



**Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Jeofizik Mühendisliği Bölümü**

**JFM316 ELEKTRİK YÖNTEMLER
LİSANS DERS NOTU**

I- DOĞAL UÇLAŞMA YÖNTEMİ

Prof. Dr. M. Emin CANDANSAYAR

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

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

**Mayıs 2016
ANKARA**

DOĞAL UÇLAŞMA YÖNTEMİ (Self Potential Method)

1. GİRİŞ

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

Yöntem, yer içindeki elektrik yüklere duyarlıdır. Adından da 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. 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 yeraltı suyunun bulunmasında kullanılmaktadır. Özel uygulama olarak , barajlarda taban hazne kayalarındaki su sızıntısının yerlerinin bulunmasında kullanılmaktadır.

Sıcak su hareketi, jeotermal sistemlerdeki doğal gerilimin nedenidir. Jeotermal sahalarda DU belirtileri yayvandır ve genliği 100mV civarındadır. Dolayısıyla bu tür sahalarda veri kalitesi iyi olmalıdır.

Yer manyetik alanı ve şimşekler nedeni ile oluşan tellürik akımlar (küçük genlikli alternatif akımlar) nadiren 5mV değerine ulaşır. Bu akımlardan dolayı oluşan doğal gerilimler doğru akım gerilim ölçerleri ile yapılan çalışmalarda gürültü kaynağıdır. Bu gürültüleri yok edebilmek için farklı zamanlarda tekrar ölçüleri alınarak bu ölçülerin aritmetik ortalaması ölçülen veri olarak kullanılır.

DU yönteminde kullanılan alet ve donanımın 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 GERİLİMİN KÖKENİ

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

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	Özdirenç
ε	Dielektrik Permittivite
ξ	Soğurma (Absorbtion)
Δp	Basıç Farkı
η	Akışkanın dinamik viskoztesi

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 geçen akma gerilimi oluşur. DU yöntemi ile bu gerilim değeri ölçülerek suyun yeri ve akım yönü belirlenebilir.

2.2. Termoelektrik Gerilim (Thermoelectric Potential)

Bu gerilim, farklı sıcaklıktaki çözeltilerden dolayı oluşur. Sıcaklık değişimi miktarı ile oluşacak gerilim farkı doğru orantılıdır. 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 dalga boylu 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)

Yer içinde elektrolitlerin içerdiği iyonlar bölgesel farklılık gösterebilir. Başka bir deyişle, yer içinde iki farklı çözelti içeren birimler arasında bir iyon alışverişi olacaktır. Bu iyon hareketi bir doğal gerilim oluşturur. 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 milivolt seviyesinde ölçülür. Bu gerilim Nernst Gerilimi olarak bilinir. Difüzyon ve Nernst gerilimi birlikte yer içinde 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 ara yüzeylerinde, nehirlerle denizlerin karıştığı dokunaklar civarında bu gerilim ölçülebilir. Nernst ve Difüzyon 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 materiallerin arayüzeyinde oluşan gerilim farkı ölçülebilecek büyüklüktedir. Bu özellik petrol kuyularında yapılan DU-logu uygulamalarında çok önemlidir.

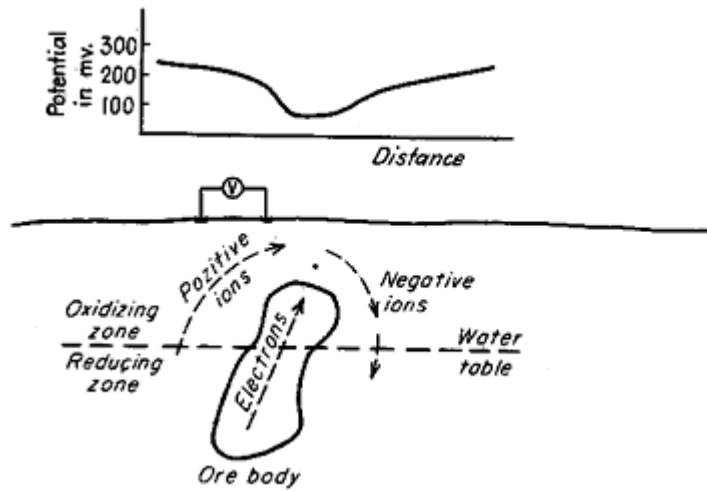
2.4. Mineralizasyon Gerilim

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 değerin zamanla değişmediği görülmüştür. Bunun nedeni tam olarak anlaşılamamıştır. Bu gerilim türünü oluşturan mekanizmalar için aşağıdaki iki farklı görüş öne sürülmüştür:

2.4.1. 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 veren grafit yeterli miktarda oksidasyona uğramaz ve bu görüş bu mineral için geçerli değildir.

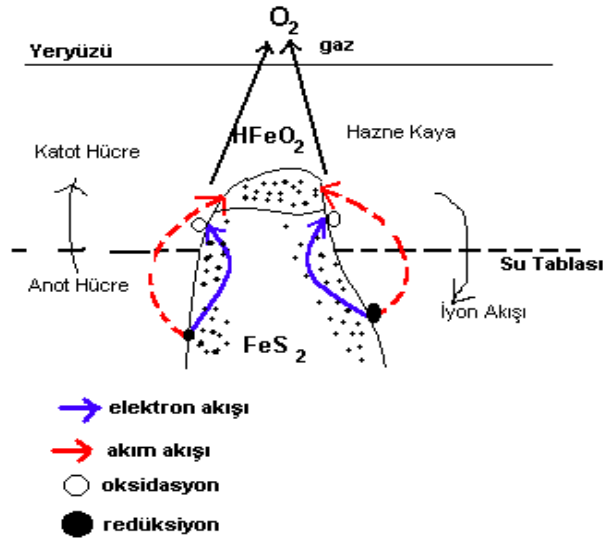


Şekil 2. 1. YASS tarafından kesilen sülfürlü cevherde oluşan DU (Dobrin,1986). Burada oksidasyon zonu içinde kalan bölgede elektrik yük negatiftir, altta ise pozitifdir ve aşağıdan yukarı doğru bir yük akışı olur.

2.4.2. Sato ve Mooney (1960) Görüşü

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 çözültide 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).

2.4. Doğal Gerilimi Oluşturan Diğer Etkenler

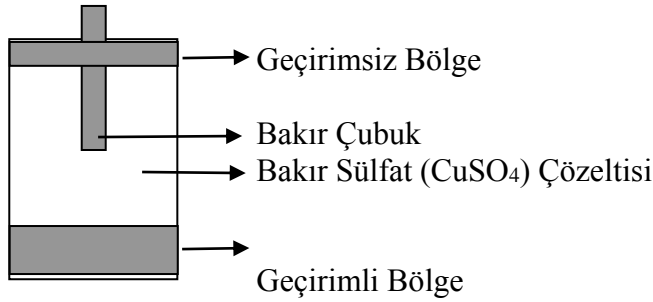
- Tellürik akımlar
- Yapay akım kaçakları ve Güç Hatları
- Yeraltındaki boru hatları

3. DU ÖLÇÜ ALETLERİ

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

a- Fincan Elektrodlar: Paslanmaz çelikten yapılan metal elektrotlar yere çakıldığında, etrafındaki toprak arasında, özellikle toprak ıslak ise değişken elektrolitik uçlaşma (veya kutuplanma) oluşur. Bu uçlaşma nedeniyle oluşan doğal gerilim değerinin değeri, yer içindeki oluşan doğal gerilimden çok büyük olabilir. Bunun için kutuplanmayan porselen veya PVC' den yapılmış fincan (pot) veya silindir benzeri kaplar kullanılır. Bunların 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 bakır sülfat çözeltisi (CuSO_4) dir.

Ölçüye başlamadan önce elektrotlar arasında uçlaşma farkı olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bunun için ölçü çukurları kazılır ve su ile doldurulur. Yer ile fincan elektrotlar 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-geçişli bir filtrenin olması gereklidir.

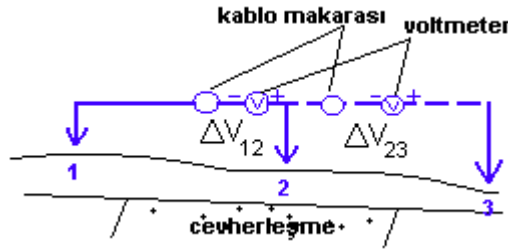
d- Diğer gereçler: Kağıt, kalem, keser, şerit metre, su. Ayrıca alet ve kabloların tamiri için tornavida, kablo bandı, kargaburnu vb. küçük tamir aletleri

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 elektrot arasındaki gerilim farkı ölçülür. Sonra ilk noktadaki elektrot bu sefer ikinci noktaya, ikinci noktadaki elektrot daha önceki aralıkla bu kez üçüncü noktaya konulur. Gerilim farkı ($\Delta\phi$) ölçülür. Bu tekrarlama ile doğrultu boyunca ilerlenir. 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 elektrot voltmeterin negatif ucuna, önde olan elektrot ise her zaman pozitif ucuna takılır.



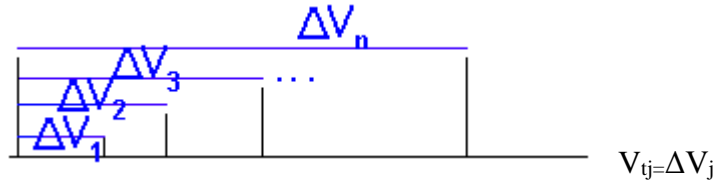
Şekil 4.1. Kaydırma ölçüsü.

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

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

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



Şekil 4.2. Toplam alan ölçüsü