

Nif (Olympos) Dağı, İzmir'de Dağkızılca Gömülü Oda Mezarının Manyetik Veriler ile Görüntülenmesi

***Makale Bilgisi / Article Info**

Alındı/Received: 13.12.2024

Kabul/Accepted: 15.01.2025

Yayımlandı/Published: 10.06.2025

Imaging Dağkızılca Buried Chamber Grave Using Magnetic Data in Nif (Olympos) Mountain, İzmir

Oya TARHAN BAL* 

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Büyükçekmece, İstanbul, Türkiye



© The Author | Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC) International License

Öz

Nif Dağı, Batı Türkiye'de, İzmir'in doğusunda, yaklaşık olarak Torbalı ve Buca ilçelerinin sınırlarında yer almaktadır. Çalışma alanı, Helenistik döneme ait Dağkızılca'daki manastır kompleksinin çevresini kapsamaktadır. Dağkızılca bölgesindeki yüzey kalıntıları ve bulunan kaçak kazı alanları ışığında hala gömü alanlarının (Tümülüs, oda mezarlar, vb.) bulunduğu düşünülmektedir. Bu amaçla Dağkızılca bölgesinde manyetik yöntem kullanılarak arkeojeofizik araştırma yapılmıştır. Gömülü yapıların ve mezarların yerini belirleyebilmek için 0.5 m aralıkla ölçü alınmıştır. Manyetik haritalarda, anomalilere sebep olan yapıya ait sınırların saptanabilmesi için, potansiyel alanın yatay ve düşey türevine dayalı birçok yöntem kullanılır. Bu çalışmada, gömülü oda mezarının sınırlarının belirlenmesi için üç farklı sınır analiz yöntemi kullanılmıştır. Bunlar Toplam Yatay Türev, Analitik Sinyal ve Tilt Açısı yöntemleridir. Yöntemler, sentetik modeller üzerinde karşılaştırılmış ve Nif Dağı arkeolojik arazi verisine uygulanarak yorumlanmıştır. Ayrıca hem sentetik hem de arazi verilerinin 3B ters çözümü gerçekleştirilerek yorumlamaya katkısı tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arkeojeofizik; Manyetik; Ters Çözüm

Abstract

Nif mountain is located in western Turkey, approximately at the border between Torbalı and Buca towns in the east of İzmir city. The study area resides in the vicinity of a Hellenistic era monastery complex in Dağkızılca. In Dağkızılca area, existence of numerous buried areas (e.g. tumuli, chamber graves) are assumed based on surfaced remnants and found illegal digging sites. To reveal these, archaeological exploration using magnetic measurements was realized. The data were collected with 0.5 m intervals to determine the graves and other buried structures. Several methods based on horizontal and vertical derivatives are applied for boundary detection of anomalous structures from magnetic maps. In this study, three different analysis methods were applied to detect a buried chamber grave, which are Total Horizontal Derivative, Analytic Signal and Tilt angle methods. These methods were initially compared using synthetic models thereafter applied and interpreted on mount Nif archaeological data. Additionally, both synthetic and field datasets are inverted in 3D and its contribution to interpretation was argued.

Keywords: Archaeogeophysics; Magnetism; Inversion

1. Giriş

2006 yılından beri devam etmekte olan Nif Dağı (Olimpos) arkeolojik çalışmaları, İzmir doğusunda, Karamattepe, Balıcaoluk, Başpınar ve Dağkızılca çalışma alanlarında dört farklı kazı alanı üzerinde yer almaktadır (Baykan 2016, Tuncalı Yaman 2022). Bölgede tarım ve madencilik ve metalurjiye ilişkin kalıntı ve mezar odaları keşfedilmiştir (Baykan 2016, Tezel ve Alp 2021, Tuncalı Yaman 2022). Çalışma alanı olan, Helenistik döneme ait kalıntıların yer aldığı Dağkızılca'da kaçak kazılar sonucu açılmış çok sayıda mezar odası bulunmakta, bunların bazıları bütünlüğünü korumaktadır. Bu alanda yer radarı (Tulunay 2004), elektrik öz direnç tomografisi (Tulunay 2004, Tezel ve Alp 2021) ve manyetik ölçümler gerçekleştirilmiş, bu çalışmalar sayesinde birçok mezar odası jeofizik tekniklerle görüntülenmiştir.

Manyetik alan ölçümleri, arkeojeofizikte 1950' lerden beri kullanılmaktadır (Belshé 1957, Aitken 1958, 1959). Günümüzde arkeolojik kazılar öncesinde jeofizik yöntemlerle kazı öncesi görüntüleme, hem alanın mevcut durumunun tespit edilmesi hem de kazıların hasarsız gerçekleştirilmesi için yaygın uygulanan bir prosedürdür. Arkeolojide manyetik yöntem uygulamalarında karşılaşılan pozitif manyetik anomaliler genelde bir yere toprak doldurulduğunu işaret ederken, negatif manyetik anomaliler pişmiş toprak veya duvar gibi zayıf manyetik özellik gösteren materyalleri işaret eder (Fassbinder 2023).

Farklı manyetizasyon şiddetine sahip yapı sınırları, potansiyel alan anomali haritalarında çizgisellikler olarak görünürler. Bu nedenle, manyetik alan ölçümlerinin yorumunda sınır analizi yöntemlerine sıklıkla başvurulur.

Aşağı ve yukarı analitik uzanım, filtre, yatay ve düşey türevler, ters çözüm anomalilerin yorumlanması için en çok başvurulan yöntemlerdendir. Manyetik veri haritalarının yorumlanması amacıyla, Modestino ve Fries (1977), Keating ve Pilkington (1990), Pilkington (2006) türev tabanlı yöntemler kullanmıştır. Toplam yatay türev ve analitik sinyal, gömülü yapı kenarlarını tespit etmek için sıklıkla kullanılır (Pilkington ve Keating 2004, Cooper ve Cowan 2008, Cooper 2009). Anomali haritalarından elde edilen yatay türevlerin maksimum değerleri anomaliye sebep olan kaynak kütlelerin sınırlarına karşılık gelmektedir. Manyetik verilerin 2B ve 3B ters çözümü 1980'lerden beri yer altındaki yapıların modellenmesi için kullanılmaktadır (ör. Guillen ve Menichetti 1984). Ters çözüm yöntemlerinin yaygın kullanımıyla birlikte arkeojeofizik uygulamaları da artmıştır (ör. Argote vd. 2009, Aykroyd vd. 2014, Cheyney vd. 2015). Potansiyel alanların (gravite, manyetik) ters çözümünde en çok uygulanan yaklaşımsa Li ve Oldenburg (1996) tarafından tanımlanan yuvarlatıcı düzgünleştiricili ters çözüm yaklaşımıdır. Düzgünleştiriciler, kötü koşullanmış ve eksik tanımlı problemlerin ters çözümü için ilk olarak Tikhonov ve Arsenin (1977) tarafından tanımlanmıştır ve hemen hemen bütün jeofizik yöntemler için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Toplam Yatay Türev (TYT), Analitik Sinyal (AS), Tilt Açısı (TA) yöntemleri ve 3B ters çözümle arkeojeofizik yorumlamaya gerçekleştirilebilecek katkıların tartışılabilmesi için önce sentetik veriler üzerinde sınanmış, daha sonra çalışma alanında yer almakta olan ve bütünlüğünü önemli ölçüde korumakta olan bir mezar odasının tanımlanması için uygulanmış ve yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Toplam Yatay Türev (TYT), Analitik Sinyal (AS) ve Tilt Açısı (TA)

Gömülü yapıların kenar saptamasında yaygın olarak kullanılan toplam yatay türev (TYT) yöntemi (Cordell ve Grauch 1985) tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$TYT = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

Burada M Manyetik alan olup, $\frac{\partial M}{\partial x}$ ve $\frac{\partial M}{\partial y}$ sırasıyla manyetik alanın x ve y yönündeki türevleridir.

3D yapılar için analitik sinyalin (AS) genliğinin ifadesi Roest v.d. (1992) tarafından tanımlanan türev tabanlı bir sınır belirleme yöntemidir ve aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (2)$$

Bu eşitlikte, $\frac{\partial M}{\partial x}$, $\frac{\partial M}{\partial y}$ ve $\frac{\partial M}{\partial z}$ potansiyel alanının sırasıyla x, y, z yönündeki türevlerini gösterir.

Tilt açısı (TIA) yöntemi Miller ve Singh (1994) tarafından geliştirilmiştir. Anomaliye neden olan jeolojik veya arkeolojik yapıların yerini belirlemek için kullanılmaktadır. Tilt açısı uygulanmış anomali, yapının merkezinde maksimum ve pozitif değerlere sahiptir, yapının sınırlarında ise sıfıra yakınsamaktadır. Yapının dışındaki kısımlarda ise anomali değerleri negatif olur. Genellikle sığ yapıların görüntülenmesinde kullanılır. Tilt açısının matematiksel bağıntısı aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$TA = \tan^{-1} \left[\frac{\frac{\partial M}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2}} \right] \quad (3)$$

Bu eşitlikte, $\frac{\partial M}{\partial x}$, $\frac{\partial M}{\partial y}$ ve $\frac{\partial M}{\partial z}$ potansiyel alanının sırasıyla x, y, z yönündeki türevlerini gösterir

2.2 3B Ters çözüm

Bu çalışmada 3B manyetik ters çözüm için, bir Python kütüphanesi olan pyGIMLi (Rücker ve Günther 2016) bünyesindeki algoritma kullanılmıştır. Algoritma yer altını, dörtgen prizmalarla ayrıklaştırarak Holstein vd. (2007)'ye göre düz çözüm gerçekleştirir. Ters çözüm algoritması aşağıdaki fonksiyonu en küçükleme çalışır,

$$\varphi(m) = \|W_d(F(m) - d_{obs})\|^2 + \mu \|W_m(m - m_{ref})\|^2 \quad (4)$$

Eşitlikte, $\varphi(m)$ en küçüklenecek istenen amaç fonksiyonu, W_d verilerin varyanslarını içeren köşegenel veri ağırlığı matrisi, d_{obs} gözlenen veriler, m model parametreleri, m_{ref} referans modeli, $F(m)$ model parametreleri için düz çözüm sonucu (hesaplanan veri), μ Lagrange çarpanı, W_m model ağırlık matrisidir. Potansiyel alan verilerinde gerçek manada derinlik çözünürlüğü olmadığı için duyarlılık derinliğe bağlı olarak logaritmik azalmaktadır. Bu nedenle ters çözüm yapıları yüzeye yakın yerleştirmektedir. Yöntem bunun önüne geçmek için aşağıdaki eşitlikle tanımlanan derinlik ağırlıklandırmasını kullanır (Li ve Oldenburg 1996).

$$w_z = \frac{1}{(z + z_0)^\beta} \quad (5)$$

Eşitlikte, w_z ağırlıklandırma matrisinin köşegenel değerleri, z model ağında tanımlanan blokların derinlikleri, z_0 ağırlıklandırma değerlerini model katsayıları ile uyumlu hale getirmek için kullanılan ayar parametresi, β yağların daha derine ya da daha sığa yerleştirilmesini sağlayan üstel parametredir.

3. Bulgular

3.1 Sentetik veri çalışmaları

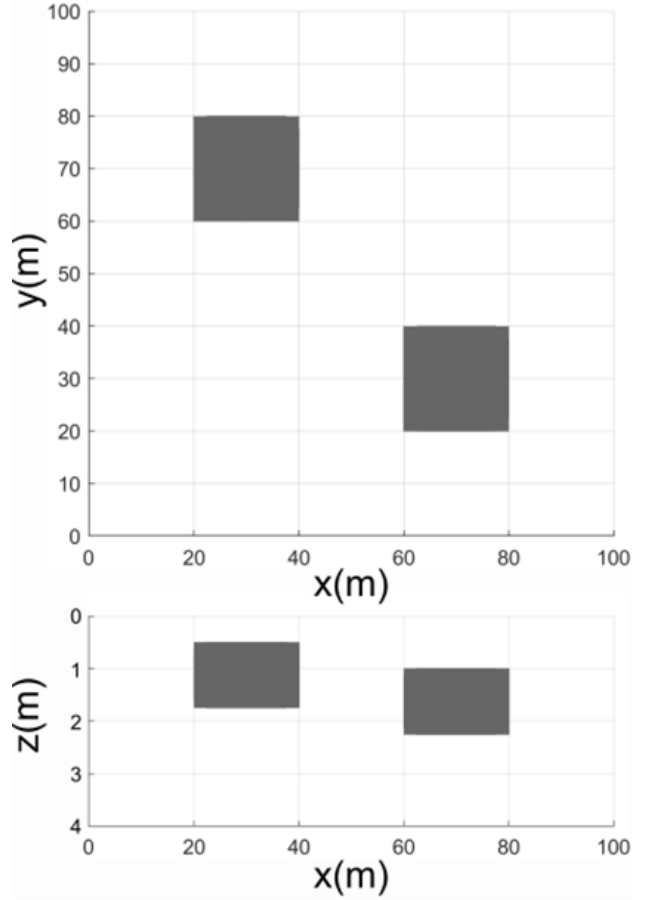
Bu çalışma kapsamında, öncelikle bir sentetik veri kümesi oluşturularak arkeolojik yapılardan kaynaklı belirtilerin sınırlarının belirlenmesi için önceki bölümde detayları verilen yöntemler uygulanmıştır.

Önerilen algoritmaları test etmek amacı ile 100x100 m boyutlu bir alanda, manyetik geçirgenliği 0.075 A/m olan x, y ve z yönünde boyutları 20x20x1 m olan iki prizmatik kütle tanımlanmıştır (Şekil 1) ve elde edilen sentetik anomalileri 5 m’de bir örneklenmiştir. Prizmatik kütlelere ait sentetik anomali Şekil 2a’ da görülmektedir. Sınır analizi yöntemlerinin uygulanması sonucu elde edilen çıktılar Şekil 2b, c ve d’ de gösterilmektedir. Şekilde, yöntemlerin başarılı sonuçlar sağladığı görülmektedir. Aynı sentetik veri çalışması, arazi koşullarını daha iyi yansıtmak için verilere Gauss dağılımlı rastgele değerler kullanılarak %10 gürültü eklenerek tekrarlanmıştır. Gürültü eklenmiş sentetik manyetik anomali ise Şekil 3a’ da görülmektedir. Yöntemlerin uygulanması sonucu elde edilen çıkış görüntüleri Şekil 3b, c ve d’ de gösterilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında, yatay türev yönteminin diğer iki yönleme göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

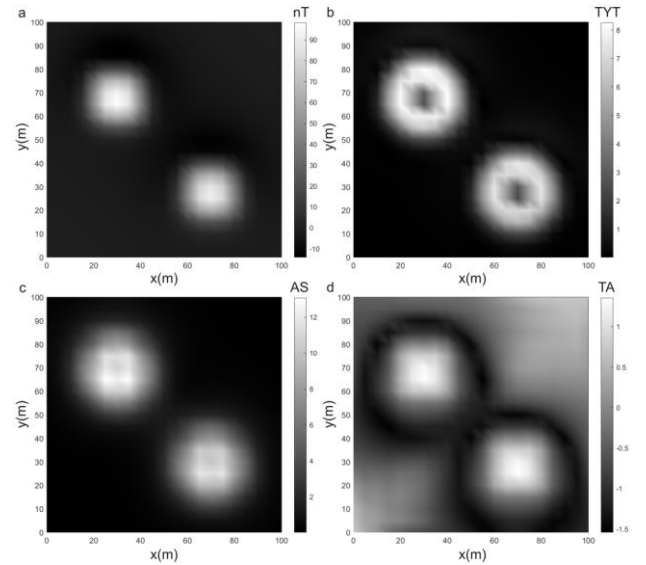
Kullanılan ters çözüm algoritması ile (Rücker ve Günther, 2016), %10 Gaussian gürültü eklenmiş (Şekil 3a) verilere otomatik trend giderme uyguladıktan sonra ters çözümü gerçekleştirilmiş ve Şekil 4’ de verilen model elde edilmiştir. Trend giderilmiş veriler ve ters çözüm sonucu elde edilen modele ait gözlenen veriler, hesaplanan veriler ve veri çıkışma hatası (misfit) Şekil 5’de verilmiştir.

Her noktadaki çakışma hatası, hesaplanan ve gözlenen veriler arasındaki farkın veri noktasına atanan hataya (eklenen Gaussian gürültüye uygun olarak veri genliğinin %10’u) oranı olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan verilerin gözlenen verilerden büyük veya küçük olduğunun görülebilmesi için mutlak değer kullanılmamıştır.

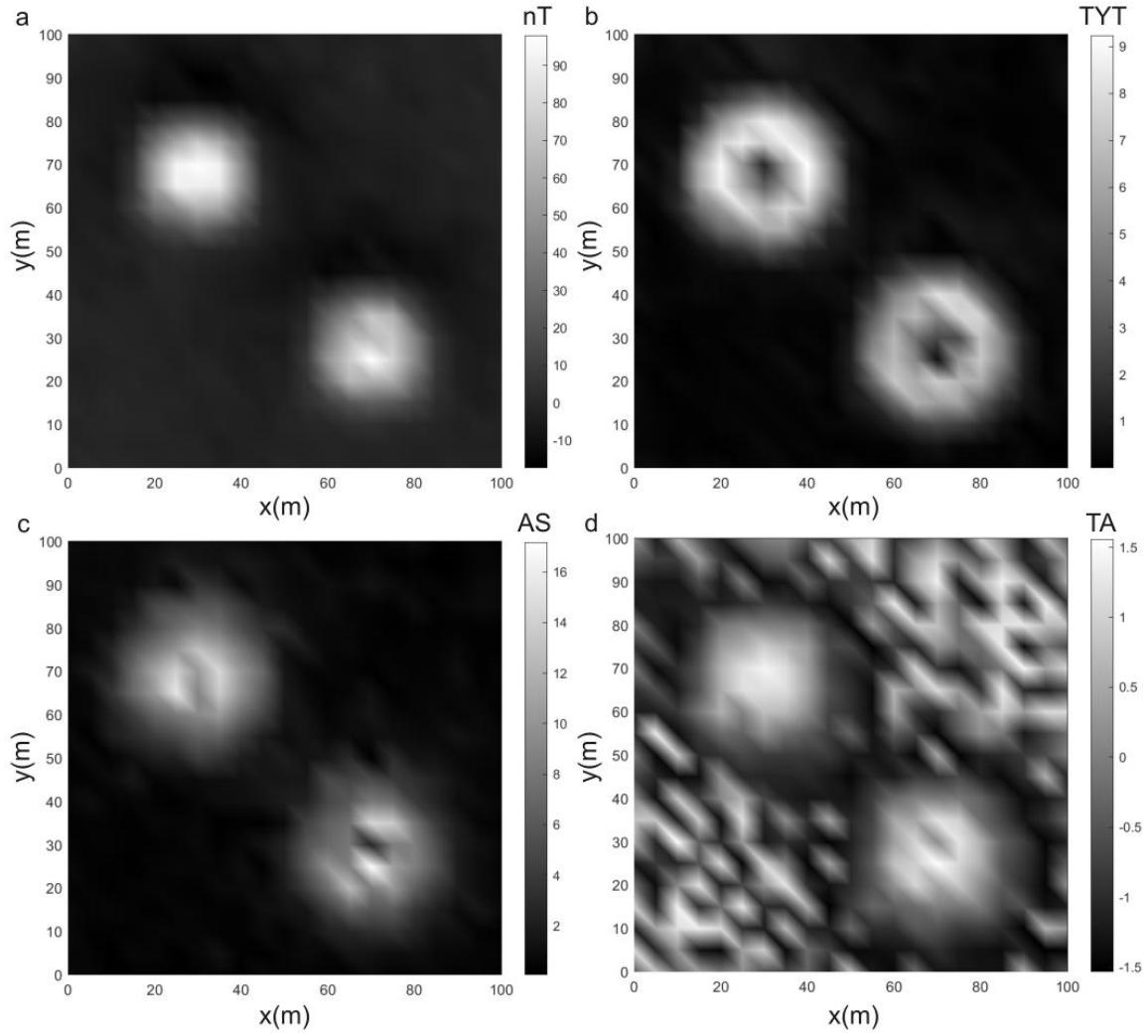
Ters çözüm sonucu elde edilen modele (Şekil 4) bakıldığında, prizmaların konum ve üst derinliklerinin doğru şekilde elde edildiği, kalınlıklarının ise derinlik ekseninde uzadığı gözlenmektedir. Bunun sonucu olarak manyetizasyon şiddetleri gerçek değerlerinden oldukça düşük olarak belirlenebilmiştir. Sonuçlar, ters çözümün arkeolojik kalıntıların yanal sınırlarının ve üst derinliklerinin ters çözümle doğru şekilde belirlenebildiğini; alt derinliklerinin ise manyetik verilerin derinlik çözünürlüğünün olmaması, kullanılan yuvarlatıcı düzgünleştirici ve çok çözünürlük yüzünden düşey yönde uzamış belirlenebildiğini göstermektedir.



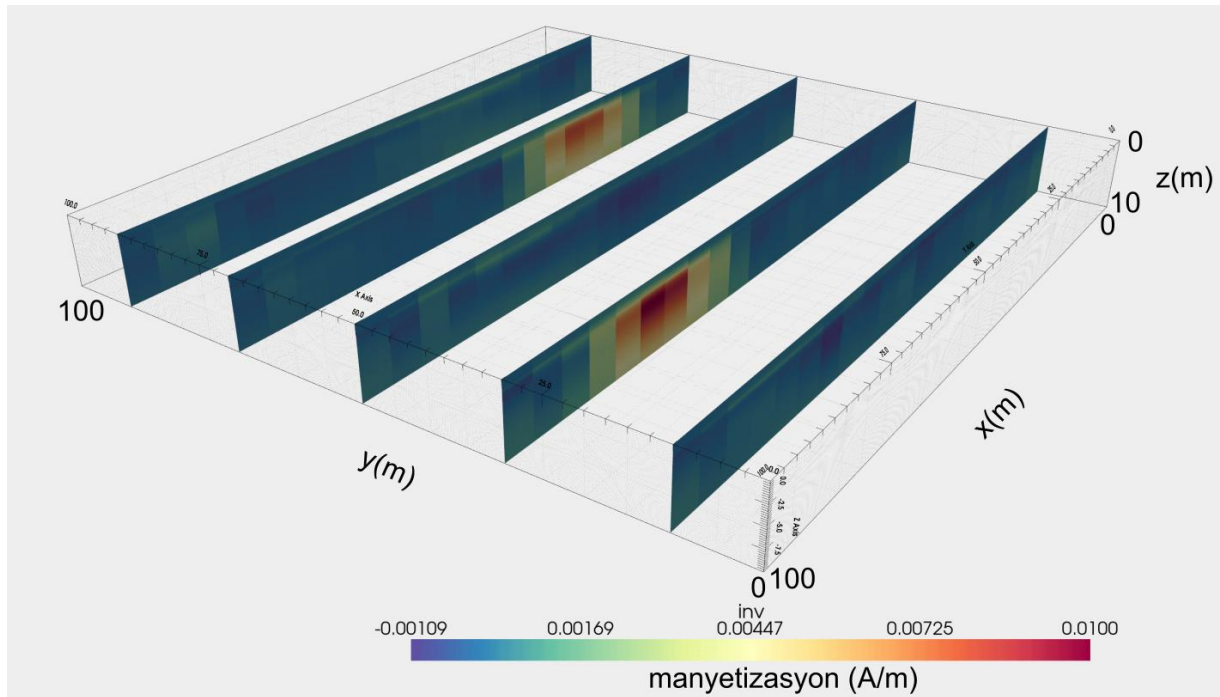
Şekil 1. Sentetik çalışmalar için kullanılan model. Model farklı derinliklere yerleştirilmiş manyetik geçirgenliği 0.075 A/m olan iki prizmatik yapıdan ibarettir.



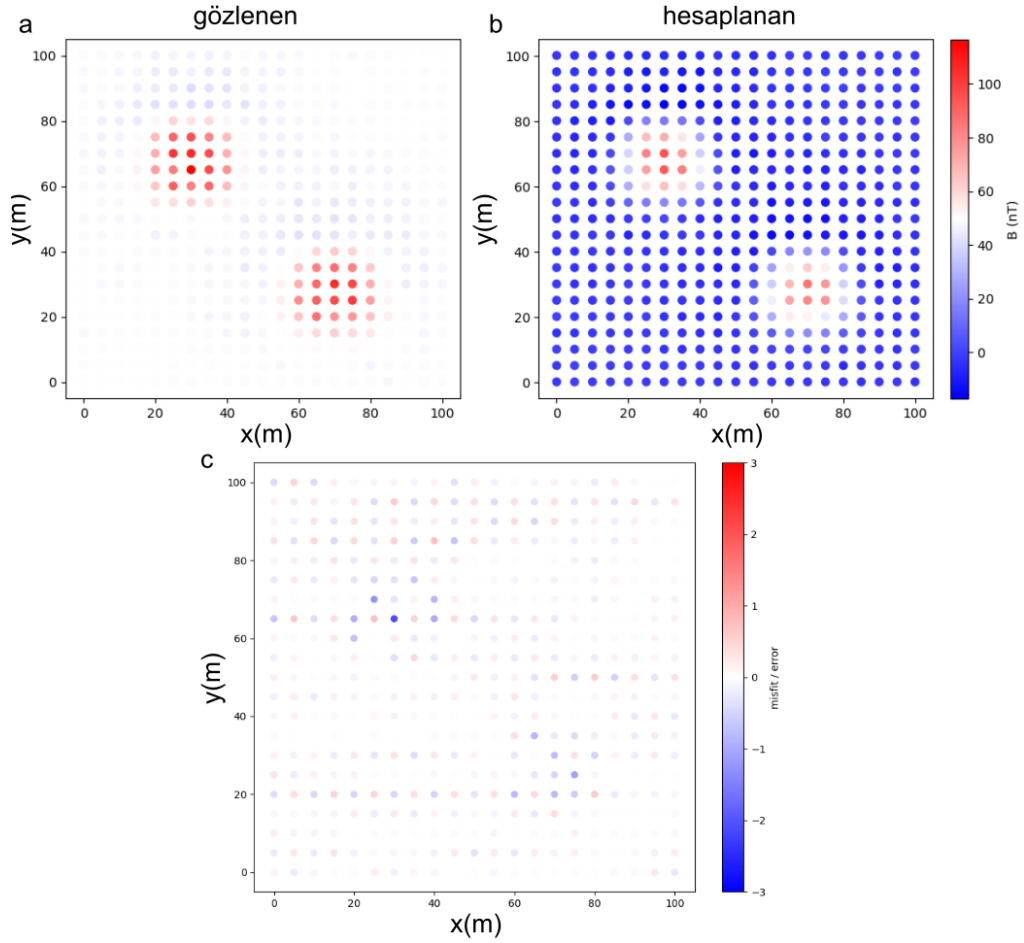
Şekil 2. a) Sentetik manyetik anomali haritası. b) Yatay Türev (TYT) haritası. c) Analitik sinyal haritası. d) Tilt açısı haritası.



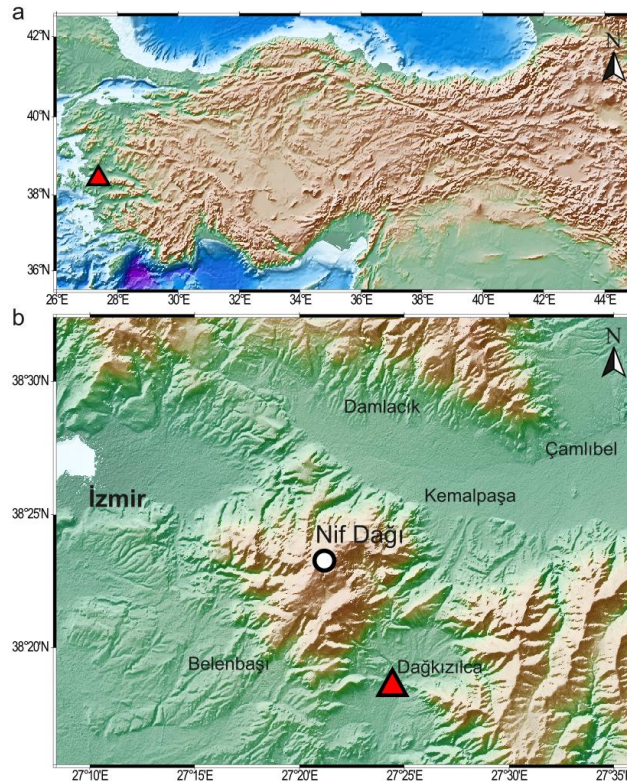
Şekil 3. a) %10 Gaussian gürültü eklenmiş sentetik manyetik anomali haritası. b) Gürültü eklenmiş Yatay türev (TYT) haritası. c) Gürültü eklenmiş Analitik sinyal haritası. d) Gürültü eklenmiş Tilt açısı hartası.



Şekil 4. %10 Gaussian gürültü eklenmiş sentetik verilerin Li ve Oldenburg (1996) ters çözümü sonucu elde edilen modelin 3B görünümü.



Şekil 5. Sentetik verilere ait otomatik trend giderme sonrası gözlenen veriler (a) ve 3B ters çözüm sonucu hesaplanan modele ait veriler (b).



Şekil 6. İzmir, Dağkızılca çalışma bölgesinin Türkiye’deki konumu (a), çalışma bölgesi ve çevresinin rölyef haritası (b).

3.2. Arazi çalışması

Nif (Olympos) Dağı, Batı Anadolu/Türkiye'de İzmir'in doğusunda yer almaktadır (Şekil 6) ve bölgedeki arkeolojik çalışmalar 2006 yılından bu yana devam etmektedir (Baykan 2016). Nif Dağı Araştırma ve Kazı Projesi kapsamında Dağkızılca'da çeşitli mezar tiplerine sahip bir nekropol ortaya çıkarılmıştır. Özellikle Helenistik mezarlar, lahit, oda ve sikkeler gibi tarihi kalıntılardan oluşan Nif (Olimpos) civarındaki alanı araştırmak oldukça önemlidir. Daha sonraki dönemlerde (Erken Helenistik dönem) inşa edilen mezarlar, seramik ve sikke verilerine göre M.Ö. dördüncü yüzyılın son çeyreği ile Geç Geometrik ve Arkaik dönemlere tarihlenen alanlarda tanımlanmıştır (Tulunay 2002).

Çalışma alanında ve çevresinde, bugüne kadar yapılan kazılarda hem inhumasyon hem de kremasyon geleneklerini yansıtan 14 mezar tespit edilmiştir (Tulunay 2011). Nif arkeolojik bölgesinde yapılan kaçak kazılar, arkeolojik mirasa büyük zarar vermiştir, bazı mezar odaları ise bütünlüğünü korumaktadır. Bu nedenle, arkeolojik kalıntıların tahribatsız belirlenmesi ve sağlıklı bir kazı ile güvenlik altına alınması önem arz etmektedir. Arkeojeofizik ön çalışmalarla arkeolojik kazıların maliyeti, süresi ve kazı sırasında antik yapı kalıntılarına gelebilecek olası hasar azaltılabilir. Jeofizik ölçümler, kalıntıların konumu, şekli, boyutu ve derinliği gibi özellikleri almanın etkili yoludur. Bu alanda daha önce, Drahor vd. (2004), Karamattepe ve Başpınar bölgesinde manyetik veriler toplamış ve bölgede önemli bulgular ortaya çıkarmıştır. 2005 ve 2007 yılları arasında, bölgedeki jeofizik görüntüleme çalışmaları GPR ve manyetik teknikler kullanan çeşitli projelerde devam etmiştir (Yüksel 2007, 2008).

Bu çalışmada, Nif Dağı arkeolojik alanında yapılan, her iki yönde 0.5 m aralıkla toplanmış manyetik alan ölçümleri değerlendirilmiştir (Şekil 7a). Bu verilere üç farklı sınır analiz yöntemi uygulanarak (Şekil 7 b, c ve d) kazı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerin etkinliği gürültüsüz ve %10 Gaussian gürültülü sentetik verilerle gerçekleştirilen deneylerle (Şekil 3 ve 4) kıyaslanarak yorumlanmıştır. Uygulanan yöntemlerden, TYT ve AS mezar odasının doğu odacığının hem dış hem de iç duvar sınırlarını belirleyebilmiştir, buna karşın TA yorumlanması güç bir anomali sağlamıştır. TYT ve AS anomalileri karşılaştırıldığında ise, TYT'nin mezar odasının duvarlarının sürekliliğini daha iyi belirlediği gözlenmiştir.

Daha sonra ters çözümle yer altındaki manyetizasyon şiddeti dağılımının belirlenmesi ve yapıların derinlikleri hakkında yorumlarda bulunabilmek için pyGIMLi (Rücker ve Günther 2016) kütüphanesiyle Li ve Oldenburg (1996) ters çözümü gerçekleştirilmiştir. Ters çözüm için yeraltı her iki yanal yönde 5 m ve derinlik yönünde 0.2 m boyutlarındaki dörtgen prizma şekilli bloklardan oluşan

bir ağ ile temsil edilmiştir ve her bir blok için $1e-3$ A/m başlangıç değeri atanmıştır. Ters çözüm sonucu elde edilen model Şekil 8'de, elde edilen modele ait, gözlenen ve hesaplanan veriler ile çıkışma hatası (hesaplanan ve gözlenen veriler arasındaki farkın veri noktasına atanan hataya oranı) Şekil 9'da gösterilmiştir.

Verilere uygulanan yuvarlatıcı düzgünleştiricili ters çözüm sonucu elde edilen modelin ise mezar odasının kuzeydoğusunda belirlenen toprak yığınının büyük ölçüde etkilendiği gözlenmektedir (Şekil 8). Alanın Batı-Güneybatı bölgesindeyse mezar duvarlarının etkisiyle düşük manyetizasyon değerleri elde edilmiştir. Bu alanda mezar duvarlarının yüzeye daha yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Düşük manyetizasyonlu bu anomalininse yaklaşık 1.5 m derinlikte sönümlendiği ve başlangıç modelinin değerlerine ($1e-4$ A/m) yakınsadığı gözlenmiştir. Sentetik model çalışmalarında da görüldüğü üzere (Şekil 6), manyetik verilerin ters çözümü sonucu elde edilen modellerde yapılar düşey yönde uzamış olarak elde edilebilmektedir. Buradan hareketle duvarların alt sınırlarının en fazla 1.5 m derinliğe indiği yorumu yapılabilir.

Kazılar sonucu açılan mezar odasının (Şekil 10) duvarlarının üst derinliğinin $[0, 0.25]$ m aralığında, alt derinliğinin de yaklaşık 1.5 m olduğu gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, dikkatli biçimde kullanıldığı takdirde ters çözümle yapıların derinlikleri hakkında önemli bilgilere ulaşılabildiğini bir kere daha göstermiştir. Buna karşın, ters çözüm sonucunda (Şekil 8) mezar odasının duvarları yan sınırları tespit edilememektedir. Bunun sebebi, kullanılan yuvarlatıcı düzgünleştiricinin aşırı yuvarlatılmış (oversmoothed) modeller vermesi olarak yorumlanmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

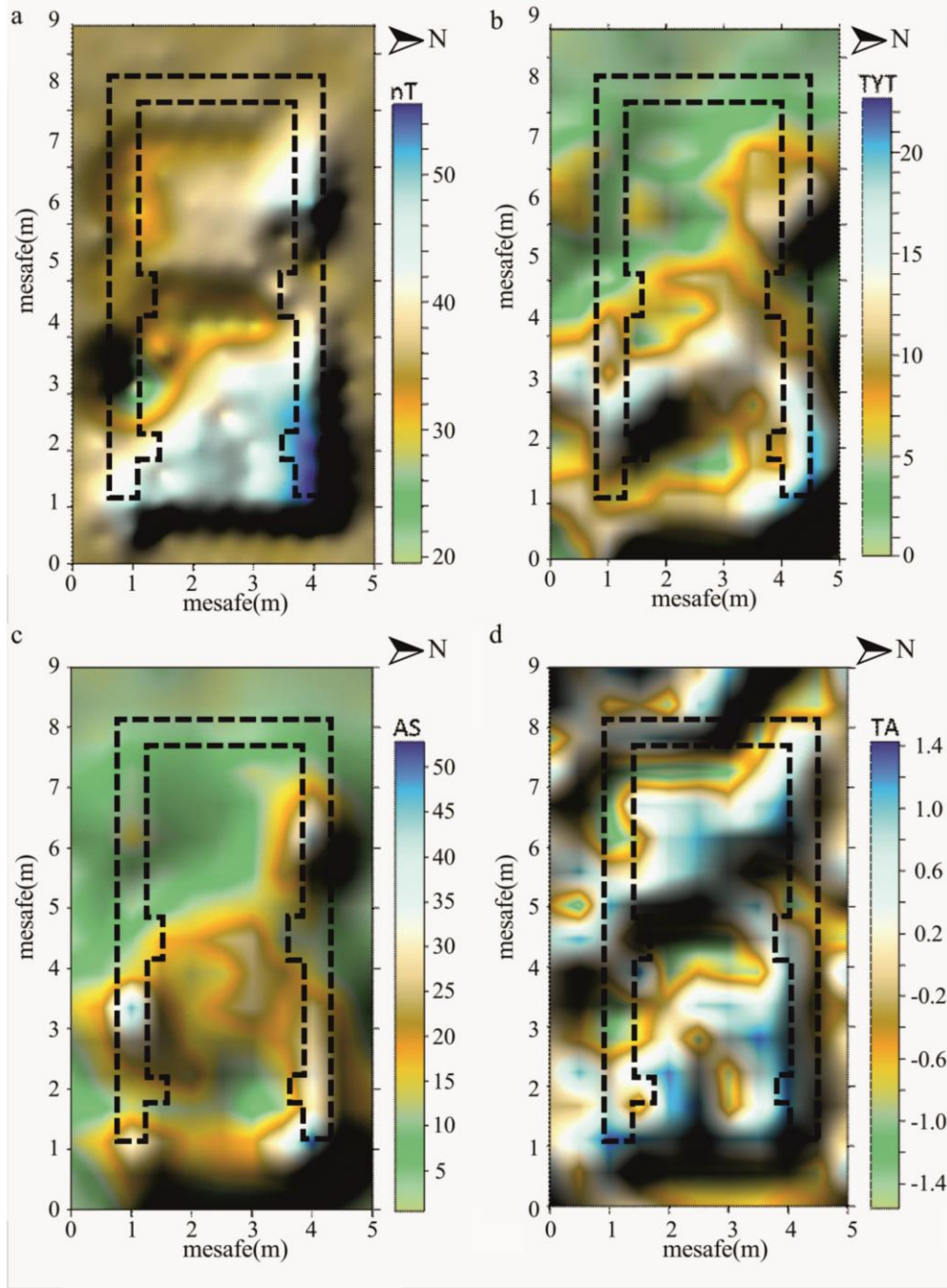
TYT, AS ve TA yöntemleri, doğal potansiyel kaynaklı verilerin yorumlanması için sıklıkla uygulanmaktadır. Bu yöntemler önce gürültüsüz sentetik model üzerine daha sonra %10 Gaussian gürültü eklenmiş sentetik model üzerine uygulanmıştır. Daha sonra bu yöntemler arazi verisine uygulanmıştır.

Şekil 1'de görülen çalışma alanına ait manyetik verilerdeki (Şekil 7a), ince ayrıntıları geliştirmek ve sığ ve derin yapıların kenarlarını belirlemek amacı ile TYT, AS, TA yöntemleri uygulanmıştır (Şekil 7 b, c ve d). Bu sonuçları bakıldığında, yatay türev ve analitik sinyal yönteminin oda mezar (Şekil 10) ile daha uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.

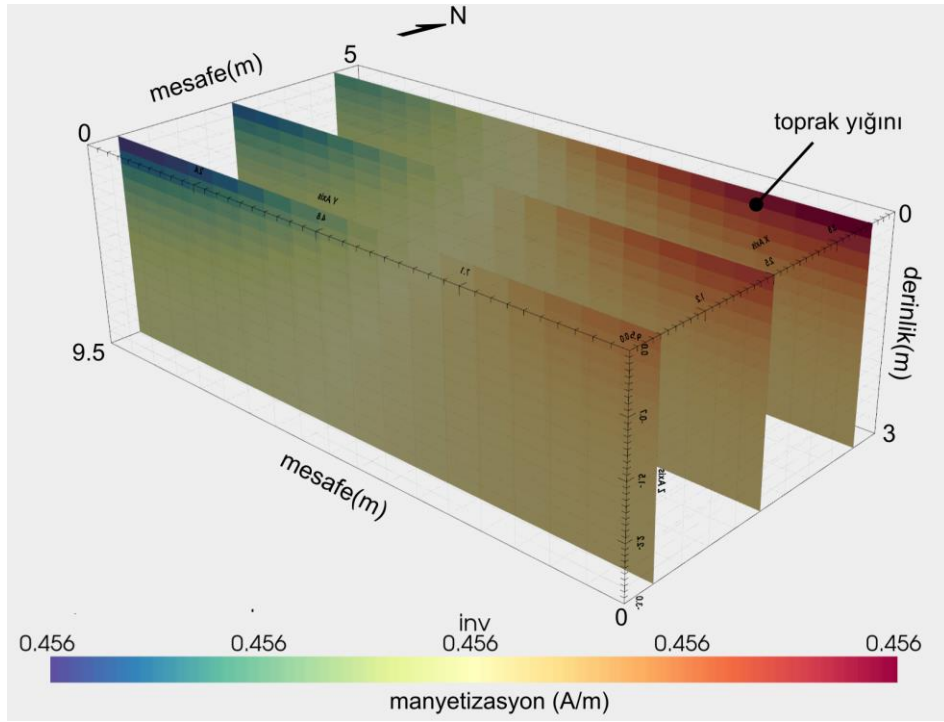
Mezarın kuzeydoğu sınırındaki yüksek anomali (Şekil 7a) ise buraya toprak yığıldığını işaret etmektedir. Uygulanan düzgünleştiricili ters çözüm yöntemi ise mezar odasının güneydoğu ucundaki toprak yığını belirleyebilmiştir (Şekil 9), buna karşın kullanılan yuvarlatıcı düzgünleştirici nedeniyle yanal yöndeki yapı sınırlarını belirlemede

yetersiz kalmıştır. Bu nedenle, küçük sahalarda ters çözüm yöntemleri uygulanırken keskin sınırlar verebilen ters çözüm yöntemleri tercih edilebilir. Ters çözüm sonucunda elde edilen modelde, modelin Batı-Güneybatı bölgesinde gözlenen düşük manyetik geçirgenliğe sahip bölge, burada mezar odası duvarlarının yeryüzüne yakın olduğunu işaret etmektedir. Bu düşük manyetizasyonlu bölgenin alt sınırının yaklaşık 1.5 m derinliğe indiği gözlenmiştir, bu derinlik mezar odasının açılmasından sonra belirlenen duvarların alt derinliği ile uyumludur.

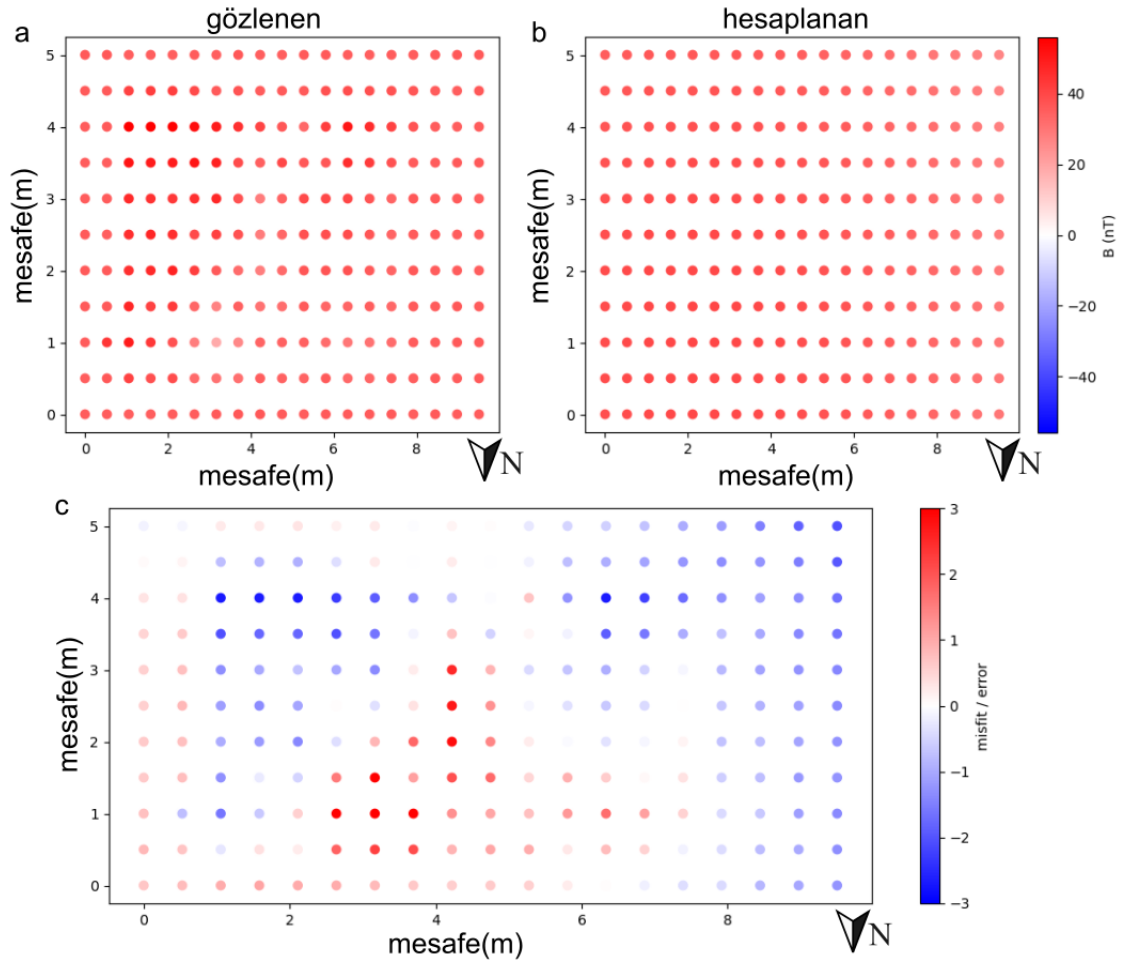
Arkeolojik alanlarda gerçekleştirilen çalışmalarda, sığ derinlikte gömülü yapıların sınırlarının tespitinde türev tabanlı analiz yöntemlerinin etkinliği gösterilmiş, sonuçların hızlı bir yorumlama olanağı sağladığı görülmüştür. Manyetik verilerin 3B ters çözümü ise, kullanılan yuvarlatıcı fonksiyondan, çok çözünürlükten ve yöntemin derinlik çözünürlüğü bulunmamasından kaynaklı zorluklara sahip olsa da dikkatli kullanıldığı zaman yapıların gerçek derinliklerine ilişkin bilgi sağlayabilmektedir.



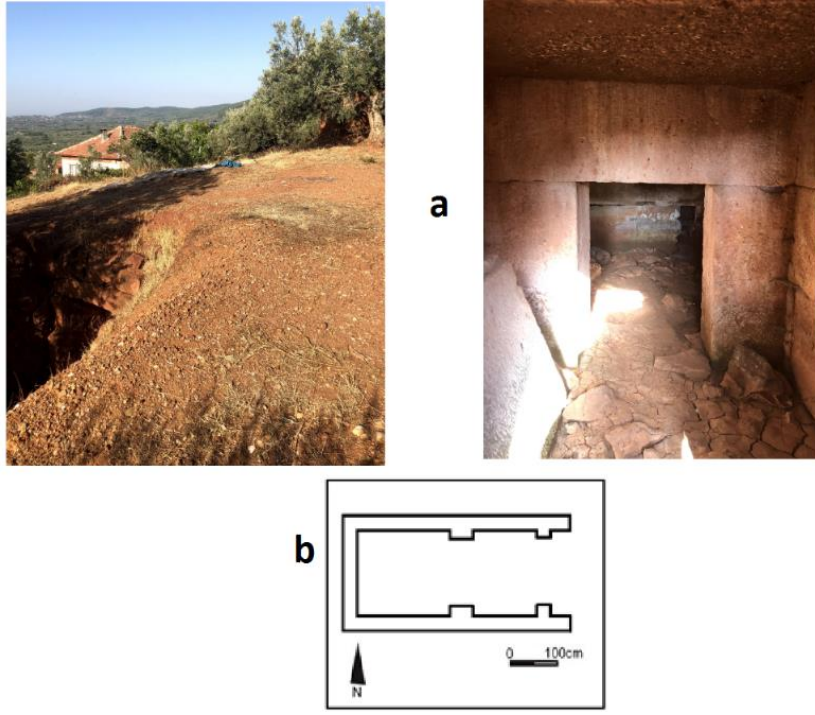
Şekil 7. a) Dağkızılca bölgesinde bulunan oda mezarda alınan manyetik anomali haritası. b) Yatay Türev (TYT) haritası. c) Analitik sinyal haritası. d) Tilt açısı hartası. Şekilde kazı sonucu belirlenen yapı sınırları siyah kesik çizgiyle gösterilmiştir.



Şekil 8. Li ve Oldenburg (1996) ters çözümü sonucu elde edilen modele ait manyetizasyon modeli.



Şekil 9. Gözlenen veriler (a), Li ve Oldenburg (1996) ters çözümü sonucu elde edilen modele ait hesaplanan veriler (b), gözlenen ve hesaplanan veriler arasındaki çakışma hatası (c).



Şekil 10. Dağkızılca bölgesinde bulunan oda mezar alanına ait fotoğraflar (a) ve oda mezarın şematik görüntüsü (b).

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazar, bu çalışmada bütün etik standartlara uyduğunu beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarın bu makale içeriğiyle ilgili beyan edeceği hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu makale kapsamında kullanılan veri kümesi istek üzerine paylaşılacaktır.

Teşekkür

Bu makalenin iyileştirilmesi için öneri ve görüşlerini sunan editör ve hakemlere teşekkür ederim. Kazı projesi başkanı Prof.Dr. Elif Tül Tulunay'a teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

- Aitken M. J., 1958. Magnetic prospecting I. *Archaeometry* **1(1)**, 16–20.
- Aitken, M. J., 1959. Magnetic prospecting: An interim assessment. *Antiquity*, **33(131)**, 205-208.
<https://doi.org/10.1017/S0003598X00027502>
- Argote, D. L., Tejero, A., Chávez, R. E., López, P. A., & Bravo, R., 2009. 3D modelling of magnetic data from an archaeological site in north-western Tlaxcala state, Mexico. *Journal of Archaeological Science*, **36(8)**, 1661-1671.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.03.004>
- Aykroyd, R. G., & Al-Gezeri, S. M., 2014. 3D modelling and depth estimation in archaeological geophysics. *Chilean Journal of Statistics*, **5(1)**, 19-35.
- Baykan, D., 2016. Antik Madencilik Çerçevesinde Nif Dağı Kazıları. *MT Bilimsel*, **9**, 25-33.

- Belshé, J. C., 1957. Recent magnetic investigations at Cambridge University. *Adv Phys*, **6(22)**, 192–193.
<https://doi.org/10.1080/00018739700101561>

- Cheyney, S., Fishwick, S., Hill, I. A., & Linford, N. T., 2015. Successful adaptation of three-dimensional inversion methodologies for archaeological-scale, total-field magnetic data sets. *Geophysical Journal International*, **202(2)**, 1271-1288.
<https://doi.org/10.1093/gji/ggv177>

- Cooper, G. R. J. & Cowan, D. R., 2008. Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics. *Geophysics*, **73(3)**, H1-H4.
<https://doi.org/10.1190/1.2837309>

- Cooper, G. R. J., 2009. Balancing images of potential-field data. *Geophysics*, **74(3)**, L17-L20.
<https://doi.org/10.1190/1.3096615>

- Cordell, L., & Grauch, V. J. S., 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico, in W. J. Hinze, ed., *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps: SEG*, 181-197.
<https://doi.org/10.1190/1.0931830346.ch16>

- Drahor, M. G., Berge, M. A., Kurtulmuş, Ö., 2004. Nif (Olympos) Dağı Araştırma Projesi: Yüzey Araştırması, *Türk Eskiçağ Bilimleri Enstitüsü, Haberler*, **20**, 33–35.

- Fassbinder, J. W., 2023. Magnetometry for archaeology. In *Encyclopedia of geoarchaeology* (pp. 1-16). Cham: Springer International Publishing.

- Guillen, A., & Menichetti, V., 1984. Gravity and magnetic inversion with minimization of a specific functional. *Geophysics*, **49(8)**, 1354-1360.

- <https://doi.org/10.1190/1.1441761>
- Holstein, H., Sherratt, E. M., Reid, A. B., 2007. Gravimagnetic field tensor gradiometry formulas for uniform polyhedra, SEG Ext. Abstr.
- Keating, P. B. & Pilkington, M., 1990. An automated method for the interpretation of magnetic vertical-gradient anomalies, *Geophysics*, **55**, 336-343. <https://doi.org/10.1190/1.1442841>
- Li, Y., & Oldenburg, D. W., 1996. 3-D inversion of magnetic data. *Geophysics*, **61(2)**, 394-408. <https://doi.org/10.1190/1.1443968>
- Miller, H. G., Singh, V., 1994. Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, **32(2-3)**, 213-217, 1994. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1)
- Modestino, J. W., and Fries, R. W., 1977. Edge detection in noisy images using recursive digital filter, *Comput. Graphics Image Process, PAMI-1*, 409-433. [https://doi.org/10.1016/S0146-664X\(77\)80020-8](https://doi.org/10.1016/S0146-664X(77)80020-8)
- Pilkington, M., and Keating, P., 2004. Contact mapping from gridded magnetic data – a comparison of techniques, *Exploration Geophysics*, **35**, 206-311. <https://doi.org/10.1071/EG04306>
- Pilkington, G. R. J., 2006. Obtaining dip and susceptibility information from Euler deconvolution using the Hough transform, *Computers & Geosciences*, 3292-1599. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.02.019>
- Roest, W. R., Verhoef, J., & Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, **57(1)**, 116-125. <https://doi.org/10.1190/1.1443174>
- Rücker, C., & Günther, T., 2016. Geophysical modeling and inversion library GIMLi—A C++/Python library for geophysical data analysis.
- Tezel, O., & Alp, H., 2021. High-resolution electrical resistivity imaging of buried grave in Nif (Olympus) Mountain/Izmir. *Arabian Journal of Geosciences*, **14(22)**, 2357. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08741-5>
- Tikhonov, A. N., 1977. *Solutions of Ill-Posed Problems*. V.H. Winston and Sons.
- Tite, M. S., & Mullins, C., 1971. Enhancement of the magnetic susceptibility of soils on archaeological sites. *Archaeometry*, **13(2)**, 209-219.
- Tulunay E. T., 2002. Nif (Olympus) Dağı Araştırma Projesi Önİnceleme Gezileri 1999-2001, *Haberler*, **14**, 18 – 19.
- Tulunay, E. T., 2004. Nif (Olympus) Dağı Araştırma Projesi: 2004 Yılı Yüzey Araştırması, 23. Araştırma Sonuçları Toplantısı 2.Cilt.
- Tulunay E. T., 2011. Nif (Olympus) Dağı Kazı ve Araştırma Projesi: 2009 Yılı Kazısı, *KST*, **32-3**, 405-423.
- Yaman, T. T., 2022. Rough Sets Based Spatial Analysis for Metal Production Area at Mount Nif. *Türk Arkeoloji ve Etnografya Dergisi*, **84**, 65-81.
- Yiğit, A., Kırmızıoğlu, P. G., & Yavuz, A. Y., 2007. Nif (Olympus) Dağ Kazısı. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 111.
- Yüksel, F. A., 2007. Nif (Olympus) Dağı Kazı ve Araştırma Projesi. *Türk Eskiçağ Bilimleri Enstitüsü, Haberler*, **23**, 32-34.
- Yüksel, F. A., 2008. Nif (Olympus) Dağı Kazı Çalışmaları. *Türk Eskiçağ Bilimleri Enstitüsü, Haberler*, **25**, 30-32.