

Zaman Ortamı Ip Yöntemiyle Jeotermal Arama

Okan TEZEL^{1*}

¹*Istanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,
Avcılar-İstanbul, Türkiye,
otezel@istanbul.edu.tr

ÖZET

Jeotermal kaynak; yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardan oluşmaktadır. Bu kaynağın sıcaklığı sürekli 20°C'den fazladır. Çevresindeki normal yeraltı ve yer üstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral ve çeşitli tuzlar içermektedir. Jeotermal enerji ise jeotermal kaynaklardan elde edilen; yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmeyen, ucuz, güvenilir, çevre dostu bir enerji türüdür. Jeotermal ortamlarda bulunan sıcak su, buhar, erimiş mineral ve çeşitli tuzlar ortamı iyi bir iletken haline getirirler. Dolayısıyla bu tip ortamlarda özdirenç değerleri düşük olur. Elektrokimyasal kökenli bir yöntem olan zaman ortamı IP ölçüleriyle elde edilecek yüksek değerli yüklenebilirlik değerleri de bu olguyu destekler. Türkiye Balıkesir Güre'de, şu anda işletilmekte olan jeotermal kaynaklar üzerinde, yapılan bu çalışmada zaman ortamı IP yöntemi uygulanmıştır. Kullanılan cihazın özelliği ile aynı anda özdirenç ve yüklenebilirlik değerleri elde edilmiştir. Beklentiler doğrultusunda düşük değerli özdirenç ve yüksek değerli yüklenebilirlik değerlerinin jeotermal kaynak üzerinde uyarlı oldukları izlenmiştir. Ayrıca bu izlenimlerin sondaj verileriyle de örtüşükleri görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, Zaman Ortamı IP, Yüklenebilirlik, Özdirenç.

Geothermal Exploration By Time Domain Ip

ABSTRACT

Geothermal energy is heat derived from the earth. It is the thermal energy contained in the rock and fluid (that fills the fractures and pores within the rock) in the earth's crust. These resources are always at a temperature higher than 20°C. Geothermal energy requires no fuel, and is therefore virtually emission free and independent of fluctuations in fuel cost. Since a geothermal power plant doesn't rely on transient sources of energy, unlike, for example, wind turbines or solar panels, its capacity factor can be quite large. Induced polarization (IP) results at geothermal regions show prominent, extended low resistivity zones. Environmental - IP methods can assist in the assessment of the acid generating potential of waste rock and tailings from mine operations. Resistivity can be used to map contamination plumes. Resistivity and chargeability values were determined using the IP method on geothermal resources in Balıkesir Güre (Turkey). In this study we found low resistance values and high chargeability values at the geothermal resource. Finally drilling and IP results were correlated to verify our findings.

Keywords: Geothermal, Time Domain IP, Chargeability, Resistivity.

1. GİRİŞ

Jeotermal enerji; elektrik üretimi, ısıtma (şehir, konut, termal tesis, sera vb.), kimyasal madde üretimi, kurutmacılık, ağartma, bitki ve balık kültürü gibi çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Jeotermal sahalar, büyük miktarda sıcak su ve buhar taşırlar. Yerin fiziksel özelliklerinin ölçülmesine dayanan jeofizik bu ısı alanlarının belirlenmesinde oldukça güçlü hatta tek yöntemdir. Jeofizik çalışmalar; hazne kayanın yerini, derinliğini ve uzanımını, örtü kaya kalınlığını ve hazne kayaç içinde sıcak odak noktalarını saptamak, bunların düşey ve yatay etki sınırlarını belirlemek amacıyla yapılır. Bunun için; sıcaklık, mineralizasyon, gaz ve akışkan hareketi, faylanma, bazı litostratigrafik birimlerin kalınlıklarındaki ani değişim ve temel yapılar gibi sığ ve derin rezervuarların yapısal özellikleri belirlenmeye çalışılır. Jeotermal kaynaklar aynı tipten olsalar bile detayda çok değişiktirler. Bu sebeple her ortama uyabilecek düşük maliyetli belli arama teknikleri sıralaması yapmak mümkün değildir. Herhangi bir alanda takip edilecek arama stratejisi, araştırmayı yapan ve verileri değerlendiren yerbilimciler tarafından, o alandaki uygulama için özgün olarak tasarlanmalıdır. Yüzeysel gözlemlere dayanan diğer araştırma yöntemleriyle elde edilemeyecek parametreler jeofizik araştırma yöntemlerinden bir veya birkaçını bir arada uygulayarak belirlenebilir.

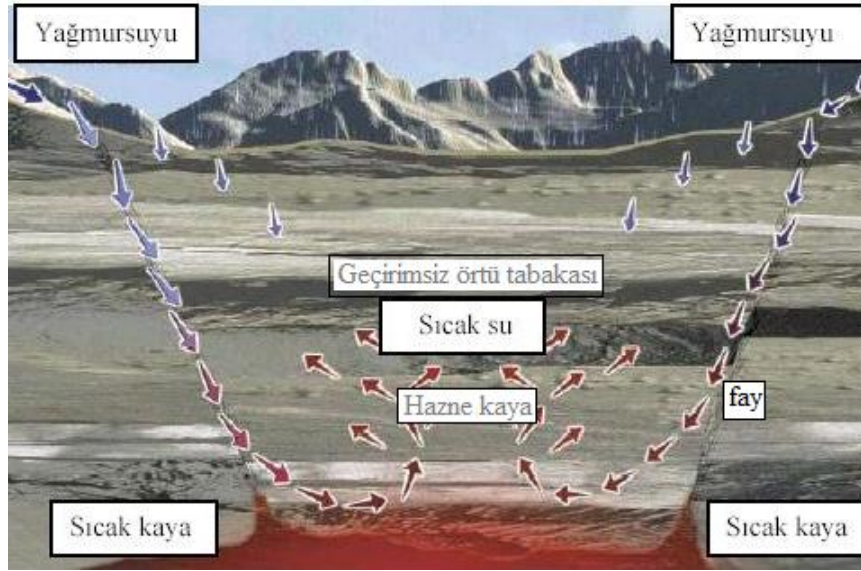
Yer elektrik yöntemlerinden biri olan İndüklem Polarizasyon Yöntemi (IP), kayaçların iyon içeren bölgelerinin saptanmasında kullanılır. IP bu bölgeleri, iyonların kayaç içerisinde ara yüzey kutuplaştırmaları oluşturmasından yararlanarak saptar. IP, yeraltının hem özdirenç, hem de iyonik durumunu yansıtması nedeniyle son yıllarda sıkça kullanılan yöntemler arasına girmiştir. Zaman ortamı IP’de yer içerisine iki elektrot yardımıyla belirli bir süre bir kare dalga akım gönderilir ve akım kesildikten sonra yerden alınan gerilimin hemen sıfır olmadığı, ancak belli bir değerden itibaren sıfır değerine ulaştığı izlenir. Akım verilmediği halde yerden alınan bu gerilim, kayaç içerisinde etkisel olarak oluşturulan iyonların, kutuplaştırma düzenlerinin bozulması sonucu gelişir. Ara yüzey kutuplaştırmaları (polarizasyon) ve onların tekrar bozulması (depolarizasyon) olayları, aslında fizikokimyasal olaylardır (Sumner, 1976). IP, kayaç özelliğine bağlı olduğu kadar ölçü tekniğine de bağlıdır. Akımın akabilmesi için elektrokimyasal engelin geçilmesinde gerekli ek voltaj, “aşırı gerilim” (overvoltage) olarak adlandırılır (Wait, 1959). Aşırı gerilim, jeofizik bilim dalında çeşitli şekillerde ölçülmektedir. Zaman bölgesinde aşırı gerilimin zaman ile değişimleri Tezel (1992) tarafından incelenmiştir. Seigel (1959) zaman ortamı ölçü tekniğinde, dipolar şarj etkilerinin matematiksel ifadesini vermiştir. Madden (1959) zar ve elektrot kutuplaştırmalarını açıklamıştır. Pelton ve diğerleri (1978) gözlemsel sönüm voltajının Cole-Cole modeli elektriksel devresi ile kuramsal olarak elde edilebileceğini göstermişler, yüklenebilirlik ve zaman sabiti kavramlarını tanımlamışlardır. Cole-Cole dağılım modelinden yararlanan Johnson (1984) ise zaman ortamı IP yanıtını içeren sönüm eğrisinin hesaplanmasını yapmıştır. Gasperikova ve Morrison (2001) doğal alanlar üzerinde IP kesitleri oluşturmuşlardır. Reynolds (1997) zaman ortamında sönüm eğrisi analizleri yapmıştır.

Zaman ortamı IP’de, kullanılan cihaza bağlı olarak, yüklenebilirlik değerleri saptanırken özdirenç değerleri de elde edilir. Böylece Düşey Elektrik Sondajı (DES) yapılarak yer içerisindeki tabakaların düşey yöndeki değişimleri incelenebilir. Başka bir deyişle mekanik sondaja benzer bir çalışma yapılmaktadır. DES’te yeraltındaki jeolojik yapıyı oluşturan birimlerin elektrik özelliklerindeki farklılıklarından yararlanarak, uzaklığın değişkeni olarak ölçülen görünür özdirençlerin değerlendirilmesiyle, yapı sınırları ile belirlenir (Dizioğlu ve Keçeli, 1981). Zohdy (1974a, 1974 b) görünür özdirenç ve yüklenebilirlik eğrilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmiş ve bulduğu sonuçlar doğrultusunda jeolojik birimlerin ayırımının yapılabileceğini göstermiştir.

2. JEOTERMAL OLUŞUM VE ELEKTRİK ÖZELLİKLER

Jeotermal enerji alanının oluşabilmesi için beş ögenin bir arada bulunması gerekir. Bunlar; ısı kaynağı (soğumakta olan magma), gözenekli bir hazne kaya, geçirimsiz örtü tabakası, aktif bir kırık sistemi (fay) ve yeterli su beslenmesidir (Şekil 1).

Elektrik özdirenci ve yüklenebilirlik; kayalarda sıcaklıkla değişen fiziksel özelliklerdendir. Gözenekli bir kayacın iletkenliği; gözeneklerin hacim ve durumu hatta daha da önemlisi içerdiği suyun miktarı ve iletkenliği ile değişir. Bu Archie (1942) ve Hamada et al (1996) tarafından,



Şekil 1. Jeotermal Kaynak Oluşumunun Şematik Görünümü (Geothermal Today, 2003).

$$\rho = a\phi^{-m}S^{-n}\rho_w \quad (1)$$

deneysel bağıntısı ile verilmiştir. Burada;

ρ = Kayaç özdirenci,

ϕ = Suyla dolu gözenek oranı,

S = Su içeren gözenekli kısım,

ρ_w = Elektrolit özdirencidir.

n , a ve m ise kayaç türüne bağlı sabitlerdir. $n \sim 2$ olarak alınırken, a ; tortul kayalarda 1'den biraz küçük, volkanik kayalarda 2-5 arasındadır. m ; çimentolu sert kayalarda 1.7-2.2, gevşek ve oturmamış kayalarda ise 1.4-1.7 arasında değişmektedir (Telford et al, 1990). Yukarıdaki eşitlik doğrudan sıcaklığa bağımlılık göstermez. Sıcaklıkla değişim gösteren elektrolitin özdirencidir. Gözenekleri dolduran suyun yüzdesinin ve tuzluluk miktarının da kayaç özdirencinin düşmesine neden olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle çalışma alanında bir ortamda özdirenci değerlerinin düşüyor olması o ortamın mutlaka sıcak olduğunu göstermez. Yukarıdaki bağıntı Archie Yasası olarak bilinirken ρ_e / ρ_w oranı “özdirenci formasyon faktörü” olarak tanımlanır ve

$$F = \frac{\rho_e}{\rho_w} = a\phi^{-m} \quad (2)$$

eşitliği ile verilir. Burada ϕ ; V_e / V_r (suyun hacmi / kayaç hacmi) şeklinde ifade edilir. Yukarıdaki eşitlikteki ρ_e ; kuru kayacın özdirencidir. Suyun iletkenliği; erimiş kloridler, sülfatlar ve ortamda bulunan diğer minerallere bağlı olarak değişir. İletkenlik ve sıcaklık arasındaki ilişki ise;

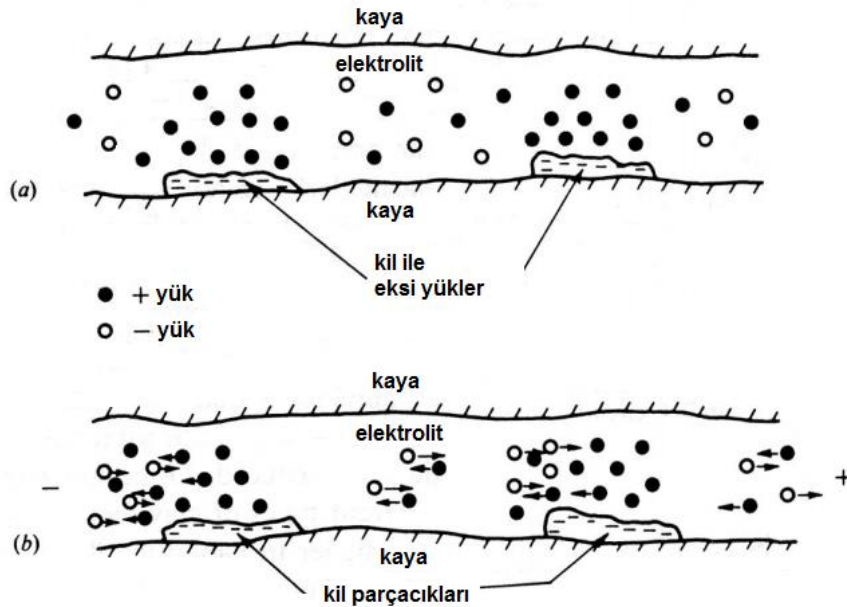
$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{b}{T}} \quad (3)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada;
 σ = Kayacın iletkenliği (Mhos/m),
 σ_0 = Belirli bir temel sıcaklıktaki kayacın iletkenliği,
 T = Kelvin derecesinde sıcaklıktır.

3. İNDÜKLEM POLARİZASYON YÖNTEMİ (IP)

Mineralize olmuş bir kayacın IP'nin temel nedeni, metal ve elektrolit iyonları arasında, akım ile uyarılmış bir elektron geçiş reaksiyonudur. IP olayı, elektrolit ile dolu gözenek içindeki elektrot ve elektron ileten mineral arasındaki ara yüzeyde iyon kutuplaşmasıdır. Bir metalik mineralin serbest gözenek geçitleri elektrolit ile dolu olduğunda, elektrik akımı serbest bir yol oluşturur. Kayacın yapan mineralin kendisi yüksek dirençli olduğundan akım genellikle bu serbest yoldan geçer ve kayacın direnci önemli ölçüde düşer. Kutuplaşma; kayacın geçen akımın miktarına, gözenek yapılarına, elektrolitin cinsine, kayacın özelliğine ve kırıklı olmasına bağlıdır.

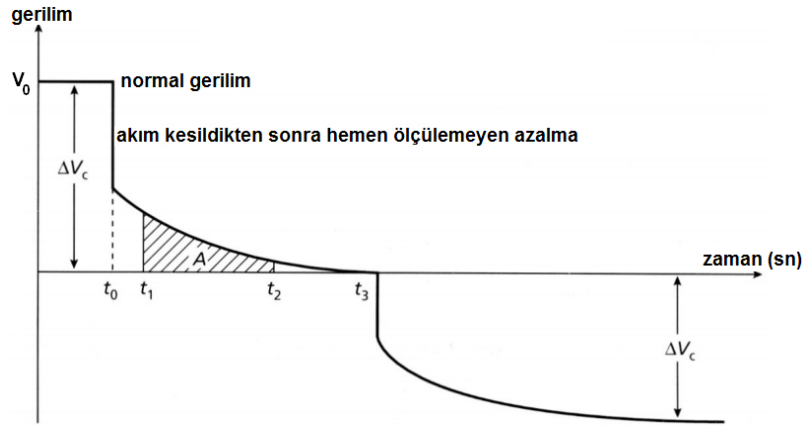
IP olayı sadece metalik minerallerde görülen bir olay değildir. IP etkisine yeraltında mevcut, metalik olmayan minerallerde de, örneğin sedimanter kayalarda da rastlanır. Bu tip IP olayının kaynağı, kil parçacıklarının varlığıdır. Kil parçacıklarının yüzeyi negatif olarak yüklenmiştir. Bu sebepten kil kümeleri kılcal borulardaki elektrolitten pozitif iyonları çekerler. Bir elektrik çift tabaka oluştururlar. (+) iyonların yoğunlaşması kil parçacığının yüzeyinde daha fazla olur ve bunlar diğer (+) yüklü iyonları geriye iterek kılcal boru içinde onların hareketine engel olan geçirimsiz bir zar gibi hareket ederler. Kil içinden geçen elektrik akımı kesildiğinde (+) yükler önceki denge durumunu almak üzere yeniden dağılırlar. Bu yeniden dağılıma olayı kil ile temas halindeki iki elektrot arasında bir azalma voltajı meydana getirir, bu da yapay uçlaşma etkisine neden olur (Şekil 2).



Şekil 2. Kayaçlarda Zar Kutuplaşması Oluşumu (Fraser, 1964).

- Akım Verilmeden Önce Gözenek Geçidinin Durumu.
- Akım Verildikten Sonra Gözenek Geçidinin Durumu.

Zaman Ortamı IP’de yukarıdaki olayın gerçekleşmesi sırasında puls transiyent tekniği kullanılarak zaman ortamındaki polarizasyon incelenir. Basamak şeklinde pozitif ve negatif olarak yer içerisine gönderilen akımın kesilmesinden sonra, potansiyel elektrotları arasındaki gerilimin zamana bağlı olarak sönümü saptanır. Burada ölçülen parametre zaman integralininin V_0 ’a göre normalize edilmesi ile elde edilir. Bu parametre gerilim azalma eğrisinin (sönüm eğrisi, Şekil 3) şeklinden bilgi edinmemizi sağlar. Sönüm eğrisi t_1 ve t_2 gibi bir zaman aralığında kaydedilerek, iki zaman limiti arasında, eğrinin altındaki alan saptanır. Sonuçta yüklenebilirlik,



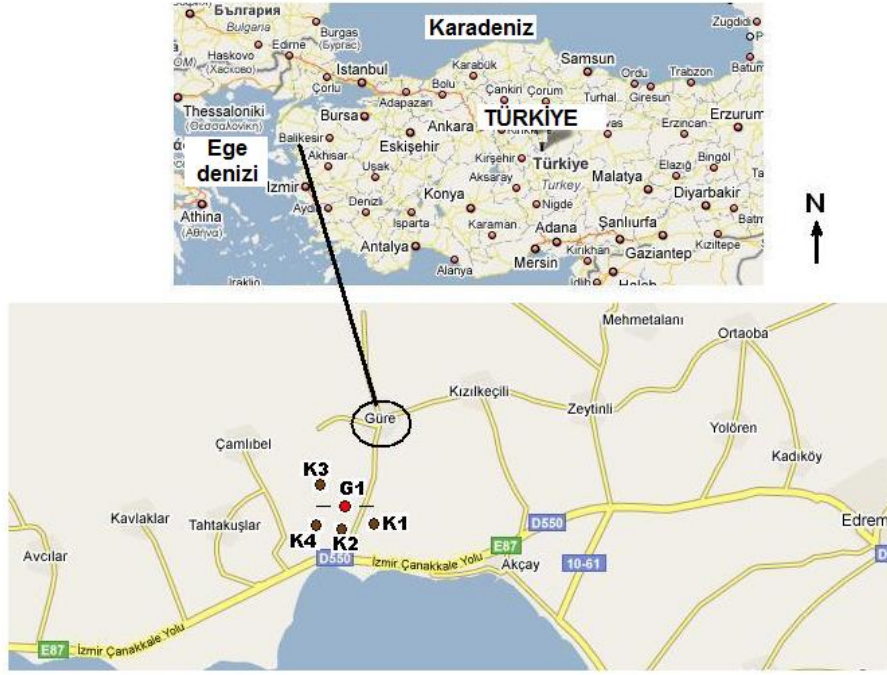
Şekil 3. Sönüm Eğrisi Grafiği.

$$m_a = \frac{A}{\Delta V_c} = \frac{1}{V_0} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \quad (4)$$

bağıntısı ile tanımlanır ve milisaniye olarak ifade edilir. Bu ifadeyi Seigel (1959) “ m_a ” yüklenebilirlik (şarjabilite) faktörü olarak tarif etmiştir.

4. BULGULAR

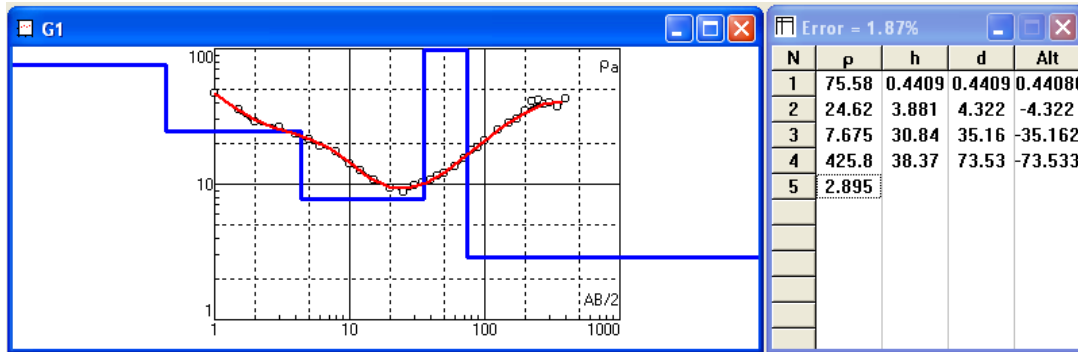
İnceleme alanı Balıkesir (Türkiye) ili sınırları içerisinde yer alan Güre’dir (Şekil 4). İnceleme alanının muhtelif yerlerinde halen işletilen jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Bu çalışma mevcut kaynaklar üzerinde gerçekleştirilerek yöntem ile arazi verilerinin uyumluluğu araştırılmıştır. İşletilmekte olan kuyuların yerleri Şekil 4’te gösterilmiştir. Bu kuyulara ait veriler Tablo 1’de sunulmuştur. Bu doğrultuda 35S0490025 ve UTM4382144 koordinatlarında G1 noktasında (Şekil 4) bir adet zaman ortamı IP ölçüsü alınmıştır. B-D doğrultulu bu ölçümde AB=800 m’lik bir açılım yapılmış ve schlumberger elektrot dizilimi kullanılmıştır. Alınan ölçü sonrası elde edilen görünür özdirenç belirtisi değerlendirilerek (1B) gerçek tabaka parametreleri saptanmıştır (Şekil 5). Görünür özdirenç belirtisi el ile ve IPI2win programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Yine dört pencerede alınan zaman ortamı IP yanıtlarından en uygun olanı (M2) seçilmiş ve bu görünür yüklenebilirlikler görünür özdirençler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 6’da gösterilmiştir.



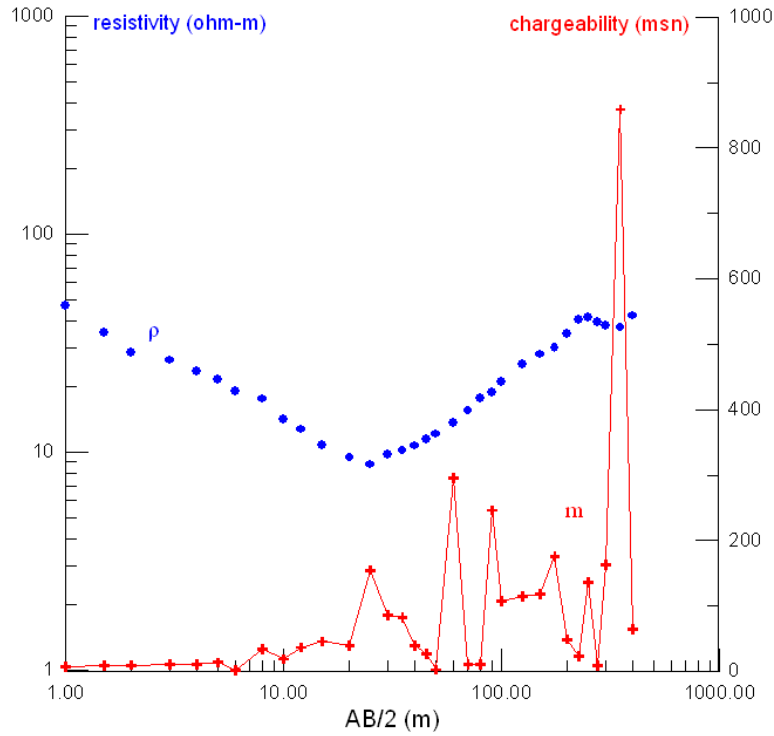
Şekil 4. Çalışma Alanı, Ölçü Noktası (G1) Ve İşletilmekte Olan Jeotermal Kuyuların (K1, K2, K3, K4) Yerleri.

Tablo 1. Çalışma alanında işletilmekte olan jeotermal kuyulara ait veriler.
(Kaynak: Güre belediyesi jeotermal ısı merkezi)

Kuyu adı	Koordinat (Y) (sağa)	Koordinat (X) (yukarı)	Kuyu derinliği (m)	Sıcaklık (C)	Debi (lt/sn)
K1	490082	4382275	88	55	7
K2	490149	4382290	63	61	11
K3	490199	4382333	73	54	4
K4	490079	4382237	55	55	6



Şekil 5. G1 Ölçü Noktası İçin Gerçek Tabaka Parametreleri (1B).



Şekil 6. G1 ölçü noktası için görünür öz direnç (ρ) ve yüklenebilirlik (m) değişimleri.

5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmadan da görüleceği gibi yöntem oldukça basittir. Tek zorluk ölçü alımının biraz yavaş ilerlemesidir. Ancak alınan her ölçü sonrası oluşan verilerin bir grafik üzerinde izlenebilmesi ve farklı iki parametrenin birlikte değerlendirilebilmesi önemli bir avantaj oluşturmaktadır.

Yapılan çalışma sonrası elde edilen sonuçların arazi verileri ile tam bir uyum içinde oldukları görülmüştür. Beklentiler doğrultusunda; 73.53 m'den itibaren yer alan aşırı iletken ($2.895 \Omega m$) birim üzerinde yüklenebilirlik değerinin pik yaparak 859 msn değerine ulaştığı izlenmiştir. Bu sonuçlar Tablo 1'de sunulan verilerle karşılaştırıldığında bu iletken ortamın jeotermal su içeren birime karşılık geldiği görülmüştür.

Böylece, birlikte değerlendirilen öz direnç ve yüklenebilirlik parametrelerinin jeotermal kaynak yeri belirlemedeki risklerin minimuma indirilmesinde katkı sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Archie, G.E., 1942. " Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics," Trans., AIME, v. 146, p. 54-62.
- Dizioğlu, M.Y. ve Keçeli, A.D., 1981. Elektrik ve Elektromanyetik Prospeksiyon Yöntemleri, İÜ Yayınları, Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul.
- Fraser, D.C., 1964, Conductivity Spectra of rocks from the craipmont and environment, Geophysics, v.29, p.832.
- Gasperiçova E. and Morrison H.F., 2001. Mapping of induced polarization using natural fields. GEOPHYSICS, VOL. 66, NO. 1 (JANUARY-FEBRUARY 2001); P. 137–147, 15 FIGS.
- Geothermal Tuda, 2003, U.S. Department of Energy, Geothermal Technologies Program Highlights,
- Hamada, G.M., Assal, A.M. and Ali, M.A.1996. Improved technique to determine Archie's parameters and consequent impact on the exactness of hydrocarbon saturation values: SCA # 9623 presented at Intl. Symposium of SCA, Sept. 8-10, Montpellier, France. IPI2Winlite, 2002. Resistivity Sounding Interpretation, Version 2.2, Moscow State University.
- Johnson, M.I., 1984. Spectral Induced Polarization parameters as determined trough time-domain measurements, Geophysics, 49, 1993-2003.
- Madden, T.R., 1959. Induced Polarization, A study of its causes. Geophysics, 24, 790-816.
- 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, 588-609.
- Reynolds, J.M., 1997, An Introduction to Applied and Environmental Geophysics.
- Seigel, H., 1959. Mathematical formulation and theoretical curves for IP. Geophysics, 24, 547-561.
- Sumner, J.S., 1976. Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration, Elsevier, London.
- Telford, W. M., L. P. Geldart, and R. E. Sheriff (1990). Applied Geophysics Cambridge U.P., New York.
- Tezel, O., 1992. Zaman Ortamı IP Yanıtlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wait, J.R., 1959. Overvoltage Research and Geophysical Applications, Pergoman Press.
- Zohdy, A., 1974a. A Computer Program for the Calculation of Schlumberger Sounding Curves by Convolution. U.S. Geological Survey Open File Report No. USGS-GD-74-010.
- Zohdy, A., 1974b. Electrical Methods in US Geological Survey, Tech Water Resources Investigation, Book 2, Chap. D1.