



Gravite verilerinin sınır analizi yöntemleriyle değerlendirilmesi; Eskişehir örneği

Evaluation of the gravity data using edge detection methods; Case study Eskişehir

Şenol ÖZALIN¹, İlknur KAFTAN^{1*}

¹Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
senol.ozalin@deu.edu.tr, ilknur.kaftan@deu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 10.11.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 29.03.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.00018

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Potansiyel alan verilerinin yorumlanmasında jeolojik yapıların sınırlarını belirginleştirmek amacıyla uygulanan sınır iyileştirme teknikleri ve sınır analizi yöntemleri önemli rol oynamaktadır. Türev tabanlı farklı yöntemler bu amaç için uygulanmaktadır. Bu çalışmada yer altı jeolojik modeli belirlemek amacıyla tilt açısı (TIA), Theta açısı (THA), hiperbolik tilt açısı (HTIA), tilt açısının toplam yatay türevi (THDR-TIA), normalleştirilmiş yatay türev (NTHD), ve yeni normalleştirilmiş toplam yatay türev (NNTHD) yöntemleri gravite verilerine uygulanmıştır. Öncelikle yöntemlerin performanslarını test etmek amacıyla oluşturulan teorik gravite verisi değerlendirilmiştir. Gürültünün yöntemler üzerindeki etkisini ölçmek amacıyla teorik veriye rastgele gürültü eklenmiş ve yöntemlerin sonuçları irdelenmiştir. Son olarak Eskişehir ve çevresine ait gravite verileri aynı sınır analizi yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde teorik gravite verisinde TIA, THA ve NTHD yöntemlerinin uygulanan diğer yöntemlere göre nispeten daha başarılı olduğu görülmüştür. Eskişehir gravite verilerinde uygulanan tüm yöntemlerin bölgenin genel tektonik trendine uygun sonuçlar verdiği ancak TIA, HTIA ve THDR-TIA yöntemlerinin sonuçlarının diğer yöntemlere göre daha uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sınır analizi, Gravite verisi, Eskişehir

Abstract

Edge enhancement and edge detection methods which are applied to delineate the edges of the geologic structures play important role for interpreting potential field data. Derivative-based different methods are used for this purpose. In this study, Tilt angle (TIA), Theta angle (THA), hyperbolic tilt angle (HTIA), total horizontal derivative of the tilt angle (THDR-TIA), the normalized horizontal derivatives (NTHD), and the new normalized total horizontal derivative (NNTHD) methods were applied to gravity data to determine the geological subsurface model. First, generated theoretical gravity data was evaluated in order to analyse the performance of the methods. To understand effect of noise on the methods, random noise was added to theoretical data and results of the methods were investigated. Finally, the gravity data of Eskişehir and surroundings were evaluated using the same edge detection methods. When the results are examined, it has been seen that TIA, THA and NTHD methods in theoretical gravity data are relatively more successful than the other methods. It has been observed that all the methods applied to Eskişehir gravity data give results that are in harmony with the general tectonic trend of the region but, the results of TIA, HTIA and THDR-TIA methods are more compatible than the other methods.

Keywords: Edge detection, Gravity data, Eskişehir

1 Giriş

Potansiyel alan verilerinin yorumlanmasında yeraltı yapılarının sınırlarının ve jeolojik süreksizliklerin saptanması önemli bir bileşendir. Jeolojik yapı sınırlarını belirlemek ve onları daha görünür hale getirmek için birçok yöntem geliştirilmiştir [1]-[9]. Gravite verisinin düşey türevinin kullanılmasının avantajlarını ilk olarak [1] belirtmiştir. Thurston ve Smith yapı sınırlarını belirlemek amacıyla gravite ve manyetik verilerin düşey türevini kullanmıştır [5]. Manyetik veriden yapı sınırlarını belirlemek amacıyla theta açısı yöntemi [8] tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin çoğu potansiyel alan verisinin yatay ve düşey türevlerine dayanmaktadır [10]-[12],[4],[13].

Günümüzde de potansiyel alan verilerinin değerlendirilmesinde sınır analizi yöntemleri birçok araştırmacı tarafından uygulanmaktadır [14]-[24]. Oruç, Kozaklı bölgesine ait bouguer gravite verilerini sınır analizi yöntemlerinden biri olan Tilt açısı ile değerlendirmiştir [17]. Arısoy ve Dikmen geliştirdikleri matlab tabanlı Potensoft adlı programla potansiyel alan verilerinin sınır analizi yöntemleri ile değerlendirilmesine olanak sağlamışlardır [15]. Denizli basenine ait bouguer gravite verileri [21] tarafından tilt açısı,

analitik sinyal ve yatay türev gibi sınır analizi yöntemleri ile değerlendirilerek bölgeye ait çizgisellikler saptanmıştır.

Bu çalışmada Tilt (TIA) açısı, tilt açısının toplam yatay türevi (THDR-TIA), hiperbolik tilt açısı (HTIA), theta açısı (THA), normalleştirilmiş yatay türev (NTHD) ve yeni normalleştirilmiş toplam yatay türev (NNTHD) sınır analiz yöntemleri öncelikle teorik gravite verisine uygulanarak farklı derinlikte bulunan yapıların sınırları belirlenmiştir. Aynı teorik gravite verisine rastgele normal dağılım gürültüsü eklenerek sınır analiz yöntemlerinin gürültülü veri üzerindeki performansları araştırılmıştır. Özellikle gürültülü veride TIA, THA ve NTHD yöntemlerinin derindeki yapıların sınırlarını saptayabildiği gözlenmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında Eskişehir civarına ait gravite verilerine yukarıda değinilen sınır analizi yöntemleri uygulanarak jeolojik süreksizler görüntülenmiştir. Uygulanan yöntemlerin bölgenin tektonik trendine uyumlu sonuçlar ürettiği saptanmıştır.

2 Yöntem

Bu çalışma kapsamında uygulanan ve potansiyel alan verilerinden jeolojik yapı sınırlarının ve jeolojik süreksizliklerin görüntülenmesinde yaygın olarak kullanılan Tilt (Eğim) açısı, toplam yatay türev (THDR-TIA),

normalleştirilmiş yatay türev (NTHD), theta açısı (THA), hiperbolik tilt açısı (HTIA) ve yeni normalleştirilmiş toplam yatay türev (NNTHD) yöntemlerine kısaca değinilecektir.

Tilt açısı (TIA) yöntemi ilk olarak [4] tarafından manyetik anomaliye neden olan jeolojik yapıların yerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Yapının merkezinde maksimum ve pozitif değerler alırken yapı sınırlarında sıfır olur. Yapının dışındaki alanlarda negatif değerlere ulaşır. Genellikle sığ jeolojik yapıların görüntülenmesinde ve mineral araştırmalarında kullanılır. Yöntem daha sonra [7] tarafından geliştirilmiş ve jeolojik süreksizliklerin üzerinde sıfır değerini alan iki boyutlu verilerin yorumlanıp yapı sınırlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Tilt açısının matematiksel bağıntısı,

$$TIA = \tan^{-1} \left[\frac{\delta f / \delta z}{\sqrt{\left(\frac{\delta f}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta y}\right)^2}} \right] \quad (1)$$

olarak verilir.

Bağıntıdaki f potansiyel alanı, $\delta f / \delta x$, $\delta f / \delta y$, $\delta f / \delta z$ ise f alanının x, y ve z doğrultusundaki birinci türevlerini göstermektedir.

Tilt açısının toplam yatay türevi (THDR-TIA), yaygın olarak kullanılan kenar belirleme yöntemlerinden biridir. İlk olarak [7] tarafından manyetik verilerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Daha çok yüzeye yakın jeolojik yapıların sınırlarının belirlenmesinde tercih edilen bir yöntemdir. Yapının derinliği arttıkça yöntemin çözüm gücü azalır. THDR-TIA yapı sınırlarında maksimum değerler alır. Yöntem,

$$THDR - TIA = \sqrt{\left(\frac{\delta TIA}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta TIA}{\delta y}\right)^2} \quad (2)$$

bağıntısıyla tanımlanır.

Hiperbolik Tilt açısı (HTIA), [13] tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin uygulanmasından sonra elde edilen değerlerin maksimuma ulaştığı yerler jeolojik yapı sınırlarını belirtmektedir. Negatif değerler ise jeolojik yapının etrafını çevreleyen alanı temsil eder. Matematiksel ifadesi,

$$HTIA = R \left[\tanh^{-1} \left[\frac{\delta f / \delta z}{\sqrt{\left(\frac{\delta f}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta y}\right)^2}} \right] \right] \quad (3)$$

olarak verilir. Bağıntıdaki R, potansiyel alanın gerçel bileşenini göstermektedir.

Theta açısı (THA), maksimum değerlerin jeolojik yapı sınırlarını belirlediği bir yöntemdir. [8] tarafından THDR'nin analitik sinyale oranı alınarak geliştirilmiştir. Ancak jeolojik yapı derinlikleri arttıkça elde edilen sonuçlarda saçılmalar gözlemlenir. Yöntemin analitik ifadesi,

$$THA = \cos \theta = \frac{\sqrt{\left(\frac{\delta f}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta y}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{\delta f}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta y}\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta z}\right)^2}} \quad (4)$$

olarak verilir.

Normalleştirilmiş yatay türev (NTHD), yatay türevin maksimum değere oranıdır. İlk olarak [25] tarafından geliştirilen bu yöntem büyük ve küçük genlikteki jeolojik yapıların sınırlarını görünür hale getirebilmektedir. Normalleştirilmiş yatay türev haritasında maksimum değer aldığı noktalar jeolojik yapının sınırlarını göstermektedir. NTHD ile farklı derinliklerdeki jeolojik yapıların sınırları net bir şekilde belirlenebilir. Yöntemin analitik bağıntısı;

$$NTHD = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{\delta f}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta y}\right)^2}}{|\delta f / \delta z|} \right] \quad (5)$$

olarak ifade edilir.

Yeni normalleştirilmiş toplam yatay türev (NNTHD), bu yöntem [26] tarafından geliştirilip uygulanmıştır. NTHD'den olan farkı toplam yatay türevin maksimum değer yerine ortalama değere oranlanmasıdır. Yöntemin analitik bağıntısı;

$$NNTHD = \frac{\left[\left(\frac{\delta f}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta y}\right)^2 \right]}{ort \left[\left(\frac{\delta f}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta y}\right)^2 \right]} \quad (6)$$

şeklinde verilmiştir.

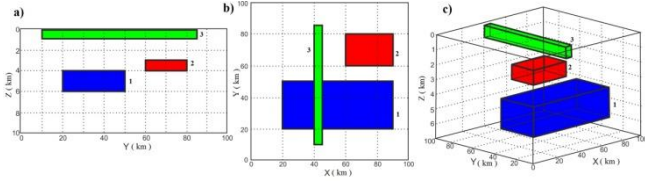
3 Uygulamalar

İncelenen yöntemlerin jeolojik yapıların sınırlarını ne ölçüde belirlediğini görmek ve her yöntemin performansını saptamak amacıyla ilk olarak teorik gravite verileri üzerinde uygulamalar yapılmıştır. İkinci aşamada ise görüntünün yöntemler üzerindeki etkisini gözlemlemek için teorik veriye görüntü eklenmiştir. Son olarak Eskişehir ve çevresine ait gravite verileri aynı yöntemler ile değerlendirilmiştir.

3.1 Teorik gravite anomalisi

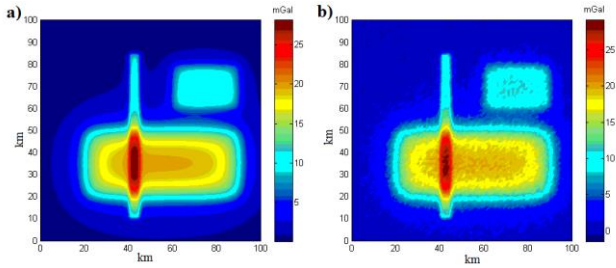
Teorik model Şekil 1'de verilen üç farklı prizmatik yapıdan oluşmaktadır. Şekil 1(a) yapıların Z eksenini boyunca derinlik kesidini, Şekil 1(b) X-Y düzlemi boyunca konumlarını ve Şekil 1(c) prizmaların konumlarını X-Y-Z koordinat sisteminde 3 boyutlu (3B) olarak göstermektedir. Birinci yapının X ve Y eksenleri koordinatları sırasıyla 20-90 km ve 20-50 km, Z eksenini boyunca olan üst ve alt yüzeyinin derinlikleri ise 4 ve 6 km'dir. Yapının yoğunluk farkı 0.3 gr/cm³tür. İkinci yapının X ve Y koordinatları 60-90 km ve 60-80 km, üst ve alt yüzey

derinliği 2 ve 3 km'dir. Yoğunluk farkı 0.3 gr/cm^3 olarak atanmıştır. Son yapı diğer iki yapıya göre yüzeye daha yakın olup alt ve üst yüzey derinlikleri 0.1 ve 0.9 km, koordinatları X eksenini için 40-45 km, Y eksenini için 10-85 km'dir.



Şekil 1: (a): Derinlik kesiti, (b): X-Y düzlemi boyunca prizmaların konumları, (c): Prizmalarının konumlarının 3B gösterimi.

Şekil 1'deki üç prizmatik yapıdan oluşan teorik modelden hesaplanan gravite anomali haritası Şekil 2(a)'da, hesaplanan gravite anomalisine ortalaması 0, standart sapması 0.5 rastgele normal dağılım gürültü eklenmiş gürültülü gravite anomali haritası ise Şekil 2(b)'de verilmiştir.

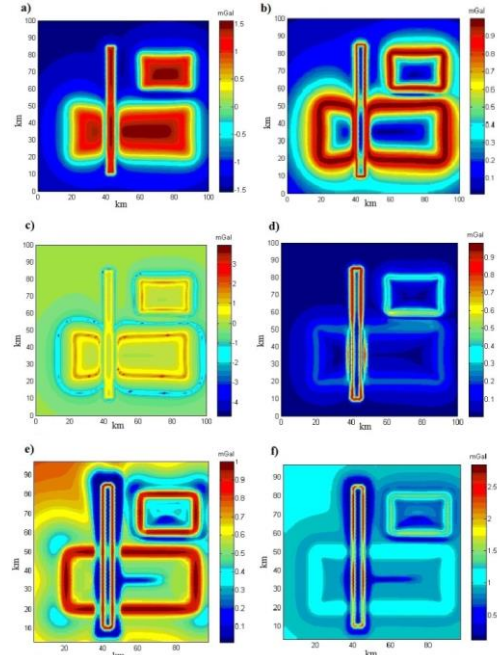


Şekil 2: (a): Teorik modelden hesaplanan gravite anomalisi, (b): Teorik modelin gürültülü gravite anomalisi.

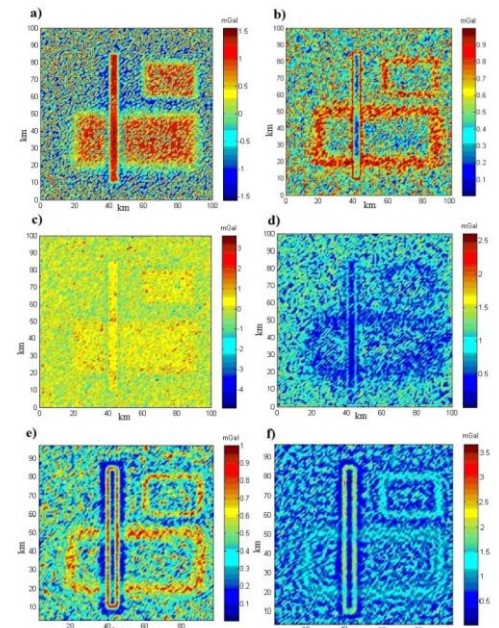
Hesaplanan gravite anomalisinden üç yapının da sınırlarını tanımlamak amacıyla sınır analiz yöntemleri sırasıyla uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde en üstteki yüzeye en yakın olan yeşil dikdörtgen prizma bütün yöntemlerle ayırt edilebilmektedir. Ancak üstteki yapıya göre daha derinde yer alan diğer iki prizmatik yapının sınırlarının tanımlanmasında yöntemlerin çözüm gücü farklılıklar göstermektedir. Tilt açısının sıfır değeri aldığı yerler her üç yapının da sınırlarını ayırmaktadır (Şekil 3(a)). Theta açısının (Şekil 3(b)) maksimum olduğu yerler her üç prizmanın da sınırlarını göstermektedir. Hiperbolik tilt açısı (Şekil 3(c)) anomalinin maksimum olduğu yerlerde prizmaların sınırlarını saptamıştır. THDR-TIA yönteminin çözüm gücü Şekil 3 (d)'de görüldüğü gibi yapıların derinliği arttıkça azalmıştır. NTHD (Şekil 3(e)) her üç yapının da sınırlarında maksimum genliğe ulaşmış ve derinlikleri farklı üç yapının da kenarlarını belirgin bir şekilde ayırt edebilmiştir. Böylece yapının derinliklerinin artmasının yöntemin çözüm gücü üzerinde bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. NNTHD yöntemi en üstteki yapıyı net bir şekilde saptarken diğer iki yapının derinliklerine bağlı olarak kenarlarının saptanmasında belirginlik azalmış ve en derindeki 1. yapının sınırlarını belirgin bir şekilde saptayamadığı gözlenmiştir (Şekil 3(f)).

Gürültülü veriyi elde etmek için Şekil 2(a)'da görülen anomali haritasına ortalaması 0, standart sapması 0.5 olan rastgele normal dağılım gürültü eklenmiştir. Gürültülü anomali haritası (Şekil 2(b)) sırasıyla tüm sınır analiz yöntemleri ile değerlendirilmiş ve gürültünün yöntemlerin çözüm gücünü ne ölçüde etkilediği araştırılmıştır. Şekil 4(a) tilt açısı, Şekil 4(b) theta açısı, Şekil 4(c) hiperbolik tilt açısı, Şekil 4(d) tilt açısının toplam yatay türevi, Şekil 4(e) normalleştirilmiş yatay türev, Şekil 4(f) yeni normalleştirilmiş toplam yatay türev,

Şekil 4(f) yeni normalleştirilmiş toplam yatay türev sonuçlarını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, TIA (Şekil 4(a)), THA (Şekil 4(b)) ve NTHD yöntemleri (Şekil 4(e)) her üç yapının sınırlarını net bir şekilde saptayabilmiştir. HTIA, THDR-TIA NTHD yöntemleri üstteki sıg yapının sınırlarını nispeten belirleyebilse de derindeki diğer iki yapının sınırlarını tam olarak belirleyememiştir.



Şekil 3: (a): Tilt Açısı (TIA), (b): Theta Açısı (THA), (c): Hiperbolik Tilt açısı, (HTIA), (d): Tilt açısının toplam yatay türevi (THDR-TIA), (e): Normalleştirilmiş yatay türev (NTHD), (f): Yeni normalleştirilmiş toplam yatay türev (NNTHD).



Şekil 4: (a): Tilt açısı (TIA), (b): Theta açısı (THA), (c): Hiperbolik tilt açısı (HTIA), (d): Tilt açısının toplam yatay türevi (THDR-TIA), (e): Normalleştirilmiş yatay türev (NTHD), (f): Yeni normalleştirilmiş toplam yatay türev (NNTHD).

Verideki gürültü faktörü ve yapıların derinlikleri göz önüne alındığında bu uygulama için HTIA, THDR-TIA ve NNTHD yöntemlerinin daha derindeki yapıların sınırlarını belirlemede etkisiz kaldıkları gözlenmiştir.

Genellikle potansiyel alanın düşey ve yatay türevlerine dayanan sınır analizi yöntemlerinde birinci düşey türev kaynak yapı üzerinde pozitif, sınırlarda sıfır ve kaynağın dışındaki alanlarda negatif değerlere ulaşırken, yatay gradyan ise sınırlarda maksimum değerler alıp kaynak yapı üzerinde sıfır değerine ulaşır. THDR-TIA gibi bazı yöntemlerin özellikle derin yapıların sınırlarının belirlenmesinde etkisinin azaldığı gözlenmektedir (Şekil 3d), Şekil 4d)). Bunun sebebi THDR-TIA, TIA yönteminin ikinci türevleri kullanılarak oluşturulması ve bu hesaplamalar sonucu oluşan bozucu etkilerdir. Öte yandan düşey türevin yatay türeve oranını kullanıldığı bir yöntem olan TIA'nın genlik değerleri $-\pi/2$ ile $+\pi/2$ arasında sınırlandırıldığından derin ve sığ yapıların sınırlarını belirleyebilmektedir (Şekil 3(a), Şekil4 (a)).

3.2 Eskişehir gravite anomalisi

Eskişehir fay zone, genel doğrultusu BKB-DGD olan ve batıda Uludağ ile doğuda Kaymaz arasında uzanan sağ yönlü doğrultu atımlı normal bileşenli bir fay zonudur. Bu fay zone, Eskişehir civarında doğrultusu D-B ve KB-GD arasında değişen fay segmentlerinden oluşmaktadır [27]. Orta Anadolu'nun en önemli fay sistemlerinden olan İnönü Eskişehir fay sisteminin (İEFS) en batı ucunu oluşturur [28]. Bölgedeki faylar güncel diri fay haritasından [29] derlenerek Şekil 6(a)'da verilmektedir.

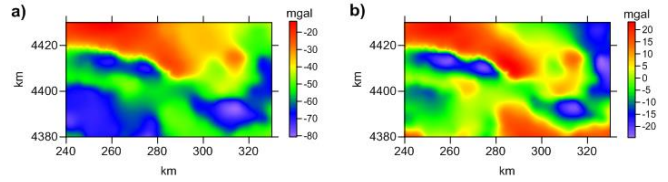
Bu çalışmada Eskişehir ve çevresinin [30] tarafından alınan gravite verileri sınır analizi yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Eskişehir ve çevresinin 1/100.000 ölçekli ve 1 km aralıkla örneklenmiş gravite verileri Şekil 5(a)'da verilmiştir [30]. Elde edilen rezidüel gravite anomalisi haritası (Şekil 5(b)) sırasıyla TIA, THA, HTIA, THDR-TIA, NTHD ve NNTHD sınır analizi yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Şekil 6(a) Eskişehir fay zonunu, Şekil 6(b) Eskişehir ve çevresine ait gravite verilerinin tilt açısını, Şekil 6(c) theta açısını, Şekil 6(d) hiperbolik tilt açısını, Şekil 6(e) tilt açısının toplam yatay türevini, Şekil 6(f) normalleştirilmiş yatay türevini ve Şekil 6(g) yeni normalleştirilmiş toplam yatay türevini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde her yöntemin bölgedeki Eskişehir fay zonunun genel trendi olan BKB-DGD doğrultusunu saptadığı görülmektedir. TIA, HTIA ve THDR-TIA yöntemlerinin sonuçlarının diğer yöntemlere göre nispeten daha uyumlu olduğu görülmüştür.

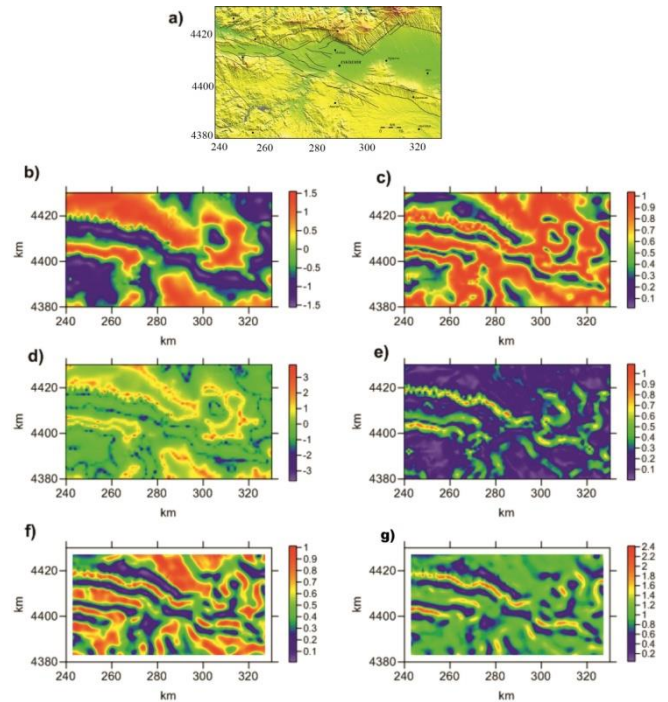
4 Sonuçlar

Bu çalışmada farklı sınır analizi yöntemleri öncelikle teorik gravite verilerine daha sonra Eskişehir çevresine ait gravite verilerine uygulanmıştır. Yöntemlerin yeraltındaki jeolojik yapıların sınırlarını ne ölçüde saptayabildiği araştırılmıştır. Öncelikle derinlikleri farklı üç prizmatik yapıdan oluşan teorik gravite verisine uygulanan altı yöntemin de yapıların kenarlarını yaklaşık olarak saptadığı gözlenmiştir. Ancak THDR-TIA ve NNTHD yöntemlerinin yapının derinliği arttıkça çözüm gücünün azaldığı ve en derindeki prizmatik yapıyı net olarak saptayamadıkları gözlenmektedir. Teorik veriye rastgele gürültü eklenerek oluşturulan gravite anomalisindeki uygulamalar sonucunda ise Tilt açısı (TIA), Theta açısı (THA) ve Normalleştirilmiş yatay türev (NTHD) yöntemleri gürültüden daha az etkilenerek her üç yapının kenarlarını saptamıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise Eskişehir ve

civarına ait gravite verilerinden elde edilen sonuçlar, bölgedeki Eskişehir fay zonunun BKB-DGD genel doğrultusunu çalışmada uygulanan altı yöntem tarafından saptandığını göstermektedir. Ancak TIA, HTIA ve THDR-TIA yöntemleri Eskişehir fay zone ile diğer yöntemlere göre daha uyumlu sonuçlar vermiştir.



Şekil 5: (a): Eskişehir ve çevresine ait gravite anomalisi haritası [30], (b): Eskişehir ve çevresi 1. derece trend rezidüel haritası.



Şekil 6: (a): Eskişehir fay zone ([29] diri fay haritasından derlenmiştir), (b): Tilt Açısı (TIA), (c): Theta Açısı (THA), (d): Hiperbolik Tilt açısı (HTIA), (e): Tilt açısının toplam yatay türevi (THDR-TIA), (f): Normalleştirilmiş yatay türev (NTHD), (g): Yeni normalleştirilmiş toplam yatay türev (NNTHD).

5 Kaynaklar

- [1] Evjen HM. "The place of the vertical gradient in gravitational interpretations". *Geophysics*, 1(1), 127-136, 1936.
- [2] Blakely RJ, Simpson W. "Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies". *Geophysics*, 51(7), 1494-1498, 1986.
- [3] Hood PJ, Teskey DJ. "Aeromagnetic gradiometer program of the Geological Survey of Canada". *Geophysics*, 54(8), 1012-1022, 1989.
- [4] Miller HG, Singh V. "Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources". *Journal of Applied Geophysics*, 32(2-3), 213-217, 1994.
- [5] Thurston JB, Smith RS. "Automatic conversion of magnetic data to depth, dip and susceptibility contrast using the SPI method". *Geophysics*, 62(3), 807-813, 1997.

- [6] Boschetti F. "Improved edge detection and noise removal in gravity maps via the use of gravity gradients". *Journal of Applied Geophysics*, 57(3), 213-225, 2005.
- [7] Verduzco B, Fairhead JD, Green CM. "New insights into magnetic derivatives for structural mapping". *The Leading Edge*, 23(2), 116-119, 2004.
- [8] Wijns C, Perez C, Kowalczyk P. "Theta map: edge detection in magnetic data". *Geophysics*, 70(4), 39-43, 2005.
- [9] Arısoy MÖ, Dikmen Ü. 2013 "Edge detection of magnetic sources using enhanced total horizontal derivative of the tilt angle". *Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 34(1), 73-82, 2013.
- [10] Nabighian MN. "The analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross section: its properties and use for automated anomaly interpretation". *Geophysics*, 37(3), 507-517, 1972.
- [11] Nabighian MN. "Toward a three dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: Fundamental relations". *Geophysics* 49(6), 780-786, 1984.
- [12] Cordell L. "Gravimetric expression of graben faulting in Santa Fe country and the Espanola Basin, New Mexico". In: Ingersoll, RV, Edition: Guidebook to Santa Fe Country, New Mexico Geological Society, Socorro, 59-64, 1979.
- [13] Cooper GRJ, Cowan DR. "Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics". *Geophysics*, 73(3), 1-4, 2008.
- [14] Ekinçi YL, Kaya MA. "Manyetik verilerde sınır analizi yöntemi kullanılarak gömülü arkeolojik yapı sınırlarının tanımlanması". *Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 27(2), 97-107, 2006.
- [15] Arısoy MÖ, Dikmen Ü. "Potensoft: MATLAB-based Software for potential field data processing, modelling and mapping". *Computer & Geosciences*, 37(7), 935-942, 2011.
- [16] Aydoğan D. "Extraction of lineaments from gravity anomaly maps using the gradient calculation: Application to Central Anatolia". *Earth Planets Space*, 63(8), 903-909, 2011.
- [17] Oruç B. "Edge detection and depth estimation using a tilt angle map from gravity gradient data of the Kozaklı-Central Anatolia region, Turkey". *Pure and Applied Geophysics*, 168(10), 1769-1780, 2011.
- [18] Oruç B, Selim HH. "Interpretation of magnetic data in the Sinop area of Mid Black Sea, Turkey, using tilt derivative, Euler deconvolution, and discrete wavelet transform". *Journal of Applied Geophysics*, 74(4), 194-204, 2011.
- [19] Sertçelik İ, Kafadar O. "Application of edge detection to potential field data using eigenvalue analysis of structure tensor". *Journal of Applied Geophysics*, 84, 86-94, 2012.
- [20] Hoseini AA, Doulati A, Faramarz T, Seyed H, Hezarkhani A. "Edge detection in gravity field of the gheshm sedimentary basin". *International Journal of Min & Geo-Eng (IJMGE)*, 47(1), 41-50, 2013.
- [21] Altınoğlu FF, Sari M, Aydın A. "Detection of lineaments in Denizli basin of western anatolia region using bouguer gravity data". *Pure and Applied Geophysics*, 172(2), 415-425, 2015.
- [22] Yuan Y, Danian H, Qinglu Y, Pengyu L. "Edge detection of potential field data with improved structure tensor methods". *Journal of Applied Geophysics* 108, 35-42, 2014.
- [23] Zhou S, Huang D. "Edge detection using directional eigenvalues of potential field gradient tensor data". *Global Geology*, 18(3), 188-195, 2015.
- [24] Cooper, GRJ, Cowan, DR. "Enhancing potential field data using filters based on the local phase". *Computers and Geosciences*, 32(10), 1585-1591, 2006.
- [25] Ma G, Li L. "Edge detection in potential fields with the normalized total horizontal derivative". *Computers & Geosciences*, 41, 83-87, 2012.
- [26] Askari A. "Edge detection of gravity anomaly sources via the tilt angle, total horizontal derivative, total horizontal derivative of the tilt angle and new normalized total horizontal derivative". *Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET)*; 2(6B), 842-846, 2014.
- [27] Altunel E, Barka A. "Eskişehir fay zonunun İnönü-Sultandere arasında neotektonik aktivitesi". *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41(2), 41-52, 1998.
- [28] Özsayın E, Dirik K. "Quaternary activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba fault zones: İnönü-Eskişehir fault system, Central Anatolia". *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 471-492, 2007.
- [29] Emre Ö, Duman T Y, Özalp S. "1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritaları Serisi". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye, Eskişehir (NJ36-1) Paftası, SeriNo:15, 2011.
- [30] Erden, F. "Eskişehir-Mihalıççık bölgesi gravite etüdü". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, Rapor No. 62901, Bilinmeyen Tarih.