

## 9. YAPAY UÇLAŞMA YÖNTEMİ (INDUCED POLARIZATION-IP)

Yapay Uçlaşma (YU) yer içindeki materyallerde bir akım uyarımı etkisiyle gecikmiş voltaj olarak ölçülen olaydır. Özellikle sülfürlü maden aramalarında kullanılan etkili bir elektrik yöntemidir. Jeofizik' te YU, özdirenç birikmesi veya materyaller içinde elektrik kutuplanma olarak bilinir. YU etkisi kayaçların içinde gruplanmış (kümelenmiş) şekilde bulunan metalik minerallerinde çok fazla görülür.

Minerallerden oluşan bütün kayaçlar elektriksel özellik bakımından hemen hemen yalıtıcıdır. Bu nedenle kayaçlarda, akım kayacın gözeneklerini dolduran yeraltısuyu içerisinde iyonlar ile taşınır. Metalik olan, yani elektriği metallerdeki gibi ileten birkaç mineral vardır. Bunlar genellikle sülfid mineralleridir. Birkaç oksit ve karbonun iletken biçimi olan grafitde bu gruptadır.

### 9.1. YU Yönteminin Tarihçesi

Yöntemin en büyük avantajı, özellikle birim hacim içinde % 0.5 oranında bulunan saçılmış sülfid yapılarından YU belirtisinin oluşmasıdır (Sumner 1974). YU yöntemde, ölçülen değer büyük oranda belirtiyeye neden olan yapıdan kaynaklanır. Dolayısı ile, DU, DAÖ veya EM yöntemlere göre doğrudan belirtiyeye neden olan yapıyı göstermesi bakımından avantajlıdır. YU cevabının büyüklüğü mineralizasyonun değerine (çokluğuna) bağlı artar. Bu değer masif sülfür yapısından dolayı çok büyüktür. Masif sülfür yatakları daha ucuz olan Elektrik ve EM yöntemlerle bulunabilir. Fakat YU yöntemi, saçılmış sülfür yataklarının aranmasında diğer elektrik yöntemlere göre en etkili yöntemdir.

YU cevabını keşfeden ve bu yöneme isim veren kişi bir Fransız olan Conrad Schlumberger' dir. Bu yöntem ile ilgili bir Alman patenti almıştır (1912). Yöntemi tanıtan bir monogramı ise 1920' de yayınlanmıştır. Bu çalışmasında, "*İlgilenilmeyen temel (background) etkisi mineralizasyondan kaynaklanan cevabı silme-yoketme eğilimindedir*" şeklinde bir sonuca varmıştır. Bu ise yıllarca bu yöntem hakkında çalışmaların yapılmamasına neden olmuştur.

Sülfür aramasında YU yönteminin kullanılabileceğini ilk öneren Dakhnov (1941)' dur. Fakat alet yetersizliğinden o dönemde pratik uygulaması yapılamadı. YU-logu 1946' da A.E. Zeleznak tarafından maden cevherinin tesbiti için uygulanmıştır. Petrol aramasında ilk çalışmalara Potapenko (1940) ve Peterson(1940) tarafından yapılmıştır.

Seigel 1948' de yöntemin güvenilir olduğunu göstermiştir. Newmont arama şirketi YU yöntemi konusunda 1949' da araştırmalara başlamıştır. MIT' de Madden başkanlığında bir grup 1952' de YU konusunda çalışmalara başlamıştır. Daha sonra Madden ve Marshall

1956-1959 tarihleri arasında ABD atom enerji komisyonu içinde yazdıkları raporlarda "elektrod u laşması (electrode polarization), "zar u laşması (membrane polarization)", " metal faktör (MF)", "yüzde frekans etki (percent f. Effect)" terimlerini tanımlamışlardır. Madden ve  ğrencileri Hallof ve Vozoff 1954' de arazide cevher üzerinde "audio" frekanslarda test yapmışlardır. Madden bu sırada yapma-kesit (pseudosection)  l u alma sistemini geliştirmiştir.

YU aletleri 1960' dan sonra kullanmaya elverişli hale gelmiş ve dünya genelinde kabul edilen ve kullanılan bir Jeofizik yöntem olmuştur. 1960' ların sonunda karmaşık özdirenç (complex resistivity)  l meleri yapılmaya başlanmıştır. Böylece metalik minerallerle metalik olmayan mineraller (Grafit gibi) birbirinden ayırmak mümkün olmuştur. 1973' lerde faz ve genlik ölçen aletler yapılmaya başlanmıştır. Rusya, ABD ve Kanada' da düşük ve yüksek akım yoğunluğundaki sülfür ayrımı aranmıştır.

YU yorumlamasının babası olarak bilinen Seigel 1959' da yüklenebilirlik (m-chargability) kavramını tanımlamıştır. Galvanik akım' dan oluşan manyetik YU yöntemini Seigel (1974) tanımlamıştır. Jim Wait (1959) zaman ve frekans ortamı YU ve EM yöntemlerin matematik temelini oluşturmuştur. 1950' lere kadar YU  l leri zaman ortamında yapılırken, 1950' de Collett ve Seigel sülfür içeren kayaçlarda G ' in zamana bağlı azaldığını gözlemlemişlerdir. 1950-51 yıllarında Scott ve Wait tasarladıkları alet ile frekans ortamı YU ölüsünü arazide denemişlerdir.

Kirli kum ve kil içinde "Zar u laşmasının" YU etkisi oluşturduğunu Vacquier ve diğ. (1957) gözlemlemiş ve 1B model bağıntısını geliştirmişlerdir.

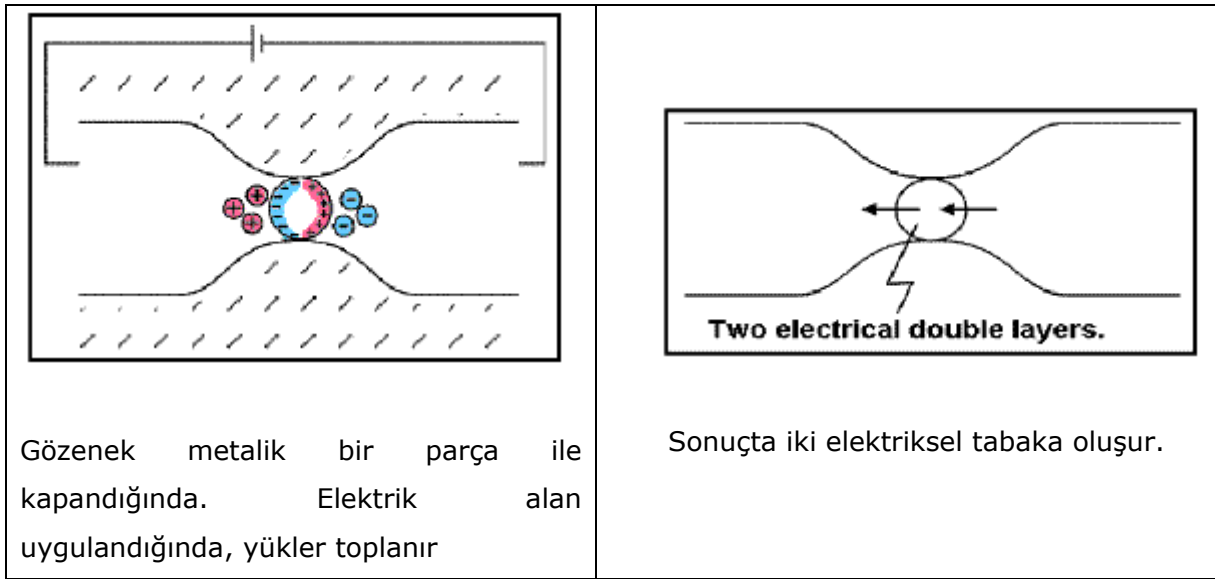
Yine, 1953 yılında New Mexico' da Vacquier ve grubu YU yöntemini su aramasında kullanmıştır. ABD' de 1955-1960 yıllarında birçok  niversite ve maden şirketinde YU konusunda çalışmalar yapılmıştır. Eski Rusya' da ise 1951' den itibaren YU yöntemi araştırılmaya başlandı. Maden aramacılığında kuyuda YU Webster (1986) tarafından yapılmıştır. Petrol aramacılığında, formasyonların incelenmesinde Freedman ve Vogiatzis(1980) in çalışmaları vardır. YU yöntemi, geliştirilen en karmaşık jeofizik yöntemdir ve en büyük dezavantajı pahalı bir yöntem olmasıdır.

## 9.2. YAPAY U LAŐMAYI (YU) OLUŐTURAN ETKİLER

Yeriğine iki elektrod yardımı ile doğru akım uygulanır ve bu akım belirli bir süre sonra kesilirse, bir gerilim  l erden okunan gerilim farkı hemen sıfır olmaz. Zamanla azalarak bu etki sıfıra yaklaşır. Bu etki farklı durumda oluşur. Bunlar "Elektrot Uçlaşması ve Zar Uçlaşması" dır.

### 9.2.1. Elektrot Uçlaşması (Electrode Polarization)

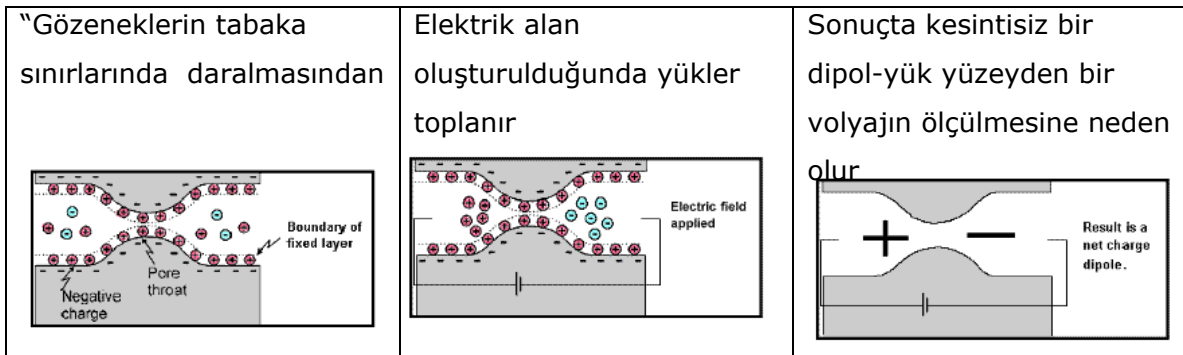
Elektrik akımı yer içerisinde kayaç gözeneklerindeki eriyiğin iyonları ile taşınır. Eğer bu iyonların yolu bazı mineral parçaları ile kapatılırsa, iyonlar metal sınırlarında toplanırlar. Çünkü akım mineral içerisinde elektronik iletkenlik ile taşınacaktır. Mineral etrafında akımın girdiği tarafta pozitif (+), çıktığı tarafta negatif (-) iyonlar toplanır. Böylece biriken yükler elektrik akımının akışına ters yönde bir voltaj yaratırlar. Akım kesilince bu artık voltaj sürekli azalarak söner. Çünkü mineral yüzeyinde toplanan iyonlar tekrar eriyiğe döner. İyonların bu hareketi YU' yı oluşturur. Voltajın azalma biçimi cisimden cisime değişir.



Şekil 1. (UBC' den alınmıştır, URL: <http://www.eos.ubc.ca/ubcgif/>)

### 9.2.2. Zar Uçlaşması (Membrane Polarization)

Kayaç içinde dağılmış kil mineralleri ıslak olduklarında negatif yüklüdürler. Bu nedenle ıslak kil parçacığı üzerinde bir iyon bulutu oluşur. Yeraltına bir akım uygulandığında, pozitif iyonlar yer değiştirerek kil sınırlarından uzaklaşırlar. Akım kesildiğinde ise pozitif iyonlar tekrar kil mineralleri etrafındaki negatif iyonlara doğru hareket ederler. İyonların bu hareketi YU' yı doğurur. Zar Uçlaşması izleyen üç şekil ile açıklanmaktadır:



Şekil 2. (UBC' den alınmıştır, URL: <http://www.eos.ubc.ca/ubcgif/>)

### 9.3. YU YÖNTEMİNDE ÖLÇÜ ALIMI VE YU PARAMETRELERİ

Yu yönteminde ölçüler zaman ortamı veya frekans ortamında alınır.

#### 9.3.1. Zaman Ortamı YU Ölçüsü

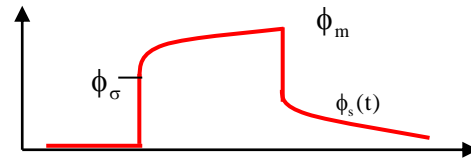
Zaman bölgesi ölçümlerde, yere uygulanan doğru akımın kesilmesinden sonra, ölçülen gerilim farkı aniden sıfıra düşmez. Belirli bir süre sönümlenerek sıfır olur. Bu gerilim eğrisi YU boşalım eğrisi olarak adlandırılır. Zaman bölgesi ölçümleri İki şekilde yapılmaktadır.

1. Yere uygulanan doğru akımdan dolayı gerilim elektrodları (fincan potlar) arasında ölçülen gerilim farkı  $\phi_m$  ve bu akım kesildikten sonra bir t-zamanında oluşan "ikincil" gerilim farkı  $\phi_s(t)$  sembolü ile gösterilsin.  $\phi_s(t)$  gerilim farkının ölçüldüğü bu t-zamanı arazide tüm ölçülerde aynı olmalıdır.

Ölçülen bu iki gerilim farkını kullanarak "yüklenebilirlik" (chargebility) olarak isimlendirilen YU parametresi izleyen eşitlik ile elde edilir.

$$m = \frac{\phi_s(t)}{\phi_m} = \frac{\phi_m - \phi_\sigma}{\phi_m}$$

Yüklenebilirlik boyutsuzdur. Kullanılan semboller, yandaki şekilde açıklanmaktadır.

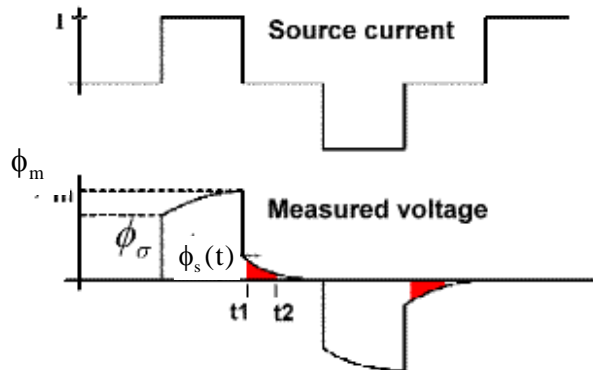


Şekil 1.4. Sumner (1974)' den alınmıştır.

2. Daha genel kullanılan yöntem, sönüm eğrisi altında kalan alanın hesaplanmasıdır. Bu aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$M = \frac{1}{\phi_m} \int_{t_1}^{t_2} \phi_s(t) dt \quad (\text{miliVolt/Volt})$$

(UBC' den alınmıştır, URL:  
<http://www.eos.ubc.ca/ubcgif/>)



Zaman ortamı YU ölçülerinden elde edilen başka bir büyüklük aşağıdaki gibi tanımlanan %YU etkisidir:

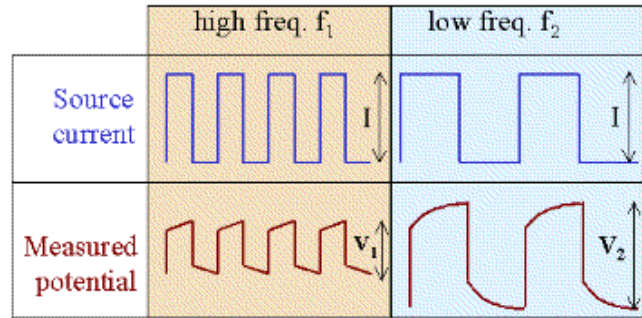
$$\%YU = 100 \frac{\phi_s}{\phi_m}$$

### 9.3.2.Frekans Ortamı YU Ölçüsü

Bu yöntemde iki farklı frekans için alternatif akım uygulanırken ölçü alınır.

- İki şekilde yapılır:

1- Yüzde frekans etki (%FE) olarak bilinen değer, iki farklı frekansa yapılan ölçülerden hesaplanır. Yüksek frekansda, yerin cevabı kısa sürede ölçülür. Dolayısı ile sinyalin küçük olması beklenir. Aşağıda, %FE değerini veren bağıntı verilmiştir:



$$FE = \%100 \left( \frac{\rho_a(f_2) - \rho_a(f_1)}{\rho_a(f_1)} \right) \quad (f_1 > f_2)$$

(UBC' den alınmıştır, URL: <http://www.eos.ubc.ca/ubcgif/>)

Burada  $f_2$  düşük frekans değeridir. Bu frekans için ölçülen özdirenç doğru akımdan dolayı ölçülen özdirenç ( $\rho_{aDC}$ ) olarak kabul edilebilir. Uygulamada ( $f_1, f_2$ ) frekans çifti (0,3, 3) Hz veya (0,5,5) olarak seçilebilir. FE ve  $m'$  nin küçük değerleri için aralarındaki ilişki aşağıdaki gibi verilebilir (Sumner (1976, S.63 ve S.80)

$$FE \approx \frac{m}{1+m} \quad \text{veya} \quad m \approx \frac{FE}{1+FE}$$

ve küçük FE değerleri ( $FE \ll 1$ ) için,  $m \approx FE$  alınabilir.

Frekans ortamı YU ölçülerinden elde edilen bir diğer büyüklük ise "Metal Faktör (MF-Metal factor)" olarak isimlendirilir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Madden, 1957).

$$MF = 2\pi 10^5 \cdot \frac{FE}{\rho_a(f_2)} = 2\pi 10^5 \cdot \left( \frac{\rho_a(f_2) - \rho_a(f_1)}{\rho_a(f_1)\rho_a(f_2)} \right)$$

MF değeri, maden cevherinin özdirencinin yan kayaç özdirencinden küçük ve frekans etkisinin büyük olduğu yerlerde iletkenlik değeri de büyüktür. MF değeri zaman ortamı YU