

SÜLFÜRLÜ METALİK MADEN SAHALARININ SP ÇÖZÜMLERİNİN İNCELENMESİ

Examination of SP Solutions of Sulfurous Metallic Mining Fields

Metin AŞÇI¹, Özgün Kamil ŞAHİN¹ ve Cengiz KURTULUŞ¹

ÖZET

Bu çalışmada, sülfürlü maden sahalarında SP yöntemiyle arama yapılırken ölçü alma ve haritalama aşamalarında dikkat edilmesi gereken noktaların yanında elde edilmiş SP haritalarına değerlendirme sırasında nasıl yaklaşılması gerektiğine dair bir örnek yapılmıştır. Bu amaçla değişik SP modellerinin verdiği sonuçlar incelenerek gerçek yer modeline nasıl gidilmesi gerektiğine dair bir yol ortaya konulmuştur. Yapılan çözümlerden, bir maden sahasında elde edilmiş iki boyutlu SP haritasına bakılarak gerçekleştirilecek çözümlerin her zaman gerçek ortamı yansıtmayacağı anlaşılmıştır. Sülfürlü metalik maden sahalarına genel bir bakışın nasıl yapılabileceğine dair bir öngörü bakır sahası için yapılmıştır. Başlangıçta dört adet SP anomalisi üreten kütle var zannedilirken aslında yedi adet kütle oluşturduğu bir SP haritasına bakıldığı anlaşılmıştır. Çalışmanın sonunda olası yer yapısının nasıl olduğuna dair bir model çizilmiştir.

ABSTRACT

In this study, an example was given about the approach to SP maps while interpretation besides the attention needed in mapping and measuring steps while SP surveying in the sulfurous mining areas. For this aim, a way was determined about how to arrive a real earth model examining the results of different SP models. The solutions indicated that examination of 2D SP map obtained in the mining area do not reflect the real earth model every time. A prediction related to sulfurous metallic mining area has been done. Although four sources were thought to produce SP in the beginning, later it was understood that seven sources producing SP anomalies located in a map. A plan was drawn at the end of the study showing about how the real earth structure was.

GİRİŞ

Gerek IP (Induced Polarization) ve gerekse SP (Self Potential) yöntemlerinin esas kaynaklarını oluşturan sülfürlü mineraller yer içinde genellikle karmaşık durumda bulunur. Bu tür maden yataklarında, oluşum koşullarına göre bileşiklerin çeşitli ve değişik kristal yapısı karşımıza çıkar. SP, doğrusal yayılan bir potansiyel türü olduğundan yüzeye ulaşan potansiyelin sülfürlü cevherin tam kütlelerinin potansiyeli mi, yoksa cevher zonu potansiyeli mi ya da bunlarla beraber cevher zonu alterasyon zonu etkisinin potansiyeli mi olduğu elde edilen sonuçlardan anlaşılamaz. Cevher tenörlerinin farklı jeolojik koşullardaki davranışları da SP yöntemi açısından anlaşılmış değildir. Başlıca olabilecek bu sorunlardan başka cevher zonu oluşum tiplerinin de sayılan sorunlara eklenmesi durumu daha karmaşık hale sokar.

Masif olmayan maden yataklarında mineralizasyonun değişimi homojen değildir. Bu durum yöne bağlı olduğundan komşu kayaçların sınırları önem kazanmaktadır. Bu tür cevherleşmelerin fay

¹ Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Umuttepe Kampüsü 41300, İzmit/ Kocaeli

zonlarında oluşabileceği düşünülürse karşılaşıcağımız SP anomalisini oluşturan geometri için birkaç öneri verilebilir.

Cevherleşmenin meydana geldiği kayaç boşlukları başlıca iki grup halinde incelenebilir. Bunlardan birincisi filon tipi boşluklarda oluşan cevherleşmelerdir. Bu grubun içine, fay zonlarının içindeki cevherleşmeler, antiklinal ve senklinallerin kıvrımları arasındaki cevherleşmeler ve makaslanma zonlarında oluşan kırıkların içindeki cevherleşmeler eklenebilir.

İkinci grup oluşan cevherleşmeler içine ise, gözenekli kayaçların bünyelerinde oluşan cevherleşmeler, antiklinallerin ve senklinallerin tavan ve tabanlarında gerilme çatlakları içinde oluşan cevherleşmeler, tortul kayaçların tabaka düzlemleri ve volkanik kayaçlardaki gaz boşluklarında oluşan cevherleşmeler olarak sayılabilir.

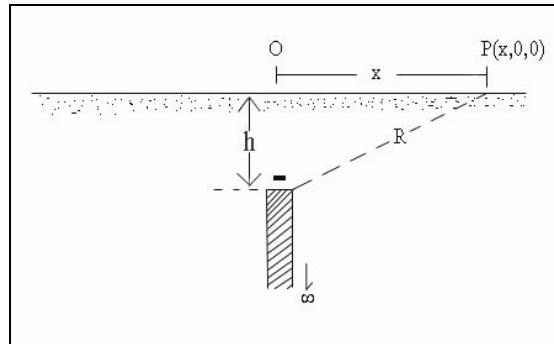
Jeofizikte arazi verilerinin yorumlanması sırasında uygulanan matematiksel yaklaşımlar potansiyel kaynaklı gravite-manyetik gibi yöntemlerde başarılı olurken, aynı durumun SP yönteminde de olması oldukça zordur. Cevher yatağının büyüklüğüne bağlı olabilecek bozuşma zonunun varlığı, SP etkisinin oluşmasına neden olan yeraltı suyunun oluşturacağı elektrokinetik potansiyelin varlığı, topoğrafyanın ölçülere olacak etkisi gibi ayrılanamayacak etkilerin olması, SP de yapılacak modellemeyi güçleştirmektedir (Çağlar, 1991).

Genel olarak bir maden sahasında arazi ile ilgili sondajlar yapılmadan oluşum koşullarının ve geometrik durumunun bilinmeyeceği açıktır. Bu çalışmada, jeolojik şartları bilinmeyen bir maden sahasının ne şekilde ele alınıp nasıl yaklaşılması gerektiğine ait bir yaklaşım yapılmıştır. Değişik SP model türleri üzerinde yapılan çözüm sonuçları incelenerek elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Yöntem olarak en küçük kareler Marquardt (1963) çözüm tekniği kullanılmıştır.

TEORİ

Cevherleşme türleri modelleme aşamasında yine başlıca iki gruba sokulabilir. Birinci gruba düşey yada düşeye yakın (eğimli) damar tipi cevherleşmeler, ikinci gruba ise daha geniş hacimsel kütleler gözüyle bakılabilir. Verilerin düzeltilmesi (yuvarlanması, süzülmesi) yerine çeşitli modellerle yapılacak yaklaşımlar ve elde edilen sonuçların tartışılması daha gerçekçi çözüme ulaşılmasını sağlayacaktır.

Birinci gruptaki model tiplerine, modelleme sırasında tek nokta yük (Banerjee, 1970) (Şekil 1) ve



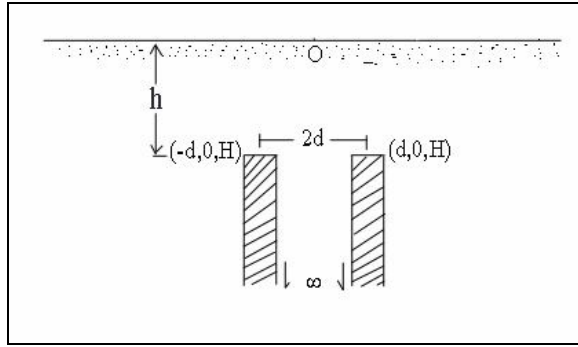
Şekil 1. Alt ucu sonsuza giden nokta yük SP modeli

Figure 1. Point load SP model which lower end extends to infinity

potansiyel bağıntısı ise,

$$V(x,0,0) = V(x) = -M \frac{1}{\sqrt{x^2 + h^2}} \quad (1)$$

şeklinde verilir. Yan yana duran bir çift tek nokta yük (Banerjee, 1970) (Şekil 2),



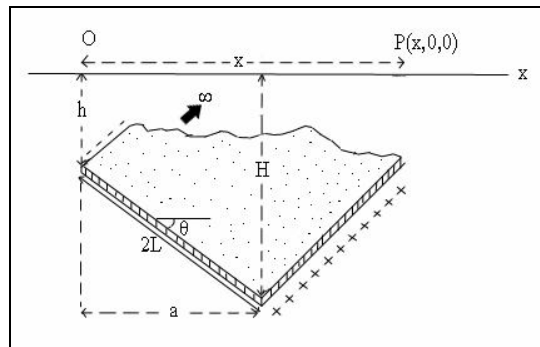
Şekil 2. Alt ucu sonsuza giden yan yana duran iki nokta yük SP modeli

Figure 2. Adjacent two load SP models with lower ends extending to infinity

potansiyel bağıntısı ise,

$$V(x) = -M \left(\frac{1}{\sqrt{h^2 + (x-d)^2}} + \frac{1}{\sqrt{h^2 + (x+d)^2}} \right) \quad (2)$$

şeklinde verilir. Eğimli dilim şeklinde yapılar (Roy ve Chowdhury, 1959) (Şekil 3) ve bunların



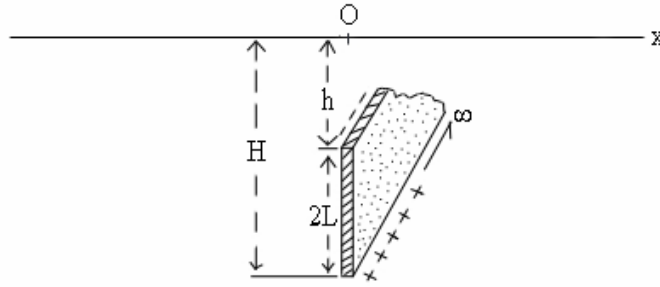
Şekil 3. Eğimli dilim şekilli yapıların SP modeli.

Figure 3. SP model of inclined sheet typed structure

potansiyel bağıntısı ise,

$$V(x) = M \log_e \frac{x^2 + h^2}{(x-a)^2 + H^2} \quad (3)$$

olarak verilir. Düşey dilim şekilli yapılar (Atchuta Rao ve Ram Babu, 1983) (Şekil 4),



Şekil 4. Düşey duran dilimli yapıların SP modeli.

Figure 4. SP model of vertical sheet typed structure

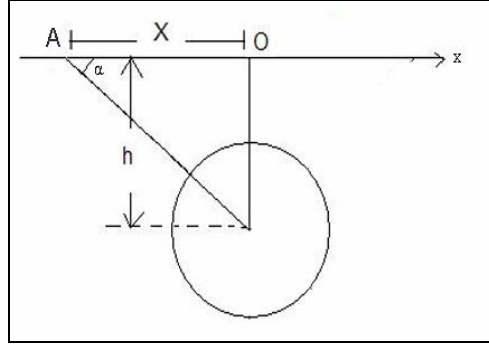
böyle yapıların potansiyel bağıntısı ise,

$$V(x) = M \log_e \frac{x^2 + h^2}{x^2 + H^2} \quad (4)$$

şeklinde verilir. Bu model tipleri ilk grup cevher sınıflamasına sokulabilir. Dikkat edilmesi gereken cevherin alt ucunun sonsuza giden bir kütleyle ya da sonlu bir kütleyle mi ait olacağıdır. Jeolojik bilgiler ışığında bu karara varılabilir. Örneğin, cevher fay zonunun içinde bulunuyorsa alt ucu sonsuza giden bir model seçilebilir vb. gibi. Bu tür modellerde doğrultusu boyunca cevher uzanımının SP haritasını karakter olarak etkilemeyeceği bilinmektedir. Anomalinin karakterini birinci derecede etkileyen parametre üst derinlik olduğu, ikincil etkileyen parametrenin L boyu olacağı açıktır (Çağlar, 1991). Tek doğrultuda seçilmiş kritere uygulanacak olan bu modellerin kütleyle doğru tanımlayabileceği düşünülmektedir.

Tamamen negatif bir bölge altında yan yana duran kütlelerin oluşturduğu anomalilerin değerlendirilmesi sırasında veya bir kütlemin alt ucunun etkisinin başka bir kütle olarak algılanıp algılanılmayacağı önemli bir sorun oluşturur. Başka bir deyişle yan yana iki kapanım veren SP haritalarında küçük kapanımın negatif bölgede kalmış bir kuyruk anomalisi mi yoksa ikinci bir kütlemin varlığı mı sorusu değerlendirmedeki zorluğu oluşturur.

İkinci grup mineral oluşumlarının değerlendirilmesi için seçilecek modeller küre ve yatay silindir modelleri (Bhattacharya ve Roy, 1981) (Şekil 5) te verilmektedir. Bu modellerin,



Şekil 5. Küre ve yatay silindir SP modeli.

Figure 5. SP model of sphere and horizontal cylinder

potansiyel bağıntıları küre için,

$$V(x) = M \frac{x \cos \alpha - h \sin \alpha}{(x^2 + h^2)^{3/2}} \quad (5)$$

ve silindir için,

$$V(x) = M \frac{x \cos \alpha - h \sin \alpha}{x^2 + h^2} \quad (6)$$

şeklinde verilmektedir.

Model çözümleri sırasında her bir modelin potansiyel bağıntılarının her bir parametresine göre kısmi türevleri alınarak türev matrisleri oluşturulmuş ve çözüm sırasında Marquardt (1963) sönümlü en küçük kareler çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem,

$$\Delta p = A \Delta g \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta p_1 \\ \Delta p_2 \\ \vdots \\ \Delta p_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial A_1}{\partial p_1} & \frac{\partial A_1}{\partial p_2} & \dots & \dots & \frac{\partial A_1}{\partial p_n} \\ \frac{\partial A_2}{\partial p_1} & \frac{\partial A_2}{\partial p_2} & \dots & \dots & \frac{\partial A_2}{\partial p_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial A_m}{\partial p_1} & \frac{\partial A_m}{\partial p_2} & \dots & \dots & \frac{\partial A_m}{\partial p_n} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \Delta g_1 \\ \Delta g_2 \\ \vdots \\ \Delta g_m \end{pmatrix} \quad (8)$$

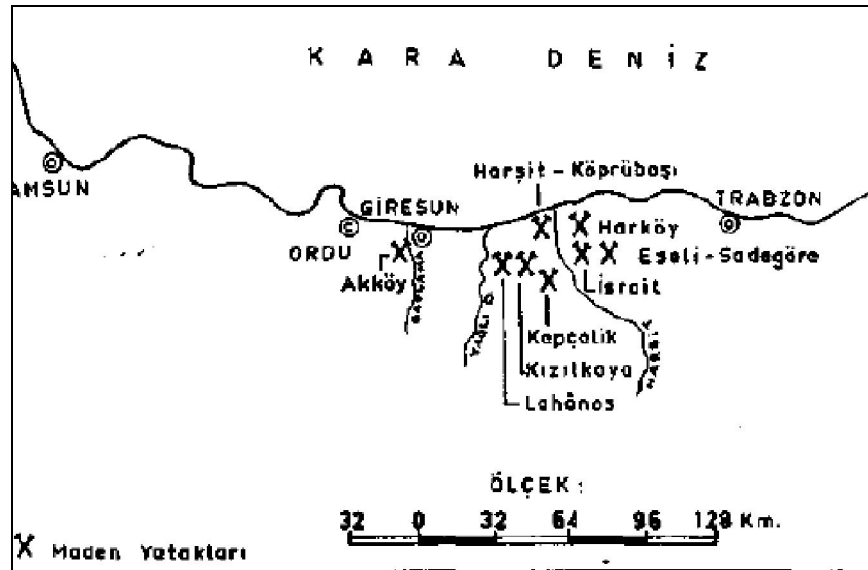
$$\Delta p = (A^T A + \lambda I)^{-1} A^T \Delta g \quad (9)$$

şeklinde verilmiştir Marquardt (1963). Burada “A” türev matrisini göstermektedir. Türev matrisinin sütunları parametrelerden oluşurken, satırları da gözlem sayısı kadardır. Ayrıca Δg , gözlemsel veri ile teorik veri arasındaki farkı, Δp ise parametrelerin düzeltme katsayılarını göstermektedir. Genelleştirilmiş ters çözüm işleminde “tekil değer sorunu” yani türev matrisinin asal köşegen değerlerinden herhangi birinin sıfıra yakınsaması veya sıfır olması halinde, türev matrisinin determinantının sıfır olması ve bu nedenle matrisin tersinin alınamaması sorunu ile karşılaşma riski mevcut olduğundan, Marquardt’ın sönümlü en küçük kareler ters çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde Marquardt faktörü olan “ λ ” birim matris (I) ile çarpılarak türev matrisine eklenmiş, böylece; tekil değer sorunundan kaçınılmaya çalışılmıştır. “ λ ” bu çalışmada başlangıçta “0.01” olarak alınmış, her yakınsama durumunda bu değer ikiye bölünmüş, her iraksama durumunda ikiyle çarpılmıştır.

UYGULAMA

Coğrafi Konum

İnceleme alanı Giresun ili Akköy yakınlarında Boztekke bakır sahasıdır (Şekil 6).

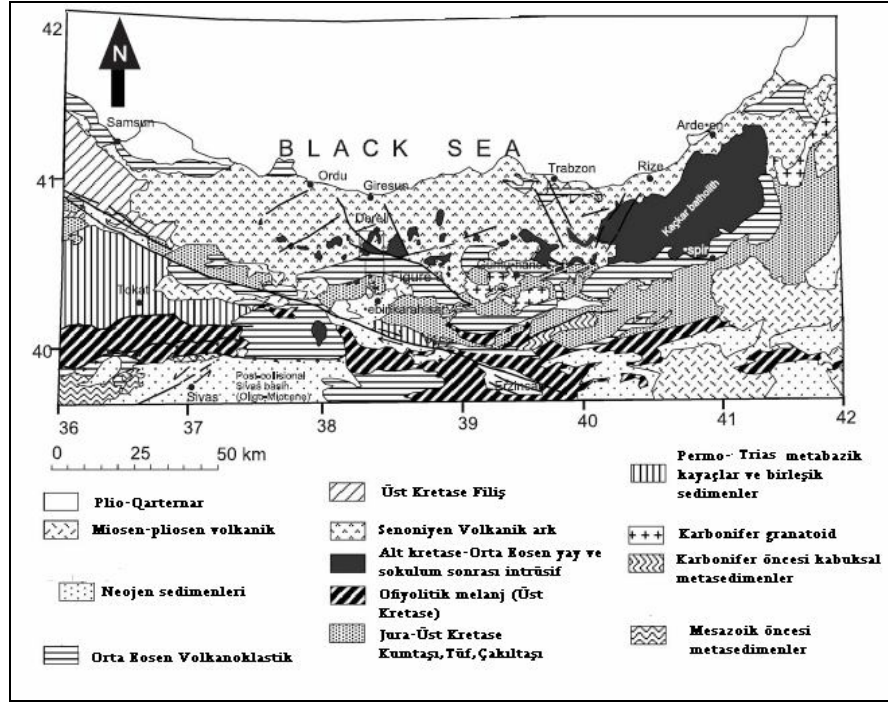


Şekil 6. Giresun ili ve civarındaki maden (Cu, Pb, Zn) yatakları (Acar, 1973).

Figure 6. Ore (Cu, Pb, Zn) deposits in Giresun City and its vicinity (Acar,1973)

İnceleme Alanının Jeolojisi

Giresun ilinin genelinde ve özellikle kuzeyinde Üst kretase volkanik fasiyesli alanlar geniş yer kaplar. Alp orojenezi kökenli kıvrımlı dağlardan oluşan Giresun dağlarının çekirdeğini granadiyoritli bir temel oluşturur. İkinci (Mesozoyik) ve üçüncü (Senozoyik) zamanlar boyunca kıvrılmalar, kırılmalar ve bindirmeler oluşmuş, zaman zaman meydana gelen volkanizma olayları nedeniyle 500 m kalınlığa ulaşabilen püskürük bir dizi ile de örtülmüştür (Şekil 7).

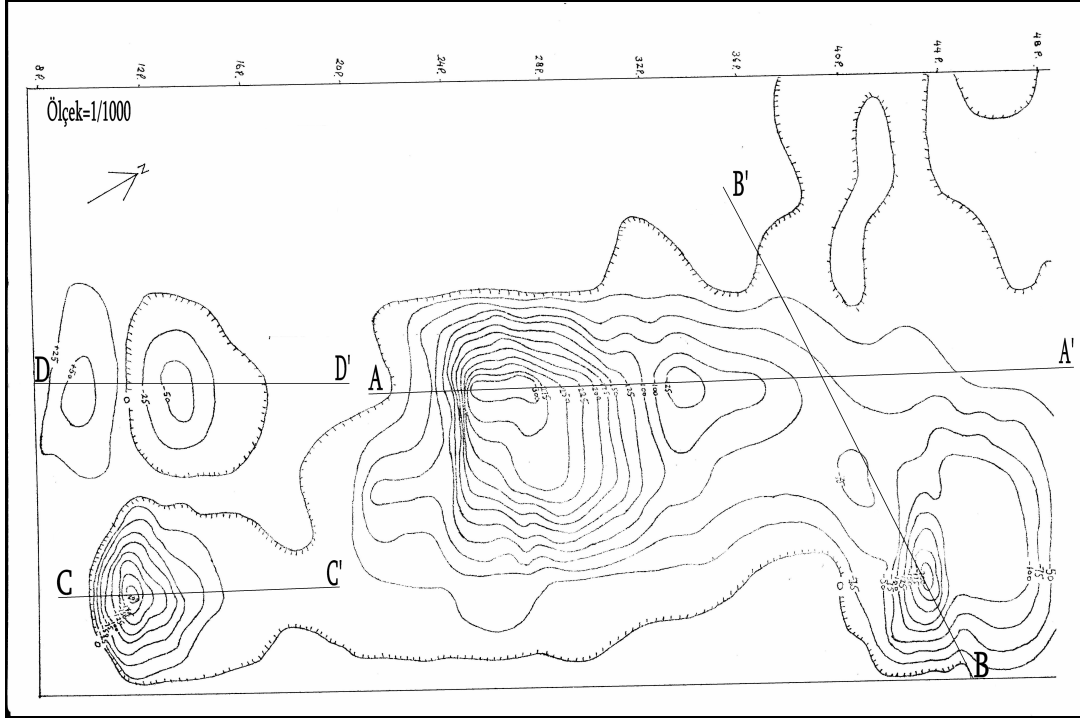


Şekil 7. Giresun ve civarının jeolojisi (Boztuğ ve diğ. 2004).

Figure 7. Geology of Giresun and its environment (Boztuğ et. al.,2004).

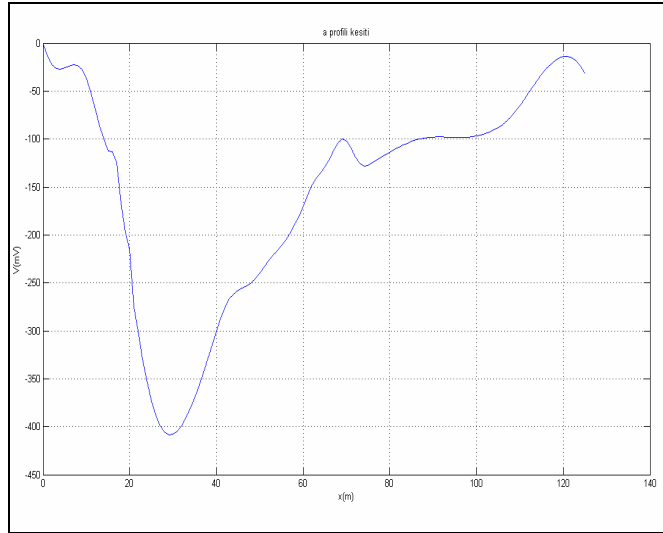
Oluşan bakır yatakları düşük tenörlü yüksek rezervli dissemine denilen bir yapıda olabileceği gibi damar veya filon geometrisi olarak da oluşabilecektir. Cevherleşmeler bir fay zonunun içinde bulunabileceği gibi senklinal veya antiklinallerin kanatlarında da ortaya çıkabilecektir. Bu nedenle başlıca iki grup altına soktuğumuz cevherleşme tiplerinin bir arada bulunabilmesi her zaman olasıdır.

İnceleme alanında yapılan bir SP çalışmasının kontur haritası ve A-A', B-B', C-C', D-D' kesit alınan profiller (Şekil 8) de verilmektedir. SP anomalisi veren alanlar incelendiğinde hepsinin bir doğrultuda dizilmiş olmaları bir fay zonu içinde oluştuklarını göstermektedir. Fay zonu içinde oluşmaları ilk bakışta fayın eğimi yönünde yada düşey konumda oluştuklarını ortaya koyar. Ancak anomaliler incelendiğinde sadece C-C' kesit anomalisinin bu düşünceye uygun olabileceği, A-A', B-B' ve D-D' anomalilerinin yatayla bir açı yaptığı ve kuyruk anomalilerinin de olduğu görülür. Şekil 9 da A-A' kesit anomalisi verilmektedir.



Şekil 8. Giresun-Boztekke bakır sahası SP kontur haritası ve alınan profiller.

Figure 8. SP contour map of Giresun-Boztekke copper field and profiles.



Şekil 9. A-A' profil anomalisi.

Figure 9. Anomaly of A-A' profile.

Anomalinin sağ tarafında ikinci bir kapanım gözlenmektedir. Bu kapanım kütleinin kuyruk anomalisi olabileceği gibi ikinci bir kütleinin verdiği anomali de olabilir Bunun dışında bu anomali yer altı suyu, boru hattı, eskiden işletilmiş maden boşlukları vs. den de kaynaklanabilir. Şekil 8 e dikkat edilirse,

- Haritada AA' kesitinin sol tarafında ve üst kısmında kontur değerlerinin sıklaştığı,
- haritanın sağ tarafına doğru kontur değerlerinin seyrekleştiği, gözlenir.

Anomalinin üst yüzeyinin negatif merkezin altında olduğu düşünülürse, anomalinin sağa doğru eğimli ve doğrultusunun haritanın alt bölgesine doğru olduğu, sağ tarafta kalan kapanımın da bu bilgiler ışığında pozitif merkez olması gerektiği ortaya çıkar. Anomaliyi oluşturan kütle dışında bölgenin bir negatif etki altında olması durumunda kuyruk anomalisi kendini pozitif olarak gösteremeyecektir. Anomali haritasının hemen üstünde sıfır konturunun bulunması bu tespiti geçersiz yapmaktadır. Bu küçük kapanımın ikinci bir kütlede kaynaklandığı ve derinliğinin yüksek olduğu veya kütlede sığda olup, hacimce küçük olduğu daha geçerli bir tespittir. Bu durumun araştırılması gerekmektedir. Şekil 10'da A-A' kesitinin tüm model çözümleri görülmektedir.

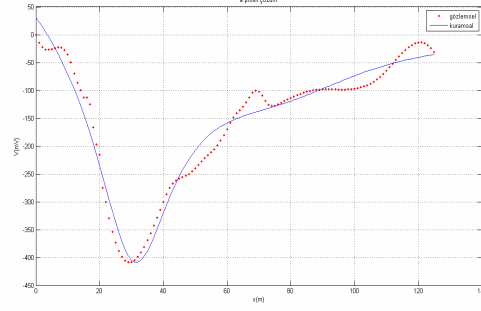
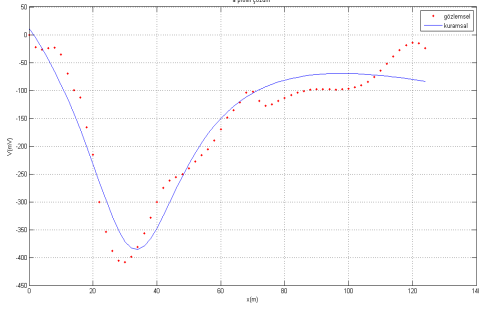
Model çözümlerinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

- Bütün model çözümleri bölgenin negatif bir etki altında olduğunu göstermektedir (c sayısından),
- Karesel hata (RMS) değerine bakarak eğimli damar, küre ve yatay silindir modelleri daha başarılı çözüm yapmıştır. Öyleyse cevher düşey durmamaktadır,
- Derinlik çözümlerinde uyum olduğu söylenemez. Bunun nedeni damar modelleri üst derinliği verirken, küre ve yatay silindir modelleri merkez derinliğini vermektedirler,
- Eğim açısı veya polarizasyon açısı incelendiğinde bütün modeller cevher anomalisinin başlangıcında pozitif uç olduğunu göstermektedir. Bu sonuç haritaya bakarak yapılan tespitlere terstir. eğim açısı hesaplayan bütün modeller cevherin kuyruk kısmının solda olduğunu göstermektedir. Kuyruk kısmının sağ tarafta çıkmamasının nedeni kuyruk anomalisinin negatif bölge içinde kalması veya orada ikinci bir kütlede var olmasıdır

Anomali çevresel gürültülerin etkisi altında olabilir. Şekil-11'de iyi çözüm üretmiş modellerin profilin 7'li ve 9'lu kayan ortalama ile düzgülendirilmiş durumları görülmektedir. Bu modeller incelendiğinde yapılan düzgülendirmeden dolayı,

- Rejyonel etkide azalmalar meydana gelmiştir (t,c sayıları),
- Karesel hata (RMS) değerlerinde doğal olarak azalma görülmüştür,
- Derinlik (h) değerlerinde artmalar olmuş,
- Modelin geometrisinde bir değişim görülmemiştir çünkü polarizasyon açısının yönü değişmemiştir.

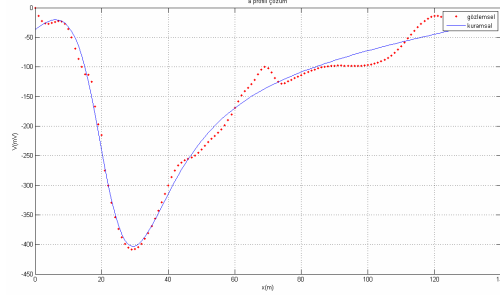
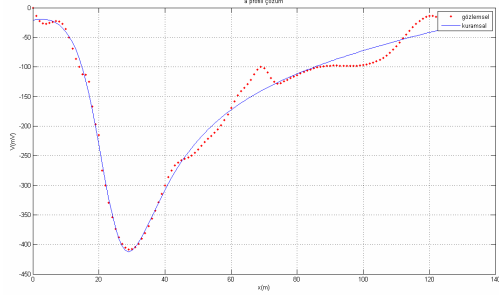
Sonuç olarak yapılan düzgülendirme sonucunda da üretilen çözümler ile anomali haritası birbirlerine ters düşmeye devam etmiştir.



1.model alt ucu sonsuz damar

2.model alt ucu sonsuz iki damar

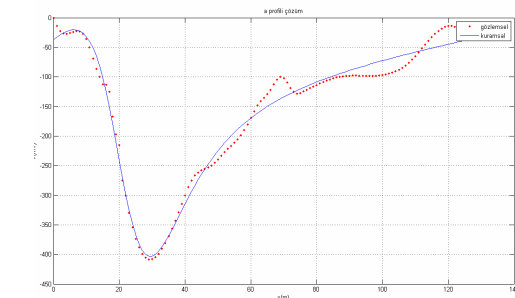
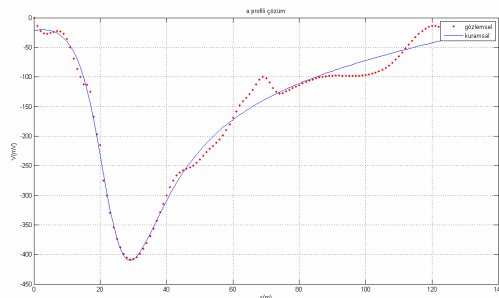
M	h	d	t	c	rms	M	h1	d	t	c	rms	h2	d
9549.8	16.16	32.7	-2	-273	34	6983.7	12.3	30.7	-1.3	-326	22	34.7	76.5



3.model eğimli levha

4.model küre

M	h	h2	alfa	d	t	c	rms	M	h	alfa	d	t	c	rms
312	9.4	13.8	145.5	25.8	-1	-110	14.9	140170	16	163.9	21	1	-151	15.8



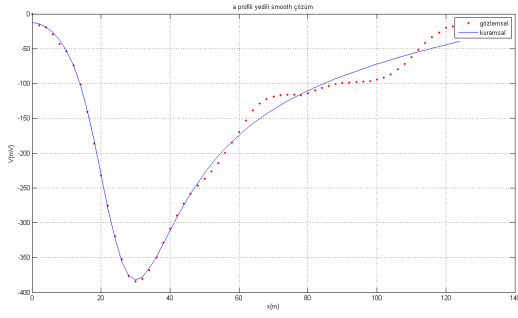
5.model yatay silindir

6.model küre

M	h	alfa	d	t	c	rms	M	h	alfa	d	t	c	rms
4895	11.8	143.5	23.3	-0.89	-105	15	140160	16.4	4.4	21	1	-151.6	15.8

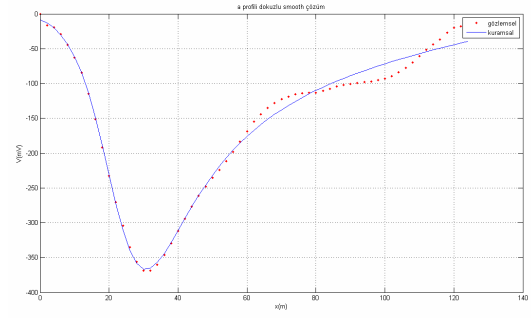
Şekil 10. A-A' profiline uygulanan model çözümleri ve sonuçları.

Figure 10. Model solutions and results applied in A-A' profile.



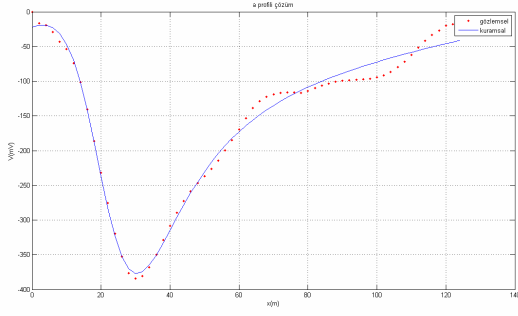
Yatay silindir yedili düzgünleme

M	h	alfa	d	t	c	rms
5682	14.3	140	23.6	0.6	-77.7	11.4



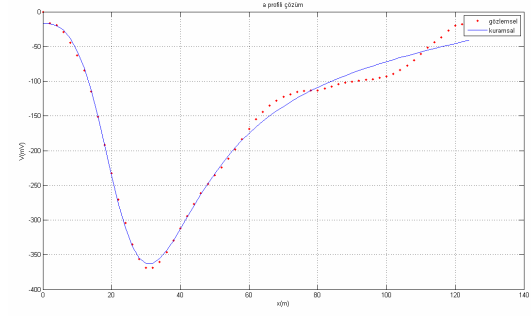
Yatay silindir dokuzlu düzgünleme

M	h	alfa	d	t	c	rms
6240	16	143.5	23.8	0.59	-61	10.5



Küre yedili düzgünleme

M	h	alfa	d	t	c	rms
177250	19.1	161	21.1	0.83	-129	11.9



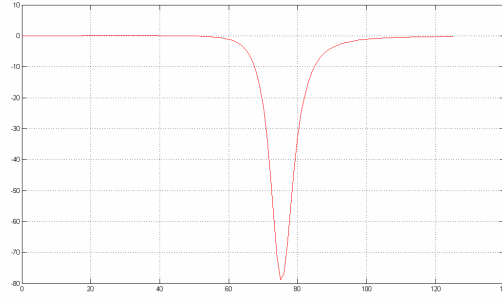
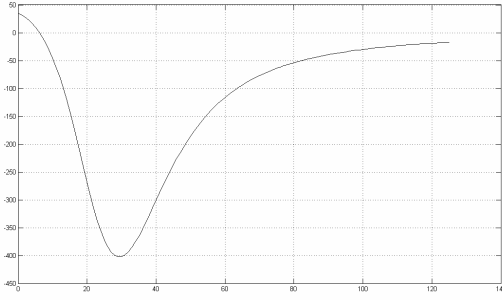
Küre dokuzlu düzgünleme

M	h	alfa	d	t	c	rms
203560	20.9	160.7	21.02	0.77	-118	10.8

Şekil 11. A-A' profil yedili ve dokuzlu düzgünleme yapılmış model çözümleri ve sonuçları.

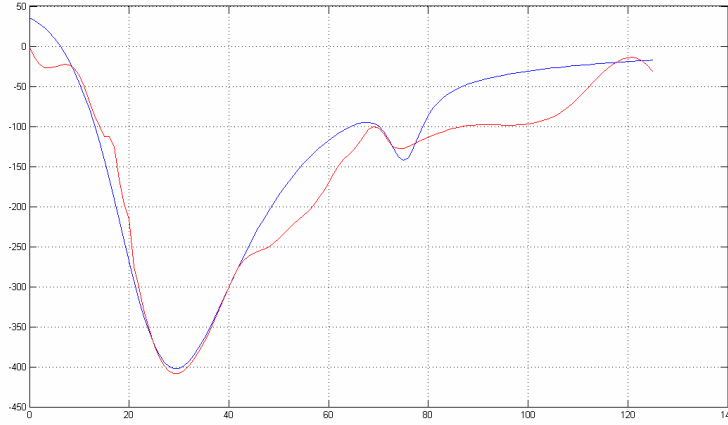
Figure 11. Solutions and results of seven-nine smoothed model in A-A' profile.

Elde edilen son değerlere göre 2 farklı kütleliğin varlığından söz edilebilir. Bu nedenle küre bağıntısından düz çözüm yöntemi kullanarak anomali üretip üst üste toplandığında Şekil-12'deki çözüm elde edilir. İki anomalinin toplamından oluşan ortak anomali sağ taraftaki pik değeri yakalamış olmasına rağmen yine de açıklanması gereken gerilim farkları ortaya çıkmıştır. Bu durum da büyük anomalinin yönünün ters olmasından kaynaklanmaktadır. Küçük olan anomali ise düşeye yakın kutuplanmıştır. Bu da iyi bir çözüm gibi görünmemektedir.



M	h	d	alfa
210000	20	23	140

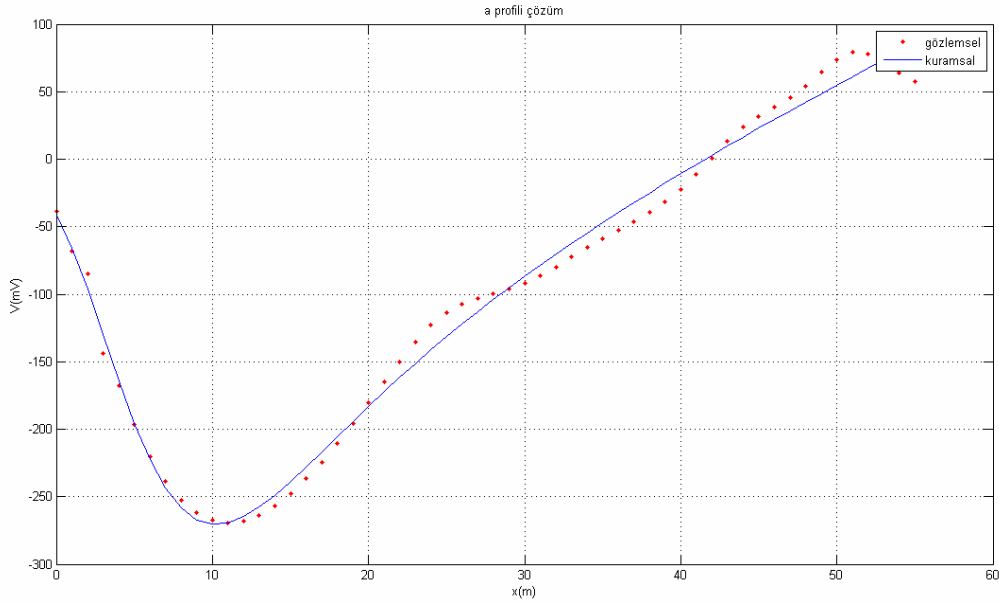
M	h	d	alfa
2000	5	75	100



Şekil 12. Küre modelinden türetilmiş teorik anomaliler ve birlikte toplanmış halleri.

Figure 12. Derivative theoretic anomalies derived from sphere model and their gathered forms

Başka bir çözüm yöntemi de ilk değerlendirilen anomalilerde elde edilen $tx + c$ etkisinin anomali değerlerinden atılıp anomalinin gerçek sıfır mV çizgisinin nereden geçtiğini bularak yapılabilir. Bu şekilde yapılacak çözümler ilk yapılan çözümlerden farklı olmayacaktır. Ancak SP anomalisinin sıfır çizgisindeki durumu görme fırsatı verecektir. Bu da karakteristik SP anomalileri açısından anomaliye bakma fırsatı ortaya koyacaktır. Buna göre yatay silindir çözümü ile elde edilen $t = 0.9$ ve $c = -105$ değerleri ele alınarak $0.9x - 105$ denklem doğrusunun değerleri A-A' profili boyunca bulunarak bu doğru değerlerini aynı noktadaki profil anomalisi değerlerinden çıkarılarak elde edilen anomalinin değerleri yeniden çizdirilmiştir. Elde edilen yeni profil anomalisi sadece altında bulunan kütlelerin etkisi altındadır. Diğer negatif etkiler atılmış durumdadır. Bu sayede anomalinin sıfırının üzerindeki pozitif değerlerinden hangisinin kuyruk anomalisi olduğunu anlamak kolaylaşmıştır. Yapılan işlemlerden sonra karakteristik SP anomalilerine yakınsayan profil kesiti modellendiğinde Şekil 13'deki çözüm elde edilir. Bu çözüm A-A' kesit anomalisi için elde edilebilecek en doğru çözüm olmalıdır. Fakat bu çözümde, elde edilen diğer modeller gibi SP anomalisinin kuyruk kısmını ters yönde göstermektedir.

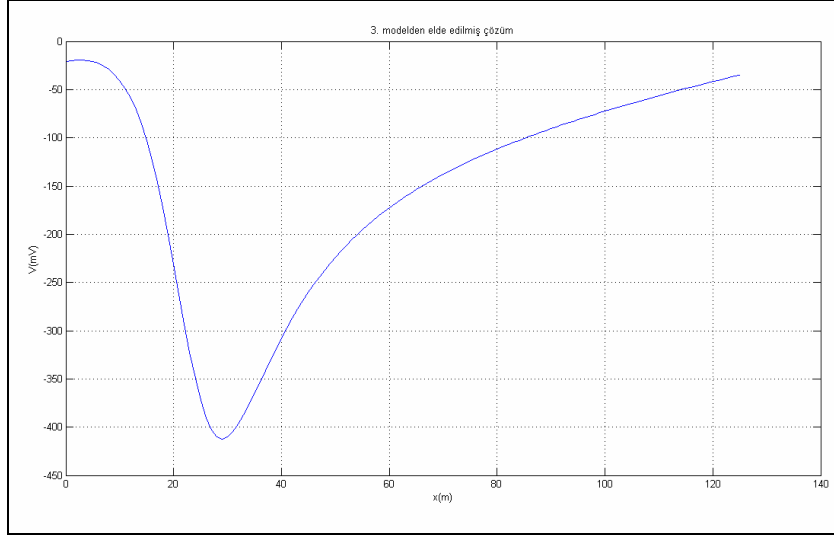


M	h	alfa	d	t	c	rms
4895	11	9.43	23.3	-0.89	-105	10

Şekil 13. Rejyonel trendi atılmış diyebileceğimiz A-A' profili anomalisi ve çözümü.

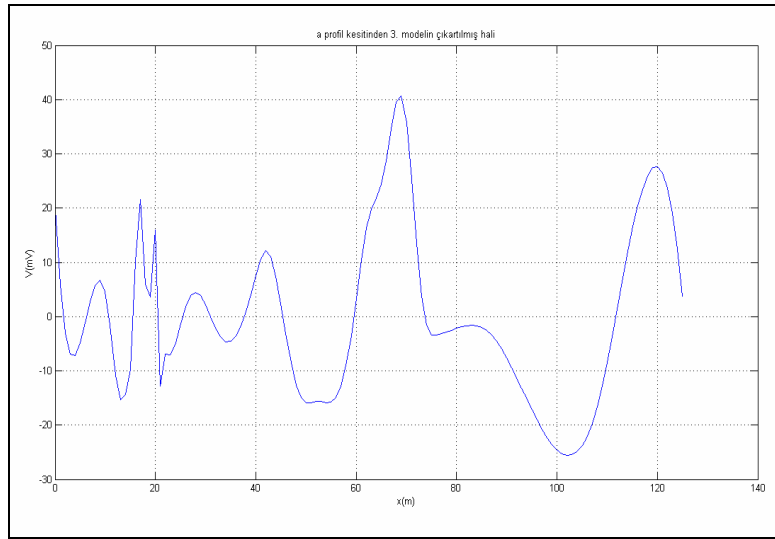
Figure 13. Anomaly and solution of A-profile after removal of its regional trend.

Elde edilen bu sonuçlara göre A anomali haritasının tek bir kütlede kaynaklanmadığı iki ayrı kütleli toplamı anomali olduğu sonucuna varılmıştır. Öyleyse şu ana kadar Şekil 12 nin en doğru çözümü verdiği söylenebilir. Ancak A-A' anomalisi yine de tam olarak çözümlenememiştir. İlk elde edilen tek bir kütle gibi çözen anomalilerin (Şekil 10) sonuçlarından teorik bir anomali türetilip (Şekil 14), A-A' kesit anomalisinden çıkartıldığında (Şekil 15), kalan anomalinin gürültüleri olan ilk kısımdaki genlikleri kısmak amacıyla A-A' kesitinin son haline dokuzlu kayan ortalama uygulandığında Şekil 16 elde edilmiştir.



Şekil 14. Eğimli damar çözümünden üretilmiş teorik SP anomalisi.

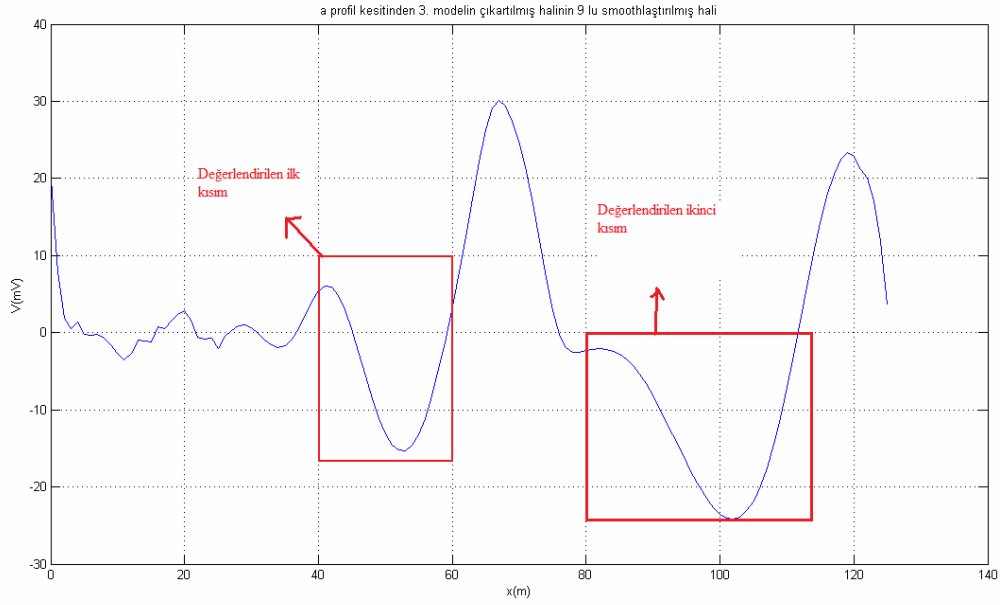
Figure 14. SP anomaly derived from solution of inclined sheet.



Şekil 15. A-A' profilinden eğimli damar teorik verisinin çıkartılmış hali

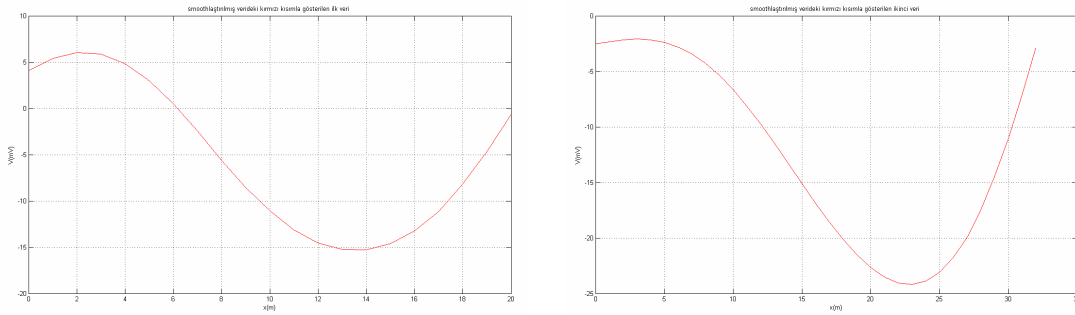
Figure 15. inclined sheett theoretical data obtained from A-A' profile.

Elde edilen son kesitte daha önce kütesel olarak daha küçük olduklarından (yatay eksendeki uzunlukları) yüzey anomalisinde gözlemlenemeyen 2 adet kütenin yeri Şekil-16 da belirtilmiştir. Şekil-17 bu iki cevhere ait olan ve A1,A2 olarak ifade edilen profil anomalilerinin şekillerini göstermektedir.



Şekil 16. A-A' profilinden büyük genlik çıkartıldıktan sonra görünen iki adet SP anomali.

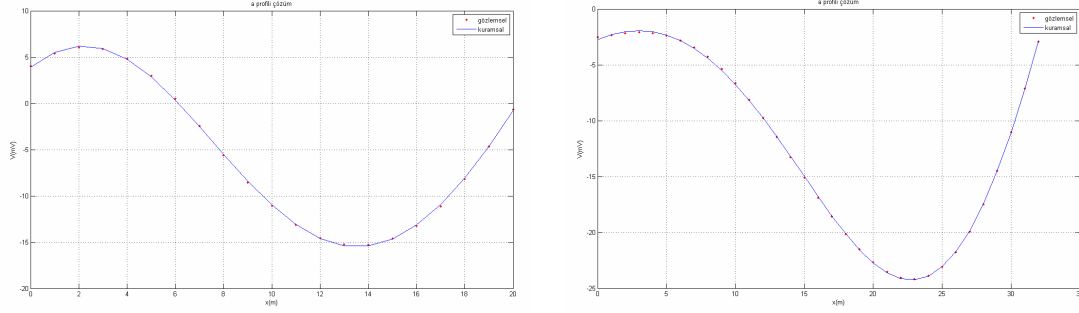
Figure 16. Two SP anomalies obtained removing the biggest amplitude from A-A' profile.



Şekil 17. A1 ve A2 SP anomalileri.

Figure 17. The SP anomalies A1 and A2

Şekil 17'deki 2 profil anomalilerinin yatay silindir modeliyle modellenmesiyle en iyi sonuçlar ortaya çıkmıştır(Şekil 18).



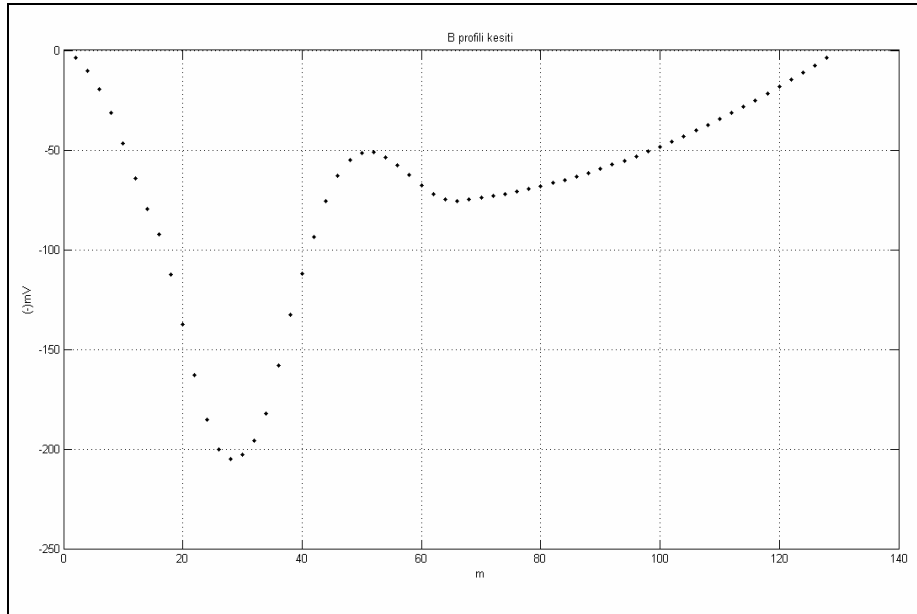
M	h	alfa	d	t	c	rms
41487	17.4	13.2	6.2	4.8	-62	0.11

M	h	alfa	d	t	c	rms
81849	25.8	114	19.3	2.7	21.7	0.09

Şekil 18. A1 ve A2 SP anomali yatay silindir çözümleri.

Figure 18. Horizontal cylinder solutions of A1 and A2 SP anomalies.

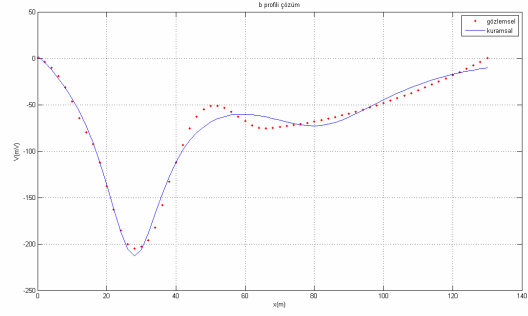
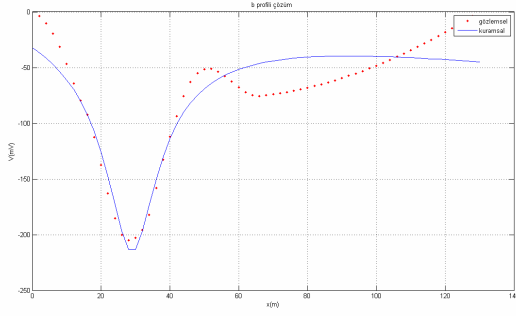
Bu şekilde tek bir anomaliden oluşmuş gibi görünen bir SP kesitinin aslında üç farklı anomaliden kaynaklandığı ortaya çıkmış olmaktadır. Benzer şekilde B-B' kesit anomalisini Şekil 19 da verilmektedir.



Şekil 19. B-B' profil anomali

Figure 19. Anomaly of 18 B-B' profile

Yine bu anomali kesitinde bir kuyruk anomalisinin var olup olmadığı öncelikle belirlenmesi gereken en önemli noktalardan biridir. Bu önemden dolayı ilk önce B kesit anomalisini bütün modellerle modellenerek çözümlenmesi gerekir (Şekil 20).

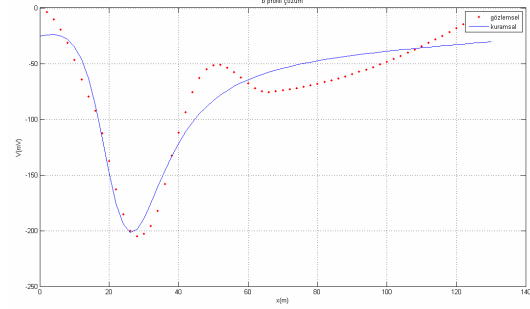
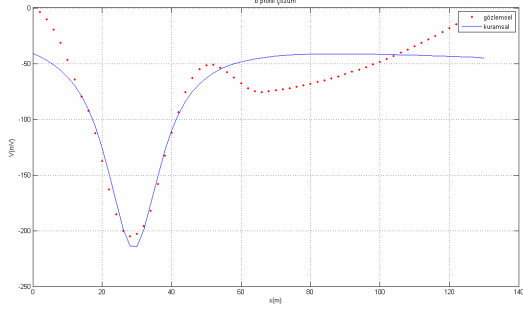


1.model alt ucu sonsuz damar

2.model alt ucu sonsuz iki damar

M	h	d	t	c	rms
1552.4	6.9	28.9	0.38	19.9	20.5

M	h1	d	t	c	rms	h2	d
6983.7	8.2	26.9	-0.4	-111.2	7.2	22	54.6

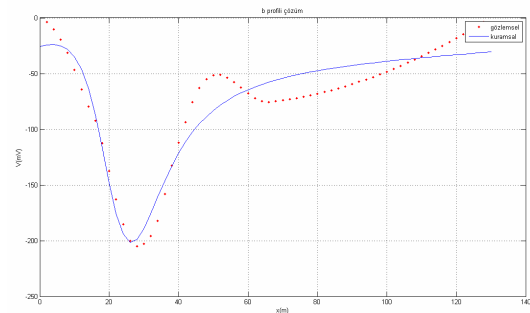
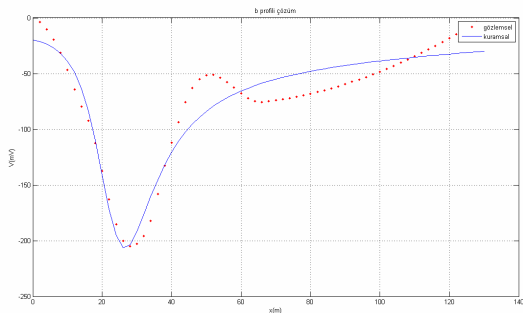


3.model eğimli levha

4.model küre (Rao)

M	h1	h2	alfa	d	t	c	rms
920.9	9.1	10.1	145.5	29	-0.16	-21	20.9

M	h	alfa	d	t	c	rms
41358	13.7	147	21	0.18	-51	17



5.model yatay silindir

6.model küre(Petrowski)

M	h	alfa	d	t	c	rms
1943.2	10.1	123.8	23.5	0.11	34	16.5

M	h	alfa	D	t	c	rms
41331	13.7	56.9	21.3	0.18	-51.8	17

Şekil 20. B-B' profilinin tüm modellere uygulanmış çözümleri.

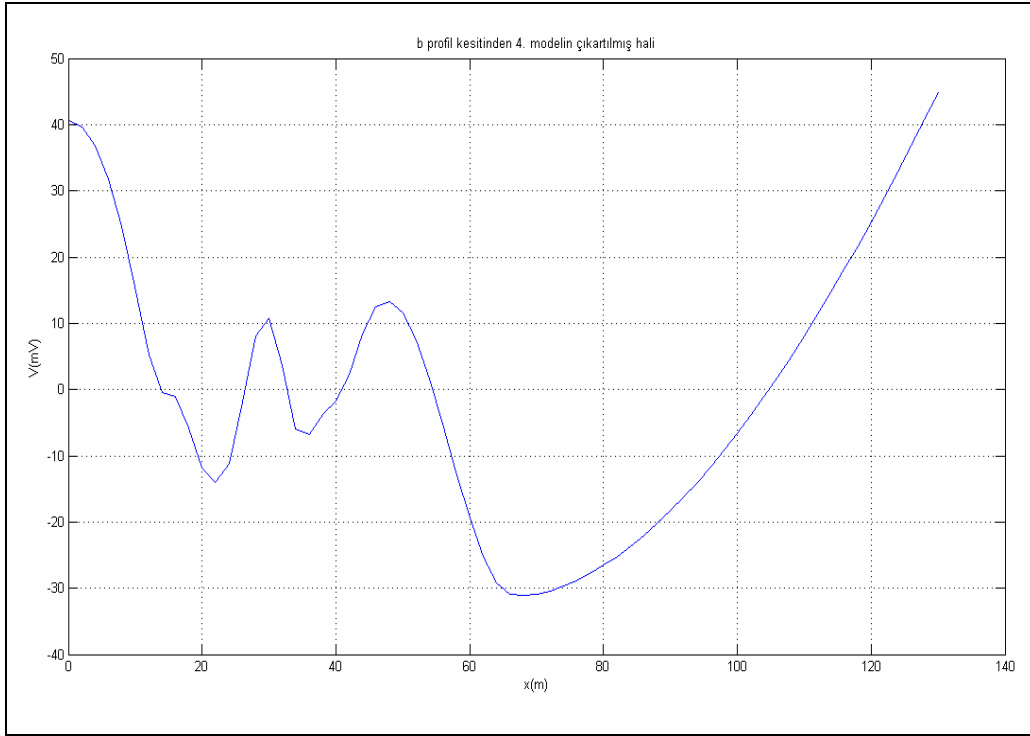
Figure 20. The solutions of B-B' profile anomaly. applied on all the models

Şekil-20'deki model çözümleri incelendiğinde,

- 2. model hariç iyi çözümler olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni yine arazi anomalisi ile teorik anomali modellerinin kuyruk anomalilerinin ters yönde olmalarıdır,
- Karese hata (RMS) değerlerine bakıldığında da ikinci modelin en iyi çözüm olduğu anlaşılır.

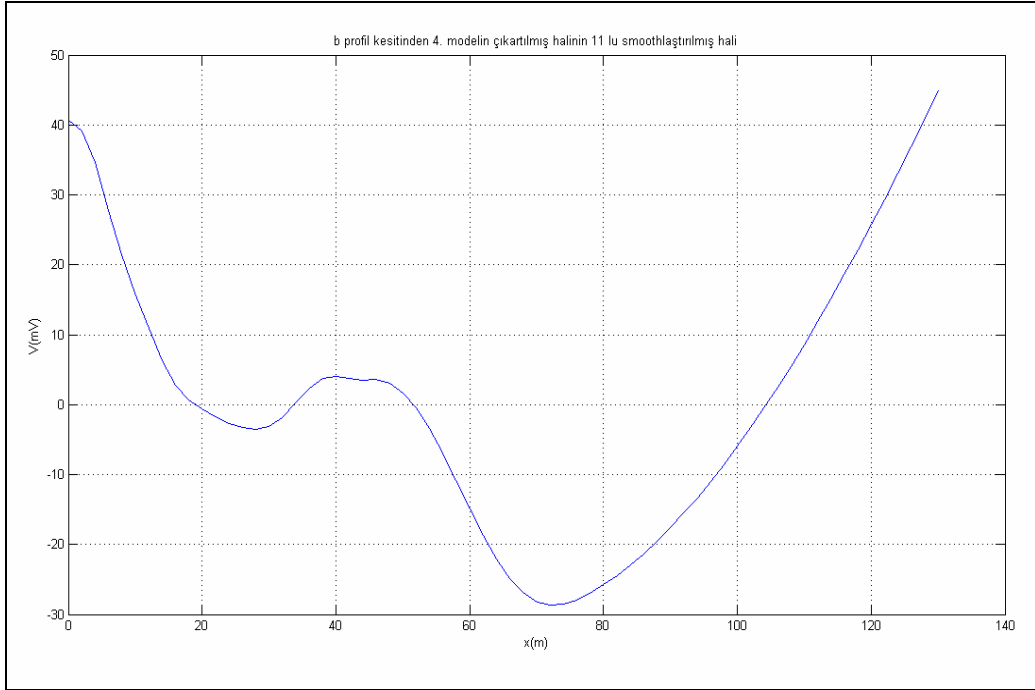
Haritada kuyruk anomalisi gibi görülen kapanımın ikinci bir kütleden kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Yine büyük genlikli anomaliyi B-B' kesit anomalisinden çıkarırsak ve ortaya çıkacak ikinci anomalinin çözülmesiyle en doğru çözüme ulaşılmış olur.

Şekil 21 de B-B' profil anomalisinden büyük genlikli anomalinin çıkartılmış hali görülmektedir. Şekil 22 9'lu kayan ortalama geçirilerek gürültü genliklerinin kısılmış halini göstermektedir. İkinci bir SP anomalisi (B1) varlığı Şekil 23 de görülmektedir.



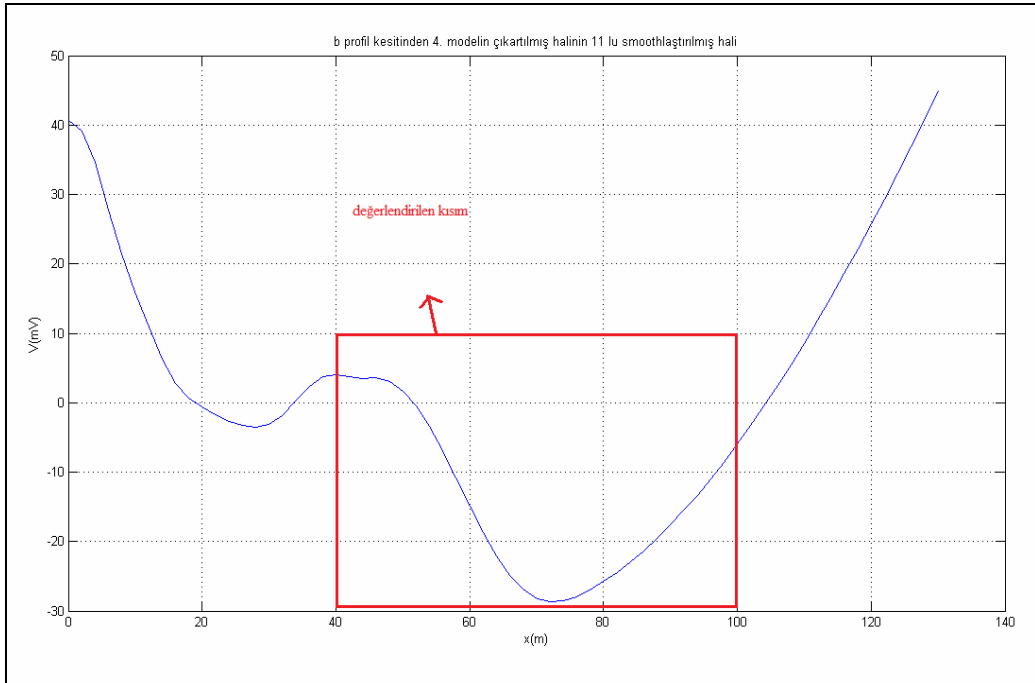
Şekil 21. B-B' profilinden büyük genlikli anomalinin çıkartılmış hali.

Figure 21. The anomaly obtained after subtracting the large amplitude anomaly from B-B' profile



Şekil 22. B-B' profilinin büyük genliğine atılmış anomalisinin yuvarlatılmış hali.

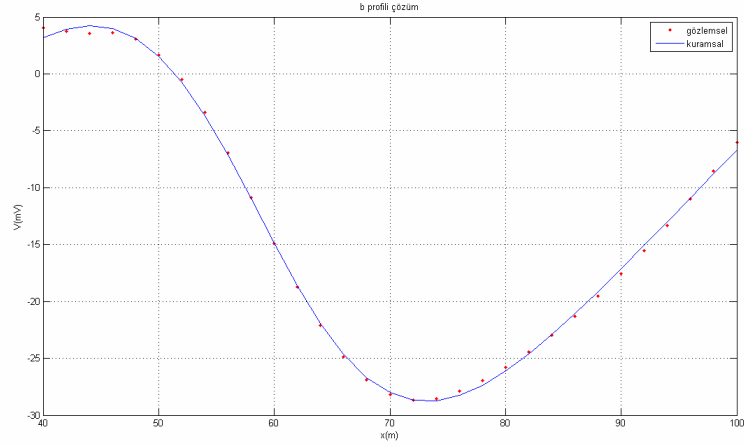
Figure 22. The smoothed shape anomaly of B-B' profile after removing the highest anomaly.



Şekil 23. B-B' profilinde bulunan ikinci bir SP anomali (B1 anomali).

Figure 23. The second SP anomaly (B1) on B-B' anomaly.

Küre modeliyle modellenen B1 anomalisinden elde edilen sonuçların gerçekliğini karesel hata(RMS) değerine bakıldığında anlaşılmaktadır (Şekil 24).

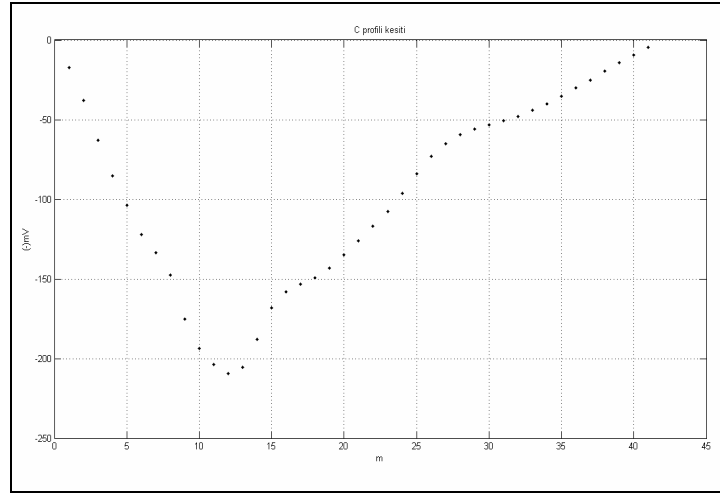


M	h	alfa	d	t	c	rms
1259	21.7	179.2	59	0.7	-53	0.34

Şekil 24. B1 SP anomali ve çözüm sonuçları

Figure 24. B1 SP anomaly and its solutions result.

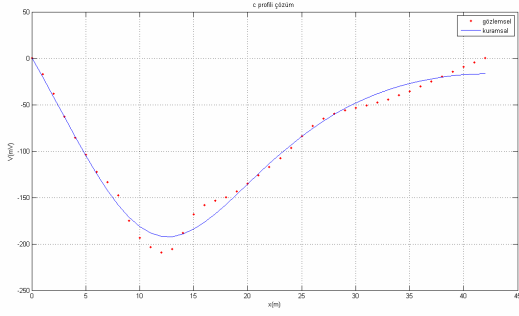
Haritadan bakıldığında C-C' profili anomali kapanımlarının şekli itibariyle düşey ya da düşeye yakın bir SP modeliyle daha başarılı bir şekilde çözülecektir (Şekil 25).



Şekil 25. C-C' profili SP anomali

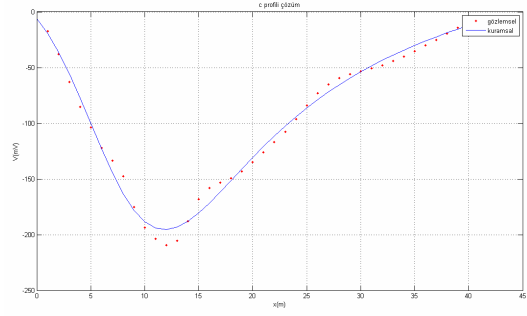
Figure 25. SP anomaly on C-C' profile.

Bütün modeller için uygulanan çözümün sonucunda elde edilen veriler Şekil 26.da gösterilmiştir.



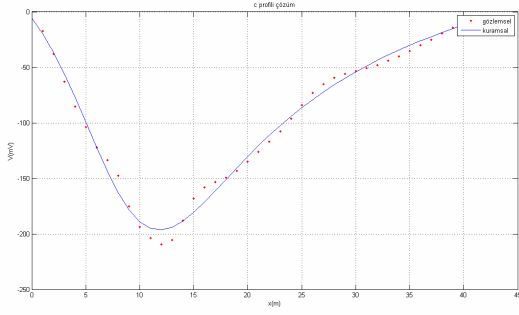
1.model alt ucu sonsuz damar

M	h	d	t	c	rms
6635	9.1	11	-5.1	398	8.4



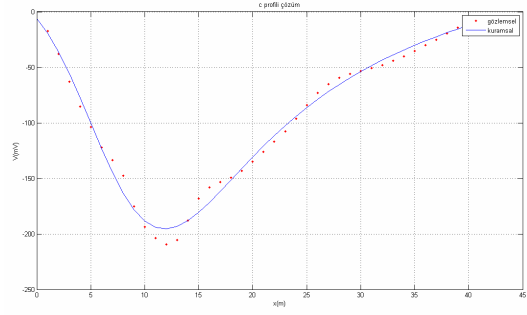
4.model küre (Rao)

M	h	alfa	d	t	c	rms
44969	12.2	156.9	6.6	1.26	-27.3	6.6



5.model yatay silindir

M	h	alfa	d	t	c	rms
2696.4	10	133.3	8	0.89	22.9	6.4



6.model küre(Petrowski)

M	h	alfa	d	t	c	rms
246.9	12.2	69.9	6.6	1.3	-27.2	6.6

Şekil 26. C-C' profiline uygulanan modeller ve çözümleri.

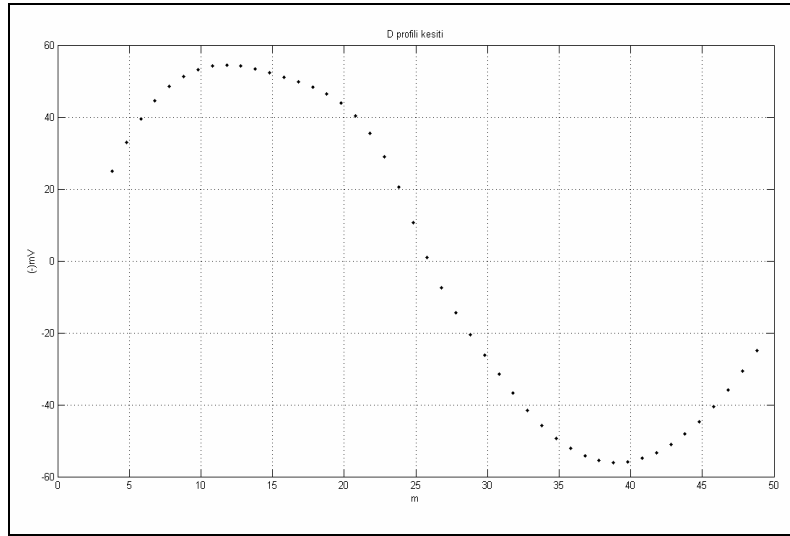
Figure 26. The models and their solutions applied on C-C' profile.

Şekil 26'daki model çözümleri incelendiğinde,

- Eğimli ve düşey damar modelleri iyi sonuçlar göstermemiştir.
- Alt ucu sonsuz damar modeli, küre ve yatay silindir modelleri iyi sonuçlar vermiştir.
- Polarizasyon açılarını 45° 'den yüksek 60-70 civarlarında olması kutuplanmanın düşeye yakın olduğunu doğrulamaktadır.
- Profil anomalisinin sıfır değerine çok yakın olması t ve c değerlerinin küçük çıkmasını ortaya koymuştur.

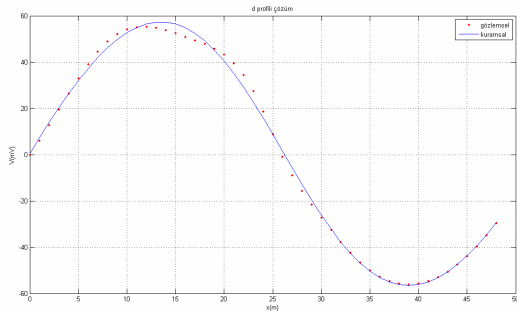
- Eğimli damar modelinin çözüm vermemesi cevherleşmenin küre veya yatay silindir tipinde olduğu ve düşeye yakın kutuplandığını ortaya koyar.

D-D' anomalisi Şekil 27 de görülmektedir. Görülen anomali haritası oldukça gürültüden uzak bir görünümde. Kesit anomalisinin genişliği ve ürettiği gerilim değerlerine bakılarak derin kütleye sahip olduğu, bu kütle için bir damar yapısından çok küre veya yatay silindir biçimli bir geometriye sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca bu anomalinin, yataya yakın bir kutuplanma gösterdiği negatif ile pozitif bölgelerinin birbirine çok yakın olmasından dolayı söylenebilir. O halde bu D-D' kesitini çözmek için yatay silindir ve küre modellerini kullanmamız yeterli olacaktır (Şekil 28).



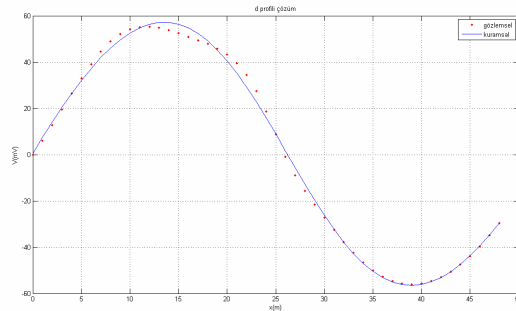
Şekil 27. D-D' profili SP anomalisi

Figure 27. SP anomaly of D-D' profile.



5.model yatay silindir

M	h	alfa	d	t	c	rms
9213.8	25.5	1.9	28	6.8	-185	2.0



6.model küre(rao)

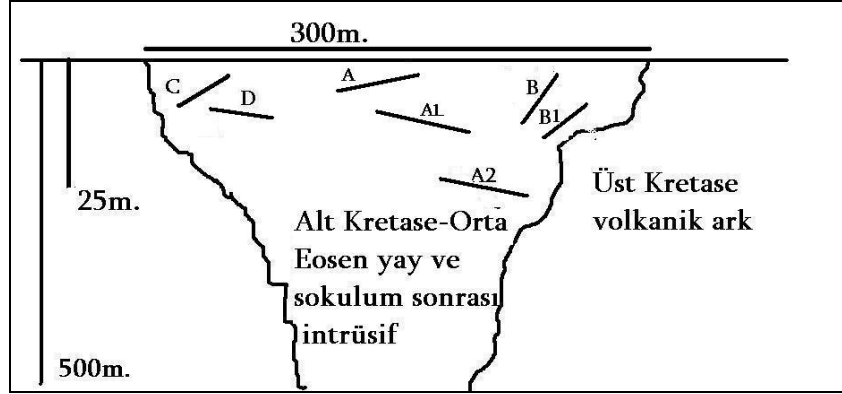
M	h	alfa	d	t	c	rms
-335820	30	1.77	25.8	5.3	-144.8	2.0

Şekil 28. D-D' profili anomalisi ve model çözümleri

Figure 28. D-D' profile anomaly and model solutions.

Çözümlerden de görüleceği üzere kutuplanma açısı oldukça yataya yakın, yaklaşık 25-30 metre derinliğinde bir kütle oluşturduğu anomalidir. RMS değerleri oldukça düşmüştür. Bu da kesit anomalisi ile teorik anomalinin uyumunun iyi olduğunun bir göstergesidir. Diğer modeller bu anomalileri çözememiştir.

Gerek bölgenin jeolojisi dikkate alınarak gerekse ürettiğimiz çözümlerin konumlarına bakıldığında, inceleme alanının Üst kretase volkaniklerinin içinde bulunan Alt Kretase-Orta Eosen yaşlı porfiri türünde Cu oluşumu olduğu ortaya çıkmaktadır. Porfiri tür bakır yatakları saçınım halinde mineralleşme türü için kullanılır. Bu tür cevherleşmeler düşük tenörlü epijenetik ve mağmatik sokulumlarda oluşur. Porfiri bakır yatakları genellikle üç türdürler. Volkanik tür yataklarda mineralleşme hem volkanik kayalarda hem de eş oluşumlu plütonlar içerisinde oluşur. Plütonik porfiri bakır yatakları batolitler içerisinde oluşur. Klasik tür yataklar ise sık yerleşimli dağ oluşum sonrasında stoklarla ilişkili olarak bulunur. Bu stoklar çevre kayaları kesip yerleşmiştir. Mineralleşme tümüyle stok içerisinde gelişmiştir. SP anomalisi üreten bu kütleler Şekil 29 da basit bir kroki ile gösterilmiştir.



Şekil 29. Elde edilen sonuçlardan inceleme alanının olası yer yapısı.

Figure 29. Approximate cross-section of the investigation area determined from the solutions.

SONUÇLAR

Sülfürlü mineral aramalarında, SP çalışmalarında yapılmış haritalara bakılarak cevherin konumu belirlenmeye çalışılır. Bu eskiden beri kullanılan geçerli bir yöntemdir. Ancak maden yataklarının oluşum biçimleri bu tarz değerlendirmeyi hatalı kılar. Bu çalışmada inceleme alanındaki SP kapanımlarına bakıldığında öngörülecek cevher konumları ile hesaplanan cevher konumları genellikle ters çıkmıştır. Maden yatağının oluşum şekli, daha sonrada tektonizmaya ileri gelen faylanmalar ve kıvrımlanmalar bu tarz bir sonuç doğurabilmektedir. SP haritalarının değerlendirilmeleri aşamasında SP nin rejyonel bir etkiye sahip olmadığı unutulmamalıdır. Bununla birlikte SP nin cevher dışı bir çok kaynaktan etkileneneceği de unutulmamalıdır. Gravite-magnetik çalışmalarında yapıldığı gibi cevher anomalisinin düzgülmesi, süzgeçlenmesi SP etkisini veren kütlelerin bilgilerini ortadan kaldıracaktır. Bu durumdan kaçınmak için öncelikle SP haritaları incelenmelidir. Haritada görülebilecek herhangi bir olağan dışılık durumunda kabul edilebilecek bir yöntemle haritaların incelenmesi yapılmalıdır. Bu çalışmada dört adet SP kapanımı olan bir harita incelenmiş gerçekte yedi adet kütleyle karşılık gelebileceği ortaya konmaya çalışılmıştır.

TEŞEKKÜR

Kullandığımız verilerden ötürü Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

ACAR, E., 1973. Doğu Karadeniz Bölgesi Giresun İli Dahilindeki Bazı Bakır-Kurşun-Çinko Madenlerinin İz Elementler Yönünden Önemi. MTA Dergisi, No:82, 136-146, Ankara.

BOZTUĞ, D., JONCKHEERE, R., WAGNER, G.A., YEĞİNGİL, Z., 2004. Slow Senonian and fast Palaeocene–Early Eocene uplift of the granitoids in the Central Eastern Pontides, Turkey: apatite fission-track results. Tectonophysics 382, 213–228.

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.

ÇAĞLAR, İ., 1991. Jeofizikte Doğal Polarizasyon (SP) Yöntemi. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası Gümüşsuyu İstanbul.

BHATTACHURYA, B.B., ve ROY, N., 1981. A note on the use of a nomogram for Self-Potential anomalies, GP 29, 102-107.

BANERJEE, B., 1970 “Quantitative interpretation of self-potential anomalies of some specific geometric bodies”. PAGEOPH, 138-152.

ROY, A., ve CHOWDHURY, D.K., 1959. Interpretation of self-potential data for tabular bodies. J. Sci. Eng. Res. 3, 35-54.

ATCHUTA RAO, D., ve RAM BABU, H.V., 1983. Quantitative interpretation of self-potential anomalies due to two-dimensional sheet-like bodies. GE 48, 1659-1664.