



## Agora (Magnesia/Aydın) manyetik verilerinin kenar belirleme işleçleri ve 3-boyutlu ters çözümle modellenmesi

*Modelling of magnetic data from the Magnesia Agora (Aydın) using edge detection operators and 3-D inversion*

**Emre TİMUR, Coşkun SARI**

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,  
35160 Kaynaklar Yerleşkesi, Buca, İZMİR

Geliş (received) : 14 Ekim (October) 2009  
Kabul (accepted) : 25 Mart (March) 2010

### ÖZ

Manyetik arama yöntemi, gömülü arkeolojik kalıntıların bulunması amacıyla kullanılan en etkili yöntemlerden biridir. Duvarlar, metalik nesnelere veya ocaklar gibi mıknatıslanabilir elementler içeren yapıların yer yüzeyinde oluşturdukları manyetik alan değişimlerinin ölçülmesi, bu yapıların konumlarının ve geometrilerinin belirlenmesinde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu çalışmada, üç-boyutlu prizmatik modeller kuramsal olarak incelenmiş, yeni bir yaklaşım olarak kenar belirleme işleçleri sınır analizi yöntemi olarak yapı geometrisini belirlemek amacıyla uygulanmış ve yinelemeli ters çözümle sonuca ulaşılmıştır. Ayrıca, Magnesia arkeolojik alanının (Aydın) Agora'sı içinde yer alan Zeus tapınağının yeri toplam manyetik alan ölçümleriyle araştırılmış ve olası yapı belirlenerek uygun kazı yeri önerilmiştir. Yapı yerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan kenar belirleme yönteminin uygulanması için öncelikle toplam manyetik alan anomali haritasının yapma gravite haritasına dönüştürülmesini gerektirmektedir. Uygulanan bu işlemin ardından hazırlanan MATLAB tabanlı bir yazılımla 3 farklı kenar-belirleme işleci ile gömülü yapının yüzeydeki izdüşümü belirlenmiştir. Sınırları belirlenen yapının köşe koordinatları ters çözümde kullanılarak olası yapının yeri daha kesin belirlenmiştir. Bu yöntemin yanı sıra, alanın manyetik anomali verilerine kutba indirgeme yöntemi uygulanmış ve yapının konumu hakkında ek bilgi elde edilmesi amaçlanmıştır. Sonuçta; kenar belirleme yöntemleriyle gerek kuramsal verilerde, gerekse arazi verisinde yapı sınırlarının başarıyla belirlenebildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kenar belirleme, manyetik yöntem, modelleme.

### ABSTRACT

*The magnetic prospection method is one of the most useful methods to detect buried archeological objects. The magnetic field variations over walls, metallic objects or furnaces containing magnetic elements, which have been used for many years reveal their locations and geometries. In this study, 3-D prismatic models were theoretically investigated and edge detection methods were utilized with an iterative inversion method to define the boundaries and the parameters of the model. The total magnetic field investigations were carried out at the temple of Zeus in the Agora of the Magnesia (Aydın) archeological site, an appropriate excavation site was suggested by designating a possible structure location. In the first step of the application, it was necessary to convert the total field anomaly into a pseudo-gravity anomaly map. Then the geometric projection of the buried structure was determined on the surface by applying a MATLAB based software containing 3 different edge detection algorithms. The exact location of the object was obtained by using these corner coordinates in the inversion process. In addition to these methods, reduction to pole was applied to the data to achieve more information about the location of the object.*

*As a result, the edge detection methods were found to be successful, both in the field and as theoretical data sets for delineating the boundaries of the buried structure.*

**Keywords:** Edge detection, magnetic method, modelling.

## GİRİŞ

Yer yüzeyinde gerçekleştirilen jeofizik çalışmalar, gömülü arkeolojik yapılarda herhangi bir hasara yol açmadan kalıntının yeri, geometrisi, derinliği ve mevcut durumu hakkında bilgi elde edilmesini sağlayarak kazı çalışmalarına önemli düzeyde katkı sağlamaktadır. Arkeolojik yapıların, çevrelerindeki jeolojik ortam içerisinde tek parça veya dağınık halde bulunmaları ile yapının ve jeolojik birimin fiziksel özelliklerinin farklılık göstermesi, yapılan çalışmaların başarısını etkileyen en önemli etkenlerin başında gelmektedir.

Arkeolojik alanlarda yapılan ilk jeofizik çalışmalar, 1940'lı yıllarda İngiltere'de başlamıştır. Bilinen ilk araştırma, Atkinson tarafından 1946 yılında İngiltere'de gerçekleştirilen bir doğru akım özdirenç çalışmasıdır (Atkinson, 1952). İlk manyetik inceleme ise, proton manyetometrelerinin gelişiminden sonra 1957 yılında Kuzey Amerika'da Belshe tarafından uygulanmıştır. Bu çalışmayı Oxford Üniversitesi'nden Aitken vd. (1958) ve Aitken'in (1974) yaptığı çalışmalar izlemektedir. Bu tarihlerden sonra birçok araştırmacı bu sonuçlardan etkilenecek ve bu iki yöntemi değişik arkeolojik alanlarda deneyerek umut verici sonuçlar elde etmişler ve ilk araştırma gruplarının temellerini atmışlardır (Drahor, 1998). Arkeolojik yerleşimlerde toprağın manyetik duyarlılığındaki değişimler önem taşımaktadır ve ölçülebilir özellikteki bu değişimler yoluyla manyetik duyarlılık değişim haritaları oluşturularak, gömülü arkeolojik nesnelere belirlenebilmektedir. Manyetik yöntemler yardımıyla arkeolojik alanlarda gömülü duvarlar, yollar, yapı girişleri ve temelleri, yanma bölgeleri, ocaklar, fırınlar, çöplük ve mezarlık alanlar gibi birçok yapısal birim kolayca saptanabilmektedir.

Ülkemizde arkeojeofizik çalışmalar 1960'lı yılların başında Giges ve Nemrut dağında bulunan tümülüslerin araştırılmasında ve Keban kurtarma kazılarında gerçekleştirilmiştir (Yaramancı, 1970). Bunun dışında; Achemhöyük (Drahor vd., 1999), Kerkenes Dağı (Erdem, 2002), Ortaköy Şapınıva

Hitit antik kenti (Özyalın, 2003), Amorium (Afyon) (Kaya vd., 2003, Drahor ve Şengül, 1999, Ekinçi, 2005), Magnesia (Aydın) Timur (2003) ile Candansayar ve Başokur (2001)'un çalışmaları da öne çıkan uygulamalar arasındadır. Magnesia arkeolojik alanında ilk jeofizik çalışma, 1989 yılında Başokur (1992) tarafından Argavlı Tümülüsü'nün girişinin araştırılması amacıyla üç gerilim yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, Magnesia Antik Kenti'nin (Aydın) Agora'sında bulunan Zeus tapınağının yerinin belirlenmesi amacıyla toplam manyetik alan verileri ölçülmüştür. Elde edilen bu verilere yapay gravite dönüşümü ve kutba indirgeme işlemleri uygulanmıştır. Gravite dönüşümü uygulanan veriye kenar belirleme yöntemi kullanılarak sınır analizi gerçekleştirilmiş ve belirlenen sınırlar başlangıç modelinin geometrisinde kullanılarak üç-boyutlu (3B) ters çözüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler kullanılarak olası yapının bulunduğu yer ve geometrisi belirlenmeye çalışılmıştır.

## MALZEME VE YÖNTEM

Magnesia Antik Kenti Agora'sında arkeojeofizik çalışmalar kapsamında yapılan toplam manyetik alan ölçümleri, ENVI-MAG cihazı ile  $\pm 0.1$  nT duyarlılıklı proton manyetometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, 35 profil üzerinde 35 noktada, profil ve ölçüm aralıkları birer metre olmak üzere alınmıştır. Toplanan verilerin matematiksel teknikler kullanılarak yorumlanmasından önce, kullanılacak veri işlem yöntemlerinin sınanması amacıyla belirli modeller için kuramsal veriler hesaplanmış ve sayısal yöntemler bu verilere uygulanmıştır. Sonuçlarla beklenti arasında büyük oranda uyum sağlanması üzerine yöntemlerin saha verilerine uygulanması sürecine geçilmiştir.

### Kutba İndirgeme Yöntemi

Bir manyetik anomalinin şekli, yer manyetik alanının eğim ve sapma açıları ile yapının manyetik

kuzeyle yaptığı açığa bağlıdır. Bu nedenle manyetik verilerin yorumlanmasında en sık karşılaşılan sorunlardan biri, manyetik cisim ile anomali arasında, örneğin gravite yöntemindeki kadar belirgin bir ilişkinin gözlenememesidir. Kutba indirgeme işlemi sonucunda, yapıların oluşturduğu anomaliler cismin merkezinin üzerinde ve simetrik bir biçim almaktadır. Anomali şeklini yalınlaştırmak için Baranov (1957) ile Baranov ve Naudy (1964) bu matematiksel işlemi geliştirmişlerdir.

Baranov ve Naudy (1964); mıknatıslanma vektörünün toplam yer manyetik alan vektörü yönünde olduğunu varsayarak, düşey ve toplam manyetik alan değerleriyle kutba indirgenmiş değer ile türevleri arasındaki ilişkileri göstermişler ve yöntemi, yarı sonsuz düşey bir prizmanın ve küre modelinin oluşturduğu anomalilere uygulayarak doğruluğunu sınınamışlardır.

Yöntemin gelişim süreci boyunca geçen yıllarda birçok araştırmacı çeşitli çalışmalar yapmıştır. Kutba indirgeme yöntemi, düşük manyetik enlemlerde hem yapının azimutu hem de manyetik eğim değeri sıfıra yaklaştığında ortaya çıkan tekillik nedeniyle duraysız bir hal almaktadır. Bu sorunun aşılabilmesi için Leu (1982), anomalileri kutba değil ekvatora indirgeme yöntemini önermiştir. Bu yöntemin dezavantajı, duraysızlık sorununun aşılabilmesine karşın yeni oluşan anomalinin yorumlanmasının çok güç hale gelmesidir. Bunun dışında yöntemle ilgili olarak, Pearson ve Skinner (1982) anomalilerdeki genliklerin düzenlenmesi üzerine, Li ve Oldenburg (1998 ve 2000) ters çözüm algoritması kullanarak farklı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan algoritmada Baranov ve Naudy'nin (1964) yaklaşımı esas alınmıştır.

Tamamı  $z_0$  gözlem düzlemi altında yer alan ve yapı boyunca mıknatıslanma şiddeti sabit olan 3B bir mıknatıslanma dağılımı  $M(x, y, z)$  ele alındığında, bu dağılımın oluşturduğu manyetik alan bağıntısı Fourier ortamında Blakely (1995) tarafından aşağıdaki ifadeyle verilmektedir.

$$\Im[\Delta T] = 2\pi C_m \Theta_m \Theta_f |k| e^{k|z_0|} \int_{z_0}^{\infty} e^{-k|z'|} \Im[M(z')] dz' \quad (1)$$

Burada;  $\Theta_m$  ve  $\Theta_f$  terimleri,

$$\Theta_f = \hat{f}_z + i \frac{\hat{f}_x k_x + \hat{f}_y k_y}{|k|} \quad (2)$$

$$\Theta_m = \hat{m}_z + i \frac{\hat{m}_x k_x + \hat{m}_y k_y}{|k|} \quad (3)$$

eşitlikleriyle ifade edilir, ayrıca  $\hat{f} = (\hat{f}_x, \hat{f}_y, \hat{f}_z)$  manyetik alan yönündeki birim vektör,  $\hat{m} = (\hat{m}_x, \hat{m}_y, \hat{m}_z)$  ise mıknatıslanma yönündeki birim vektördür. Burada  $\Im[M(z')]$ ,  $z'$  derinliğindeki yapı boyunca bir yatay kesit üzerindeki mıknatıslanmanın Fourier dönüşümünü göstermektedir.  $\Theta_f$  ve  $\Theta_m$  terimleri manyetik belirtide bir evreye neden olmaktadır ve bu iki terim mıknatıslanma ve yer manyetik alan yönü ile ilgili tüm bilgileri içermektedir.

Mıknatıslanma dağılımı sabit kalıp, farklı bir yönde yer manyetik alanı ve mıknatıslanma ele alınırsa, 1 no.lu eşitlikte tanımlanan  $\hat{f}$  ve  $\hat{m}$  değişirken,  $M(x, y, z)$  ise değişmeden kalacaktır. Bu dönüşüm sonucunda elde edilen belirti Fourier ortamında

$$\Im[\Delta T_r] = \Im[\varphi_r] \Im[\Delta T] \quad (4)$$

ifadesiyle tanımlanır. Burada;  $\Im$  Fourier dönüşümünü,  $T$  manyetik anomaliiyi,  $T_r$  kutba indirgeme dönüşümünden sonra elde edilen anomaliiyi ve  $\varphi$  yer manyetik alanı ve manyetik anomaliiye neden olan yapının mıknatıslanmasına bağlı bir dönüşüm katsayısıdır. Dönüşüm sonucunda elde edilen anomali, kuzey yer manyetik kutbunda gibi ölçülmüş olan anomalidir. 4 no.lu eşitlikteki  $\varphi_r$ ,  $\Theta_m$  ve  $\Theta_f$ 'e bağlı bir değer olup  $\Im[\varphi_r]$ ,

$$\Im[\varphi_r] = \frac{1}{\Theta_m \Theta_f} = \frac{|k|^2}{a_1 k_x^2 + a_2 k_y^2 + a_3 k_x k_y + i|k|(b_1 k_x + b_2 k_z)} \quad (5)$$

$$|k| \neq 0$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada ,

$$a_1 = \hat{m}_z \hat{f}_z - \hat{m}_x \hat{f}_x \quad a_2 = \hat{m}_z \hat{f}_z - \hat{m}_y \hat{f}_y$$

$$a_3 = -\hat{m}_y \hat{f}_x - \hat{m}_x \hat{f}_y \quad b_1 = \hat{m}_x \hat{f}_z + \hat{m}_z \hat{f}_x$$

$$b_2 = \hat{m}_y f_z + \hat{m}_z f_y$$

olarak verilir.  $\mathfrak{I}[\varphi_r]$  ifadesinin uygulanması, kutba indirgeme işlemi olarak tanımlanmaktadır (Baranov ve Naudy, 1964).  $\Delta T_r$ , kuzey manyetik kutbunda ölçülmüş gibi olan belirtidir. Kutba indirgeme işlemi manyetik belirtideki kutuplanma yönlerinden kaynaklanan karışıklığı giderek, belirtileri yatay yönde kaynaklarının üzerine doğru kaydırmaktadır (Blakely, 1995).

### Yapma Gravite Alanı Yöntemi

Yapma gravite verisinin dönüşümle elde edilmesi süreci doğrusal bir süzgeç yardımıyla genellikle Fourier ortamında gerçekleşir. Yöntem,  $m(x, y, z)$  kutuplanma dağılımı üzerinde gözlemlenen manyetik belirtiyi, yoğunluğu  $\rho(x, y, z) = m(x, y, z)$  olma koşulunda gözlemlenecek gravite anomalisine dönüştürmektedir (Blakely ve Simpson, 1986). Yapma gravite verisinin hesaplanmasında yine Baranov (1957) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmaktadır. Poisson gravite ve manyetik potansiyel arasındaki ilişkiyi,

$$V = -\frac{C_m M}{\gamma \rho} \hat{m} \nabla_p U = -\frac{C_m M}{\gamma \rho} g_m \quad (6)$$

bağıntısıyla tanımlamıştır (Garland, 1951). Burada  $\rho$  yoğunluğu,  $M$  mıknatıslanma şiddetini,  $\hat{m}$  mıknatıslanma yönünü,  $g_m$   $\hat{m}$  mıknatıslanma yönündeki yerçekimi alanını,  $\gamma$  Newton'un çekim sabitini ifade etmekte ve bu ilişkide  $\rho$  ile  $M$ 'nin sabit olduğu kabul edilmektedir.

6 no.lu eşitliğin Fourier dönüşümü,

$$\mathfrak{I}[g_m] = -\frac{\gamma \rho}{C_m M} \mathfrak{I}[V] \quad (7)$$

toplam manyetik alan ile yerçekimi alanı arasındaki ilişki ise,

$$\mathfrak{I}[g_m] = -\frac{\gamma}{C_m |k| \Theta_f M} \mathfrak{I}[\Delta T] \quad (8)$$

bağıntısı ile verilir. 8 nolu eşitliğin her iki tarafı  $\Theta_m$ 'ye bölünürse,

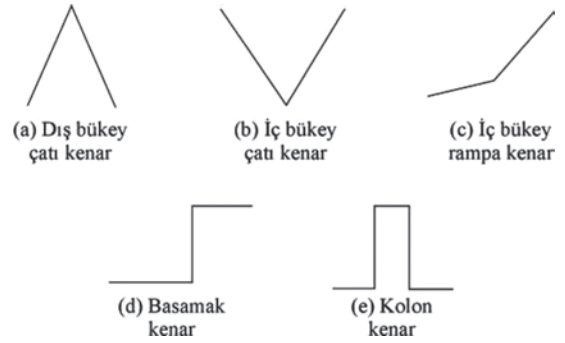
$$\mathfrak{I}[\Delta T_{psg}] = \mathfrak{I}[\Delta T] \mathfrak{I}[\psi_{psg}] \quad (9)$$

eşitliği elde edilir. Buradaki  $\mathfrak{I}[\psi_{psg}]$  yapma yerçekimini oluşturan süzgeçtir.

### Kenar Belirleme Yöntemi

Görüntü işleme, resimlerin modifiye edilmesi ve analizinin yapıldığı bir bilim dalıdır. Görüntülerin analizinin yapılabilmesi için öncelikle kenarlarının bulunması gerekir. Kenar bilgileri, sınır bilgisinin belirlenmesi veya görüntünün parçalara ayrılmasında etkin rol oynamaktadır. Kenar belirleme işleminin bir diğer önemi, cisimlerin tanımlanmasında en temel şekilsel bilgiyi ortaya koyması ve bu bilginin kullanılarak şekilsel olarak cismin yeniden oluşturulmasına olanak tanınmasıdır (Dhaliwal, 1990).

Kenarlar, çok geniş bir uygulama alanı içinde görüntü niteliklerinin analizi ve sınıflaması amacıyla kullanılmaktadır. Bir kenar, görüntü içeriğinde genellikle parlaklıktaki çok ani ve büyük bir değişim şeklinde tanımlanabilmektedir. En sık kullanılan beş tür kenar Şekil 1'de verilmiştir. Bunlar basamak, rampa, iç bükey, dış bükey ve kolon kenar olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1. En sık kullanılan kenar çeşitleri.  
Figure 1. Most used edge types.

Basamak kenar olarak adlandırılan kenar türü (Şekil 1d), görüntüdeki bir alanın çevresine göre çok belirgin bir şekilde parlak veya karanlık olması ile tanımlanmaktadır. Rampa kenar (Şekil 1c), gerçek görüntülerde çok sık karşılaşılan bir kenar türüdür. Bu tür kenarda geçiş çok ani olmayıp, birkaç pikselde gerçekleşmektedir. Çatı türü kenar (Şekil 1a ve 1b), görüntünün profilinde düzgün bir artış veya azalış

konusuysa ortaya çıkmaktadır. Bu tür kenarlar genelde cisim sınırlarından değil, kaynağın konumuna bağlı olarak cismin yüzey uzanımının doğrultusundaki değişimden etkilenmektedir. Kolon kenarlar (Şekil 1e), ters işaretli iki basamak kenarın çok kısa bir uzaklıkta bulunmasıyla oluşmaktadır. Pratikte bunlar dışında gürültülü kenar da sıklıkla gözlenebilmektedir.

Görüntü içeriğinde değişime neden olan faktörler; geometri, ışık miktarı, yansıtma ve gözlem noktasının konumudur (Marr ve Hildreth, 1980). İlk görsel çalışmalar bu faktörlerdeki değişimlerin görüntü üzerindeki etkilerinin araştırılması konusunda yapılmıştır. Kenar belirleme işleminin performansının veya etkinliğinin saptanması için 3 farklı ölçüt belirlenmiştir (Argialas ve Mavrantza, 2001). Bunlar kısaca aşağıda belirtilmiştir.

(a) İyi belirleme: Süzgeç, kenarın bulunduğu yerde ( $x=0$ ) gürültüden daha büyük bir tepki verebilmelidir.

(b) İyi yerleştirme: Süzgeç tepkisi  $x=0$  noktasına çok yakın bir yerde en büyük değer almalıdır.

(c) Az hatalı pozitifler:  $x=0$  noktasına yakın bir noktada sadece bir adet en büyük değer olmalıdır.

Ayrıca süzgeç tepkisinin istatistiksel dağılımı ve görüntülerin frekans içeriklerinin histogramları da performans değerlendirilmesinde kullanılan ölçütlerdendir (Konishi, 2003).

Jeofizik biliminde görüntü işleme teknikleri çok sıklıkla başvurulan yöntemler arasındadır. Yerin modellenmesini amaçlayan bu bilim dalında, yüzü etkilerinin çeşitli yöntemlerle yapılan ölçümler sonucunda belirlenmesi için toplanan verinin görsel bir hale getirilerek sunulması günümüz bilgisayar teknolojisiyle artık kaçınılmazdır. Görselliğin, yani görüntünün bulunduğu bir yerde bunun etkilerinin de mutlaka bilinmesi gerekmektedir. Jeofizikte tek boyutlu kesit amaçlı tekil profil ölçümleri, 2B haritalama amaçlı çoklu profil ölçümleri veya 3B modelleme amaçlı çoklu profil ölçümleri alınabilmektedir. Bunların sunumunun ne şekilde yapılacağı tamamen uygulayıcının seçimidir. Uygulamada 2B bir kabartı görüntüsüne (örneğin bir manyetik haritaya) hangi açıdan ışık verileceği anomalilerin konumu açısından çok önemlidir.

Jeofizik biliminde görsel işlemlerin en çok kullanıldığı alan ise helikopter, uçak veya uydulardan çekilen görüntülerin işlendiği uzaktan algılama yöntemidir. Süzen ve Toprak (1998)'in yaptığı çalı-

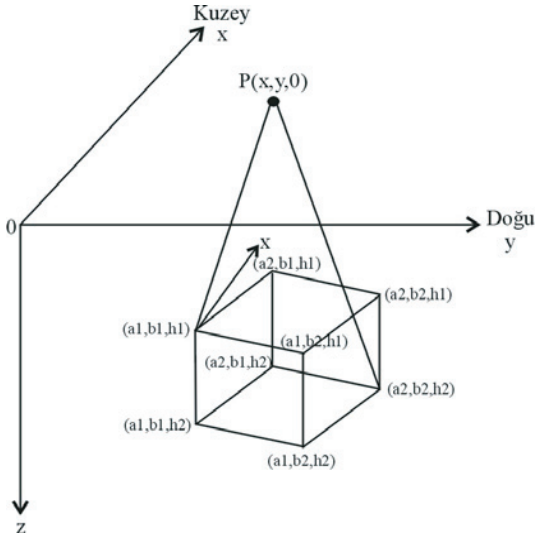
şma kenar belirleme yöntemlerinden yararlanılarak fay yapılarının akarsu konumlarının belirlenmesinde çok başarılı sonuçlar vermiştir. Ayrıca Timur (2008)'un VLF-EM eğim açısı verisiyle sismik yansıma kesitlerinin otomatik yorumlanması üzerine yaptığı bir çalışma da bulunmaktadır. Yapılan çalışmada tilt açısı verilerine uygulanan Fraser (1969) süzgeci sonucu ile kenar belirleme işlemlerinin sonuçlarının benzer olduğu belirlenmiştir. Sismik kesitlerdeki faylar, kenar belirleme işlemleri düşey yönde kullanılarak saptanmıştır.

Bu çalışmada, kuramsal ve arazi verileri önce yapay gravite haritasına dönüştürülmüş daha sonra sınır belirleme amaçlı olarak Canny (1983; 1986), Sobel (Sobel ve Feldman, 1968) ve Prewitt (1970) operatörleri uygulanmıştır. Elde edilen sınırlar ters çözümde başlangıç modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Yazılan MATLAB tabanlı programda tüm görüntüler  $1000 \times 1000$  piksel boyutlarında 16-bit renk derinliğinde kaydedilmiştir. Ayrıca belirlenecek kenar miktarını denetleyen parametreye eşik değeri (threshold), hazırlanan kaynak kod içerisinde görüntüyü tarayarak ortalama değeri otomatik olarak belirlemektedir.

## ÜÇ-BOYUTLU TERS ÇÖZÜM

Manyetik verilerin 3B modellenmesi için geometrik olarak düşey konumlanmış prizmatik modellerin kullanılması çok sık kullanılan bir yöntemdir. Pratikte miktatsızlanmış cisimler birbirlerine yakın konumlarda bulduklarından, modelleme sırasından birden fazla prizma kullanılmaktadır. Bu prizmalardan kaynaklanan anomalilerin yinelemeli ters çözümünde sönümlü en-küçük kareler (Marquardt, 1963) yöntemi sıklıkla uygulanmaktadır. Hesaplama süresini azaltmak amacıyla Bhat-tacharya (1980) normal bağıntıların çözümünü geliştirmiştir. Rao ve Babu (1991 ve 1993) yaptıkları çalışmada anomali ve türevlerin hesaplanması için yaklaşık bağıntılar elde etmişler ve hesaplamada bunları kullanarak işlem zamanını azaltmışlardır. Çizgi kütle olarak bir prizmanın (Şekil 2) neden olduğu belirti,

$$\Delta T(x, y, 0) = A \left[ (G_1 \beta + G_2 \alpha) \left( \frac{1}{R_1^3} - \frac{1}{R_2^3} \right) + \frac{G_3 C_1 \beta}{(\alpha^2 + \beta^2)} - \frac{G_4 (C_1 \beta^2 + C_2)}{(\alpha^2 + \beta^2)} - \frac{G_5 (C_1 \alpha^2 + C_2)}{(\alpha^2 + \beta^2)} \right] \quad (10)$$



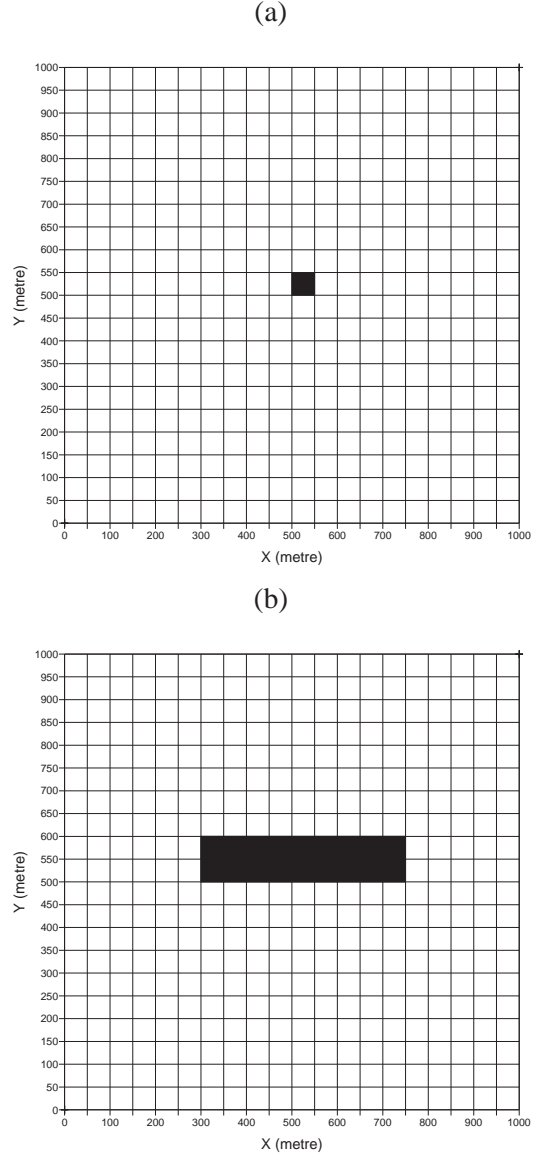
Şekil 2. Üç-boyutlu dikdörtgen prizma (Rao ve Babu, 1993'ten düzenlenmiştir).  
Figure 2. Three-dimensional rectangular prism (modified from Rao and Babu, 1993).

ifadesiyle tanımlanmaktadır (Rao ve Babu, 1991). Burada;  $A$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$  ve  $C_2$  geometrik parametreler,  $G_1 - G_5$  ise fiziksel parametrelerdir. Bu çalışmada Rao ve Babu (1993)'ün 3B ters çözüm için geliştirdiği yöntem kullanılmıştır.

### KURAMSAL ÇALIŞMALAR

Kuramsal çalışmalar, farklı eğim açıları ve farklı konumlar için prizmatik modeller üzerinde gerçekleştirilmiştir. Düz çözüm çalışmalarında Blakely (1995)'nin önerdiği eşitlik kullanılmıştır. Haritaların elde edilmesinden sonra kutba indirgeme ve yapay gravite haritasına dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada kutba indirgenmiş haritalar yapı konumu için ön bilgi elde edilmesi amacıyla kullanılmış olup, yerçekimi haritalarına kenar belirleme yöntemi için Sobel, Prewitt ve Canny operatörleri uygulanmıştır. Belirlenen yapı yerleri 3B ters çözümde geometrik başlangıç modeli için kullanılmıştır. Tek yapı için kullanılan model kesiti Şekil 3a'da, tek uzun yapı (duvar modeli) için kullanılan model kesitleri ise Şekil 3b'de görülebilmektedir. Kenar belirleme işlemi için haritalar 1000×1000 piksel 16-bit olarak kaydedilmiş ve işlem uygulanmıştır. Kullanılan yöntemde,  $X_1$  ve  $X_2$ , x eksenindeki koordinatları,  $Y_1$  ve

$Y_2$ , y eksenindeki koordinatları,  $Z_1$ , prizmatik yapının üst yüzeyinin derinliğini,  $Z_2$ , prizmatik yapının alt yüzeyinin derinliğini,  $I_0$ , eğim açısını,  $D_0$ , sapma açısını,  $\Theta$ , yapının x eksenine yaptığı açısı,  $EI$  ise mıknatıslanma şiddetini ifade etmektedir.



Şekil 3. (a)  $I=45^\circ$  ve  $90^\circ$  için kullanılan tek prizma modeli ve (b)  $I=90^\circ$  için kullanılan uzun prizma model kesitleri.  
Figure 3. Model sections of (a) single prism for  $I=45^\circ$  and  $90^\circ$  and (b) long prism for  $I=90^\circ$ .

Yapılan ilk kuramsal çalışmada (Çizelge 1), 50 m uzunluğunda, 50 m genişliğinde, üst yüzeyinin derinliği 50 m olan ve 50 m kalınlığa sahip bir prizmatik yapının  $I_0=45^\circ$  için toplam manyetik

alan belirtisi hesaplanmıştır (Şekil 4a). Daha sonra bu verilere kutba indirgeme ve yapay gravite dönüşümü yapılmıştır (Şekil 4b ve 4c). Elde edilen yapay gravite haritalarına üç farklı kenar belirleme operatörü ters çözüme katkı sağlamak için sınır analizi amacıyla uygulanmıştır (Şekil 5a, 5b ve 5c). Elde edilen yapı konumu ters çözümde başlangıç model geometrisinde kullanılmış ve ters çözüm sonucu ile birlikte sunulmuştur (Şekil 5d). Bu uygulamada, Canny işleci yapının sağ sınırını belirlemede başarısız iken Prewitt ve Sobel işleçleri, yapı sınırını göreceli olarak daha iyi belirlemiştir.

İkinci kuramsal çalışmada (Çizelge 2), 50 m uzunluğunda, 50 m genişliğinde, üst yüzeyinin derinliği 50 m olan ve 50 m kalınlığa sahip bir prizmatik yapının  $I_o=90^\circ$  için toplam manyetik alan değerleri hesaplanarak haritalanmıştır (Şekil 6a). Daha sonra bu verilere kutba indirgeme ve yapay gravite dönüşümü uygulanmıştır (Şekil 6b ve 6c). Elde edilen

yapay gravite haritalarına üç farklı kenar belirleme operatörü ile sınır analizi yapılmıştır (Şekil 7a, 7b ve 7c). Belirlenen yapı konumu ters çözümde başlangıç model geometrisinde kullanılmış ve ters çözüm sonucu ile birlikte sunulmuştur (Şekil 7d). Yapılan çalışma sonucunda her 3 işleç de yapı sınırını başarılı olarak belirlemiştir. Burada Canny işlecinde sınır sürekliliğinin diğer iki işlece göre daha iyi olduğu söylenebilir.

Üçüncü kuramsal çalışmada (Çizelge 3), 450 m uzunluğunda, 100 m genişliğinde, üst yüzeyinin derinliği 50 m olan ve 50 m kalınlığa sahip bir prizmatik yapının  $I_o=90^\circ$  için toplam manyetik alan belirtisi hesaplanarak haritalanmıştır (Şekil 8a). Daha sonra bu verilere kutba indirgeme ve yapay gravite dönüşümü uygulanarak haritalanmıştır (Şekil 8b ve 8c). Elde edilen yapay gravite haritalarına üç farklı kenar belirleme operatörü ters çözüme katkı sağlamak için sınır analizi amacıyla uygulanmıştır

Çizelge 1. Birinci modele ait parametre değerleri.

Table 1. Parameter values of the 1st model.

Kuramsal Model	$X_1$ (m)	$X_2$ (m)	$Y_1$ (m)	$Y_2$ (m)	$Z_1$ (m)	$Z_2$ (m)	$I_o$ (o)	$D_o$ (o)	$\Theta$ (o)	EI (cgs)
Model 1	500	550	500	550	50	100	45	0	0	1
Başlangıç değerleri	450	550	490	600	50	100	45	0	0	1.3
Ters çözüm sonucu	499	550	500	548.1	49	98	44.8	0.2	0	0.98

Çizelge 2. İkinci modele ait parametre değerleri.

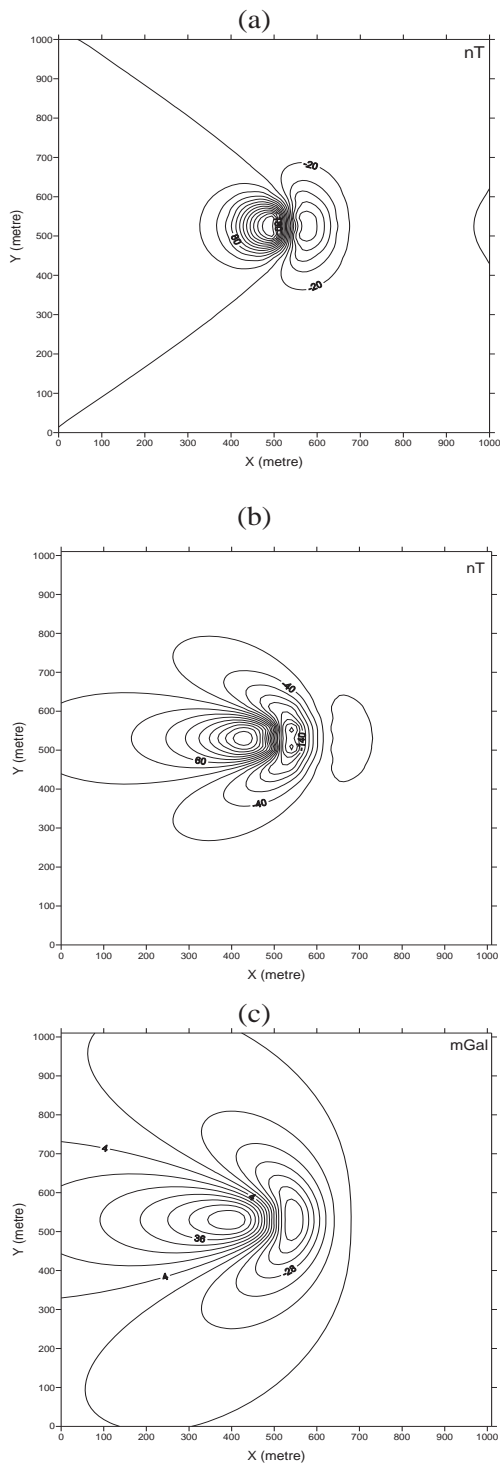
Table 2. Parameter values of the 2nd model.

Kuramsal Model	$X_1$ (m)	$X_2$ (m)	$Y_1$ (m)	$Y_2$ (m)	$Z_1$ (m)	$Z_2$ (m)	$I_o$ (o)	$D_o$ (o)	$\Theta$ (o)	EI (cgs)
Model 2	500	550	500	550	50	100	90	0	0	1
Başlangıç değerleri	450	550	490	600	50	100	90	0	0	1.2
Ters çözüm sonucu	498	549	501	548.7	48.7	99.2	90	0	0	1

Çizelge 3. Üçüncü modele ait parametre değerleri.

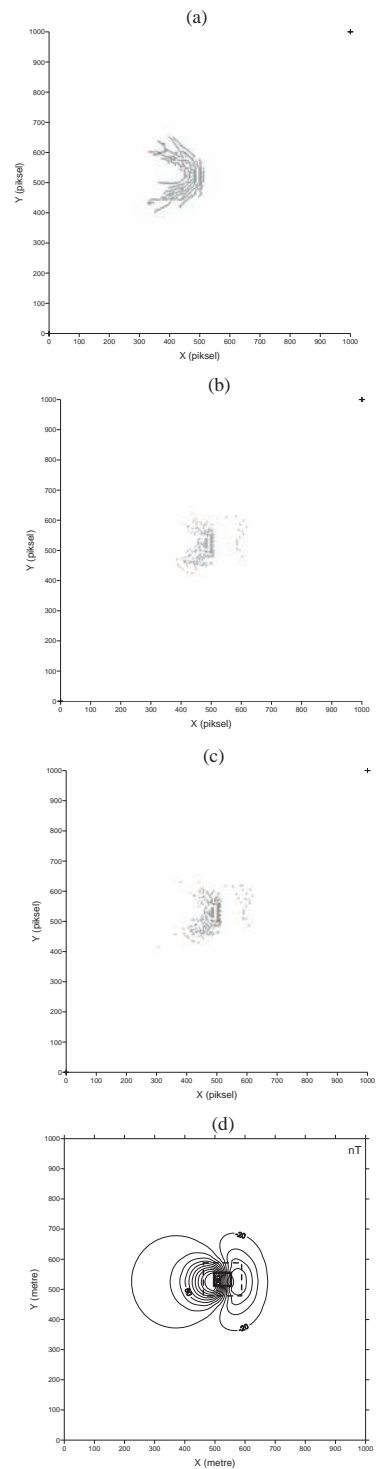
Table 3. Parameter values of the 3rd model.

Kuramsal Model	$X_1$ (m)	$X_2$ (m)	$Y_1$ (m)	$Y_2$ (m)	$Z_1$ (m)	$Z_2$ (m)	$I_o$ (o)	$D_o$ (o)	$\Theta$ (o)	EI (cgs)
Model 3	300	750	500	600	50	100	90	0	0	1
Başlangıç değerleri	350	900	550	700	50	100	90	0	0	1.2
Ters çözüm sonucu	298	648.3	504	596.7	48.7	99.2	90	0	0	1.1



Şekil 4. (a)  $I=45^\circ$  için birinci model yapının kuramsal manyetik anomali, (b) kutba indirgenmiş manyetik anomali ve (c) yapay gravite anomali haritaları.

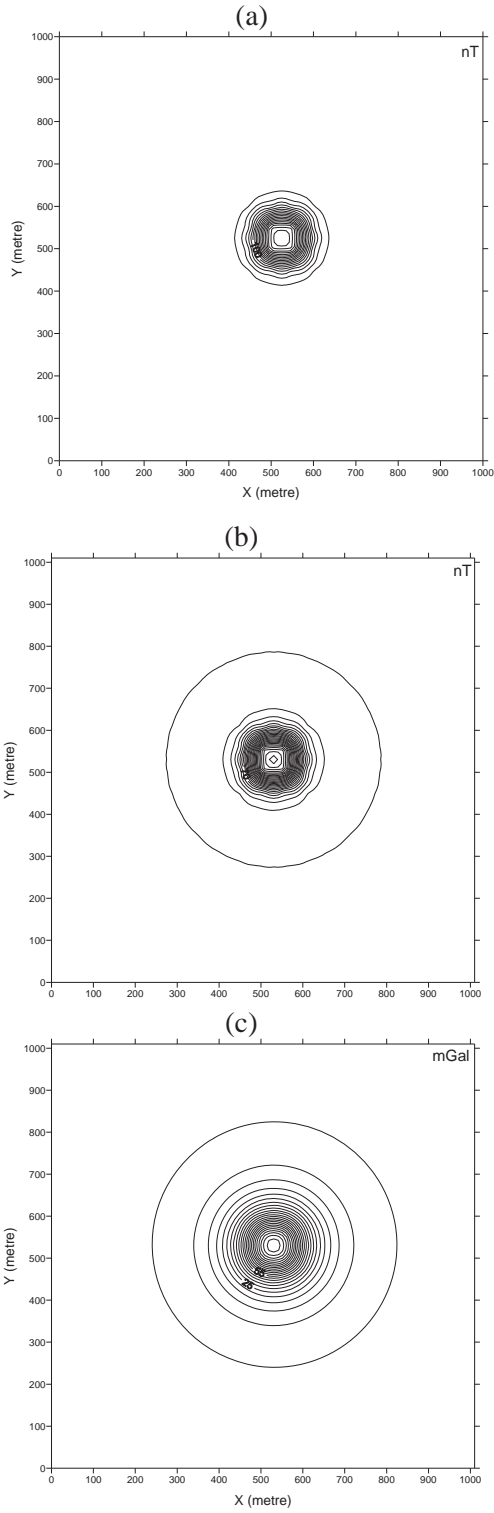
Figure 4. (a) Theoretical magnetic anomaly map for  $I=45^\circ$ , (b) reduced to pole magnetic anomaly, (c) pseudo-gravity maps of the first model.



Şekil 5 Birinci modelin yapay yerçekimi anomali haritasına, (a) Canny, (b) Prewitt ve (c) Sobel operatörleri uygulanmış haritalar, (d) kullanılan başlangıç modeli (kesikli çizgi) ve ters çözüm sonucunda ulaşılan model (düz çizgi).

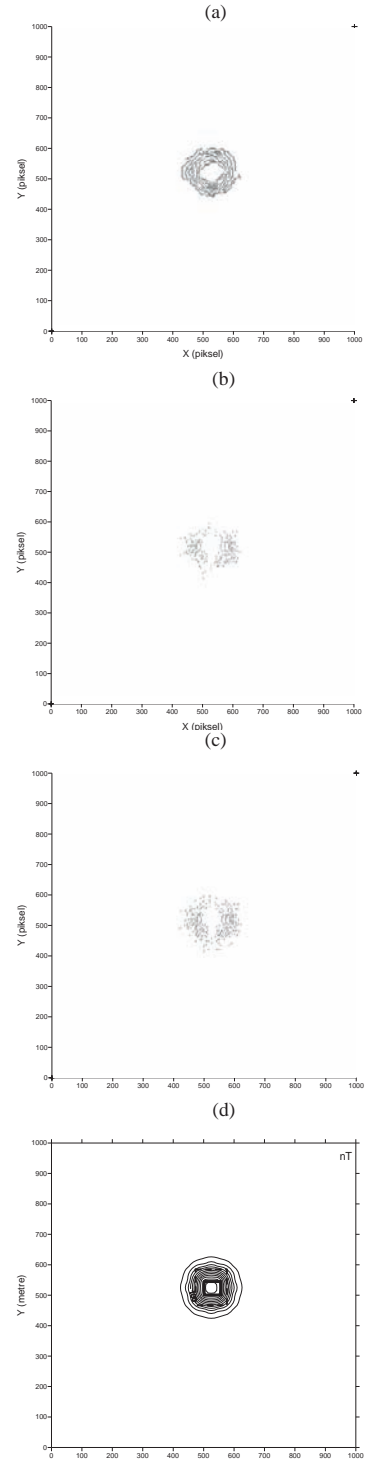
Figure 5. Operators of (a) Canny, (b) Prewitt, (c) Sobel applied to the maps obtained from the pseudo-gravity map of the first model, (d) initial model (dashed line) and the model obtained after inversion (solid line).





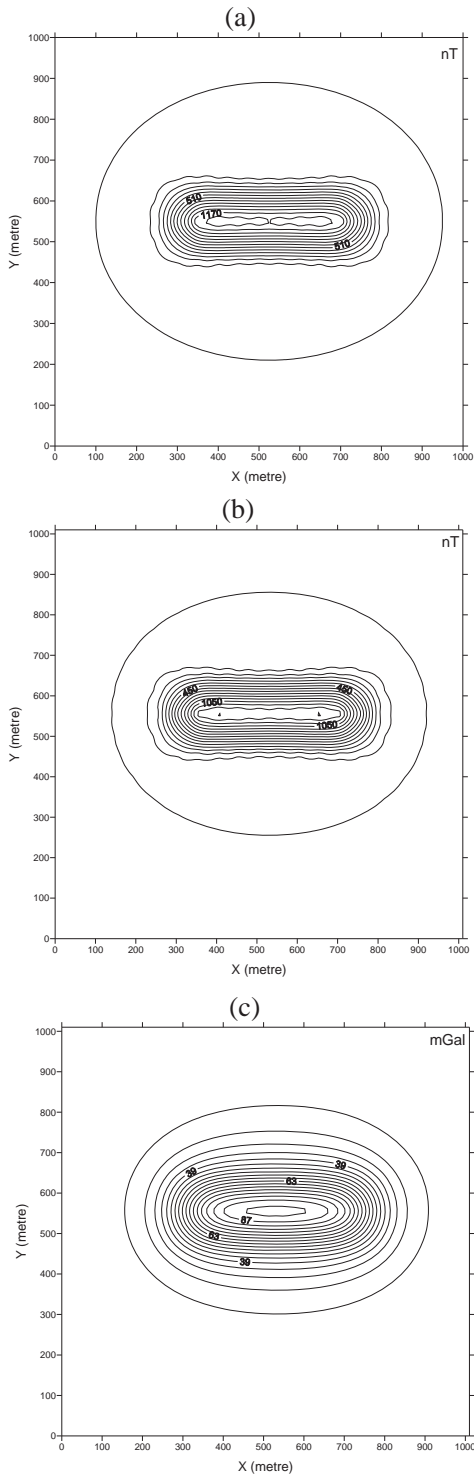
Şekil 6. (a)  $l=90^\circ$  için 2. model yapının kuramsal manyetik, (b) kutba indirgenmiş anomali ve (c) yapay yerçekimi anomali haritaları.

Figure 6. (a) Theoretical magnetic anomaly map for  $l=90^\circ$ , (b) reduced to pole magnetic anomaly, (c) pseudo-gravity maps of the second model.



Şekil 7. İkinci modelin yapay gravite anomali haritasına, (a) Canny, (b) Prewitt ve (c) Sobel operatörleri uygulanmış haritaları, (d) ikinci modelde kullanılan başlangıç modeli (kesikli çizgi) ve ters çözüm uygulanması sonucunda ulaşılan model (düz çizgi).

Figure 7. Operators of (a) Canny, (b) Prewitt, (c) Sobel applied to the maps obtained from the pseudo-gravity map of the second model, (d) Initial model (dashed line) and the model obtained after inversion (solid line).



Şekil 8. (a)  $I=90^\circ$  için 3. model yapının kuramsal manyetik anomali, (b) 3. modelin kutba indirgenmiş anomali ve (c) 3. modelin yapay yerçekimi anomali haritaları.

Figure 8. (a) Theoretical magnetic anomaly map for  $I=90^\circ$ , (b) reduced to pole magnetic anomaly, (c) pseudo-gravity maps of the third model.

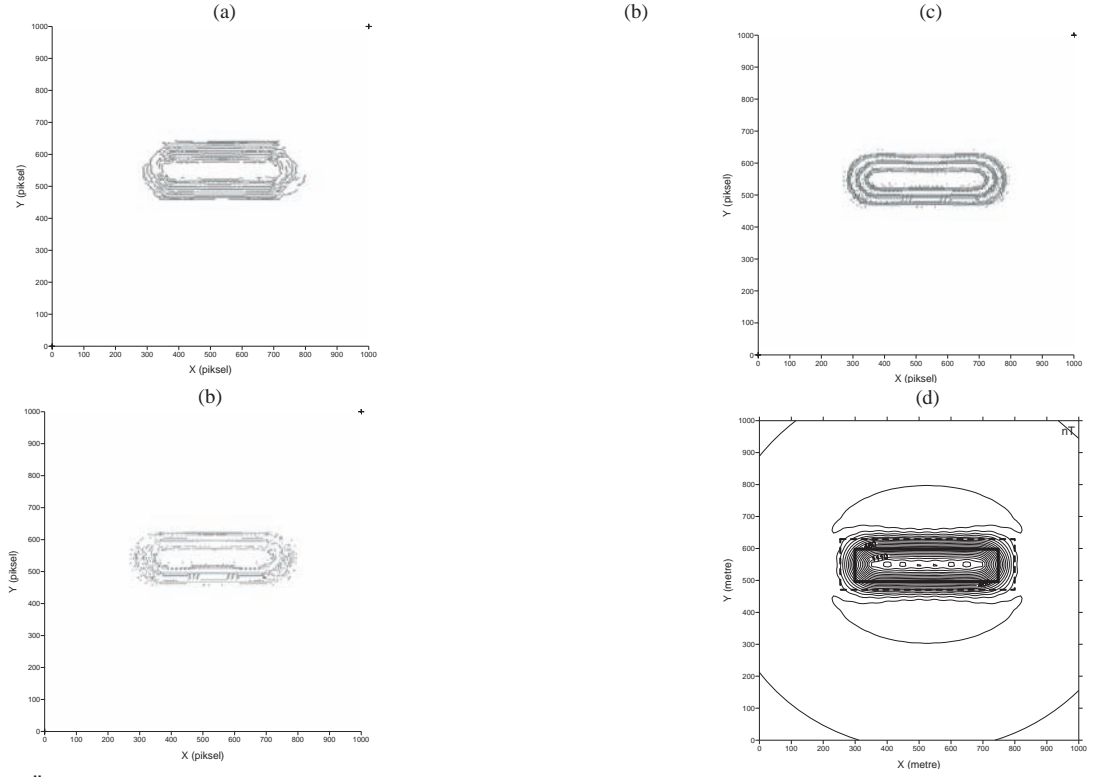
(Şekil 9a, 9b ve 9c). Elde edilen yapı konumu, ters çözümde başlangıç model geometrisinde kullanılmış ve ters çözüm sonucu ile birlikte sunulmuştur (Şekil 9d). Sonuç olarak Canny ve Sobel işleçleri, Prewitt işlecine göre daha sürekli kenarlar oluşturarak yapı sınırını daha iyi belirlemişlerdir.

Yapılan çalışmalarda farklı eğim açısının ve yapı şeklinin, kenar belirleme işleçleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunun amacı, görüntü işlemede kullanılan bir yöntemin sınır analizi amacıyla kullanılabilirliğini sınamaktır. Sonuç olarak elde edilen kenar haritalarının, yapay gravite haritalarındaki eğim açısının  $90^\circ$ 'den farklı değerleri için saçılım gösterdiği belirlenmiştir. Eğim açısının  $90^\circ$  olduğu durumda ise, yapı konumu kesin olarak belirlenmektedir. Farklı kenar belirleme işleçlerinin karşılaştırmalı olarak kullanılması yapılabilecek hataların önüne geçebilmek için yararlı olmaktadır. Kutba indirgenmiş manyetik anomali haritaları da, yapay gravite haritaları ile birlikte değerlendirildiğinde yapı konumu ile ilgili ön bilgi sağlamaktadır.

### İNCELEME ALANININ TANITIMI

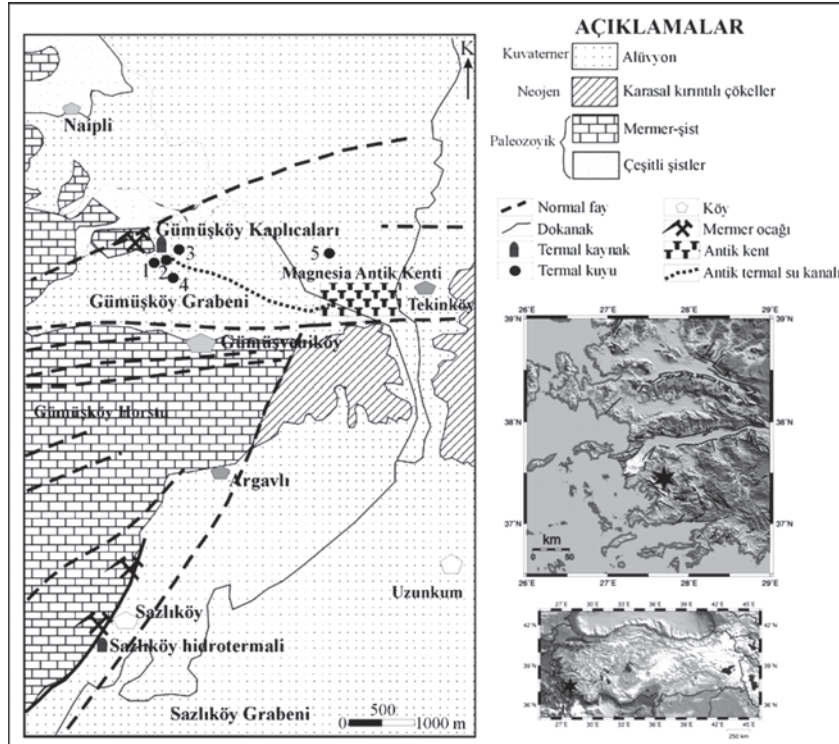
Magnesia ad Meandrum (Menderes Magnesiası); Aydın ili, Germencik ilçesi Ortaklar beldesine bağlı Tekinköy sınırları içinde ve Ortaklar-Söke karayolunun üzerinde yer almaktadır. Kent, efsaneye ve antik kaynaklara göre, Thessalia'dan gelen ve Magnetler olarak adlandırılan bir kavim tarafından kurulmuştur (Bingöl, 2005). Hellenistik dönemde, önce Seleukos, ardından Bergama Krallığı'nın egemenliğine giren Magnesia, Roma döneminde önemini korumuş, Bizans döneminde de piskoposluk merkezi olmuştur. Kent suru ile çevrili, yaklaşık 1.5 km çapında bir alanı kapsayan, izgara planlı cadde ve sokak sisteminde bir kent olan Magnesia; Priene, Ephesos ve Tralleis üçgeni arasında ticari ve stratejik açıdan önemli bir konumdaydı. Magnesia antik kenti, insan kaynaklı fazla yıkım ve tahribata uğramamıştır. Bunda nehir taşmalarının ve Gümüş Dağı'ndan inen yağmur sularının getirdiği mil tabakasının kenti örtmesinin de payı yüksektir. Kent M.S.'17 de yıkıcı bir deprem geçirdiği için oldukça hasar görmüştür (Bingöl, 2005).

Jeolojik açıdan bölgede, temeli Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfikleri yer almaktadır. Bunlar Büyük Menderes çöküntüsünün dışında kalan yükselim bölgelerinde geniş yüzlekler vermektedirler (Şekil 10). Metamorfikler; gneys,



Şekil 9. Üçüncü modelin yapay gravite anomali haritasına, (a) Canny, (b) Prewitt ve (c) Sobel operatörleri uygulanmış haritaları, (d) 3. modelde kullanılan başlangıç modeli (kesikli çizgi) ve ters çözüm uygulanması sonucunda ulaşılan model (düz çizgi).

Figure 9. Operators of (a) Canny, (b) Prewitt, (c) Sobel applied to the maps obtained from the pseudo-gravity map of the third model, (d) Initial model (dashed line) and the model obtained after inversion (solid line).



Şekil 10. Çalışma alanının yer bulduru ve jeoloji haritaları (Tarcan ve Gemici, 2001'den değiştirilerek alınmıştır).  
Figure 10. Location and geology maps of the study area (modified from Tarcan and Gemici, 2001).

çeşitli şistler, mermer, kuvarsit ve serpantinitten oluşmuştur (Tarcan ve Gemici, 2001). Bölgede Akdeniz iklimi egemen olup, kışın yağın yağmurların alandan tahliye edilememesi nedeniyle Artemis kutsal alanı ve Anıtsal Giriş Alanı (Propylon) yılın 7-8 ayı boyunca su altında kalmaktadır.

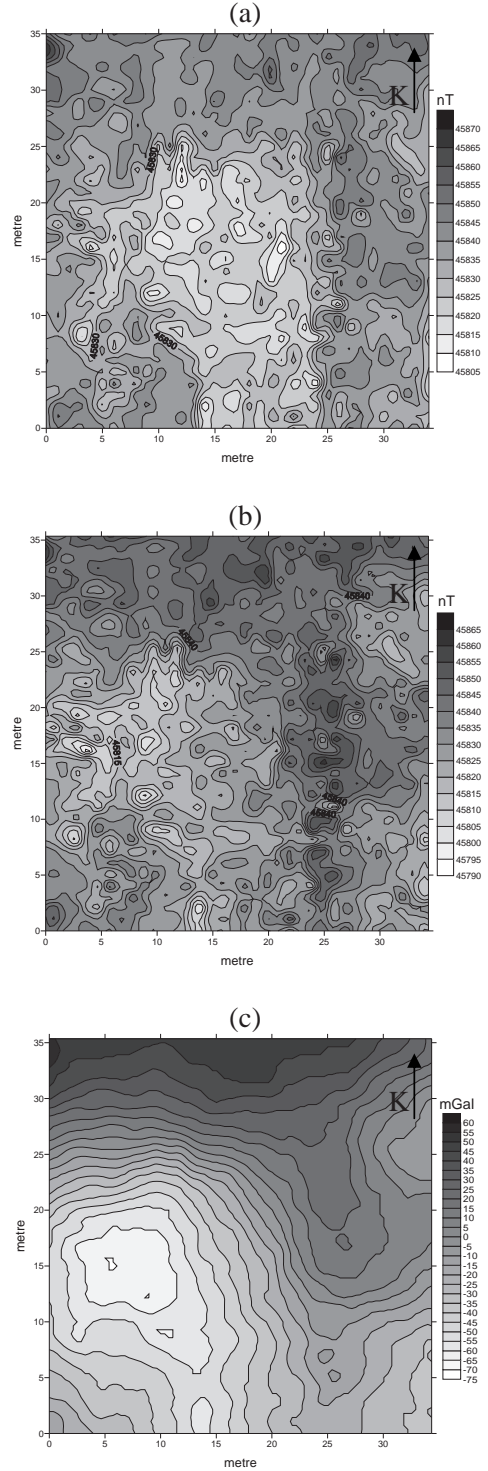
## ARAZİ UYGULAMALARI VE DEĞERLENDİRMELER

Kuramsal çalışmaların saha verileri üzerinde uygulanması amacıyla Magnesia Arkeolojik Alanı Agora'sı içinde bulunan Zeus tapınağının yerini belirlemek için toplam manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmalar toplam 35 profil üzerinde G-K yönünde alınmıştır. Ölçüm ve profil aralıkları ise 1 m'dir. Bu ölçümlere ait toplam manyetik anomali haritası (Şekil 11a), kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası (Şekil 11b), yapma gravite anomali haritası (Şekil 11c), kenar belirleme yöntemi uygulamaları (Şekil 12a, 12b, 12c) ve ters çözüm sonucu (Şekil 12d) aşağıda sunulmuştur.

Veri işlem çalışmaları sonucunda yapının konumu ve derinliği belirlenmiştir (Çizelge 4). Elde edilen konum ve derinlik değerleri çalışılan arkeolojik alanın genel özellikleri ile uyum göstermektedir. Alan genelinde kazılarak açığa çıkarılmış tüm yapılar yaklaşık 1-2 m derinlikte olup, belirlenen tapınak konumu Agora'nın güneyinde orta kısımdadır.

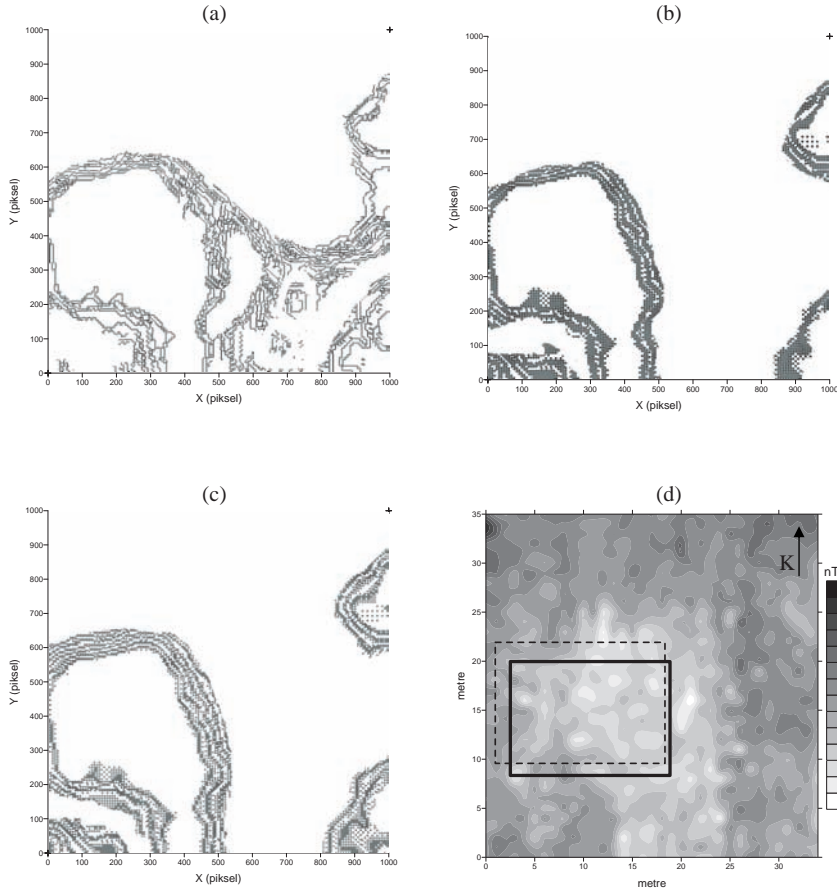
## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, kenar belirleme yönteminin bir sınır analizi yöntemi olarak manyetik veriler üzerinde denenmesi ve Magnesia Arkeolojik Alanı Agora'sında (Aydın) bulunan Zeus tapınağının yerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan Sobel, Canny ve Prewitt operatörlerin hepsi yapma yerçekimi anomali haritası üzerinde denenmiş ve yapı yerleri başarıyla saptanmıştır. Anomali haritaları incelendiğinde yapıların çevre sınırlarının belirlenmesi işleminin, her 3 operatörde de eğim açısının 90°'ye yakın olduğu durumlarda daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Yapılan kuramsal çalışmalarda bu yöntemin sınır belirlemede başarılı



Şekil 11. (a) Agora'da toplanan veriden hazırlanan toplam manyetik alan anomali, (b) kutba indirgenmiş manyetik anomali ve (c) yapay yerçekimi anomali haritası.

Figure 11. Maps of (a) total magnetic field anomaly, (b) reduced to pole magnetic anomaly and (c) pseudo-gravity anomaly for the data collected in the Agora.



Şekil 12. Agora verisinin yapay gravite anomali haritasına, (a) Canny, (b) Prewitt ve (c) Sobel operatörleri uygulanmış haritaları, (d) Agora verisinin ters çözümünde kullanılan başlangıç modeli (kesikli çizgi) ve ters çözüm uygulanması sonucunda ulaşılan model (düz çizgi).

Figure 12. Operators of (a) Canny, (b) Prewitt, (c) Sobel applied to the maps obtained from the pseudo-gravity map of Agora, (d) initial model (dashed line) and the model obtained after inversion (solid line).

Çizelge 4. Arazi verisine ait parametre değerleri.

Table 4. Parameter values of the field data.

Arazi Verisi	$X_1$ (m)	$X_2$ (m)	$Y_1$ (m)	$Y_2$ (m)	$Z_1$ (m)	$Z_2$ (m)	$I_0$ (o)	$D_0$ (o)	$\Theta$ (o)	EI (cgs)
Başlangıç değerleri	1.5	17	9.5	22	2	5	57	3	0	1
Ters çözüm sonucu	2.5	18.4	8.3	20	2.75	4.6	48	7.4	0	2.3

olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar ek bilgi elde edilmesi amacıyla hazırlanan kutba indirgenmiş manyetik anomali haritalarıyla da uyumludur. Ayrıca, model verilerine uygulanan yinelemeli ters çözüm sonuçlarının da başlangıç model parametrelerine yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Eğim açısının  $90^\circ$ 'den farklı olduğu durumlarda, yapay gravite haritalarının

sadece pozitif değerlerin haritalanarak görüntü haline getirilmesi ve kenar belirleme işleçlerinin uygulanmasının saçılma sorununun önüne geçebileceği düşünülmektedir. Böylece yapay gravite haritalarında da gözlenen ikincil anomali kapanımlarının da etkisi giderilecek ve  $I_0 \neq 90^\circ$  olduğu durumlarda daha kesin bir yapı konumu elde edilecektir.

Kenar belirleme yöntemlerinin kullanılmasında özellikle verinin kontur haritasından görüntü şekline dönüştürülmesi sırasında çok dikkatli olunmalıdır. Elde edilen arazi verisi 35×35 m boyutlarında toplandığı için kaydedilecek görüntünün mutlaka bu oranın katlarından birisi olması gerekmektedir. Bu çalışmada, sabit oran (35/35=1) göz önüne alınarak, tüm görüntüler 1000×1000 piksel boyutlarında 16-bit renk derinliğinde kaydedilmiştir. Bu orana dikkat edilmemesi halinde, belirlenecek yapı yerleri gerçek yerlerinden farklı konumlarda gözlenecektir.

Agora'da yapılan çalışmalar sonucunda toplam manyetik alan verisi toplanmış ve haritalanmıştır. Her üç kenar belirleme işleci de olası tapınak yerinin sınırını oldukça başarılı bir biçimde belirlemiştir. Saptanan köşe koordinatları ters çözümden başlangıç modelinde kullanılarak, 15.9 m uzunluğunda, 11.7 m genişliğinde, 2.75 m derinliğinde ve 1.85 m kalınlığında olası bir yapı belirlenmiş ve kazı için önerilmiştir. Aynı konum, kutba indirgenmiş manyetik anomali haritasında da gözlenmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aitken, M. J., 1974. *Physics and Archeology*. 2nd Edition, Clarendon Press, Oxford.
- Aitken, M. J., Webster, G., and Rees, A., 1958. Magnetic prospecting. *Antiquity*, 32, 270-271.
- Argialas, D. P., and Mavtranza, O. D., 2001. Comparison of edge detection and hough transform techniques for the extraction of geologic features. *IEEE The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34, p.30.
- Atkinson, R. J. C., 1952. *Methodes electriques de prospection en arceologie*. A. Laminig (ed.), *La Decouverte Du Passe*, Picard, pp. 59-70.
- Baranov, V., 1957. A new method for interpretation of aeromagnetic maps pseudo-gravimetric anomalies. *Geophysics*, 22, 359-383.
- Baranov, V., and Naudy, H. 1964. Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole. *Geophysics*, 29, 67-79.
- Bingöl, O., 2005. *Menderes Magnesiası/Magnesia on the Meander: Theatron*. Homer Yayınları, İstanbul.
- Başokur, A. T., 1992. *Magnesia ad Meandrum (Ortaklar) Argavlı Tümülüsünde jeofizik çalışmalar*. VIII. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, Ankara, p. 2.
- Bhattacharya, B. K., 1980. A generalized multi-body for inversion of magnetic anomalies. *Geophysics*, 45, 255-270.
- Blakely, R. J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press, London.
- Blakely, R. J., and Simpson, R. W., 1986. Approximating edge of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics*, 51, 1494-1498.
- Candansayar, M. E., and Başokur, A. T., 2001. Detecting small-scale targets by the 2-D inversion of two-sided three-electrode data: application to an archaeological survey. *Geophysical Prospecting*, 49, 13-25.
- Canny, J. F., 1983. Finding edges and lines in images. MIT Artificial Intelligence Laboratory Technical Report, TR-720.
- Canny, J. F., 1986. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8, 679-714.
- Dhaliwal, J. S., 1990. A comparative study of edge detection techniques. MSc Thesis, New Jersey Institute of Technology, New Jersey, USA (unpublished).
- Drahor, M. G., 1998. Arkeoloji jeofiziği: Arkeojeofizik-I. *Arkeoloji ve Sanat*, 87, 16-25.
- Drahor, M. G. ve Şengül, E. 1999. Acemhöyük, Amorium, Burgaz ve Ulucak Höyükte uygulanan geniş ölçekli jeofizik çalışmalar. *Arkeoloji ve Jeofizik Çalıştayı*, İzmir, p. 25.
- Drahor, M. G., Kaya, M. A., Bayrak, M., İlkışık, O. M. ve Öztan, A., 1999. Acemhöyük'ten manyetik ve elektromanyetik-VLF sonuçları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1 (2), 5-17.
- Ekinci, Y. L., 2005. Amorium antik kentinin man-

- yetik yöntemle araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Erdem, E., 2002. Kerkenes (Yozgat) Sahasında Arkeolojik Amaçlı Jeofizik Çalışmalar. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Fraser, D. C., 1969. Countouring of VLF-EM data. *Geophysics*, 34, 958-967.
- Garland, G. D., 1951. Combined analysis of gravity and magnetic anomalies. *Geophysics*, 16, 1-62.
- Kaya, M. A., Şeren, A., Balkaya, Ç., Şengül, E. ve Yiğit, P., 2003. Amorium antik kenti 2002 yılı arkeoloji jeofiziği araştırmaları. Türkiye 15. Jeofizik kurultayı ve Sergisi Bildiri Özetleri Kitabı, İzmir, s. 25.
- Konishi, S., 2003. Statistical Edge Detection: Learning and Evaluating Edge Cues. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 25 (1), 57-74.
- Leu, L., 1982. Use of reduction-to-the-equator process for magnetic data interpretation. *Geophysics*, 47, 445-450.
- Li, Y., and Oldenburg D. W., 1998. Separation of regional and residual magnetic field data. *Geophysics*, 63, 431-439.
- Li, Y., and Oldenburg, D. W. 2000. Reduction to the pole using equivalent sources. 60th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, pp. 386-389.
- Marr, D., and Hildreth, E. C., 1980. A theory of edge detection. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, B(207), pp.187-217.
- 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.
- Özyalın, Ş., 2003. Potansiyel alanlarda otomatik değerlendirme teknikleri ve arkeolojik alanlarda uygulanması. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Pearson, W. C., and Skinner, C. M., 1982. Reduction-to-the-pole of low latitude magnetic anomalies. 52nd Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, p. 356.
- Prewitt, J. M. S., 1970. "Object enhancement and extraction" in picture processing and psychopictorics. Academic Press, New York, pp. 75-149.
- Rao, D. B., and Babu, N. R., 1991. A rapid method for three-dimensional modeling of magnetic anomalies. *Geophysics*, 56 (11), 1729-1737.
- Rao, D. B., and Babu, N. R., 1993. A Fortran-77 computer program for three-dimensional inversion of magnetic anomalies resulting from multiple prismatic bodies. *Computers & Geosciences*, 19 (6), 781-801.
- Sobel, I., and Feldman, G., 1968. A 3x3 isotropic gradient operator for image processing. John Wiley and Sons, New York.
- Süzen, M. L., and Toprak, V., 1998. Filtering of satellite images in geological lineament analyses: an application to a fault zone in Central Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 1101-1114.
- Tarcan, G., and Gemici, Ü., 2001. Hydrogeochemistry of the Gümüşköy and Sazlıköy geothermal fields, Aydın, Turkey. *Water-Rock Interaction 2001, Cidu-Italy*, Swets & Zeitlinger, Lisse, Proceedings, 2, pp.931-934.
- Timur, E., 2003. VLF Yönteminin Arkeolojik Alanlarda Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Timur, E., 2008. Kenar belirleme yöntemleri kullanılarak tilt açısı verilerinin ve sismik kesitlerin yorumlanması. *Yüzeye Yakın Yapıların Belirlenmesinde Jeofizik ve Uzaktan Algılama Sempozyumu*, İzmir, pp.104-107.
- Yaramancı, A., 1970. Keban projesi jeofizik araştırmaları ön raporu: 1968 yaz çalışmaları. ODTÜ Keban Projesi Yayınları, Seri:1, Yayın:1, Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara.

