

## 9.8. YU Verilerinin Ters Çözümü

YU verilerinin ters çözümü için ilk adım DAÖ verilerinin ters çözümünün yapılarak yer altı yapısının iletkenlik dağılımının elde edilmesidir. Proje kapsamında yer iletkenlik yapısı RMT ve DAÖ verilerinin birleşik ters çözümünden elde edilmektedir. Birleşik ters çözüm ile ilgili detaylı bilgi bölüm 3.3' de verilmiştir.

YU verilerinin ters çözümü için geliştirilen algorithmada Oldenburg and Li (1994) tarafından önerilen Denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** un doğrusallaştırılması yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde yüklenebilirlik değerlerinin [0,1) aralığında olduğu kabul edilmektedir.

Ters çözümün ilk adımı olarak yer altı M adet hücreye bölünür. Başlangıçta, her bir hücreye parametre değeri olarak bir ön-kestirim değeri atanır. i 'nci parametrenin yüklenebilirlik ve iletkenlik sırasıyla  $\eta_j$  ve  $\sigma_j$  olarak alalım. Yüklenebilir yer altı yapısının olmasının durumunda ölçülen gerilim ifadesi Taylor serisine açılarak doğrusallaştırılabilir. Taylor serisi ikinci türev ve daha yüksek dereceli terimler ihmal edilirse,

$$\phi_m = \phi[(\sigma - \sigma m)] = \phi(\sigma) - \sum_{j=1}^M \frac{\partial \phi}{\partial \sigma_j} \sigma_j m_j \quad (5.8)$$

elde edilir. Bu elde edilen ifade **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** denkleminde yerine koyulursa,

$$m_a = \frac{\phi_m - \phi_\sigma}{\phi_m} = \frac{- \sum_{j=1}^M \frac{\partial \phi}{\partial \sigma_j} \sigma_j m_j}{\phi(\sigma) - \sum_{j=1}^M \frac{\partial \phi}{\partial \sigma_j} \sigma_j m_j} \quad (5.9)$$

elde edilir. Bu ifade yaklaşık olarak,

$$m_a = -\sum_{i=j}^M \frac{\sigma_j}{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial \sigma_j} m_j = -\sum_{i=j}^M \frac{\partial \ln \phi}{\partial \ln \sigma_j} m_j \quad (5.10)$$

şeklinde yazılabilir. Görünür yüklenebilirlik verisi, **A** duyarlılık dizeyi (sensitivity matrix or Jacobian Matrix) olmak üzere,

$$\mathbf{m}_{a_i} = \sum_{i=j}^M \mathbf{A}_{i,j} \mathbf{m}_j, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (5.11)$$

olarak elde edilir. Duyarlılık dizeyinde bulunan iletkenlik değeri DAÖ ters çözümünden elde edilen değerlerdir. Bu proje kapsamında ise bu değerler DAÖ ve RMT verilerinin birleşik ters çözümünden elde edilmektedir. Denklem

**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** dizey denklemi formunda,

$$\mathbf{A} \mathbf{m} = \mathbf{m}_a \quad (5.12)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, **A** (N,M) boyutunda logaritmik uzayda gerilim değerlerinin iletkenliklere göre türevini içeren kısmi türevler dizey, **m**, (M,1) boyutunda bilinmeyen yüklenebilirlik değerlerini içeren vektör ve **m<sub>a</sub>** ise (N,1) boyutunda ölçülen görünür yüklenebilirlikleri içeren vektördür. Bu doğrusal dizey denkleminin çözümü, DAÖ yöntemindeki gibi çözülmüştür. Ancak denklem sistemi doğrusal olduğundan tek yinelemede doğrudan her bir bloğa ait yüklenebilirlik değerleri aşağıdaki denklem çözümünden elde edilmiştir

$$\mathbf{m} = (\mathbf{A}^T \mathbf{W}_d^T \mathbf{W}_d \mathbf{A} + \alpha \mathbf{C}^T \mathbf{C})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{W}_d^T \mathbf{W}_d \mathbf{m}_a) \quad (5.13)$$

## 9.9. SPEKTRAL YU YÖNTEMİ (Faz YU Yöntemi)

Bu yöntem, zaman ve frekans ortamı yapay uçuşma 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 elektrot 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 şu üç gürültü ve saçılma (distortion) kaynağı vardır:

- 1. 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.
- 2. 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.
- 3. "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 şanstır. 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 (Hallos and Pelton, 1980)

### 9.9.1. 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 özdirenç (empedansı) ( $Z$ ) tanımlayan en uygun bağıntı olduğu gözlemlenmiştir (Pelton ve diğ., 1978):

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

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

$Z(w)$	Karmaşık Özdirenç (Karmaşık Empedans) (ohm-m)
$\rho_{DA}$	Doğru akımdaki özdirenç (ohm-m)
m	Yüklenebilirlik (Volt/Volt- boyutsuz)
$\tau$	Zaman Sabiti (s)
c	Frekans bağılı
w	Açısal Frekans ( $s^{-1}$ )

$f_c$  frekansı kritik frekans olarak adlandırılır ve en büyük faz kaymasının ölçüldüğü frekanstır.  $f_c$  genellikle spektral yanıtı tanımlamak için kullanılır. Cole-Cole denkleminde  $f_c$  diğer parametreler cinsinden;

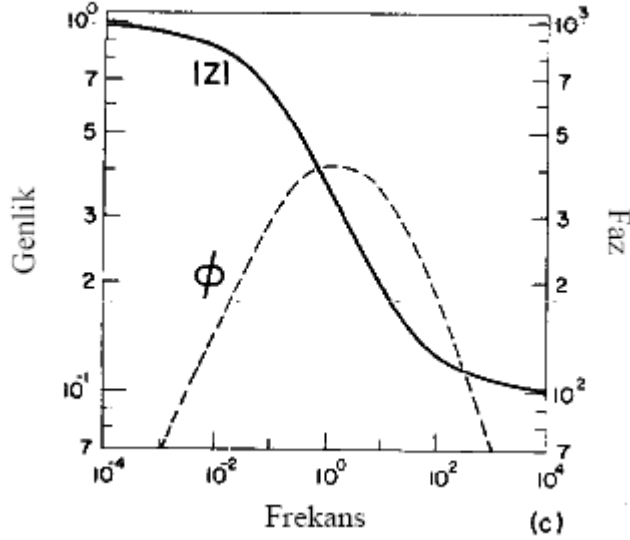
$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau(1-m)0.5^c}$$

olarak verilir.  $f_c$ , zaman sabiti ile ters orantılıdır. Bu değer yüksek frekanslarda ise zaman-sabiti küçük, alçak frekanslarda bulunursa zaman-sabiti büyüktür.

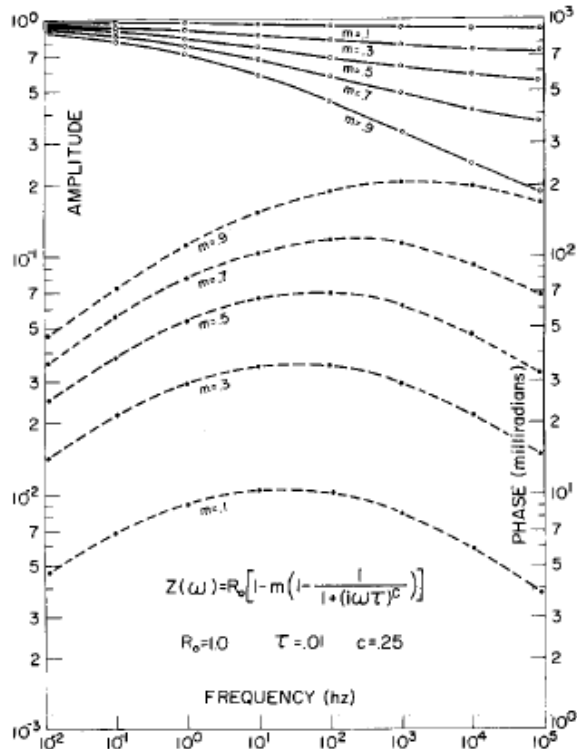
Herhangi polarize olabilen kayaç için  $\rho_{DA}$  ve m değerleri, kayacın gözeneklerine ve içerdiği metalik parçacıkların toplam yüzdesine bağlıdır. Metalik mineral yüzdesi artarsa,  $\rho_{DA}$  küçülür, m ise artar.

Araştırmalar ve arazi deneyimi,  $\tau$  ve c değerlerinin, daha çok kayaçta bulunan metalik minerallerin türüne bağlı olarak "metal mineralleşme dokusu (texture)" ile ilişkilidir. Dokuyu tanımlayan iki etken bulunmaktadır. Bunlar,

- a- YU etkisine neden olacak polarizlenme parçacıkların herbir popülasyonu için tane-iriliği ve
- b- Kayaçta bulunan parçacıkların farklı popülasyonlarının sayısı ve herbir polarizlenebilen parçacık popülasyonlarının içindeki tane-iriliği dağılımları.



Şekil 6.1. IP etkisini temsil eden basit bir devre modeli için karmaşık empedansın genlik ve fazının frekansla değişimi (Pelton ve diğ. 1978)



Şekil 6.2. Cole-Cole modeli için genlik ve faz eğrileri. Grafikte,  $\rho_{DA}=1.0$ ,  $\tau=0.01$ ,  $c=0.25$ , ve  $m=0.1-0.9$  arasında değişmektedir (Pelton ve diğ. 1978).

## 10. KAYNAKLAR

**Aşağıda bu ders notunun hazırlanmasında kullanılan kaynak ve YU yöntemi ile ilgili yararlanabileceğiniz diğer bazı kaynaklar sunulmuştur.**

- 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.
- McGillivry, 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*, 2<sup>nd</sup> ed., Cambridge University Press, 1990.

Ulrich, C. and Slater, L. D., 2004, Induced polarization measurements on unsaturated, unconsolidated sands: GEOPHYSICS, Soc. of Expl. Geophys., **69**, 762-771.

Hoheisel, A., Hordt, A. and Hanstein, T., 2004, The influence of induced polarization on long-offset transient electromagnetic data: Geophys. Prosp., Eur. Assn. Geosci. Eng., **52**, 417-426.

Davydycheva, S., Rykhlin, N. and Legeido, P., 2004, An electrical prospecting method for oil search using the induced polarization effect, 74th Ann. Internat. Mtg.: Soc. of Expl. Geophys., 604-607.

Yoshioka, K. and Zhdanov, M., 2004, Three-dimensional inversion of induced polarization data for relaxation model parameters, 74th Ann. Internat. Mtg.: Soc. of Expl. Geophys., 684-687.

Zhu, Y. and Li, Y., 2004, 3D inversion of induced polarization data in wavelet domain, 74th Ann. Internat. Mtg.: Soc. of Expl. Geophys., 1183-1186.

Slater, L. D. and Glaser, D. R., 2003, Controls on induced polarization in sandy unconsolidated sediments and application to aquifer characterization.: GEOPHYSICS, Soc. of Expl. Geophys., **68**, 1547-1558.

Watts, A., 2002, Discovery of the Ujina Cu Deposit, Collahuasi District, Chile, 72nd Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 412-415.

Kowalczyk, P., Thomas, S. and Visser, S., 2002, 3D inversion of resistivity and IP data, two case studies from mineral exploration, 72nd Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 419-422.

Petrick, W., 2002, Data considerations for 3D resistivity and induced polarization inversion, 72nd Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 673-675.

Comas, X. and Slater, L., 2002, Low frequency electrical properties of organic sediments, 72nd Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 1456-1459.

Yoshioka, K. and Zhdanov, M.S., 2002, 3D inversion of the bipole-bipole array induced polarization data, 72nd Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 2422-2425.

Gasperikova, E. and Morrison, H. F., 2001, Mapping of induced polarization using natural fields: GEOPHYSICS, Soc. of Expl. Geophys., **66**, 137-147.

Turai, E. and Dobroka, M., 2001, A New Method for the Interpretation of Induced Polarization Data - the TAU-Transform Approach, 63rd Mtg.: Eur. Assn. Geosci. Eng., Session: P049.

Slater, L. D. and Sandberg, S. K., 2000, Resistivity and induced polarization monitoring of salt transport under natural hydraulic gradients: *GEOPHYSICS, Soc. of Expl. Geophys.*, **65**, 408-420.

Li, Y. and Oldenburg, D. W., 2000, 3-D inversion of induced polarization data: *GEOPHYSICS, Soc. of Expl. Geophys.*, **65**, 1931-1945.

Ricarte, P., Srinivas, D., Sarma, V. S., Thomas, P. J., Joshi, M. S. and Prasad, P. R., 2000, Depth of detection of highly conducting and volume polarizable targets using induced polarization: *Geophys. Prosp., Eur. Assn. Geosci. Eng.*, **48**, 797-814.

Basford, P. and Hughes, N., 2000, Geophysical response of the Hercules base metals deposit: A case study from western Tasmania: *Expl. Geophys., Austr. Soc. Expl. Geophys.*, **31**, 531-541.

Kowalczyk, P., 2000, Inversion of induced polarization data from Donlin Creek, Alaska, 70th Ann. Internat. Mtg: *Soc. of Expl. Geophys.*, 1067-1070.

Fullagar, P. K., Zhou, C. and Bourne, B. T., 2000, EM-coupling removal from time-domain IP data: 14th Geophysical Conference, *Austr. Soc. Expl. Geophys.*, **31**, 134-139.

Peters, B. and Buck, P., 2000, The Maggei hays and Emily Ann nickel deposits, Western Australia: A geophysical case history: 14th Geophysical Conference, *Austr. Soc. Expl. Geophys.*, **31**, 210-221.

Guo, W., Dentith, M. and Zhao, Y., 2000, Geophysical exploration in the Xi-Cheng lead-zinc orefield, Gansu Province, China: 14th Geophysical Conference, *Austr. Soc. Expl. Geophys.*, **31**, 243-248.

Gomaa, M., Bayoumi, A. E.-R., El- Dewany, E. and Hussain, S., 1999, Renormalization group modeling of A. C. electrical properties of natural hematitic sandstone including texture effects, 69th Ann. Internat. Mtg: *Soc. of Expl. Geophys.*, 204-207.

El-Kaliouby, H., Poulton, M. and ElDiwany, E., 1999, Inversion of coincident loop TEM data for layered polarizable ground using neural networks, 69th Ann. Internat. Mtg: *Soc. of Expl. Geophys.*, 259-262.

Kemna, A., Dresen, L. and Raekers, E., 1999, Field applications of complex resistivity tomography, 69th Ann. Internat. Mtg: *Soc. of Expl. Geophys.*, 331-334.

Kospiri, A., 1999, Integrated geophysical surveys for searching of podiform chromite in Albania, 69th Ann. Internat. Mtg: *Soc. of Expl. Geophys.*, 354-357.

Stummer, P., Maurer, H. and Boerner, D., 1999, Real-time experimental design:





Application to 3-D high-resolution DC resistivity and IP surveys, 69th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 555-558.

de Lima, O. A. L., 1998, Aquifer characterization and contaminant migration patterns with surface and borehole geophysics, 68th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 586-589.

Sampaio, E. E. S., Santos, A. B. and Sato, H. K., 1998, Spectral induced polarization and mineral discrimination, 68th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 740-743.

Wynn, J. C. and Laurent, K., 1998, A high-resolution electrical geophysical approach to mapping marine sediments in the Atlantic coastal shelf and the Gulf of Mexico, 68th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 805-808.

Routh, P. S., Oldenburg, D. W. and Li, Y., 1998, Regularized inversion of spectral IP parameters from complex resistivity data, 68th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 810-813.

Krylov, S., Bobrov, N. and Wachter, B., 1998, Induced Polarization Effects in Frequency and Time Domain Electromagnetic Soundings, 60th Mtg.: Eur. Assn. Geosci. Eng., Session:10-02.

Basokur, A. T., Rasmussen, T. M., Kaya, C., Altun, Y. and Aktas, K., 1997, Comparison of induced polarization and controlled-source audio-magnetotellurics methods for massive chalcopyrite exploration in a volcanic area: GEOPHYSICS, Soc. of Expl. Geophys., **62**, 1087-1096.

Esparza, F. J. and Gomez-Trevino, E., 1997, 1-D inversion of resistivity and induced polarization data for the least number of layers: GEOPHYSICS, Soc. of Expl. Geophys., **62**, 1724-1729.

Nelson, P., 1997, Induced polarization research at Kennecott, 1965-1977: THE LEADING EDGE, **16**, no. 01, 29-33.

Vanhala, H., 1997, Mapping oil-contaminated sand and till with the spectral induced polarization (SIP) method: Geophys. Prosp., Eur. Assn. Geosci. Eng., **45**, 303-326.

He, J., 1997, Frequency domain electrical methods employing special waveform field sources, 67th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 338-341.

Sakurai, K., Hasegawa, N. and Shima, H., 1997, Study of the efficiency and quality of complex resistivity measurement, 67th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 466-469.

Kriegshauser, B. and Tripp, A., 1997, Probing strata of anisotropic complex conductivity

using surface-to-borehole methods, 67th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 1953-1956.

Arai, E., 1997, Development of the IP tomography system and field testing in the Seta area, Japan, 67th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 1961-1964.

Morrison, H. F. and Gasperikova, E., 1996, Mapping of induced polarization using natural fields, 66th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 603-606.

Eaton, P. A. and Nabighian, M. N., 1996, Some quasi-quantitative approaches used to interpret IP data for gold exploration, 66th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 607-610.

de Lima, O. A. L. and Araujo, F. F. S., 1996, Subsurface contaminant tracking by ground-penetrating radar and spectral induced polarization, 66th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 924-927.

Hasegawa, N., Shima, H. and Sakurai, K., 1996, An application of two-dimensional IP image profiling to characterization of an active fault, 66th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 928-931.

Fisher, R. and West, G. F., 1996, Synthetic arrays for interpreting 3-D pole-potential map resistivity and IP survey data, 66th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 970-973.

Routh, P. S. and Oldenburg, D. W., 1996, Electromagnetic coupling removal from frequency domain IP data in 2-D environments, 66th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 1275-1278.

Cattach, M. K. and Stanley, J. M., 1996, The sub-audio magnetics (Sam) method, 66th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 1310-1313.

Kamenetsky, F. M., 1996, Contribution of induced polarization into induction well-logging data, 58th Mtg.: Eur. Assn. Geosci. Eng., Session:P077.

Vanhala, H. and Soininen, H., 1995, Laboratory technique for measurement of spectral induced polarization response of soil samples: Geophys. Prosp., Eur. Assn. Geosci. Eng., **43**, 655-676.

Oldenburg, D. W. and Li, Y., 1994, Inversion of induced polarization data: GEOPHYSICS, Soc. of Expl. Geophys., **59**, 1327-1341.

El-Kaliouby, H. M., Hussain, S. A., El-Diwany, E. A. and Hashish, E. A., 1994, Optimum negative response of coincident loop above polarizable half-space, 64th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 346-349.