

## ZAMAN ORTAMI IP ÖLÇÜLERİNDE SÖNÜM EĞRİSİ ANALİZİ

### DECAY CURVE ANALYSIS IN THE TIME DOMAIN OF IP DATA

O. TEZEL

İ. Ü. Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar - İSTANBUL

**ÖZ:** Yapılan bu çalışmada, İndüklem Polarizasyon (IP) yöntemi, zaman ortamı ölçü tekniğinde, zaman sabiti ve frekans bağımlılığı parametrelerinin zamana göre değişimlerinden, sönüm eğrisi elde edilmiştir. Ayrıca, sönüm eğrisinin analizi yardımıyla polarizasyon ortamlarının karakteristik davranışları da ortaya konulmuştur.

Sönüm eğrisinin analizi ile  $\tau_1$  eğiminin küçük zaman aralığında hızlı boşalan ortamları temsil ettiği gözlenmiştir. Dolayısıyla  $\tau_1$  eğimine sahip ve frekans bağımlılığının yüksek olduğu bu ortamlar iletken olarak nitelendirilmiştir. Bu tip ortamların, maden sahalarında, doğrudan doğruya metalik mineralizasyonların varlığını işaret ettikleri kanaatine varılmıştır.

**Anahtar sözcükler :** IP, zaman ortamı, sönüm eğrisi, metalik mineralizasyon.

#### ABSTRACT

In this study, Induced Polarization (IP) technique, time domain measurement technique, time constancy and frequency variability parameters gave us the "decay curve" when their change considered in different times. In addition, decay curve analysis happened to gave us characteristics behavior of the polarizable environments.

It is observed that in the use of the analysis of decay curves,  $\tau_1$  slope represents the fast released part of the earth structure in a short time interval. Thus, if a structure has  $\tau_1$  slope and high frequency dependency, it can be said that structure is conductive. This type of structure directly indicate the existence of metallic mineralizations in the mine areas.

**Key words :** IP, time domain, decay curve, metallic mineralization.

#### GİRİŞ

Son yıllarda İndüklem Polarizasyon (IP) yöntemi, ölçü tekniklerindeki gelişmelere bağlı olarak uygulanabilirliğini sürekli arttırmaktadır. Bu çalışmada, yöntemin ülkemizde de kullanılabilirliğinin artmasına katkı amacıyla ölçü tekniği gelişmelerinden zaman ortamı ölçüsü araştırılmış ve konu ile ilgili bugüne değin yapılmış mevcut çalışmalar incelenmiştir.

IP yöntemi, kayaçların fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak iyon ve metalik mineral içeren bölgelerinin saptanmasında kullanılan bir jeofizik yöntemidir. Yöntem bu bölgeleri, iyonların kayaç içerisinde arayüzey kutuplaştırmaları oluşturmasından yararlanarak saptamaya çalışır. IP yöntemi, yeraltının hem özdirenç hem de iyonik kutuplaşma durumunu yansıtmayı nedeniyle, son yıllarda en sık kullanılan yöntemler arasına girmiştir. Jeofizik yöntemler, genelde, yeraltının analitik değerlendirilmesi için kullanılır. IP yöntemi ise, analitik

yorumlarının yanında kalitatif (niteliksel) yorumlar da verebilmesi nedeniyle, sülfürlü mineral yatağının aranmasında vazgeçilmez bir yöntem durumuna gelmiştir. Bunun yanında yeraltı suları ve mühendislik jeofiziği konularında da IP uygulamalarının gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Keza, hidrokarbon (doğal gaz ve petrol) yataklarının aranmasında özellikle sismik yöntemlerin uygulanamadığı alanlarda en etkin jeofizik yöntemlerden biri olduğu söylenmektedir (Snyder, 1980; Zonge, 1982). Ayrıca, heyelan bölgesinde kayma düzlemlerinin belirlenmesi çalışmalarında, inşaat mühendisliği problemlerinin (zemin-temel araştırmaları gibi) çözümlenmesinde de etkin sonuçlar verebilmektedir (Dizioğlu ve Keçeli, 1981).

Uygulamada IP ölçüleri iki şekilde yapılmaktadır. Bunlardan birincisi frekans ortamı ölçüsü (değişken frekans yöntemi) olarak adlandırılır. Bu yöntemde yer içerisine uygulanan akımın frekansı değiştirilince, yer içi-

nin empedansının değişmesine karşılık gelen ve polarizasyon özelliğini yansıtan parametre yani yüzde frekans etkisi (PFE) ölçülmüş olur. İkinci ölçü tekniğinde ise puls transiyent yöntemi kullanılarak, zaman ortamındaki polarizasyon incelenir. Bu yöntemde, basamak şeklinde pozitif ve negatif olarak yer içerisine gönderilen akımın kesilmesinden sonra, potansiyel elektrodları arasındaki gerilimin zamana bağlı olarak sönümü saptanır. Gerçekte matematiksel olarak her iki ölçü tekniği parametresinde aynıdır (Hallov, 1964). Yani, puls transiyentinde ölçülen yüklenbilirlik parametresi, değişken frekans yönteminde ölçülen frekans etkisi (PFE) parametresine eşdeğerdir. Farklı olmalarının tek nedeni ise kullanılan alet ve arazi işlemlerinden kaynaklanmaktadır.

Günümüzde IP verilerinin değerlendirilmesi kalitatif (niteliksel) ve kantitatif (sayısal) olarak yapılabilmektedir. Disemine sülfid zonlarının, petrol yataklarının vb. bulunmasında kalitatif değerlendirme bizi direkt yoruma götürür. Kalitatif değerlendirme için değişik yöntemler mevcuttur. IP değerinin ve öz direncin büyük yada küçük olduğu şeklinde yorumlar yapılarak, ekonomik değere sahip bulgular saptanır. Genel olarak değerlendirmelerde IP-Özdirenç işbirliği yapılır. Bazen bu yardımlaşma gerçekleşemediği gibi gerçekte bölgenin polarizasyon farkının büyük olmasına rağmen IP ile öz direnç arasında sözü edilen birlikteliğin anomalisi elde edilemeyebilir.

### Zaman Ortamında Sönüm Eğrisinin Analizi

IP incelemelerinde gözlemsel sönüm voltajının (decay curve) Cole-Cole modeli elektriksel devresi ile kuramsal olarak elde edilmesi,

$$V(t) = mI_0R_0 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (t/\tau)^{nc}}{\tau(nc+1)} \quad (1)$$

ifadesiyle verilmiştir (Pelton ve diğ., 1978). Burada, R= Doğru akım (D.C.) öz direnç, I= akım, t= zaman (saniye),  $\tau$  = zaman sabiti olarak alınır. Bu bağıntıdan zaman ortamında IP cevabını bulmak mümkündür. Ancak bu bağıntının kuramsal değerlendirmelerde sınırlı koşullarda olumlu sonuçlar vermesi nedeniyle aynı bağıntı, olumsuzluklar dikkate alınarak, Lee (1981) tarafından yeniden düzenlenmiş ve

$$V(t) = \frac{mI_0R_0}{\pi} \sin \pi c \left[ \frac{\tau(c)(\tau/t)^c - 2\tau(2c) \cos \pi c (\tau/t)^{2c}}{\tau(3c)(\tau/t)^{3c} + 4 \cos^2 \pi c - 1} \right] \quad (2)$$

şeklinde literatüre sunulmuştur.

Zaman ortamında, aşırı gerilimin sönümü basit bir eksponansiyel eğri değildir. Genellikle logaritmik olduğu kabul edilir. Bunu da bir çok eksponansiyel eğrilerin toplamı şeklinde (Şekil 1) kabul etmek mümkündür.

Genel olarak zaman ortamı IP yanıtı,

$$\Delta V_{ip} = f(t) = a_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + a_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} + \dots + a_n e^{-\frac{t}{\tau_n}} \quad (3)$$

ifadesi ile verilir. Biz bu bağıntıyı iki terimli olarak düşünersek,

$$\Delta V_{ip} = f(t) = a_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + a_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} \quad (4)$$

eşitliği elde edilir. Sönümün son kısmının logaritması alınırsa,

$$\ln(\Delta V_{ip}) = \ln a_2 - \frac{t}{\tau_2} \quad (5)$$

eşitliği bulunur. Buradan  $\tau_1$  ve  $a_1$ 'i saptamak için,

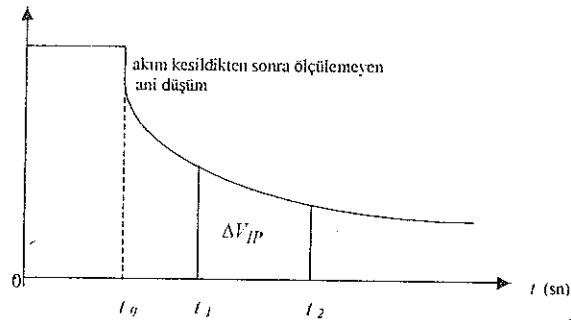
$$\ln(\Delta V_{ip} a_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}}) = \ln a_1 - \frac{t}{\tau_1} \quad (6)$$

şeklinde iki doğru denklemi elde edilir. Burada  $a_1$  ve  $a_2$  ordinat değerleri,  $\tau_1$  ve  $\tau_2$  iki ayrı doğrunun eğimidir. Böylece,  $A_1$  ve  $A_2$  polarizasyon değerlerinin saptanabilmesi için,

$$A_1 = \frac{a_1}{\Delta V_{ip}}, A_2 = \frac{a_2}{\Delta V_{ip}} \quad (7)$$

ifadeleri elde edilir. O halde toplam polarizasyon,

$\Delta V$  (gerilim) (mV)



Şekil 1. Sönüm eğrisi grafiği.  
Figure 1. Decay of IP curve.

$$P_0=(A_1+A_2) \quad (8)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Bu değerlerin büyük olduğu yerler, doğrudan doğruya maden sahalarında, metalik mineralizasyonların bulunduğu ortamları gösterirler. Bu işlem de "Direkt Değerlendirme" olarak adlandırılır.

### Model Çalışma

Yukarıda ayrıntıları açıklanmaya çalışılan yöntem kuramsal bir örnek üzerinde test edilmiş ve sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Cole-Cole modeli için Lee (1981) tarafından verilen (2) bağıntısından yararlanmak suretiyle her bir t (zaman) değerine karşılık gelen  $\tau$  değerleri bulunur. Bu işlem bir bilgisayar yazılımı ile yapılmaktadır. Bu yazılım Ek.1'de sunulmuştur. Seçilen herhangi bir frekans bağımlılığı (c) ve zaman sabiti ( $\tau$ ) değeri girilerek, t'yi 0.01 aralıklı arttırmak ve  $\tau$ 'yu sabit tutmak suretiyle her bir t değerine karşılık gelen  $\Delta V_{ip}$  değerleri hesaplanır. Bu işlem seçilen diğer c ve  $\tau$  değerleri için de tekrarlanır. Bu şekilde elde edilen  $\Delta V_{ip}$  değerleri içinden c=0.1 ve  $\tau=0.001$  için hesaplanmış  $\Delta V_{ip}$  değerleri alınarak t apsis ve  $\tau$  ordinat olacak şekilde tek logaritmik bir skalada işaretlendiklerinde bir sönüm eğrisi elde edilir. Eğrinin sağ tarafında en fazla uyum sağlayan noktalar birleştirilerek bir doğru (1.doğru) elde edilir. Bu doğrunun ordinatı kestiği nokta B olsun. Eğri ile 1.doğru değerlerinin farkı alınarak yeni bir doğru (2.doğru) bulunur. Bu doğrunun ordinatı kestiği nokta A olsun. Her iki doğru için uygun t zamanları seçilir. Buna göre, 1.doğru için 0.7 sn. ve 2.doğru için 0.1 sn. t zamanlarını seçelim. Bu t değerleri apsise paralel olarak ordinata taşınıp eksenleri kestiği noktalar belirlendiğinde, t=0.7 sn. için  $P_B = 0.47$  ve t=0.1 sn. için  $P_A = 0.6$  değerleri bulunur (Şekil.2). Bulunan değerler (2) ifadesinde yerine konularak  $\tau_1$  ve  $\tau_2$  eğimleri hesaplanır. Aynı işlemler seçilen her bir c ve  $\tau$  değeri için yapılarak seçilen değerlere bağlı eğimler hesaplanabilir. Bu eğimler incelendiğinde;

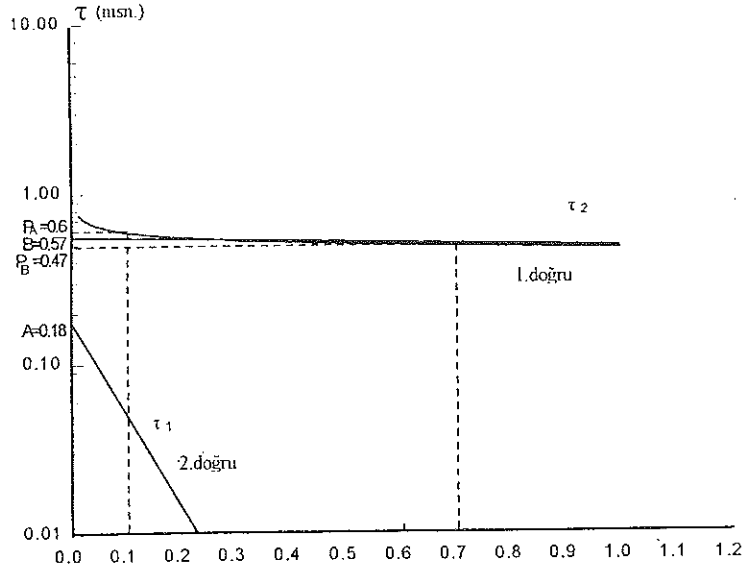
(i),  $\tau_1$ ' in küçük zaman aralığına sahip olup hızlı boşalan ortamları ifade ettiği ve böyle ortamlarda iletkenliğin yüksek, öz direncin düşük (ii),  $\tau_2$ 'nin ise büyük zamana sahip yavaş boşalan ortamları ifade ettiği ve böyle ortamlarda ise iletkenliğin düşük, öz direncin yüksek, olduğu görülür.

Bu durumda eğimleri saptamak için Şekil.2'den yararlanılır. Buradan,

$$t=0.7 \text{ sn. için } B=0.57 \text{ ve } P_B=0.47$$

$$t=0.1 \text{ sn. için } A=0.18 \text{ ve } P_A=0.6$$

değerleri okunur. Bu değerlerin (2) ifadesinde yerine konulmasıyla,



Şekil 2.  $c=0.1$  ve  $\tau=0.001$  için  $\tau_1$  ve  $\tau_2$  eğimlerinin bulunması.

Figure 2. Determination of  $\tau_1$  and  $\tau_2$  slope for  $c=0.1$  and  $\tau=0.001$ .

$$f(t) = 0.47 = 0.18e^{-\frac{0.1}{\tau_1}} + 0.57e^{-\frac{0.7}{\tau_2}}$$

eşitliği elde edilir. Burada A parametresi ile ilgili kısım gözardı edilecek olursa denklem,

$$0.47 = 0.57e^{-\frac{0.7}{\tau_2}}$$

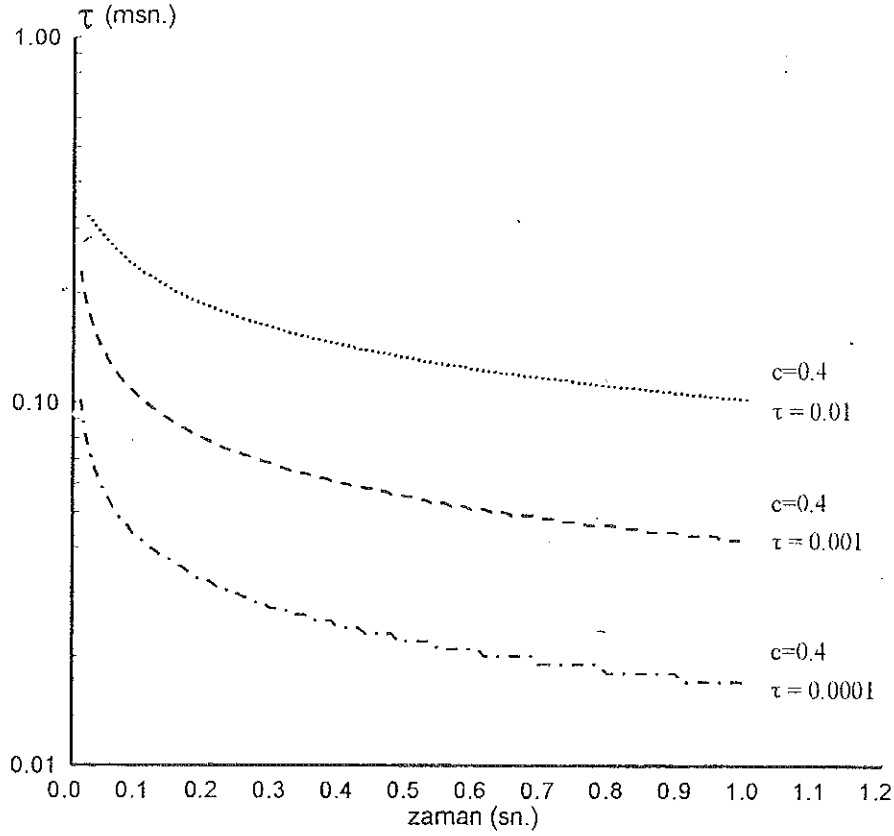
şeklini alır. Dolayısıyla,

$$\ln 0.47 = \ln 0.57 - \frac{0.7}{\tau_2}$$

bağıntısından  $\tau_2 = 3.6269$  olarak hesaplanır. Bu değer  $f(t)$  eşitliğinde yerine konulduğunda,

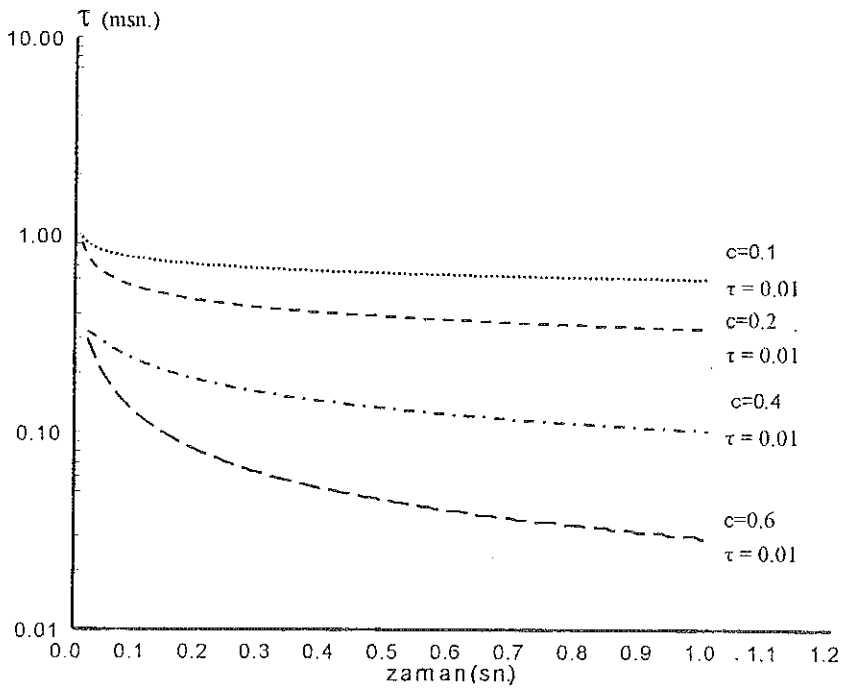
$$0.60 = 0.18e^{-\frac{0.1}{\tau_1}} + 0.57e^{-\frac{0.7}{3.6269}}$$

ve gerekli düzenlemeler yapıldığında  $\tau_1 = 0.30759$  olarak hesaplanır. Ortamların belirlenmesi amacıyla, değişik c ve  $\tau$  değerlerinin oluşturduğu sönüm eğrileri Şekil 3 ve 4'te grafiklenmiştir. Bu eğrilerden yararlanarak hesaplanan  $\tau_1$  ve  $\tau_2$  değerleri ise Tablo. 1'de verilmiştir. Bu parametrelerden yararlanmak suretiyle ortamları tanımlamak mümkündür.



Şekil 3. Sönüm eğrisi ( $c$  sabit,  $\tau$  değişken).

Figure 3. Decay curves ( $c$  is constant,  $\tau$  is variable).



Şekil 4. Sönüm eğrisi ( $c$  değişken,  $\tau$  sabit).

Figure 4. Decay curves ( $c$  is variable,  $\tau$  is constant).

**Tablo 1.** Bazı  $\tau$  ve  $c$  değerleri için hesaplanmış eğim değerleri (Tezel, 1992).**Table 1.** Slope values calculated for some  $\tau$  and  $c$  values (Tezel, 1992).

$\tau$	$c$	$\tau_1$	$\tau_2$
0.0001	0.1	0.676	7.368
	0.2	0.25	3.571
	0.4	0.215	1.535
0.001	0.1	0.298	8.073
	0.2	0.283	5.156
	0.4	0.218	2.314
	0.6	0.186	1.1
0.01	0.1	0.299	7.791
	0.2	0.267	5.056
	0.4	0.241	2.05
	0.6	0.162	0.995
	0.8	0.138	0.801

## SONUÇ

Zaman ortamı IP yanıtlarında sönüm eğrisinin analizi ile ortamların belirlenebilmesi için yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Pelton ve diğerleri (1978) tarafından verilmiş olan transiyent voltaj cevabında, kuramsal değerlendirmelerde bazı sınırlı koşulların bulunduğu görülmüştür. Örneğin  $\tau$  parametresinin değeri  $10^{-4}$  ile  $10^{-2}$  arasında seçildiğinde,  $t/\tau$ 'nin büyük değerleri için  $V(t)$  ifadesinin bir değişim göstermediği,  $c=1$  seçildiğinde ise sağlıklı cevap vermediği saptanmıştır. Cole-Cole modeli için Lee (1981) tarafından verilen bağıntı kullanıldığında, frekans bağımlılığının daha geniş sınırlar içindeki değişimleri ve dolayısıyla buna bağlı olarak, sönüm eğrilerinin ( $\Delta V_{IP}$ ) değişimlerinin incelenemediği gözlenmiştir.

Şekil 3 ve 4 'te bazı  $c$  ve  $\tau$  değerlerine göre grafiklenmiş sönüm eğrileri, Tablo.1'de ise hesaplanmış bazı  $\tau_1$  ve  $\tau_2$  eğim değerleri verilmiştir. Bu parametrelerden yararlanmak suretiyle sözkonusu ortamların tanımlanması yapılır.

Sönüm eğrisinin analizi ile  $\tau_1$  eğiminin küçük zaman aralığında hızlı boşalan ortamları temsil ettiği gözlenmiştir. Dolayısıyla  $\tau_1$  eğimine sahip ve frekans bağımlılığının yüksek olduğu bu ortamlar iletken olarak nitelendirilmiştir. Bu tip ortamların, maden sahalarında, doğrudan doğruya metalik mineralizasyonların varlığını işaret ettikleri kanaatine varılmıştır.

## SUMMARY

Recently Induced Polarization (IP) measurement has an increasing trend in its applicability related to the latest improvements in measurement techniques. This particular research has been emphasized a time domain measurement in order to increase the applicability of measurement techniques in Turkey. The methodology followed in this study was a screening through the related studies made previously and a detailed study in the most critical researches among those are combined in accordance.

In this study, time domain measurement of IP technique is investigated. From decay curve obtained in this measurement technique it is shown that studies can be made to determine polarizable layers beneath the earth surface.

In the analysis of the decay curves first studies were made by Pelton et al. (1978) on a Cole-Cole model depending on spectral IP responses. Nevertheless, in these studies, it was seen that Pelton et al. (1978)'s relationships in the theoretical assessments gave positive results in restricted conditions. Thereby relationship developed by Lee (1981) was tried on a Cole-Cole model and it was found that it gave concrete results in the wider boundaries.

It is known, that this assessment of the data recovered by IP method can be made in a sense either qualitative or quantitative interpretation. It is possible to say that places where total polarization values are large in the mine area can directly indicate locations where there are metallic mineralizations. Based on the decay curves theoretically calculated, it can be seen that decay increase in conductive mediums. These processes presented here are also called as direct interpretations.

Decay curve variations obtained as a result of theoretical applications are interpreted and the conclusions are given below.

In the theoretical evaluations, it is determined that: (i) In the use of transient voltage response given by Pelton et al. (1978), when  $\tau$  parameter value is chosen between  $10^{-4}$  and  $10^{-2}$ , for high values of  $t/\tau$ , the  $V(t)$  value does not show any variation and (ii), when  $c=1$  is chosen,  $V(t)$  does not give any reliable response. For Cole-Cole model, it is observed that when the relation given by Lee (1981) is used, the variation of frequency dependency within larger boundaries and, in turn, variation of decay curves  $\Delta V_{ip}$  can be examined.

In figures 3 and 4 some calculated  $\tau_1$  and  $\tau_2$  slope values show the graphed decay curves in terms of some  $c$  and  $\tau$  values and Table 1 shows some calculated  $\tau_1$  and  $\tau_2$  decay values. It is possible to recognize the objected earth structure using those values.

It is observed that in the use of the analysis of decay curves,  $\tau_1$  slope represents the fast released part of the earth structure in a short time interval. Thus, if a structure has  $\tau_1$  slope and high frequency dependency, it can be said that structure is conductive. This type of structure directly indicate the existence of metallic mineralizations in the mine areas.

### DEĞİNİLEN BELGELER

- Dizioğlu, M.Y. ve Keçeli, A.D., 1981,** Elektrik ve elektromanyetik prospeksiyon yöntemleri, İ.Ü. Yayınları Fen Fakültesi basımevi, İstanbul.
- Hallof, P. G., 1964,** A comparison of the various parameters employed in the variable frequency Induced Polarization method: Geophysics 29, 425-434.
- Lee, T., 1981,** Short Note The Cole-Cole model in time domain Induced Polarization, Geophysics, Vol. 46, 6, 932-933,1 fig.
- Pelton, W.H., Ward, S.H., Hallof, P.G., Sill, W.R. and Nelson, P.H. 1978,** Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multi frequency IP: Geophysics 43,3,588-609.
- Snyder, D. D., 1980,** Exploration data consutans, Inc., Denver, Colarado.
- Tezel, O., 1992,** Zaman ortamı IP yanıtlarının araştırılması, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Zonge, K. L., 1982,** Hydrocarbon exploration using induced polarization, apperent resistivity and electromagnetic scattering: Presented at the 51 st. annual international SEG meeting, Newyork.

### EK.1.

```

C *****
C   IP'DE FREKANS BAGIMLILIGI VE ZAMAN SABITI
   DEGISIMLERININ BULUNMASI
C *****
   DIMENSION V(200),ZM(200),Y(200)
   CHARACTER yy,yyy
   yy='y'
   PI=22./7.
1111 WRITE(*,10)
   10 FORMAT(3X,'FREKANS BAGIMLILIGINI GIRINIZ')
   READ(*,*) C
   WRITE(*,234)
234 FORMAT(5X,'SECENEGINIZ BT(0);SM(1) ')
   READ(*,*)LI
   IF(LI.EQ.1) GOTO 123
   WRITE(*,20)
20 FORMAT(3X,'ZAMAN SABITI BT GIRINIZ')
   GOTO 220
123 CONTINUE
   WRITE(*,2231)

```

```
2231 FORMAT(3X,'SARJABILITE SM GIRINIZ')
220 READ(*,*)BT
    IF(LLEQ.1)GOTO 777
    WRITE(6,600) C,BT
600 FORMAT(///,1X,'FR.BAG.=' ,F7.4,5X,'ZM.SBT. = ',F7.4)
    GOTO 566
777 CONTINUE
    WRITE(6,622) C,BT
622 FORMAT(///,1X,'FR.BAG.=' ,F7.4,5X,'SARJABILITE =
    &',F7.4)
566 I=0
    T=0.0
    DO 30 JJ=1,200
        T=T+.01
        TOR=BT/T
        TORUS1=(TOR)**C
        TORUS2=(TOR)**(2)
        TORUS3=(TOR)**(3)
        GAM1=C
        CALL GMMMA(GAM1,GAM,IER)
        GAMO=GAM*(TORUS1)
        GAM2=2*C
        CALL GMMMA(GAM2,GAM,IER)
        GAMO2=2*GAM2*(TORUS2)*COS(PI*C)
        GAM3=3*C
        CALL GMMMA(GAM3,GAM,IER)
        GAMO3=GAM3*(TORUS3)*(4*(COS(PI*C)**2)-1)
        I=I+1
        ZM(I)=T
        V(I)=GAMO-GAMO2+GAMO3
        V(I)=V(I)*SIN(PI*C)*(1/PI)
30 CONTINUE
    WRITE(6,500)(ZM(I),V(I),I=1,100)
500 FORMAT(6(F4.2,1X,F6.3,1X))
    WRITE(*,5555)
5555 FORMAT(5X,'DO YOU WANT TO CONTINUE ? (y/n)')
    READ(*,5556)yyy
    IF(yyy.EQ.yy) GOTO 1111
5556 FORMAT(A1)
```

```
STOP
END
subroutine gmma(xx,gx,ier)
if(xx-57.) 6,6,4
4 ier=2
gx=1.e15
return
6 x=xx
err=1.0e-6
ier=0
gx=1.0
if(x-2.0) 50,50,15
10 if(x-2.0) 110,110,15
15 x=x-1.0
gx=gx*x
go to 10
50 if(x-1.0)60,120,110
60 if(x-err)62,62,80
62 y=float(int(x))-x
if(abs(y)-err)130,130,64
64 if(1.0-y-err)130,130,70
70 if(x-1.0)80,80,110
80 gx=gx/x
x=x+1.0
goto 70
110 y=x-1.0
gy=1.0+y*(-0.5771017+y*(+0.9858540+y*
&(-0.8764218+y*(+0.8328212+y*(-0.5684729+y*
&( +0.2548205+y*(-0.05149930))))))
gx=gx*gy
120 return
130 ier=1
return
end
```

**Makalenin geliş tarihi** : 11.10.1999  
**Makalenin yayına kabul tarihi** : 28.02.2000  
**Received** : October 11, 1999  
**Accepted** : February 28, 2000