

Bu ders notlari tamamlanamamistir. Eksik olan yerler 2005-2006 öğretim yili bahar dönemi JF316 Elektrik Yöntemler dersinde anlatilmistir. Ancak ders notlariniza ek olarak bu hali ile bu notlari kullaniminiza sunuyorum.

YAPAY UÇLASMA (INDUCED POLARIZATION-IP)

1. GIRIS

Yapay Uçlasma (YU) yer içindeki materyallerde bir akim uyarimi etkisiyle gecikmis voltaj olarak ölçülen olaydır. Özellikle sülfürlü maden aramalarında kullanılan etkili bir elektrik yöntemidir. Jeofizik' te YU, öz direnç birikmesi veya materyaller içinde elektrik kutuplanma olarak bilinir. YU etkisi kayaçların içinde gruplanmış (kümelenmiş) şekilde bulunan metalik minerallerinde çok fazla görülür.

Minerallerden olusan bütün kayaçlar elektriksel özellik bakımından hemen hemen yalıtıcıdır. Bu nedenle kayaçlarda, akim kayacın gözeneklerini dolduran yeraltı suyu içerisinde iyonlar ile taşınır. Metalik olan, yani elektrigi metallerdeki gibi ileten birkaç mineral vardır. Bunlar genellikle sülfür mineralleridir. Birkaç oksit ve karbonun iletken biçimi olan grafitte bu gruptadır.

Yöntemin en büyük avantajı, özellikle birim hacim içinde % 0.5 oranında bulunan saçılmış sülfür yapılarından YU belirtisinin oluşmasıdır (Sumner 1974). YU yönteminde, ölçülen değer büyük oranda belirtiyi neden olan yapıdan kaynaklanır. Dolayısı ile, DU, DAÖ veya EM yöntemlere göre doğrudan belirtiyi 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 yönteme 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 çalışmada, ilgilenilmeyen temel (background) etkisi mineralizasyondan kaynaklanan cevabi silme-yoketme eğilimindedir şeklinde bir sonuç varmıştır. Bu ise yıllarca bu yöntem hakkında çalışmaların yapılmamasına neden olmuştur.

1930' larda YU yöntemi petrol ve cevher aramalarında kullanılmaya başlamıştır. 1948' de Seigel yöntemin güvenilir olduğunu göstermiştir. 1949' da Newmont arama şirketi YU yöntemi konusunda araştırmalara başlamıştır. 1952' de MIT' de Madden başkanlığında bir grup YU konusunda çalışmalara başladı. Yine, 1953 yılında New Mexico' da Vacquier ve grubu YU yöntemini su aramasında kullandılar. 1955-1960 yıllarında ABD' de birçok üniversite ve maden şirketinde YU konusunda çalışmalar yapılmıştır. Eski Rusya' da ise 1951' den itibaren YU yöntemi araştırılmaya başlandı.

1960' dan sonra YU aletleri kullanmaya elverişli hale geldi ve dünya genelinde kabul edilen ve kullanılan bir Jeofizik yöntem oldu. 1960' ların sonunda karmaşık öz direnç (complex resistivity) ölçümleri yapılmaya başlandı. Böylece metal ve Grafit gibi metal olmayan iletkenleri birbirinden ayırmak mümkün oldu. 1973' lerde faz ve genlik ölçen aletler yapılmaya başlandı. Rusya, ABD ve Kanada' da düşük ve yüksek akım yoğunluğundaki sülfür ayrımı araştırıldı.

Yapay kaynaklı EM (Induction EM) yöntemler, kutuplanma cevabının oluşturulamayacağını kanıtladı. Yine de bir firma Manyetik YU yöntemini geliştirdi. Fakat bu yöntemde de yeni bir elektrod çifti ile akım uygulanıyor ve bir AC manyetometre ile sinyal ölçülüyordu. YU yöntemi

ile 1985'lerden sonra hidrokarbon aramaları yapılmaya başlandı. Sülfür aramasında YU yönteminin kullanılabileceğini ilk öneren Dakhnov (1941) oldu. Fakat alet yetersizliğinden o dönemdir pratik uygulaması yapılamadı. YU-logu 1946' da A.E. Zeleznak tarafından maden cevherinin tesbiti için uygulandı. Petrol aramasında ilk çalışmalara Potapenko (1940) ve Peterson (1940) tarafından yapıldı.

YU yorumlamasının babası olarak bilinen Seigel 1959' da yüklenebilirlik (m-chargability) kavramını tanımlamıştır. Jim Wait (1959) zaman ve frekans ortamı YU ve EM yöntemlerin matematik temelini oluşturmıştır. Çalışmaları havadan EM ve EM cevabı, kuyulogu, kablo kutuplanma konularını kapsıyor.

1950' lere kadar YU ölçüleri zaman ortamında yapılırdı. 1950' de Collett ve Seigel sülfür içeren kayalarda GÖ' in zamana bağlı azaldığını gözlemlemişlerdir. 1950-51 yıllarında Scott ve Wait tasarladıkları alet ile f-ortamı YU ölçüsünü arazide denemişlerdir.

Madden ve öğrencileri Hallof ve Vozoff 1954' de arazide cevher üzerinde "audio" frekanslarda test yapmışlardır. Madden bu sırada yapma-kesit (pseudosection) ölçü alma sistemini geliştirmiştir. Daha sonra Madden ve Marshall 1956-59 tarihlerinde ABD atom enerji komisyonu içinde yazdıkları raporlarda "elektrod uçlasması (electrode polarization)", "zar uçlasması (membrane polarization)", "metal faktör (MF)", "yüzde frekans etki (percent f. Effect)" terimlerini tanımlamışlardır.

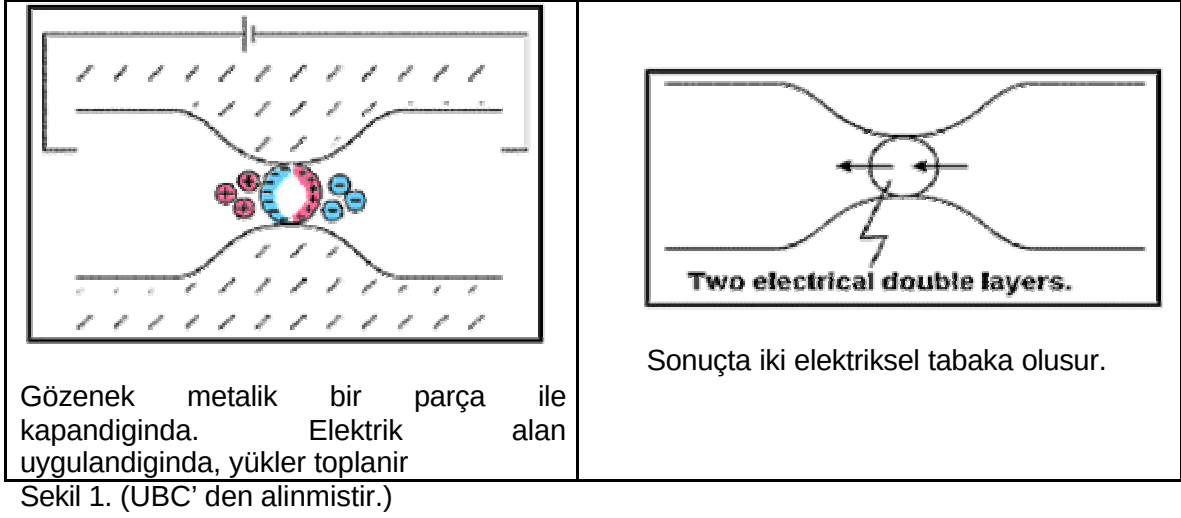
Kirli kum ve kil içinde "Zar uçlasmasının" YU etkisi oluşturduğunu Vacquier ve dig. (1957) gözlemlemiş ve 1B model bağıntısını geliştirmişlerdir. Pelton ve dig. (1978) yüklenebilirlik ve zaman sabiti (time constant) kavramlarını tanımlamışlardır. Galvanik akım' dan oluşan manyetik YU yöntemini Seigel (1974) tanımlamıştır. 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.

2. YU OLUSTURAN ETKİLER

Yeriçine iki elektrod yardımı ile doğru akım uygulanırsa ve bu akım belirli bir süre sonra kesilirse, bir gerilim ölçerden okunan gerilim farkı hemen sıfır olmaz. Zamanla azalarak bu etki sıfıra yaklaşır. Bu etki farklı durumda oluşur. Bunlar "Elektrod Kutuplanması ve Zar Kutuplanması" dir.

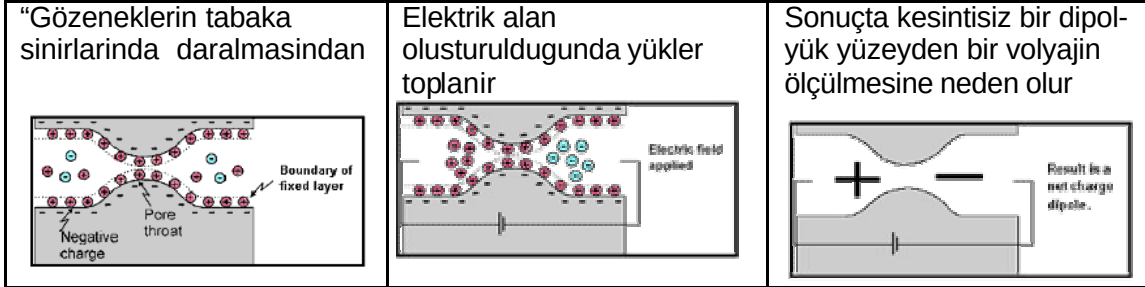
2.1. Elektrod Kutuplanması (Electrode Polarization)

Elektrik akımı yer içerisinde kayaç gözeneklerindeki eriyigin 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 akısına ters yönde bir voltaj yaratırlar. Akım kesilince bu artık voltaj sürekli azalarak söner. Çünkü mineral yüzeyinde toplanan iyonlar tekrar eriyige döner. İyonların bu hareketi YU' yı oluşturur. Voltajın azalma biçimi cisimden cisime değişir.



2.2. Zar Uçlasması (Membrane Polarization)

Kayaç içinde dağılmış kil mineralleri ıslak olduklarında pozitif veya 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' yi doğurur. Zar Uçlasması izleyen üç şekil ile açıklanmaktadır:



3. YU YÖNTEMİNDE ÖLÇÜ ALIMI VE YU PARAMETRELERİ

Yu yönteminde ölçüler zaman ortami veya frekans ortamında alınır.

3.1. Zaman Ortami YU Ölçüsü

Zaman bölgesi ölçümlerde, yere uygulanan doğru akımın kesilmesinden sonra, ölçülen gerilim farkı aniden sifira düşmez. Belli bir süre sönümlenerek sifir olur. Bu gerilim egrisi YU bosalım egrisi olarak adlandırılır. Zaman bölgesi ölçümleri İki şekilde yapılmaktadır.

1. Yere uygulanan doğru akımdan dolayı gerilim elektrodları (fincan potlar) arasında ölçülen gerilim farkı f_m ve bu akım kesildikten sonra bir t-zamanında oluşan "ikinci"

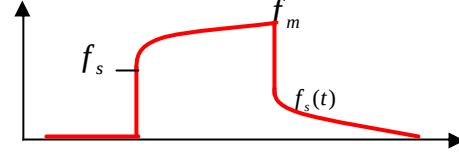
gerilim farkı $f_s(t)$ sembolü ile gösterilsin. $f_s(t)$ gerilim farkının ölçüldüğü bu t-zamani arazide tüm ölçülerde aynı olmalıdır.

2.

Ölçülen bu iki gerilim farkını kullanarak “yüklenabilirlik” (chargebility) olarak isimlendirilen YU parametresi izleyen esitlik ile elde edilir.

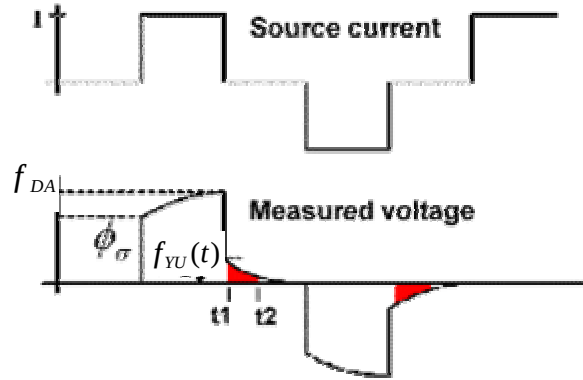
$$m = \frac{f_s(t)}{f_m} = \frac{f_m - f_s}{f_m}$$

Yüklenebilirlik boyutsuzdur. Parametreler, yandaki şekilde açıklanmaktadır.



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

$$M = \frac{1}{f_m} \int_{t_1}^{t_2} f_s(t) dt$$



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

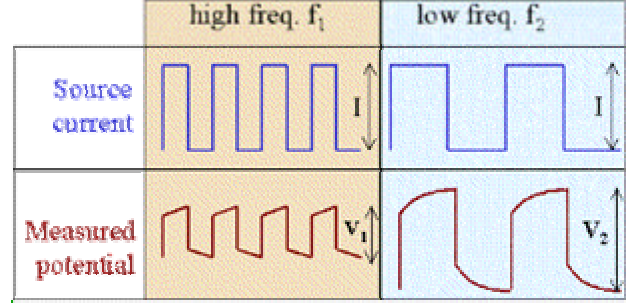
$$\%YU = 100 \frac{f_s}{f_m}$$

3.2. Frekans Ortami YU Ölçüsü

- İki şekilde yapılır:

1- Yüzde frekans etki (%FE) olarak bilinen deger, iki farklı frekansa yapılan ölçülerden hesaplanır. Yüksek frekansa, yerin cevabi kısa sürede ölçülür. Dolayisi ile sinyalin küçük olması beklenir. Asagida, %FE degerini veren baginti verilmistir:

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



Burada f₂ düşük frekans degeridir. Bu deger pratikte 0.1-10 cps dir ve bu frekans için ölçülen öz direnç dogru akim dan dolayi ölçülen öz direnç olarak kabul edilebilir. Uygulamada (f₁, f₂) frekans çifti (0.3, 3) veya (0.5,5) olarak seçilebilir. FE ve m' n,n küçük degerleri için aralarindaki iliski asagidaki gibi verilebilir (Sumner (1976, S.63 ve S.80)

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

ve küçük FE degerleri (FE << 1) için, $m \approx FE$ alınabilir.

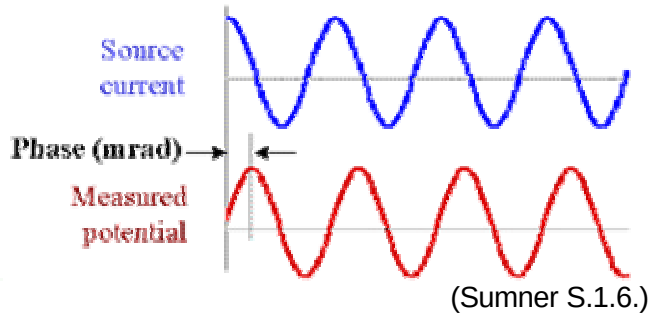
Frekans ortami YU ölçülerinden elde edilen bir diger büyüklük ise "Metal Faktör (MF-Metal factor)" olarak isimlendirilir ve asagidaki esitlikle hesaplanır (Madden, 1957).

$$MF = 2p10^5 \cdot \frac{FE}{r_a(f_2)} = 2p10^5 \cdot \left(\frac{r_a(f_2) - r_a(f_1)}{r_a(f_1)r_a(f_2)} \right)$$

MF degeri, maden cevherinin öz direncinin yan kayaç öz direncinden küçük ve frekans etkisinin büyük olduğu yerlerde iletkenlik degeri de büyüktür. MF degeri zaman ortami YU parametresi olan yüklenebilirlik kullanılarak da asagidaki gibi elde elde edilebilir (Bertin and Loeb, 1976):

$$MF = 2p10^5 \cdot \frac{m}{f_{DA}}$$

2- Aynı salinim frekansli iki sinüzodial dalga formu, aralarindaki zaman kaymasi veya dalga boyunun açisal kesimi ile karsilastirilabilir. Faz Alicidan verilen akim ve ölçülen gerilim degeri sinüs dalgasi seklinde çizilirse, uyarici akim ile kutuplanma voltaji sinyalleri arasindaki faz farki (veya faz açisi) ölçülebilir (Sumner, 1976, Sekil 1.6). Birimi miliradyan' dir.



YU faz gecikmesi dalgı formuna göre iki bileşene ayrılabilir. Bunlar “in-phase” ve “out-of-phase” bileşenleridir (Şekil 1.7). Bu iki bileşen modern elektrik aygıtları ile daha kolay ölçülebilir. Faz açısının yanında bu iki bileşen, YU yorumunda ek bilgi sağlar. Faz açısı (b) aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$b(w) = \tan^{-1} \left(\frac{f(sanal)}{f(gerçel)} \right)$$

Dogru akım uygulamalarında görünür özdirenç (3.1.) bağıntısı ile tanımlanırken, alternatif akım uygulamalarında,

$$r_a(w) = |r_a(w)|e^{ib(w)}$$

bağıntısı ile karmaşık özdirenç tanımı yapılır.

Zaman ve frekans ortamı YU ölçüleri birbirinden farklı gözükmesine rağmen benzer uygulamalardır. Yüklenebilirlik ile frekans etki değerleri birbirine eşdeğer büyüklüklerdir. Frekans ortamı ölçüler hızlı olması bakımından zaman ortamına göre tercih edilmektedir. Yerindeki kayaç ve minerallerin iletkenlik değeri geniş bir aralıkta değişirken, YU cevapları (m ve FE) geniş aralıkta değişmez. Bu nedenle FE ve m değerleri % şeklinde verilebilirler.

3.3. Görünür Yüklenebilirlik ve Görünür FE Kavramları

Arazide ölçülen gerilim farklarından bölüm 3.1 ve 3.2 ' de elde edilen m ve FE parametreleri, yerindeki farklı özdirenç ve YU özelliğı olan yapıların toplamından etkilenmektedir. Dolayısı ile arazide ölçülen gerilim farklarından elde edilen yüklenebilirlik değerine görünür yüklenebilirlik (m_a) ve frekans etki değerine görünür frekans etki (FE_a) denir.

4. YU YÖNTEMİNDE VERİ TOPLAMA TEKNİKLERİ

YU Yönteminde, DAÖ yönteminde kullanılan elektrod dizilimlerinden birisi isteğe bağlı seçilir. Genel olarak Dipol-dipol veya Pole-Dipole dizilimi kullanılır.

- Ölçü alim teknikleri ise DAÖ yönteminde olduğu gibi şunlardır;
 - Sondaj ölçüsü
 - Profil Ölçüsü
 - Sondaj-Profil ölçüsü

Bu ölçü tekniklerinden birisine göre ölçülen veriler ile Sondaj Egrileri, Profil Egrileri, yapma-kesitler ve seviye haritaları çizilebilir. Bu grafikler arazide ölçülen gerilim farkı değerlerinden elde edilen Görünür Özdirenç ve Görünür Yüklenebilirlik (veya F-ortamında %FE değerleri) değerleri için ayrı ayrı çizilir.

- YU Yönteminde Kullanılan Ölçü Aletleri DAÖ yöntemindekiler ile aynıdır. Farklı olarak
- YU yönteminde gerilim elektrodu olarak polarize olmayan potlar kullanılır.
 - Ölçü aleti olarak seçime bağlı Zaman veya Frekans ortamı ölçü alan aletler kullanılır. Bu aletler hem doğru akım' da ($f=0$ veya sıfıra çok yakın) hemde seçime bağlı frekanslarda alternatif akımda gerilim değerlerini ölçer.

5. YU YÖNTEMİNDE VERİ YORUMU

YU verileri de DAÖ verilerine benzer nitel ve nicel olarak yorumlanabilir.

5.1. YU verilerinin Nitel Yorumu

Nitel yorum ölçülen gerilim farklarından elde edilen YU büyüklükleri ile ($GÖ(r_a)$, $GY(m_a)$) veya frekans ortamı için $GÖ$ ve $\%FE$ elde edilen sondaj-egrileri, profil egrileri, yapma-kesitler ve seviye haritalarına bakılarak yorumlar yapılır.

Nitel yorumda, örneğin sülfürlü maden arama amaçlı çalışmalarda; genel olarak r_a 'nin düşük ve m_a 'nin büyük olduğu yerler belirti bölgesi olarak kabul edilir.

Dogada bulunan bütün kayalar iletken içersin veya içermesin azda olsa YU etkisi gösterirler. Bu etkiye normal etki veya arka plan (background) etki denir. Genel olarak YU verilerinin yorumunda belirti türleri $\%FE$ ve m_a 'nin büyüklüğüne bağlı olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Basokur);

<u>$\%FE$</u>	<u>m_a</u>	<u>Belirti Türü</u>
0 – 4	0 – 10	Normal (arka plan) etkisi
4 – 8		Zayıf Belirti
8 – 40	> 10	Belirti

5.2. YU Verilerinin Nicel Yorumu

YU yönteminde arazide ölçülen görünür yüklenebilirlik değerlerinden yüklenebilirlik değerlerinin hesaplanabilmesi için, önce Görünür Özdirenç verilerinden elde edilen verinin yeterliliğine göre 1-B, 2-B veya 3-B ters çözüm ile özdirençler elde edilir. Daha sonra bunlar kullanılarak yüklenebilirlikleri hesaplayabiliriz.

- Her iki veri grubunun eşzamanlı “modelleme” ve “ters çözüm” teknikleri ile veri işlemi yapılır. Daha sonra elde edilen modeller yorumda kullanılır.

Yeraltındaki herhangi bir kutuplanabilen yapı ve kullanılan herhangi bir elektrod dizilimi için Görünür yüklenebilirlik (m_a) değeri Seigel(1958) tarafından verilmiştir. Model parametreleri ve görünür yüklenebilirliği (m_a) ilişkilendiren “model bağıntısı” aşağıdaki gibi verilebilir (Siegel, 1958).

$$m_a = \frac{f_s(t)}{f_m} = \frac{f_m - f_s}{f_m} = \frac{F_{DA}[s(1-m)] - F_{DA}[s]}{F_{DA}[s(1-m)]} \quad (5.1)$$

Burada,

$$f_s = F_{DA}[s]$$

oldugu görülmektedir. $F_{DA}[s]$, dogru akim öz direnç için düz çözüm operatörüdür ve üç boyutlu (x,y,z) kartezyen koordinatlarda asagidaki gibi verilir:

$$\nabla.[s \nabla f_s] = -Id(x - x_0)d(y - y_0)d(z - z_0) \quad (5.2)$$

Burada s (x,y,z) uzayinda öziletkenlik(Özdirenç- $r = 1/s$) ve m ise yine üç boyutlu uzayda yüklenebilirliktr. Benzer sekilde $f_m = F_{DA}[s(1 - m)]$ dir. Bu durumda $F_{DA}[s(1 - m)]$ düz çözüm operatörü asagidaki gibi verilir:

$$\nabla.[s(1 - m)\nabla f_m] = -Id(x - x_0)d(y - y_0)d(z - z_0) \quad (5.3)$$

Esitlik (5.2) ve (5.3) den sirasiyla f_s ve f_m çözülerek (5.1) de yerine konursa, görünür yüklenebilirlik degeri hesaplanir. Hesaplanan deger üç boyutlu öz direnç ve yüklenebilirlik modelleri içindir. İki-boyutlu (2B) modelleme için esitlik (5.2) ve (5.3)' de

$$\frac{\partial s(x, y, z)}{\partial y} = 0 \quad \text{ve} \quad \frac{\partial m(x, y, z)}{\partial y} = 0$$

kabul edilir. Sonuç denklemi DAÖ yönteminde anlatildigi gibi çözülerek 2B öz direnç ve yüklenebilirlik modelleri için görünür yüklenebilirlik degeri elde edilmiş olur.

Yukarda görüldüğü m_a degerlerinin hesaplanabilmesi için iki kere DAÖ düz çözüm operatörü çözülmelidir. Ters çözüm ise DAÖ yöntemindeki gibi, dogrusal olmayan problemlerin ters çözüm yöntemlerinden birisi ile çözülür. YU yönteminde genellikle DAÖ verilerinin de ters çözümünde kullanılan, "yuvarlatılmış sönümlü-en küçük-kareler(OCCAM inversion)" yöntemi kullanilir.

6. Spektral YU Yöntemi (Faz YU Yöntemi)

Bu yöntem, zaman ve frekans ortamı yapay uçlasma ölçümlerinin üstünlüklerini kapsar. Ek olarak daha duyarlı ve çabuk ölçü alınır. Bu yöntemde, faz ve genlik ölçüsü geniş bir frekans aralığında gerçekleştirilir. Frekans aralığı $1/32$ ($1/2^5$) Hz' den – 1024 (2^{10}) Hz' e kadar olabilir. Bu yöntemde amaç, bir elektrod yerleşimi için geniş frekans bölgesinde yeraltının elektrik yanıtını (transfer function) belirlemektir. Yanıttaki küçük bir değişim önemli olduğundan, ölçümleri mümkün olduğu kadar duyarlı yapmak gerekir.

Spektral YU yönteminde önlem alınması gereken su üç gürültü ve saçılma (distortion) kaynağı vardır:

- I- **Tellürik Akımlar:** Elektriksel gürültü olarak bütün frekanslarda bulunurlar. Ancak bu akımlar çok düşük frekanslarda büyük sorun haline gelir. Ölçülerden, tellürik akımları gidermek için "coherent" süzgeçler kullanılır. Bu sinyal birleştirme (signal stacking) tekniğini kullanmak için, akım kaynağı ile alıcı arasında son derece doğru faz kontrolü kurmak gerekir.
- II- **Akım Kaynağındaki Değişimler:** Elektrodlar yardımı ile yere uygulanan akımın genliği ve frekansında, zamanla değişimler olur. Bu etkiler, akımın dalga formunda değişiklikler yaratırlar. Bu değişiklikler tanımlanıp, dengelenmezler ise duyarlı Spektral YU ölçüsü alınamaz. Bunun için alıcılara akım kanalı (current channel) eklenir. Bunlar ile akımın dalga formu alıcıya iletilir. Bu dalga formu, sinyalin genliğini ve fazını bulmak için kullanılır.
- III- **"Inductive Coupling", Elektromanyetik Etkiler:** Spektral YU ölçülerini saçılmaya uğratmaları beklenebilir. Bu saçılmalar, frekansın ve iletkenliğin artması, elektrod aralığı ve açılımın büyümesi ile artar. Bu etki daha çok yüksek frekanslarda sorun oluşturur (Dey ve Morrison, 1978; Hohmann, 1973,1975). Bu elektromanyetik etkilerin frekans bağılından oldukça farkı olması iyi bir sanstır. Spektral YU ölçülerine yüksek frekanslarda devam ederek, bir elektrod yerleşimi ve yeraltı geometrisi için, bu etkinin büyüklüğünü ve frekansını belirlemek mümkündür. Spektral YU yanıtından EM saçılmaları kaldırmak için bir ters çözüm tekniği geliştirilmiştir (Hollof and Pelton, 1980)

6.1. Spektral YU Yanıtı

Geniş bir frekans aralığında, genlik ve faz ölçüleri duyarlı olarak yapılırsa ve inductive coupling uygun bir teknikle kaldırılırsa, bir elektrod yerleşimi için spektral YU yanıtı duyarlı olarak belirlenebilir. Yapılan çalışmalarda aşağıdaki gibi verilen Cole-Cole denkleminin SIP yanıtı olan karmaşık öz direnci (empedansı) (Z) tanımlayan en uygun bağıntı olduğu gözlemlenmiştir (Pelton ve diğ., 1978):

$$Z(w) = r_{DA} \left[1 - m \left(1 - \frac{1}{(1 + iwt)^c} \right) \right]$$

Burada $Z(w)$ ' nin birimi ohm-m' dir. Geniş bir frekans aralığında yukardaki gibi verilen spektral YU yanıtı izleyen dört parametre ile tanımlanır:

$Z(w)$	Karmasik Özdirenc (Karmasik Empedans) (ohm-m)
r_{DA}	Dogru akimdaki özdirenc (ohm-m)
m	Yüklenebilirlik (Volt/Volt- boyutsuz)
t	Zaman Sabiti (s)
c	Frekans bagili
w	Açisal Frekans (s^{-1})

f_c frekansi kritik frekans olarak adlandırılır ve en büyük faz kaymasının ölçüldüğü frekanstir. f_c genellikle spektral yaniti tanımlamak için kullanılır. Cole-Cole denkleminde f_c diger parametreler cinsinden;

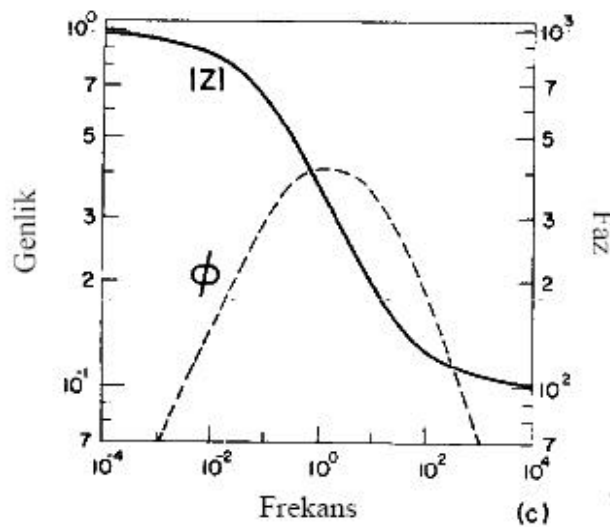
$$f_c = \frac{1}{2\pi t(1-m)0.5^c}$$

olarak verilir. f_c , zaman sabiti ile ters orantilidir. Bu deger yüksek frekanslarda ise zaman-sabiti küçük, alçak frekanslarda bulunursa zaman-sabiti küçüktür.

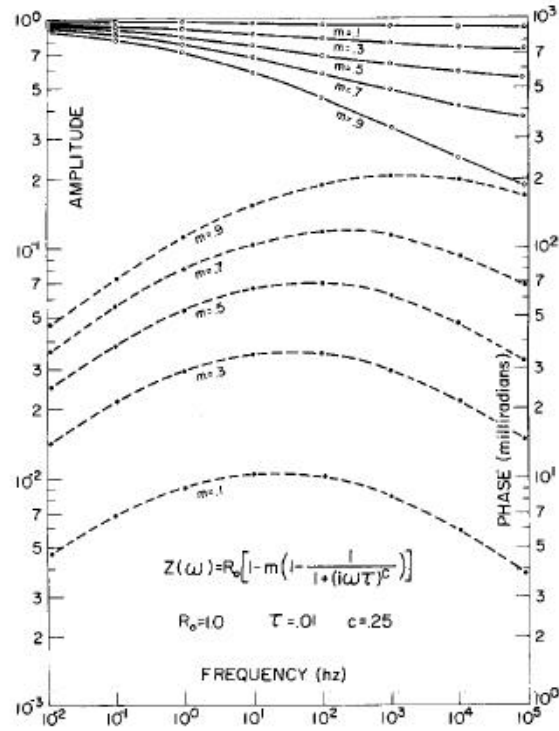
Herhangi polarize olabilen kayaç için r_{DA} ve m degerleri, kayacin gözeneklerine ve içerdigi metalik parçaciklarin toplam yüzdesine baglidir. Metalik mineral yüzdesi artarsa, r_{DA} küçülür, m ise artar.

Arastirmalar ve arazi deneyimi, t ve c degerlerinin, daha çok kayaçta bulunan metalik minerallerin türüne bagli olarak "metal minerallesme dokusu (texture)" ile iliskilidir. Dokuyu tanımlayan iki etken bulunmaktadır. Bunlar,

- YU etkisine neden olacak polarizlenme parçaciklarin herbir populasyonu için tane-iriliği ve
- Kayaçta bulunan parçaciklarin farkli populasyonlarinin sayisi ve herbir polarizlenebilen parçacik populasyonlarinin içindeki tane-iriliği dagilimleri.



Şekil 6.1. IP etkisini temsil eden basit bir devre modeli için karmasik empedansin genlik ve fazinin frekansla degisimi (Pelton ve dig. 1978)



Sekil 6.2. Cole-Cole modeli için genlik ve faz egrileri. Grafikte, $r_{DA} = 1.0$, $t = 0.01$, $c = 0.25$, ve $m = 0.1-0.9$ arasında degismektedir (Pelton ve dig. 1978).

KAYNAKLAR

Asagida bu ders notunun hazirlanmasinda kullanim kaynak ve YU yöntemi ile ilgili yararlanabileceginiz diger bazi kaynaklar sunulmustur.

- Sumner, J.S., 1976. Principle of induced polarization for geophysical exploration. Elsevier Pub., Amsterdam-Oxford-New York.
- Fink, J.B., McAlister E.O, Sternberg, B.K., Wieduwilt G.W., Ward, S.H.. Induced Polarization application and case histories. SEG publication, 1990.
- Bevington, P.R., D.K. Robinson, 1992, Data Reduction and error analysis for the physical sciences, McGraw Hill Inc.
- Dey , A. and H.F. Morrison, 1979a, Resistivity modelling for arbitrarily shaped two-dimensional structures, Geophysical Prospecting, 27, 106-136.
- Dey, A. and H.F. Morrison, 1979b, Resistivity modeling for arbitrarily shaped three-dimensional structures: Geophysics, 44, no. 4, 753-780.
- Fink, J.B. ... (et al.) editors, 1990, Induced Polarization: applications and case histories. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Ok., 1990.
- Ghosh, D. P., 1971, The application of linear filter theory to the direct interpretation of geoelectrical resistivity sounding measurements: Geophysical Prospecting, 19, no. 2, 192-217.
- Inman, J.R., 1975, Resistivity inversion with ridge regression., Geophysics, Vol 40, #5, pg 798, or Geophysics, Vol 50, #11, pg 2112.
- Inman, J.R., Ryu, J., Ward, S.,1973, Resistivity inversion., Geophysics, Vol 38, #6, pg 1088.
- Milsom, J.M., 1996, Field Geophysics, 2nd Edition, John Wiley & Sons.
- McGillivray, P.R., 1992, Forward modelling and inversion of dc resistivity and mmr data. , unpublished PhD. thesis, UBC.
- Oldenburg, D., and Y. Li, 1994, Inversion of induced polarization data, Geophysics, Vol 59, No. 9, Pg 1327.
- Oldenburg, D.W., Y. Li and R.G. Ellis, 1997, Inversion of geophysical data over a copper gold porphyry deposit: a case history for Mt. Milligan, Geophysics, 62, 5, pp1419-1431
- Reynolds, J.M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons.
- Sharma, P.V., 1997, *Environmental and Engineering Geophysics*, Cambridge University Press.
- Siegel. H.O., 1959, *Mathematical formulation and type curves for induced polarization* Geophysics, 38, 49-60.
- Strangway, D.W., 1966. *Electromagnetic parameters of some sulfide ore bodies*, In Mining Geophysics, vol 1, 227-247. Tulsa, Society of Exploration Geophysicists.
- Telford, W.M., L.P. Geldart, and R.E. Sheriff, 1990, *Applied Geophysics*, 2nd ed., Cambridge University Press, 1990.