

YARIM-SCHLUMBERGER DÜŞEY ELEKTRİK SONDAJI YÖNTEMİ VE ARAZİ ÖRNEĞİ: FELDISPAT ARAMALARI

Half-Schlumberger Vertical Electrical Sounding Method and a Survey Example: Feldspar Exploration

Ahmet Tuğrul BAŞOKUR*

ÖZET

Küçük boyutlu yanal süreksizlikler, ilk katman özdirençinin değişmesi nedeniyle oluşan statik kayma ve iki boyutlu süreksizlikler düşey elektrik sondaj eğrisinde bozulmalara neden olur. Bu bozulmalar, iki yarım-Schlumberger açılımı kullanarak ve görünür özdirenç eğrilerinin davranışlarını inceleyerek ayırt edilebilir. Aynı noktada ölçülmüş iki yarım-Schlumberger eğrisinin karşılaştırılması, yeraltının özdirenç dağılımı hakkında Schlumberger görünür özdirenç eğrisinden daha fazla bilgi verir. Ayrıca, gürültü ve iki-boyutlu süreksizlik sorunlarının da üstesinden gelinebilir. Yöntem, bir feldispat aramasına uygulanmıştır. Sonuçlar, gürültülerin yok edilmesini ve bir-boyutlu yeraltı yapısının geçerli olup, olmadığı hakkında karar verilmesini sağlamaktadır.

ABSTRACT

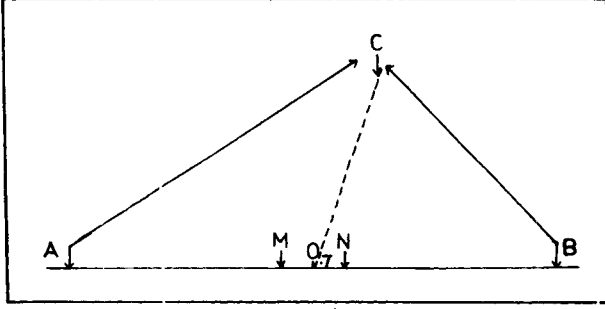
Small lateral inhomogeneities, static shift generated by resistivity variations in the top layer and two-dimensional resistivity discontinuities cause distortions on vertical electrical sounding curves. Distortions may be distinguished by using the combination of two half-Schlumberger arrays and examining the behaviour of the apparent resistivity curves measured at the same location gives more information about the resistivity distribution of the underground than a Schlumberger apparent resistivity curve. In addition, the noise problem and the effects of two dimensional discontinuities may also be overcome. The method has been applied to a feldspar exploration. According to the findings, noise cancellation can be made and a decision can be reached whether one-dimensional earth model assumption is satisfied for a certain sounding curve.

GİRİŞ

Düşey Elektrik Sondajı Türkiye'de en çok kullanılan Jeofizik yöntemlerden biridir. Ölçü aygıtlarının görecel olarak ucuz oluşu, bu konudaki deneyimler ve bilgi birikimi nedeniyle elektrik yöntem uygulamaları büyük çoğunlukla Düşey Elektrik Sondajı ile gerçekleştirilmektedir. Yanal özdirenç değişimlerinden daha az etkilenmesi nedeniyle, Schlumberger elektrod düzeni yeğlenmektedir. Yurdumuzda bu dizilimin yaygın kullanılmasında diğer bir etken de, yardımcı nokta kartları yöntemi ile yorumun grafik yolla kolayca yapılabilmesidir. Ancak, yardımcı nokta kartları yöntemi tümüyle deneysel bir teknik olup, elde edilen katman parametreleri ile hesaplanan model eğri, seyrek olarak arazi eğrisine tam uyum sağlar. Doğrudan yorum (direct interpretation) veya ardışık yaklaşma yöntemi (iterative interpretation) bilgisayar kullanımına

izin verir ve katman parametreleri daha duyarlı olarak saptanabilir. Bu yorum yöntemleri, yeraltının tekdüze (homogene) yatay katmanlardan oluştuğu varsayımı üzerine temellendirilmiştir. Yeraltı bu varsayımı az çok sağladığı sürece, doğrudan yorum veya ardışık yaklaşma yöntemlerinin çözüm güçleri son derece iyidir. Yorumdan elde edilen parametreler yardımıyla hesaplanan model eğri ile arazi eğrisinin birbirine yakın olduğu durumlarda genellikle gerçek yeraltı yapısının çözüldüğü varsayılır. Birçok problemde eğer jeolojik delil yoksa, yeraltının yaklaşık bir boyutlu (yatay katmalar) olup olmadığı bilinemez. İki boyutlu yapılar da tek boyutlu yapıların tepkisine benzer görünür özdirenç eğrileri verebilir. Ayrıca, yüzeydeki küçük boyutlu yapıların ve diğer tür gürültülerin görünür özdirenç eğrisinde tanınması oldukça güç olabilir. Bu tür sorunların çözümünde, Schlumberger görünür özdirenç eğrilerinin yorumu yerine, iki yarım-Schlumberger elektrik

* Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 06100 Beşevler, Ankara



Şekil 1. Birleştirilmiş yarım-Schlumberger elektrod açılımı. A, B ve C akım elektrodlarını, M ve N gerilim elektrodlarını göstermektedir.

Fig. 1. Combined half-Schlumberger electrode array. A, B and C are current electrodes, M and N are potential electrodes.

sondaj eğrisinin ölçülerek çözümlenmesi büyük yarar sağlayabilmektedir.

ÖLÇÜM DÜZENİ

Elektrik sondaj ölçüsü amacıyla yarım-Schlumberger düzeninde elektrodların yerleştirilişi Schlumberger düzeninde olduğu gibidir. Akım ve gerilim elektrodları merkez noktasına göre simetrik olarak yerleştirilir (Şekil 1). Açılım doğrultusunda dik yönde bir C noktasında üçüncü akım elektrodu bulunmaktadır. Eğer C noktası yeterince uzak bir noktaya konumlandırılmışsa sonsuzda bulunduğu varsayılabilir. Böylece, A ve C noktalarından, daha sonra B ve C noktalarından akım vererek, M ve N noktalarında iki kez gerilim farkı ölçülebilir. Bu gerilim farklarından da ρ_A ve ρ_B olarak simgelenen iki görünür öz direnç değeri hesaplanabilir.

Düşey elektrik sondajı Schlumberger diziliminde olduğu gibi A ve B akım elektrodlarının O noktası etrafında simetrik olarak açılması ile gerçekleştirilir. Farklı olarak akım elektrodlarının her açılım konumunda iki adet görünür öz direnç değeri ölçülür. C noktasının sonsuzda varsayılabilmesi, yani A ve B akım elektrodlarının nokta akım kaynağı etkisi gösterebilmesi için OC uzaklığı, açılım uzaklığının (AB/2) en az beş katından büyük olmalıdır. C elektrodunu en büyük açılım uzaklığının beş katından daha büyük bir uzaklığa yerleştirerek ölçülere başlanabilir ve görünür öz direnç eğrisi tamamlanincaya kadar bu noktada sabit tutulabilir.

GEOMETRİK FAKTÖRÜN VE GÖRÜNÜR ÖZDİRENÇİN HESABI

Tekdüze ve yarısonsuz ortam üzerinde herhangi bir elektrod dizilimi için öz direnç

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada ρ , ortamın öz direnci; ΔV , M ve N elektrodları arasındaki gerilim farkı; I ise ortamdaki geçen akımdır. k geometrik faktör olarak adlandırılır ve

$$k = 2\pi / \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}} \right) \quad (2)$$

denklemleri ile verilir. r uzaklıklarının altına yazılan simgeler akım ve gerilim elektrodları arasındaki uzaklıkları göstermektedir. Eğer (1) denkleminde ρ ve I yerine arazide ölçülen değerler konursa, k geometrik faktörü de bilindiğinden öz direnç değeri hesaplanabilir. Yarısonsuz ve tekdüze ortam için çıkartılan (1) denkleminin, bu varsayıma uymayan koşullarda kullanımı "görünür öz direnç" kavramının yaratılmasını zorunlu kılar. Görünür öz direnç ortamın gerçek öz dirençlerinden büyük veya küçük olabilir. Elektrik yöntemlerde elde edilen verilerin sunumu ve ortamdaki gerçek öz dirençlerin hesaplanmasında bu kavramın kullanılması büyük kolaylıklar sağlar.

A ve B akım elektrodlarının dizilim merkezine olan uzaklığı s, M ve N elektrodları arasındaki uzaklık b simgesi ile gösterilirse, (2) denklemi yardımıyla yarım-Schlumberger elektrod dizilimi için geometrik faktör

$$k = 2\pi \left(s + \frac{b}{2} \right) \left(s - \frac{b}{2} \right) / b \quad (3)$$

veya

$$k = 2\pi \left(\frac{s^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \quad (4)$$

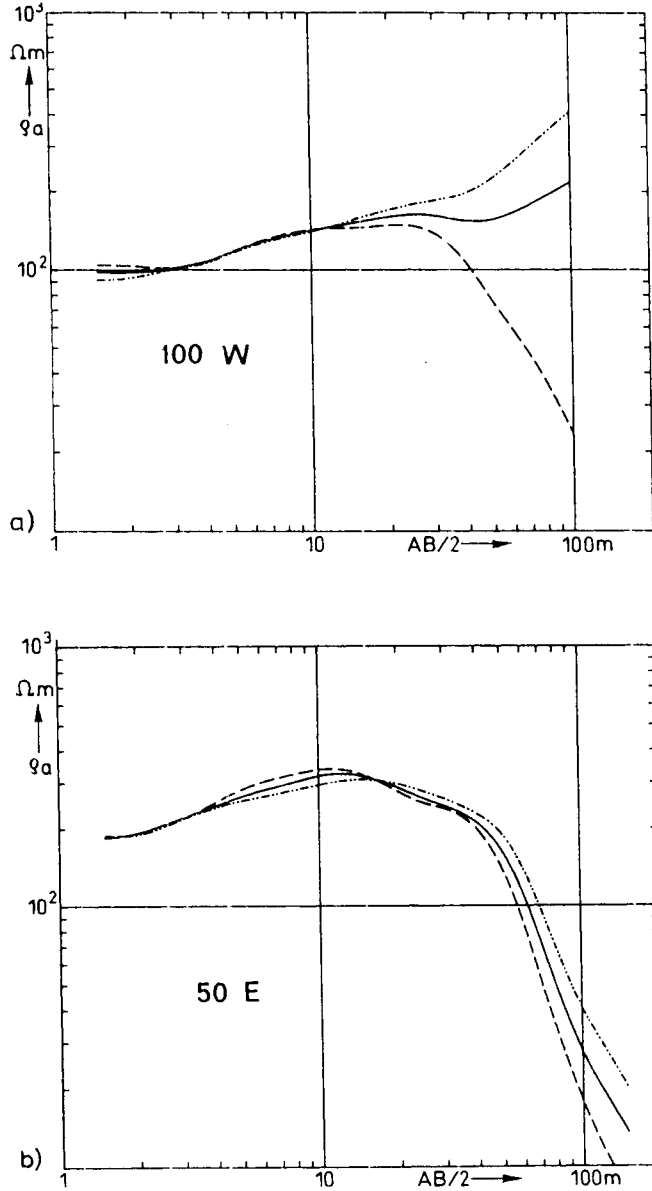
olarak bulunabilir. (4) bağıntısı yarım-Schlumberger geometrik faktörün, Schlumberger diziliminin geometrik faktörünün iki katına eşit olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, Schlumberger ve iki yarım-Schlumberger görünür öz dirençler arasında aşağıdaki ilişkinin varlığını ortaya çıkarır.

$$\rho_{\text{as}} = (\rho_A + \rho_B) / 2 \quad (5)$$

Burada, ρ_A A akım elektrodundan, ρ_B , ise B akım elektrodundan akım verildiğinde ölçülen yarım-Schlumberger görünür öz dirençleri simgelemektedir. Yukarıdaki bağıntı yardımıyla Schlumberger görünür öz direnç değerlerini ölçmeden hesaplayabiliriz. Schlumberger diziliminde ölçülen gerilim farkı, iki nokta akım kaynağının yarattığı gerilim farklarının toplamına eşittir. Bu ilke "superposition" ilkesi olarak bilinmektedir. Arazide doğrudan ölçülen ve (5) bağıntısıyla iki yarım-Schlumberger görünür öz direnç değerinden hesaplanan Schlumberger görünür öz direnç değerleri arasında bir fark bulunmaması gerekir. Bu yazıda verilen arazi çalışmalarında ölçüyle ve hesapla bulunan Schlumberger görünür öz dirençler arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Eğer herhangi bir fark oluşursa, bu ölçü hatasına işaret eder. Arazi uygulamalarında, Schlumberger görünür öz direncin ayrıca ölçülmesi zaman kaybettireceğinden hesapla bulunmasında bir sakınca yoktur.

ÇEŞİTLİ JEOLJİK YAPILARDA YARIM SCHLUMBERGER DİZİLİMİNİN DAVRANIŞI

Yatay ve tekdüze katmanlardan oluşan yeraltı yapısı 1-B (bir boyutlu) olarak adlandırılır. Bu tür bir jeolojik yapı için yanal yönde herhangi bir öz direnç değişimi olmadığından, ρ_A ve ρ_B öz dirençleri birbirine eşittir. (5) bağıntısı gereğince Schlumberger ve yarım-Schlumberger görünür öz direnç değerlerinin 1-B yapı için aynı olması



Şekil 2. Schlumberger ve yarım-Schlumberger sondaj eğrilerinin iki-boyutlu (a) ve tek boyutlu ortam (b) üzerindeki davranışları. Schulz ve Tezkan'dan (1988) alınmıştır.

Fig. 2. Behaviour of Schlumberger and half-Schlumberger sounding curves over 2-D earth (a) and 1-D earth (b). After Schulz and Tezkan (1988).

gerektiği kolayca anlaşılabilir. Şekil 2b de ρ_A ve ρ_B öz dirençlerinin davranışlarındaki paralellik ortamın bir boyutlu olabileceğini ortaya koymaktadır. Şekil 2a da ise belirli bir açılım uzaklığından sonra YSES (yarım-Schlumberger elektrik sondaj) eğrilerinin birbirinden uzaklaşması akım elektrotlarının birinin yanal bir süreksizliğe yaklaştığını veya üzerinden geçmekte olduğunu göstermektedir (Schulz ve Tezkan 1988). Diğer sondaj eğrileriyle karşılaştırarak yanal süreksizliğin hangi akım elektrotu yönünde olduğu kolayca saptanabilir. Şekil 2a da sadece Schlumberger eğrisi gözönüne alınırsa, büyük elektrot açılımlarında görünür öz direnç eğrisinin yükselen

parçası yüksek öz dirençli yeni bir katmanı olarak yorumlanabilir ve gerçekte olmayan bir katman jeofizik kesite yerleştirilebilir. Oysa, YSES yönteminin uygulanması, bu yükselimin yanal bir süreksizlikten kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Bu konuda iyi bir örnek Mundry (1984) tarafından verilmiştir (sayfa 130). Bir örtü katmanının altındaki bir fayın doğrultusuna paralel ve dik açılarak elde edilen Schlumberger elektrik sondaj eğrileri yatay katman varsayımına göre değerlendirilmiştir. Her iki açılım doğrultusundaki sondaj eğrilerinden elde edilen jeofizik kesit birbiriyle uyumsuzdur ve gerçek yapıyı belirlememektedir.

Öz direnç değişiminin her iki akım elektrotu için de aynı kaldığı ortamlarda, YSES eğrileri birbirine eşit çıkar. Genellikle böyle bir koşulu yatay katmanlardan oluşan bir yeraltı sağlayabilir. İkinci bir olasılık da bir fayın doğrultusuna paralel olarak açılım yapılması durumudur. Bu özellikten yararlanarak bir fayın yeri ve doğrultusu, bir ölçü noktası etrafından ışınal açılım doğrultularında YSES yöntemi uygulanarak bulunabilir. Yarım-Schlumberger görünür öz direnç değerlerinin birbirine yakın olduğu doğrultu, fayın doğrultusunu verecektir (Schulz ve Tezkan 1988). Fayın konumu ve eğim yönü, aynı doğrultuda ölçülmüş komşu YSES eğrilerinin belirli açılım uzaklıklarındaki görünür öz direnç değerlerinin yatay eksen ölçü noktaları arasındaki uzaklık olma üzere grafiklenmesiyle bulunabilir. Bu tür grafikleme profil ölçüsü olarak adlandırılmaktadır. Çeşitli elektrot açılımlarının herbirindeki ρ_A ve ρ_B görünür öz direnç eğrilerinin kesim noktalarının yerlerinin değişimi, fayın eğiminin hangi yönde olduğunu gösterecektir (Cheng 1980).

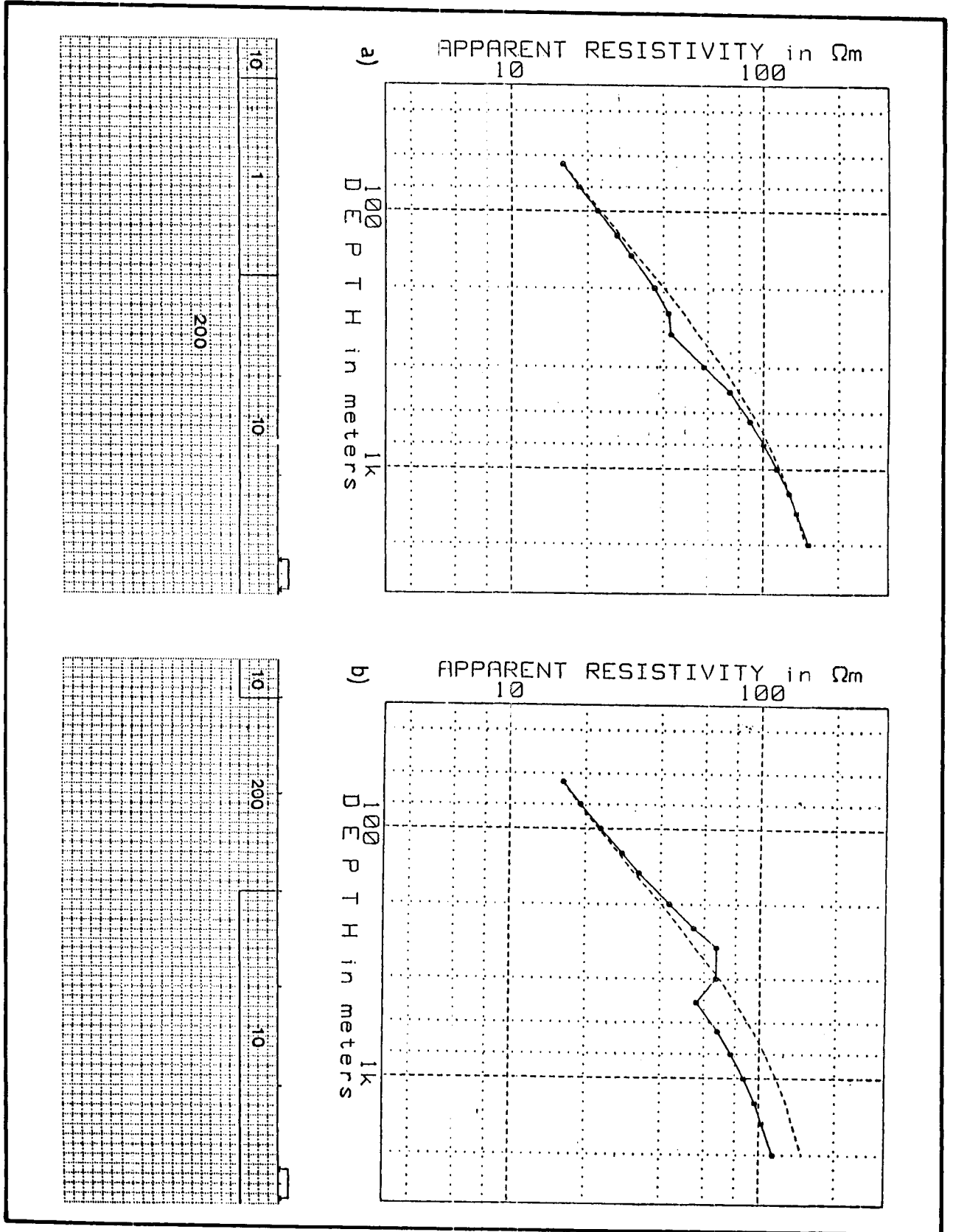
Hem yanal hem de düşey yöndeki süreksizliklerin saptanması için, Karous ve Pernu (1985) birleştirilmiş sondaj-profil (combined sounding-profiling) yöntemini önermişlerdir. Aynı açılım doğrultusunda ve birbirine yakın ölçü noktalarında YSES yöntemi uygulaması ve komşu sondaj eğrilerindeki aynı açılım uzaklığındaki görünür öz direnç değerlerinin birbiriyle bölme işlemine sokulmasıyla, ince damar gibi küçük ölçekli yapıların ortaya çıkarılmasının olası olduğu bir arazi örneği ile gösterilmiştir (Karous ve Pernu 1985).

Sonuç olarak, Schlumberger yerine YSES yönteminin yeğlenmesi yeraltının 1-B koşulunu sağlayıp sağlamadığının anlaşılmasına, ayrıca yanal süreksizliklerin yerlerinin saptanmasına yardımcı olmaktadır.

STATİK KAYMA VE GÜRÜLTÜ SORUNU

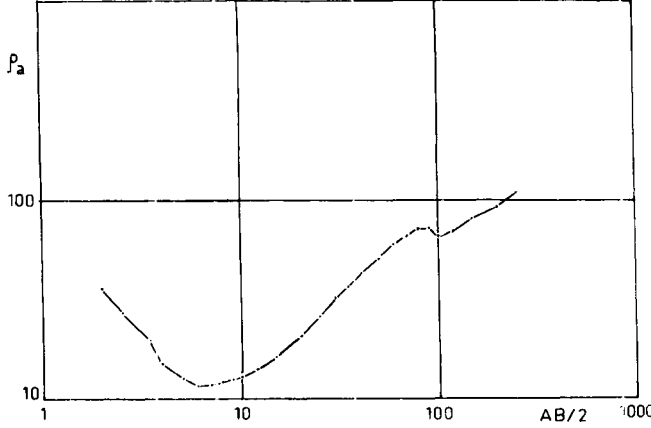
Düşey elektrik sondajında karşılaşılan sorunlardan biri de statik kaymadır. Üst katman öz direncinin yanal yönde belirli bir aralıkta değişmesi bu etkiyi oluşturur. Bu etki artan tür görünür öz direnç eğrilerinde birkaç ölçü noktası boyunca alçalma, azalan tür eğrilerde ise artma biçiminde görülür. Eğrinin geri kalan bölümü, öz dirençde yanal bozukluk olmadığı durumda ölçülecek değerlere az çok paralel olarak düşey eksen boyunca kayar. Bu etkiyi genellikle görünür öz direnç eğrisinde bir kopmanın oluşması ile algılayabiliriz.

Şekil 3a da ve 3b de iki katmanlı ortamda, ilk katman öz direncinde yöresel bir bozukluk olduğunda, statik kayma etkisi gösteren Schlumberger görünür öz direnç eğ-



Şekil 3. Statik kayma etkisini gösteren Schlumberger görünür öz direnç model eğrileri. Murami'den (1986), kişisel görüşme.

Fig. 3. Apparent resistivity model curves measured with Schlumberger array showing the effect of the static shift. After Murakami (1986), personal communication.



Şekil 4. Statik kaymadan etkilenmiş bir arazi Schlumberger görünür öz direnç eğrisi.

Fig. 4. A measured Schlumberger apparent resistivity sounding curve showing static shift.

risi verilmiştir (Murakami 1986, kişisel görüşme). Şekillerin altında model parametreleri, model geometrisi, açılım merkezi (modelin sağ üst köşesi) ve gerilim elektrodlarının konumu belirtilmiştir. Modelimiz sağ yanda iki katmanlı olup, sonsuza uzanmaktadır. Kesikli çizgiler yatay iki katman, düz çizgiler ise ilk katmanın yanal öz direnç değişimini göstermesi durumundaki Schlumberger görünür öz direnç eğrilerini göstermektedir. Şekil 4 de verilen Sivas-Çetinkaya'da ölçülmüş Schlumberger eğrisinin de statik kayma olarak yorumladığımız 100 metre açılım uzaklığı civarındaki kopma görülmektedir. Yükselen kanat kireçtaşı nedeniyle oluşmuştur. Jeofizik kesite düşük öz dirençli ince bir katman yerleştirerek, bu arazi eğrisine uyum sağlayacak kuramsal eğri bulmamız olanaksızdır.

Statik kayma nedeniyle oluşan kanat uzun olursa, yukarıdaki örnekte olduğu gibi arazi eğrisinde statik kayma her zaman kolayca tanınmaz. Yükselen tür eğri-lerde düşük, alçalan tür eğri-lerde ise yüksek öz dirençli ince bir katmanın etkisi olarak düşünülebilir. Ayrıca, arazi eğrisinin geriye kalan bölümü paralel kaymaya uğrayacağından ve eğrinin bu kanadı da katman olarak yorumlanabileceğinden, jeofizik kesite gerçekte var olmayan iki adet katmanın eklenmesi söz konusu olabilir.

Arazi eğrimiz üzerindeki birkaç ölçü noktası boyunca süren iniş veya çıkışların statik kayma veya ince katman etkilerinden hangisi sonucu oluştuğu sorusu YSES yönteminin kullanılmasıyla daha açık bir biçimde yanıtlanabilir. Çünkü, YSES görünür öz direnç eğrilerinden biri statik kayma etkisini gösterirken, diğer akım elektrodunun bulunduğu yanda aynı tür yüzeysel öz direnç değişimi büyük olasılıkla olmayacağından, diğer YSES eğrisi düzgün olacaktır. Her iki YSES eğrisinin aynı iniş ve çıkışları belirtmesi ise olayın ince bir katmandan kaynaklandığını kanıtlayacaktır.

Düşey elektrik sondajı yönteminde diğer bir sorunumuz gürültüdür. Ölçü ve işçilik hataları, küçük çaplı yerel öz direnç değişimleri sondaj eğrisinde herhangi bir katman tarafından oluşturulmadığı kolayca tanımlanan rastgele bozukluklara neden olurlar. Bunlar gerçekte var olmayan bir katmanı ortama eklememize neden olmasalar da, yoru-

mun duyarlılık derecesini düşürürler. Gürültüler karakter olarak rastgele olduklarından, her iki YSES eğrisini farklı derecede ve farklı ölçü noktalarında etkileyeceklerdir. İki YSES eğrisinin karşılaştırılması gürültülerin ayıklanmasını kolaylaştıracaktır. Eğrilerin niteliğini bozmayan daha küçük genlikli gürültüler ise, (5) bağıntısından Schlumberger görünür öz direncin eldesi sırasında bastırılacaktır.

Konu kuramsal olarak incelemeye ve geliştirilmeye açık olduğundan, YSES yönteminden burada anlatılan amaçlar dışında da kullanılması olanaklıdır. Yöntemin etkin bir şekilde kullanımı yorumcunun kişisel düşünce ve yaratıcılığına bağlıdır. Gelecek bölümde bu yöntemle yapılan bir arazi örneği aktarılacaktır. Böylece YSES yöntemini daha iyi kavrayabilmek için konuyu tartışmaya açmaya çalışacağız.

ARAZİ UYGULAMASI

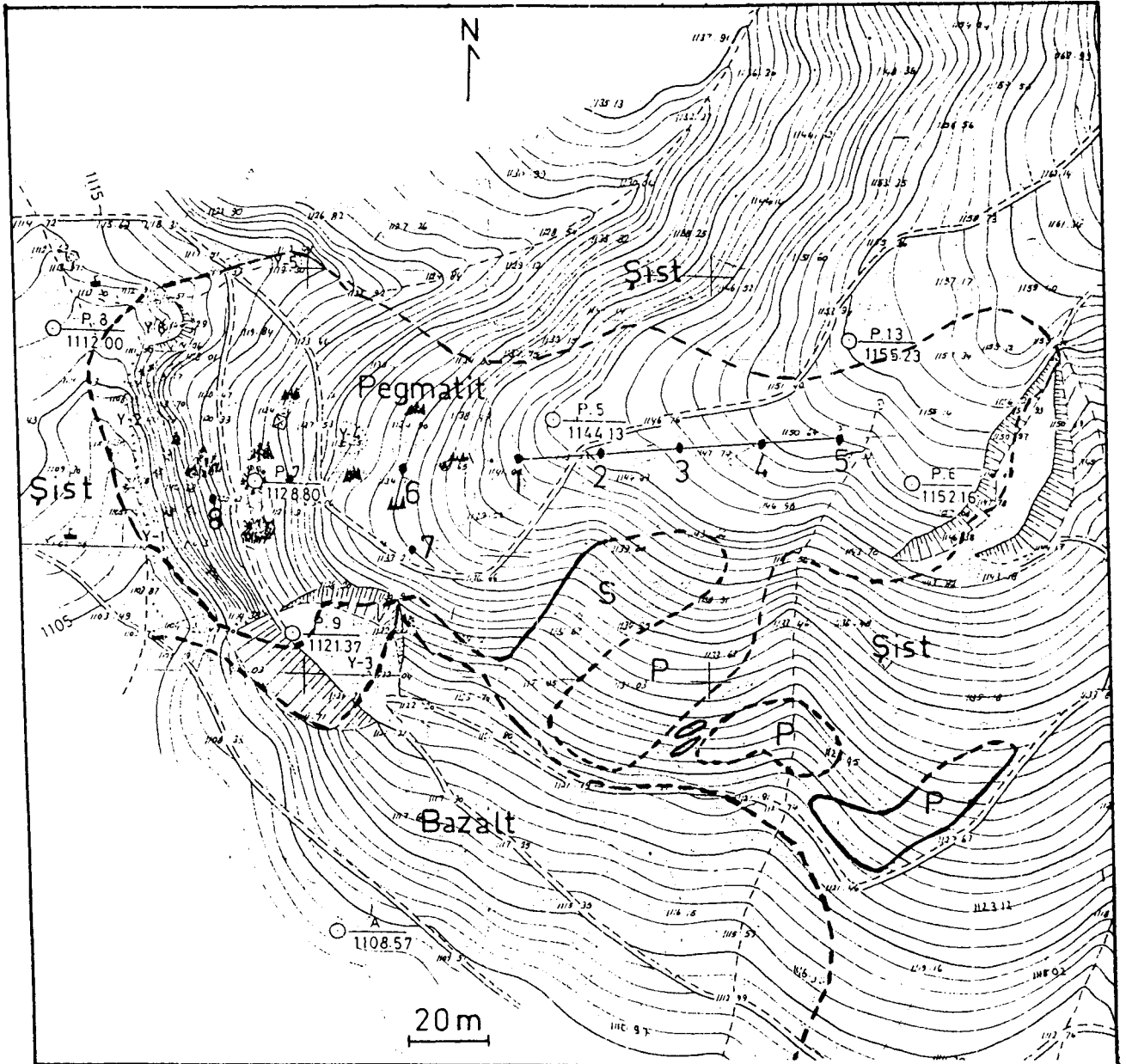
YSES yönteminin uygulandığı arazi Kütahya ili Simav ilçesi Karacaören köyü civarındadır. Şekil 5 de jeoloji haritası görülmektedir. Pegmatit, şist içersine düzensiz olarak yerleşmiş ve bölgede yer yer yüzeylenmiştir. (Murat Ünal 1989, kişisel görüşme). Pegmatitlerin feldispat oranı, seramik sanayiinde kullanılmaya elverişli olduğundan civardaki pegmatit yüzlekleri hammadde olarak kullanılmakta ve açık ocak işletme yöntemleriyle işlenmektedir. Sahanın güneyinde bazalt örtüsü bulunmaktadır. Gerekli madencilik araçlarının kapasitelerinin belirlenmesi ve seçimi, rezervin büyüklüğüne bağlı olup, işletmeye yapılacak yatırımın geri dönüş süreci ve dolayısıyla karlılık üzerinde etkilidir. Pegmatitin şist içersine yerleşimi son derece düzensiz olduğundan, yüzleğin derinlik boyutunu kestirmek son derece güçtür. Mekanik sondaj çalışmaları da sadece delgi noktasına ait bilgi verecektir. Bu nedenle, pegmatit yüzleğinin taban derinliği hakkında daha somut bilgi edinebilmek için birkaç noktada elektrik sondaj çalışması yapılması düşünülmüştür.

Şist ve pegmatit arasındaki öz direnç farkının yeterli ayrımı sağlayabileceği arazi çalışmaları sonucunda gözlenmiştir. Öncelikle şist üzerinde 2 metreden başlayarak 15 metreye kadar açılım yapılmış ve 175-190 ohm-metre arasında görünür öz direnç değerleri ölçülmüştür. Bu açılımın eğrisi üç katman varsayımı ile değerlendirilmiş ve gerçek öz dirençler 170, 250 ve 160 ohm-metre olarak bulunmuştur. Pegmatitin kalınlığını saptamak amacıyla yapılan açılımlarda ise pegmatitin 400-1000 ohm-metre öz direnç değerleri verdiği ve altında yer alan şistlerin ise öz dirençlerinin 30-40 ohm-metreye kadar düştüğü gözlenmiştir. Pegmatitin tabanının düzensiz olacağından ve civardaki şistlerin iki-boyutluluk etkisi gösterebileceğinin öngörülmesi nedeniyle YSES yöntemi yeğlenmiştir. Şekil 5 de görülen ve pegmatit yüzleğinin boyu doğrultusunda beş ölçü noktasında (KC1, KC2, KC3, KC4 ve KC5) hem yarım-Schlumberger hem de Schlumberger elektrik sondajı ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Ölçü noktaları arası 20 metredir ve her noktada elektrodlar $s = 2$ metre elektrod uzaklığından 100 metre uzaklığına kadar ölçü doğrultusu boyunca açılmışlardır. C akım elektrodu bu doğrultuya dik yaklaşık 600 metre uzaklığına yerleştirilmiştir. ρ_A doğudaki, ρ_B ise batıdaki akım elektrodundan akım verildiğinde

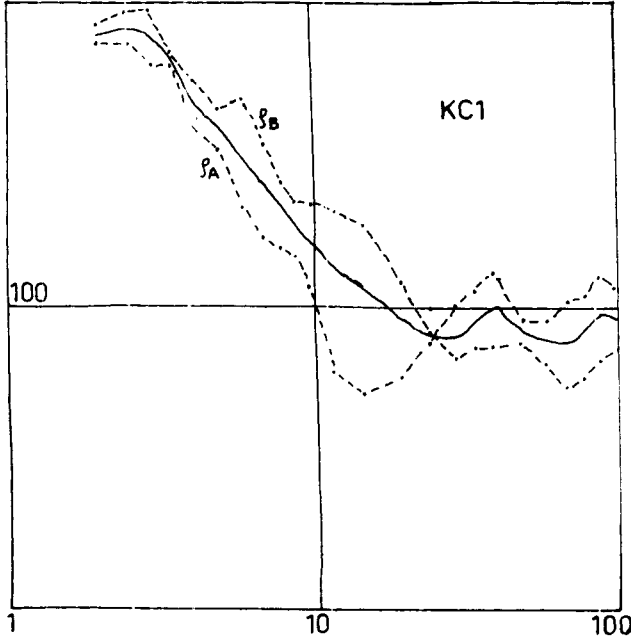
ölçülen görünür öz dirençlerdir. KC6, KC7 ve KC8 olarak numaralandırılan sondaj ölçüleri, jeolojik verilere göre pegmatitin biraz daha kalın olduğu sanılan noktalarında yapılmıştır. Bu noktalarda topoğrafya ve jeoloji nedeniyle açılım doğrultusu kuzey-güney olarak seçilmiştir. ρ_A kuzey, ρ_B ise güney akım elektrodundan akım verildiğinde ölçülen görünür öz direnç değerlerini göstermektedir. Düşey elektrik sondajı eğrileri, görünür öz dirençler düşey ve açılım uzaklıkları yatay eksen olmak üzere çizilmiştir. Eğrilerin bir boyutlu değerlendirilmesi doğrudan yorum yöntemi ile mikrobilgisayarda gerçekleştirilmiştir (Başokur 1984). Yorumdan önce yarım-Schlumberger görünür öz direnç eğrilerinden yararlanılarak görüntüler giderilmeye çalışılmış ve en küçük kareler kuramını kullanan bir bil-

gisayar programı yardımıyla da ölçü noktalarından geçen en düzgün görünür öz direnç eğrisi hesaplanmıştır (Başokur 1985).

KC1 noktasında başlangıçtan 15 metre açılım uzaklığına kadar Schlumberger, ρ_A ve ρ_B görünür öz dirençlerin birbirine paralel olarak değişmesi, ortamın yüzey ve yüzeye yakın bölgede 1-B olduğunu göstermektedir (Şekil 6). ρ_A görünür öz direnci 15 metreden sonra yükselmeye başlamakta ve 40 metrede doruk değerine varmaktadır. ρ_B ise topoğrafya nedeniyle oluştuğunu sandığımız küçük salınımlar ile alçalmaya devam etmektedir ve biçimsel olarak 1-B etkileri yansıtan bir davranış göstermektedir. İki yarım-Schlumberger eğrisinin farklı davranışından, ölçü noktasının doğusunda bir yüksek öz direnç süresiz-

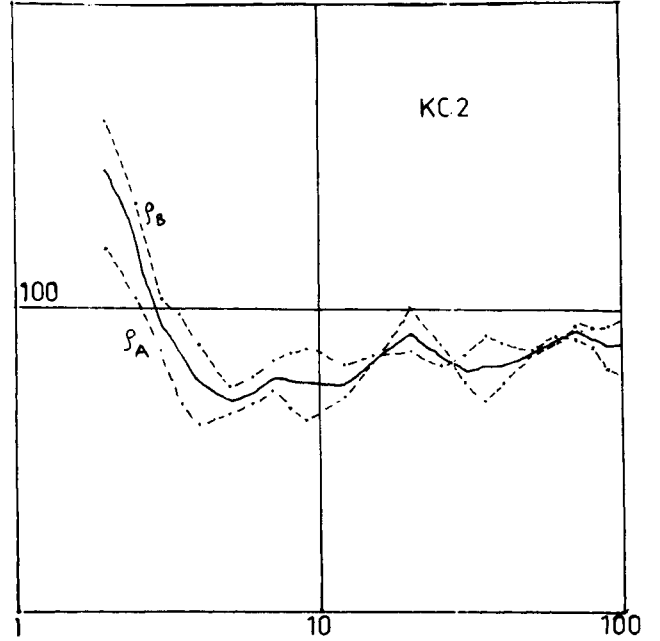


Şekil 5. Çalışılan bölgenin jeoloji haritası. M. Ünal'dan (1989) alınmıştır, kişisel görüşme.
Fig. 5. Geological map of the survey area. After M. Ünal (1989), personal communication.



Şekil 6. KC1 ölçü noktasında ölçülen Schlumberger (—) ve yarım-Schlumberger (---) sondaj eğrileri.

Fig. 6. Schlumberger (—) and two half-Schlumberger (---) sounding curves measured at station KC1.



Şekil 7. KC2 ölçü noktasında ölçülen Schlumberger (—) ve yarım-Schlumberger (---) sondaj eğrileri.

Fig. 7. Schlumberger (—) and two half-Schlumberger (---) sounding curves measured at station KC2.

liğinin varlığı ayırt edilebilir. Eğrilerin ilk bölümleri 1-B yapı varsayımı ile değerlendirilmiş ve üç metre kalınlıkta, ortalama 800 ohm-metre özdirençli pegmatit katmanı altında ortalama 100 ohm-metre özdirençli şist katmanı bulunduğu yargısına varılmıştır. Eğriler düşey yönde birbirlerine göre bir miktar kaymaya uğradıklarından, bulunan gerçek özdirençler biraz farklı da olsa her üç eğriden de kalınlık değerleri 2.5 metre olarak bulunmuştur.

KC2 noktasında görünür özdirençler küçük açılım uzaklıkları için birbirlerine paralel olarak düşme göstermektedirler (Şekil 7). Eğrilerin bir boyutlu değerlendirilmesi ile ortalama 700 ohm-metre özdirençli Pegmatit katmanının 1 metre kalınlıkta ve şistin özdirençinin 50 ohm-metre civarında olduğu öngörülmüştür. Eğrilerin en küçük açılım uzaklığı 2 metreden sonra hızlı bir şekilde düşmesi nedeniyle ilk katman özdirençinin ve kalınlığının sağlıklı bir biçimde saptanması oldukça zordur. Gerçekte ρ_1 değeri hesaplanan değerden daha büyük olabilir. Ancak, Pegmatitin kalınlığının KC1 noktasında ρ_A KC2 de çok daha ince olduğu açıktır. KC1 noktasında ρ_A görünür özdirençinin gösterdiği iki-boyutluluk davranışı bu noktada da gözlenmektedir ve doruk noktası KC1 de 40 metre açılım uzaklığında iken KC2 de 20 metredir. Bu sonuca göre doğuda KC1 den 40, KC2 den 20 metre uzaklığında yani KC3 ölçü noktasında bir süreksizliğin bulunması gerekmektedir.

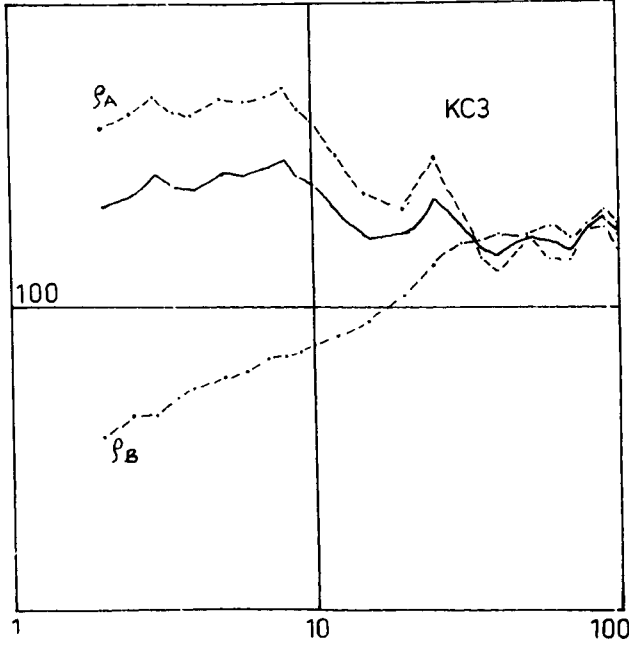
KC3 noktasında alınan ölçülerde, iki yarım-Schlumberger eğrisinin birbirlerinden son derece farklı davranışı bir süreksizliğin varlığını göstermektedir (Şekil 8). Bu süreksizlik KC1 ve KC2 de, ρ_A nın davranışlarıyla

da belirlenmişti. ρ_A nın düşük ve ρ_B nin yüksek görünür özdirençlerden başlaması, KC1 noktasından KC3 e kadar pegmatitin incelmesi, KC3 noktasından doğuya doğru yeniden kalınlaştığı şeklinde yorumlanabilir. Bu bilgilerin Schlumberger görünür özdirenç eğrisinden çıkartılması oldukça zordur.

Şekil 8 de görüldüğü gibi, Schlumberger görünür özdirenç eğrisi, iki yarım-Schlumberger görünür özdirençin ortalaması olduğundan logaritmik kağıt üzerinde büyük özdirenç değerlerine doğru kaymıştır. Ölçü noktası yanal süreksizlik üzerine düştüğünden, katman kalınlıklarını hesaplamak doğru sonuçlar vermeyecektir. Derinlikler hakkında bir fikir edinebilmek için, görünür özdirenç eğrileri 1-B değerlendirme ile değerlendirilmiştir. ρ_A eğrisinden KC3 noktasının sağ yanında yüksek özdirençli katmanın 5 metre derinlik verdiği görülmüştür. Yanal süreksizlik nedeniyle bu değer doğru olacağı söylenemezse de doğuya doğru feldispatın yeniden kalınlaştığına veya feldispatın damar şeklinde derine doğru devam ettiğine kanıt sayılabilir.

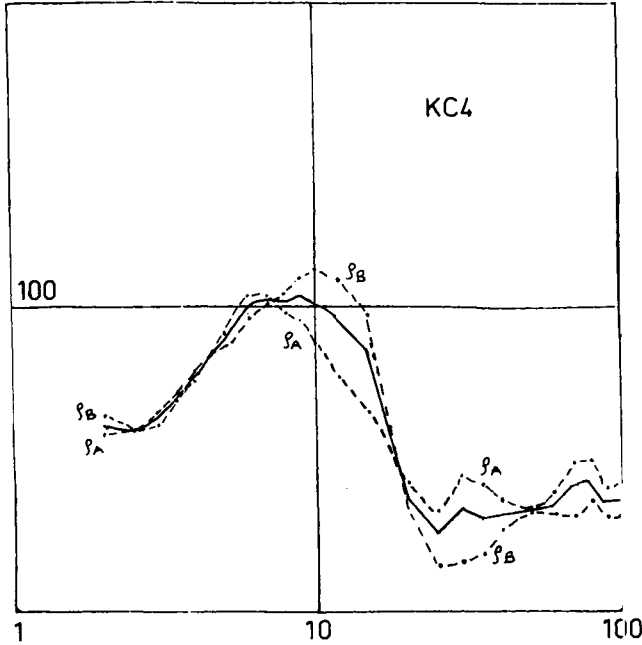
KC4 noktasında görünür özdirenç eğrileri 10 metre açılım uzaklığına kadar yaklaşık olarak birbirine eşittir (Şekil 9). Eğrilerin geri kalan bölümünde de değişimleri birbirlerine paraleldir. Bu noktada eğrilerin 1-B yapı karakteri gösterdikleri söylenebilir. Süreksizlik bölgesi batıda kaldığından, bu kez ρ_B eğrisi 20 metre açılım uzaklığında yanal süreksizliğin etkisini göstermektedir. Pegmatitin kalınlığı yaklaşık 3-3.5 metre olarak öngörülmüştür.

KC5 noktasında yarım-Schlumberger eğrileri yeniden farklılık göstermektedir (Şekil 10). ρ_B nin davranışı



Şekil 8. KC3 ölçü noktasında ölçülen Schlumberger (—) ve yarım-Schlumberger (---) sondaj eğrileri.

Fig. 8. Schlumberger (—) and two half-Schlumberger (---) sounding curves measured at station KC3.



Şekil 9. KC4 ölçü noktasında ölçülen Schlumberger (—) ve yarım-Schlumberger (---) sondaj eğrileri.

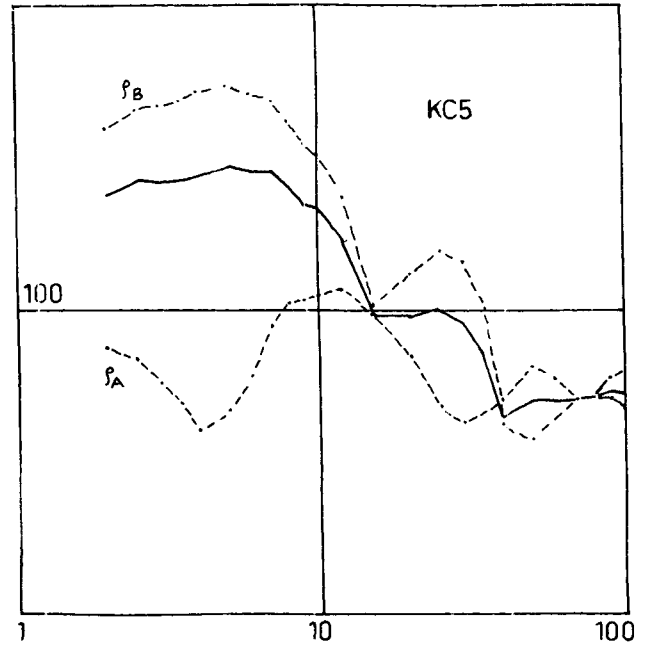
Fig. 9. Schlumberger (—) and two half-Schlumberger (---) sounding curves measured at station KC4.

bunun yüzeye yakın bir etki nedeniyle oluştuğunu düşündürmektedir. Daha büyük açılım uzaklıklarındaki görünür öz dirençler doğu (ρ_A) yönündeki akım elektrodunun şist.

üzlerine geçmesinden ve eski madencilik yarmalarından son derece etkilenecek birbirine uyumsuz davranışlar göstermiştir. Bu noktada pegmatitin kalınlığı ortalama 4.5 metre olarak hesaplanmıştır. Ortam 1-B yapı özelliği göstermediğinden bulunan kalınlık değeri fikir edinmekten öte bir anlam taşımamaktadır.

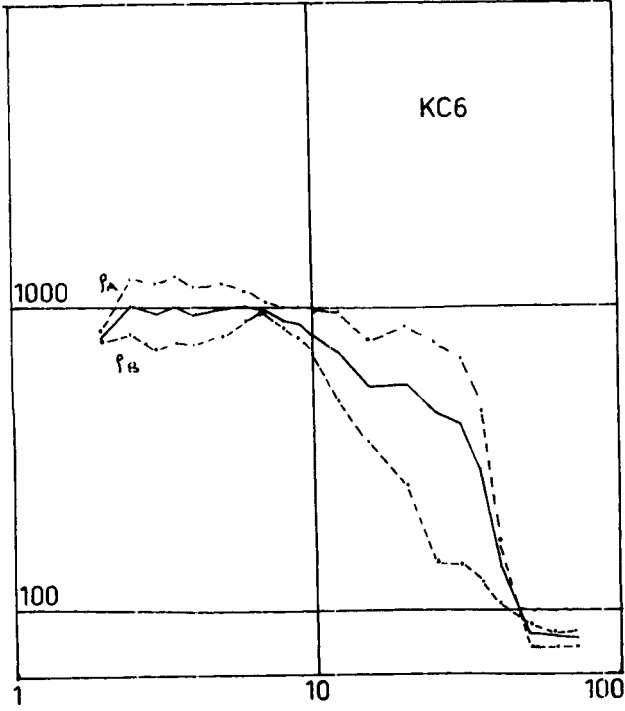
KC6, KC7 ve KC8 noktaları sahanın batısındadır. Burada topografyanın etkisinden kaçınmak için aynı doğrultu üzerinde ölçü alınmamış ve açılım için uygun noktalar seçilmesine özen gösterilmiştir. Açılım doğrultusu kuzey-güneydir. ρ_A kuzey ve ρ_B ise güney yönündeki akım elektrodu etkisiyle ölçülen görünür öz dirençlerdir (Şekil 11, 12 ve 13). Bu ölçü noktalarında yarım-Schlumberger görünür öz direnç eğrilerinin uyumlu davranışlarından ortamın yaklaşık olarak 1-B olduğu varsayılabilmektedir. İlk katman öz dirençleri diğer ölçülere göre yüksektir. Pegmatit kalınlıkları KC6 da 7.5 metre, KC7 de 11 metre ve KC8 de ise 13 metre olarak yorumlanmıştır. Bu kalınlık değerlerine göre ruhsat sahasının batı tarafı madencilik açısından önem kazanmaktadır.

KC1 den KC5 e kadar olan elektrik sondaj eğrileri aynı doğrultu boyunca ölçüldüklerinden, görünür öz direnç kesiti yapılabilir. Şekil 14 de, yatay eksen uzaklık ve düşey eksen görünür derinlik olmak üzere Schlumberger görünür öz dirençin değişimi çizilmiştir. Görünür derinliğin, kullanılan elektrod diziliminin tekdüze ortamdaki araştırma derinliğine eşit seçilmesi durumunda, görünür öz direnç kesiti jeolojik yapıya daha iyi benzerlik gösterir. Schlumberger diziliminin tekdüze ortamdaki araştırma derinliği $AB/4$ olarak hesaplanmıştır (Roy ve Apparao 1971). Tekdüze olmayan ortamlarda araştırma derinliği öz dirençlere bağlı olarak bu değerden büyük veya küçük



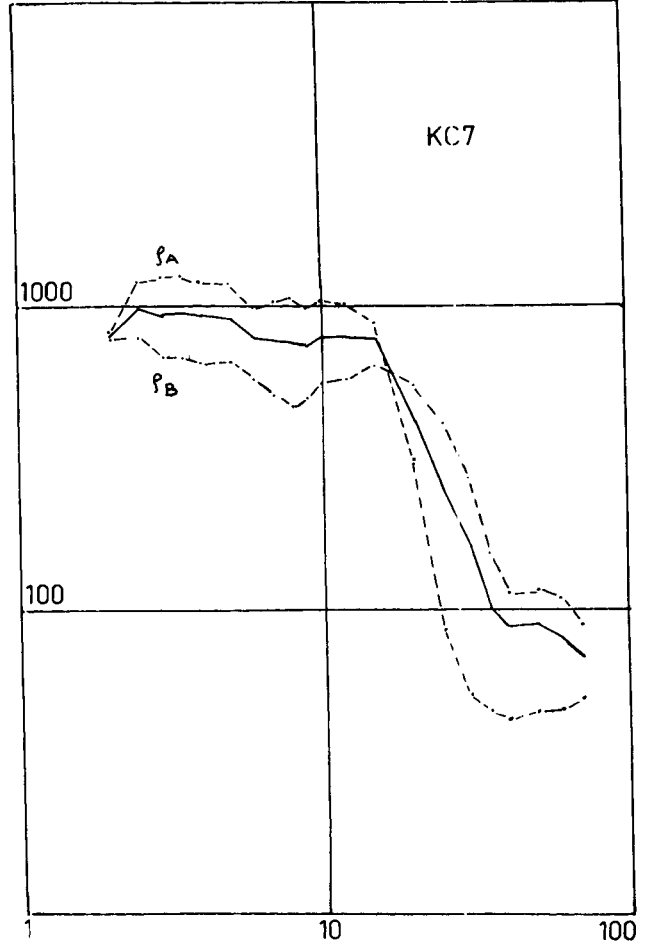
Şekil 10. KC5 ölçü noktasında ölçülen Schlumberger (—) ve yarım-Schlumberger (---) sondaj eğrileri.

Fig. 10. Schlumberger (—) and two half-Schlumberger (---) sounding curves measured at station KC5.



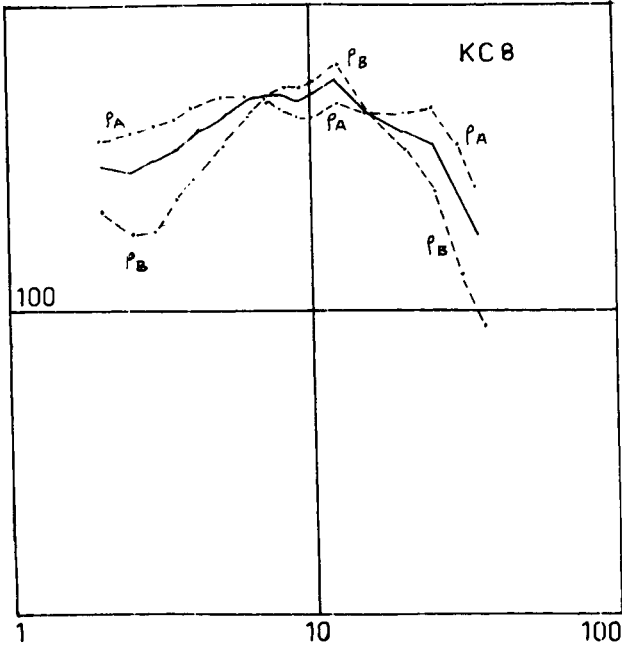
Şekil 11. KC6 ölçü noktasında ölçülen Schlumberger (—) ve yarım-Schlumberger (---) sondaj eğri-leri.

Fig. 11. Schlumberger (—) and two half-Schlumberger (---) sounding curves measured at station KC6.



Şekil 12. KC7 ölçü noktasında ölçülen Schlumberger (—) ve yarım-Schlumberger (---) sondaj eğri-leri.

Fig. 12. Schlumberger (—) and two half-Schlumberger (---) sounding curves measured at station KC7.

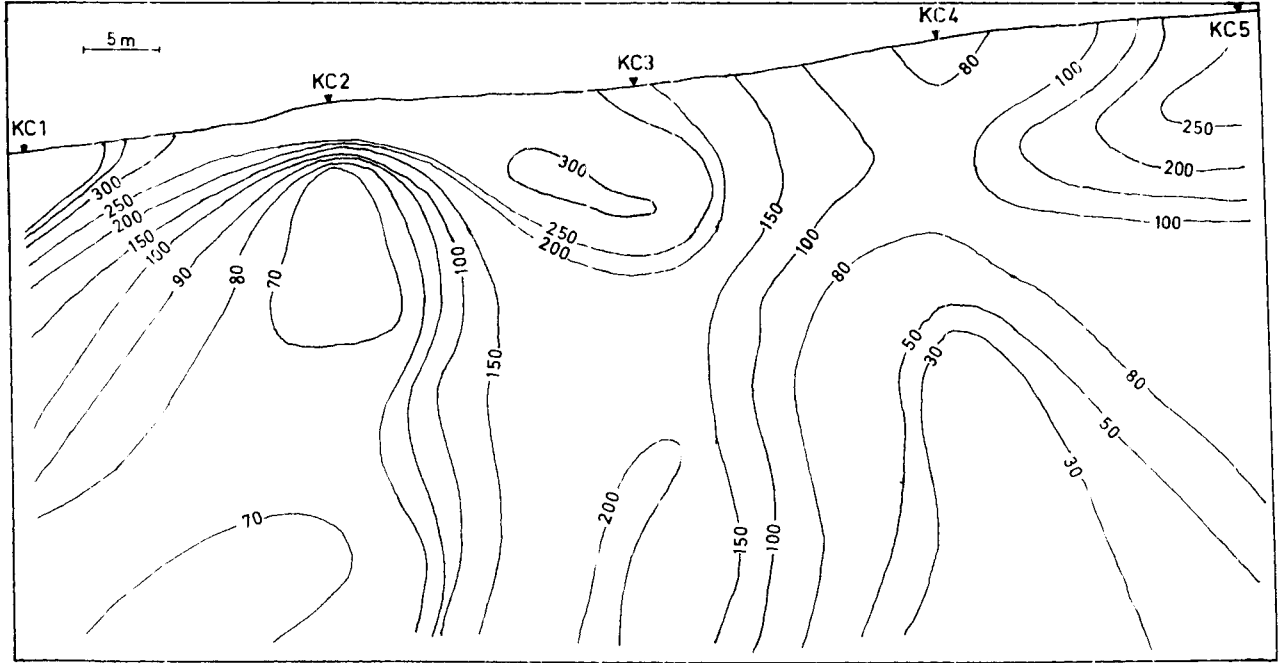


Şekil 13. KC8 ölçü noktasında ölçülen Schlumberger (—) ve yarım-Schlumberger (---) sondaj eğri-leri.

Fig. 13. Schlumberger (—) and two half-Schlumberger (---) sounding curves measured at station KC8.

olabilir. Şekil 14 de görüntür öz direnç konturlarının görünümü yorumumuzu desteklemektedir. KC1 den KC2 ye feldispat incelemekte, KC5 doğru yeniden kalınlaşmaktadır. KC3 noktasında konturların düşey olması bir öz direnç süreksizliğini vurgulamaktadır. Diğer bir olasılıkta, pegmatitin KC3 noktası yakınından damar şeklinde çıkarak, diğer noktalara doğru yayılmasıdır.

Sahada yarım-Schlumberger elektrod açılımının kullanımının ana nedeni, pegmatit sokulumunun son derece düzensiz olarak yerleştiğinin bilinmesi ve görüntür öz direnç eğrilerinde yanal süreksizliklerin etkilerinin tanınmasının amaçlanmasıdır. Eğrilerin davranışlarına bakıldığında, KC3 ve KC5 ölçülerinden elde edilen kalınlık değerlerine güvenilemeyeceği ortaya çıkar. Diğer ölçü noktalarının hem 1-B yapıya daha uygun davranış göstermelerinin anlaşılması, hem de kalınlık değerlerinin birden fazla görüntür öz direnç eğrisi kullanılarak hesaplanması doğruya daha yakın değerlerin bulunmasına olanak sağlamıştır. Elde edilen kalınlık değerleri sonucunda rezervin kırma ve eleme tesisi gibi yatırımların yapılmasına uygun olmadığına ve feldispatın işlenmeden satılmasına karar verilmiştir.



Şekil 14. Görünür öz direnç yapay kesiti.

Fig. 14. Apparent resistivity pseudo-section.

SONUÇLAR

Düsey elektrik sondajı yönteminin ana sorunları küçük boyutlu yanal öz direnç bozukluklarının (heterogeneity) ve topoğrafyanan yarattığı gürültüler, statik kayma adını verdiğimiz ilk katmanın öz direncinin yanal olarak değişmesi nedeniyle oluşan eğrilerdeki kopmalardır. En önemli sorun ise eğrilerdeki yükselen veya alçalan kanatların yeraltındaki bir katman veya fay benzeri yanal süreksizlikten hangisi nedeniyle oluştuğu sorusudur. Düsey elektrik sondajı yönteminde, ölçü noktasından derine doğru öz direnç değişimini incelediğimizi varsaydığımızdan, yanal yöndeki yüzeyel öz direnç değişimlerinin etkisi tanınmaya ve giderilmeye çalışılmalıdır. Bu sorunları çift yönlü yarım-Schlumberger elektrod açılımı ile bir dereceye kadar çözümlenebiliriz. Şimdilik elimizdeki en iyi ayırım aracı bu yöntemdir. Ayrıca eğimli katmanlarda ρ_A ve ρ_B görünür öz dirençlerin birbirlerine göre davranışlarını gözleyerek, eğim yönünü kestirmek olasıdır. Örneğin, KC1 ve KC2 ölçülerinde ρ_A nın, ρ_B nin altında olması üstte bulunan yüksek öz dirençli katmanın ρ_A yönünde incelendiğinin kanıtı sayılabilir. Ancak, bugüne kadar eğimli katmanlarda yarım-Schlumberger açılımının davranışı kuramsal olarak incelenmediğinden, yorumumuz tartışmaya açıktır.

Sığ elektrod açılımlarında (100-500 metre) yöntemir kullanılması oldukça kolaydır. Hatta, işçilerin iyi organize edilmesiyle, örneğin bir yandaki akım elektrodu kullanılarak ölçü alınırken, diğer yandakini bir sonraki açılım noktasına kaydırmak suretiyle Schlumberger yönteminden daha hızlı ölçü alınabilir. Ancak, derin açılımlarda, sonsuzda olduğu varsayılan C elektrodu sorun yaratabilir. Örneğin AB/2 yi 6 km açmak için C elektrodunu en az 30 km uzağa yerleştirmek gerekir ve yöntem pratik olmaktan çıkar. Derin açılımlar için çift yönlü dipol yöntemini önerebiliriz. Ancak bu yöntemin de kullanılması

için, her türlü jeolojik yapı üzerinde alınmış dipol ölçülerini, yarım-Schlumberger görünür öz direnç çeviren bağıntıların kuramsal olarak incelenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Burada verilen arazi çalışması yöntemin kullanılmasına bir örnek olup, YSES yönteminin özelliklerini ve olası uygulamalarını göstermek savında değildir.

KATKI BELİRTME

Ölçmüş olduğu verileri kullanmamıza izin veren Erke Mühendislik Anonim Şirketine yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Roy, A. and Apparao, A. 1971, Depth of investigation in direct current methods, *Geophysics* 36, 943-959
- Başokur, A.T. 1984, A numerical direct interpretation method of resistivity soundings using the Pekeris model, *Geophysical Prospecting* 32, 1131-1146.
- Başokur, A.T. 1985, En küçük kareler yöntemi ile doğru akım verilerinde dönüşüm işlemleri, *Jeofizik* 25 inci yıl özel sayısı, 126-131.
- Cheng, Yu Wen 1980, Location of near surface faults in geothermal prospect by the "combined head-on resistivity profiling method", *Proceedings of the New Zealand geothermal workshop*, (çeviri Şener, Ç. 1982, Jeotermal araştırmalarda üç elektrodlu çift yön ölçümlü rezistivite profil yöntemi ile yüzeye yakın fayların bulunması, *Jeofizik* 9, 93-101).
- Karous, M. and Pemu, T.K. 1985, Combined sounding-profiling resistivity measurements with the three-electrode arrays, *Geophysical Prospecting* 33, 447-459.
- Mundry, E. 1984, Geoelectrical model calculations for two-dimensional resistivity distributions, *Geophysical Prospecting* 32, 124-131.
- Schulz, R. and Tezkan, B. 1988, Interpretation of resistivity measurements over 2-D structures, *Geophysical Prospecting* 36, 962-975.