

MADEN ARAMALARINDA BİR DEN FAZLA JEOFİZİK YÖNTEMİN BİRLİKTE TERS ÇÖZÜMÜ

Joint Inversion of Geophysical Methods for Mine Surveys

Mehmet Onur MATARACIOĞLU¹ ve Metin AŞCI²

ÖZET

Modelleme işlemi bir anlamda jeolojik yapıyı temsil eden fiziksel ya da geometrik parametrelerin saptanması işlemidir. Jeofizik veriler, matematiksel bağıntılarla tanımlanabilen modellerin neden olduğu kuramsal değerlerle karşılaştırılarak, deneme-yanılma yoluyla jeofizik verileri en iyi temsil eden model yapılar bulunmaya çalışılmıştır.

Çalışmada kullanılan modeller öncelikle kuramsal model üzerinde sınıdiktan sonra, “McPhar Geophysics Ltd.” firmasının 1967 yılında Kanada’nın Ontario eyaletindeki Cavendish Kasabası’nda aldığı manyetik, öz direnç ve doğal uçlaşma anomalilerine uygulanmış ve sülfürlü metalik cevher zonuunun yeraltındaki derinliği ile yatayda bulunduğu konum birlikte çözülerek belirlenmiştir. Yapılan çözümden görülmüştür ki; modelleri ayrı ayrı çözmek yerine birlikte çözmek sonucun gerçeğe daha yakın olduğunu göstermiştir.

ABSTRACT

Modeling process means determining of physical and geometrical parameters which are representing geological structure. Model structures were tried to find by comparing theoretical values and geophysical data each other.

Firstly, models which are used in this survey were tested with the theoretical models. Then, these models were applied to magnetic, resistivity and self potential anomalies which are measured by “McPhar Geophysics Ltd.” in 1967 from Cavendish small town which is in Ontario – Canada. In this way, the horizontal and vertical position of the sulfuric metallic ore zone was found by solving together. As a result; the solving the models together is more realistic and reliable that solving one by one.

GİRİŞ

Jeofizik problemlerin çözümünde genel amaç, jeofizik anomaliye neden olan yer altı yapısının belirlenmesidir. Bu nedenle, yeraltındaki jeolojik yapının bulunması için, çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Ele alınan jeolojik bir modelin, uygulanan jeofizik yönteme vereceği tepkinin hesaplanmasına, “düz çözüm” denir. Bu çözümü yapabilmek için, jeolojik modeli tanımlayacak matematiksel bir model seçilir. Matematiksel modeli tanımlayan parametrelerle, modele ait jeofizik anomali sayısal olarak hesaplanabilir.

Ters çözümlemede, model fonksiyonunun ve başlangıç modelinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Rastgele model seçimi ya da modelin başlangıç değerlerinin uygunsuz seçilmiş olması, model parametrelerinin anlamsız değerler almasına veya gerçekten çok uzak bulunmasına neden olabilir. Jeofizik modellemede ters çözüm yönteminin temelini oluşturacak kuramlar Backus ve Gilbert(1967–1968), Jackson(1972) ve Wiggins(1972) tarafından ayrıntılı olarak verilmiştir.

¹ Jeofizik Mühendisi. E-posta: onurmataracioglu@yahoo.com

² Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Umuttepe Kampüsü 41300, İzmit/ Kocaeli. E-Posta: masci@kocaeli.edu.tr

Çoğu zaman, yalnızca bir yöntemle ait veri grubunu kullanarak ters çözümleme yapmak, problemin doğrusal olmamasından dolayı oldukça güçtür. Bu nedenle; farklı yöntemlere ait veri gruplarının kombinasyonu, aynı problemin çözümüne yönelik olarak kullanılabilir. Böyle bir yaklaşım, farklı yöntemlerin ortak kullandıkları yer altı modeline ait parametrelerin daha iyi çözülmesini sağlayabilir. Bu işlem “birleşik ters çözüm (Joint inversion)” tekniği olarak adlandırılır ve jeofizikte geniş kullanım alanına sahiptir. Dobroka ve diğ. (1991) sismik ve elektrik öz direnç verilerinin birleşik ters çözümü ile tabakaların fiziksel ve geometrik özelliklerini belirlemişlerdir. Afnimar ve diğ. (2002) sismik kırılma ve gravite verilerini birleştirerek ana kaya – sediman ara yüzeyinin topografyasını, İmamoğlu ve Aşçı (2005) gravite ve manyetik verileriyle bindirme zonundaki ters faylanmayı, Yas ve Aşçı (2006) gravite ve manyetik verilerini kullanarak, bir demir madenin gerçek şeklini prizmatik kütleleri kullanarak ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada; manyetik ve doğal uçuşma verileri için, alt ucu sonsuza giden ince levha ve fay zonu modelleri ve öz direnç verileri için kontak zonu modeli kullanılarak, önce ayrı ayrı her bir modeli kendi ortamında sönümlü en küçük kareler ters çözüm yöntemiyle çözülmüş, sonra da birleşik modellemesi yapılmıştır.

TEORİ

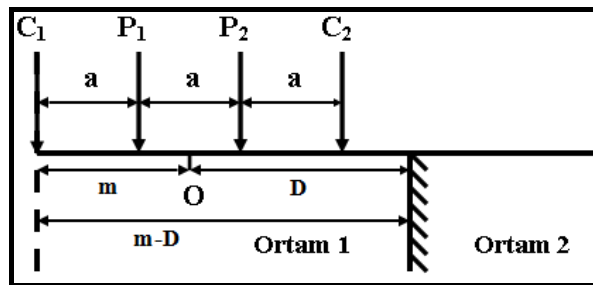
İnce levha modeli için manyetik yöntem potansiyel bağıntısı;

$$\Delta T = \frac{P \cdot [(x - D) \cdot \sin(Q) + H \cdot \cos(Q)]}{[(x - D)^2 + H^2]} + M \cdot x + C \quad (1)$$

Raju (2003) tarafından verilmiştir. Bu potansiyel bağıntısının, P (genlik), Q (eğim açısı), M (rejyonel eğim), C (rejyonel sabit), H (üst yüzey derinliği) ve D (merkez nokta uzaklığı) parametrelerine göre kısmi türevleri alınmıştır.

Öz direnç çalışmalarında elektrot açılım sistemi olarak “Kaydırma Wenner” sistemi tercih edilmiştir. Bu çalışmada hem elektrot açıklığı (a) hem de kayma miktarı (dx) 5m. alınmıştır.

Kaydırma Wenner bağıntısının parametreleri iki farklı ortam için ρ_1, ρ_2, D dir. Bu bağıntı (1) denkleminde verilmiştir (Telford, 1976).



Şekil 1. Fay modeli
Figure 1. Fault model

$$\rho_a = \rho_1 \left[1 + 4\beta \left(\frac{(m-D)}{a} \right) \left(\frac{1}{\frac{4(m-D)^2}{a^2} - 4} - \frac{1}{\frac{4(m-D)^2}{a^2} - 1} \right) \right] \quad (2)$$

İnce levha modeli için doğal uçuşma yöntemi potansiyel bağıntısı (Roy ve Chowdhury,1959);

$$\Delta V = k.[\log[(x - D + al.\cos(\alpha))^2 + (H - al.\sin(\alpha))^2] - \log[(x - D - al.\cos(\alpha))^2 + (H + al.\sin(\alpha))^2]] + mm.x + cm \quad (3)$$

şeklindedir. Bu potansiyel bağıntısının, H (üst yüzey derinlik), D (merkez nokta uzaklığı), k (genlik katsayısı), α (eğim açısı), mm (rejyonel eğim) ve cm (rejyonel sabit) parametrelerine göre kısmi türevleri alınmıştır. Yukarıdaki bağıntıların her parametreye göre kısmi türevleri alınarak türev matrisleri oluşturulmuş ve Marquardt (1963) tekniği uygulanmıştır. Bu teknik;

$$\Delta p = (A^T A + \lambda I)^{-1} A^T \Delta g \quad (4)$$

şeklindedir.

Burada;

Δp : Parametrelerin düzeltme vektörü

Δg : Gözlenen ve hesaplanan anomali farkı

A: Türev matrisi

λ : Marquardt katsayısı

Birleşik ters çözüm tekniğinde, birbiriyle tutarlı farklı tipteki jeofizik çalışmalardan elde edilen verilerin kombinasyonu ile jeolojik yapının bilinmeyen parametreleri çözümlenmektedir. Birleşik ters çözüm tekniğinin yapısal yaklaşımıyla ilgili daha kapsamlı bilgiler Haber ve Oldenburg (1997)'den elde edilebilir.

$$\Delta g_i = A_{ij} \Delta p_j \quad (5)$$

denklem sistemi, bir yer altı modelinin manyetik durumu için

$$[T_i^{göz} - T_i^{hes}] = \left[\frac{\partial T_i}{\partial p_j} \right] [p_j^k - p_j^{k-1}] \quad (6)$$

veya açık bir şekilde

$$\begin{bmatrix} T_1^{göz} - T_1^{hes} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ T_N^{göz} - T_N^{hes} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T_1}{\partial A_T} & \frac{\partial T_1}{\partial B_T} & \frac{\partial T_1}{\partial P_T} & \cdot & \cdot & \frac{\partial T_1}{\partial M_T} & \frac{\partial T_1}{\partial C_T} & \cdot & \cdot & \frac{\partial T_1}{\partial D_T} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial T_N}{\partial A_T} & \frac{\partial T_N}{\partial B_T} & \frac{\partial T_N}{\partial P_T} & \cdot & \cdot & \frac{\partial T_N}{\partial M_T} & \frac{\partial T_N}{\partial C_T} & \cdot & \cdot & \frac{\partial T_N}{\partial D_T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_T^k - A_T^{k-1} \\ B_T^k - B_T^{k-1} \\ P_T^k - P_T^{k-1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ M_T^k - M_T^{k-1} \\ C_T^k - C_T^{k-1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ D_T^k - D_T^{k-1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada N manyetik verilerin gözlem noktası sayısı, k yineleme sayısı, 'göz' ve 'hes' üst indisleri sırasıyla gözlemsel ve kuramsal verileri göstermektedir.

Aynı modelin öz direnç durumu için ise (5) denklemi;

$$\left[R_i^{göz} - R_i^{hes} \right] = \left[\frac{\partial R_i}{\partial p_j} \right] \left[p_j^k - p_j^{k-1} \right] \quad (8)$$

veya açık bir şekilde

$$\begin{bmatrix} R_1^{göz} - R_1^{hes} \\ \vdots \\ R_N^{göz} - R_N^{hes} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial R_1}{\partial A_R} & \frac{\partial R_1}{\partial B_R} & \frac{\partial R_1}{\partial C_R} & \dots & \frac{\partial R_1}{\partial \rho_{1R}} & \frac{\partial R_1}{\partial \rho_{2R}} & \dots & \frac{\partial R_1}{\partial D_R} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial R_M}{\partial A_R} & \frac{\partial R_M}{\partial B_R} & \frac{\partial R_M}{\partial C_R} & \dots & \frac{\partial R_M}{\partial \rho_{1R}} & \frac{\partial R_M}{\partial \rho_{2R}} & \dots & \frac{\partial R_M}{\partial D_R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_R^k - A_R^{k-1} \\ B_R^k - B_R^{k-1} \\ C_R^k - C_R^{k-1} \\ \vdots \\ \vdots \\ \rho_{1R}^k - \rho_{1R}^{k-1} \\ \rho_{2R}^k - \rho_{2R}^{k-1} \\ \vdots \\ \vdots \\ D_R^k - D_R^{k-1} \end{bmatrix} \quad (9)$$

şeklinde yazılır. Burada M öz direnç verilerinin gözlem noktası sayısıdır. Son olarak aynı modelin doğal uçuşma durumu için ise (5) denklemi;

$$\left[V_i^{göz} - V_i^{hes} \right] = \left[\frac{\partial V_i}{\partial p_j} \right] \left[p_j^k - p_j^{k-1} \right] \quad (10)$$

veya açık bir şekilde;

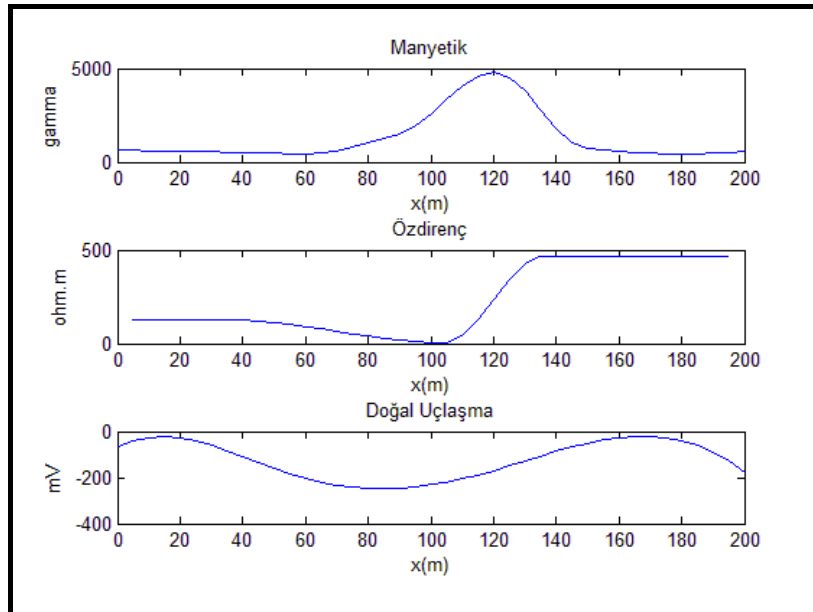
$$\begin{bmatrix} V_1^{göz} - V_1^{hes} \\ \vdots \\ V_N^{göz} - V_N^{hes} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial V_1}{\partial A_V} & \frac{\partial V_1}{\partial B_V} & \frac{\partial V_1}{\partial \alpha_V} & \dots & \frac{\partial V_1}{\partial mn_V} & \frac{\partial V_1}{\partial cm_V} & \dots & \frac{\partial V_1}{\partial D_V} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial V_P}{\partial A_V} & \frac{\partial V_P}{\partial B_V} & \frac{\partial V_P}{\partial \alpha_V} & \dots & \frac{\partial V_P}{\partial mn_V} & \frac{\partial V_P}{\partial cm_V} & \dots & \frac{\partial V_P}{\partial D_V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_V^k - A_V^{k-1} \\ B_V^k - B_V^{k-1} \\ \alpha_V^k - \alpha_V^{k-1} \\ \vdots \\ \vdots \\ mn_V^k - cm_V^{k-1} \\ mn_V^k - cm_V^{k-1} \\ \vdots \\ \vdots \\ D_V^k - D_V^{k-1} \end{bmatrix} \quad (11)$$

şeklinde yazılır. Burada P doğal uçuşma verilerin gözlem noktası sayısıdır.

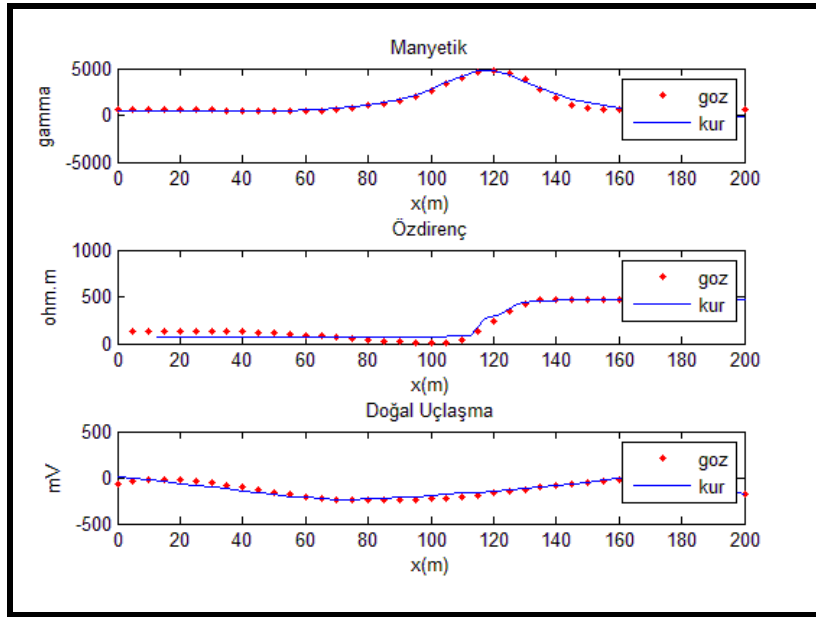
Birleşik ters çözüm tekniğinde bu üç işlemin kombinasyonu ile işlem yapılmaktadır. (5) denklemi her üç yöntemin kombinasyonu olarak;

$$\begin{bmatrix} T_1^{göz} - T_1^{göz} \\ \cdot \\ \cdot \\ T_N^{göz} - T_N^{göz} \\ R_1^{göz} - R_1^{göz} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_M^{göz} - R_M^{göz} \\ V_1^{göz} - V_1^{göz} \\ \cdot \\ \cdot \\ V_P^{göz} - V_P^{göz} \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T_1}{\partial P_T} & \frac{\partial T_1}{\partial Q_T} & \frac{\partial T_1}{\partial M_T} & \frac{\partial T_1}{\partial C_T} & \frac{\partial T_1}{\partial H_T} & \frac{\partial T_1}{\partial D_T} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\partial T_N}{\partial P_T} & \frac{\partial T_N}{\partial Q_T} & \frac{\partial T_N}{\partial M_T} & \frac{\partial T_N}{\partial C_T} & \frac{\partial T_N}{\partial H_T} & \frac{\partial T_N}{\partial D_T} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial R_1}{\partial D_R} & \frac{\partial R_1}{\partial \rho_{1R}} & \frac{\partial R_1}{\partial \rho_{2R}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial R_M}{\partial D_R} & \frac{\partial R_M}{\partial \rho_{1R}} & \frac{\partial R_M}{\partial \rho_{2R}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial V_1}{\partial H_V} & \frac{\partial V_1}{\partial D_V} & 0 & 0 & \frac{\partial V_1}{\partial k_V} & \frac{\partial V_1}{\partial \alpha_V} & \frac{\partial V_1}{\partial mm_V} & \frac{\partial V_1}{\partial cm_V} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial V_P}{\partial H_V} & \frac{\partial V_P}{\partial D_V} & 0 & 0 & \frac{\partial V_P}{\partial k_V} & \frac{\partial V_P}{\partial \alpha_V} & \frac{\partial V_P}{\partial mm_V} & \frac{\partial V_P}{\partial cm_V} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q \\ M \\ C \\ H \\ D \\ \rho_1 \\ \rho_2 \\ k \\ \alpha \\ mm \\ cm \end{bmatrix} \quad (12)$$

şeklinde yazılabilir. (12) denkleminde görüldüğü gibi yer altı yapısının üst derinlik parametresi olan “H” manyetik ve doğal uçlaşma yöntemleriyle çözülürken, merkez nokta uzaklığı parametresi olan “D” üç yöntemde de ortak parametre olarak çözülecektir. Çalışmada kullanılan arazi verileri Şekil 2’de, birleşik ters çözüm sonuç grafikleri Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 2. Arazi verileri
Figure 2. Field data



Şekil 3. Birleşik Ters çözüm sonucu
Figure 3. Result of joint inversion

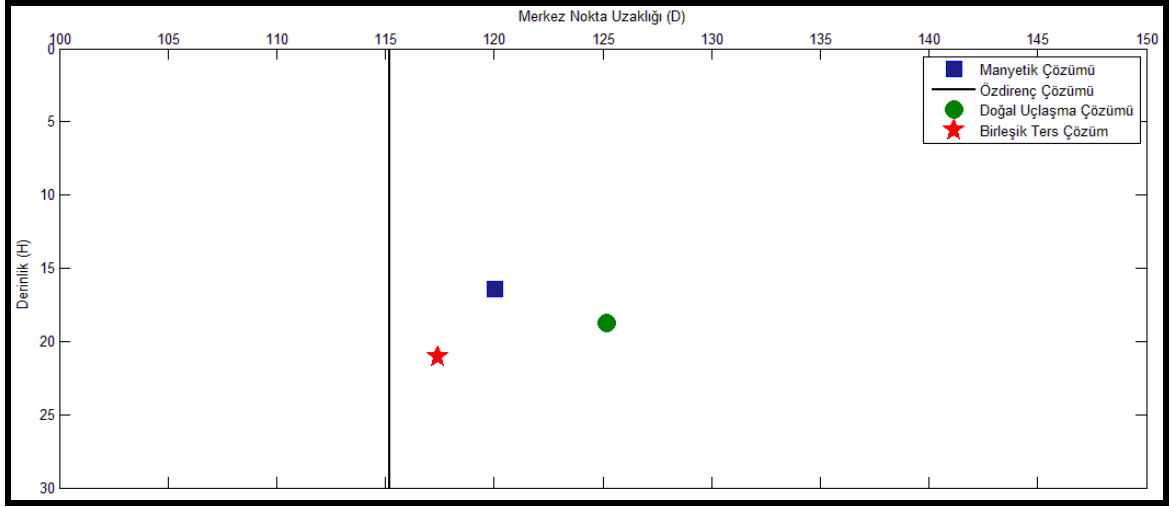
JEOLOJİ

İnceleme alanı, Amerika'nın Ontario eyaletinde, Gooderham'ın güneyindeki Cavendish Kasabası'ndadır ve yaklaşık olarak Toronto'nun 100 mil kuzeydoğusundadır. Jeoloji "Ontario Department of Mines, Map No. 1957b."den alınmıştır. Bu haritaya göre; çalışma alanının temelini Prekambriyen yaşlı kristalize kireçtaşlarını içeren sedimanlar oluşturmaktadır. Jeolojik eğim K – KD ve dalım açısı 60 – 65 derece güneydoğu yönündedir.

Bütün bu bilgilere rağmen çalışma alanı sondajlarla incelenemediğinden detaylı bir bilgi mevcut değildir. Fakat St. Croix Creek yakınlarında sığ tek bir sondaj yapılmıştır ve bu sondaj yaklaşık 15m. derinliklerde yüksek sülfid mineralizasyonu içeren bir zon kesmiştir.

Çalışmada kullanılan tüm jeofizik metotlar, çalışma alanının batı bölgesinde K – KD eğiliminde 2 anomali vermiştir ve datalar detaylı bir şekilde incelendiğinde anlaşılmıştır ki; bu yapılar büyük olasılıkla geniş kaynaklardan ya da birbirine çok yakın aralıklı şerit serilerinden oluşmuş yapılardır.

Şekil 4'te görüldüğü gibi, düşey çizgi ile gösterilmiş fayın konumuna manyetik ve doğal uçlaşma çözümleri yaklaşmazken, birleşik ters çözüm daha iyi yaklaşmıştır. Bu da göstermektedir ki; aynı verileri kullanılmasına rağmen çözüm, birleşik ters çözümde daha gerçeğe yakın olmaktadır.



Şekil 4. Tüm çözümlerden elde edilen derinlik ve lokasyonlar
Figure 4. Depths and positions of all the solutions

Çizelge 1. Arazi çalışması toplu sonuçları
Table 1. All results of the modeling

Manyetik													
Parametreler	P	Q	M	C	H	D							RMS
Başlangıç Verisi	100000	90	0	0	30	100							
Hesaplanan Veri	74871	83,51	-0,38	234,45	16,43	120,05							8,1210
Özdirenç													
Parametreler						D	ρ_1	ρ_2					RMS
Başlangıç Verisi						100	30	500					
Hesaplanan Veri						115,20	68,90	462,31					3,4245
Doğal Uçlaşma													
Parametreler					H	D			k	α	mm	cm	RMS
Başlangıç Verisi					30	100			5	90	0,0001	0,0001	
Hesaplanan Veri					18,73	125,19			66,52	86,13	-1,92	86,71	6,4560
Birleşik Ters Çözüm													
Parametreler	P	Q	M	C	H	D	ρ_1	ρ_2	k	α	mm	cm	RMS
Başlangıç Verisi	100000	90	0	0	30	100	70	600	10	90	0,0001	0,0001	
Hesaplanan Veri	98824	89,39	-3,72	302,71	21,09	117,43	70,14	458,10	74,83	88,79	-2,57	135,35	4,4433

Çizelge 2. Tüm çözümlerden elde edilen derinlik ve lokasyon değerleri
Table 2. Depth and position values of all solutions

	Derinlik (H) (m)	Merkez Nokta Uzaklığı (D) (m)
Manyetik Çözümü	16,43	120,05
Özdirenç Çözümü	—	115,20
Doğal Uçlaşma Çözümü	18,73	125,19
Birleşik Ters Çözüm	21,09	117,43

SONUÇLAR,

Modelleme çalışmalarında yapılan yaklaşımların, model parametrelerinin çokluğundan dolayı çok çözümlülük sorununu da yanında tutmaktadır. Bu nedenle modelleme işlemi sırasında parametrelerden bir ya da bir kaç arazi ölçümü veya deneysel sonuçlardan elde edilebilirse, yer altındaki model kaynağı daha iyi belirlenebilecektir.

Bu incelemenin olmadığı durumlarda eğer aynı model kaynağına ait birden fazla veri grubu varsa, ortak parametreleri olabilen veya bazı parametreleri ortak hale getirilebilen bu veriler birlikte çözülebilir. Veri gruplarını birlikte çözmek ayrı ayrı yapılan çözümlere göre gerçek model parametrelerine daha yakın sonuç verecektir.

KAYNAKLAR

AFNIMAR, KOKETSU, K., NAKAGAWA, K., 2002. Joint inversion of refraction and gravity data for the three-dimensional topography of a sediment-basement interface, *Geophys. J. Int.*, 151, 243-254.

BACKUS, G. E. ABD GILBERT, J.F., 1967. Numerical application of formalism for geophysical inverse problems, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 13,24-279.

BACKUS, G. E. ABD GILBERT, J.F., 1968. The resolving power of gross earth data, *Journal of the royal Astronomical Society*, 16,169-205.

DOBROKA, M., GYULAI, Á., ORMOS, T., CSOKAS, J., DRESEN, L., 1991. Joint Inversion of Seismic and Geoelectric Data Recorded in an Underground Coal Mine, *Geophysical Prospecting*, 39, pp: 643 – 665.

HABER, E., OLDENBURG, D., 1997. Joint inversion: a structural approach, *Inverse Problems*, 13, 63–77.

İMAMOĞLU Ç., AŞÇI M., 2005. Ankara-Polatlı Bölgesine ait Gravite ve Manyetik Verilerinin 2 Boyutlu Prizmatik Kütlelerle Birleşik Ters Çözümü ile Temel Kaya Topografyası Modellemesi, *Kocaeli 2005 Deprem Sempozyumu Tam Metin Kitabı*, Sayfa: 182-192, Kocaeli.

JACKSON,D.D., 1972. Interpretation of an accurate, insufficient and inconsistent data, *Geophys.J.R.Astr.Soc.*, 28,97-109.

MARQUARDT,D.W., 1963. An algorithm for least squares estimation of non linear parameters, *Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics*, 11,431-441.

MCPHAR GEOPHYSICS LTD., 1967. A Geophysical Case History with the compliments of McPhar.

ONTARIO DEPARTMENT OF MINES, Map No:1957b

RAJU, D.V., CH., 2003. LIMAT: a computer program for least-squares inversion of magnetic anomalies over long tabular bodies, *Computers & Geosciences*, 29, 1, 91-98.

ROY, A., and CHOWDHURY, D. K., 1959. Interpretation f self-potential data for tabular bodies, *J. Sci. Res.* 3, 35-54.

TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R.E., and KEYS, D.A., 1976. Applied Geophysics, Cambridge University Press, New York and Melbourne, First Edition, 118.

WIGGINS,R.A, 1972. The general linear inverse problem: Implication of surface waves and free oscillations for earth structure, Rev. Geophysics and Space Physics, 10, 251, 285.

YAS T., AŞÇI M., 2006. Aydın-Çavdar Demir Cevherine ait Gravite ve Manyetik Anomalilerin Birleşik Ters Çözümü, Türkiye 17. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Ankara.