

Manyetik Düşey Gradyometre Yönteminde Farklı Alıcı Aralıklarının Seçimi

The Selection of Different Sensor Intervals in Vertical Magnetic Gradiometer Method

MUZAFFER ÖZGÜ ARISOY¹, CEMAL KAYA²

¹ Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığı, 06800 Çankaya, ANKARA

² Kayen Enerji Koza Sokak 37/6, GOP Çankaya, Ankara

Geliş (received) : 09 Ocak (January) 2014

Kabul (accepted) : 18 Temmuz (July) 2014

ÖZ

Bu çalışmada, yakın yüzey araştırmalarında yaygın olarak kullanılan düşey gradyometre yönteminde farklı manyetometre aralıkları seçiminin düşey manyetik gradyent verileri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Karada yapılan arazi çalışmalarında kullanılan düşey gradyometrelerin birçoğu 0.5, 1 ve 1.5m alıcı aralıklarının seçimine izin vermektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında, hem model hem de arazi çalışmaları için alıcı aralıkları 0.5, 1 ve 1.5m olarak seçilmiş ve karşılaştırmalar bu alıcı aralıkları kullanılarak yapılmıştır. Model çalışması için kullanışlı bir yakın yüzey modelinden hesaplanan kuramsal ve arazi çalışması için arkeolojik bir alanda toplanan düşey manyetik gradyent verileri kullanılmıştır. Günümüzde düşey gradyent ölçümlerinde geleneksel olarak 0.5m alıcı aralığı kullanılmaktadır. Model ve arazi çalışmalarından görüleceği üzere, belirtiyen neden olan kaynakların fiziksel ve geometrik özelliklerinin önceden kestirilmesi durumunda ve gürültü etkileri göz önünde bulundurulduğunda farklı alıcı aralıkları seçiminin önemi ortaya çıkmaktadır.

Key Words: Alıcı aralığı, düşey gradyent, manyetik yöntem

ABSTRACT

In this study, the effects of selection of the different magnetometer separations in vertical gradiometer method that widely used in near surface studies on the vertical magnetic gradient data are investigated. Many vertical gradiometers that used in ground studies allow the selection of 0.5, 1 and 1.5m receiver separations. For this reason in the frame of the study, both in the modelling and field studies, the receiver separations are selected as 0.5, 1 and 1.5m and comparisons are done using these receiver separations. For the model study a theoretical dataset computed from a functional subsurface model and for the field study a real archaeological vertical magnetic gradient dataset were used. Traditionally, 0.5m receiver separation is used in the vertical gradient surveys in nowadays. As can be seen both in the modelling and field studies, the necessity and importance of the selection of different receiver separations are appeared in cases of the estimation of physical and geometric parameters of the magnetic sources that caused the anomaly and in cases of the consideration of the noise effects.

Anahtar Kelimeler: Receiver separation, vertical gradient, magnetic method

GİRİŞ

Arama jeofiziğinin en eski yöntemlerinden biri olan manyetik yöntemin amacı yer manyetik alanındaki değişimlerin ölçülmesidir. Yer manyetik alanı, doğal (iyonosfer veya manyetosferdeki elektrik akımları) ve yapay (endüstriyel aktiviteler vb.) kaynaklara bağlı olarak zamana göre hızlı değişimler gösterir. Bu tür değişimleri veriden ayıklamanın iki yolu bulunmaktadır. Bunlardan ilkinde iki manyetometre kullanılır. Burada, birinci manyetometreyle her ölçü noktasında ölçü alınırken diğer manyetometreyle önceden belirlenen bir noktada (baz noktası) belirli zaman aralıklarında ölçümler alınır. İkinci ve en kullanışlı yol ise; aynı sistem içinde birbirine yakın uzaklıkta konumlandırılan iki manyetometre ile eş-zamanlı ölçümler almaktır (Tabbagh vd., 1997).

Yer manyetik alanının yatay ve düşey yöndeki türevlerinin ölçülmesi ve kuramsal olarak hesaplanması manyetik verilerin yorumunda önemli bir yer tutmaktadır. Yer manyetik alanının yatay ve düşey yöndeki türevleri kuramsal modeller üzerinde birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Henderson ve Zietz, 1949; Affleck, 1958; Barongo, 1985). Yer manyetik alanının yatay türevleri aranan yapının ölçü alanı üzerindeki dağılımının araştırılmasında, düşey türevleri ise derin yapılara ait etkilerin veriden ayıklanıp yüzeye yakın yapıların etkilerinin ön plana çıkartılmasında kullanılmaktadır.

Jeofizik literatüründe manyetik gradyometrenin tanımı ilk kez Haalck (1925; Hood ve McClure, 1965) tarafından verilmiştir. Haalck (1925), manyetik gradyent ölçümlerini hızlı ve verimli bir biçimde gerçekleştiren iki bobinli bir manyetik indükleyici önermiştir. Ancak bu fikri teoride kalıp uygulamaya koyamamıştır. Roman ve Sermon (1934; Hood ve McClure, 1965) iki bobinli manyetik indükleyici geliştirip bazı test ölçümleri sonucunda yatay manyetik gradyent değerlerini ölçmeyi başarmışlardır. Rikitake ve Tanaoka (1960) proton manyetometreleri ile Japonya'daki Mihara dağında volkanik aktiviteden kaynaklanan yer manyetik alanındaki değişimleri gözlemek için bir manyetometreyi volkan üzerinde, diğerini de bir baz istasyonunda tutarak eş-zamanlı ölçümler almışlardır. Aitken (1961), gradyometre ölçümlerini aynı düzenek üzerinde

almayı önermiştir. Bir düzenek üzerine yerleştirdiği iki proton manyetometresi ile eş-zamanlı ölçümler toplamıştır. Bu çalışma, gradyometre yöntemiyle arkeolojik kalıntıların araştırılmasına ilk örnektir. Daha sonraki yıllarda yöntemin arazi uygulamaları ve kuramsal modeller üzerinde denenmesi birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır (Barongo, 1985; Keating ve Pilkington, 1990; Breiner, 1999).

Teknolojideki gelişmelerle birlikte günümüzde gradyometre ölçümleri oldukça hızlı ve duyarlı bir biçimde yapılmaktadır. Bu nedenden dolayı yöntem, arkeolojik amaçlı araştırmalarda, gömülü metal nesnelerin araştırılmasında ve diğer yakın yüzey araştırmalarında en sık kullanılan jeofizik yöntem haline gelmiştir.

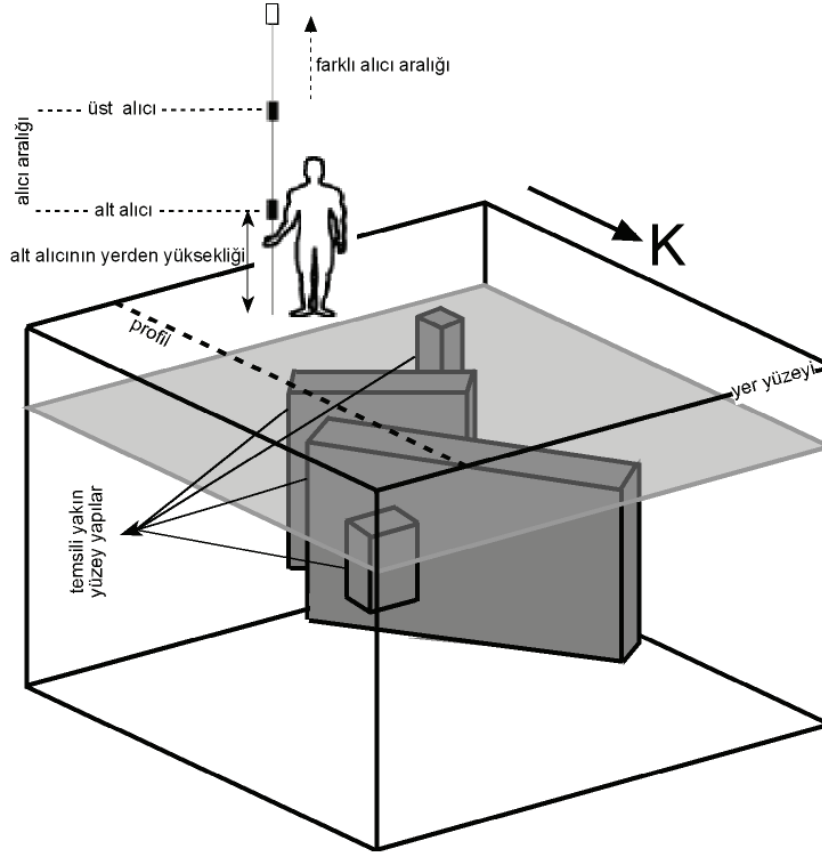
DÜŞEY GRADYENT ÖLÇÜM TEKNİĞİ

Düşey gradyometre yönteminin esası birbirinden farklı yükseklikte bulunan iki alıcı ile her ölçüm noktasında yer manyetik alanın toplam bileşenini ölçmeye dayanmaktadır. Her ölçü noktasındaki düşey gradyent verisi, farklı alıcı uzaklıklarında ölçülen yer manyetik alanın toplam bileşenleri farkının alıcılar arasındaki uzaklığa bölünmesiyle elde edilir (Breiner, 1999). Bu işlem basitçe,

$$\frac{\partial T}{\partial h} = \frac{T_{alt} - T_{üst}}{\Delta h} \quad (1)$$

olarak verilir. Burada; T_{alt} alt alıcı ile ölçülen toplam manyetik alan değerini, $T_{üst}$ üst alıcı ile ölçülen toplam manyetik alan değerini, Δh ise alıcılar arasındaki uzaklığı göstermektedir. Arazi çalışmalarında ölçümler kaynak uzanımına dik hatlar boyunca ve genellikle sürekli kayıtlar alınarak gerçekleştirilmektedir (Şekil 1). Daha sonra ölçü değerleri sayısallaştırılarak ölçü noktalarına dağıtılır.

Arazi verilerinin hızlı toplanması dışında da yöntemin üstün yönleri bulunmaktadır. Bunlardan ilki; yöntemde iki alıcı ile eş-zamanlı ölçümler alındığından günlük değişim düzeltmesi yapılmasına gerek yoktur. Alt alıcının hem derin hem de yüzeye yakın yapılardan etkilendiği ve üst alıcının da derin yapılardan etkilendiği göz önüne alındığında, bu iki alıcı ile ölçülen verilerin farklarının yüzeye yakın yapıların etkilerini



Şekil 1. Düşey manyetik gradyometre yönteminde alıcı geometrileri ve arazide ölçü alımı.
Figure 1. Receiver geometries and field measurement in the vertical gradiometer method.

göstereceği açıktır. Bu nedenle düşey manyetik gradyent verilerinde bölgesel-yerel (rejyonel-rezidüel) ayrımın yapılmasına gerek yoktur. Yöntemin diğer bir önemli üstün yanı düşey manyetik gradyent ölçülerinin yanı sıra, iki farklı yükseklikte ölçülen toplam manyetik alan verilerinin de bulunmasıyla, gözlemsel ve sayısal yorumlamaya yardımcı olabilecek veri setlerinin elde edilmiş olmasıdır.

DÜŞEY GRADYOMETRE YÖNTEMİNDE FARKLI ALICI ARALIKLARI

Bir gradyometrenin duyarlılığı alıcılar arasındaki uzaklığa bağlıdır. Yöntemde farklı alıcı aralıkları seçiminin önemi, kuramsal ve arazi verileri kullanılarak birtakım araştırmacılar tarafından tartışılmıştır (Bartington ve Chapman, 2004; Arısoy ve Uluggerli, 2005; Arısoy, 2007). Karada yapılan arazi çalışmalarında kullanılan düşey gradyometrelerin birçoğu 0.5, 1 ve 1.5 m alıcı

aralıklarının seçimine izin vermektedir. Bununla birlikte 0.5 m alıcı aralığının kullanımı diğer seçeneklere göre kullanım kolaylığı sağlaması açısından daha uygundur.

Yer manyetik alanının z_0 yüksekliğinde ölçülen T toplam bileşeninin Fourier Dönüşümü aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$T(k_x, k_y, z_0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} T(x, y, z_0) e^{-2\pi i(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (2)$$

Burada k_x ve k_y sırasıyla x ve y yönündeki dalga sayılarıdır. Bu bağıntı herhangi bir uzanım seviyesi (z) için

$$T(k_x, k_y, z) = T(k_x, k_y, z_0) e^{-(z_0 - z) 2\pi \sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \quad (3)$$

eşitliğine dönüşür. Toplam manyetik alanın z_0 yüksekliğindeki birinci düşey türevi dalga sayısı ortamında

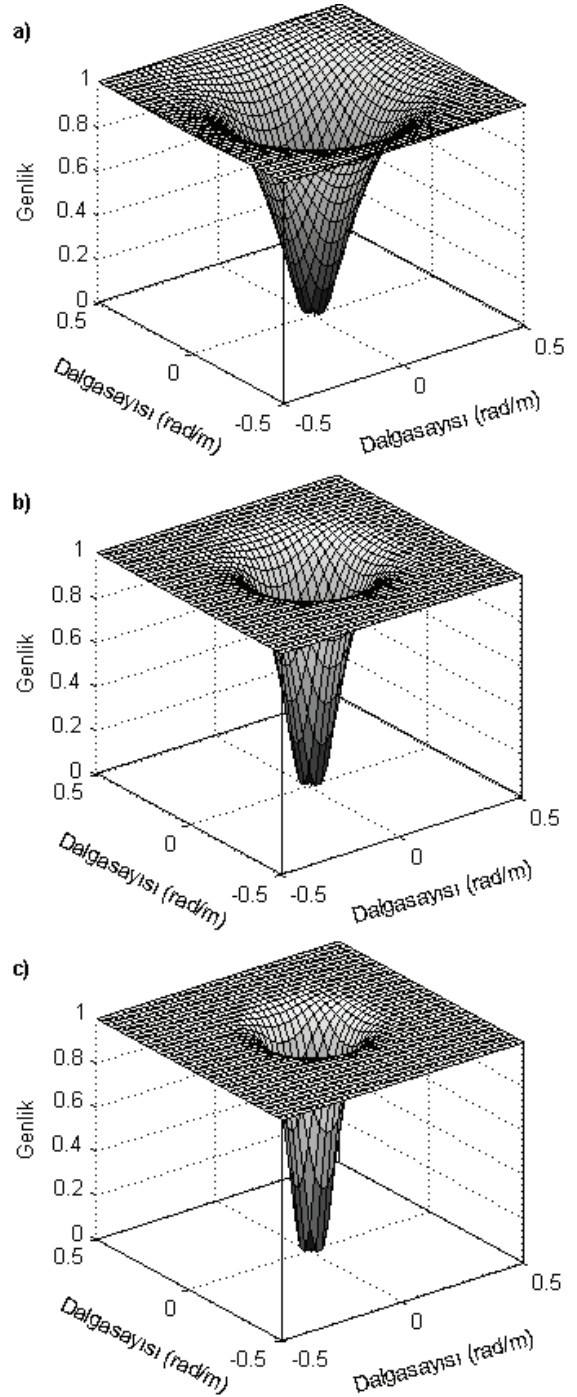
$$T_z(k_x, k_y, z_0) = T(k_x, k_y, z_0) 2\pi \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad (4)$$

olarak yazılır. z_1 ve z_2 yükseklikleri için düşey gradyent süzgeç fonksiyonu dalga sayısı ortamında,

$$G(k_x, k_y, z_0) = \frac{2\pi\sqrt{k_x^2 + k_y^2}}{e^{-(z_0-z_1)2\pi\sqrt{k_x^2+k_y^2}} - e^{-(z_0-z_2)2\pi\sqrt{k_x^2+k_y^2}}} \quad (5)$$

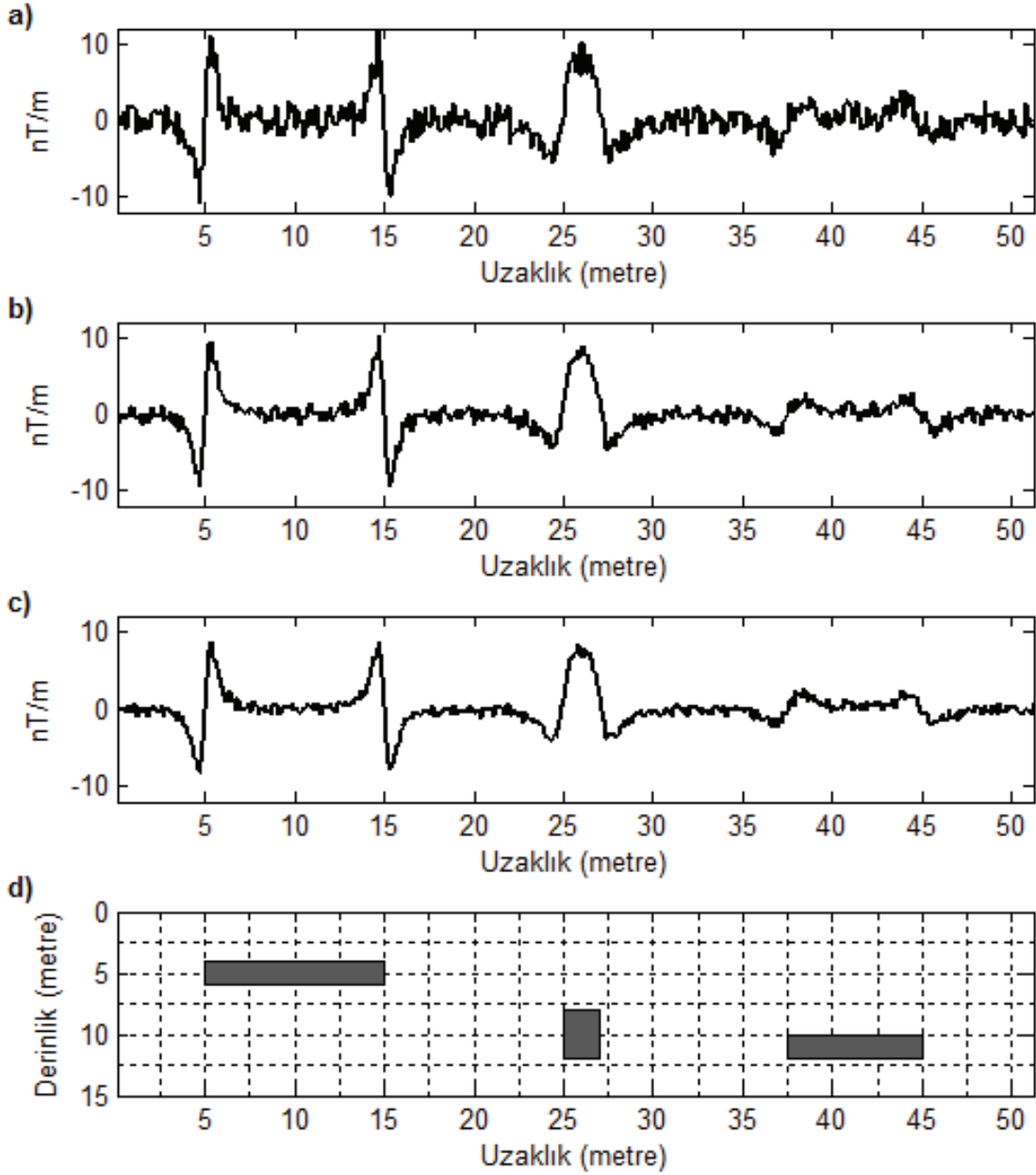
ifadesiyle verilmiştir (Tabbagh vd., 1997). Bu süzgeç fonksiyonu kullanılarak manyetik alan verileri düşey manyetik gradyent verilerine dönüştürülebilir. Eşitlik (5) kullanılarak 0.5, 1 ve 1.5m alıcı aralıkları için hesaplanan düşey gradyent süzgeç fonksiyonunun normalize edilmiş genlik spektrumları Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi düşey gradyent süzgeci temelde yüksek geçişli bir süzgeçtir. Şekil 2a'da 0.5m alıcı aralığı için verilen süzgecin kesme dalga sayısı yüksek bir dalga sayısı değerinde, Şekil 2b'de 1m alıcı aralığı için verilen süzgecin kesme dalga sayısı 0.5m alıcı aralığına göre daha düşük bir dalga sayısı değerinde, Şekil 2c'de 1.5m alıcı aralığı için verilen süzgecin kesme dalga sayısı da diğer alıcı aralıklarına göre daha düşük bir dalga sayısı değerindedir. Sonuç olarak, alıcı aralıkları arttırıldığında düşey gradyent süzgecinin kesme dalga sayısı küçülmektedir. Böylece veride yüksek dalga sayısı içeren bileşenler bastırılmakta; diğer bir deyişle kısa dalga boyları süzgeçlenerek, verinin gürültü içeriği düşürülmektedir. Bu özellik veri işlemede ve yorumlamada yorumcuya önemli bir kolaylık sağlayacaktır.

Şekil 3'de farklı alıcı aralıklarının profil verilerinde gürültü etkisini gösterebilmek için oluşturulan model ve 0.5, 1 ve 1.5m alıcı aralıkları için hesaplanan düşey manyetik gradyent profil eğrileri verilmiştir. Tüm hesaplamalarda veriye, verinin en yüksek genlik değerinin %5' i kadar rastsal gürültü eklenmiştir. Hesaplamalarda alt alıcının yerden yüksekliği 0.5m olarak seçilmiştir. Modeldeki tüm yapıların mıknatıslanma şiddetleri 1 A/m, yer manyetik alanının eğim ve sapma açıları da sırasıyla 90° ve 0° olarak seçilmiştir. Prizmatik yapıların yatay ve düşey yönde boyutları Şekil 3d'de görülmektedir. Şekil 3d'deki model kullanılarak 0.5m alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradyent profil eğrisi Şekil 3a'da, benzer şekilde 1 ve 1.5m alıcı aralığı için hesaplanan profil eğrileri de sırasıyla



Şekil 2. Farklı alıcı aralıkları için düşey gradyent süzgeç fonksiyonunun normalize edilmiş genlik spektrumları (a) 0.5m alıcı aralığı, (b) 1m alıcı aralığı, (c) 1.5m alıcı aralığı.

Figure 2. Normalized amplitude spectrum of the vertical gradient filter function for different receiver separations (a) 0.5m receiver separation, (b) 1m receiver separation, (c) 1.5m receiver separation.



Şekil 3. Üç adet prizmatik yapı kullanılarak oluşturulan iki boyutlu yeraltı modeli ve hesaplanan düşey manyetik gradyent profil eğrileri (a) 0.5 m alıcı aralığı, (b) 1 m alıcı aralığı, (c) 1.5 m alıcı aralığı, (d) İki boyutlu yeraltı modeli.

Figure 3. 2D subsurface model that created using three prismatic bodies and calculated vertical magnetic gradient profile curves (a) 0.5m receiver separation, (b) 1m receiver separation, (c) 1.5m receiver separation, (d) 2D subsurface model.

Şekil 3b ve Şekil 3c'de verilmiştir. Eğrilerde düşey eksen değerleri incelendiğinde, 0.5m alıcı aralığı kullanılarak hesaplanan düşey gradyent verisinin diğer alıcı aralıkları ile hesaplanan verilerden hem sığ hem de derin yapılar için daha

duyarlı olduğu ancak verinin gürültü içermesi durumunda bu alıcı aralığının gürültü içeriğini oldukça kuvvetlendirdiği görülmektedir. Özellikle Şekil 3d'de verilen modelin en sağındaki yapıya ait belirti, gürültü varlığının kuvvetlenmesi

nedeniyle neredeyse gözle takip edilemeyecek duruma gelmiştir. Kademeli olarak alıcı aralığı'nın arttırılmasıyla; 1m (Şekil 3b) ve 1.5m (Şekil 3c) alıcı aralıkları için düşey gradyent eğrilerinde gürültü varlığının bastırıldığı ve özellikle derin yapılara ait belirtilerin daha da belirginleştiği görülmektedir.

DÜŞEY MANYETİK GRADYENT BELİRTİLERİNDE SINIR GÖRÜNTÜLEME

Manyetik yöntemlerde belirtiyeye neden olan yeraltı yapılarının yatay yönde sınırlarının izlenmesi görüntü işlemede ele alınan en önemli konulardan biridir. Miknatislanma özelliği gösteren yeraltı yapılarının yatay yönde sınırlarının görüntülenmesi için kullanılan süzgeçlerin tümü verinin türevlerinin hesaplanmasını gerektirmektedir. Bu süzgeçlerden sıklıkla kullanılanlarından birisi analitik sinyal süzgecidir. Nabighian (1972) tarafından profil verileri için analitik sinyal

$$|A| = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (6)$$

olarak verilmiştir. Burada $\partial T/\partial x$ ve $\partial T/\partial z$ sırasıyla toplam manyetik alanın yatay ve düşey türevleridir. Bağıntı (6)'da T yerine verinin birinci mertebe düşey türevi (T_z) yazıldığında,

$$|A| = \sqrt{\left(\frac{\partial T_z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_z}{\partial z}\right)^2} \quad (7)$$

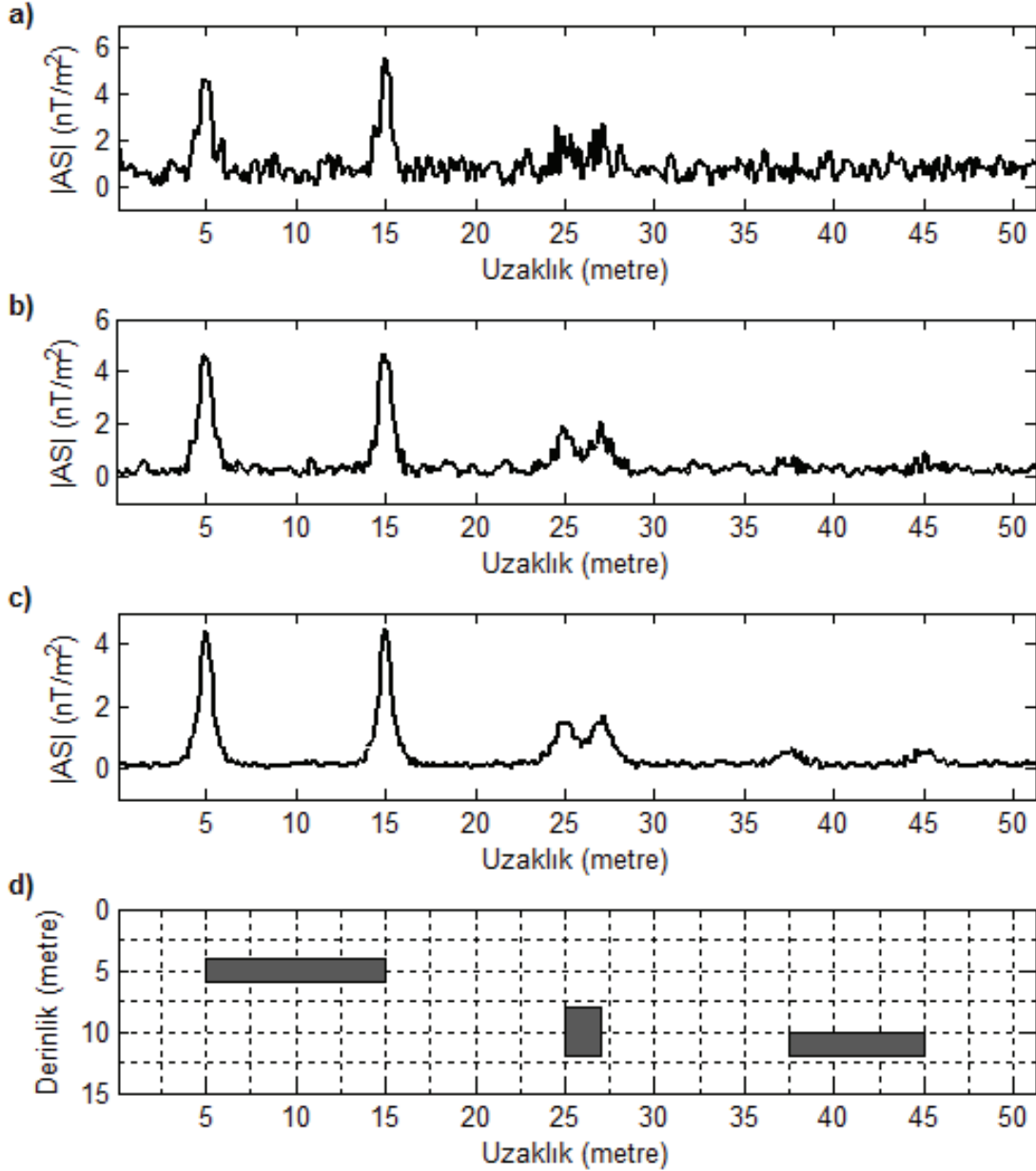
elde edilir. Burada $\partial T_z/\partial x$ ve $\partial T_z/\partial z$ sırasıyla düşey gradyentin yatay ve düşey türevleridir. Üç boyutlu veriler için

$$|A| = \sqrt{\left(\frac{\partial T_z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_z}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_z}{\partial z}\right)^2} \quad (8)$$

eşitliği yazılacaktır (Tabbagh vd., 1997). Analitik sinyal genliği kaynak yapıların üzerinde çan şekilli belirtiler sunar. Önemli özelliklerinden birisi de profil verileri için miknatislanma yönüne bağımlı olmamasıdır, aynı özellik harita verileri için geçerli değildir (Li, 2006). Analitik sinyal, türev tabanlı bir yöntem olduğundan, doğası gereği veride gürültü içeriğini arttıran bir yöntemdir.

Şekil 3'de verilen gürültü eklenmiş düşey manyetik gradyent verilerinin analitik sinyal genlikleri 0.5m alıcı aralığı için Şekil 4a'da, 1m alıcı aralığı için Şekil 4b'de ve 1.5m alıcı aralığı için Şekil 4c'de verilmiştir. 0.5m alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradyent verisinin analitik sinyal sonucu (Şekil 4a) incelendiğinde, modelin ortasındaki ve sağındaki her iki derin yapıya (Şekil 4d) ait sınır, gürültünün etkisiyle belirlenememiştir. 1m alıcı aralığı için hesaplanan analitik sinyal genliği (Şekil 4b) sonucunda modelin ortasında bulunan yapıya ait sınırlar izlenebilmekte, fakat sağda bulunan yapının kenarlarını belirlemede yöntem başarısız sonuç üretmiştir. 1.5m alıcı aralığı için hesaplanan analitik sinyal genliği (Şekil 4c) sonucu diğer sonuçlara göre gürültü etkisi düşürüldüğünden dolayı her üç yapının sınırlarının izlenmesinde daha başarılıdır.

Harita verileri için alıcı aralığı seçiminin veri ve analitik sinyal genlikleri üzerindeki etkisi Şekil 5'de gösterilmiştir. Yeraltı modeli beş adet üç boyutlu prizmatik yapı kullanılarak oluşturulmuş ve sırasıyla modelin plan görüntüsü Şekil 5a'da ve üç boyutlu perspektif görüntüsü Şekil 5b'de gösterilmiştir. Tüm yapıların miknatislanma şiddetleri 1 A/m, yer manyetik alanının eğim ve sapma açıları sırasıyla 90° ve 0° ve alt alıcının yerden yüksekliği 0.2m olarak seçilmiştir. Tüm hesaplamalarda veriye, verinin en yüksek genlik değerinin %5' i kadar rastsal gürültü eklenmiştir. Şekil 5a-b'de verilen modelden hesaplanan düşey gradyent görüntü haritaları 0.5m alıcı aralığı için Şekil 5c'de, 1m alıcı aralığı için Şekil 5d'de ve 1.5m alıcı aralığı için Şekil 5e'de verilmiştir. Modelde verilen tüm yapılara ait belirtiler her alıcı aralığı için hesaplanan düşey gradyent görüntü haritalarında görülebilmektedir. Gürültü etkisi alıcı aralıklarının kademeli olarak arttırılmasına paralel bir şekilde azalmıştır (Şekil 5c-d-e). Bunun sonucu olarak modelin ortasında ve derinde bulunan küçük boyutlu yapıya ait belirtinin görülebilirliği, artan alıcı aralığıyla birlikte artmıştır. Şekil 5c-d-e'de farklı alıcı aralıkları için verilen düşey gradyent verilerinin analitik sinyal görüntü haritaları 0.5m alıcı aralığı için Şekil 5f'de, 1m alıcı aralığı için Şekil 5g'de ve 1.5m alıcı aralığı için Şekil 5h'de verilmiştir. 0.5m alıcı aralığı için verilen analitik sinyal sonucunda (Şe-



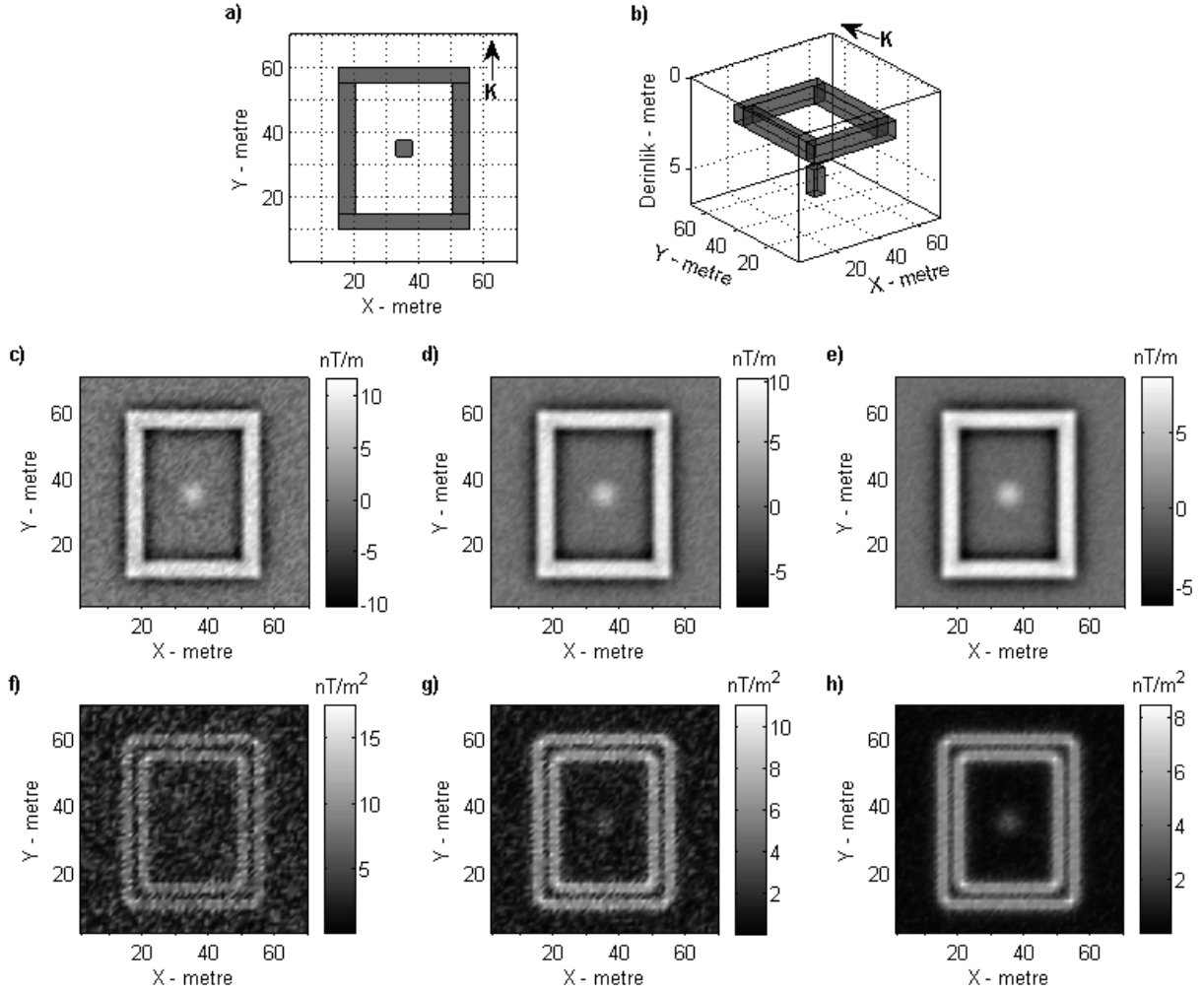
Şekil 4. Şekil 3’de farklı alıcı aralıkları için hesaplanan gürültü eklenmiş düşey manyetik gradyent verilerinin analitik sinyal genlik eğrileri (a) 0.5 m alıcı aralığı, (b) 1 m alıcı aralığı, (c) 1.5 m alıcı aralığı, (d) İki boyutlu yeraltı modeli.

Figure 4. The analytic signal amplitude curves of noise-added vertical magnetic gradient data calculated from different receiver separations that are given in Figure 3 (a) 0.5m receiver separation, (b) 1m receiver separation, (c) 1.5m receiver separation, (d) 2D subsurface model.

kil 5f), gürültünün oldukça kuvvetlendiği ve bu nedenle modelde ortada verilen yapının etkisinin tümüyle kaybolduğu görülmektedir. Benzer durum 1m alıcı aralığı için hesaplanan analitik sinyal sonucunda da (Şekil 5g) görülebilir. 1.5m alıcı aralığı için hesaplanan analitik sinyal değer-

lerine göre gürültü seviyesi azaldığı için ortada verilen yapının etkisini belirgin hale getirmiştir.

Yöntemde farklı alıcı aralıkları seçiminin arazi verileri üzerinde etkisini gösterebilmek için Erzurum ili Tasmasor Nekropolisinde 30×20m’lik bir alanda toplanan veriler kullanılmıştır. Arazi

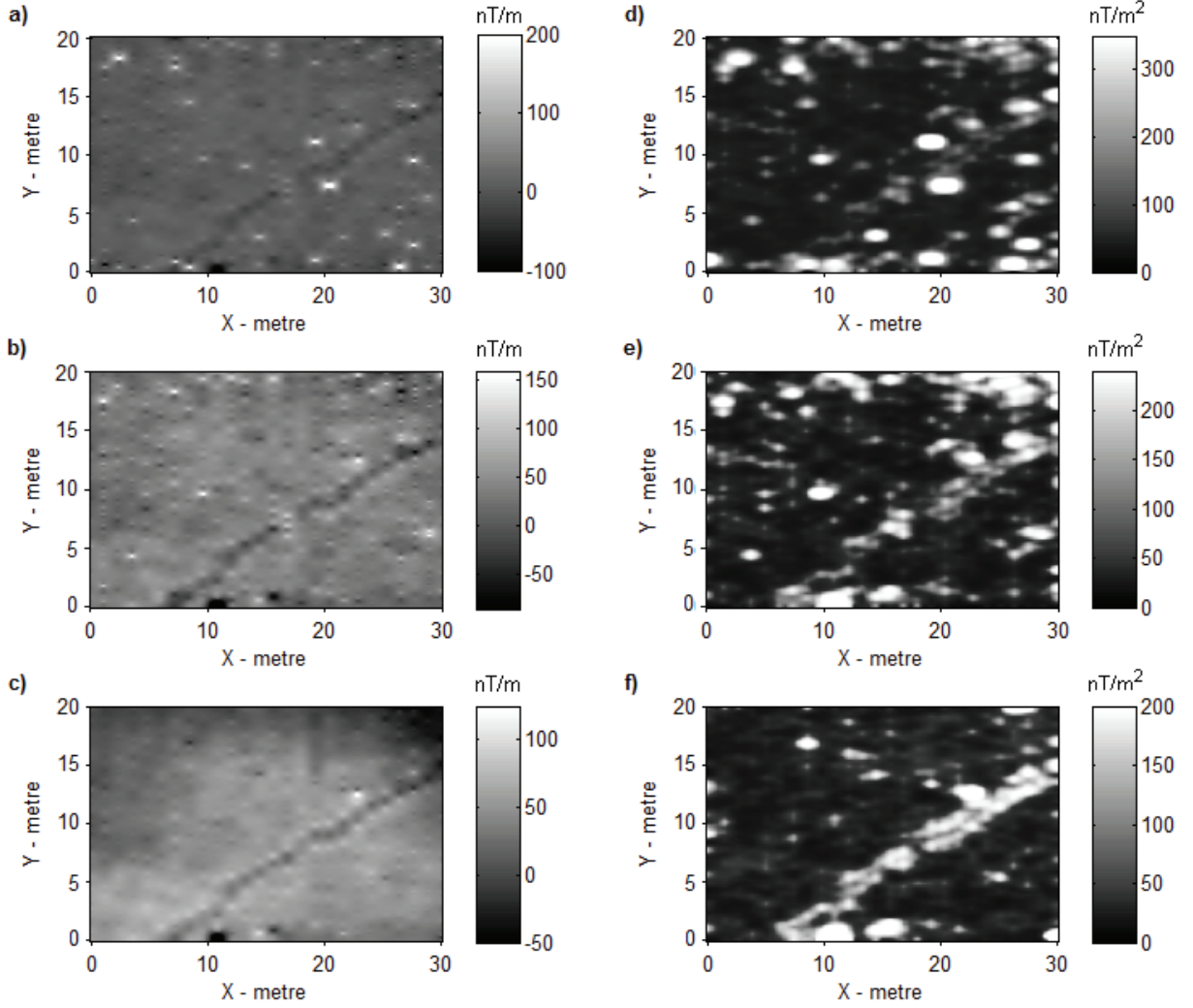


Şekil 5. Beş adet prizmatik yapı kullanılarak oluşturulan üç boyutlu yeraltı modeli, farklı alıcı aralıkları için hesaplanan düşey manyetik gradyent görüntü haritaları ve analitik sinyal görüntü haritaları (a) Modelin plan görünüşü, (b) Modelinin üç boyutlu perspektif görüntüsü, (c) 0.5m alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradyent görüntü haritası, (d) 1m alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradyent görüntü haritası, (e) 1.5m alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradyent görüntü haritası, (f) 0.5m alıcı aralığı için analitik sinyal görüntü haritası, (g) 1m alıcı aralığı için analitik sinyal görüntü haritası, (h) 1.5m alıcı aralığı için analitik sinyal görüntü haritası.

Figure 5. 3D subsurface model that created using five prismatic bodies, calculated vertical magnetic gradient image maps from different receiver separations and analytic signal image maps (a) Plan view of the model, (b) 3D perspective view of the model, (c) The image map of the computed vertical magnetic gradient for 0.5m receiver separation, (d) The image map of the computed vertical magnetic gradient for 1m receiver separation, (e) The image map of the computed vertical magnetic gradient for 1.5m receiver separation, (f) The image map of analytic signal for 0.5m receiver separation, (g) The image map of analytic signal for 1m receiver separation, (h) The image map of analytic signal for 1.5m receiver separation.

verileri toplanırken profil aralığı 0.5m, ölçü noktası aralığı 0.1m, alt alıcının yerden yüksekliği ise yaklaşık 0.2m olarak seçilmiştir. Bu alan üzerinde toplanan düşey manyetik gradyent verilerine ait görüntü haritaları 0.5, 1 ve 1.5m alıcı aralıkları için sırasıyla Şekil 6a, Şekil 6b ve Şekil6c'de gös-

terilmiştir. Şekil 6a-b-c'de görülen kuzey-doğu güney-batı yönelimli belirti, kazı sonrasında bulunan oldukça düzgün planlı bir mimari komplekse ait taş temel kalıntılarını temsil etmektedir. Tüm alıcı aralıkları için verilen görüntü haritalarında bu belirti düşük genlikle temsil edilmiştir.



Şekil 6. Erzurum ili Tasmator Nekropolisi' nde farklı alıcı aralıkları için ölçülen düşey manyetik gradyent verileri görüntü haritaları ve analitik sinyal görüntü haritaları (a) 0.5m alıcı aralığı için ölçülen düşey manyetik gradyent görüntü haritası, (b) 1m alıcı aralığı için ölçülen düşey manyetik gradyent görüntü haritası, (c) 1.5m alıcı aralığı için ölçülen düşey manyetik gradyent görüntü haritası, (d) 0.5m alıcı aralığı için analitik sinyal görüntü haritası, (e) 1m alıcı aralığı için analitik sinyal görüntü haritası, (f) 1.5m alıcı aralığı için analitik sinyal görüntü haritası.

Figure 6. The measured vertical magnetic gradient data image maps and analytic signal image maps from Erzurum province Tasmator Necropolis (a) The image map of the measured vertical magnetic gradient for 0.5m receiver separation, (b) The image map of the measured vertical magnetic gradient for 1m receiver separation, (c) The image map of the measured vertical magnetic gradient for 1.5m receiver separation, (d) The image map of analytic signal for 0.5m receiver separation, (e) The image map of analytic signal for 1m receiver separation, (f) The image map of analytic signal for 1.5m receiver separation.

Şekil 6a ve Şekil 6b'de yüksek genlikle temsil edilen küçük boyutlu belirtiler çoğunlukla demir bileşenli nesnelere (arkeolojik anlam taşımayan) kaynaklanmıştır. Arazi ölçümlerinden önce yüzeyde görülen bu nesnelere toplanmış olsa da, kazı sırasında yüzeye yakın bölgelerden çok sayıda demir nesne çıkartılmıştır. Alıcı aralığının

1.5m olarak seçildiği durumda (Şekil 6c) bu nesnelere ait etkiler veriden genel olarak uzaklaşmış ve temel kalıntısına ait belirti daha belirgin bir görüntü almıştır. Şekil 6a-b-c'de farklı alıcı aralıkları için verilen düşey manyetik gradyent verilerinin analitik sinyal görüntü haritaları 0.5m alıcı aralığı için Şekil 6d'de, 1m alıcı aralığı için Şekil

6e'de ve 1.5m alıcı aralığı için Şekil 6f'de verilmiştir. 0.5m alıcı aralığı için hesaplanan analitik sinyal genlikleri (Şekil 6d) daha çok istenmeyen nesnelere ait belirtilerden etkilendiği için temel kalıntısının kenar etkileri bu alıcı aralığı için belirlenememiştir. Şekil 6e'de 1m alıcı aralığı için verilen analitik sinyal genlikleri ise benzer şekilde istenmeyen nesnelere ait belirtilerden etkilenmiştir. 1.5m alıcı aralığı için hesaplanan analitik sinyal (Şekil 6f) ise diğer sonuçlara göre temel kalıntısının kenarlarını belirlemede daha başarılı sonuç üretmiştir.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yakın yüzey araştırmalarında düşey gradyometre yöntemi günümüzde en sık kullanılan jeofizik yöntemler içerisinde yer almaktadır. Yöntem, alıcıların orta noktasında yer manyetik alanının toplam bileşeninin düşey türevinin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Her hangi bir fiziksel niceliğin türevinin ölçüldüğü diğer yöntemlerde olduğu gibi düşey gradyometre yöntemi de doğası gereği veride gürültü bileşenlerinin etkisini kuvvetlendiren bir yöntemdir. Bahsi geçen bu durum yöntemin en önemli zayıf noktasıdır. Arazi çalışmalarında kullanım kolaylığı nedeniyle 0.5m alıcı aralığı seçimi artık geleneksel bir hal almıştır. Bu çalışma kapsamında, farklı alıcı aralıkları seçiminin gürültü varlığını azaltmadaki etkisi araştırılmıştır. Model verileri üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde, ortamda çevresel etkilerin veriye gürültü olarak katılmadığı durumlarda 0.5m alıcı aralığının diğer alıcı aralıklarına göre daha duyarlı sonuçlar ürettiği görülmektedir. Ancak gerek yöntemde türev ölçülmesi gerekse çevresel etkilerin veriye ciddi oranda katılması durumunda daha yüksek alıcı aralıkları kullanımının daha uygun olacağı sonuçlardan görülmektedir. Bu nedenle yöntemde alıcı aralıklarının seçimi, arazide yapılacak olan deneme ölçülerinden sonra belirlenmelidir. Bununla birlikte çalışma kapsamında, analitik sinyal süzgecinin düşey gradyometre yönteminde farklı alıcı aralıkları için nasıl sonuçlar üreteceği konusu da araştırılmıştır. Analitik sinyal, ölçülen türev verisinin tekrar türevinin hesaplanmasını gerektirdiğinden dolayı veriye gürültü bileşeninin katılması durumunda düşük alıcı aralıkları için başarısız sonuçlar üretmiştir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar yapıcı katkılarından dolayı Prof. Dr. Ahmet Tuğrul BAŞOKUR'a (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü) ve Doç. Dr. Bülent ORUÇ'a (Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Affleck, J., 1958. Interrelationships between magnetic anomaly components. *Geophysics*, 23, 738-748.
- Aitken, M.J., 1961. *Physics and archaeology*. Interscience Publishers Ltd., London.
- Arısoy, M.Ö., and Ulugergerli, E.U., 2005. Evaluation of different receiver orientations and receiver separations in magnetic gradiometer method. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, Vol. 8, Suppl. 1, 229-232.
- Arısoy, M.Ö., 2007. Düşey ve yatay manyetik gradient verilerinin 3-Boyutlu modellenmesi ve ters çözümü. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, (yayımlanmamış).
- Barongo, J.O., 1985. Method for depth estimation and aeromagnetic vertical gradient anomalies. *Geophysics*, 50, 963-968.
- Bartington G., and Chapman, C.E., 2004. A high stability fluxgate gradiometer for shallow geophysical survey applications. *Archaeological Prospecting*, 11, 11-34.
- Breiner, S., 1999. *Applications Manual for Portable Magnetometers*. Geometrics, California.
- Haalck, H., 1925. Der erdinduktor als lokalvariometer und seine praktische verwendungsmöglichkeit, *Physik, Zeitschrift für techn.*, 6, 377-380.
- Henderson, R.G., and Zietz, I., 1949. The computation of second vertical derivatives of geomagnetic fields. *Geophysics*, 14, 508-516.
- Hood, P., and McClure, D.J., 1965. Gradient measurements in ground magnetic prospecting. *Geophysics*, 30, 403-410.

- Keating, P., and Pilkington, M., 1990. An automated method for the interpretation of magnetic vertical gradient anomalies. *Geophysics*, 55, 336-343.
- Li, X., 2006. Understanding 3D analytic signal amplitude. *Geophysics*, 71(2), B13-B16.
- Nabighian, M.N., 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and used for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, 507-517.
- Rikitake, T., and Tanaoka, I., 1960. A differential Proton Magnetometer. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 38, 317-328.
- Roman, I., and Sermon, T.C., 1934. A magnetic gradiometer, *Trans AIME*, 110, 373-390.
- Tabbagh, A., Desvignes G., and Dabas M., 1997. Processing of Z gradiometer magnetic data using linear transforms and analytical signal. *Archaeological Prospecting*, 4, 1-13.

