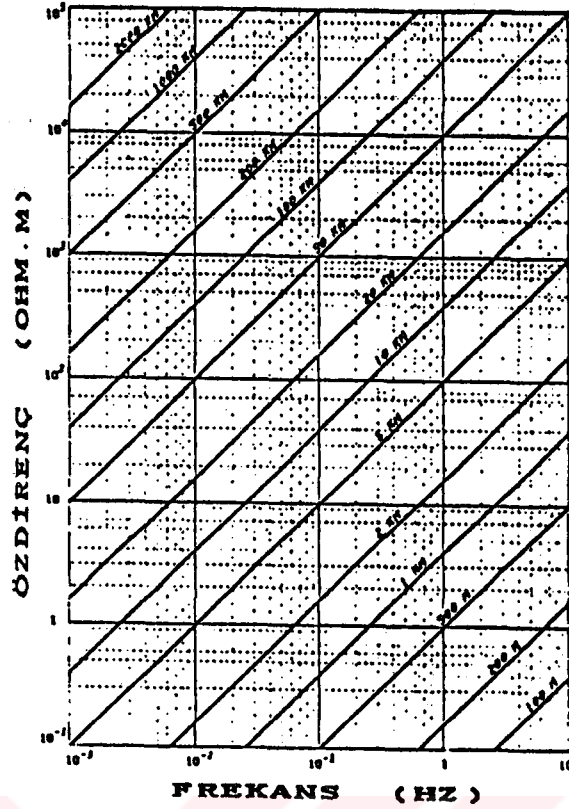
$$Z_{TE} = -E_y/H_x = -i\omega\mu/k_z \quad (2.27)$$

ve

$$Z_{TM} = E_x/H_y = k_z/(\sigma + i\omega\epsilon) = i\omega\mu k_z/k^2$$

bulunur. Halbuki bizim uygulamalarımız da

$$k_z = k = (i\omega\mu\sigma)^{1/2}$$



Şekil 2.1. Çeşitli frekanslar için elektromanyetik dalgaların nüfuz derinlikleri (İlkışık, 1980).

olduğundan

$$Z_{TE} = Z_{TH} = (i\omega\mu)^{1/2} / (i\omega\mu\sigma)^{1/2} \cdot (i\omega\mu)^{1/2} = (i\omega\mu/\sigma)^{1/2} \quad (2.28)$$

yada empedansa bağlı olarak ortamın öz direnci $\rho = (1/\sigma)$

$$\rho = 1 / i\omega\mu |Z|^2 \quad (2.29)$$

veya skaler olarak

$$\rho = 1 / \omega\mu |E/H|^2$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Buradan bulunacak ρ , belirli bir frekansta tekdüze bir ortam için gerçek öz direnci, tekdüze olmayan bir ortam için ise nüfuz derinliğine kadar olan bölgenin görünür öz direncini verecektir.

Bu formülde E elektrik alanın (Volt/metre), H manyetik alanın (Amper/metre) olarak bilinmesi gerekir.

Jeolojinin iki boyutlu olması durumunda her iki yöndeki ölçümler birbirinden farklı olacaktır. Bu ise değerlendirmede önemlidir (Şekil 2.2).

2.1. Elektromanyetik Yöntemlerin Kullanılan Kaynağa Göre Sınıflandırılması

2.1.1. Doğal Kaynaklı Elektromanyetik Yöntemler

Yer'in çevresinde doğal olarak bulunan elektromanyetik alanları kullanan yöntemlerdir. Aramalarda kullanılan tekniğe bağlı olarak Jeomanyetik Derin Sondaj, Manyetotelürük Sondaj ve Afmag Yöntemi olarak bilinirler.

Jeomanyetik Derin Sondaj Yöntemi

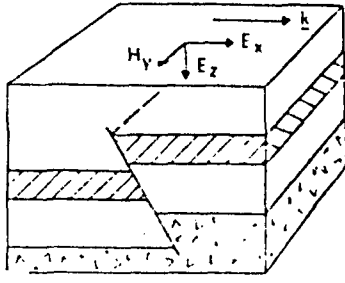
Jeomanyetik derin sondaj yöntemi (GDS), çok uzun dalga boylu jeomanyetik alan değişimlerini kullanır. Jeomanyetik derin sondajının amacı, daha çok yer kabuğu ve üst manto yapısının incelenmesidir.

Alçak frekanslı elektromanyetik dalgaların derinlere kadar nüfuz yeteneği, ikinci alanın yapısındaki bozulmaları meydana getiren öz direncin yatay ve düşey anomalileri tarafından kısıtlanır. Bu alanlar yeraltının jeotektonik yapısı hakkında bilgi elde etmek için uygun bir araç olarak kullanılabilir.

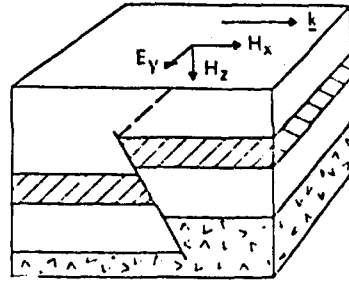
Kunetz (1975)'e göre jeomanyetik değişimlerin anormal davranışlarını yorumlamak her zaman mümkün değildir. Bu konu daha çok yer fiziği kapsamında incelenmektedir.

Manyetotelürük Sondaj Yöntemi

Yerin manyetik alanında birkaç asırdan fazla süren değişimlerden kilohertz mertebesine kadar çok geniş bir frekans aralığında yer alan olaylar gözlenir (Serson, 1973; Jacobs, 1970). Kaynağı manyetosfer ve iyonosfer içindeki yüklü parçacıkların titreşimleri olan bu değişimler ve sonlu bir dirence sahip yerküre katmanları içinde indüklenen elektrik akımları yerin "doğal elektromanyetik alanını" oluşturur. Manyetotelürük değerlendirmeler kaynakta oluşan bu doğal elektromanyetik dalgaların düşey yönde ilerleyen düzlem dalgalar olduğu kabulüne dayanır (Madden ve Nelson, 1964; Wait, 1962). Kuramsal ilkeleri ilk olarak Cagniard (1953) tarafından belirlenen Manyetotelürük yöntem ile yer kabuğu ve üst mantonun elektriksel öz direnç yapısı araştırılabilir. Elektromanyetik dalgaların "nüfuz derinliği" problemi dolayısı ile yüksek frekanslı manye-



a)



b)

Şekil 2.2. a) Elektrik alan bileşenlerinin jeolojik uzanıma dik olması durumu (E-dik polarizasyonu). b) Elektrik alan bileşenlerinin jeolojik uzanıma paralel olması durumu (E-paralel polarizasyon) (Crossley, 1981).

totelürük alan titreşimleri yer kabuğunun sığ, alçak frekanslılar yer kabuğunun daha derin bölgelerine ait bilgi vermektedir.

Doğal elektromanyetik alanın yeryüzünde birbirine dik doğrultularda ölçülen E_x , E_y elektrik ve H_x , H_y , H_z manyetik alan bileşenleri,

$$\rho_a = 0.2T \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 = 0.2T \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2 \quad (2.30)$$

bağntısında yerine konarak ortamın birbirine dik iki yönde ρ_a görünür öz direnci bulunabilir.

Çoğunlukla birçok jeofizik yöntemde yapıldığı gibi, yerin manyetotelürük tepkisine ait verilerde model veriler ile karşılaştırılarak değerlendirilir. Şekil 2.3 de, Trakya'da Kırklar-eli nin 3 km kadar güneyindeki TKH noktasında kuzey-güney ve doğu-batı yönünde frekansın fonksiyonu olarak ölçülmüş görünür öz direnç eğrileri verilmiştir (İlkışık, 1980). Birbirine dik olan manyetotelürük alan bileşenleri ($E_{x,y}$ ve $H_{y,x}$) farklı frekans aralıklarında kaydedilmiş ve Fourier spektrumlarının oranlarından bulunan görünür öz dirençler logaritmik ortamda ortalama alınarak çizilmiştir. Değerlerde gözlenen %20-25 civarındaki standart sapma manyetotelürük yöntem için normal bir düzeydir. Eğriler yüksek frekanslarda (sığ) düşük öz dirençli bir katmana, orta frekanslarda (orta derinlik-yer kabuğu) oldukça yüksek bir öz dirence ve alçak frekanslarda ise (yer kabuğunun tabanı-manto sınırı) iletken bir katmanın varlığına işaret etmektedir. Yönbağımlılık (anizotropi) katsayısı, görünür öz direncin hemen bütün frekanslarda doğu-batı yönünde daha

az olduğunu göstermektedir.

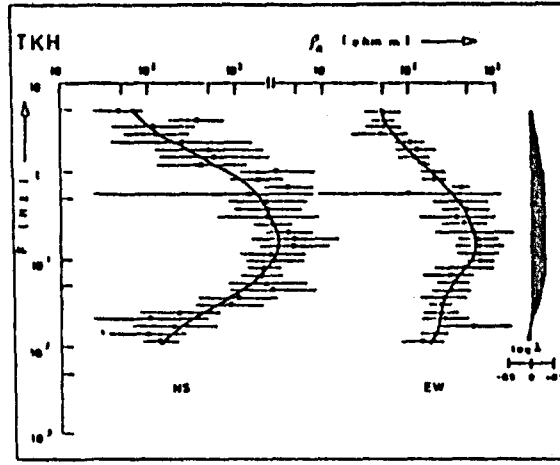
Afmağ Sondaj Yöntemi

İlk olarak Ward tarafından geliştirilmiş olan ve yüksek frekanslı (1-10000 Hz) doğal elektromanyetik alanları kullanan önemli bir "eğim açısı" yöntemidir. Afmağ yönteminde (İng.; Audio-Frequency Magnetics) elektromanyetik gürültüler verici olarak kullanılır. Bunlara "Sferikler" denir. Bunların kökeni atmosferdeki elektrik boşalmaları, yıldırımlar, şimşekler, iyonosfer ve manyetosferle ilgili olanlar v.b. dir. En iyi sonuç veren dalgalar 510 Hertz ve 150 Hertz frekanslı olanlarıdır. İyonesferin alt sınırı geceleri daha yüksek ve daha iyi yansıtıcı olduğundan gözlemlerin sabahları çok erken saatlerde yapılması uygun olur. Bu frekanslardaki doğal alanın enerji dağılımı gelişi güzeldir. Normal koşullarda yayılım elipsinin düzlemi yataydır. Yöresel kaynaklar ve düzgün bir yeraltı yapısından ayrılmalar bu elips düzlemini eğik duruma getirirler. Afmağ yönteminde de bu alan vektörünün eğim açısı ölçülür.

Afmağ alanları alıcıda sabit bir sinyal olarak görülür, ancak gerçekte peşpeşe oluşan enerji darbelerinin toplamı alınır. Şekil 2.4'de bir Afmağ ekipmanı ve azimut ile tilt'in ölçülmesi şematik olarak gösterilmektedir.

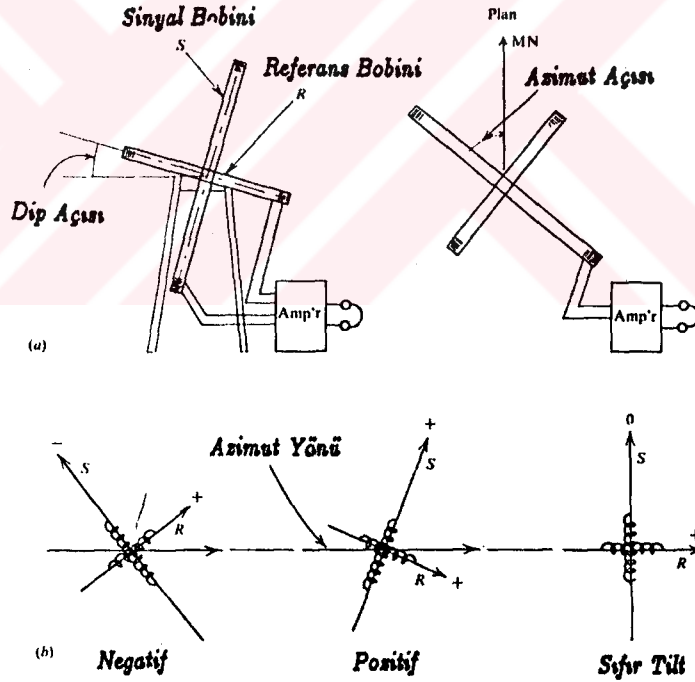
2.1.2. Yapay Kaynaklı Elektromanyetik Yöntemler

Zamanla değişen bir elektromanyetik alan elde edebilmek için, yeryüzünde iki ucu topraklanmış bir tel veya bir bobinden zamanla değişen bir akım geçirmek yeterlidir. Böylece oluşturulan bir alanın şiddeti ya da doğrultusu herhangi bir noktada ölçülebilir. Eğer ortamda herhangi bir iletken madde bulunuyorsa bu birincil manyetik alana dik doğrultuda kapalı halkalar biçiminde akacak olan indüksiyon veya girdap (eddy) akımları meydana gelir. Bu girdap akımları, kendi manyetik alanlarını üretirler ve sonuç olarak ortamdaki herhangi bir noktada toplam manyetik alan birincil veya normal alan ile iletkenler içerisinde indüklenmiş girdap akımları dolayısıyla ikincil veya



TKH-AB (Ölçü derinliği) (m)	TKH NS (Ölçü derinliği) (m)	TKH EW (Ölçü derinliği) (m)
100	1	40
1000	20	1000
10000	100	10000
1	1	1
20	10	10

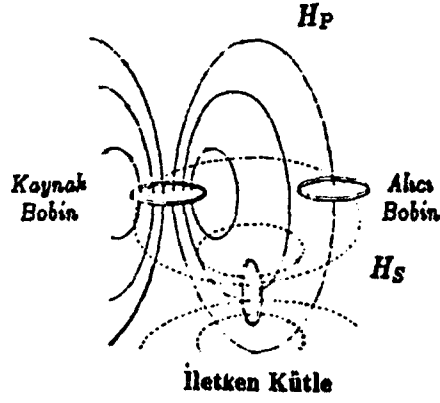
Şekil 2.3. Trakya'da TKH noktasında MT yöntemiyle ölçülen görünür öz direnç eğrileri. İçi boş daireler KG; içi dolu daireler DB yönünde ölçülmüş veriler, λ yönbağımlılık katsayısı olup çizgiler standart sapmaları gösterir (İlkışık, 1980 den).



Şekil 2.4. Afmag sistemi. a) Afmag ekipmanı ve azimut'un ölçülmesi b) tilt'in ölçülmesi.

bozucu alan akımlarının bileşkesinden oluşacaktır.

Birincil alan vektörü ile ikincil alan vektörü genellikle farklı doğrultulardadır. Ayrıca zamanla değişen birincil alan



Şekil 2.5. İndüklenmiş elektromanyetik alanların oluşumu.
 H_p , Birincil manyetik alan; H_s , ikincil manyetik alan.

ile ikincil alan arasında da faz farkı vardır.

Yeryüzünde ölçülecek olan toplam manyetik alan, birincil alan vektörü ile ikincil alan vektörünün bileşkesi olan bir vektördür. Genelde birincil alan ile ikincil alanın genlikleri ve fazları birbirinden farklı olacağından bileşke vektörün ucu boşlukta bir elips çizecektir. Buna "Polarizasyon elipsi (veya kutuplaşma elipsi)" denir.

Eğer birincil alan geçici ise, ikincil akımlar ve ikisinin bileşke alanı da giderek sönecektir. İçinden akım geçen ortamın iletkenliği artıkça sönme hızlanır.

Genelde problem oldukça karmaşıktır ve çözümler başlangıçta küre, yarı sonsuz yer, silindir, yatay ve düşey katmanlar ve iletkenliği yalnızca derinliğin fonksiyonu olan yer şeklinde basit modellerle sınırlanmıştır. Yakın zamanda küresel veya tabakalı yer katmanı kabuklarla çevrili küre şeklinde daha karmaşık modeller kullanılarak araştırmalarda bazı yeni ilerlemeler kaydedilmiştir.

Yakın ve Uzak Alanlar

Örneğin, tekdüze, yönbağımsız öz direnci ρ , dielektrik sabiti ϵ , manyetik geçirgenliği μ olan bir ortamda, açısal frekansı $\omega = 2\pi f$, zamanla değişen akımı $J_0 \exp(-i\omega t)$ olan küçük dairesel bobin şeklinde bir dipol elektromanyetik dalga kaynağı ele alınsın. Ortamın herhangi bir noktasında salınan manyetik alanın (H), bu nokta ile kaynak dipolü birleştiren doğrultusu

boyunca H_r ve buna dik H_θ bileşenleri aşağıdaki gibi verilir,

$$H_r = AJ_0 / 2\pi r^3 (1 - ikr) e^{-i(\omega t - kr)} \cos\theta \quad (2.31)$$

$$H_\theta = AJ_0 / 4\pi r^3 (1 - ikr - kr^2) e^{-i(\omega t - kr)} \sin\theta \quad (2.32)$$

Burada, dipolden olan uzaklık r , dipol eksenini ile birleştirici çizgi arasındaki açı θ dir ve dalga sayısı

$$k = (\omega^2 \epsilon \mu + i \omega \mu \rho)^{1/2} = a + ib \quad (2.33)$$

olup, kaynak dan uzaklara gidildikçe bazı terimler diğerleri yanında ihmal edilebilecek düzeye iner ve denklemlerin oldukça basit bir şekle girmesini sağlarlar. Bu alıcının kaynaktan olan uzaklığı dalga boyundan (λ) çok büyük olduğu durumlar ($r > 6\lambda$) "uzak alan", $r < 0.6\lambda$ olduğu durumlar "yakın alan" ve $0.6 < r/\lambda < 6$ olduğu durum ise "orta alan" olarak kabul edilir.

Yakın alan veya indüklenme bölgesi adı verilen küçük uzaklıklarda ($|k| \ll 1$), H 'nin genliği $\exp(-br)/r^3$ biçiminde, uzak alan veya yayılım bölgesi adı verilen büyük uzaklıklarda ise ($|k| \gg 1$) H 'nin genliği $\exp(-br)/r$ şeklinde de değişecektir. Alan yapısı, ara bölgede daha karmaşık bir durumdadır. Doğal olarak bu çeşit bölgeler arasında hiçbir kesin sınır yoktur. Fakat yakın alan bölgesi için pratikte sınır olarak $|k| \approx r$ şeklinde tanımlanır.

Genlik ve Faz Bağıntıları

İkincil manyetik alanın davranış biçimi en iyi, zamanla değişen akım devreleri arasındaki karşılıklı etkileşim göz önüne alınarak açıklanabilir. İndüktans, direnç ve ihmal edilebilir kapasitansalara sahip bir bobin üçlüsünün var olduğunu kabul edelim (Şekil 2.6). Birincisi birincil kaynak, ikincisi iletken ve üçüncüsü alıcı olsun. Birinci bobin içinden bir J_p akımının akması sonucu iletkene 2. bobine yakın bir noktadaki birincil EM alan,

$$H_p = K_p J_p \sin\omega t \quad (2.34)$$

bağıntısı ile verilir. Burada K , sistemin geometrisine, birincil bobinin sarım sayısı ile alanına ve dalganın zayıflamasına bağlı bir büyüklüktür.

Bu alanın bir sonucu olarak 2. bobin, birincil alandan $\pi/2$

kadar gecikmesi olan bir indüklem e.m.k.'ya sahip olur. Bu,

$$e_s = -M(dJ_p / dt) = -j\omega M H_p / K \quad (2.35)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada M, (1) ve (2) bobinleri arasındaki karşılıklı indüktaanstır. Bu durumda ikinci bobin içindeki akım akışı,

$$J_s = e_s / Z_s = e_s / (r_s + j\omega L_s) \quad (2.36)$$

olacaktır ve burada $Z_s = (\rho_s + j\omega L_s)$, ρ_s dirence ve L_s indüktaanslı iletkenin etkin empedansıdır. Bu akımın sonucu olarak alıcı yakınındaki 3.bobin de ikincil alan,

$$J_s = (-K' M H_p (Q^2 + jQ) / K L_s (1 + Q^2)) \quad (2.37)$$

olur. Burada indükleme özelliği olan $Q = \omega L_s / r_s$ ve K' , K 'ya benzer bir sabittir.

Alıcı bobindeki birincil alan,

$$H'_p = K'' J_p \sin \omega t = K'' H_p / K \quad (2.38)$$

olacaktır ve burada K'' , K ve K' nün benzeridir. Sonuçta, alıcıdaki alanların oranı,

$$|H_s / H'_p| = K' M / K'' L_s \cdot 1 / (1 + 1/Q^2)^{1/2} \quad (2.39)$$

ve birincil alan ile ikincil alan arasındaki faz farkı

$$\phi_p - \phi_s = (\pi/2 + \tan^{-1} \omega L_s / \rho_s) = (\pi/2 + \phi) \quad (2.40)$$

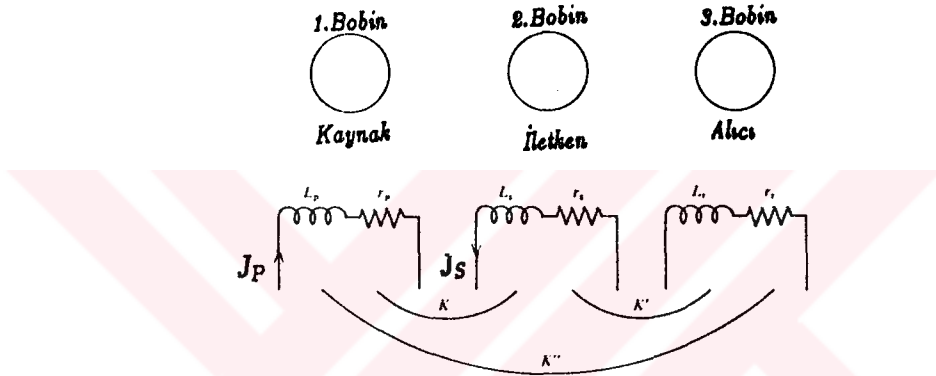
olup burada $\tan \phi = \omega L_s / r_s$ dir. Fazdaki $\pi/2$ lik gecikme 1. ve 2.bobinler arasındaki indüktif etkilenme nedeniyledir. Ek faz gecikmesi ϕ ise, bir elektrik devresindeki gibi, iletkenin özellikleriyle ilişkilidir.

$$H_s = -K' J_s \cos (\omega t - \phi) \quad (2.41)$$

Faz değişimi Şekil 2.7'de gösterilen çizim ile açıklanabilir. Burada H_p ve H_s nin bileşkesi H_r dir. Bu çizim ve (2.36) denkleminde, çok iyi bir iletken için $\omega L_s / r_s \rightarrow \infty$ ve $\phi \rightarrow \pi/2$ olduğu görülebilir. Bu halde, ikincil alanın fazı uygulamada birincil alanın 180° (π) gerisindedir. Çok kötü bir iletken için $\omega L_s / r_s \rightarrow 0$ ve $\phi \rightarrow 0$ olduğu görülebilir. Bu halde de, ikincil alan birincil alanın 90° ($\pi/2$) gerisindedir. EM de, H_s nin 180° faz bileşenine gerçel bileşen, H_s nin 90° faz bileşenine sanal bileşen denir.

Eliptik Polarizasyon

Bir EM alan sisteminde alıcı, genellikle ince telden çok sarımlı küçük bir bobin olup, ortamda birincil alanın bulunması halinde bir yeraltı iletkeni tarafından oluşturulan ikincil alanı ölçer. Ölçü alınırken ölçünün yeri ve zamanı içinden birincil alanı yok etmek mümkün değildir. Bunun sonucu olarak, iletken bulunduğu alını sinyal, birincil alan ile bir veya daha çok ikincil alanların bileşkesi olacaktır. Sonuçta ortamda eliptik polarizeli bir manyetik alan vardır. Daha önce verdiklerimizden



Şekil 2.6. Elektromanyetik bir sistem için elektrik-devre benzeşimi.

$$H_p = A \sin \omega t \quad \text{ve} \quad H_s = B \cos (\omega t - \phi) \quad (2.42)$$

yazılabilir. Burada A ve B, verici, iletken ve alıcı geometrisinin fonksiyonlarıdır.

$$\begin{aligned} \cos (\omega t - \phi) &= \cos \omega t \cos \phi + \sin \omega t \sin \phi \\ &= ((1 - H_p^2 / A^2) \cos \phi)^{1/2} + H_p \sin \phi / A = H_s / B \end{aligned}$$

olduğu için

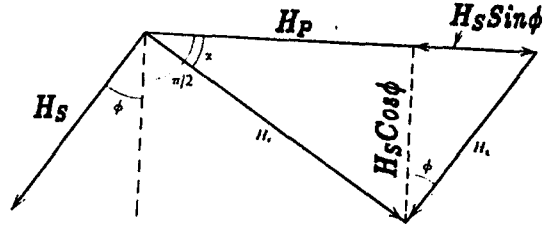
$$H_p^2 / A^2 \cos^2 \phi + H_s^2 / B^2 \cos^2 \phi - 2 H_p H_s \sin \phi / AB \cos^2 \phi = 1 \quad (2.43)$$

elde edilir. Bu denklem,

$$L Z^2 - 2 M x Z + N x^2 = 1$$

şeklindedir ve bir elips denklemdir. Bu denklemi elde ederken iki basitleştirici kabul yaptık. Bunlardan birincisi, H_p ve H_s nin boşlukta birbirine dik olduğudur. İkinci kabul ise, H_s nin yalnızca bir iletken içindeki akım nedeniyle oluştuğudur.

Sonuç olarak, alanların üst üste gelmesi, bileşke vektörü,



Şekil 2.7. H_s ile H_p arasındaki faz farkını gösteren vektör diyagramı.

boşlukta sürekli genlik değişimiyle dönen ve eliptik polarize-
li bir alan meydana getirir (H_p ve H_s sırasıyla $\omega t = n\pi$ ve $(2n + 1)\pi/2$ de sıfır olur). Vektörün ucu bir elips çizer. (2.43) denkleminin oldukça önemli olan iki özel hali vardır.

1) $\phi = \pi/2$ ise (2.43) denklemi

$$(H_p/A - H_s/B) = 0 \quad \text{veya} \quad BH_p - AH_s = 0$$

haline gelir ve bu bir $+B/A$ eğimine sahip, koordinatların merkezinden geçen doğrudur.

$$\phi = \tan^{-1} \omega L_s / \rho_s = \pi/2 \quad \text{veya} \quad \tan \phi = \infty, \rho_s = 0$$

olduğu için bu durum çok iyi bir iletken karşılık gelir. Polarizasyon elipsi düz bir çizgi içine yığılır.

2) $\phi = 0$ ise (2.43) denklemi

$$H_p^2/A^2 + H_s^2/B^2 = 1$$

şeklinde basitleşir ve bu da $\phi = 0$ olduğunda $\rho_s \gg \omega L_s$ olduğu için kötü bir iletken karşılık gelir. H_p ile H_s nin bileşimi dairesel polarizasyon oluşturur.

Burada $Q = \omega L_s / \rho_s$ iletkenin tepki parametresi olarak bilinmektedir ve $(Q^2 + jQ)/(1 + Q^2)$ karmaşık oranı tepki fonksiyonu olarak adlandırılır.

Q 'ya karşı tepki fonksiyonu çizilerek, fonksiyonun gerçel ve sanal kısımlarından meydana gelen iki eğri elde edilir.

gerçel (180°)

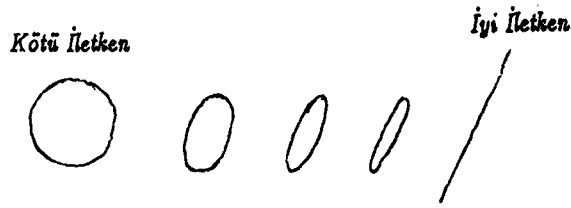
$$A = Q^2/(1 + Q^2)$$

sanal (90°)

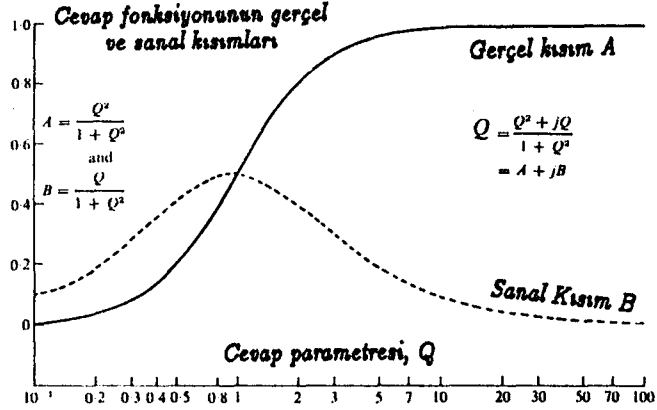
$$B = Q/(1 + Q^2)$$

burada A ve B gerçel dir.

Şöyle bir genelleme de yapılabilir, kötü iletken durumunda tepki fonksiyonunda sanal bileşen, iyi iletken durumunda ise tepki fonksiyonunda gerçel bileşen hakim durumdadır, başka bir



Şekil 2.8. Kötü ve iyi iletken durumlarında polarizasyon elipsinin biçimi.



Şekil 2.9. Zamanla değişen akım alanında bir iletken için tepki fonksiyonu.

deyişle, iyi bir iletken, büyük gerçel fakat küçük sanal bileşen ortaya çıkarır. Halbuki kötü bir iletken ise oldukça büyük sanal, fakat küçük gerçel bileşen ortaya çıkarır. İletken orta öz dirence sahipse, her iki bileşen oldukça büyüktür. Nicel olarak büyüklüklerin oranı (gerçel/sanal) sık kullanılır ve iyi iletken için 1'den büyük, kötü iletken için 1'den küçüktür.

Q çok küçük olduğunda, fonksiyonun gerçel ve sanal kısımlarının her ikisinde çok küçüktür.

Uzak Alan Yöntemleri

Uzak alan, kaynaktan birkaç dalga boyu uzaklıkta kendini gösterir. Uzak alan yöntemlerinden ilki CSAMT (Kontrollü Kaynaklı Yüksek Frekanslı Manyetototelik) dir. Düzlem dalga kaynakları ve 10 Hz'den alçak frekansların kullanılması nedeniyle, bu yöntem geleneksel elektromanyetik araştırma yöntemlerinden daha iyi nüfuz derinliğine sahiptir.

Alıcı sistem kaynaktan çok uzakta ise (en az üç nüfuz derinliği), o zaman kaynak bir düzlem dalga olarak

düşünülebilir ve AMT için kullanılan bütün tekniklerin analizi ve yorumu kullanılabilir. Her ne kadar alan lojistik olarak çok fazla kullanışsız ve pahalı ise de, verinin kalitesine dayanan avantaj oldukça fazladır.

Goldstein ve Strangway (1975)'in çalışmalarından görülmüştür ki, CSAMT yaklaşımı oldukça doğru öz direnç ölçümleri verebilmektedir.

Uzak alan yöntemlerinden ikincisi ise VLF yöntemidir. Farklı ülkelerde kurulu güçlü radyo vericileri, 15-30 kHz bandında askeri iletişim amacıyla sürekli veya mors kodu kullanarak modüle edilmemiş taşıyıcı dalgalar yayarlar.

Radyo teknolojisinde bu frekanslar, çok alçak frekanslar olarak (VLF) bilinirler. Ancak, burada radyo teknolojisi için çok alçak olan frekanslar, jeofizik bilimi için yüksek frekanslara karşılık gelir. Bu yöntem çalışmamızın konusunu teşkil etmektedir.

2.2. Elektromanyetik Yöntemlerin Ölçülen Parametre Cinsine Göre Sınıflandırılması

2.2.1. Eğim açısını ölçme yöntemleri

Eğim açısı teknikleri ikiye ayrılır. Birincisi "tilt açısı" ve ikincisi "dip açısı" yöntemidir. Burada ikisi arasındaki fark, "dip" eliptik polarizasyon düzleminin, "tilt", elipsin büyük ekseninin yatayla yapmış olduğu açıdır. Bu yöntemlerin tümünde önce bobin alıcının bulunduğu noktada bileşke alanın, yani polarizasyon elipsinin uzun eksenin doğrultusu ölçülür. Bu yöntemlerin tümünde alıcı bobin alan bileşkesinin doğrultusundaki konuma getirilince, bunun yatay düzlem ile yaptığı açı ölçülür. Bunlarda Sabit Verici Düşey Bobin, Paralel Profil Yöntemi, Karşılıklı Ölçme Yöntemi ve VLF Yöntemi olarak dörde ayrılır.

2.2.2. Şiddet Ölçümleri

Bilinen manyetik alanın (birincil alanın) bir iletken tarafından bozulmaya uğratılması prensip olarak birkaç yerde

alan şiddetini ölçmek suretiyle basit bir şekilde saptanabilir. Uygulamada çoğu kez bu çeşit ölçü elverişli değildir. Zira birincil alan şiddeti konuma göre çok hızlı bir şekilde değişir. Ayrıca alıcı ve vericinin bağlı durumlarındaki küçük bir hata bile alan şiddeti ölçümünden ayırt edilemeyen bir değişmeye neden olabilir. Fakat alıcı ile verici arasındaki uzaklığı sabit olarak tutabilen bir çeşit bağıntıyla bu problemin üstesinden gelinebilir.

2.2.3. Şiddet Bileşenlerini Ölçme Yöntemleri

Elektromanyetik indüksiyon teorisinden bilindiği gibi, anomali manyetik alanı birincil alanla farklı fazdadır. İki alan arasındaki faz farkının jeofizik değerlendirmede birinci derecede önemi vardır. Zira anomali zonunun ortalama iletkenliği hakkında bilgi verilmektedir. Bunun sonucu olarak arazi aletlerinin birçoğu faz kıyaslaması yapabilecek şekilde düzenlenmiştir. Faz ölçülmesi birincil alanı ayırabilmek için de ayrıca bir avantaja sahiptir. Bu tip ölçüler sadece, alıcı ile verici arasında mekanik bağlantı bulunursa yapılabilmektedir. Bu ise Yatay Halka (Loop) ve Uzun Tel (Kablo) Oran Bulma Yöntemi olarak iki'ye ayrılır.

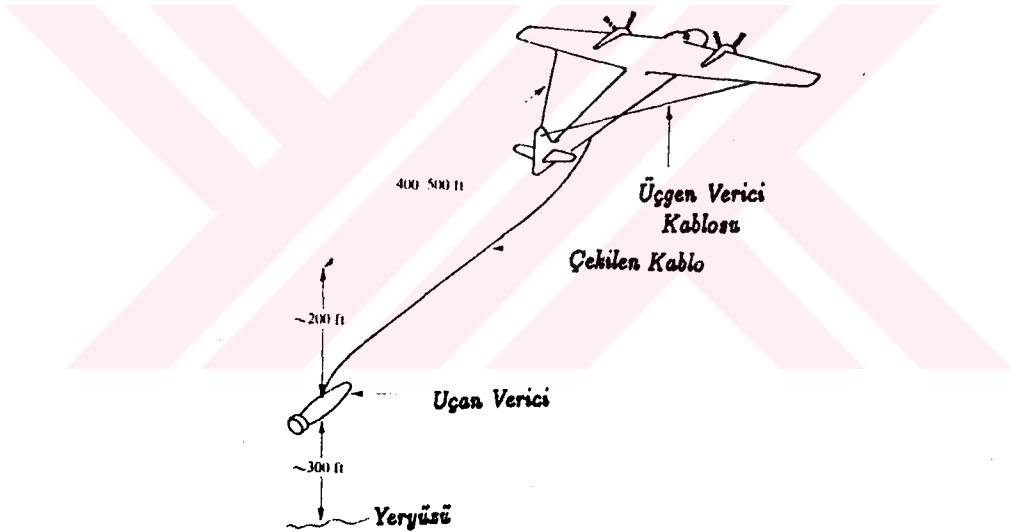
2.3. Elektromanyetik Yöntemlerin Uygulama Şekillerine Göre Sınıflandırılması

Elektromanyetik yöntemler çeşitli biçimlerde uygulanabilir. Bu amaç için çok çeşitli gereçler yapılmıştır. Bu yöntem önce uygulanışı bakımından Yeryüzünde Uygulanan Yöntemler ve Uçak yada Helikopterle Uygulanan Yöntemler olarak ikiye ayrılabilir. Havadan elektromanyetik yöntemler, hareketli alıcı-verici yöntemlerinin havadan yapılan şeklidir. Bunun yanında ayrı ayrı noktalarda ölçü alınmaması yani sürekli kayıt zorunluluğu en büyük farkıdır. Havadan elektromanyetik yöntemlerin kullanılan uçak cinsine, normal uçuş yüksekliğine, frekanslara, bobin aralığı ve tertiplerine göre pek çok çeşidi vardır.

Havadan elektromanyetik arama sistemleri, yerin üst kısım-

larında bulunan ve iyi iletken olan cisimlerin kısa bir sürede aranıp bulunması için kullanılır. Bu iletken cisimler toplu durumda bulunan sülfürlü mineraller olabileceği gibi grafitli şistler, karbonlu sedimenlar, faylar ve çatlak zonlar, bataklıklar v.b. olabilir.

Bütün kullanılmakta olan sistemlerin çoğu, iki bobin arasında karşılıklı empedansı ölçer. Yakınlarda bulunan iletken cisimler bu empedansı etkilerler. Verici bobindeki akım J ve alıcı bobinde bu akımdan oluşan voltaj E ise E / J oranına bobinlerin "karşılıklı empedansı" denir. Yakınlarda iletken bir cisim varsa, alıcı bobinde bir de bu cismin etkisi sonucunda E_c voltajı oluşur ve böylece alıcıdaki voltaj $E + E_c$ ve karşılıklı empedans $(E + E_c) / J$ olur.



Şekil 2.10. Havadan EM-Sistemi.

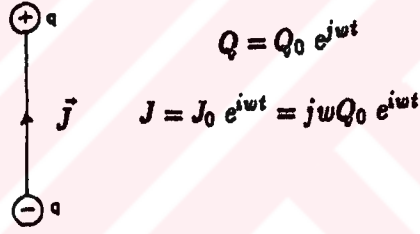
Çizelge 1.1 Havadan Elektromanyetik Yöntemlerin Sınıflandırılması.

HAVADAN ELEKTROMANYETİK YÖNTEMLER				
Aynı Yükseklikte Uçan Bobinler			Farklı Yükseklikte Uçan Bobinler	
Sabit Aralıklı			Faz Ölçümü	
Düsey Ortak düz-lemli (co-planar) bobinler	Düsey ortak ek-senli (co-axial) bobinler	Rotary alan	Tek Fre-kans	Çift Fre-kans

III. VLF YÖNTEMİ

3.1. VLF Birincil Alanı

VLF (Ing.; Very Low Frequency) frekanslarında yayın için kurulan verici antenler, çok sayıda kule, büyük metal kanopiler ve yer düzlemleri ile karmaşık yapılardır. Kuleler, genellikle 200-300 m yükseklikte olur. Anten boyunca akımların düzgün dağıldığı düşünülür. Tel ağın üzerinde yer aldığı iletken yer düzlemi, bir yansıtıcı gibi davranır ve yayının gücünü artırır. Elektrik dipol yükler eşit şiddetli, zıt işaretli olup serbest yüzeyde periyodik olarak değişen düzgün akımlar oluştur (Şekil 3.1).



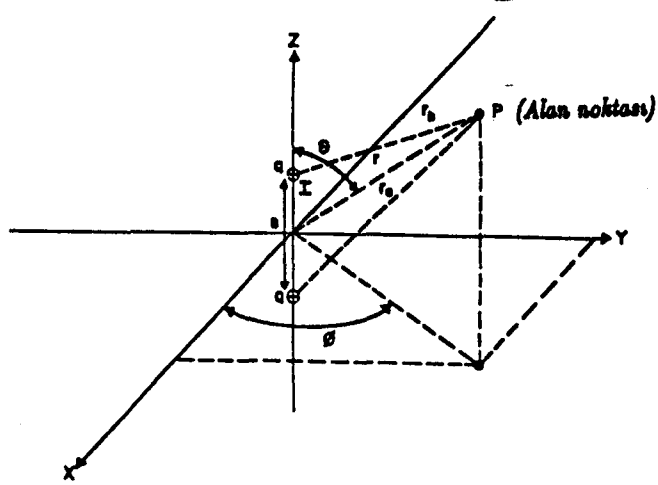
Şekil 3.1. Elektrik Dipol.

V ve A Skalar ve vektörel potansiyeller olup \mathbf{E} ve \mathbf{H} alanları ise bunlardan türetilebilir. Şekil 3.2'de verilen küresel koordinat sisteminde salınan yüklerin skalar potansiyeli, direkt olarak,

$$V = \frac{q_0 \exp j\omega(t-r_b/c)}{4\pi\epsilon_0 r_b} - \frac{q_0 \exp j\omega(t-r_a/c)}{4\pi\epsilon_0 r_a} \quad (3.1)$$

Pozitif yükün potansiyeli Negatif yükün potansiyeli

bulunur. Bu bağıntıda ϵ_0 ve μ_0 sırasıyla boşluğun dielektrik sabiti ve manyetik geçirgenlik katsayısıdır.



Şekil 3.2. Küresel koordinatlar.

(3.1) formülünde $1/r$ tepkisi görülmektedir. r_0 ve r_s uzaklıkları, verilen noktanın, dipolün en üst ve en altındaki yüklerden uzaklıklarıdır.

Bazı işlemlerden sonra potansiyel bağıntısı

$$V = \frac{\beta_0 \exp[j\omega(t-r/c)]}{4\pi\epsilon_0 L} (L/r+j) \cos \theta \quad (3.2)$$

bulunur; burada c yayılım bilgisinin sınırlı zamanı nedeniyle zaman gecikmesi, $\beta_0 = q_0 s$ ve $L = \lambda/2\pi$ dir.

(3.2) formülü, bir VLF antenin üreteceği elektromanyetik alanı tanımlar. \underline{A} Vektör potansiyeli ise küresel koordinatlar-
da

$$\underline{A} = \frac{\mu_0 J_0 s}{4\pi r} \exp[j\omega(t-r/c)] (\cos \theta \underline{r} - \sin \theta \underline{\theta}) \quad (3.3)$$

yazılır, burada J_0 akım s ise z -ekseni boyuncaki yöndür. \underline{H} ve \underline{E} alanları ise

$$\underline{H} = 1/\mu_0 \nabla \times \underline{A}$$

ve

$$\underline{E} = -\nabla V - \partial \underline{A} / \partial t$$

bağıntılarından gerekli işlemler yapılarak

$$\underline{H} = \frac{J_0 s}{4\pi r L} (\exp[j\omega(t-r/c)]) (L/r+j) \sin \theta \underline{\phi} \quad (3.4)$$

ve \underline{E} için

$$\underline{E} = \frac{\rho_0}{4\pi\epsilon_0 r L^2} [\exp j\omega(t-r/c)] (2(L^2/r^2 + j\lambda/r) \cos\theta + \frac{r + (\lambda^2/r^2 + j\lambda/r - 1) \sin^2\theta}{L/r - 1}) \quad (3.5)$$

bulunur.

3.4 ve 3.5 bağıntıları elektrik bir dipolün üreteceği \underline{H} ve \underline{E} alanlarını verir. \underline{H} ve \underline{E} vektörleri merkezi dipol olan yaklaşık simit biçimli yüzeylere teğettir. Dipoller salınırken peşpeşe gelen simit biçimli yük salınımları antenden dışarıya doğru yayınırlar (Şekil 3.3).

Elektrik alan $1/r^3$ 'e bağlı iki, $1/r^2$ 'ye bağlı iki ve $1/r$ 'ye bağlı bir olmak üzere beş terimden meydana gelir. Eğer kaynak alanın dalga boyu λ , ölçü noktası uzaklığı r , ölçü dizilimi d ise alan genliğinin uzaklıkla değişimi açısından üç bölge vardır, bunlar;

$d \ll r \ll \lambda$	için	- yakın (statik) bölge	$(1/r^3)$
$d \ll r = \lambda$	için	- orta (indüksiyon) bölge	$(1/r^2)$
$d \ll \lambda \ll r$	için	- uzak (radyasyon) bölge	$(1/r)$

olarak bilinir.

VLF ölçümleri, $\lambda \ll r$ olan uzak bölgede $1/r$ alınır. Bu durumda ise \underline{H} ve \underline{E} alanları basit bir şekilde şöyle tarif edilebilir,

$$\underline{H} = - \frac{c\rho_0}{4\pi r L^2} \exp [j\omega t \underline{\phi}] \quad (3.6)$$

ve

$$\underline{E} = - \frac{\rho_0}{4\pi\epsilon_0 r \lambda} \exp [j\omega t \underline{\theta}] \quad (3.7)$$

bağıntıları, \underline{H} ve \underline{E} 'nin belirttiği düzleme dik olarak yayılan bir elektromanyetik dalgayı tanımlamaktadır. Burada yerdeğiştirme akımı etkileri kaldırılmış olup yer yüzeyindeki $\sin\theta = 1$ dir. Dikkate değer olan şudur ki, manyetik ve elektrik alanlar aynı fazdadır. Bu birçok elektromanyetik çözüme tersdir. VLF ölçümleri ancak yakın bölgede alınır ise manyetik ve elektrik alanlar 90° faz farkı gösterir.

VLF dalgası değişik yollar ile bir noktaya ulaşabilir. Ölçü noktalarında anten yönüne dik bir \underline{H} alanı vardır. Ancak, \underline{E} alanı, bu doğrultuya hem paralel ve hem de dik bileşenlere sahiptir. Şekil 3.4.a, yeryüzü üzerinde bu θ ile verilen bir açıda eğik bir düzlem elektromanyetik dalga olayını gösterir. Şekil 3.4.b ise bir VLF dalgasının izlediği yolları göstermektedir.

Bir iletken sınırdaki, elektromanyetik dalga olayının çözümü, karmaşık bir problemdir. Çözümde öncelikle, yer'in hava'dan çok daha iletken olduğu varsayılır, böylece yalnızca bir dik \underline{E} alanı ve teğetsel \underline{H} alanına izin verilir. Bu alanlar daha sonra Maxwell denklemleri ile çözülür.

$$\underline{E}_c = \frac{1}{\sigma} \underline{K} \times \frac{\partial \underline{H}_c}{\partial z}$$

$$\underline{H}_c = \frac{1}{j\omega\mu_0} \underline{K} \times \frac{\partial \underline{E}_c}{\partial z}$$

Burada doğrusal, yönbağımsız, tekdüze bir ortam varsayılarak, iletkende yerdeğiştirme akımları ihmal edilmektedir. Bu iki denklemden,

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} (\underline{K} \times \underline{H}_c) + j\omega\mu_0\sigma(\underline{K} \times \underline{H}_c) = 0$$

olur. $z=0$ için \underline{H}_c bir yöne sahiptir ve bu durumda (3.6) denklemi yeniden düzenlenecek olursa,

$$\underline{H} = H_0 e^{z/\delta} \cos(\omega t + z/\delta) \underline{i} \quad (3.8)$$

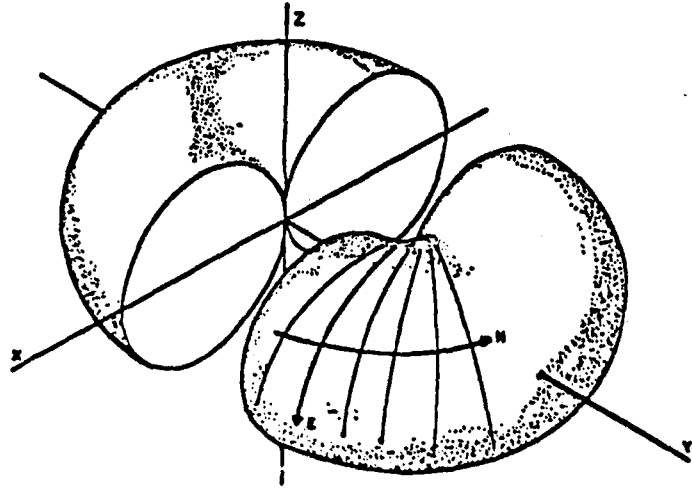
olup burada

$$H_0 = \frac{c\rho_0}{4\pi L r}$$

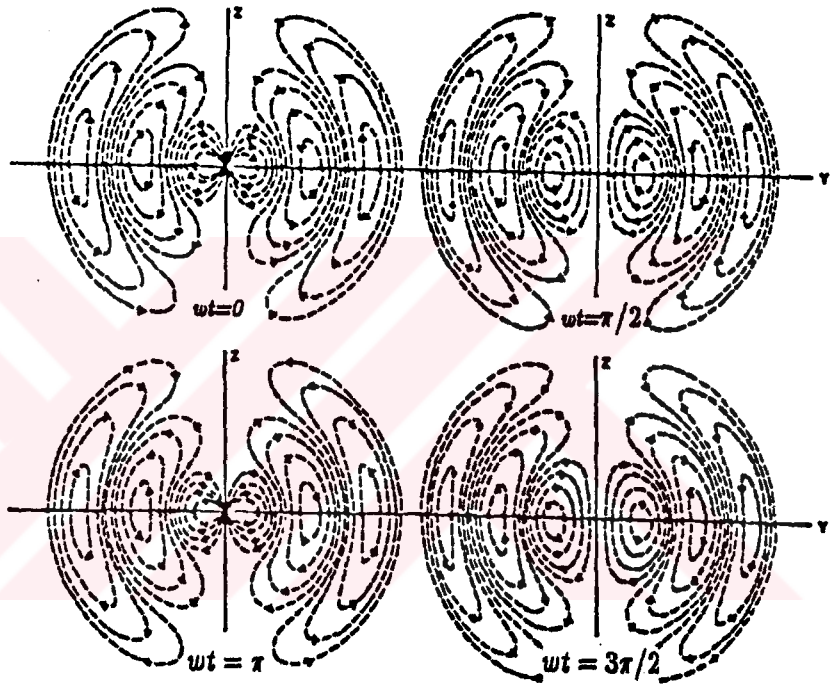
ve

$$\delta = \left(\frac{2\rho}{\omega\mu_0} \right)^{1/2}$$

nüfuz derinliği (İng.; skin depth) dir. \underline{E} alanı ise, \underline{H} denkleminin rotasyonelinden elde edilir.



MANYETİK-ELEKTRİK ALAN YÜZEYLERİ



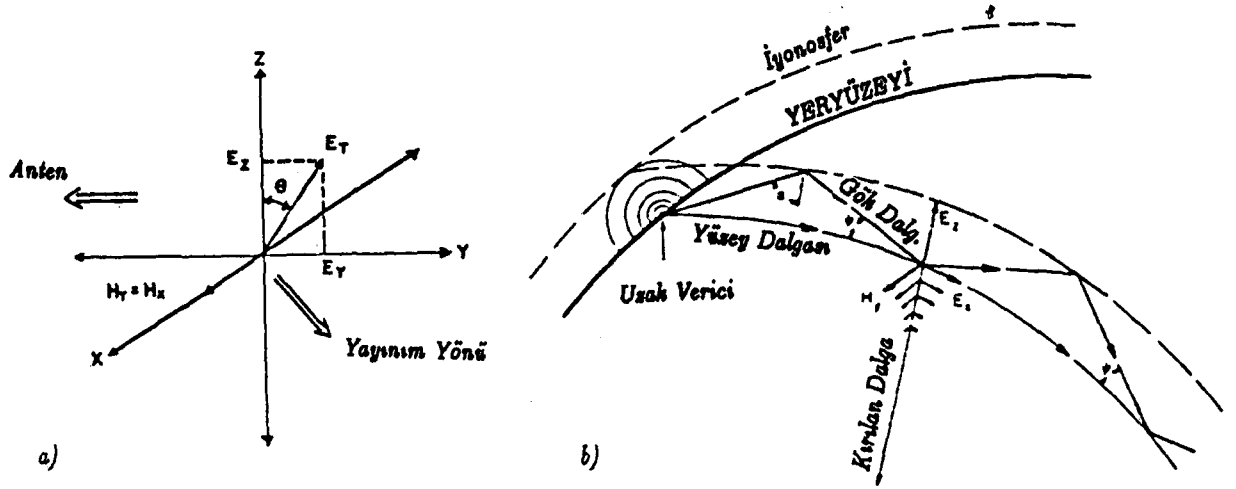
Z-Y DÜZLEMİNDE ELEKTRİK ALAN

Şekil 3.3. VLF anten alanı uzay modelleri (Lorrain and Corson, 1970).

$$\underline{E} = (\omega \mu_0 \rho)^{1/2} H_0 e^{z/\delta} \cos(\omega t + z/\delta + \pi/4) \underline{j} \quad (3.9)$$

3.8 ve 3.9 denklemleri incelenirse şunlar gözlenir.

- elektromanyetik dalga geliş açısı ne olursa olsun yer içinde dikey olarak yayınır.
- hem \underline{H} ve hemde \underline{E} alanları ρ ve F' 'ye bağlı olarak üstel olarak söner.
- \underline{E} alanı \underline{H} alanının $\pi/4$ radyan veya 45 derece ilerisindedir.



Şekil 3.4. a) Yeryüzünde bir ölçüm noktasında VLF dalga olayı. b) VLF dalga yolları (Arcone, 1979).

3.2. VLF Anomalileri

Çoğu anomali, birincil VLF alanına yerdeki iletken yapının bir tepkisidir. Uzak alan bölgesinde alanın birbirine dik \underline{H} ve \underline{E} bileşenlerini manyetotelürük yöntemle benzer olarak değerlendirirsek ortamın görünür öz direnç ve fazı

$$\rho_g = \frac{1}{\omega \mu_0} \left| \frac{E_y}{H_y} \right|^2 \quad (3.10)$$

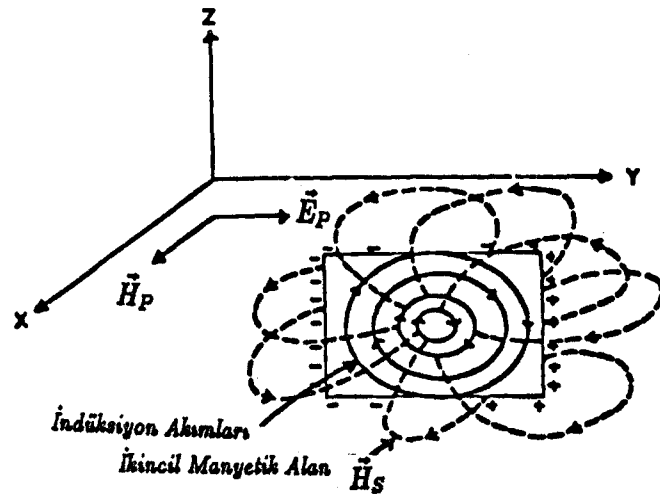
$\phi_a = \pi/4 + (\phi_E - \phi_H)$ bağıntısı ile verilir. İletkenlik dağılımı düzgün olmayan yer üzerinde faz 45° 'den farklı olacaktır. Anomaliyi oluşturan akımlar Girdap ve Galvanik akım olarak iki ana türdedir. Girdap akımlarında yere nüfuz eden bir VLF alanı içinde bir iletken cisim düşünülür. Burada, bu cisim kuşatan kayanın bir hayli öz dirençli olduğu varsayılır. VLF elektrik alanı, cismin yüzeyinde biçimlenen ve salınan yüklere sebep olur. Bu akımlar cisimden kurtulamaz ve iletken yüzeyinde dolaşır, böylece birincil manyetik alana ek ikincil bir manyetik alan oluşturur. İşte anomaliye neden olan bu ikincil alandır. Şekil 3.5, akım akışı veya indüksiyonu tanımlamaktadır.

Girdap akımları ile ilişkilendirilen ikincil manyetik alan ise iletken cismin geometrisi ve elektriksel özellikleri açısından çok belirleyicidir. Akımlar, iletkenin dışındaki elektrik alanlardan bağımsızdırlar.

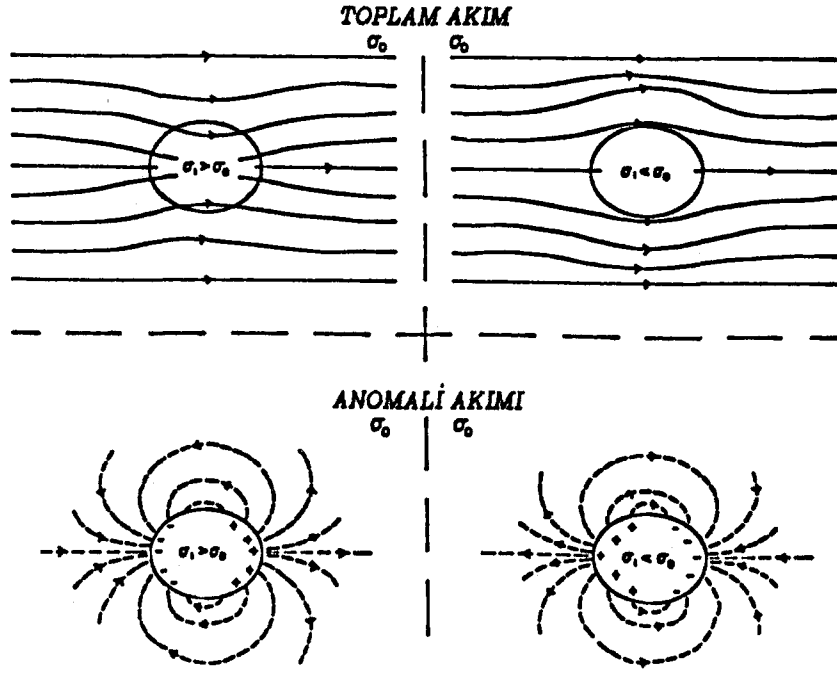
Akımların ikinci grubu, galvanik akımlar olarak verilir. Burada yer'e nüfuz eden bir VLF dalgası düşünülür. Yeryüzünde dalgayla ilişkili bir elektrik alan olacaktır. Bu akımların genliği, dalganın frekansına ve yer'in iletkenliği gibi diğer şeylere bağlıdır. Elektrik alan ile sürüklenen akımlar, yeryüzüne paralel büyük tabakalar halinde akacaktır. Gayet tabii, bunlar gerçekte, dalganın frekansında salınır.

Bu akımlar iletken cisimlerde cismin içine doğru yaklaşır. Dirençli cisimlerde ise, akım, cisimden uzaklaşır. Akım akışının bu karışıklığı, anomalilere yansır. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, yükler ayrıca ikincil elektrik alanı oluşturan hem iletken ve hemde öz dirençli cisimlerin yüzeylerinde indüklenir. Bu yükler, girdap akımları ile birlikte sözedilenlerdir, ancak bunlar, galvanik akımlar ile ilişkilendirilen olayların bir parçası olarak grublandırılır.

Galvanik akımlar küçük iletkenlik farklarına çok duyarlı olduğundan bir çok sahte tepkiler oluşur. Galvanik akımlar, hem ikincil manyetik ve hemde elektrik alanları oluşturur. Ancak, elektrik alanların, değişken ikincil manyetik alanlar tarafından değil, sadece yük birikimi ile oluştuğu düşünülür. Yeni araştırmalar, galvanik akımların, VLF sistemi içinde



Şekil 3.5. İkincil manyetik alan akımları.



Şekil 3.6. Galvanik akımlar.

girdap akımlarına daha baskın olabildiğini göstermiştir. Gayet tabii, yeterince yüksek frekanslar ve/veya iletkenliklerde bu olaylar, karmaşık bir davranışla birbirine etki etmeye başlar ve fark tamamen kaybolur.

3.3. VLF Yönteminde Ölçülen Büyüklükler

Birincil manyetik alan tamamen yataydır ve verici gözlem noktası doğrultusuna göre sağ yönlüdür (saatin dönüş yönü). İkincil manyetik alan ise iletkene bağlı olarak rastgele bir yöndedir. İkisinin bileşkesi zamanla elips çizen bir vektör olur. Bu elipsin bir eğimi vardır ve yönü rastgeledir (Şekil 3.7a). Bu, polarizasyon elips'i olarak verilir ve toplam VLF alanı "eliptik polarizasyon" olarak adlandırılır.

Daha önceki VLF alıcıları polarizasyon elipsinin büyük ekseninin eğimi olan α ve basıklık (ϵ) yani büyük eksenin küçük eksene oranı H_2/H_1 ölçülmekte idi. Eğimin yaklaşık olarak düşey bileşenin (H_{2R}) gerçel parçasına eşit olduğu ve basıklığın da yaklaşık olarak düşey bileşenin (H_{2I}) sanal parçasına eşit olduğu gösterilmiştir. Bunlar, toplam VLF alanını tamamen

tanımlayan temel parametreler olarak düşünülür. Ek parametreler bu bileşenlerden türetilebilir. Çizelge 3.1 de manyetik ve elektrik alan parametreleri kısaca özetlenmiştir. x, y, z koordinat sisteminde birincil ve ikincil alanlar

$$\underline{H}_p = H_x^p \cos \omega t \underline{i} + H_y^p \cos \omega t \underline{j}$$

$$\underline{H}_s = H_x^s \cos(\omega t + \phi) \underline{i} + H_y^s \cos(\omega t + \phi) \underline{j} + H_z^s \cos(\omega t + \phi) \underline{k}$$

bağıntıları ile verilir. Burada \underline{i} \underline{j} \underline{k} birim vektörlerdir. Birincil alan, tamamen yataydır. Ayrıca, ikincil alanın birincil alana göre ϕ kadar faz'ı olabilir. Toplam VLF alanı $\underline{H}_T = \underline{H}_p + \underline{H}_s$ olup cebirsel işlemler sonunda,

$$\underline{H}_T = A \cos(\omega t + \phi') \underline{i} + B \cos(\omega t + \phi'') \underline{j} + C \cos(\omega t + \phi''') \underline{k} \quad (3.11)$$

yazılabilir, buradan ise

$$A = (H_{YR}^2 + H_{YI}^2)^{1/2},$$

$$\phi' = -\tan^{-1}(H_{YI}/H_{YR})$$

$$B = (H_{ZR}^2 + H_{ZI}^2)^{1/2},$$

$$\phi'' = -\tan^{-1}(H_{ZI}/H_{ZR}),$$

$$C = (H_{XR}^2 + H_{XI}^2)^{1/2},$$

$$\phi''' = -\tan^{-1}(H_{XI}/H_{XR}),$$

ve

$$H_{YR} = H_x^p + H_x^s \cos \phi,$$

x bileşeninin gerçel parçası

$$H_{YI} = -H_x^s \sin \phi,$$

x bileşeninin sanal parçası

$$H_{ZR} = H_y^p + H_y^s \cos \phi,$$

y bileşeninin gerçel parçası

$$H_{ZI} = -H_y^s \sin \phi,$$

y bileşeninin sanal parçası

$$H_{XR} = H_z^s \cos \phi,$$

z bileşeninin gerçel parçası

$$H_{XI} = -H_z^s \sin \phi,$$

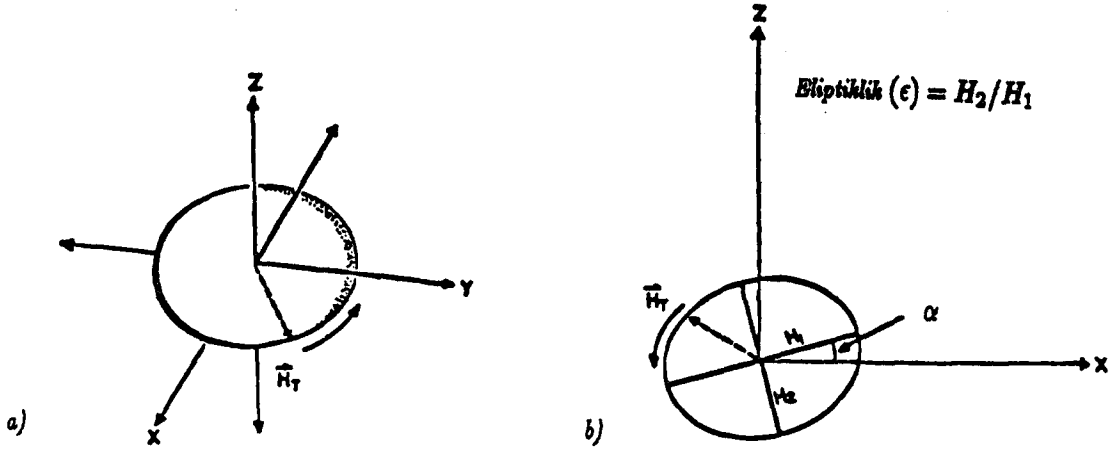
z bileşeninin sanal parçası

dır. Bu altı büyüklük, toplam elektromanyetik alanı tanımlamaktadır. H_z bileşenin birincil alanı içermediğine dikkat edilmelidir. Bu bileşen, iletken civarında akım yoğunlaşmaları sonucunda ortaya çıkar ve yapıların tanımlanması açısından daha önemlidir. Genellikle, faz için referans olarak yatay bileşenlerden biri seçilir. Eğer ikincil alanlar, birincil alana göre küçükse, o zaman bileşke vektörün yönü, birincil manyetik alan'a çok yakındır.

3.11 denklemi, yüzeyde rastgele yönlendirilmiş bir elipsi tanımlar. \underline{H}_T vektörü bir eliptik yüzey çizer (Şekil 3.7.b) ve "polarizasyon elipsi" olarak adlandırılır. 3.11 bağıntısında,

- Eğer $\phi' = \phi'' = \phi'''$ ise elips bir tek doğru olur.

- Eğer $A=0$ ve $\phi'' = \phi''' + \pi/2$ ve $B=C$ ise elips y-z düzleminde bir daire olur.



Şekil 3.7.a) Polarizasyon elipsi. b) X-Z düzleminde izdüşürülmüş polarizasyon elipsi.

- Eğer $A=0$ ve $\phi'' = \phi'''$ ise elips y-z düzleminde bir doğru olur.

VLF yönteminde klasik olarak ölçülen iki parametrenin biri, polarizasyon elipsinin (H_1) büyük ekseninin (α) meyili ve elipsin büyük ekseninin küçük eksenine oranı olan basıklık (ϵ) olup (Şekil 3.7.b),

$$\alpha = H_{ZR} / H_{YR} \quad \text{ve} \quad \epsilon = H_{ZI} / H_{YR}$$

dır.

Sık sık ölçülen diğer bir parametre, 3.11 denklemi ile verilen VLF toplam alan vektörünün genliği olup aşağıdaki gibi tanımlanmıştır

$$T = (A^2 + B^2 + C^2)^{1/2}$$

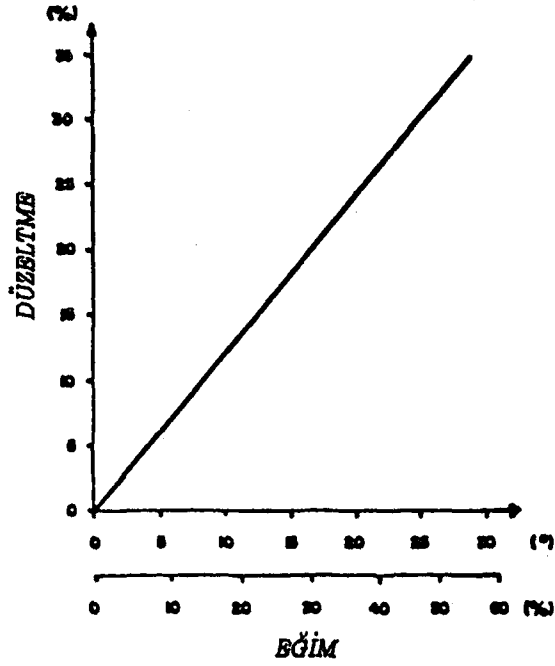
Ölçülen farklı parametreler, jeolojik olmayan kaynaklardan gelen farklı sinyal değişimleri tarafından etkilenebilir. Örneğin, atmosferik koşullar, iyonosferik değişimler, enerji hatları ve operatör hataları yanlış ölçümlere yol açar. Bir araştırma süresince bu parametrelerden biri periyodik olarak denetlenmelidir.

3.4. Topoğrafik Düzeltmeler

Daha önce değinildiği gibi, birincil VLF dalgası, geliş açısı ne olursa olsun, yer içine düşey olarak nüfuz eder. Eğer topoğrafya değişiyorsa, dalga halâ, eğimli yüzeye dik olarak

Çizelge 3.1. VLF Yönteminde ölçülebilen manyetik ve elektrik alan parametreleri.

PARAMETRE	SEMBOL	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Gerçek bileşen veya elips'in büyük ekseninin eğimi	H_{ZR} veya α	Hedef'in iletkenliğine duyarlıdır ve geometrisini yansıtır.	Bazen karmaşık tepkileri ayırması güçtür.
sanal düzey bileşen veya polarizasyon elipsinin basıklığı.	H_{ZI} veya ϵ	İkinci en sık kullanılan parametredir. Hedef'in iletkenliğine duyarlıdır. Bazen hedef geometrisini gösterir. Bütün VLF alıcıları ile ölçülür.	Kötü iletkenliklere duyarlılığın artması nedeniyle bir çok sahte tepki olur. Üst üste gelen tepkileri ayırt etmek güçtür.
Yatay bileşenin gerçek ve sanal parçası.	H_{YR} H_{YI} H_{YR} H_{YI}	Doğrultu dışından gelen tepkilere duyarlıdır.	
Maksimum VLF alan şiddeti veya elips'in büyük ekseninin genişliği.	T	Komşu anomaliler arasında iyi ayırım yapar. Topoğrafyadan etkilenmez.	Jeolojik kaynaklarla ilişkili olmayan değişimlerin alan şiddetine etkisi.
Polarizasyon elipsine dik yön.	N	Yeni parametreler.	Yorumsal yardımı yok.
x-y düzlemine izdüşürülen normal vektör.	N_p	VLF alanının tamamını ifade eden bilgi içermesi.	
Yatay elektrik alan bileşenleri	E_x E_y	Gerçek öz direnç değerleri saptanır.	Küçük iletkenlik farklarına duyarlılık taşır. Belirli bileşene paralel iletkenlik değişimlerine duyarsızdır.



Şekil 3.8. Topografik düzeltme (Baker and Myers, 1980).

nüfuz eder. Bu dalgayla ilişkili olan ikincil alanda, topoğrafyadan etkilenen bir biçimde eğilir. Birincil manyetik alan yatay kaldığı için, ikisinin toplamı, topoğrafik değişimlerin etkisinden taşıyacaktır. Model tank deneyleri, çeşitli eğim açıları için bir düzeltme eğrisi sağlamaktadır (Şekil 3.8). Verilen bir ölçü noktasında eğimli yüzey derece ($^{\circ}$) veya yüzde (%) olarak saptanır. Bu değer, yatay eksene yerleştirilir ve hata düşey eksen üzerinden okunup düzeltilir. Örneğin, 20 derece eğimli bir yüzeye %24'lük bir düzeltme gerekir. Bu değer, veriye eklenir veya çıkartılır. Düzeltmenin işareti aynı noktada eğim yukarı ve eğim aşağı ölçme yaparak anlaşılabilir.

3.5. Yorumlama

Yorumun, nitel veya nicel yapılması yorumcunun veriden ne istediğine ve veriden gerçekte hangi bilginin çıkarılabileceğine bağlıdır. Yorum yapılırken başka anomalilerin üst üste binen etkileri; aynı cisme ait galvanik ve girdap akım akışlarının birbirlerine etkisi, iletken üst katman tarafından soğurulma ve faz kayması gibi olaylar dikkate alınmalıdır. Yorumda anomalilerin tanınması, model'in genel tip'inin seçimi ve kaynak

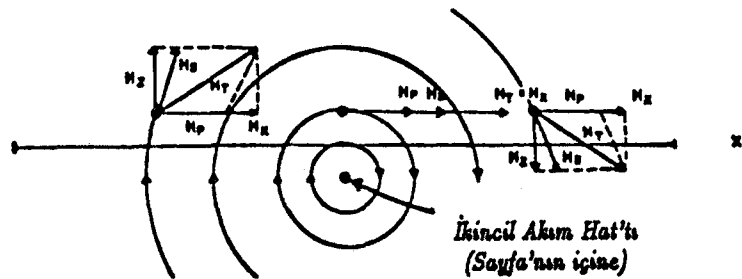
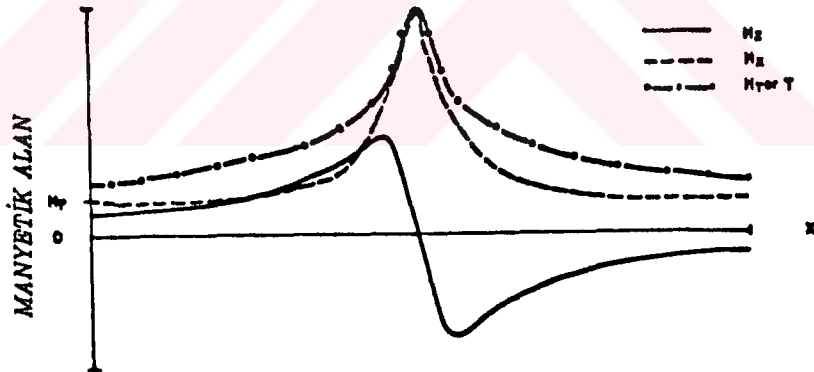
derinliği gibi bir kaç temel analiz vardır. Ek olarak, hedef cismin iletkenliği için genel bir fikir saptanabilir.

Büyük lekli yapılar ($l > 1$ km) muhtemel bir galvanik akım akışına sebep olur. Bu ise gerçek iletkenlik değerini saptamada güçlük çıkartır. Daha kk ölçekli yapılar ($0 < l < 1$ km) zdiren- cin yüksek olduğu sahalarda, muhtemel girdap akımlarına sebep olurlar. Bunlar, nicel yorumlamaya daha uygundur. Kalın st katmanlı sahalaların tepkileri ve yorumlanması güçtür.

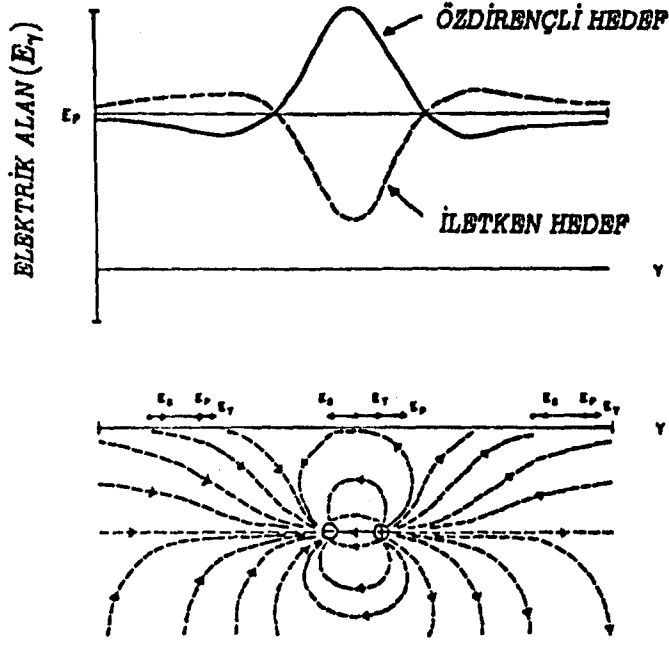
3.5.1. Bazı Genel Anomaliler

şekil 3.9, bir anomali oluşturmada, birincil manyetik alan ile ikincil manyetik alan'ın nasıl birleştiğini göstermektedir. Parametreler gerçel düşey bileşen (H_{zR}) ve toplam alan (T) olup Sanal düşey bileşen (H_{zI}), gerçel düşey bileşene benzer biçimde hareket edecektir, ancak, doğrultu üzerinde ilerlerken işaret'i ters vrilir.

şekil 3.10'da ise bir anomali oluşturmada, birincil elektrik alan ile ikincil elektrik alanın nasıl birleştiği görülmektedir. Yüksek özdirençli cisimler üzerinde işaretler sınıra



şekil 3.9. Çizgisel yatay bir iletken etrafında VLF manyetik alan anomalişi.



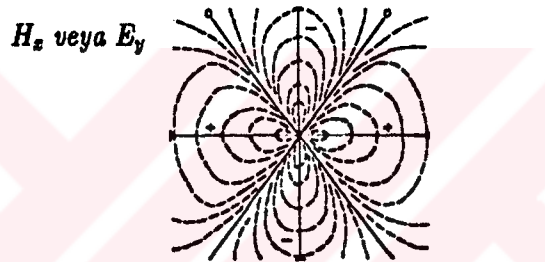
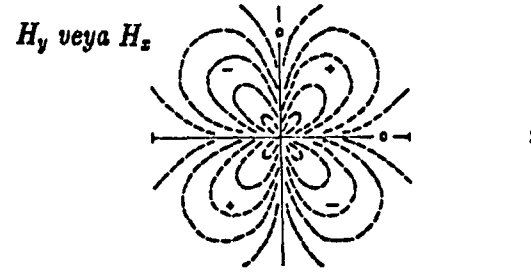
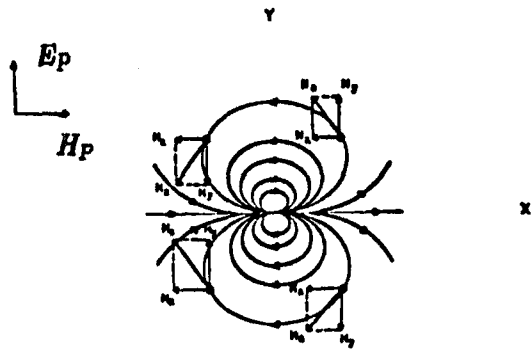
Şekil 3.10. ikincil elektrik alan.

yakın bir yerde ters çevrilir.

Şekil 3.11, birincil manyetik ve elektrik alanların x-y düzleminde bir görüntüsünü verir.

3.6. Model Tepkiler

Bu bölümde, çeşitli modeller için örnek tepkiler verilecektir. Katmanlı bir yer modeli en sonuçta yer alacaktır.

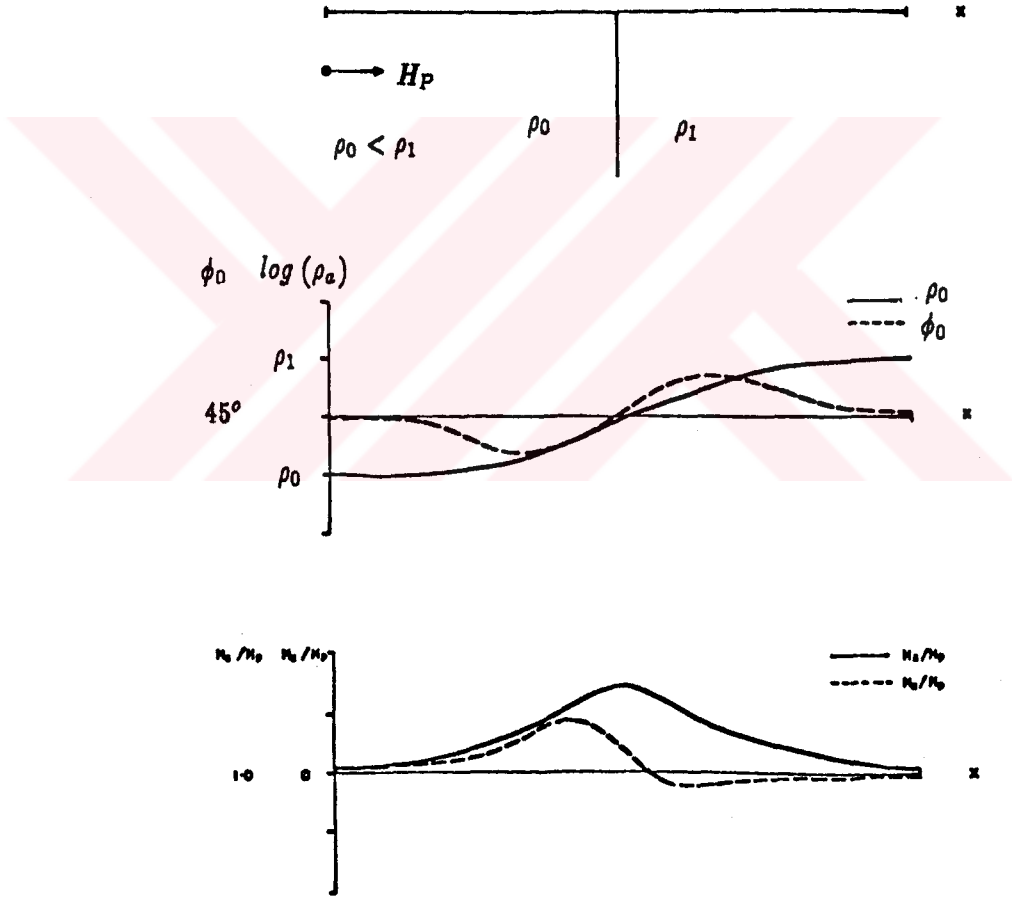


Şekil 3.11. Dipol kaynaklar için birincil manyetik ve elektrik alanların planı.

Birincil Manyetik Alana Dik Düşey Sınır

Bu durum jeolojik olarak fay veya litolojik düşey sınıra eşdeğerdir. Böyle bir yapı üzerinde

- Arayüzeyde E_y bileşeni oluşur.
- Görünür öz direnç, arayüzeyden uzakta gerçek değerini alır.
- Sınır civarında, ρ_d ϕ_d H_z değişimleri bükülme ve H_z max gösterir.
- E ve H bileşenleri arasındaki faz farkı arayüzey'den uzakta 45° olup arayüzeyde biraz fark eder.

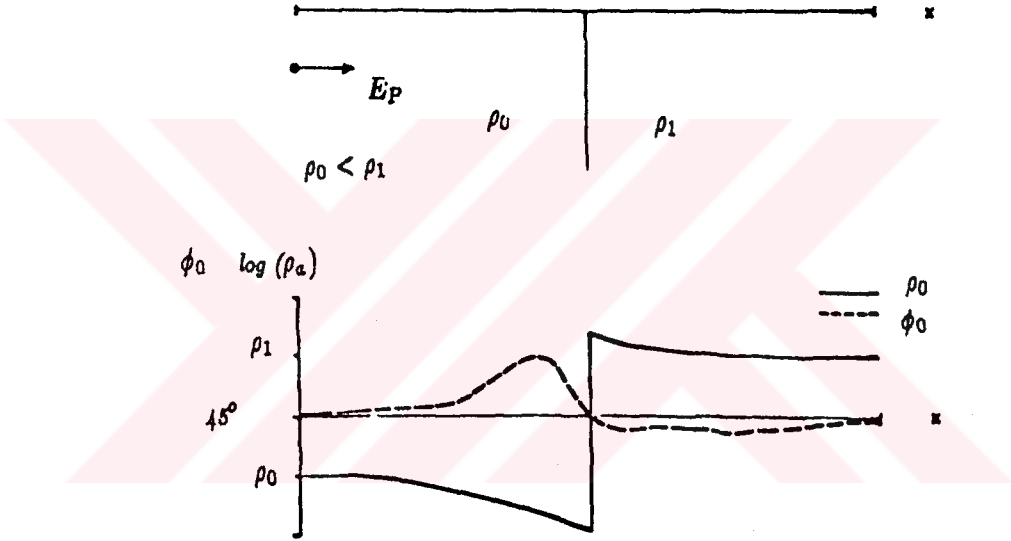


Şekil 3.12. Düşey sınır durumunda VLF anomali birincil alana dik (E-paralel) (d'Erceville ve Kunetz, 1962; Jones ve Price, 1971; Swift, 1971).

Birincil Manyetik Alana paralel Düşey Sınır

Bu durum jeolojik olarak fay veya litolojik düşey sınıra eşdeğerdir. Böyle bir yapı üzerinde

- $N_0 H_x$, H_y , H_z ve E_y ikincil alan bileşenleri ortaya çıkar.
- E_y bileşeni arayüzeyde süreksizdir ve böylece,
- Görünür öz direnç arayüzeyden uzaklaştıkça hızla gerçek değere yaklaşır.
- Sınır yakınında ϕ_0 işaret değiştirir.



Şekil 3.13. Düşey sınır durumunda VLF anomalişi birincil alana paralel (E-dik) (d'Erceville ve Kunetz, 1962; Jones ve Price, 1971; Swift, 1971).

Küre

Bu durum jeolojik olarak massif sülfid yatağı ve/veya toprak veya kayada yerel düzensizliklere eşdeğerdir. Böyle bir yapı üzerinde

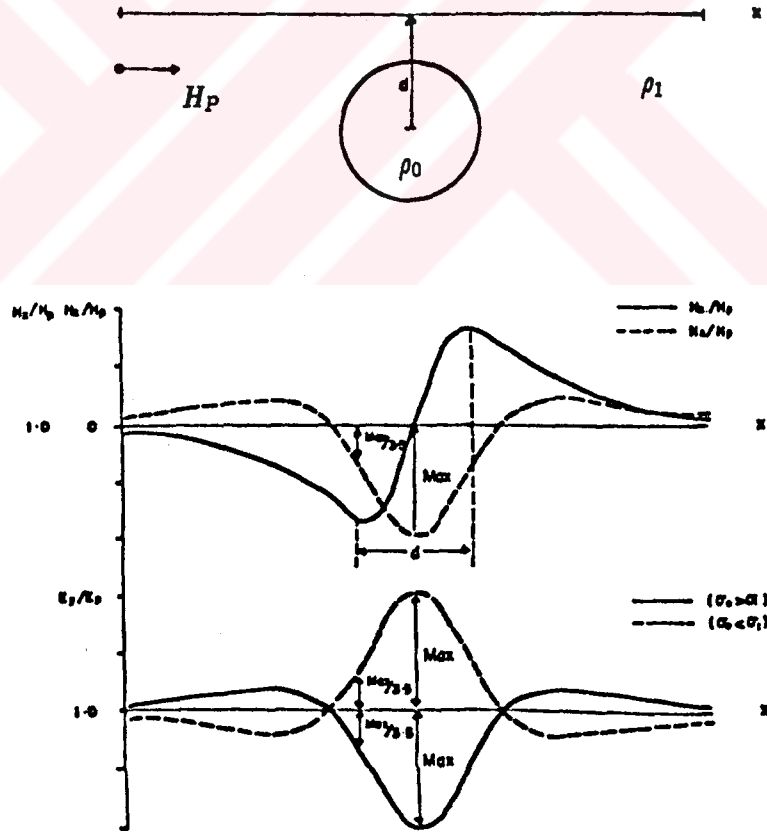
- Küre üzerinde ki profilde H_z , H_y veya E_x ikincil alanları gözlenir.

- Kürenin merkezi H_z profilinin dönüm ve H_x ve E_y profillerinin en yüksek değeri altındadır.

- H_x profilinin, en büyük ve en küçük değerleri küre sınırlarını gösterir.

- Eğer $\sigma_0 > \sigma_1$ ise bir min E_y profili ve eğer $\sigma_0 < \sigma_1$ ise max bir E_y profili gözlenir.

- Kürenin derinliği (d), yaklaşık olarak H_z profili üzerindeki pik'ler arasındaki uzaklık veya iki kez, H_x ve E_y profilleri üzerinde Max ve Max/3.5 arasındaki uzaklıktır.



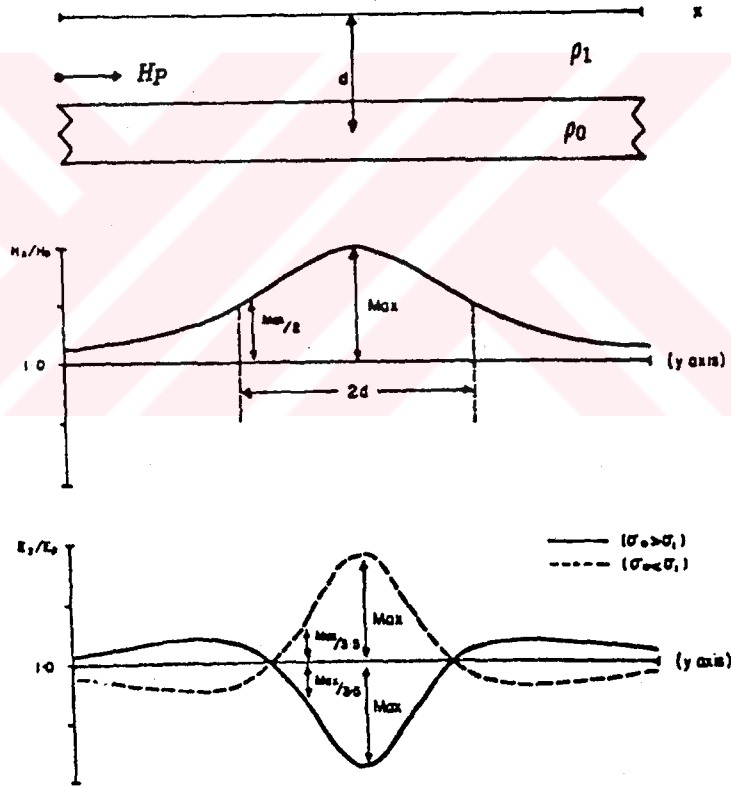
Şekil 3.14. Küre durumunda VLF anomalisini (Wait, 1951).

Birincil Manvetik Alana Paralel Yatay Silindir

Bu durum jeolojik olarak katmanlarda antiklinal veya senklinal veya massif sülfit yatağına eşdeğerdir. Böyle bir yapı üzerinde

- y-yönünde çıkan ve değişen H_y ve E_y bileşenleri gözlenir.
- Silindirin derinliği, yaklaşık olarak doğrultu üzerinde (Y-ekseni) Max ve Max/2 noktaları arasındaki yarı uzaklıktır veya iki kere E_y doğrultusu üzerinde Max ve Max/3.5 noktaları arasındaki uzaklıktır.

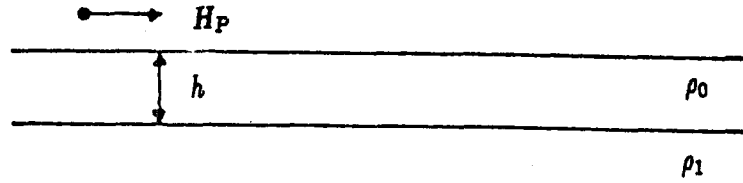
- E_y doğrultusu, eğer $\sigma_0 > \sigma_1$ ise pozitif ve $\sigma_0 < \sigma_1$ ise, o zaman negatif olacaktır.



Şekil 3.15. Yatay Silindir durumunda VLF anomalisi birincil alana paralel (E-dik) (McNeill, 1985; Ogundade ve Dosso, 1980; Parry ve Ward, 1971).

3.7. Katmanlı Yer Modeli

Katmanlı bir yer model'i, değişken kalınlıklı ve özdirençli (iletkenlikli) yatay katmanları içerir. Yalnızca manyetik alan bileşenlerinin ölçülmesi, böyle yapılar üzerinde bilgi sağlamaz. Bunun için, hem manyetik ve hemde elektrik alan verisine gereksinim vardır. Burada, özdirenci ρ_0 kalınlığı h olan tek bir katman ve altta, özdirenci ρ_1 olan bir yarı yüzey bulunur (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Tek katman modeli.

Burada manyetik alan x-ekseni boyunca ve birincil elektrik alan y-ekseni boyunca vardır. Cagniard denkleminde görünür özdirenç hesaplanabilir, burada ölçülen faz kayması ile birlikte iki bağımsız parametre meydana getirir. Ancak, tek katman modeli, saptanmamış üç parametreyi içerir (ρ_p , ρ_2 , h). Ek bilgi olmaksızın model parametrelerini saptamak zordur. Şekil 3.17 de, tek katman yorumu için uygun abak eğrileri gözükmemektedir ve Çizelge 3.2 de, abağın kullanma aşamaları verilmiştir.

Özdirenci yüksek bir temel kaya üzerinde üst katman kalınlık ve direncindeki değişimler, bu yol ile oldukça etkin bir şekilde haritalanabilir. Bu durum, yeraltı suyu aramaları ve mühendislik jeolojisi uygulamalarına açıktır. Ek olarak, ρ_1 deki değişimler, faylar veya makaslamlar gibi temel kaya içindeki yapılara işaret edebilir. Kirlenme çalışmalarında, ρ_1 ve/veya ρ_0 daki değişimler, bulaşma sahalarını belirler.

3.8. Dayk Modeli

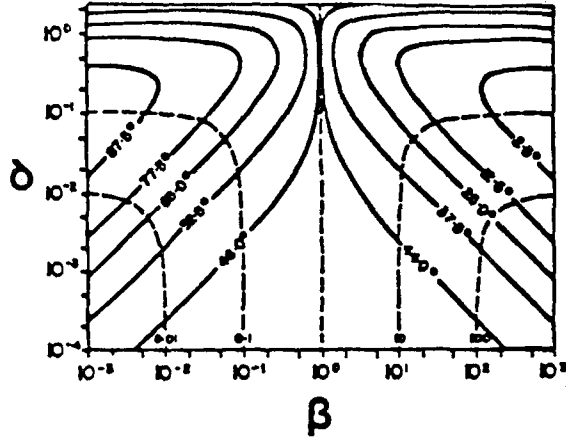
Bu model, ρ_1 özdirençli tekdüze bir yarı ortamda, son

Çizelge 3.2. Tek katman yorumu için uygun abak eğrilerinin kullanılması (Mathieson and Crosley, 1981).

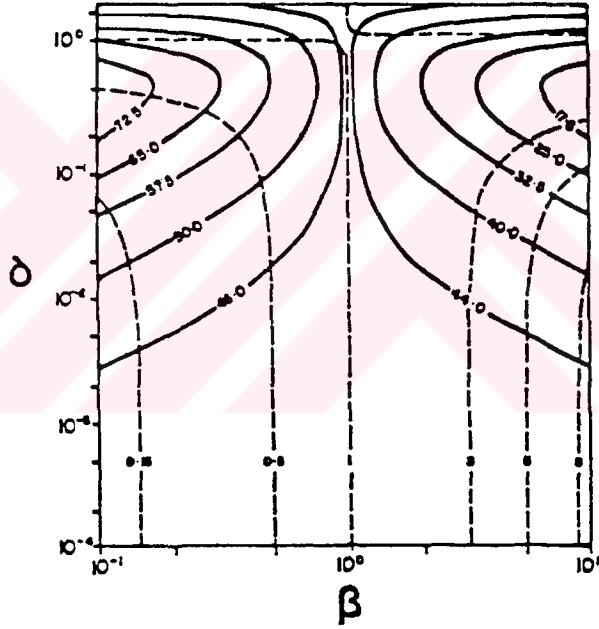
Bilinen ρ_0	Bilinen ρ_1/ρ_0
<p><u>1.Adım</u> $\rho_2 = \rho_0 Q^2$ 'den Q'yu bulunuz.</p> <p><u>2.Adım</u> Verilen B'ya (Q, ϕ_0)'nin kesiştiği bölge.</p> <p><u>3.Adım</u> α'nın değerini okuyunuz.</p> <p><u>4.Adım</u> $\alpha = \left(\frac{\omega \mu_0}{\rho_0} \right)^{1/2} h$ 'dan h'yı bulunuz.</p> <p><u>5.Adım</u> $B = \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^{1/2}$ 'dan ρ_1 'i bulunuz.</p>	<p><u>1.Adım</u> $\rho_1 = B^2 \rho_0$ 'dan B'yı hesaplayınız.</p> <p><u>2.Adım</u> Verilen α'ya (B, ϕ_0)'nin kesiştiği bölge.</p> <p><u>3.Adım</u> Q'nun değerini okuyunuz.</p> <p><u>4.Adım</u> $\rho_2 = \rho_0 Q^2$ 'den ρ_2 'i bulunuz.</p> <p><u>5.Adım</u> $\alpha = \left(\frac{\omega \mu_0}{\rho_0} \right)^{1/2} h$ 'dan h'yı bulunuz.</p> <p><u>6.Adım</u> $\rho_1 = B^2 \rho_0$ 'dan ρ_1 'i bulunuz.</p>
$\omega = 2\pi f$ ve $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m dir.	

derece uzun ve derin, D derinliğinde, gömülü iletkenin meydana gelir. Cisim t kalınlığına ve ρ_0 öz direncine sahip olup birincil manyetik alana dik yöndedir. Şekil 3.18, dayk modeli için gerçel H_{II} ve sanal H_{II} düşey bileşen profillerinden alınmış olan eğrileri, birçok karakteristik taslak için değişen temel kaya öz dirençleri (ρ_1) ise Şekil 3.19 ve 3.20 de verilmiştir. ρ_1 'in değeri, ya öz direncin ölçülmesiyle veya önceki tecrübelerden elde edilebilir. D derinliğindeki iletkenlik-kalınlık çarpımı (σt), diyagramdaki eğrilerden tahmin edilir. Bu eğriler, iletken üst katmansız durumlar için tam olarak doğrudur. Üst katman mevcutsa, o zaman eğriler, üst katman ve temel kaya arasındaki iletkenlik kontrastına bağlı hatalar taşır.

iletken dayk'ın eğimi, M ve N karakteristik değerlerinden tahmin edilebilir (Şekil 3.21). Bu değerler, gerçel düşey



--- δ_0
 — δ_1



Şekil 3.17. Tek katman model eğrileri (Jones and Telford, 1981).

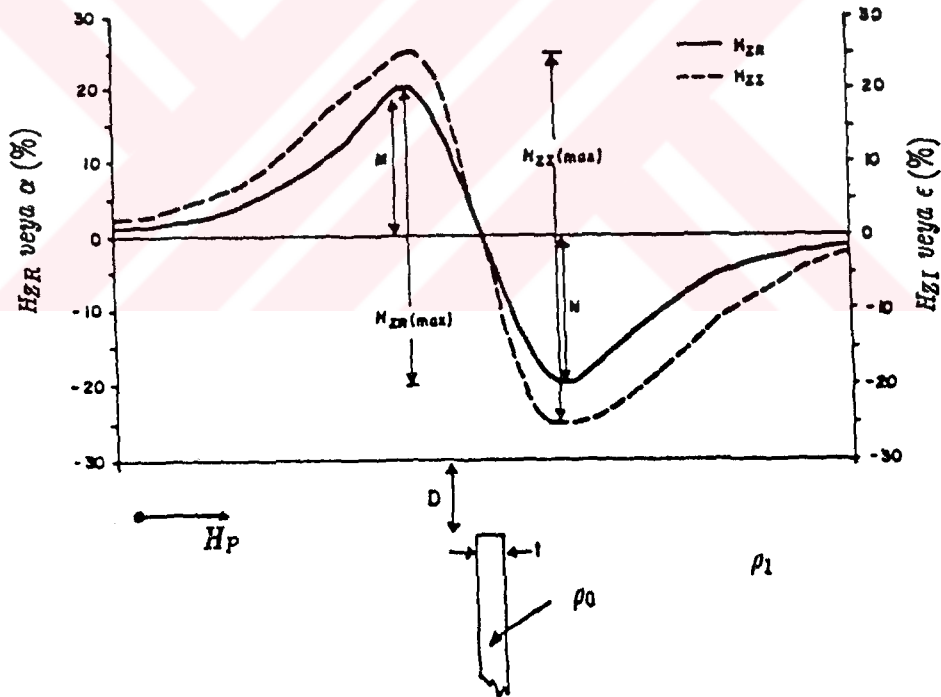
bileşen H_{zR} profilinden hesaplanabilir. Şekil 3.21, meyil'in saptanabilmesi için bir diyagramı göstermektedir.

Diyagramı kullanmak için, ΔR değeri, M ve N 'den (Şekil 3.21) hesaplanır ve düşey eksende yerleştirilir. Değer, eğri üzerinde yatay olarak kestirilir ve daha sonra düşey olarak yatay eksen den aşağı + veya - eğim okunur. Örneğin, eğer $\Delta R=6$ ise, o zaman eğim, profilin köşesine yaklaşarak, yaklaşık

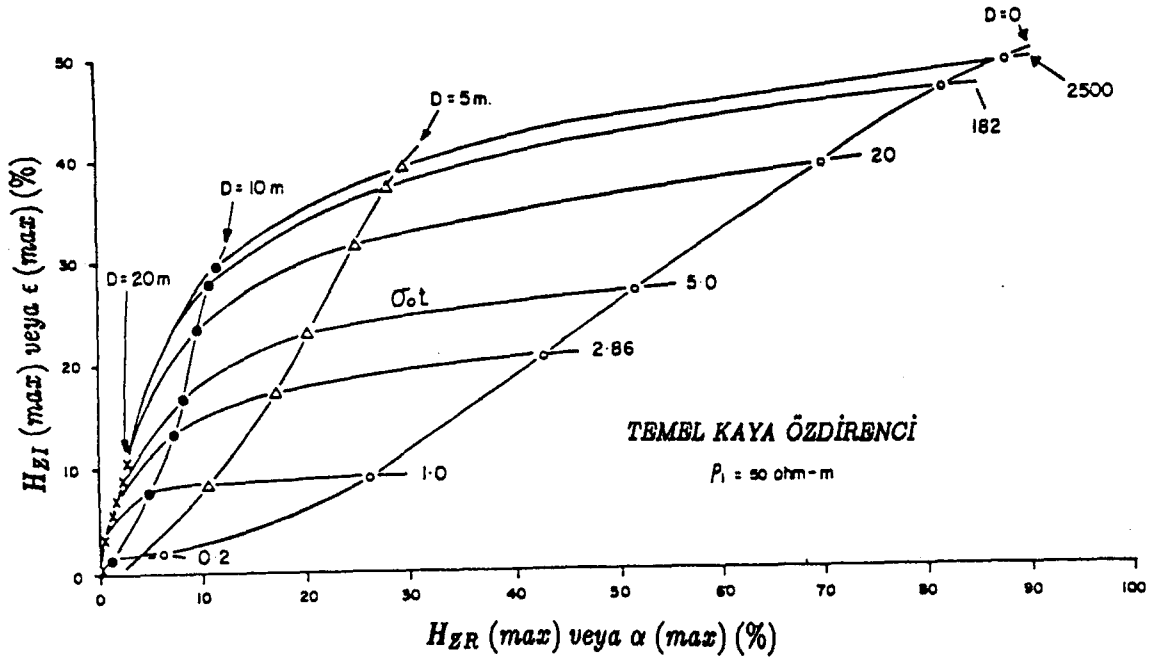
olarak 60° dir, burada ölçülen N'ydi. Dayk, burada M veya N'nin ölçülen en büyük köşesine doğru meyillenir.

3.9. Sayısal Modelleme

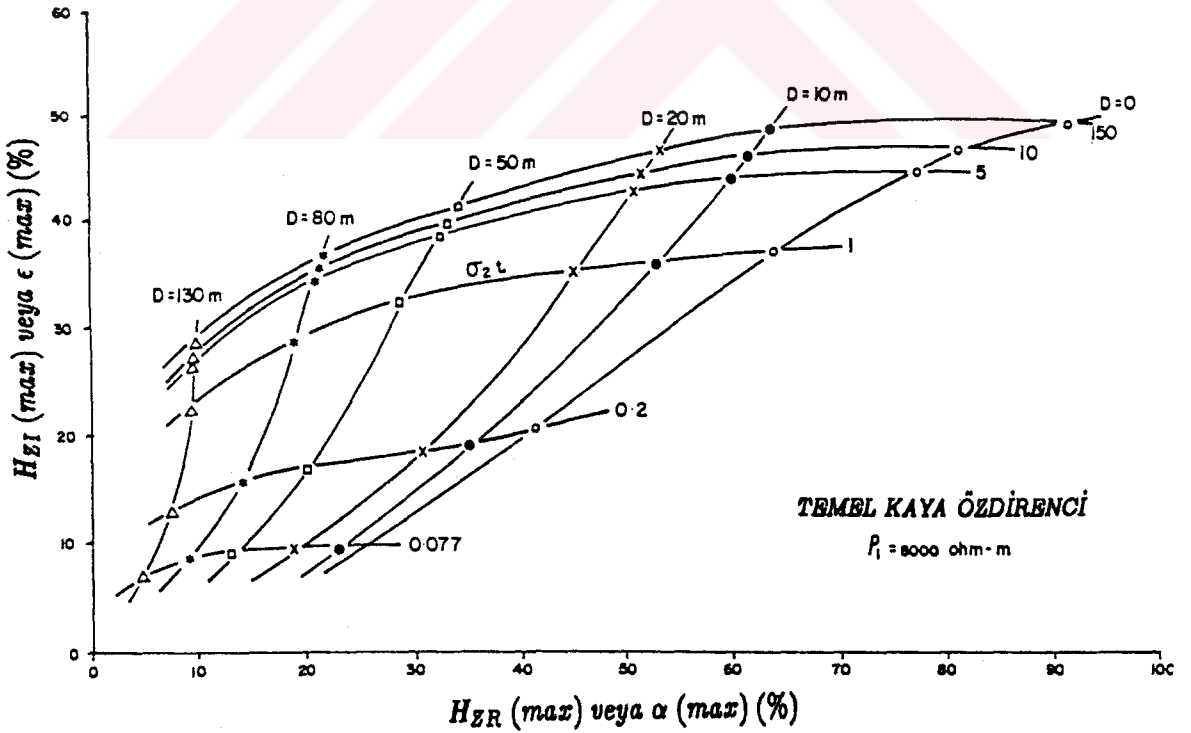
Sayısal modelleme, genellikle ya integral denklemlerinin çözümü yada elektromanyetik olayı tanımlayan kısmi diferansiyel denklemlerle açıklanır. Integral denklemleri, nispeten küçük matris işlemleri gerektirir, ancak, büyüklükler ayrıntılı sayısal hesaplamaları gerektirir. Kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü ise kolayca hesaplanan elementler ile, aşırı büyük matrislerini içerir. Her iki yöntemi kullanan karışık yöntemlerde vardır.



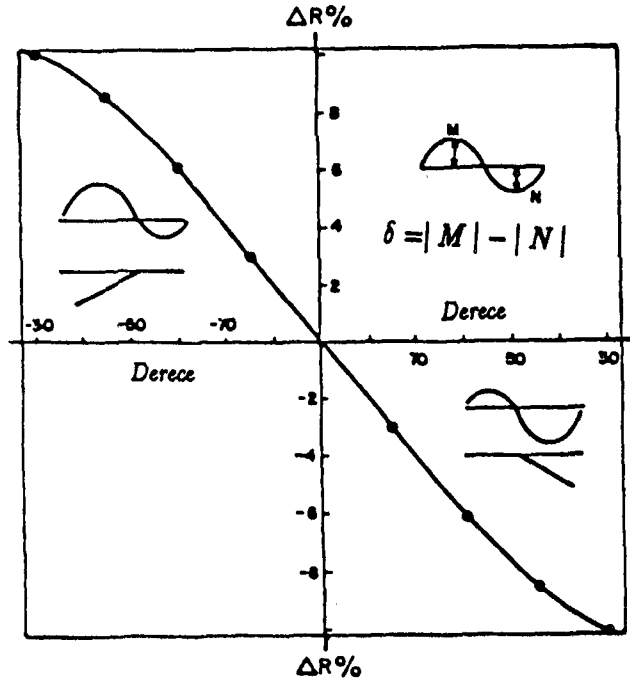
Şekil 3.18. Dayk modeli (Saydam, 1981).



Şekil 3.19. Dayk modeli master eğrisi (Saydam, 1981).



Şekil 3.20. Dayk modeli Master eğrisi (Saydam, 1981).



Şekil 3.21. Dayk eğiminin belirlenmesi (Saydam, 1981).

IV. JEOFİZİK VLF GEREÇİ

Bu bölümde VLF istasyonları, ölçü modları, gerecin bileşenleri ve VLF ölçüm yöntemleri tanıtılacaktır.

4.1. VLF istasyonları

Çizelge 4.1, araştırmalarımızda kullandığımız istasyonlar, bu istasyonların bulunduğu bölgeler ve yayın yaptıkları frekans ile yayının güçlerini vermektedir. Ayrıca her istasyon için bakım gün ve saatleri de belirtilmiştir. Güçlü vericilerin yayınları genellikle çok uzaklara kadar ulaşmaktadır. Ancak çeşitli yerlerdeki VLF araştırmalarının sistematik olarak yürütülmemesi nedeniyle 1-2 istasyon dışında (NLK) yayının alan şiddeti haritaları kesin değildir. Çizelge 4.2 de 16.0, 19.6 ve 24.0 kHz frekanslarındaki VLF istasyonlarının farklı yerlerde ölçülen toplam alan şiddet değerlerini vermektedir. Kazanç ayarı OMNI-VLF gereci için 1 ile 15 arasında değişen bir değer alır. Burada 1 çok güçlü ve 15 çok zayıf bir alan şiddetini belirtmektedir.

4.2. Ölçü Modu

Bir VLF cihazını kullanırken ne yöne döneceği konusunda normal uygulama şudur, eğer üç elektrod sistemi kullanılıyorsa cihazı yönlendirmeye gerek yoktur, çünkü cihaz otomatik olarak yönlendirmeyi yapmaktadır, ancak eğer iki elektrod sistemi kullanılıyorsa -ki biz bu sistemi kullandık- operatör ölçü doğrultusuna döner ve elektrotlar ise istasyonun yönüne bağlı olarak sağ veya sol açılarda yerleştirilerek ölçmeler yapılır. Böylece istasyondan yayılan dalga bobine dik bir manyetik indüksiyon oluşturur, bu manyetik indüksiyon zamanla değişeceği için buna dik bir de elektrik alan meydana getirir. Bu yüzden, eğer birincil alan hatları ölçü doğrultusu ile $0-45^{\circ}$ arasında

Çizelge 4.1. Jeofizik araştırmalarda kullanılan bazı VLF istasyonları.

IST	BÖLGE	kHz	GÜÇ (kW)	BAKIM
FUO	Le Blanc, France	15.1	500	
GBR	Rugby, United Kingdom	16.0	750	Salı 10-14
JXZ	Hegeland, Norway	16.4	350	
	France	16.8		
UMS	Moscow, U.S.S.R.	17.1	1000	
NDT	Yosami, Japan 34 58' 15" N 137 01' 01" E	17.4	50	Ayın ilk Prş.- Cuması 23-09.Di- ğer her Prş.-Cu- ma23-07. Çarşamba
	Criggeon United Kingdom	19.0		
GBZ	Oxford, United Kingdom	19.6		
NSS	Annapolis, Maryland USA 38 59' 30" N 76 27' 10" W	21.4	400	Salı 12-20. Salı 20-22 test. 2.ve 4.Çrş. oprt. ta- limi.
NWC	Exmouth, Australia Australia 21 49' 01" S 114 09' 50" E	22.3	1000	Pzt.00-08. Eğer Pzt.tatılse Prş- .00-04 de kapalı.
	Rhauderfehn, West Germany	23.4		
NPM	Lualualei, Hawaii 21 25' 30" N 158 09' 20" W	23.4	600	Ayın son Çrş.- Prş.18-04.Diğ.her Çrş-Prş.18-02.
NAA	Cutler, Maine, USA 44 38' 50" N 67 16' 54" W	24.0	1000	Pzt. 12-20. Her Pzt.20-22 test. Eğer Pzt.tatılse, sonr.Cum1,3,ve 5.Prş.opr.talimi.
NLK	Jim Creek, Washington, USA 48 12' 15" N 121 55' 00" W	24.8	125	Prş.16-24. Gün- ışığında 15-23.
NAU	Aguada, Puerto Rico	28.5	100	Çrş. 12-20.

ise cihaz tekrar "başlatılma" dıkça referans olarak Mod 1'i kullanacaktır (Şekil 4.1 Mod 1), eğer birincil alan hatları ölçü doğrultusu ile 45-90° arasında ise cihaz referans olarak Mod 2'yi kullanacaktır (Şekil 4.2 Mod 2).

OMNI-PLUS içerdiği 3 bobin nedeniyle manyetik ve VLF parametreleri açısından bir mod seçimine veya yönlendirmeye gerek duymaz. Ancak 3 yerine 2 elektrotlu öz direnç özellikleri ölçülüyorsa Mod seçimine dikkat edilmelidir. Eğer yönlendirme Şekil 4.1 deki gibi olursa, OMNI-PLUS, çağırdığımız mod 1 de başlatma yapar. Eğer yönlendirme Şekil 4.2 deki gibi olursa, OMNI-PLUS, çağırdığımız mod 2 de başlatma yapar. İster mod 1 ve isterse mod 2'yi kullanarak OMNI-PLUS'ı saptamak için, Operatör sistemi başlattıktan sonra QUAD altında bakarsa, Mod 1 için 0.1 ve Mod 2 deyken ise 0.2 görünecektir.

Görüldüğü gibi, yukarıdaki uygulamalar verici istasyonları dik açılarda olduğu veya yayının yönündeki doğrultuda olduğu sürece iyi çalışmaktadır. Ancak, bazı durumlarda, verici istasyonunun dik açılarda veya yayın doğrultusundaki hatta kullanılması güçtür.

Şekil 4.3 ve 4.4, bir verici istasyonu dik açılarda olmadığı veya yayın doğrultusundaki hatta (birincil alan hatları) olmadığı zaman ortaya çıkan duruma işeret eder. OMNI-PLUS, birincil alan hatlarının yönlendirilmesine bağlı olarak Mod 1 ve Mod 2 arasında seçer. Birincil alan hatları +ve veya hat doğrultusu 0'dan 45 dereceye kadar olursa, OMNI-PLUS, cihaz yeniden initialize edilmedikçe ölçüm sonuna kadar referans olarak Mod 1'i kullanacaktır. Eğer birincil alan hatları +ve veya -ve hat doğrultusu 45° den 90° de olursa, OMNI-PLUS referans olarak Mod 2'yi kullanacaktır. Zira, Mod 1 ve Mod 2'nin seçilmesi başlatma işlemi süresince meydana gelmektedir, bu işlem süresince Operatörün yayın yönüne dönmesi önemlidir. Başlatma işlemi bir kere tamamlandı ve Mod 1 ve Mod 2 seçildi, ondan sonra ölçü yönünde değişimler olursa not edilmelidir. Bundan sonra Operatör Mod seçimini değiştiremeyecektir.

Eğer bir araştırmada Mod 1 seçilerek başlanmışsa izleyen

Çizelge 4.2. Çeşitli VLF istasyonlarının farklı yerlerde ölçülen toplam alan şiddeti değerleri. Kazanç ayarı OMNI-VLF gereci için 1 den 15 kadar bir sıra takip eder. Burada 1 çok güçlü ve 15 çok zayıf bir alan şiddetini gösterir.

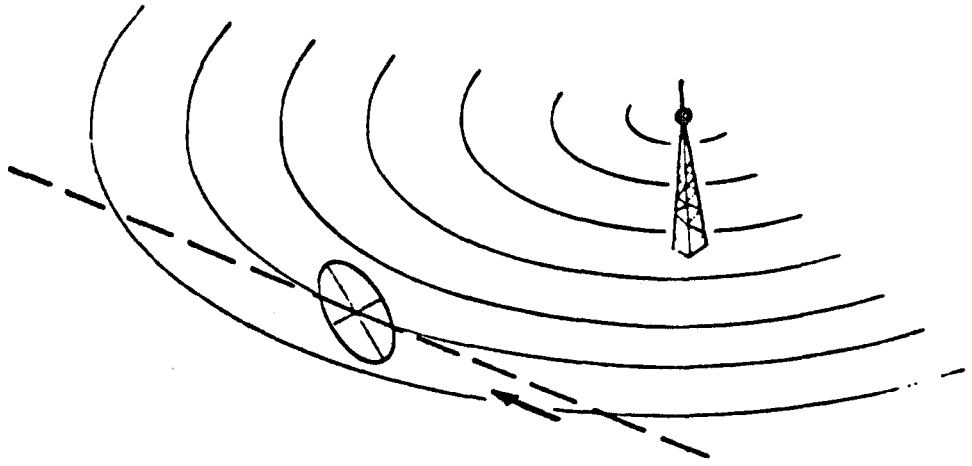
İSTASYON	YER	KAZANÇ AYARI	TOPLAM ALAN
16.0	Avrupa		
	Kuzey İrlanda		20
	Beauvais, Fransa	9	35
	Hull, İngiltere	6	140
	Selanik, Greece	13	8
	Paraguay, Çekoslovakya	10	30
	Afrika		
	Bamako, Mali		2
	Kuzey Amerika		
	Bathurst, New Brunswick Springdale, NFLD	14	2 3
19.6	Avrupa		
	Hull, İngiltere	7	80
	Paraguay, Çekoslovakya		30
	Selanik, Greece		6
	Beauvais, Fransa		25
24.0	Avrupa		
	Kuzey İrlanda		14
	Beauvais, Fransa	11	6
	Hull, İngiltere	9	13
	Selanik, Greece	14	3
	Paraguay, Çekoslovakya		3
	Afrika		
	Bamako, Mali		7
	Kuzey Amerika		
	Calgary, Alberta		8
	Deer Lake, NFLD	7	45
	Edmonton, Alberta		6
	Madoc, Ont.	3	50
	Revelstoke, B.C.	12	4
	Vancouver, B.C.	13	3
Whitehorse, Yukon	13	5	
Caribou, Nova Scotia	2	300	
Bathurst, New Brunswick	3	150	

günlerde, Mod 1'in kullanıldığından emin olunmalıdır. Eğer Operatör, ölçüm yönünü 60 dereceden fazla değiştirirse, Operatörün sistemi yeniden başlatması çok önemlidir. Bu, ölçülen bir önceki veriyi silmez.

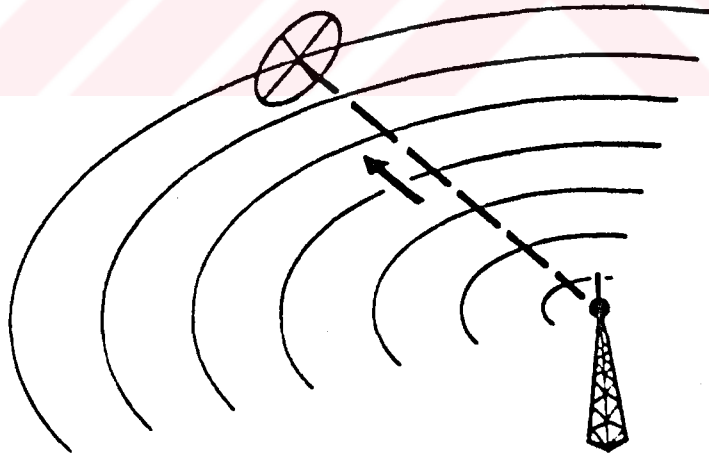
4.3. Jeofizik VLF Cihazı

Çalışmamızda kullanılan SCINTREX-EDA yapımı OMNI-PLUS VLF gerecinin ana birimleri Şekil 4.5'de görülmektedir.

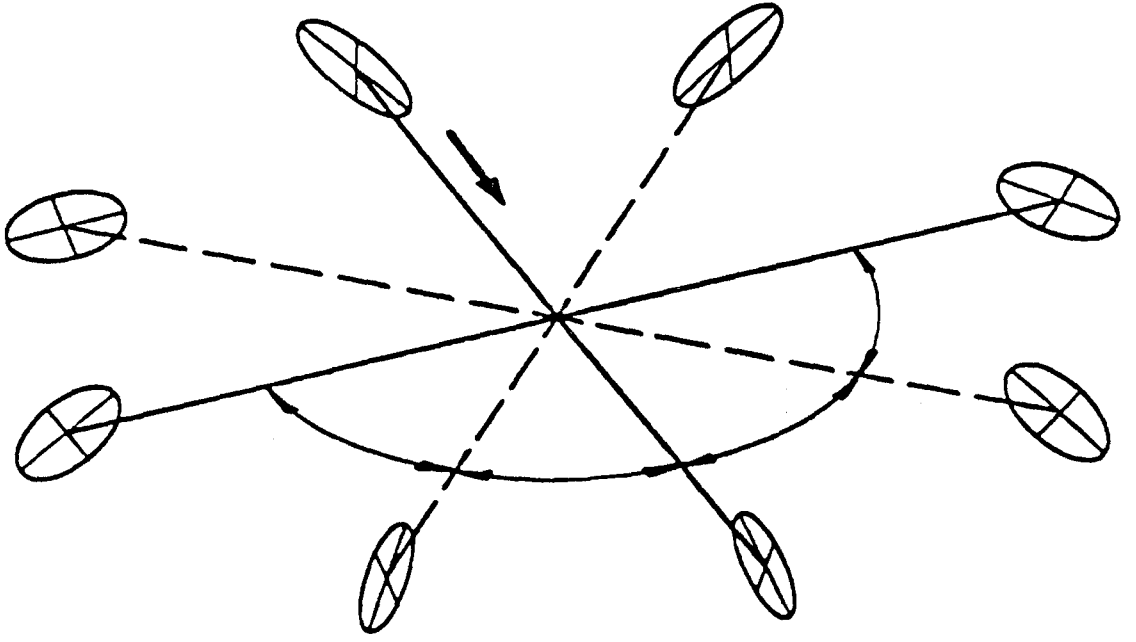
OMNI-PLUS gereci temelde mikroişlemci-tabanlı, portatif bir Manyetometre/VLF sistemidir. Her bir ölçme 4 s kadar sürer



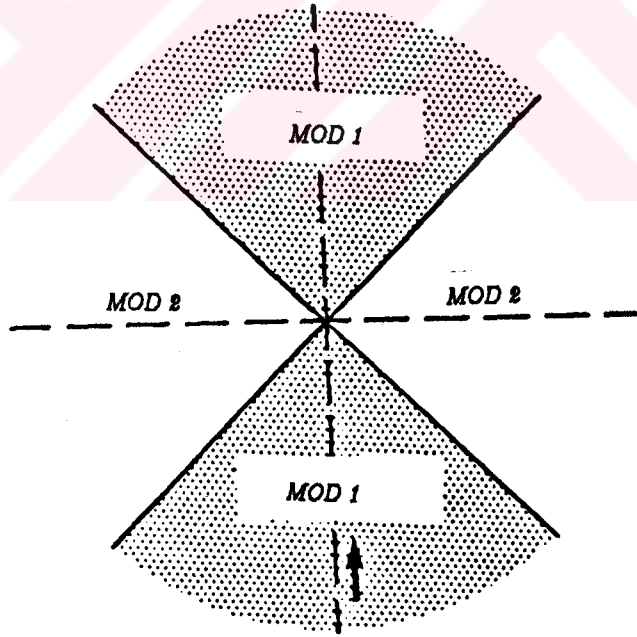
Şekil 4.1. Mod 1.



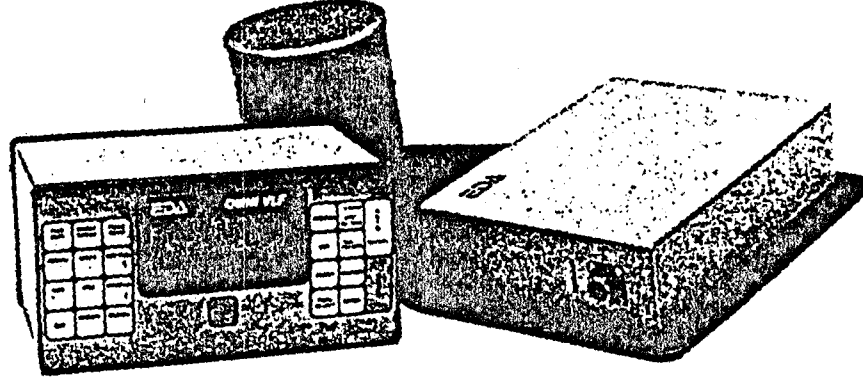
Şekil 4.2. Mod 2.



Şekil 4.3. Mod'ların Seçimi.



Şekil 4.4. Mod Alanları.



Şekil 4.5. SCINTREX-EDA OMNI-PLUS VLF gereci.

ve hafızaya alınır. DPT tarafından desteklenen ve İ.Ü. Araştırma Fonu kanalıyla alınan (İlkışık, 1992) laboratuvarımızdaki gereç aynı anda en çok üç VLF verici istasyonuna kadar bileşke alan bileşenlerini ölçer ve kaydeder. Ayrıca, iki elektrod vasıtasıyla indüklenen elektrik alan bileşenide ölçülür. İşlemler operatörün önündeki tuşlar ve ekrandan izlenir. Sistem bir lityum pili tarafından korunur. Bu pil ayrıca gerçek-zaman saatine de güç sağlar.

Sırtta taşınan VLF alıcısı, bağlantı kablosu kullanılarak operatörün önünde duran ana kontrol birimine bağlanır. Ayrıca yere 5 veya 10 m aralıkla yerleştirilen elektrotların da sırttaki alıcıya bağlanması gerekir.

VLF ölçümleri sırasında iyi sonuçlar elde edebilmek için, şu işlemlere dikkat edilmelidir.

1. Ayakta dik durulmalıdır; Her ne kadar VLF alıcısı kendi eğim dengeleyicisine sahip ise de, düşeyden 10^0 'den fazla sapmalar, sonuçların doğruluğunu etkileyebilir.

2. Okuma süresince hareketsiz durun; OMNI-PLUS, 5 s süreyle üç VLF istasyonu için ölçme yapacaktır. Bu süre içinde, en iyi sonuçları elde edebilmek için, operatörün hareketsiz kalması önemlidir. Bu süre, seçilen frekanslar ve istasyonların alan şiddetine bağlı olarak biraz değişebilir.

3. Operatörün yüzü ilerlediği doğrultuya dönmeli; ayrıca yeni yönü 60 dereceden fazla değiştirildiği zaman sistem yeniden başlatılmalıdır (Bu, operatörün 180 derece yön değiştirmesi

durumunda gerekmez).

4. Gereç çalışırken operatörün üzerinde ve civarında metalik cisimler bulunmaması gerekir.

Operatörün veri ile birlikte kaydetmeyi arzu ettiği doğal/kültürel özellikleri, SPECIAL anahtarı kullanarak hafızaya kaydetmek mümkündür. Bu yorumlama sırasında yararlı olmaktadır.

4.3.1. VLF Gerecinin Özellikleri

Ölçülerimizde kullandığımız OMNI PLUS VLF sistemi hafif, tek kişinin kullanabildiği arazi koşullarına dayanıklı bir gereçtir. Yapılan her okumada ölçüm kalitesi ve sinyal/gürültü oranı kaydedilir. Sonuçlar ekranda çubuk kod biçiminde görünür ve ölçümler ile birlikte iç bellekte saklanır. Bizim aldığımız ölçümlerde de genellikle iki veya üç çubuk görülmüştür. Eğer operatör belirli bir frekans için operatör kalitesi ve sinyal/gürültü oranının ne olduğunu görmeyi arzu ederse, FREQ. SELECT tuşuna basılmalıdır.

Cok istasyon izleme

OMNI-PLUS VLF sistemi ile farklı frekans ve yönlerdeki 3 ayrı radyo istasyonu yayınları izlenebilir. Ancak ölçüler başlatılırken sistemin istenilen frekanslara ayarlanması gerekir.

Eğer operatör ölçüm günü süresince frekanslardan birinin yayından çıktığını farkedirse, daha önce hafızalanan veri kaybolmaksızın frekanslardan birini veya bunların hepsini değiştirebilir. Frekansları değiştirmek için, operatör cihazı TEST moduna alır ve RECORD tuşlarından birine basar.

Eğer zayıf bir istasyon seçilirse, gereç daha kaliteli sonuçları oluşturmak için ölçüm süresini otomatik olarak artırır. Bir frekans için ölçüm periyodu 1 s den 10 s ye kadar değişebilir.

VLF Spektrumu

VLF spektrumu, 15.0 kHz den 30.0 kHz aralığı içinde var olan VLF frekanslarının kullanılabilir olup olmadığını saptamak için tasarlanmıştır. Alan şiddetlerinde, genellikle, 1.00'ın

üzerindeki değerler bir vericiye işaret eder.

Güçlü, yönü bilinen bir istasyon vericisi ölçümlerde 3. frekans olarak yer almalıdır. Ayrıca iki ayrı frekans seçilir ve 1 ve 2. frekanslar olarak girilebilir. Ölçmelerden önce gerecin kendini vericilere ayarlaması için sistem başlatılır. Bu işlem, 35 ile 45 saniye sürer. Başlatma işlemi tamamlandığı zaman, oto ayarlar normal yapılmışsa aşağıdaki gibi değerler elde edilecektir:

FAZ (PHASE)	67.7-73.7
QUAD	0.1 veya 0.2
ALAN (FIELD)	2000-4000
EĞİM (TILT)	01 den 17'ye

Sinyal şiddeti olarak, 16 veya 17 sayısı gözükürse verici zayıf olduğundan başka frekans seçilmelidir. 3. frekans altında güçlü sinyali kullanmanın nedeni derece değişimlerini karşılaştırmaktır.

Düzeltilme ve Ayarlama

Sistemle belli doğrultular üzerinde çalışırken arasına belli bağlanma noktalarında tekrar ölçü alınırsa ve aynı noktaya karşılık gelen değerlerde zamanla bir değişim varsa bellekteki program verileri isteğe bağlı olarak düzeltebilir. Ayrıca ilerleme yönü (N, E, S, W) veya tersi + veya - işaretlerle belirtilerek ilerleme uzaklıkları eklenebilir.

Hata Mesajları (Error Messages)

Sistemin performansını etkileyen iç ve dış problemlerin var olup olmadığını saptamada ve sistemin VLF kısmının bir problem çıkarması durumunda, bazı hata kodları,

1. Güçlü Parazit
2. Kötü Güç Kaynağı
3. Ram Hatası
4. Eğim İletme Sistemi Hatası
5. VLF Ayar Hatası
6. Öz direnç Ayar Hatası
7. Zayıf Sinyal

olup, bu hatalar ekranda görünür ve gerçek parametrenin yanısı-

ra yorum sırasında operatörün kullanımı için belleğe işlenir. Örneğin, "Güçlü Parazit" hatası UEI (VEI) olarak görünür ve 991 olarak hafızalanır. Hata kodları, VLF ASCII çıkışında kolon 45'i altında görülür.

Fraser Filtresinin Otomatik Hesabı

Grid hatları boyunca istasyonlar arasındaki aralığı önemsemeden, tilt verisine Fraser filtresini otomatik olarak hesaplar ve uygular.

Kazanç Ayarı

Kazanç ayarı, başlatma işlemi süresince görünen, Operatöre başlangıçta veya günün bir bölümünde, gereç ile alınan sinyalin ne kadar iyi olduğu belirten bir özelliktir. Kazanç ayar değerleri:

- | | | |
|-------|-----|---|
| 1-12 | ise | Sinyal VLF ölçümlerinde kullanılabilir. |
| 13-15 | ise | Kaydedilen sinyal zayıftır. |
| 16-17 | ise | Kullanmayınız. |

VLF gereci çalışırken, ölçüm zamanı seçilen frekanslar ve bunların kazanç ayarlarının ne olduğuna bağlıdır.

Derece Ölçülmesi

VLF programı, birincil alanın Operatörün duruşuna bağlı olarak yönünü ölçer ve hesaplar. Bu bilgi, alınan her okuma için hafızalanır ve birincil alan çizgilerinin yönünün iletken bir cisim ile değişip değişmediğini saptamada kullanılabilir. Operatörün döndüğü yön sıfır olup değer 0-90 derece arasında verilir ve operatörün sağında pozitif solunda ise negatif işaretlidir. Operatörün döndüğü yöne dik açılarda gelen bir sinyal 90 derece düşünülür. Diğer bir deyişle, birincil alan çizgileri, Operatörün döndüğü yöne paraleldir. Sistem yalnızca birincil alan çizgilerinin alıcuyu hangi açıda kestiğini söyleyebilir, ancak sinyalin, örneğin operatörün sağ veya solundan gelip gelmediğini söyleyemez.

4.3.2. Çalıştırma Kuralları

Arazi ölçümleri yapılırken arazideki doğrultular olabildi-

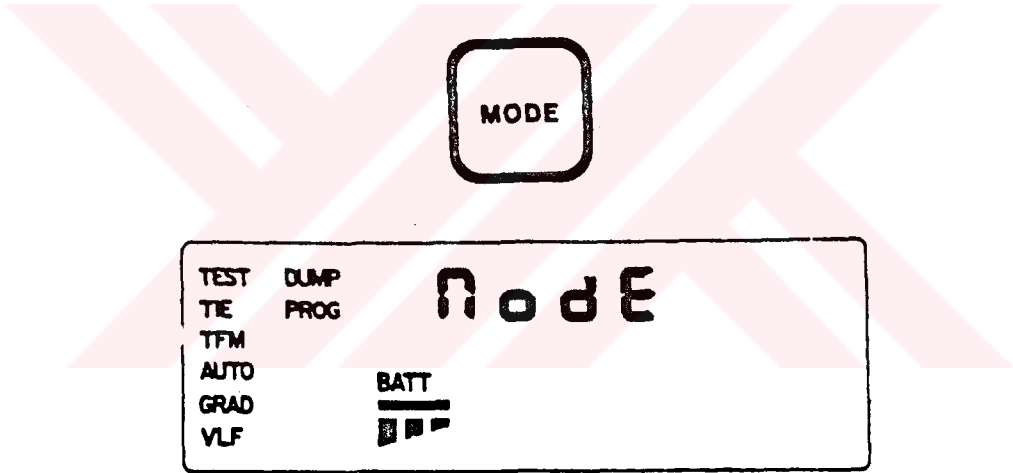
ğince verici kaynak ile ölçü noktasını birleştiren doğrultuya dik yönde seçilmeli ve operatör yüzünü arazide ilerleme doğrultusunda tutmalıdır.

OMNI-PLUS Uç VLF verici istasyonuna kadar aşağıdaki VLF parametrelerini ölçebilir ve kaydedebilir.

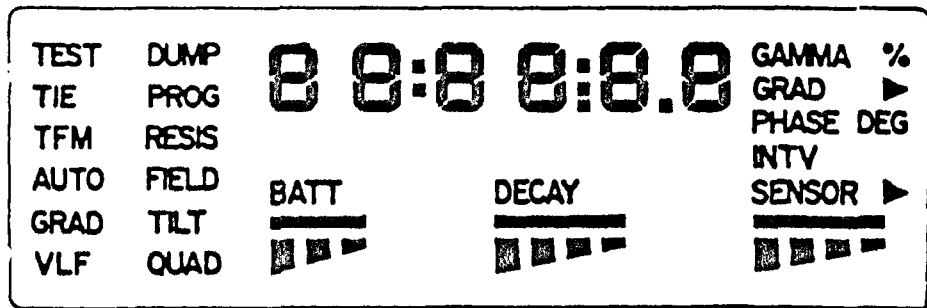
- . gerçel düşey bileşen (%) .sanal düşey bileşen (%)
- . toplam alan şiddeti (birim) .düşey dalım açısı (°)
- . birincil manyetik alan yönü (°) .görünür öz direnç (ohm.m)
- . faz açısı (°)

VLF ana kontrol biriminin özellikleri

Ana kontrol birimi üzerinde, sayısal LCD gösterge ve 13 pozisyonlu bir çalıştırma-"mod" tuşu, sol tarafta, 12 ayrı programlama tuşu ve sağ tarafta, 10 ayrı kayıt tuşu vardır (Şekil 4.6). MODE tuşuna basıldığında sistem çalışmaya başlar



Şekil 4.6. Ekranda görünen Mode Seçimleri.



Şekil 4.7. Likid Kristal Gösterge (LCD).

ve ekranda seçenekler görülür. OMNI-PLUS, herhangi bir anahtara basılmaz ise yaklaşık olarak 45 saniye sonra otomatik olarak kapanacaktır. OFF anahtarı istenilen anda sistemi kapatmak amacıyla kullanılabilir.

Likit kristal gösterge ve seçenekler Şekil 4.7'de görülmektedir. Likid kristal göstergede bulunan "mode" seçenekleri kısaca aşağıda irdelenmiştir.

TEST Seçeneği:Bu durumda, READ anahtarına basıldığında test alanı ekranda örneğin, 56369.7 gamma olarak görünür. Program belleği ayrıca bir teste de tabii tutulur. Ek olarak, ERROR anahtarına basıldığı zaman, matematiksel istatistik hata gerçekleşir (örneğin, LCD göstergesi .00 GAMMA). Sistemin VLF kısmı için, bobinlerin kalibrasyonu ve sistem kontrolü, başlatma işlemi bu TEST seçeneğinde yapılır. Genellikle, programlamaların hepsi (örneğin, doğrultu durumu ve zaman kontrolü) bu modda yerine getirilir.

VLF:Bu mod, operatör yalnızca VLF ölçümü yapmak istediği zaman kullanılır.

VLF+DUMP Seçeneği:Bu modda, arazide ölçülmüş olan veriler bellekten yeniden okunabilir. Bu modun, baud oranı 300'den 9600'a kadar programlanabilir ve uygun bağlantı ve yazılımlarla bilgiler bilgisayar üzerine aktarılabilir.

VLF+PROG Seçeneği:Bu modda, VLF verisinin, daha ayrıntılı bilgisayar işlemleri için ASCII formatında çıkış elde edilir.

BATT kelimesi ise normal operasyon süresince görünecektir. Bu, güç sisteminde uygun enerjinin varlığına işaret eder. BATT monitorü, bir dikdörtgen ve üç yamuk-şekilli çubukları içerir. Tamamen dolu pil sisteminde, üç çubuğun hepsi görünecektir. Azar azar, bir çok okumadan sonra, artık pil gücü ve ekranda çubuklar azalır. BATT yanıp sönmeye başladığı zaman, pilin süratle boşalma durumuna yaklaştığı konusunda operatörü uyarır. Ses alarmı harekete geçtiği zaman, pil değiştirilmeli veya şarj edilmelidir. Bu durumda okuma alma imkanı yoktur.

4.3.3. Tuşlar

Ana konsol sağlam, su geçirmez, "Repex" dirençli tuşlar ile donatılmıştır. Bu tuşlar iki bölüme ayrılır; birincisi gereci programlama; diğeri ise ölçme ve referans verisini kaydetmeye yarar.

Programlama Bölümü

Tuşların bu bölümü Şekil 4.8'de görülmektedir. Sistemi kapatan OFF anahtarı tek, geri kalanlar çift (ve bazen üç) fonksiyonludur.

TIME DATE: Anahtara bir kez basıldığı zaman, o güne ait gerçek zaman saati (HH:MM:SS), ikinci kez basıldığı zaman ise tarih (YY:MM:DD) görünür.

ERROR DATUM, FIELD GRAD, DRIFT, RF.FLD tuşları manyetometre seçeneğine ait özellikler için kullanılmaktadır.

RECALL (4): Bu anahtar, operatörün bellekte depolanmış veriye dönmesine izin verir. RECALL anahtarına basıldığı zaman, 6 (artan) ve 9 (azalan) anahtarı önceki veya sonraki okumaları göstermek için kullanılabilir.

LINE (7): Bu anahtar'a basıldığı zaman o anki hat numarası görünecektir. Bu pozitif veya negatif olabilir.

POS (8): Bu anahtara basıldığı zaman o anki pozisyon veya istasyon numarası görünecektir. Buda pozitif veya negatif olabilir.

SPACING (9): Alan ölçümleri sırasında bu anahtara basıldığı zaman, hatlar ve pozisyonlar arasındaki aralık görülebilir.

UPDATE: Bu anahtara basıldığı zaman hat numarası programlanmış hat aralığı ile otomatik olarak güncelleşecektir.

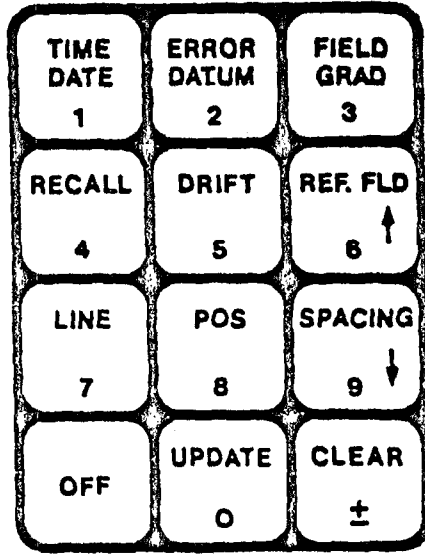
CLEAR ±: Bu anahtar, TIE, TFM, GRAD modlarından birinde bulunan veriyi silmek için kullanılır.

Kaydetme-VLF bölümü

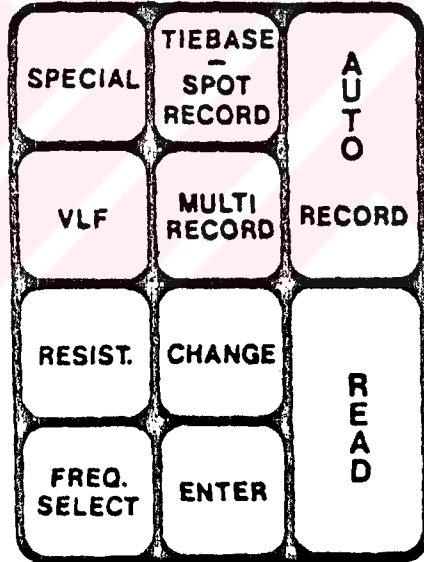
Bu bölüm, 10 anahtar içerir (şekil 4.14).

READ anahtarı: Birçok fonksiyonlar için gereci harekete geçirir.

TIEBASE-SPOT, MULTI ve AUTO RECORD tuşları, operatöre VLF



Şekil 4.8. Programlama Tuşları.



Şekil 4.9. Kaydetme-VLF bölümü

okumalarını sağlar ve belirlenen ölçü grid biçimine bağlı olan üç farklı türden biri ile veriyi kaydeder. Bir verinin depolanmasında, bu tuşlara iki kez basılmalıdır.

CHANGE ve ENTER tuşları, kullanıcıya, programlama tuşlarından birini sayısal değerle değiştirme izni verir.

SPECIAL: Ölçüm noktalarının birinde bir kültürel özellik birden 99'a kadar kodlanarak ROM içinde hafızaya konur.

Bir okuma alındıktan sonra, 00 görünürken SPECIAL tuşuna basılır. Arzu edilen kod, (programlama tuşları 6 ve 9) veya CHANGE tuşlarının kullanılması ile seçilebilir ve arzu edilen özelliğin numarası girilir (örneğin, 20-TEL). Kayıt tuşlarından biri kullanılarak ölçülen veri kaydedildiğinde özellik hafızalanır (örneğin, AUTO RECORD).

RESIST: Bu tuş, operatörün, ölçü alınan her üç istasyon için bellekte ölçülen VLF elektrik parametrelerini görmesine izin verir.

VLF: VLF anahtarına basıldığı zaman, ölçü alınan her üç istasyon için hafızalanmış olan VLF parametrelerini görülebilir.

FREQ.SELECT: Bu tuş, istenilen VLF istasyonlarını görüntüleme ve programlamada kullanılır. Bunun ile, 15.0 ile 30.0 kHz arasındaki herhangi bir frekans 0.1 kHz'lik artışlarla seçilebilir.

CHANGE: Bu anahtara basılmasıyla ilk olarak programlama bölümündeki tuşlar sayısal değerler alır. Yine bu anahtar ile programlama bölümünde ki parametreler değiştirilebilir.

ENTER: Bu tuş, bellek içine istenilen sayısal veriyi girme imkanı sağlar.

4.3.4. Sistemin "Başlatılması"

Bir noktada, ölçüye başlarken VLF alıcı bobinleri ayar gereksinimi duyarlar. Bunun için gereç ölçü alımına hazır hale getirildikten sonra, operatör seçmiş olduğu üç frekans için uygun yöne dönerek TEST konumunda bu frekansları ve elektrotlar arasındaki uzaklığı girer ve sistemi başlatır. Bu sırada ekranda "init" kelimesi görünecektir. Daha sonra cihazın sinyal sesinden sonra VLF anahtarına basılması ile işlem bitmiş olacaktır.

Artık VLF sistem bobinleri kalibre edilmiş durumdadır. Bu işlem yaklaşık olarak 30 saniye sürmektedir. Bu sürede operatör

hareketsiz dik durumda durmalı ve ses alarmı harekete geçmedikçe herhangi bir anahtara basmamalıdır. Kalibrasyon tamamlandığı zaman, ekranda 1 NNNN görünecektir, burada "NNNN", birinci frekans için kalibre edilmiş alan değeridir. İyi bir ölçü için değerler aşağıdaki sınırlar içinde olmalıdır:

ALAN (FIELD)	2000-4000	İndüklenmiş Kalibrasyon Alan Değeri.
FAZ (PHASE)	70.7±%3	Kanalların elektronik benzerliğini kontrolü Düzensiz çalışan bir kanal, hesaplanabilir değer dışındaki bir değer ile gösterilebilir.
QUAD	01 veya 02	VLF mod ayarı
TILT	01 den 17'ye	Kazanç Ayarı

Gün boyunca operatör, VLF sistemini gerektikçe kalibre etmeli ve VLF frekansını değiştirmelidir. Bazen operatör verinin tekrarlanabilirliğini saptamak için, aynı noktada ve aynı yönde çift okumalar yapmalıdır. Ayrıca, zıt yönde bir kaç ölçme (örneğin, 180°) yapılmalıdır. Gerçek faz ve sanal okumalar zıt yönde yapılan okumaların %1'i kadar fark edebilir. Elde edilen değerlerde büyük farklılıklar varsa (±%5), bu hatalı ölçümler yapıldığına işaret eder.

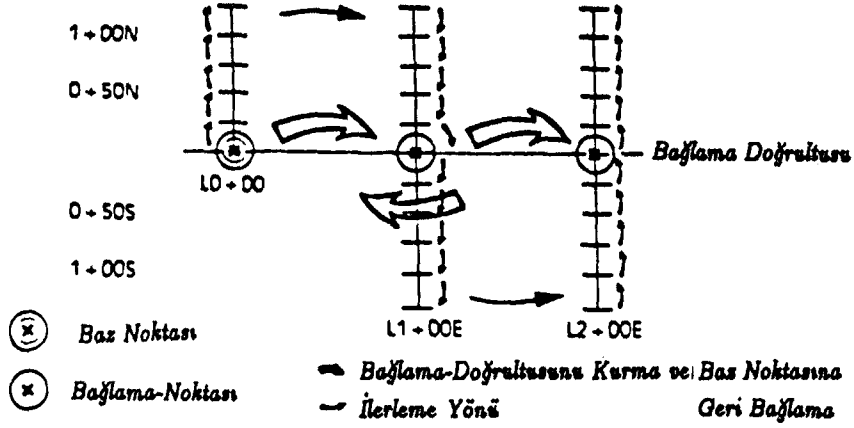
4.3.5. Ölçüm Yöntemleri

Hat-Bağlama Yöntemi

Bu ölçüm yöntemi için baz istasyonuna gerek yoktur. Bağlama hattı çoğunlukla ölçü grid hatlarının ortasına yerleştirilir.

Tie-point okuma kaydı, günlük değişimleri hesaplamak için aynı noktada bir veri deposu oluşturur. Sonuçta istenirse ölçülen okumalar da düzeltilebilir. Bu yüzden, her okumada, ölçü grid koordinatları da (örneğin, hat ve pozisyon) kaydedilmelidir. Hatalı veri silinmeli veya okumalar tekrarlanmalıdır. Baz referans noktasında okuma tie-line belleğinde hafızaya alınabilir ve seçilmesi ise VLF TIE Mod'u ile yapılır.

Kayıt alma, SPOT RECORD-TIE BASE anahtarı kullanılarak girilir. Burada, okuma kalitesinin kontrol edilmesi gerekir

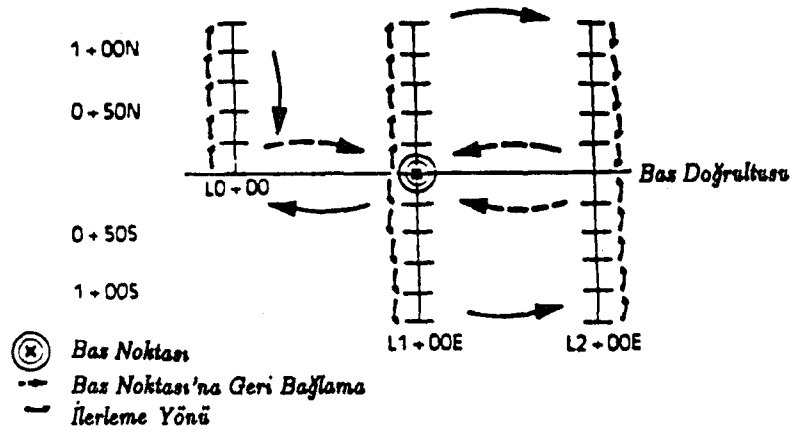


Şekil 4.10. Hat-Bağlama (Tie- Line) Ölçüm Yöntemi.

(örneğin, VLF operatör ve sinyal/gürültü kalitesi). OFF anahtarına basılması ile kötü bir okuma atılabilir. Daha sonra, baz referans noktası için SPOT RECORD veya tie noktaları için MULTI RECORD kullanılarak tekrar bir okuma alınabilir. Eğer çoklu okumalar için kalite kötü ise, iyi kalitede ve tekrar tekrar elde edilebilen bir lokasyondaki tie noktasına hareket edilmesi gerekir. Baz referans noktasının yeri manyetik değişimlerin olmadığı ve iletken olmayan bir sahada seçilmelidir.

LOOPING Yöntemi

Bu yöntem, çok sayıda tie point referanslarını seçme ve kayıt etme yerine, yalnızca tek referans noktasını kullanır. Daha çok küçük ölçüm sahalarına uygulanır. Looping ölçüm diyagramı Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Burada şunu belirtmede yarar vardır ki, Looping yöntemi kullanılmadan önce, tie-line belleği başlatılmalıdır. O zaman yalnızca baz referans noktası hafızaya alınacaktır.



Şekil 4.11. Looping Metodu.

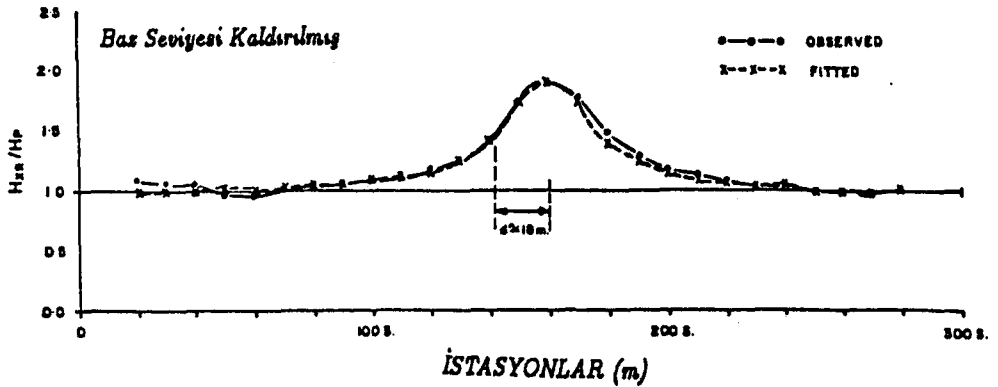
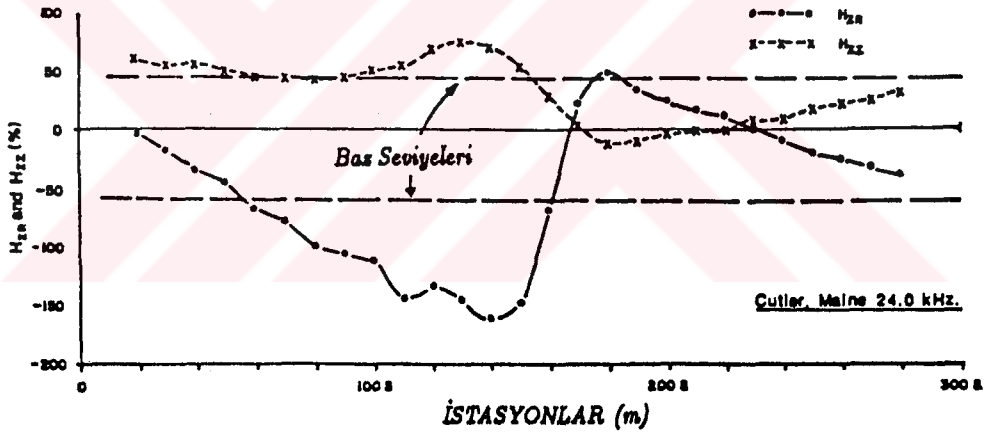
V. DÜNYADAN ÖRNEKLER

Ülkemizde çok az uygulanmış olmasına karşın VLF yöntemi Dünyada yaygın biçimde kullanılmaktadır. Aşağıda farklı amaçlı VLF uygulamalarından bazı örnekler verilmektedir.

5.1. Maden Aramaları

Şekil 5.1 de, Ontario, Sudbury yakınında Garson Offset bakır-nikel yatağı üzerinde alınan VLF verileri görülmektedir.

H_{ZR} ve H_{ZI} verileri bir iletkenin varlığına işaret eder. İletken üzerinde H_{ZI} bileşeninin işareti ters dönmektedir. Derinlik, H_{ZR} eğrisinden kolayca saptanabilir. Bu, en büyük değer yarıya düştüğü uzaklığa eşittir.

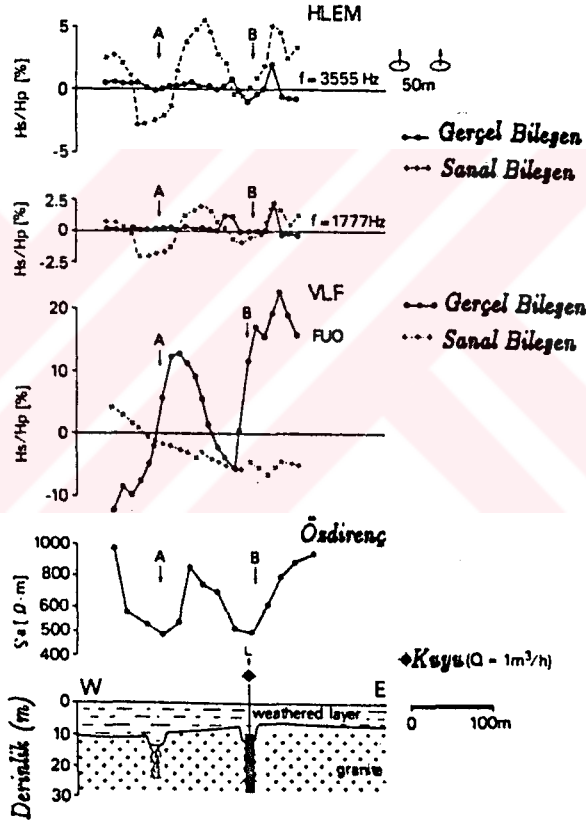


Şekil 5.1. Ontario, Sudbury, Garson Offset Yatağı üzerinde VLF aramaları (Scintrex VLF Interpretation Manual).

5.2. Yeraltı Suyu Çalışmaları

Afrika'da Yukarı Volta'da yeraltı suyu arama amacı ile yapılmış üç farklı jeofizik yöntemin sonuçları Şekil 5.2'de bir arada görülmektedir (Palacky ve diğ., 1981). Üstte iki ayrı frekans'ta "yatay bir elektromanyetik yöntem", ortada VLF (15.1 kHz verici) ve altta Schlumberger (AB/2=100 m) yöntemi ile yanal değişim grafikleri çizilmiştir.

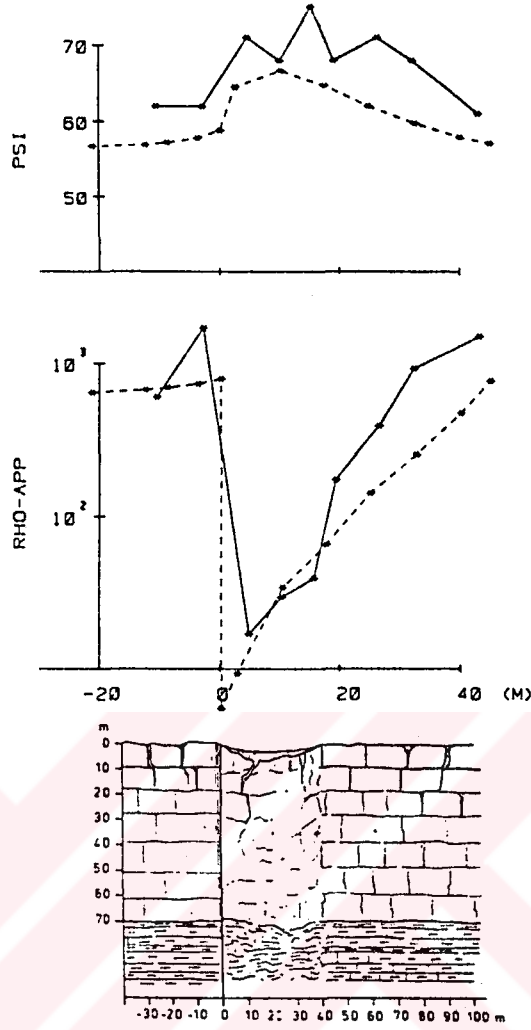
İncelenen bölgede su, killi bir örtü katmanı ile kaplı Prekambriyen granitler içindeki kırık ve çatlaklı zonlarda yer almaktadır. Çalışmalar sonucunda önerilen B noktasındaki sondaj ile 30 metreden 1 m³/saat debi'de su üretimi yapılmıştır.



Şekil 5.2. Afrika, Yukarı Volta'da yapılmış üç farklı Jeofizik yöntemine ait ölçümler (Palacky ve diğ., 1981).

5.3. Mühendislik Çalışmaları

Çok alçak frekanslı (VLF) Jeofizik arama yöntemi ile karstik jeolojiye sahip bir arazide Fisher ve diğ. (1983) tara



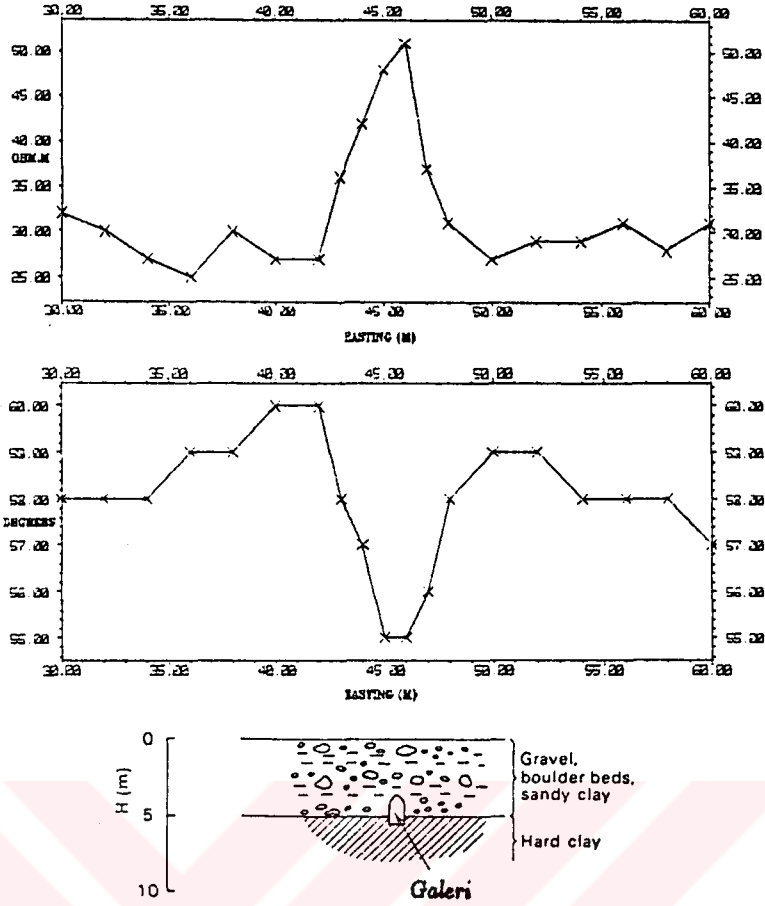
Şekil 5.3. VLF yönteminin karstik jeolojiye sahip yapılara uygulanması (Fisher ve diğ., 1983).

findan yapılan araştırma aşağıda verilmiştir. Bol kırıklı ve boşluklu yapıya sahip olan kireçtaşlarının mühendislik yapıları açısından incelenmesine iyi bir örnek oluşturur.

5.4. Arkeolojik Araştırmalar

Arkeolojik öneme sahip yapıların yerinin belirlenmesi, Jeofizik yöntemlerinin gittikçe daha çok uygulandığı bir alandır. Örnek olarak, Ogilvy ve diğ. (1991)'den alınan bir VLF araştırma sonuçları Şekil 5.4'de görülmektedir.

İspanya, Alcalá'da 3.5-40 m derinde az kumlu kil katmanları içinde açılmış olan 1 x 1.5 m ebadında eski bir galerinin

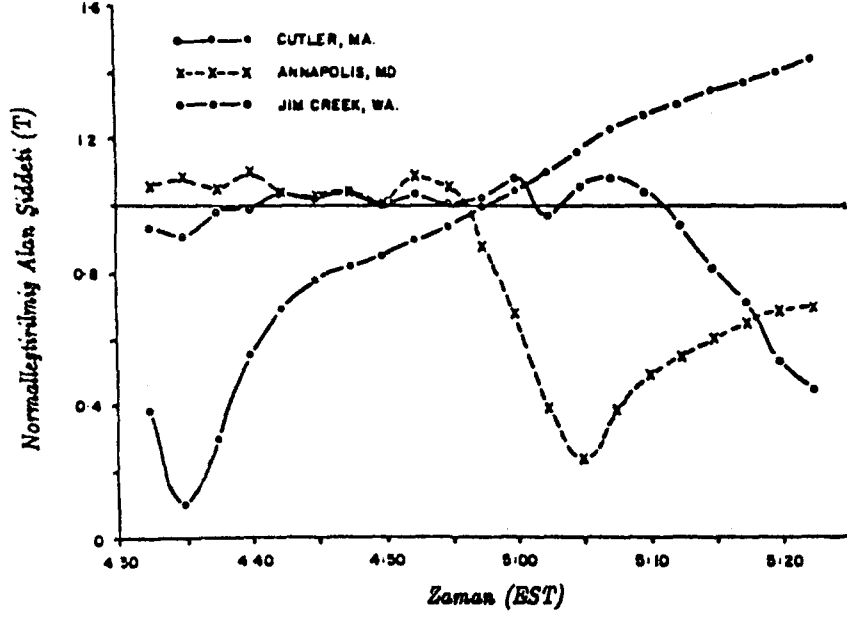


Şekil 5.4. İspanya Alcalá da, yapılan bir arkeolojik araştırma (Ogiliviy ve diğ., 1991).

arazide ne yönde devam ettiği incelenmiştir. VLF yöntemi, gömülü galerinin yerini, gerek görünür öz direnç (üstte) ve gerekse faz (altta) ölçümleri ile açıkça belirlemektedir. Konu edilen araştırmada galeri 100 m'den daha uzaklara kadar izlenilmiştir.

5.5. İyonosferik Çalışmalar

Şekil 5.5 de, sabahın erken saatlerinde, üç VLF istasyonundan alınan alan şiddetinin zamanla değişimi görülmektedir. İstasyonlar, Cutler, Maine; Annapolid, Maryland; ve Jim Creek, Washington olup alan şiddetleri 4.57 deki değere göre normalize edilmiştir. Güneş ışınları ve iyonosfer arasındaki etkileşimin sonucu olarak alan şiddeti değişmektedir. Gerçekten, iyonosferik D-katmanı geceleyin kaybolur ve bu yayılan VLF dalgalarının yolu dolayısı ile şiddeti değişir.



Şekil 5.5. Ontario, Sudbury'den aynı gözlem noktasında VLF alan şiddeti değişimleri (Scintrex VLF Interpretation Manual).

VI. İ.Ü. AVCILAR KAMPÜSÜ VLF ARAŞTIRMASI

İ.Ü. Jeofizik Mühendisliği Bölümü jeoelektromanyetizma laboratuvarına "Elektromanyetik ve Termik Yöntemlerle Jeotermal Araştırmalar-91K121050" isimli DPT projesinden alınan (İlkışık, 1992) VLF cihazı ile Avcılar kampüsü alanında İşletme Fakültesi önünden başlayıp Meslek Yüksek okulu önüne kadar uzanan bir doğrultu boyunca başta elektrik öz direnç ve diğer 6 VLF parametresinin değişimi izlenmiştir. Ayrıca 1989-90 öğretim yılında Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nce yürütülen kamp stajında, ölçü alınan doğrultunun yaklaşık olarak ortalarında Schlumberger öz direnç yöntemi ile alınan verilerle kıyaslama yapılmıştır.

6.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

İ.Ü. Avcılar Kampüsü Avcılar Köyü civarında, 1.200.000 metrekare büyüklüğünde bir alandır (Bahtiyar, 1971) ve Topkapı'ya yaklaşık 25 km uzaklıkta olup Küçükçekmece gölünün güneybatı kıyısında yer almaktadır. Kuzeyinde Firuzköy, güneyinde de Avcılar bulunan arazinin içinden, Gümüşpınarı mevkiinde, Kodova deresi geçer. Arazinin göl kıyısında 1-1.5 km'lik bir cephesi olup, batıya doğru yavaşça yükselerek 80-90 m yüksekliğe sahip sırtlara kadar uzanmaktadır. Sırtlar düz, yamaçlar ise basamaklı bir yapı gösterir.

6.1.1. Jeolojik Özellikler

İ.Ü. Avcılar Kampüsü arazisi, Senozoyik'e ait Üst Miyosen devrinin Sarmasiyen katında oluşmuş kayalardan oluşur. Yöredeki kalınlıklarının 130-140 m olduğu düşünülen bu katmanlar, Eosen'e ait fosilli (millit, Mercan ve Mollusk) Kireçtaşlarından oluşmuş bir temel üzerinde diskordan olarak yer almaktadır.

Vadide, kıyı kesiminde bulunan kavrık kum, çakıl ve killerden meydana gelen ince bir alüvyon örtüsü ise en üst

zaman Kuvarterner yaşıdır.

Sarmasiyen formasyonu, alttan üst'e doğru şu katmanlardan oluşmaktadır.

A- Alt Kil ve Marn'lar: Bu katmanlar, kum-kil ve kalkerlerden oluşan Eosen temel üzerinde diskordan olarak durmaktadır. Toplam kalınlıkları 50-60 m olup koyu yeşil renktedirler. Gri renkli serinin üst seviyeleri, kumlu ve siltli tabakalara geçişlidir.

B- Mikalı ince Kumlar: Yaklaşık 40-50 m kotlarında yüzeylenen bu kumlar sarı renkli ve çapraz tabakalı olup toplam kalınlıkları 5-10 m arasında değişmektedir. Bu tabakaların içinde, yer yer kalınlıkları 5-15 cm olan kil-marn mercikleri bulunur. Genelde Kuvars'dan ibaret olan bu kumlar içinde, sütlü kuvars, Kalsedon, Jasp, Çakmaktaşı, Feldspat (az miktarda) ve mika (çoğunlukla Muskovit) pulları bulunmaktadır. Yoğunlukları 2700 kg/m^3 olarak bulunmuştur.

C- Üst Kil ve Marn'lar: Özellikle mika'lı kumların üzerinde görülen bu tabakalar koyu gri yeşil renktedirler. Litolojik özellikler bakımından, kumların altındaki kil ve marn'lara çok benzerler. Alt kil ve marn'ların üst kısımlarıyla, üst kil ve marnların alt kısımları; Kumlu Kil, Siltli Kil ve Kumlu Marn halini almıştır.

D- Fosil'li (Macra'lı) Kalkerler: "Bakırköy" taşı olarak da bilinen bu fosil'li kireçtaşları, içlerinde, lamelli Branşlar'dan bol miktarda macra fosil kabukları veya iç kalıpları bulunmaktadır. Nadiren de bir Gastropod olan Melanopsis fosili ihtiva ederler.

6.1.2. Tektonik Özellikler

Bölgede gözlenen belirttiğimiz katmanlar, genellikle yatay ve yataya yakın (az eğimli) olarak gözlenmektedir. Formasyon kontaklarının, topografik eğrilere paralel gidişleride bunu göstermektedir. Özetle büyük ölçüde tektonik hareketlere maruz kalmadığı söylenebilir. En büyük tabaka eğimi yakındaki kum ocağında ölçülmüş olup $8-10^\circ$ 'yi geçmemektedir.

STFA raporuna göre (Bahtiyar, 1971) arazide belirgin ve büyük ölçekte bir fay gözlenmemiştir. Yalnızca kum ocağı civarında düşey atımı 50-60 cm'yi geçmeyen fay'lara rastlanmıştır. Ancak bölgede çok sayıda heyelan bulunmaktadır. Sarmasiyen yaşlı bu kayaçların içindeki faylanma ve bükülmelerin küçük ölçekte ve önemsiz olmasına karşın yumuşak oynak bir zemin olması nedeniyle heyelan ve deprem açısından dayanıksız bir zemindir. Genellikle Küçükcekmece ve Avcıların deniz tarafında sıkça kaydedilen küçük manyitüdü deprem odakları yer almaktadır.

6.1.3. Yeraltı Suyu ile ilgili Özellikler

Kil ve Marn'lar, kumlar ve mactra'lı kalkerler; nöbetleşe sıralandıkları için, sahadaki bir akifer'in oluşumunu sağlayabilirler. Az eğimli kil-marn seviyeleri, belirli kotlarda, özellikle yamaçlarda topografik düzlemlerle kesildiğinden, buralarda yer yer kaynak veya sızıntılara rastlanmaktadır.

6.2. Jeofizik VLF Çalışmaları

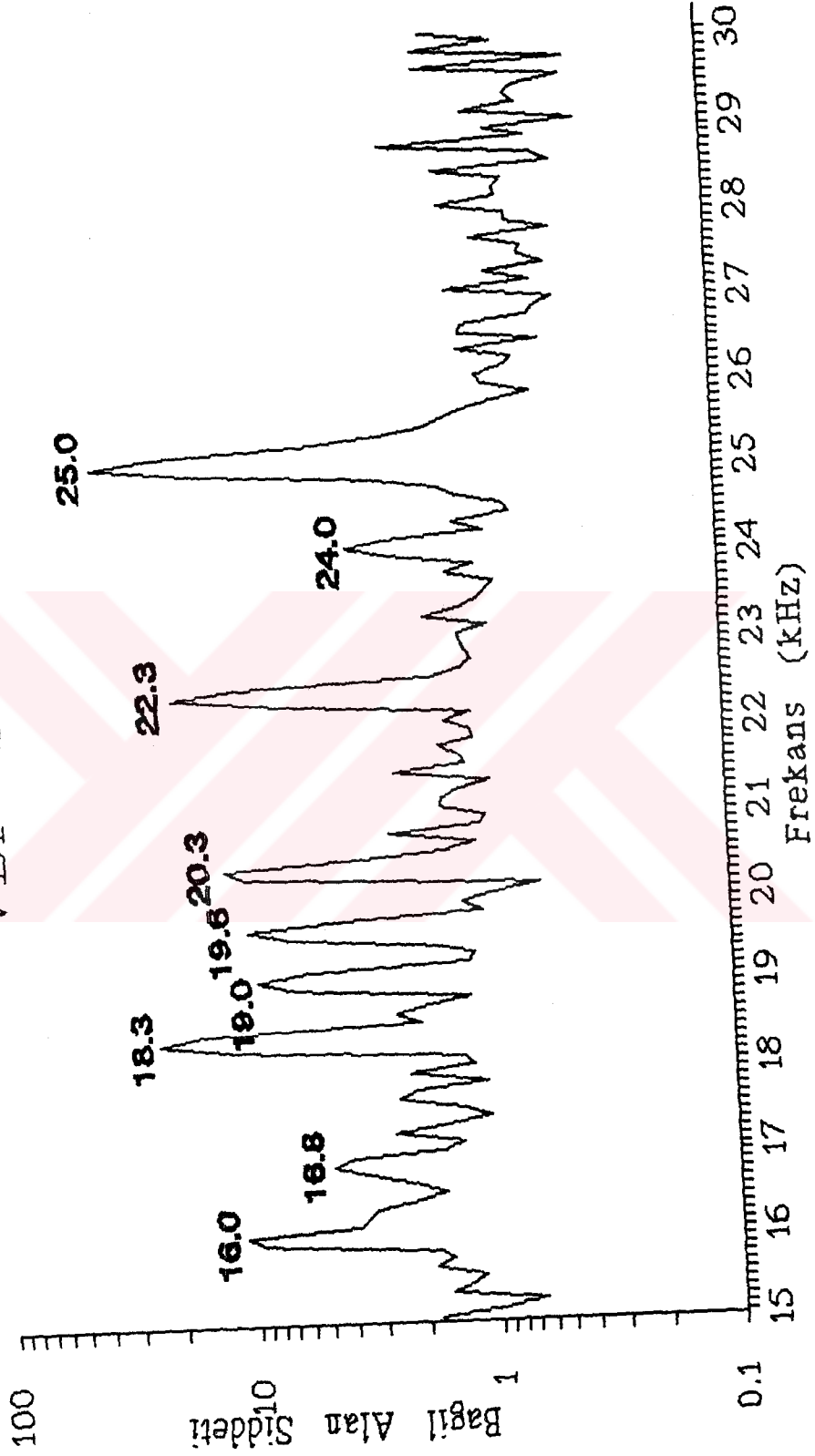
Bu çalışmaya esas olan bir DPT projesi çerçevesinde (İlkişik, 1992) İ.Ü. Jeofizik Mühendisliği Bölümü jeoelektromanyetizma laboratuvarına satın alınan Scintrex OMNI-PLUS VLF cihazı ile 15.0-30.0 kHz frekans aralığında yayın yapan radyo istasyonlarının sinyalleri kullanılarak araştırma yapılmıştır. Önce, sözü edilen gereç ile Avcılar kampüsünde bu radyo yayınlarının hangilerinin hangi frekans ve bağıl alan şiddetinde kaydedilebildiğini belirlemek amacı ile 7 Eylül 1992 tarihinde saat 15:00'de bir spektrum incelemesi yapılmıştır. Elektrodlar arasındaki mesafe 10 m seçilmiş VLF cihazı N 340 °E doğrultusuna yönlendirilmiştir. Uygun ölçüm prosedürü kullanılarak, 15.0 kHz frekansından başlayıp her seferinde frekansı otomatik olarak 0.1 kHz artırmak suretiyle 30.0 kHz frekansına kadar ki bağıl alan şiddetleri saptanabilir. Bu bilgiler Şekil 6.1 çizilmiş olup görüldüğü gibi Kampüs alanında 9 ayrı frekansta yayınım yapan radyo istasyonları algılanmıştır. Ortamdaki VLF

gürültü düzeyi 0.5-2 arasında olup araştırmada kullanılabilecek uygun sinyal şiddetleri 8-15 arasındadır. Avcılar Kampüsü'nde en yüksek bağıl alan şiddeti 36.8 olarak 25.0 kHz frekansında, daha sonra ise sırasıyla 23.37 ile 18.3 kHz ve son olarak 18.79 ile 22.3 kHz frekanslarında ölçülmüştür. Yukarıda bahsedilen 9 frekans'ın hepside kullanılabilir. Ancak araştırılacak saha ve aranan yapıya ve yöne uygun olarak üç frekans seçilebilir. Birde radyo vericisinin bakım ve yayın saatlerine dikkat edilmelidir. Çalışmalarımızda daha çok 16.0 kHz ve 19.6 kHz deki yayınlar kullanılmıştır.

Bölge genellikle tekdüze killi yatay katmanlardan oluşmaktadır, bu nedenle yöne bağlı değişimler ancak sinyal değişiminden olacaktır. Bu amaçla İ.Ü. Avcılar Kampüsünde ikinci uygulama olarak, bir noktada farklı yönlerde alınacak ölçümlerden VLF ve öz direnç parametrelerinin nasıl etkileneceğini saptamak amacıyla, ilk iş olarak bir baz noktasında sırasıyla 19.0 kHz, 20.3 kHz ve 22.3 kHz frekansları için farklı yönlerde ölçümler yaptık. Şekil 6.2'de gösterildiği gibi VLF OMNI-PLUS cihazı 1.yön olarak N 340 °E azimut doğrultusunda yönlendirilmiştir, bu yönlendirme yapıldıktan sonra, o noktaya ait üç frekansta VLF parametreleri olan bağıl alan şiddeti, Tilt, faz ve sanal bileşen, öz direnç parametreleri olan öz direnç, birincil alanın yönü, ve faz değerleri ölçülmüştür. Sonra 2. bir yönde ölçme almak amacıyla N 18.5°E dönülmüştür ve yine bu noktada 4 VLF ve 3 öz direnç parametresi ölçülmüştür. Son kez olarak'da yine operatör konumunu koruyarak N 273 E dönülmüş ve üç frekans için 7 ayrı parametre ölçülmüştür.

Şekil 6.3a'da 19.0 kHz frekansı için 1.yön, 2.yön ve 3.yön için elde edilen görünür öz direnç eğrisini vermektedir. Burada görüleceği gibi 1.yön için öz direnç değeri 6.17 ohm.m ve 2.yön için 7.79 ohm.m iken üçüncü yönde görünür öz direnç değeri büyük bir sapma gösterip 135.4 ohm.m değerine çıkmaktadır. Daha önceki jeofizik (Schlumberger) çalışmalarından bilindiği gibi bol killi bu kayalar üzerinde ve kullanılan frekanslarda

AVCILAR, 7 EYLUL 1992, SAAT 15:00
VLF SPEKTRUMU



Şekil 6.1. I.U. Avcılar Kampüsü'nde 15.0-30.0 kHz frekans aralığında elde edilen VLF Spektrumu.

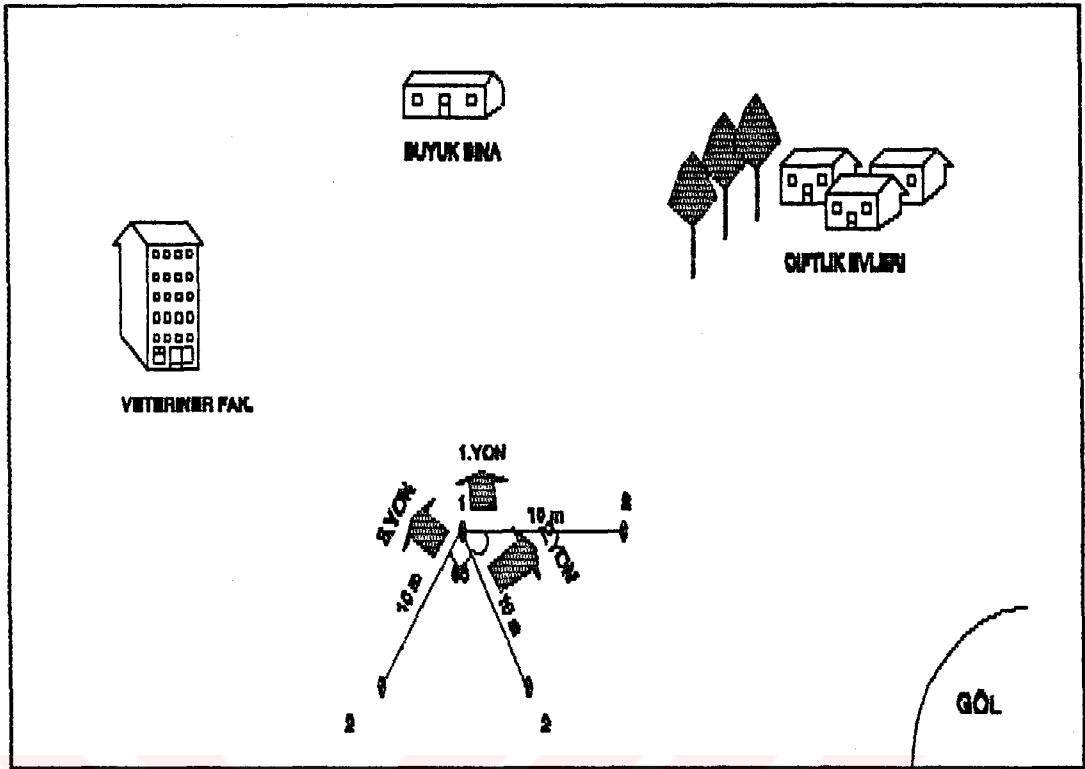
beklenen görünür öz direnç 10 ohm.m civarında dır. Yani 1. ve 2. yöne ait ölçümler daha doğrudur. 3. yön yani N 273°E ölçüm noktası verici doğrultusuna dik yönde olması beklenen H_p sinyalinin sorunlu olduğu dolayısı ile ölçümlerin hatalı olduğu yöndür.

Şekil 6.3b ise yine 19.0 kHz frekansı için üç yönde elde edilen faz değerlerini vermektedir. Şekilde görüleceği gibi faz değişimi 18.2 derece den başlayıp yöne bağlı olarak düzgün bir artış göstermektedir.

Şekil 6.4a,b yine 19.0 kHz frekansı için elde edilen sanal bileşen ve Tilt açısı eğrilerini vermektedir. Yine burada da görüleceği gibi gerek sanal bileşen ve gerekse Tilt açısı değerleri 1. ve 2. yön için uyumlu bir değişim gösterirken 3. yön için Tilt açısında daha fazla olmak üzere anormal bir azalma göstermektedir. Sanal bileşenin ilk iki yönde sıfıra yakın çıkması bulunduğumuz litolojik ortamın tekdüzeliğini yansıtır.

Benzeri bir deney 20.3 kHz frekansı için de yapılmıştır. Gerek 19.0 kHz ve gerekse 20.3 kHz frekansında elde edilen görünür öz direnç, faz açısı, toplam alan şiddeti, alanın faz'ı, sanal bileşen ve tilt açısı değerlerinde 1. (N 340°E) ve 2. (N 18.5°E) yönler için elde edilen sonuçlar birbirleriyle uyumlu ve beklenen sınırlar içinde kalmaktadır. Bu deney araştırma yaparken seçilen vericinin yönünün bilinmesindeki önemi yansıtmaktadır.

İlk olarak 7 Eylül 1992 tarihinde alınan VLF spektrumunda (Şekil 6.1) bulunan radyo istasyonlarının sürekli yayında olup olmadığını ve en uygun araştırma frekanslarını saptamak amacı ile, 3 ay sonra aynı noktada, yine 10 m elektrod aralığı ile N 321°E azimutuna dönülerek bir spektrum ölçümü daha yapılmıştır (Şekil 6.5). Elde edilen bu VLF Spektrumu 7 Eylül 1992 tarihli VLF Spektrumu ile karşılaştırıldığında 17.5 kHz'de 3.23, 18.1 kHz'de 2.11, 21.4 kHz'de 1.21, 23.0 kHz'de 13.02 ve 23.4 kHz'de 34.31 bağıl alan şiddetinde istasyonların varlığı gözlenirken 7 Eylül tarihli VLF Spektrumunda bu istasyonlar bulunmamaktadır.

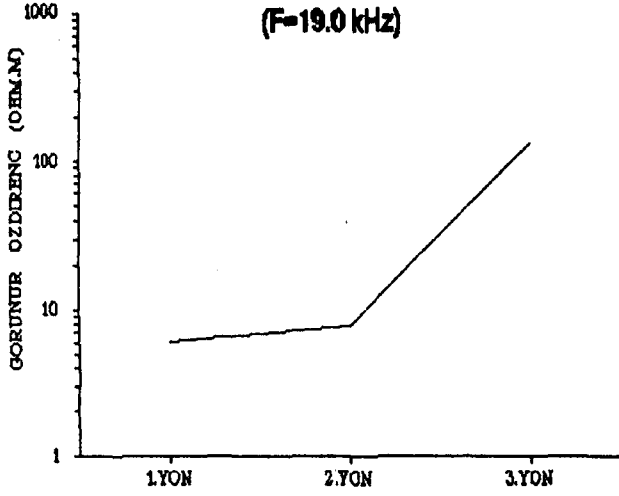


Şekil 6.2. 1.Ü. Avcılar kampüsü'nde N 340°E (1), N 18.5°E (2) ve N 273°E (3) yönlerinde sırasıyla 19.0, 20.3 ve 22.3 kHz frekanslarında alınan VLF ölçümleri.

Bunun yanında 7 Eylül tarihli spektrumda 19.0 kHz'de 9.09, 20.3 kHz'de 12.01, 22.3 kHz'de 18.79 bağıl alan şiddetinde istasyonlar bulunurken 13 Ocak tarihli spektrumda bunlar gözükmemektedir. Bu ise çalışılan bir alanda spektrumdaki değişimlerin daima kontrol edilmesi gerektiğini gösterir.

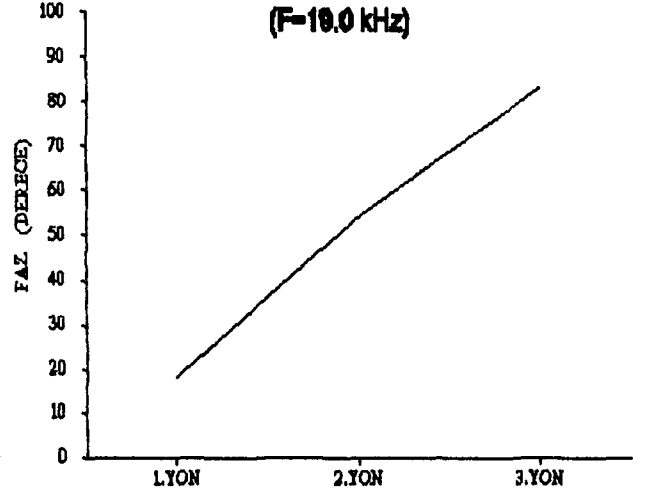
VLF Spektrumu elde edildikten sonra, seçilen 460 m'lik bir doğrultu boyunca alınacak ölçümlere esas olacak frekanslar olarak sırasıyla 16.0 kHz, 19.6 kHz ve 23.4 kHz seçilmiştir, bu frekanslarda bağıl alan şiddetleri ise yine sırasıyla 11.21, 8.10 ve 34.31 olarak bulunmuştur. Ek 1'de gösterilen doğrultu boyunca ölçümlere başlayabilmek için seçilen frekanslar da cihaz'ın VLF bobinlerinin ayarlama işlemi yapılmıştır. Daha sonra bu frekanslar esas alınarak ve elektrodlar arasındaki

AVCILAR, 12 OCAK 1993, SAAT 12:00



a)

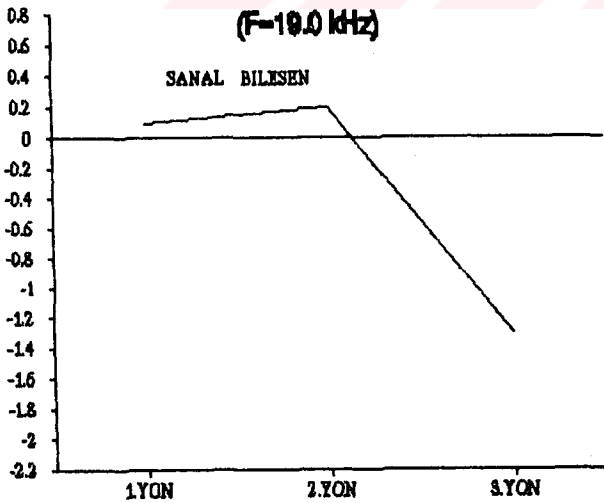
AVCILAR, 12 OCAK 1993, SAAT 12:00



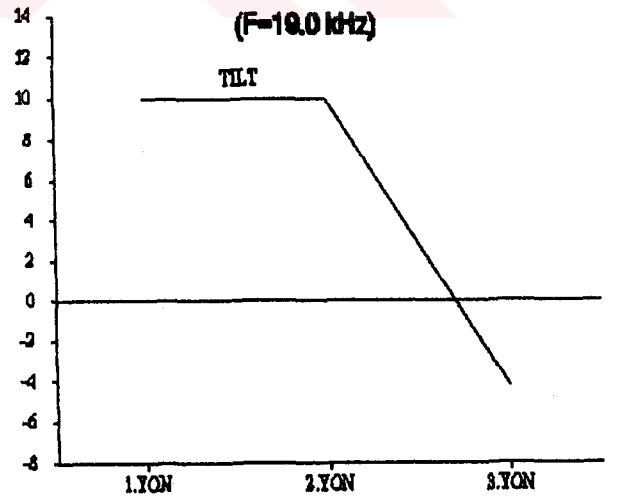
b)

Şekil 6.3. İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde 19.0 kHz frekansı için farklı üç yönde alınmış a) Görünür özdirenc değerleri b) derece cinsinden faz değerleri.

AVCILAR, 12 OCAK 1993, SAAT 12:00



AVCILAR, 12 OCAK 1993, SAAT 12:00



Şekil 6.4. İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde 19.0 kHz frekansı için üç farklı yönde elde edilmiş a) Sanal bileşen (%) değerleri b) Tilt açısı (°) değerleri.

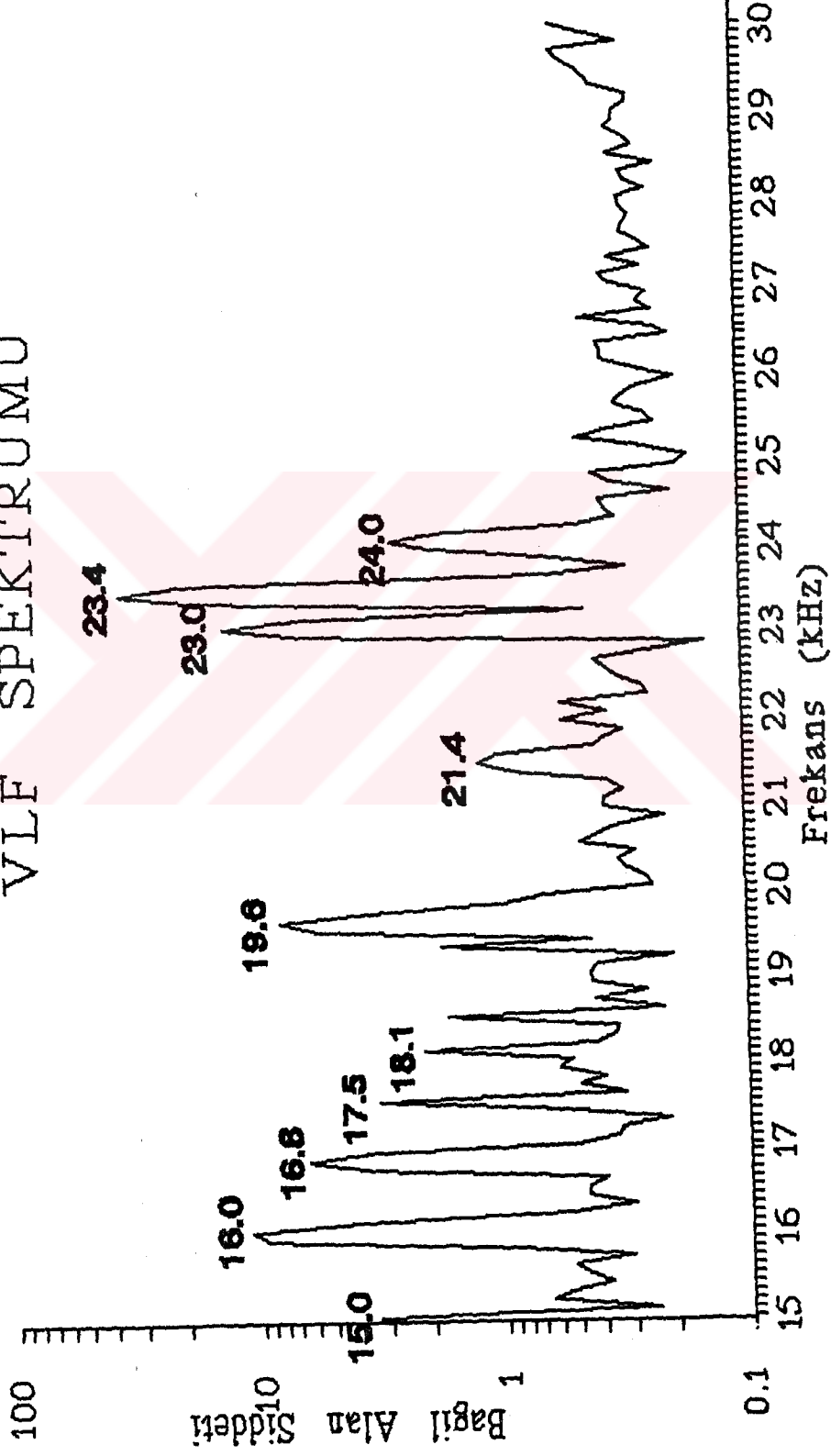
uzaklık 10 m seçilerek belirlenen doğrultu boyunca noktalar arasında 10 m aralıklarla N 231⁰ E azimut doğrultusu boyunca 46 noktada VLF parametreleri olan, alanın şiddeti, tilt açısı, alanın fazı (°) ve sanal bileşen (%) değerleri ile öz direnç parametreleri olan görünür öz direnç (ohm.m), alanın yönü ve faz açısı (°) ölçümü yapılmıştır.

Şekil 6.6a, Ek 1 'de verilen doğrultu boyunca 46 noktada 16.0 kHz frekansında elde edilen görünür öz direnç eğrisi görülmektedir. Ölçülerin alındığı doğrultunun yönü N 321⁰ E olup manyetik alan ölçümleri bu doğrultuda, 10 m aralıklı elektrotlar ise bu doğrultuya dik olarak yerleştirilmiştir. Eğriden görüleceği gibi, ilk düşük öz direnç değeri ilk noktada ve 8.1 ohm.m olarak bulunmuştur. Daha sonra 50. m'de doğrultu boyunca elde edilen en düşük öz direnç değeri olan 0.11 ohm.m elde edilmiştir, bu ise bu noktada bir iletkenin varlığına veya ölçümleri etkileyen bir yüksek gerilim hat'ına işaret edebilir. Yine 80. m'de de öz direnç değeri azalıp 0.53 ohm.m olmaktadır. 80. m ile 250. m ler arasında bağıl olarak yüksek öz dirençler gözlenmektedir. 260. ve 290. m'lerde ise yine öz direnç değerinde bir miktar azalma gözlenmektedir. 50. m'den sonra en fazla öz direnç azalması 340. m'de olup 0.42 ohm.m lik bir öz direnç bulunmuştur, yine bu noktada da bir iletken varlığı düşünülmektedir. Bu noktadan sonra ise öz direnç değerinde artış meydana gelmekte ve 450. m'den sonra tekrar azalmaya başlamaktadır.

Şekil 6.6b ise 16.0 kHz frekansı için derece olarak faz değişimini göstermektedir. Burada dikkati çeken en önemli olay, Şekil 6.6a'da 50. m'de iletkenliğin artmasına karşın, Şekil 6.6b'de de 50. m'de faz değerinde önemli bir yükselme görülmektedir. Yine Şekil 6.6a'da 340. m civarında iletkenliğin nispeten artmasına karşın Şekil 6.6b'de de faz eğrisinde 340. m civarında faz değerinde bir miktar düşüş görülmektedir. Bu değerden sonra ise faz değerleri normal bir değişime göstermektedir.

Şekil 6.7a, doğrultu boyunca 16.0 kHz frekansı için elde edilen Alan şiddeti, Tilt açısı, Faz ve sanal bileşen eğrileri-

AVCILAR, 13 OCAK 1993, SAAT 15:00
VLF SPEKTRUMU



Şekil 6.5. I.Ü. Avcılar Kampüsü'nde 15.0-30.0 kHz frekans aralığında alınan VLF Spektrumu.

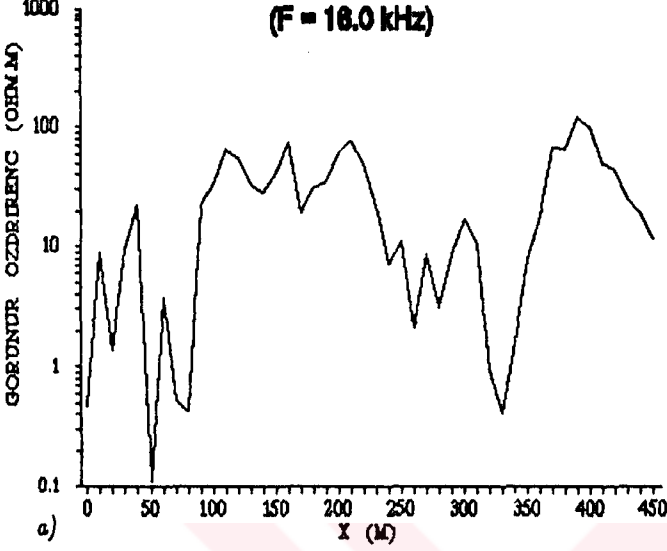
ni göstermektedir. Burada ilk dikkati çeken olay, alanın normal bir biçimde sabit olmasıdır, ancak yine de zamanla alan şiddetinde çok az bir azalma görülmektedir. Bu olası iyonosfer etkisidir. 230 m civarında tilt, faz ve sanal bileşen değerlerinde birbirine paralel şekilde bir azalma görülmektedir. Bunun yanında 350. m'de tilt, faz ve sanal bileşen değerlerinde birbirine paralel şekilde bir artış görülmektedir. Burada 400. m'den sonra ise her üç değerde bir artış trendi görülmektedir. Bu olay belkide topografyada artan eğimle ilişkilidir.

Şekil 6.7b ise 19.6 kHz frekansında doğrultu boyunca elde edilen görünür özdirenç değerlerini göstermektedir. Yine burada da ilk noktada ortamın genel özdirençine göre düşük bir değer olan 1.25 ohm.m lik özdirenç daha sonra ise 30. m'de 1.91 ohm.m lik özdirenç elde edilmiştir. Burada ilginç olan doğrultu boyunca 50. m'de elde edilen en düşük değer olan 0.29 ohm.m lik özdirençdir. Hatırlanırsa 16.0 kHz frekans'ında da 50. m'de böyle düşük bir özdirenç değeri elde edilmişti. Yine 90. ve 190. m'lerde sırasıyla 0.50 ve 18.62 ohm.m lik özdirençler bulunmuştur. Şekil'de görüleceği gibi, 270 m civarında özdirenç 1.10 ohm.m değerine ve 340 m civarında ise özdirenç 0.42 ohm.m değerine düşmektedir. Bu noktadan itibaren ise görünür özdirenç değerinde sürekli bir artış görülmekte ve 400. m'de en yüksek değerine ulaşmakta ve daha sonra yine özdirençte azalma eğilimi görülmektedir. Burada 16.0 kHz ile 19.6 kHz frekansları için 50. ve 340. m'lerde görünür özdirenç değerlerinin düşüşü birbirlerini desteklemektedir. Ayrıca 19.6 kHz frekansında 270 m'de de özdirenç azalması görülmektedir. 16.0 kHz'in nispeten daha derine nüfuz etmesi nedeniyle son iletkenin daha sığ ve yerel olduğu söylenebilir.

Şekil 6.8a'da ise 19.6 kHz frekansı için derece olarak faz değişimini göstermektedir. Burada da dikkati çeken önemli olay, Şekil 6.7b'de 50. m'de iletkenliğin artmasına karşın, Şekil 6.8a'da da 50. m'de faz değerinde önemli bir yükselme görülmektedir. Yine Şekil 6.7b'de 270 m civarında iletkenliğin nispeten artmasına karşın Şekil 6.8a'da da faz eğrisinde 270 m civarında

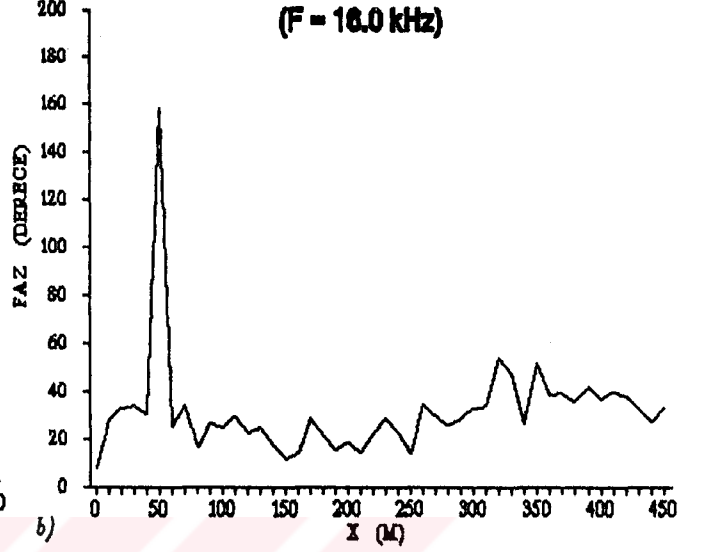
AVCILAR, 13 OCAK 1993, SAAT 15:00

(F = 16.0 kHz)



AVCILAR, 13 OCAK 1993, SAAT 15:00

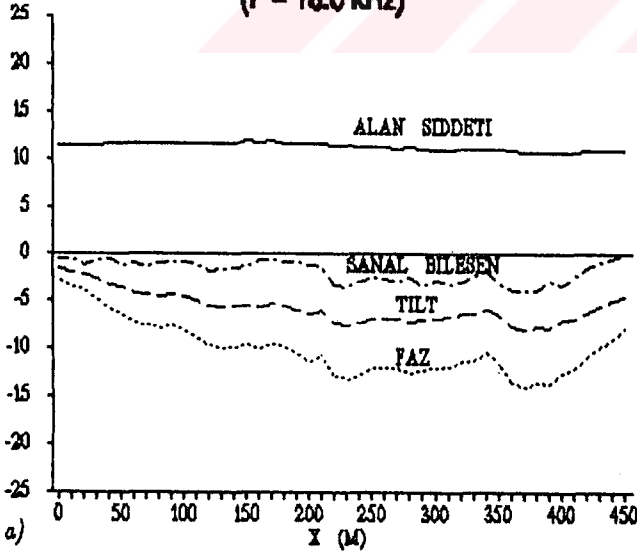
(F = 16.0 kHz)



Şekil 6.6. İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde 16.0 kHz için doğrultu boyunca elde edilen a) Görünür Özdirenç (ohm.m) değerleri b) Faz (°) değerleri.

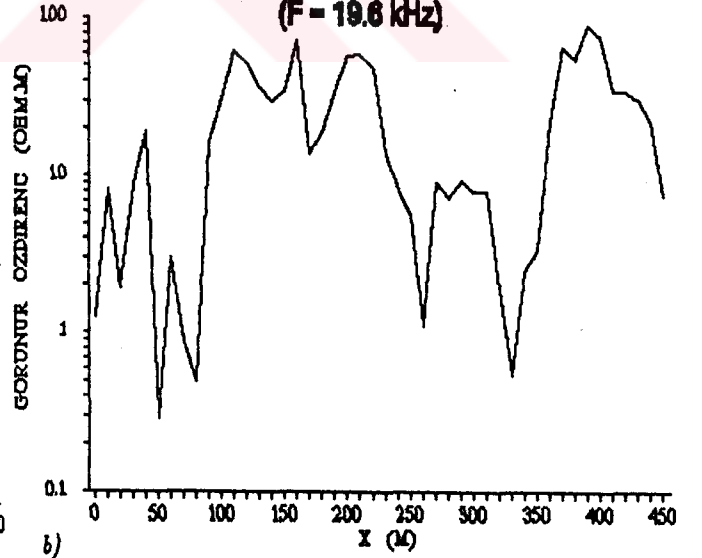
AVCILAR, 13 OCAK 1993, SAAT 15:00

(F = 16.0 kHz)



AVCILAR, 13 OCAK 1993, SAAT 15:00

(F = 19.6 kHz)



Şekil 6.7. İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde a) 16.0 kHz frekansı için doğrultu boyunca elde edilen Alan Şiddeti (birim), Sanal bileşen (%), Tilt açısı ve Faz (°) eğrileri b) 19.6 kHz frekansı için elde edilen görünür özdirenç eğrisi.

faz değerinde önemli bir artış görülmektedir. Bunun yanında, 340. m'de faz değerinde az miktarda artış görülmektedir. Burada 16.0 ile 19.6 kHz frekanslarında 50. m faz değerlerinin yükselmesi birbirlerini desteklemektedir. Yalnızca 19.6 kHz frekansında 80. ve 270. m'de de faz artışları görülmektedir. Bu farklılık nüfuz derinliği veya verici yönünden kaynaklanabilir.

Şekil 6.8b, 19.6 kHz'de doğrultu boyunca elde edilen Alan şiddeti, Tilt açısı, Faz ve sanal bileşen eğrileri görülmektedir. Başlangıçta esas alınan alan şiddeti normal bir değişim gösterirken ileri saatlerde çok az miktarda azalma göstermektedir. Bu da iyonosferin güneşin batışına bağlı etkisi olabilir. Şekil'den görüleceği gibi 40. m civarında sanal bileşen değerinde bir miktar artış görülürken faz açısından bir miktar daha fazla artış görülmektedir. 200. m'de sanal bileşen değerinde ani bir artış göstererek pozitif değer almaktadır. 340. m civarında ise tilt, faz ve sanal bileşen değerlerinde birbirine paralel şekilde bir artış görülmektedir. Burada 400. m'den sonra ise her üç değerinde bir artış trendi görülmektedir.

Bu ölçümlerin genel yorumu belki 50. m ve daha kesin olarak 350. m civarında önemli bir yeraltı yapısının bulunduğu dur.

İlk ölçümlerden yaklaşık 4 ay sonra yine aynı alan ve doğrultu üzerinde (Ek 1) ikinci bir grup ölçüm yapılmıştır. Bu kez bobinler doğrultu yönüne dik tutulurken (N 231° E) elektrotlar 10'ar metre ara ile doğrultu boyunca kaydırılmıştır. Ölçümlerde sırasıyla 16.0, 19.6 ve 24.0 kHz frekanslarındaki yayınlar verici olarak kullanılmıştır.

Şekil 6.9a, 16.0 kHz frekansı için elde edilen görünür öz direnç eğrisini göstermektedir. Burada ilk göze çarpan elektrotlar EW yönünde açıldığında (doğrultuya dik) görünür öz dirençte görülen değişimlerin NS uzanımında yani doğrultu boyunca görülmemesidir. Yalnızca 120, 170 ve 200. m'lerde görünür öz direnç değerlerinde bir miktar azalmalar görülmektedir. Halbuki EW yönlü ölçümlerde bu noktalarda her iki frekans'da da önemli bir değişim görülmemektedir. Daha sonra 350. m'de özdi-

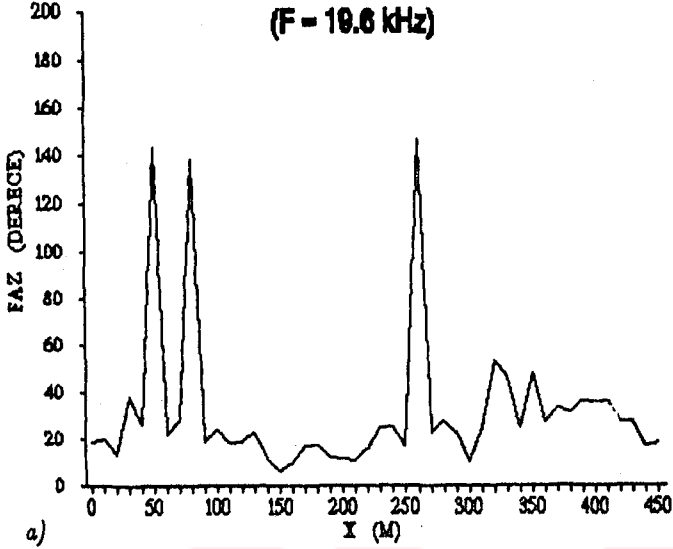
renç değerinde bir artış görülmektedir. Bunun nedeni elektrod- lar NS yönünde açıldığı zaman yuvarlatma etkisinin yada daha doğrusu (E-paralel) durumunun görülmesidir (Arazi yüzeyindeki yerel hendek v.s. ler EW yönünde uzanmaktadır).

Şekil 6.9b, 16.0 kHz frekansında elde edilen derece cin- sinden faz eğrisini vermektedir. Burada önemli bir faz değişimi ilk olarak 120. metre de ani bir yükseliş ile görülmektedir. Yine faz değişimi normal değişimini sürdürürken 200. m'de faz değerinde büyük bir artış meydana gelmektedir. Burada şuna dikkat edilmelidir ki, Şekil 6.9a'da 120. ve 200. m'de görünür öz direnç değerinde bir miktar düşüş olurken Şekil 6.9b'de de 120 ve 200. m'lerde faz değerinde artışlar meydana gelmektedir.

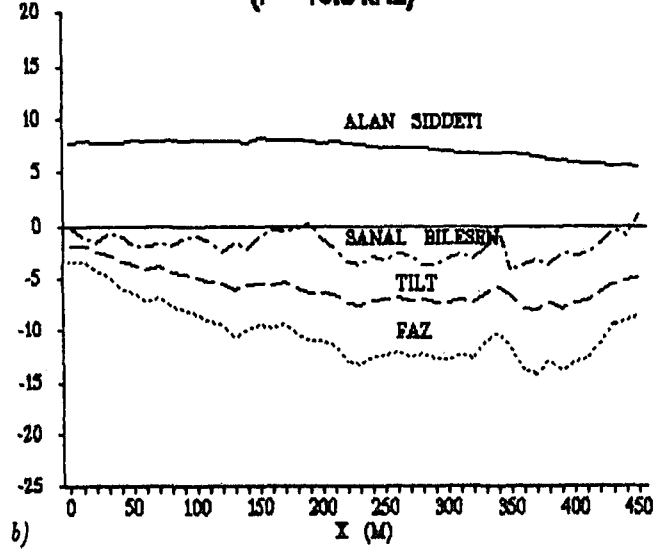
Şekil 6.10a, 16.0 kHz frekansında elde edilen toplam alan şiddeti, sanal bileşen, tilt açısı ve faz eğrilerini göstermek- tedir. Burada alan şiddetinde zamanla fazla bir değişim olma- makla birlikte ileri noktalarda çok az miktarda bir azalma görülmektedir. Bunun yanında hem sanal bileşen hem tilt açısı ve hemde faz açısı değerlerinde, ilk noktadan 90. m'ye kadar birbirine paralel bir azalma göstermektedir. 90. m'de ise her üç değerde ani az miktarda bir azalma vardır. Daha sonra 100, 200 ve 350. m'lerde her üç değerde ani bir artış görülmektedir. Yine burada da dikkati çeken gerek Şekil 6.9a'da 200. m'de öz direnç'de meydana gelen azalma ve gerekse Şekil 6.9b'de 200. m'de görülen artışa karşılık Şekil 6.10a'da da 200. m'de sanal bileşen, tilt açısı ve faz değerinde bir artış meydana gelmek- tedir.

Şekil 6.10b, doğrultu boyunca alınan ikinci grup ölçümler- den 19.6 kHz frekans'ında elde edilen görünür öz direnç eğrisini vermektedir. Burada dikkati ilk çeken özellik görünür öz direnç değişiminin 16.0 kHz frekansı için elde edilene benzer (ve NS yönlü ölçümlere ters) bir değişim göstermesidir. Burada 10, 120 ve 200. m'lerde öz direnç değerlerinde bir azalma görülmektedir. Bunun yanında yine 16.0 kHz frekansına benzer olarak 350. m'de öz direnç değerinde bir artış meydana gelmiştir. 450. m'den itibaren'de öz direnç azalmaya başlamıştır.

AVCILAR, 13 OCAK 1993, SAAT 15:00

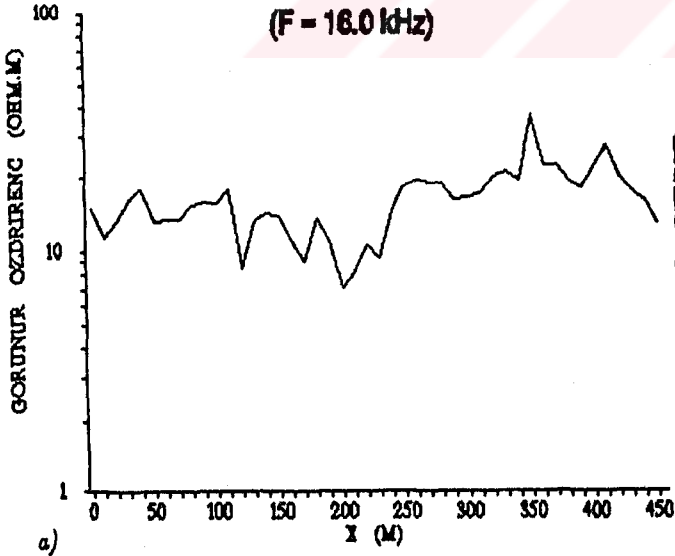


AVCILAR, 13 OCAK 1993, SAAT 15:00
(F = 19.6 kHz)

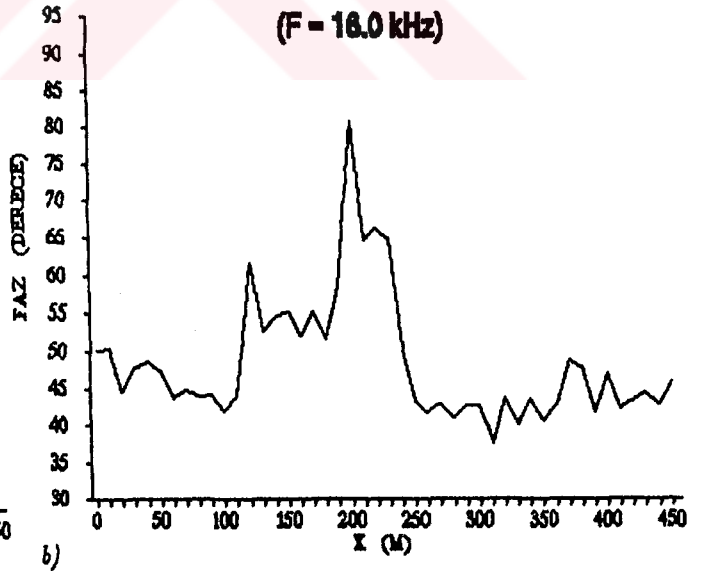


Şekil 6.8. İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde 19.6 kHz frekansı için doğrultu boyunca elde edilen a) Faz ($^{\circ}$) değerleri b) Alan şiddeti, Sanal bileşen (%), Tilt açısı ve Faz ($^{\circ}$) değerleri.

AVCILAR, 25 OCAK 1993, SAAT 13:10



AVCILAR, 25 OCAK 1993, SAAT 13:10



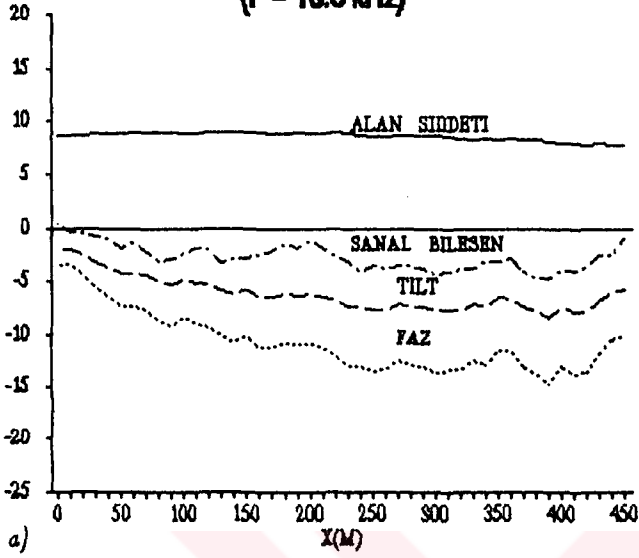
Şekil 6.9. İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde 16.0 kHz frekansı için doğrultu boyunca elde edilen a) Görünür öz direnç eğrisi b) derece cinsinden faz eğrisi.

Şekil 6.11a, 19.6 kHz frekans'ında incelenen doğrultu boyunca 46 nokta için elde edilen derece cinsinden faz değişimini göstermektedir. Burada da Şekil 6.9'a benzer bir sonuç elde edildiği görülmektedir. Faz, 10 ve 50. m'lerde az miktarda bir değişim gösterirken, 120 ve 200. m'lerde faz değerinde büyük artışlar meydana gelmektedir. Yine bu noktalarda faz değerinde meydana gelen değişimler Şekil 6.10b'de aynı noktalarda öz direnç azalmalarına karşılık gelmektedir. 370. m'de ise faz değerinde az miktarda artış vardır.

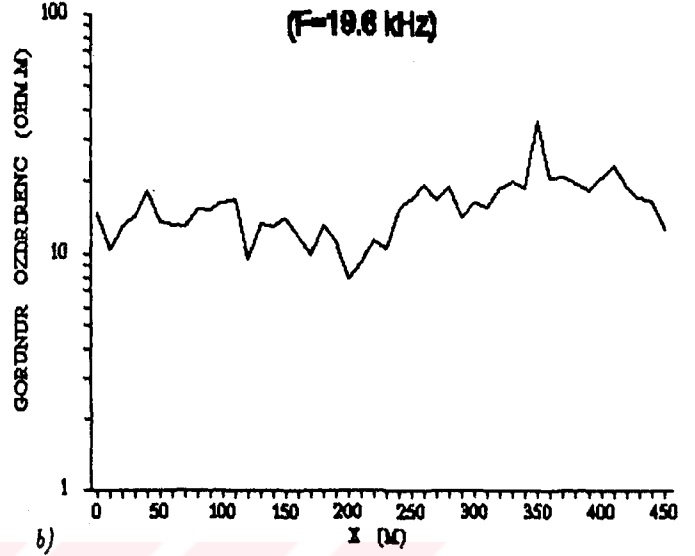
Şekil 6.11b, 19.6 kHz frekans'ında elde edilen alan şiddeti, sanal bileşen, tilt açısı ve faz eğrilerini göstermektedir. Burada yine her zaman olduğu gibi alan şiddeti ilerleyen zamanla çok az miktarda azalma göstermektedir. Sanal bileşen, tilt ve faz değerleri ise her biri söylendiği sıraya göre az orta ve biraz daha fazla olmak üzere birbirine paralel değişmektedir. Bunun yanında 200. m'de her üç değerinde de bir miktar artış görülmektedir. 350. m'de ise yine her üç değerinde önce bir artış daha sonra ise bir azalma görülmektedir, buda hafif bir anomalinin varlığına işaret eden önceki bilgileri destekler. Yine burada sözü edilen noktalarda Şekil 6.10b'de öz direnç değerlerindeki düşüş ve Şekil 6.11a'da faz değişiminde meydana gelen artışlara karşılık sanal bileşen, tilt açısı ve faz değerlerinde de bir artış görülmektedir.

Şekil 6.12a, 16.0 kHz frekans'ı için inceleme doğrultusu boyunca (EW) ve ona dik (NS) yönde ölçülen görünür öz direnç eğrilerini birlikte göstermektedir. Burada açık bir şekilde EW yönlü uzanımda görülen birçok olayın NS yönlü uzanımda görülmemesidir. Örneğin EW uzanımında ilk noktada ve 20. m'de öz direnç değerinde ki önemli bir azalmaya karşılık NS uzanımında herhangi bir değişim görülmemektedir. Yine EW üzerinde 50, 270 ve 340. m'lerde görülen öz direnç değerlerindeki azalım ve bunlara karşılık gelen faz değerlerindeki artış, NS uzanımında görülmemekte ve hem görünür öz direnç ve hemde faz değerleri, normal eğri ile uyumlu değişimler göstermektedir. Bu da yüzeydeki

AVCILAR, 25 OCAK 1993, SAAT 13:10
(F=18.0 kHz)

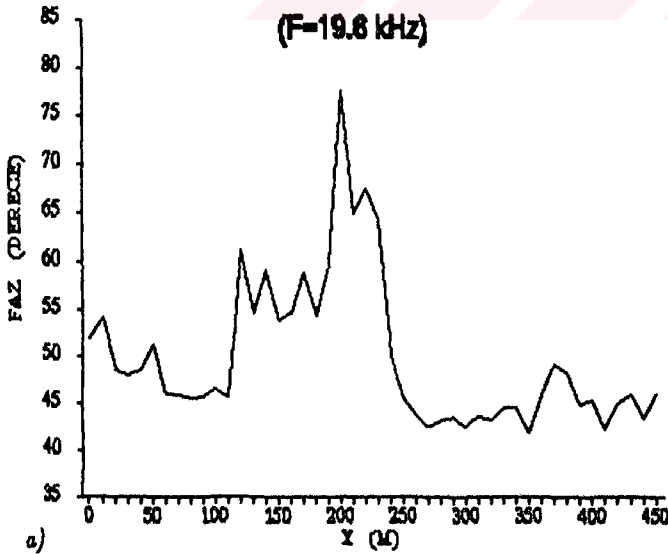


AVCILAR, 25 OCAK 1993, SAAT 13:10
(F=19.6 kHz)

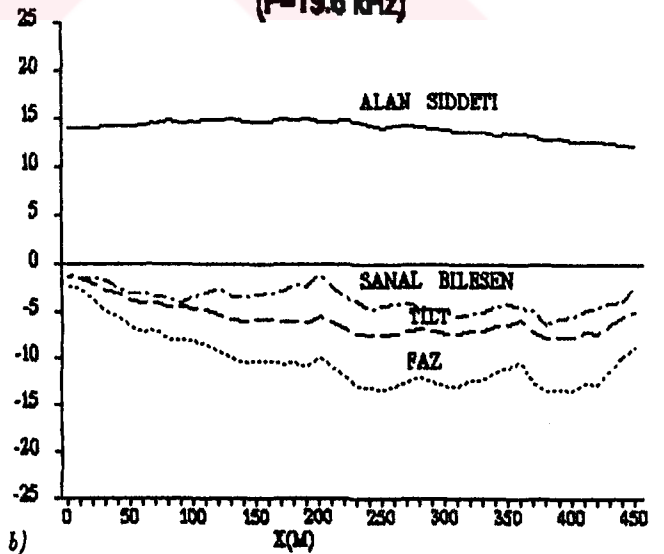


Şekil 6.10. İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde a) 16.0 kHz frekansı için elde edilen Alan Şiddeti, Sanal bileşen (%), Tilt ve Faz açısı ($^{\circ}$) değerleri b) 19.6 kHz frekansı için elde edilen Görünür Öz direnç değerleri.

AVCILAR, 25 OCAK 1993, SAAT 13:10



AVCILAR, 25 OCAK 1993, SAAT 13:10
(F=19.6 kHz)



Şekil 6.11. İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde 19.6 kHz frekansı için elde edilen a) derece cinsinden faz değerleri b) Alan Şiddeti, Sanal bileşen (%), Tilt ve Faz ($^{\circ}$) değerleri.

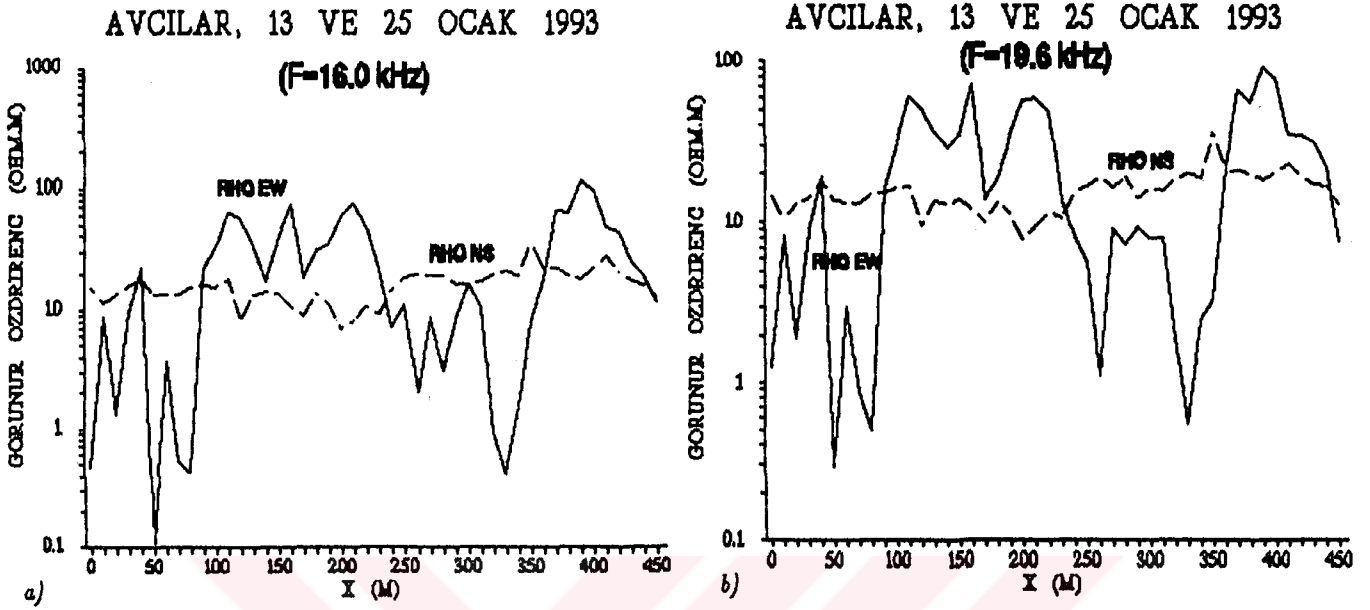
yerel bozukluklara paralel ve dik ölçümden ve NS yönlü elektrodunun yuvarlatılmış bir ρ_a okumasından ileri gelebilir.

Şekil 6.12b, 19.6 kHz frekansında EW ve NS uzanımı için elde edilen görünür öz direnç eğrilerini vermektedir. Burada da 16.0 kHz frekansına benzer olarak yine EW yönlü uzanımda görülen birçok olayın NS yönlü uzanımda da görülmemesidir. Yine EW uzanımında ilk noktada ve 20. m'de öz dirençlerde ki önemli bir azalmaya karşılık NS uzanımında herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Burada da 50, 270 ve 340. m'lerde görülen öz direnç değerlerindeki azalım ve bunlara karşılık gelen faz değerlerindeki artış, NS uzanımında görülmemekte ve hem görünür öz direnç ve hemde faz değerleri, normal eğri ile uyumlu değişimler göstermektedir. Ancak burada şu noktaya dikkat edilmelidir ki, eğer doğrultu boyunca anizotropi değerinin değişimi 50, 250 ve 340. m lere karşı gelen bölgelerde anomaliye yol açan bir neden olduğuna işaret eder. Ayrıca genelde Sarmasiyen yaşlı kil-silt malzemesinin yatay ve tekdüze olarak dağıldığı deney doğrultusu boyunca 4 ay aralıkla ölçülen diğer VLF parametreleri oldukça sabit biçimde 10-15 ohm.m değerini vermiştir. Arazideki topografik uzanımların (hendek) ve gömülü heyelan kanallarının doğrultuya dik yönde uzanması nedeniyle (EW) yönlü ilk ölçümlerde ani değişimler daha belirgindir.

İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde 1989-1990 öğretim yılında yapılan arazi uygulamaları süresince alınan Schlumberger Öz direnç ölçümlerinden elde edilen eğri ve bunlara ait yorum Şekil 6.13'de verilmektedir. Sondaj orta noktası ve açılım yönü Ek 1'de işaretlidir. Sonuçlar VLF sonuçları ile de iyi bir uyum içindedir.

Ele aldığımız frekanslarda (16.0 ve 19.6 kHz) ölçülen ortalama görünür öz direnç (16 ohm.m) nüfuz derinliği (sırasıyla d_1 ve $d_2 \approx 15$ m) kadar olmaktadır. Şekil 6.13 deki Schlumberger modeli üstte 4.1 m (5.4 ohm.m) lik katmanlara işaret eder ki bunların uygun bir ortalaması (toplam iletkenlik 6.5 ohm.m) hemen hemen bizim bulduğumuz değer 16 ohm.m ile uyumaktadır.

İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde diğer bir uygulama olarak, heye-

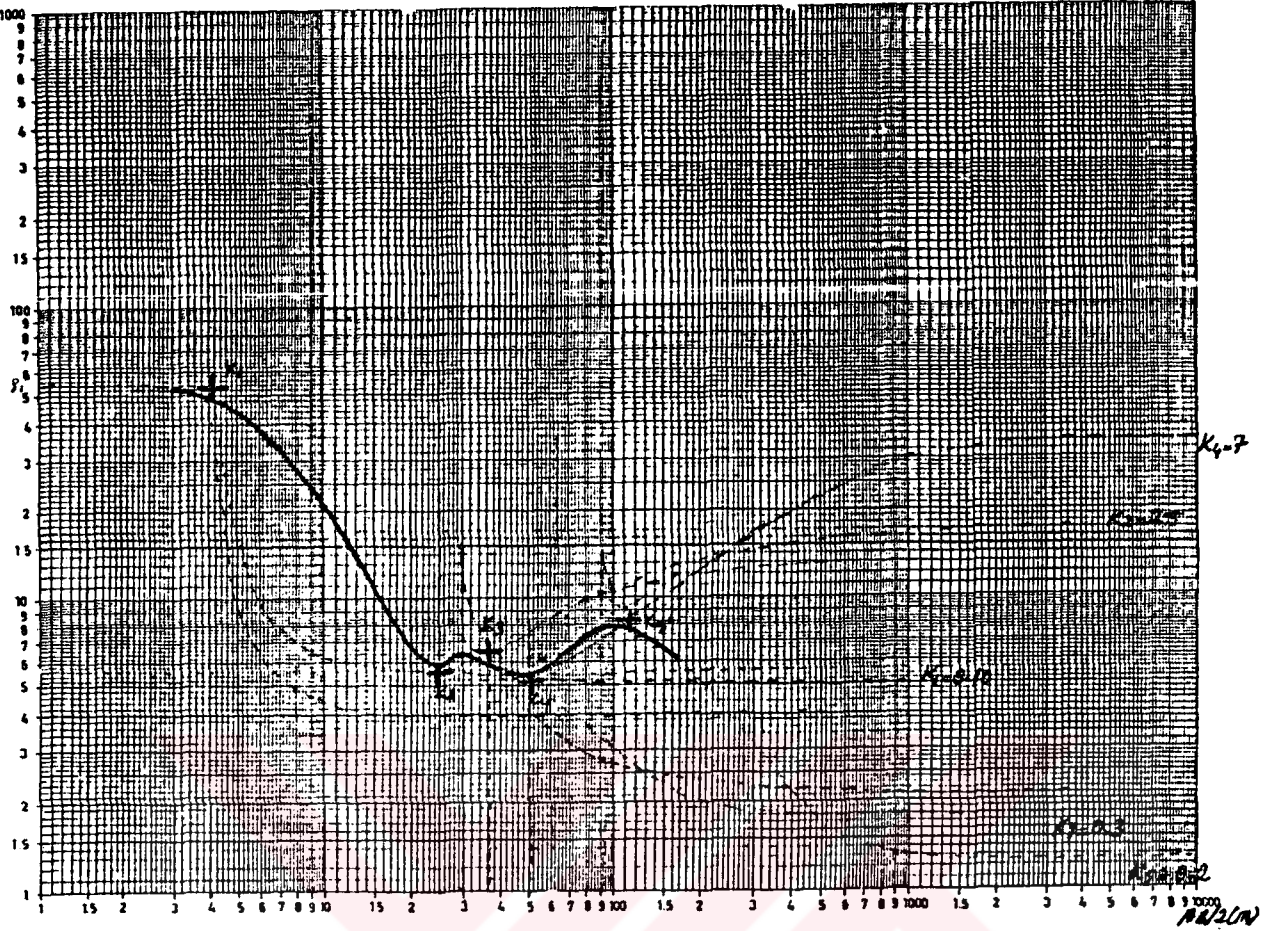


Şekil 4.12. İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde a) 16.0 kHz frekans'ında b) 19.6 kHz frekans'ında EW ve NS doğrultusu için elde edilen görünür öz direnç eğrileri.

lan sahasında göle 20 m mesafede bir doğrultu boyunca VLF ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerden 16.0 kHz frekansı için elde edilen görünür öz direnç ve tilt açısı (θ) değerleri Şekil 4.14a ve 4.14b'de verilmiştir. Şekil 4.14 a'da 120, 140 ve 160. m lerde öz direnç değerlerinde bir miktar azalma görülmektedir. Bunun yanında Şekil 4.14 b'de de yaklaşık 120. m'den itibaren tilt açısında bir azalma görülmekte ve 140. m'de en düşük değerini almaktadır. Bunun heyelanın olası kayma yüzeyine rastladığı varsayılabilir.

Son uygulama olarak'da Tekirdağ Menekşe Çatağı mevkiinde Arkeolojik bir sahada VLF ölçümler alınmıştır. 18.3 kHz frekansı için 5 doğrultu boyunca elde edilen VLF haritası Şekil 4.15'de verilmektedir.

ρ_{22} (cm)

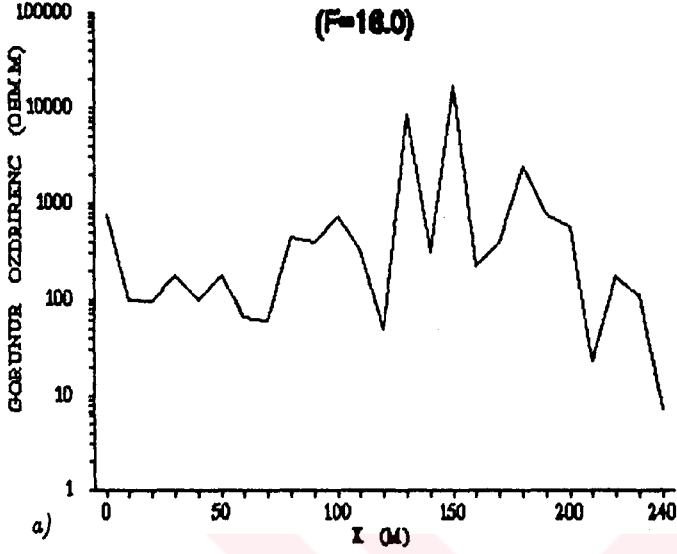


YERYUZU

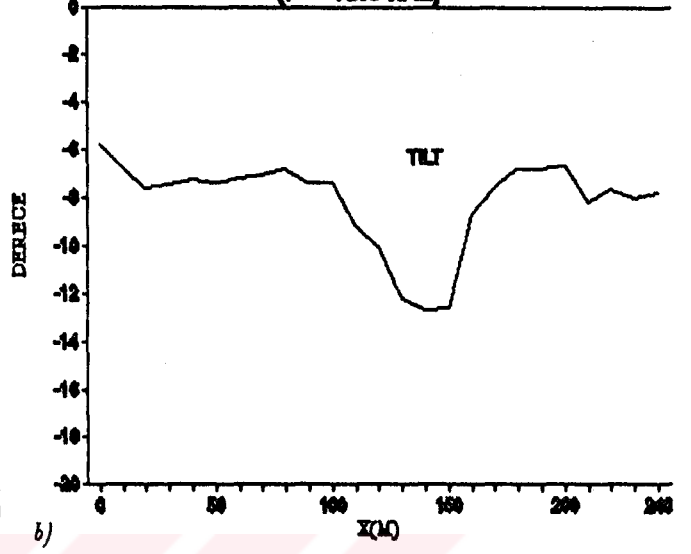
$H=60$ m	$h_1=4.1$ m	$\rho_{ho} 1=64$ ohm.m
	$h_2=20.9$ m	$\rho_{ho} 2=5.4$ ohm.m
	$h_3=5$ m	$\rho_{ho} 3=14$ ohm.m
	$h_4=6.5$ m	$\rho_{ho} 4=1.92$ ohm.m
	$h_5=23.5$ m	$\rho_{ho} 5=28$ ohm.m
	$h_6 \rightarrow$ infinite	$\rho_{ho} 6=1.7$ ohm.m

Şekil 6.13. Schlumberger öz direnç eğrisi ve model sonuçları.

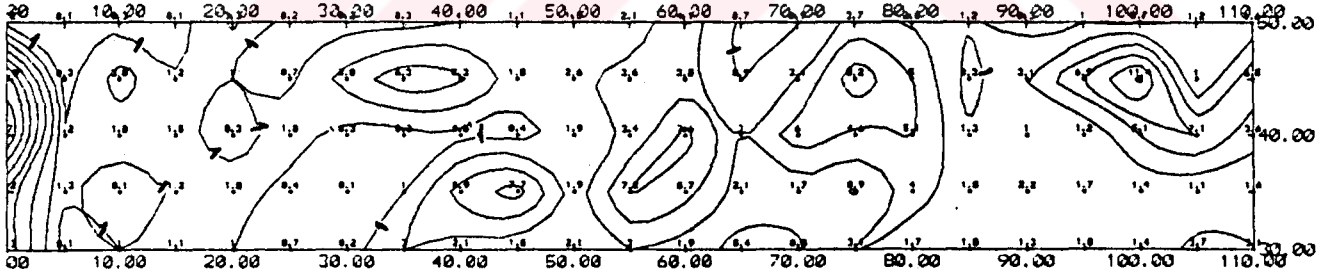
AVCILAR, 14 NISAN 1993, SAAT 14:30



AVCILAR, 14 NISAN 1993, SAAT 14:30
(F=16.0 kHz)



Şekil 4.14. İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde 16.0 kHz frekansı için elde edilen a) Görünür Öz direnç değerleri b) Tilt açısı ($^{\circ}$) değerleri.



Şekil 4.15. Tekirdağ Menekşe Çatağı Mevkii'nde 18.3 kHz frekansı için elde edilen görünür öz direnç haritası.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ülkemizde bizden bir ekip tarafından ilk kez kullanılan jeofizik VLF ölçü yöntemi ile İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü alanında bir deneme araştırması yapılmıştır. Bölgenin gerek bilinen jeolojik gerekse daha önce yapılan Schlumberger sondajları bize sonuçları kontrol olanağı vermektedir. Ölçümlerde DPT projesinden sağlanan (İlkışık, 1992) Scintrex-Eda yapımı OMNI-PLUS VLF elektromanyetik sistemi kullanılmıştır. Önce VLF radyo istasyonlarının hangi frekanslarda yayın yaptıklarını saptamak amacıyla, 15.0-30.0 kHz frekans aralığındaki yayın spektrumu belirlenmiştir. Gerek 7 Eylül 1992 tarihinde ve gerekse 13 Ocak 1993 tarihinde elde edilen spektrumların her ikisinde de sinyaller bazı frekanslardaki radyo yayınlarının sürekli var olduğunu göstermektedir. Bazıları da ancak bazı günlerde yayındadır. Çalışmalarımızda 16.0 kHz, 16.8 kHz , 19.6 kHz ve son olarak 24.0 kHz frekansları kullanılmış ilk üçü için iyi kalitede okumalar sağlanmıştır.

İkinci olarak belli bir noktada farklı üç yönde 4 VLF ve 3 öz direnç parametresi ölçülmüş ve yöne bağlı değişimi izlenmiştir. Buna göre 19.0 ve 20.3 kHz frekansları için elde edilen sonuçlar 1. ve 2. yön için bilinen sınırlar içinde değişimler gösterirken, 3. yön için elde edilen sonuçlar anormal değişimler göstermektedir. Bu ise bu bölgede 3. yönde ölçü alınmaması gerektiği fikrini verir.

Az eğimli ve tekdüze killi kayalardan oluşan kampüs alanında önceden belirlenen bir doğrultu boyunca önce EW yönünde (E-dik) ölçü almak amacıyla sistem bobinleri 16.0 kHz ve 19.6 kHz frekansları için ayarlanıp uygun ölçü prosedürü takip edilerek 46 noktada 4 VLF ve 3 öz direnç parametresi elde edilmiştir. Buna göre 16.0 kHz frekansında 50. ve 340. m'lerde görünür öz dirençte önemli bir azalma gözlenirken, bu frekansa

ait faz değerinde 50. m'de yüksek bir artış meydana gelmektedir. 19.6 kHz frekansında da 50, 270 ve 340. m'lerde görünür özdirenç değişiminde önemli bir azalma gözlenirken faz değerinde de 50, 80 ve 270. m'lerde büyük oranda artış görülmektedir. Bu ise bu nokta ve/veya noktalarda bir iletken cismin ve/veya yüksek gerilim hat'tının varlığına işaret ediyor olabilir.

Dördüncü olarak, yine aynı doğrultu boyunca bu kez NS doğrultusunda ölçü almak amacıyla yine aynı 16.0 ve 19.6 kHz frekansları için VLF bobinleri ayarlanarak ve uygun ölçü kural-ları izlenerek 46 nokta için 4 VLF ve 3 özdirenç parametresi elde edilmiştir. Burada görülen şudur ki, NS doğrultusu boyunca (E-paralel) elde edilen bütün parametreler uyumlu veya çok küçük pik'ler göstermektedir. Değerler ani değişim göstermez hemen hemen sabittir. Bu durum EW doğrultusunun aranan yapıya dik ve NS doğrultusunun aranan yeraltı yapısına paralel olduğu sonucu çıkarılabilir.

Son olarakta önce heyelen sahasında 16.0 kHz frekansı için bir doğrultu boyunca VLF parametreleri ölçülmüştür. Görünür zdirenç değerlerindeki azalmaya karşı tilt açısındaki azalma olası heyelan kayma düzlemi sınırlarına işeret ettiği düşünülmektedir. Daha sonra ise 18.3 kHz frekansı için Tekirdağ Menek-se atağı Mevkii'nde karelajlama yapılarak yeraltının olası yapısı saptanmaya çalışılmıştır.

ÖZET

Radyo-Dalgası Yöntemi VLF (10-30 kHz) bandında yayın yapan radyo vericilerini kullanır. Bu yayınlar ölçü noktası civarında yayınım yönüne dik yatay bir birincil manyetik alan oluştururlar. Yeraltında bir süreksizlik ya da iletken varsa yüzeyinde indüklenen akımlar farklı şiddet ve yönde ikincil bir manyetik alan üretir. Böylece süreksizlik civarında bileşke vektörün yönü ve şiddeti değişir. Bu değişim çeşitli biçimlerde izlenerek yeraltı yapısı incelenir. VLF yöntemi yaklaşık 5-50 m arasındaki sığ iletken yapıları araştırmada oldukça hızlı ve ucuz bir yöntem olduğu için madencilikte, yeraltısuyu, zemin araştırmaları, çevre sorunları ve arkeolojide kullanılmaktadır.

Ülkemizde bir Türk ekibi tarafından ilk olarak uygulanan VLF yöntemi ile, 15.0-30.0 kHz frekans aralığında yayın yapan radyo istasyonlarını belirlemek amacıyla İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde 7 Eylül 1992 ve 13 Ocak 1993 tarihlerinde VLF yayın spektrumları elde edilmiştir. Görülen odur ki VLF spektrumlarında çok çeşitli frekanslarda yayın yapan radyolar vardır ve bu ise araştırmaların yürütülmesi için yeterlidir. Ayrıca VLF ölçümlerinin yön'e bağlı olarak nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla 19.0, 20.3 ve 22.3 kHz frekansları ve 10 m elektrod aralığı için üç farklı yönde 4 VLF ve 3 öz direnç parametresi ölçülerek gerekli karşılaştırma yapılmıştır.

Daha sonra VLF Yöntemi ile İ.Ü. Avcılar Kampüsü'nde jeofizik deneme alanında belirlenen doğrultu boyunca 16.0 kHz ve 19.6 kHz frekansları için doğu-batı (EW) ve kuzey-güney (NS) doğrultularında ölçümler alınmıştır. 10 m elektrod aralığı ile 46 noktada 4 VLF ve 3 öz direnç parametresi ölçülmüştür. EW ve NS yönleri için 16.0 kHz ve 19.6 kHz frekanslarında elde edilen parametreler grafikler üzerinde incelendiğinde seçilen doğrultu üzerinde olası iletken yeri belirlenmiştir.

SUMMARY

VLF MEASUREMENTS AND INTERPRETATION

In The VLF-Radio Wave technique, the electromagnetic transmissions in the frequency range of 10-30 kHz is used. These transmissions produce a primary magnetic field around the measurement site which is perpendicular and horizontal to the propagation direction. At neighborhood survey point those transmitters are caused a horizontal primer magnetic field perpendicular to propagation direction. If there are an inhomogenities or conductive bodies then induced currents on the surface of anomalous body caused a secondary magnetic field with a different intensity and direction. Therefore, the resultant vector's direction and intensity at the surface is changed around the measurement site. This distortion has employed to prospect underground structures to be followed in different forms. VLF method properly has applicated at mining, groundwater, archeology and ground prospecting to detect the shallow conductive structures. This method is quite quick and cheap and it provides information 5-50 m depths.

VLF technique has been applied in Turkey as a first time by our Turkish group. The VLF spectrums in 7 September 1993 and 13 January 1993 are obtained in the frequency of 15.0-30.0 kHz. This VLF spectrums show that there are several transmissions in the Campus and these are enough to conduct an exploration within the area. In addition, to find the change depending on the direction for the 19.0, 20.3 and 22.3 kHz frequencies and (for 10 m electrod spacing) had surveyed for 3 different directions and 4 VLF and 3 resistivity parameters had compared.

Then using VLF method for 16.0 kHz and 19.6 kHz frequencies a survey has been done along at i.U. Avclar Campüs. The direction of the chosen profile is 321° E at each

site east-west (EW) and north-south (NS) directed. In this study electrode distance had taken 10 m and measurements are made at each site 4 VLF and 3 resistivity parameters had surveyed on 46 points. VLF parameters which are obtained EW and NS directions for 16.0 kHz and 19.6 kHz frequencies are presented in graphical form which are reflects, probable conducting zone around 50 and 340 m from origin.



VI KAYNAKLAR

- ARCONE, S.A. (1979): Resolution Studies in Airborne Resistivity Surveying at VLF. *Geophysics.*, 44, 937-946.
- BAKER, H.A., MYERS, J.O. (1980): A Topographic Correction for VLF-EM Profiles Based on Model Studies. *Geoexploration*, 18, 135-144.
- BAYRAK, M. (1991): Manyetotelürük Yöntemde Modelleme. Bitirme Tezi, İ.Ü. Müh. Fak., Jeofizik Müh. Bölümü. İstanbul.
- BAYRAK, M. (1990): Avcılar Kampüsü Kamp Stajı Raporu. İ.Ü. Müh. Fak. Jeofizik Müh. Bölümü. İstanbul.
- BENDERITTER, Y., ROBIN, G. (1987): Approche Singuliere Des Discontinuites De Permeabilite En Milieu Carbonate. *Hydrogeologie*, 3, 161-168.
- BRUCE, D.S., WARD, S.H. (1974): On The Computation of Polarization Ellipse Parameters. *Geophysics*, 39, 867-869.
- CAGNIARD, L. (1953): Basic Theory of Magnetotelluric Method of Geophysical Prospecting. *Geophysics*, 18, 605-635.
- CROSSLEY, D.J. (1981): The Theory of EM Surface Wave Impedance Measurements. *Geol. Surv. of Canada*, 1-17.
- d'ERCEVILLE, I. and KUNETZ, G. (1962): The Effect of a Fault on The Earth's Natural Electromagnetic Field. *Geophysics*, 27, 651-665.
- DIZIOĞLU, M.Y., KEÇELİ, A.D. (1981): Elektrik ve Elektromanyetik Prospeksiyon Yöntemleri. İ.Ü. Fen Fak. Yayını. No.157. İstanbul.
- ERGIN, K. (1985): Uygulamalı Jeofizik. İ.T.Ü. Maden Fakültesi Yayını. No.16. İstanbul.
- FISHER, G., QUANG, B.V., MULLER, I. (1983): VLF Ground Survey-A Powerful Tool for The Study of Shallow Two-dimensional Structures. *Geophys. Prospec.*, 31, 977-991.
- FRASER, D.C. (1969): Contouring of VLF-EM Data. *Geophysics*, 34, 958-967.

FROLOV, A.D. (1961): Radio Wave Method of Geological Mapping. International Geological Review, 3, 1048-1059.

GAUR, V.K., VERMA, O.P., GUPTA, C.P. (1972): Enhancement of Electromagnetic Anomalies by a Conducting overburden. Geophys. Prosp., 20, 580-604.

GAUR, V.K., VERMA, O.P. (1973): Enhancement of Electromagnetic Anomalies by a Conducting overburden II. Geophys. Prosp., 21, 159-184.

GOLDSTEIN, M.A., STRANGWAY, D.W. (1975): Audio-Frequency Magnetotellurics with A Grounded Electric Dipole Source. Geophysics, 40, 669-683.

GUINEAU, B. (1975): Exemples D'application De La Methode Magnetotellurique De Prospection Geophysique A L'etude Des Structures Ou De Formations Geologiques Situees Sous Un Tres Faible Recouvrement. Geophys. Prosp., 23, 104-124.

HERZ, A. (1986): Airborne E.M. Instrumnets Operating at VLF and Higher Frequencies. Geol. Surv. of Canada, 55-61.

HJELT, S.E., KAIKONEN, P., PIETILA, R. (1984): On The Interpretation of VLF Resistivity Measurements. Geoexplorations, 23, 171-181.

ILKIŞIK, O.M. (1980): Trakya'da Yerkabuğunun Manyetotellurik Yöntemle İncelenmesi. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Maden Fak. Yayını. İstanbul.

ILKIŞIK, O.M. (1987): Jeofizikte Elektrik Alanalarına Giriş. Ders Notu. İ.Ü. Müh. Fak. Jeofizik Müh. Bölümü. İstanbul.

ILKIŞIK, O.M. (1990): Kuzey-Kuzeybatı Anadolu'nun Derin Özdirenç Yapısı. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 14, 598-617.

ILKIŞIK, O.M. (1992): Jeofizikte Modelleme. Jeofizikte Modelleme Kollokyomu (Düz ve Ters Problem Çözümleri) Ders Notları. TMMOB Jeofizik Müh. Odası İstanbul Şubesi, 69-78, İstanbul.

ILKIŞIK, O.M. (1992): "Elektromanyetik ve Termik Yöntemlerle Jeotermal Araştırmalar-91K121050" DPT Projesi. İstanbul.

- JACOBS, J.A. (1970): Geomagnetic Micropulsations. Springer Verlag, Berlin.
- JONES, D., TELFORD, W.M. (1981): Mapping Bedrock Terrain with The EM16R-VLF unit, in Collet. Geological Survey of Canada. 35-48.
- JONES, F.W. and PRICE, A.T. (1971): Geomagnetic Effects of Sloping and Shelving Discontinuities of Earth Conductivity. Geophysics, 36, 58-66.
- KELLER, G.W., FRISCHKNECHT, F.C. (1966): Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press, London.
- KUNETZ, G., PARASNIS, D.S. (1975): Principles of Magneto-Telluric Prospecting. Geoexploration Monograph, 1-5. Stuttgart.
- LORRAIN, P., CORSON, D.R. (1970): Electromagnetic Fields and Waves. W.H. Freeman and Co.
- LOWRIE, W., WEST, G.F. (1965): The Effect of Conducting Overburden on Electromagnetic Prospecting Measurements. Geophysics, 30, 624-632.
- MCNEILL, J.D. (1985): The Galvanic Current Component in Electromagnetic Surveys. Technical Report TN-17, Geonics Limited.
- MADDEN, T., NELSON, P.A. (1964): Defence of Cagniard's Magnetotelluric Method. Project NR-3/1-401. Geophysics Lab., Massachusetts.
- MATHIWSOON, C., CROSLY, D.J. (1981): Interpretation of Single Frequency VLF data, in Collette. Geological Survey of Canada. 49-65.
- ÖZÇEP, F. (1991): VLF Radyo Dalgaları Yöntemi. İ.Ü. Müh. Fak. Jeofizik Müh. Bölümü, Bitirme Ödevi. İstanbul.
- OGILVY, R.D., CUADRA, A., JACKSON, P.D., MONTE, J.L. (1991): Detection of an Air-Filled Drainage Gallery by the VLF Resistivity Method. Geophy. Prosp., 39, 845-859.
- OGUNDADE, S.O. and DOSSO, H.W. (1980): The Inductive Responce of A Horizontal Conducting Cylinder Buried in A Uniform Earth for A Uniform Inducing Field. Geophy. Prosp., 28, 601-609.

PALACKY, G.J., RITSEMA, I.L., DE JONG, S.J. (1982): Electromagnetic Prospecting for Groundwater in Precambrian Terrains in the republic of upper Volta. Geophy.Prospect., 29, 932-955.

PARY, J.R. and WARD, S.H. (1971): Electromagnetic Scattering from Cylinders of Arbitrary Cross-Section in A Conductive Half Space. Geophysics, 36, 67-100.

PATERSON, N.R., RONKA, V. (1971): Five Years of Surveying with The Very Low Frequency Electromagnetic Method. Geoexploration, 9, 7-26.

PATRA, H.P., MALLICK, K. (1980): Geosounding Principles, 2: Time-Varying Geoelectric Soundings. Elsevier, Amsterdam.

SARMA, D.G., MARU, V.M. (1971): A Study of Some Effects of A conducting Host Rock with A new Modelling Apparatus. Geophysics, 36, 166-183.

SAYDAM, A.S. (1981): Very Low-Frequency Electromagnetic Interpretation Using Tilt Angle and Ellipticity Measurements. Geophysics., 46, 1594-1605.

SERSON, P.H. (1973): Instrumentation for Induction Studies on Land. Phys. of the Earth and Plan. Int., 7, 313-322.

SCINTREX LDT. (1988): Operation Manual for OMNI-PLUS VLF/MAGNETOMETRER Systems. Concord, Ontario.

SCINTREX LDT. (1988): Interpretation Manual for VLF OMNI-PLUS Electromagnetic Systems. Concord, Ontario.

SWIFT, C.M. (1971): Theoretical Magnetotelluric and Turam Responce from Two-Dimensional Inhomogeneties. Geophysics, 36, 38-52.

TABBAGH, A., BENDRITTER, Y., ANDRIEUX, P., DECRIAUD, J.P. and GUERIN, R. (1991): VLF Resistivity Mapping and Verticalization of the Electric Field. Geophy. Prospecting, 39, 1083-1097.

TELFORD, W.M., KING, W.F., BECKER, A. (1977): VLF Mapping of Geological Structure. Geol. Surv. Canada, 76-25.

TEMEL ARAŞTIRMA A.Ş. (1971): İstanbul Üniversitesi Avcılar Sitesi Jeolojik Raporu. İstanbul.

WAIT, J.R. (1951): A Conducting Sphere in A Time-Varying

Magnetic Field. Geophysics, 16, 666-672.

WAIT, J.R. (1962): Theory of Magnetotelluric Fields. J. Res. of NBS-D, 66D, 509-541.

WARD, S.H., O'BRIEN, D.P., PARRY, J.R., MC KNIGHT, B.K. (1968): AFMAG-Interpretation. Geophysics, 33, 621-644.

WARD, S.H., HOHMANN, G.W. (1987): Electromagnetic Theory for Geophysical Applications. Geophysics, 131-311, Tulsa.



VIII. ÖZGEÇMİŞ

Murat BAYRAK, 1968 yılında Elazığ'da doğdu. İlk öğrenimini 1980 yılında Elazığ Şair Hayri ilkokulu, Orta öğrenimini 1983 yılında Elazığ Atatürk Ortaokulu ve Lise öğrenimini 1986 yılında Elazığ Lisesinde tamamladıktan sonra 1987'de İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne girerek 11 Temmuz 1991 tarihinde mezun olmuştur. Daha sonra Eylül 91 döneminde İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı Yerfiziği Programında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.