

**Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Jeofizik Mühendisliği Bölümü**

**JFM318 ELEKTRİK YÖNTEMLER
LİSANS DERS NOTU**

I- DOĞAL UÇLAŞMA YÖNTEMİ

Dr. M. Emin CANDANSAYAR

Ankara Üniv.,Müh. Fak., Jeofizik Müh. Böl., 06100, Beşevler-Ankara.

E-posta: candansa@eng.ankara.edu.tr

**Mayıs 2007
ANKARA**

DOĞAL UÇLAŞMA YÖNTEMİ

1. GİRİŞ

Doğal uçlaşma (DU) veya Doğal Gerilim (Self-Potential-SP veya Spontaneous potential) yöntemi, doğal kaynaklı bir elektrik yöntemidir. Yöntem sülfürlü cevher aramalarında kullanılan en eski Jeofizik yöntemdir (Fox, 1830). Sistemli kullanımına 1920' li yıllarda başlanmıştır.

Yöntem, yerindeki elektriksel yüklere duyarlıdır. Adındanda anlaşılacağı gibi, yeryüzünde iki nokta arasında oluşan doğal gerilim farkının ölçülmesi esasına dayanır (Parasnis1962). Bu doğal gerilimin nedeni mineral ve çözeltilerin sınırlarındaki elektrokimyasal ve elektrokinetik olaylar sonucu oluşur. Bu gerilim bazı yerlerde sabit, bazı yerlerde ise değişkendir. Sabit ve yönü değişmeyen gerilimler yüzeydeki kayalarda veya bunların içine gömülü yapılarda oluşan elektrokimyasal olaylardan kaynaklanmaktadır. DU yönteminde, gerilim farkı 1,2-10,20 milivolt değerleri arasında ölçülebilir. Sülfür grafit, magnetit, galenit gibi elektrik iletkenliği büyük olan minerallerin olduğu maden sahalarında gerilim değeri negatif değerli olarak birkaç yüz milivolt' a kadar (-1000 milivolt) ölçülebilmektedir. Örneğin bir grafit yatağında -700 milivolt değerlerine kadar gerilim farkı ölçülmüştür. Yeraltı suyu akışının olduğu yerlerde pozitif değerli doğal gerilimler ölçülür. Bu nedenle maden sahalarında çok yağışlı dönemlerde DU ölçülerine ara verilmelidir.

Son yıllarda yöntem jeotermal, çevre ve mühendislik uygulamalarında, termal akışkanlara ve yeraltısuyunun bulunmasında kullanılmaktadır. Özel uygulama olarak , barajlarda taban hazne kayalarındaki su sızıntısının yerlerinin bulunmasında kullanılmaktadır.

Sıcak su hareketi, jeotermal sistemlerdeki doğal gerilimin nedenidir. Fakat bu değer (<10 mV) küçük gerilim değrlidir. Jeotermal sahalarda DU belirtileri yayvandır ve genliği 100mV civarındadır. Dolayısıyla bu tür sahalarda veri kalitesi iyi olmalıdır.

Küçük alternatif akımlar (yer manyetik alanı ve şimşekler nedeniye oluşan tellürik akımlar) sadece uzun periyodla ilişkili gerilimler nadiren 5mV değerine ulaşır. Bu akımlardan dolayı oluşan doğal gerilimler doğru akım gerilim ölçerleri ile yapılan çalışmalarda gürültü olarak ölçülebilirler. Bu durum nadir olsada, bu türe gerilimler gürültü olarak ölçülerimize girebilirler. Bu gürültüleri yok edebilmek için farklı zamanlarda tekrar ölçüleri alınarak bu ölçülerin aritmetik ortalaması ölçülen veri olarak kullanılır.

DU yönteminde kullanılan alet ve ekipmanın düşük maliyetli olması ve arazide ölçü almanın kolay olmasından dolayı, bir arazide hızlı bir şekilde uygulanabilir. Elde edilen sonuçlara göre diğer jeofizik yöntemlerle ayrıntılı olarak araştırılacak yerler DU yöntemi ile belirlenmiş olur.

2. Doğal Gerilimin Kökeni

Yeriçinde DU' yı oluşturan çeşitli elektrokinetik ve elektrokimyasal olaylar vardır. DU

2.1. Akma (Elektrokinetik) Gerilimi (*Streaming/ Electrofiltration Potential*)

Kılcal damar ve boşluklu ortamlardan geçen akışkan (fluid), akış yolu boyunca elektrik gerilim yaratabilir. Bu gerilime akma gerilimi denir. Bu gerilim, akışkan içindeki iyonların kılcal damarların yan duvarlarındaki taneciklerle etkileşimlerinden kaynaklandığı düşünülür. İki kılcal damar arasında oluşan Akma Gerilimi, E_s

$$E_s = \frac{\rho \varepsilon \xi \Delta p}{4\pi\eta}$$

Şeklinde verilir. Burada kullanılan sembollerin açıklaması izleyen şekildedir:

ρ	Özdirenc
ε	Dielektrik Permittivite
ξ	Soğurma (Absorbtion)
Δp	Basıç Farkı
η	Akışkanın dinamik viskozitesi

Akma geriliminin doğrultu (gradient) yönü basınç yönü ile aynıdır. Jeofizik çalışmalarda akma gerilimi yeraltı suyunun akışı ve termal çözeltinin akışı ile ilişkilendirilir. Bu gerilim birkaç milivolt ile birkaç yüz milivolt arasında değişir.

Akma geriliminin ölçüldüğü uygulamalar şunlardır:

- 1- Su sızıntısının araştırıldığı kaya tabanları ve rezervuarlar (Ogilvy ve diğ., 1969)
- 2- Su sondajı sırasında kuyu cidarında oluşan gerilim (Bogolovsky and Ogilvy, 1973)
- 3- Arazide büyük seviye farkı olan yerlerde (Corwin ve Hoover, 1979; Nayak, 1981)
- 4- Jeotermal alanlarda (Corwin ve Hoover, 1971)
- 5- Kum ve kil gibi farklı yük bulundurma özelliği taşımalarından dolayı bu iki birimin sınırlarının belirlenmesinde

Örneğin DU kuyu logu ölçümlerinde, kuyu içine basınç yardımı ile çamur gönderilir. Kuyu cidarında çatlak ve gözeneklilik varsa, çamur buralara sızacak ve akma gerilimi oluşacaktır. Bu gerilimin büyüklüğü ölçülerek, kuyunun belirli derinliklerinde çatlaklık ve gözeneklilik derecesi belirlenir.

Yine, yeraltısuyu,gözenekli kayalardan geçerken akma gerilimi oluşur. DU yöntemi ile bu gerilim değeri ölçülerek suyun yeri ve akım yönü belirlenebilir.

2.2. Termoelektrik Gerilim (Thermoelectric Potential)

Kaya örneği üzerinde ısı farkı korunursa, bu örnek üzerinde bir gerilim farkı oluşur. Gerilim ve ısı farkı oranı “Thermoelectric Coupling Coefficient (TEC)” olarak bilinir. Farklı kaya tiplerinde oluşan TEC değeri -0.09 ile +1.36 mV/ °C arasındadır. Ortalama değer ise 0.27 mV/ °C dir (Nourbehecht, 1963). Bu mekanizma ile oluşan DU-belirtisi Jeotermal alanlarda daha küçük genliklidir. Sığ derinlikte, iyonca zengin çözeltiler (Örnek: Fay içinde termal çözeltiler) kısa dalgalı ve büyük genlikli belirti verirler (Şekil 5.11).

Jeotermal alanlarda yüksek ısı akısı değeri ölçülen zonlara, aynı yerde ölçülen DU-gerilim değerleri ilişkilendirilebilir. Bu ilişki, gerilim farkının en azından bir kısmının Termoelektrik gerilimden kaynaklandığı söylenebilir.

2.3. Elektrokimyasal Gerilim (Nernst and Diffusion Potential)

Yeriçinde elektrolitlerin içerdiği iyonlar bölgesel farklılık gösterebilir. Başka bir deyişle, yeriçinde iki farklı çözelti içeren birimler arasında bir iyon alışverişi olacaktır. Bu iyon hareketi bir doğal gerilim oluşur. Bu gerilimler difüzyon (liquid-junction/diffusion) gerilimi olarak bilinir. Bu olay atmosferik oksijen sayesinde sürekli olarak çözelti farklılığı olan yerlerde oluşur.

İki metal elektrod, iki farklı çözelti içine batırılırsa aralarında yine bir gerilim farkı milivol seviyesinde ölçülür. Bu gerilim Nernst Gerilimi olarak bilinir. Difüzyon ve Nerst gerilimi birlikte yeriçinde oluşan elektrokimyasal veya “durağan doğal gerilim” (static-self potential) olarak bilinirler.

En doğal elektrolit Sodyum klorür (NaCl) dür. NaCl çözeltisi farklı konsantrasyonda (C_1 ve C_2) fakat aynı sıcaklıkta (T - °C) elektrokimyasal gerilimin genliği (E_c) aşağıdaki gibi verilir (Telford ve diğ., 1990)

$$E_c = -70.7 \frac{(T + 273)}{273} \ln(C_1 / C_2).$$

Bir örnek olarak $C_1/C_2=5/1$ ve $T=25^\circ\text{C}$ ise $E_c \approx 50\text{mV}$ dur.

Doğadan örnek verilirse; petrol ve su arayüzeylerinde, nehirlerle denizlerin karıştığı dokanaklar civarında bu gerilim ölçülebilir. Nernst ve Diffüzyon gerilimlerinin toplamı herhangi bir cevherleşmenin bulunmadığı ortamlarda, yukarıda anlatılan nedenlerle oluşan ve ölçülebilecek sabit elektrokimyasal doğal gerilimdir. Kum ve Şeyl gibi yükleri tutma özellikleri farklı olan

Ankara Üniv. Müh.Fak. Jeofizik Müh.Böl., 06100- Tandoğan

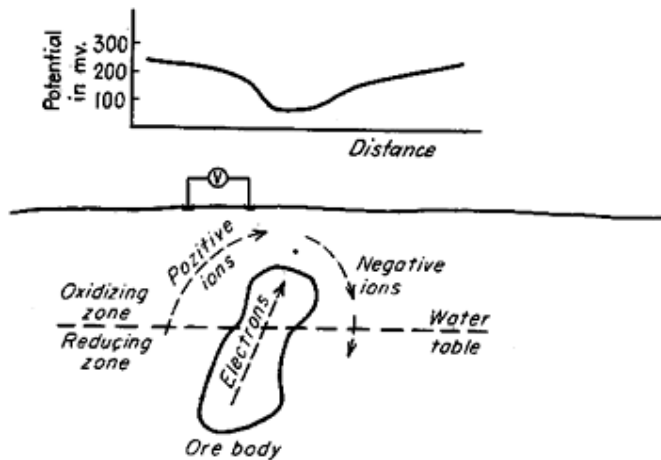
materiallerin arayüzeyinde oluşan gerilim farkı ölçülebilecek büyüklüktedir. Bu özellik petrol kuyularında yapılan DU-logu uygulamalarında çok önemlidir.

2.4. Mineralizasyon Gerilim

Genelde güçlü DU (∓ 100 ile ∓ 1000 mV aralığında) değerleri, pirit, kalkopirit, pirolit, galenit, sfelarit, magnetit ve grafit gibi sülfürlü ve oksitli cevherleşmelerin olduğu sahalarda oluşur. İletken cevher kapanlarında, tuz miktarına, sıcaklığa ve ıslaklık koşullarına bağlı oluşan elektrokimyasal olaylar bu sahalarda oluşan DG'yi oluşturur. Bu gerilim değeri, bu minerallerin içerdiği cevherler üzerinde negatiftir. Bu cevherler üzerinde sürekli DU ölçüsü alındığında, ölçülen değer zamanla değişmediği görülmüştür. Bunun nedeni tam olarak anlaşılamamıştır. Bu gerilim türünü oluşturan mekanizmalar için aşağıdaki iki farklı görüş öne sürülmüştür:

(a) Galvanik Yapı görüşü: Bunu açıklamak için Şekil 1.2' deki gibi bir model ele alınmıştır. Arazi deneyleri, yapılan incelemeler; genelde yeraltındaki cevherleşmenin bir kısmının yeraltı su seviyesi tarafından kesildiğini göstermektedir. Üstteki kısım oksijen bakımından zengindir ve yeryüzündeki koşullardan kolaylıkla etkilenir. Aşağıdaki kısım ise oksijence daha fakir olan indirgeme bölgesi (redüksiyon zonu) içerisinde yer alır. Dengelem işlem sırasında elektronlar cevher tabanından serbest kalır. Elektron akışı nedeni ile yeryüzünde ölçülebilecek bir gerilim ortaya çıkar. Böyle bir cevher kütlesi galvanik hücre görünümünde olup basit bir pil gibi davranır. Pirit, kalkopirit, galenit v.b. mineral kütlelerinin verebileceği DU belirtileri bu galvanik yapı ile açıklanabilir (Şekil 2.1 2.2 ve 2.3).

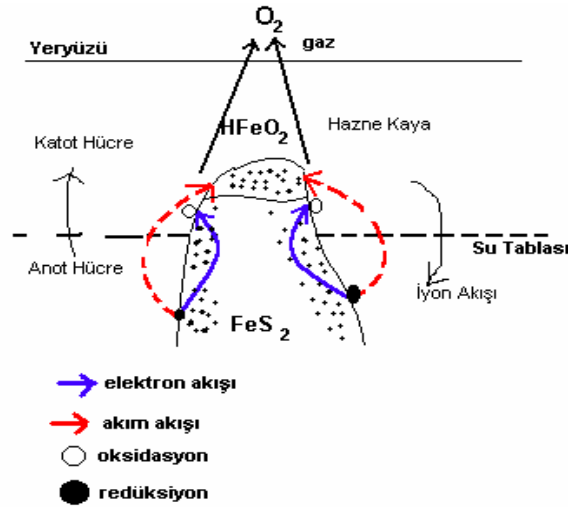
Ancak büyük DU değeri veen grafit yeterli miktarda oksidasyona uğramaz ve bu görüş bu mineral için geçerli değildir.



Şekil 2. 1. YASS tarafından kesilen sülfürlü cevherde oluşan DU (Dobrin,1986). Burada oksidasyon zonu içinde kalan bölgede elektrik yük negatiftir, altta ise pozitifdir ve aşağıdan yukarı doğru bir yük akışı olur.

- b) Sato ve Mooney (1960) mineralizasyon gerilimi konusunda daha ayrıntılı bir görüşleri vardır. Bu görüşe göre su tablasına batırılmış cevherler gerilimi oluşturmaktadır. Su tablası altında, gözeneklerdeki çözelti içinde bulunan elektrolitler oksidasyona uğrarlar ve serbest elektron bırakırlar ve bunlar cevher aracılığı ile yukarı doğru hareket ederler. Bu sırada su tablası üzerinde çözelti içindeki materyallerde kimyasal indirgeme olur. Böylece, gözenekler içindeki çözeltide elektrolitler ile taşınan ve cevher içinde elektronik olarak dolaşan bir elektrik devresi oluşur. Bu durumda mineralli cevher iyi bir iletken olur ve elektrokimyasal tepkimeye girmeden elektronların aşağıdan yukarıya doğru transferlerini sağlar (bkz. Şekil 2.2).

Ancak Sato ve Mooney in teorik DU hesaplamaları, pratikte ölçülen DU değerlerinden çok küçüktür. Ayrıca, tamamen su tablası altında kalan cevherler üzerinde de çok büyük doğal gerilimin ölçülmesi bu teorinin çok doğru olmadığını göstermektedir.



Şekil 2. 2. Pirit cevheri için DU belirtisi oluşumu (Sharma, P.V., 1997).

2.5. Doğal Gerilimi Oluşturan Diğer Etkenler

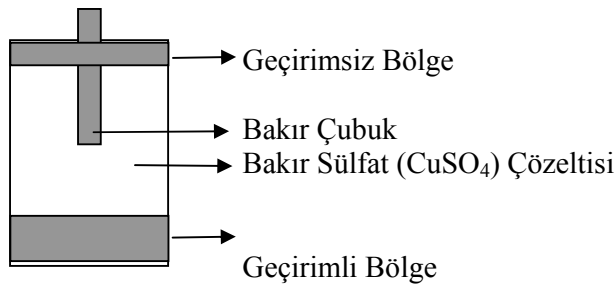
- Tellürik akımlar
- Yapay akım kaçakları ve Güç Hatları
- Yeraltındaki boru hatları

3. DU ÖLÇÜ ALETLERİ

DU yönteminde, arazide ölçü alımı için gerekli alet ve gereçler şunlardır:

a- Fincan Elektrodlar: Paslanmaz çelikten yapılan metal elektrodlar yere çakıldığında, etrafındaki toprak arasında, özellikle toprak ıslak ise değişken elektrolitik uçlaşma (veya kutuplanma) oluşur. Bu uçlaşma nedeniyle oluşan doğal gerilim değerinin değeri, yerindeki oluşan doğal gerilimden çok büyük olabilir. Bunun için kutuplanmayan porselen veya PVC' den yapılmış fincan (pot) veya silindir benzeri kaplar kullanılır. Buların yanları geçirimsizdir. Altı ise geçirimlidir. Bu fincanların içine bir metal çubuk ve iletken eriyik konur. İletken eriyiğin cinsi, kullanılan metal çubuğa bağlıdır. En çok kullanılanı bakır (Cu) çubuk batırılmış, halk dilinde göztaşı olarak bilinen bakırsülfat çözeltisi (CuSO_4) dir.

Ölçüye başlamadan önce elektrodlar arasında uçlaşma farkı olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bunun için ölçü çukurları kazılır ve su ile doldurulur. Yer ile fincan elektrodlar arası iletim direnci minimuma indirilir.



Şekil 3.1. Kutuplanmayan elektrod

b- Kablo: İyi yalıtılmış sahra kabloları kullanılır. Kablonun iç direnci düşük olmalıdır. Kablo uzunluğu 500 m. 'yi geçmemelidir.

c- Milivoltmetre: Milivoltmetrenin 1 mV duyarlılıkta olması yeterlidir. Yerleşim alanlarına yakın yerlerde, genelde 10-100 Hz frekans aralığında gürültü vardır. Bu nedenle voltmetrede alçak-geçşli bir filtrenin olması gereklidir.

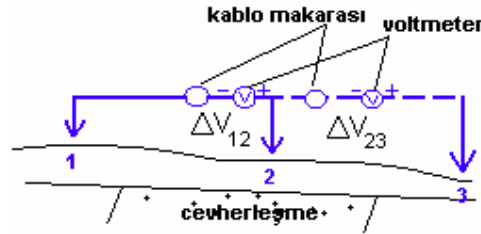
d- Diğer gereçler: Kağıt, kalem, keser, şeritmetre, su. Ayrıca alet ve kabloların tamiri için tornavida, kablo bandı, kargaburnu vb. küçük tamir aletleri

4. DU ÖLÇÜ ALIM TEKNİKLERİ

DU verilerinin ölçülmesinde iki farklı elektrod dizilimi kullanılır.

4.1. Kaydırma Dizilimi/Ölçü Tekniği (Kurbağa Atlayışı veya Türev)

Bir doğrultu boyunca sabit aralıklı birinci ve ikinci noktalara yerleştirilen bir çift elektrod arasındaki gerilim farkı ölçülür. Sonra ilk noktadaki elektrod bu sefer ikinci noktaya, ikinci noktadaki elektrod daha önceki aralıkla bu kez üçüncü noktaya konulur. ΔV ölçülür. Bu tekrarlama ile doğrultu boyunca ilerlenilir. Bu dizilimin kullanılması ile yapılan DU kaydırma ölçü değerleri iki ölçü noktasının ortasına atanır (Şekil 4.1). Buradaki sabit aralıklı ölçü noktaları arasındaki uzaklıklar, inceleme derinliğine bağlı 10-50 metre seçilir. Ölçümlerde polariteyi sağlamak için, her zaman arkada kalan elektrod voltmeterin negatif ucuna, önde olan elektrod ise her zaman pozitif ucuna takılır.



Şekil 4.1. Kaydırma ölçüsü.

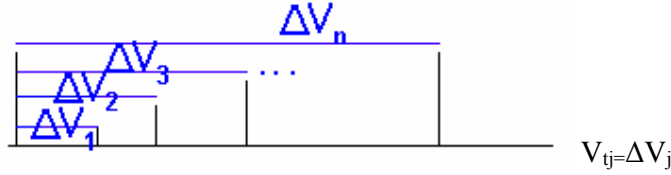
4.2. Baza indirgeme (toplam alan) dizilimi/ ölçü tekniği (fixed base configuration)

Ölçü doğrultusunun başlangıcında seçilecek bir baz noktasında bir elektrod yerleştirilir. Eldeki uzun kablo ile ölçü doğrultusu üzerindeki herbir nokta baz noktası arasındaki $\Delta V_1, \Delta V_2, \dots, \Delta V_n$ gerilim farkları kayıt edilir. Ölçülen değerler hareketli elektrodun konulduğu noktaya atanır. (Şekil 4.2). Burada da, her zaman sabit olan elektrod voltmeterin negatif ucuna, önde hareketli olan elektrod ise her zaman pozitif ucuna takılır.

Bu dizilimin kaydırma ölçü tekniğine göre asıl avantajı, zamanla artan hatanın (cumulative error) daha az olmasıdır. Diğer bir avantajı ise, küçük dalga boylu yapıların bozucu etkisinin daha az görülmesidir. Dezavantajı ise, uzun kablo kullanılması ve bu kablonun engebeli topoğrafya olan

yerlerde ölçü alımını zahmetli hale getirmesidir. Ayrıca kabloların hasar görmesi ve tamir sırasında iyi yalıtım yapılamamasıda sorunlar yaratır.

Göl, baraj gibi su kaplı alanlarda DU araştırmalarında, doğal gerilimin sıfır veya sıfıra yakın olduğu sakin bir noktada sabit elektrod yerleştirilirken, gezici elektrod göl veya rezervuar tabanından sürükleyerek ölçü alınır.



Şekil 4.2. Toplam alan ölçüsü

GÜRÜLTÜNÜN GİDERİLMESİ VE VERİ İYİLEŞTİRME

Çevre araştırmalarında ölçülen DU verilerinin genliği genellikle maden sahalarında ölçülenlerden daha küçüktür.

5. DU ÖLÇÜLERİNİ ETKİLEYEN NEDENLER

DU ölçülerini etkileyen nedenler şunlardır (Çağlar, 1991)

5.1. İklim: Yeraltı su yüzeyi doğal uçlaşma değişimini etkileyen başlıca etkendir. Yeraltı su seviyesi yağışlarla ilgilidir.

a) Yağışlı yada çok yağışlı iklimlerde; yeraltı su seviyesi yeryüzüne çok yakındır. Cevher yüzeye çok yakınsa oksidasyon bölgesi yok denecek kadar azdır. Yinede çevreye oranla bir belirti elde edilebilir. Cevher derinde ise DU doğuracak olanaklar yok olur.

b) Kurak yada yarı kurak iklimlerde; yeraltı su seviyesi ile topoğrafya arasında bir derinlik farkı vardır. Cevherleşmenin bir kısmı su tablasının altında ise kuvvetli etkileşim oluşur.

5.2. Topoğrafya: Arazi engebeli değilse, topoğrafyaya bağlı DU değişimleri önemsizdir. Çok engebeli yerlerde DU değerlerini örtecek kadar yüksek değerlere varabilir. Topoğrafyanın oluşturduğu DU; suyun yerçekimi ile aşağı doğru süzülerek negatif değerler verir ve suyun buharlaşma gibi nedenlerle yukarı yükselmesi ve (+) değerler vermesidir.

5.3. Jeolojik koşullar ve diğer etkiler: Kayaçlar petrofizik etkilerden dolayı, birbirlerine DU tepkileri verirler. Ayrıca asitli ve tuzlu suların yerleştiği kontaklar, işletilmiş sülfür yataklarının

alt ve kenar zonları, gömülü veya açık galeriler, kuyular, cüruf yığınları, metal su borularının bulunduğu kısımlar, trafo merkezleri civarı DU tepkileri verir. Bu etkiler genelde küçüktür. Fakat bazen belirti büyüklüğüne varabilir. Bunlar ayıklanmalıdır.

6. DU VERİLERİNİN YORUMU

Belirlenen birbirine paralel doğrultular boyunca ölçülen DU verileri belirli düzeltmeler ve baza indirgeme işlemlerinden sonra biraraya getirilerek kontur haritaları elde edilir. Yorum işlemi, araştırmanın amacı, veri kalitesi ve ek jeofizik, jeolojik ve hidrojeolojik verilerin yeterliliğine bağlıdır.

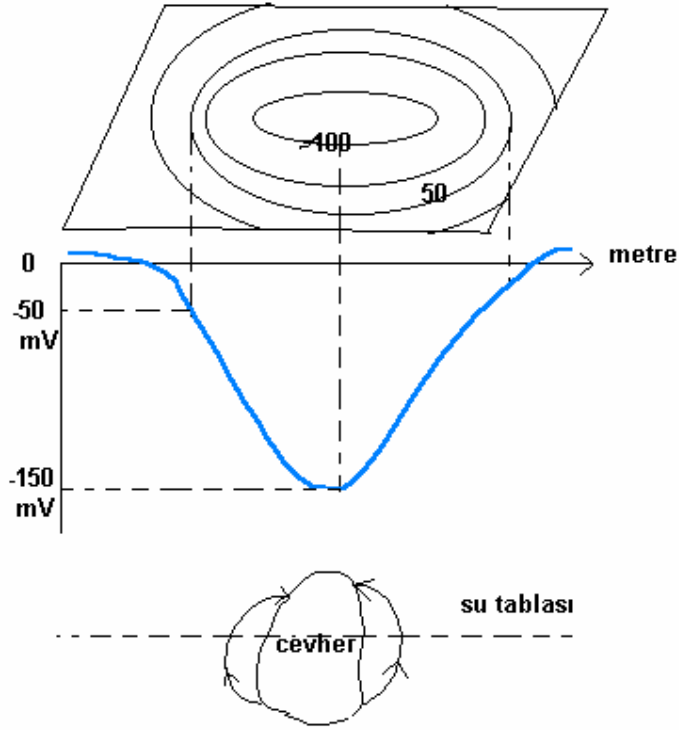
6.1. Nitel yorum

Bu tür yorum DU verisinin görsel sunumuna bakılarak yapılır. Örneğin:

-Bir barajdaki su sızıntısı, suyun azaldığı yerde negatif ve arttığı yerde pozitif DU değeri ölçülmesine neden olur (Şekil 5.6).

- Maden sahalarında negatif (-) merkezler maden yataklarının yerini belirler. Bu merkezler cevherin şekli ve uzanımı hakkındada bilgi verirler. Küresel ise dairesel içiçe geçmiş dairesel konturlar, yatay ise uzun eliptik konturlar belirler. Eğik cevherde bu üst ucun yeryüzüne yakın olduğu yerlerde (-), alt uç yeryüzüne yakın olduğu yerlerde(+) değer alır.

Ayrıca haritada belli doğrultuda alınacak profillerde,uçlaşmanın uzaklıkla değişimi yararlı bilgiler elde edilmesine olanak verir.



Şekil 6. 1 . harita ve kesit

6.2. Nicel Yorum

Nicel yorum için, DU' yı oluşturan yapı basit geometrik şekiller olduğu varsayılarak yapılır. Önce yerinde gömülü olduğu düşünülen yapının geometrik şekline (nokta kaynak, küre silindir, levha vb.) karar verilir. Seçilen şekle bağlı matematiksel kuram geliştirilerek kuramsal belirtiler elde edilir. Daha sonra araziden elde edilen belirtilerle bu kuramsal eğriler arasında bir benzeşim aranır. Böylece elde edilen kuramsal modelin parametreleri aranmakta olan yeraltı kütlesinin parametrelerini verir.

a) Nokta Kaynak

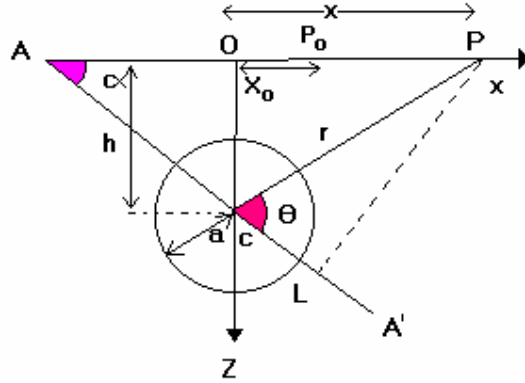
En basit model bir nokta kaynaktır. Nokta kaynak için kullanılan model bağıntısı yardımı ile bu kaynağın yüzeyden olan derinliği hesaplanabilir. Bunun için ölçülen verilerden elde edilen DU kontur haritasında kapanım gösteren konturların altında nokta kaynak olduğu varsayılarak bunun derinliği hesaplanır. Nokta kaynak olası en küçük kaynak boyutunu gösterir. Bu ise en büyük kaynak derinliğinin (d) bulunmasına yarar. Bunun için doğal gerilim profil eğrisinde en büyük genlik değerinin absis değeri ile bunu yarı değerine düşüğü

absis değeri arasındaki mesafe (yarım genişlik- $x_{1/2}$) belirlenir. Daha sonra nokta kaynağın derinliği(d) ise aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanır:

$$d = \frac{x_{1/2}}{\sqrt{3}}$$

b) Küre Modeli

Tekdüze bir yer ortamı içerisindeki dik koordinat sisteminde yer alan küre biçimli jeolojik yapılanma (çoğunlukla sülfürlü metalik cevherleşme.) yeralsın.



Şekil. 6. 2. Tekdüze ortamdaki küre modeli (Çağlar,1991)

a: Yarıçap

h: Merkeze olan derinlik

O : Merkez noktanın yeryüzündeki iz düşümü

AA': Polarizasyon eksenini

A : AA' doğrultusunun x eksenini ile y eksenini ile yaptığı açı

P : Yeryüzündeki ölçü noktası

x : P'nin o noktasına olan uzaklığı

r : P ile merkezi birleştiren doğrultu uzaklığı

θ : r ile AA' arasındaki açı

P₀ : Sıfır gerilimin gözlemlendiği nokta

x_0 : P_0 ile o noktası arasındaki uzaklık

Böyle bir yapının yeryüzündeki $P(x,0,0)$ noktasında oluşturacağı DU gerilimleri şöyle verilir.
(Bhattacharya ve Roy,1981)

$$V(x,0,0) = M \left(\frac{x \cos \alpha - h \sin \alpha}{(x^2 + h^2)^{3/2}} \right) \quad (1)$$

Bu model için;

$$\frac{|V_{\min}|}{V_{\max}} = F(\alpha) \quad (2)$$

DU belirtisinin minimum ve maksimum gerilimi gözlenen noktaların absis değerleri x_1 ve x_2 olarak verilir bunların arasındaki uzaklık d ile tanımlandığında;

$$h = \frac{2d}{3} \cdot (1/(\tan^2 \alpha - 8/9))^{1/2} = f(\alpha, d)$$

ilişkisi elde edilir.

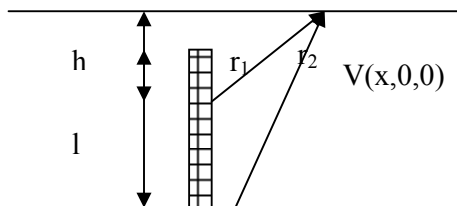
$V(x,0,0) = 0$ yazılıp x yerine x_0 konulduğunda;

$$h = x_0 \cot \alpha = \Phi(x_0, \alpha) \quad (3)$$

ilişkisi elde edilir. α polarizasyon açısının fonksiyonu olarak çeşitli abaklar hazırlanabilir.

c) Çubuk Modeli

Yeraltındaki fay ve kırık zonları gibi düşey süreksizlik zonlarında ölçülmüş DU verilerinin yorumu için yapısının iki kutuplu ince bir çubuk modeli kullanılır (Fitterman, 1979).



Ölçüm noktasında oluşacak gerilim farkı,

$$V(x,0,0) = -M \{ (x^2+h^2)^{-1/2} - (x^2+(h+1)^2)^{-1/2} \} \quad (4)$$

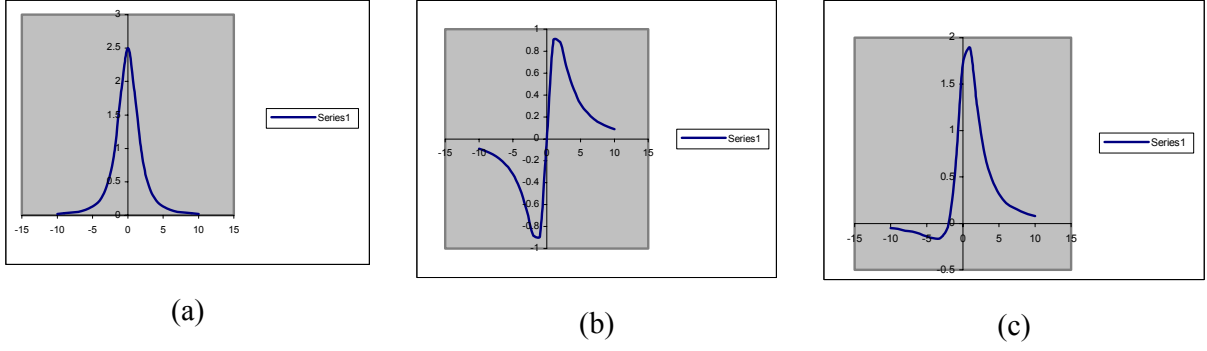
bağıntısı ile verilir.

2B ve 3B yapılar sayısal yöntemlerle veya nokta çizgi kaynak kullanarak modellenilebilir.

6.3. Hesaplanmış Değerler ve Eğriler

Dipol momenti	=	10.00	
Derinlik	=	2.00	
Uzaklık	=	-10,00	10,00
Alpha	=	0 , 45 , 90	

Alpha 0		Alpha 45		Alpha 90	
X	VT	X	VT	X	VT
-10	0,02	-10	-0,05	-10	-0,09
-9	0,03	-9	-0,06	-9	-0,11
-8	0,04	-8	-0,08	-8	-0,14
-7	0,05	-7	-0,09	-7	-0,18
-6	0,08	-6	-0,11	-6	-0,24
-5	0,13	-5	-0,14	-5	-0,32
-4	0,22	-4	-0,16	-4	-0,45
-3	0,43	-3	-0,15	-3	-0,64
-2	0,88	-2	-0,01	-2	-0,88
-1	1,79	-1	0,62	-1	-0,89
0	2,5	0	1,72	0	0
1	1,79	1	1,89	1	0,9
2	0,88	2	1,25	2	0,88
3	0,43	3	0,75	3	0,64
4	0,22	4	0,48	4	0,45
5	0,13	5	0,32	5	0,32
6	0,08	6	0,22	6	0,24
7	0,05	7	0,17	7	0,18
8	0,04	8	0,13	8	0,14
9	0,03	9	0,1	9	0,11
10	0,02	10	0,08	10	0,09



Şekil. 5. 5. (a) $\alpha=0^\circ$, (b) 45° , (c) 90° değeri için hesaplanan V_T ve x değerleri belirti grafiği

KAYNAKLAR

- ABDELRAHMAN E. M., SABER, H. S., ESSA, K. S. and M. A. FOUADA. 2004. A Least-squares Approach to Depth Determination from Numerical Horizontal Self-potential Gradients. *Pure appl. geophys.* 161 (2004) 399–411
- ATCHUTA RAO, D. and RAM BABU, H. I. (1983), Quantitative Interpretation of Self-potential Anomalies due to Two-dimensional Sheet-like Bodies, *Geophys.* 48, 1659–1664.
- BANERJEE, B. (1971), Quantitative Interpretation of Self-potential Anomalies of Some Specific Geometric Bodies, *Pure and Appl. Geophys.* 90, 138–152.
- BHATTACHARYA, B. B. and ROY, N. (1981), A Note on the Use of Nomogram for Self-potential Anomalies, *Geophys. Prospecting* 29, 102–107.
- COTWIN, R.F. and Hoover, D.B., 1979. The self-potential method in geothermal exploration. *GEOPHYSICS*, VOL. 44. NO 2 (FEBRUARY 1979); P. 226245,
- ÇAĞLAR, İ. , 1991. Jeofizikte Doğal Polarizasyon Yöntemi, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- DOBRIN, M. B., Introduction to Geophysical Prospecting (Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 1960).
- FITTERMAN, D. V. (1979), Calculations of Self-potential Anomalies near Vertical Contacts, *Geophys.* 44,195–205
- PATELLA, D. (1997), Introduction to Ground Surface Self-potential Tomography, *Geophys. Prospecting* 45, 653–681.
- YÜNGÜL, S., 1950, Interpretation of spontaneous polarization anomalies caused by spherical ore bodies: *Geophysics*, 15, 237–246.
- SHARMA, P.V., 2002. Environmental and Engineering Geophysics. Book, Cambridge University Press.

<http://imcg.wr.usgs.gov>

<http://www.geotechnology.com>

<http://www.abem.se/resistivity>