

Elazığ ili ve çevresinin çizgisel yapılarının gravite verisine sınır analizi teknikleri uygulanarak belirlenmesi

Determination of linear features of Elazığ province and surrounding by applying boundary analyzing techniques to gravity data

Fatma Figen ALTINOĞLU*

¹Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
faltinoglu@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 20.02.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 18.06.2018
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.50469
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Gömülü yeraltı yapılarının yerlerinin ve sınırlarının belirlenmesi, yerbilimlerinde önemli bir problemdir. Sınır belirleme yöntemleri olarak bilinen birçok süzgeç, potansiyel alan verileri uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, önce yapay olarak oluşturulan yeraltı modeline süzgeçler uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların yorumlanmasıyla, yöntemlerin becerisi tartışılmıştır. Gerçek arazi verisi uygulamasında, Doğu Anadolu bölgesinde yer alan, Elazığ ili ve çevresini içine alan bölgenin, Bouguer gravite anomali verisine sınır belirleme yöntemlerinin uygulanmasıyla, bölgedeki ana faylar ve fay sistemleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bölgenin hakim tektonik yapıları olan Doğu Anadolu fayı ve Güney Doğu Anadolu fayı başarılı bir şekilde belirlenmiştir. Bunun yanında çalışma alanının kuzey kesiminde Elazığ ili ve Elazığ-Pertek-Akpazar arasında yaklaşık D-B ve GB-KD uzanımlı çizgisellikler belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sınır belirleme yöntemleri, Gravite, Çizgisellik, DAFZ, Elazığ ili ve çevresi

Abstract

Defining the location and boundary of the buried features is an important task in earth science. Many filters, known as edge detection methods, are used in potential field data applications. In this study, the filters were firstly applied to a synthetically generated model. The result maps obtained by using the methods to the gravity anomaly of the model were compared and the skill of the methods were discussed. In the real data application, main faults and fault systems in the region have been tried to be determined by applying the boundary detection methods to the Bouguer gravity anomaly data of Elazığ province and its surroundings in Eastern Anatolia region. The East Anatolian fault and the South East Anatolian fault, which are the dominant tectonic structures of the region, have been successfully determined. In addition to this, approximately E-W and SW-NE extensional lineaments were determined between Elazığ province and Elazığ-Pertek-Akpazar in the northern part of the study area.

Keywords: Edge detection methods, Gravity, Lineament, EAFZ, Elazığ province and surroundings

1 Giriş

Gravite yöntemi, yeraltındaki jeolojik yapıların kenarlarının ve sınırlarının belirlenmesinde, jeolojik ve jeofizik yorumlamada yaygın olarak kullanılan, önemli ve gerekli bir yöntemdir. Yöntemin temeli, yeraltındaki kayaçların yoğunluk farkına dayanır ve önemli bir üstünlüğü yüksek yanal çözünürlüğünün olmasıdır [1]. Bu nedenle gravite verisi, potansiyel alan anomalilerinin sınırlarını belirlemede kullanılan bir görüntü işleme yöntemidir [2].

Çalışmanın amacı, Elazığ ili ve çevresini içine alan bölgenin, fay, kırık sistemleri gibi çizgisel yapılarını belirleyerek, olası yeni çizgisellik haritasını ortaya koymaktır. Faylar, gömülü çizgisellikler, kütle sınırları gibi jeolojik yapıların belirlenmesinde gravite anomali verisinin analizi sık başvurulan bir yöntemdir. Faylar genellikle en dik anomali gradientlerinde yada yakınlarında beklenir. Bu özellik; fay zonları, neojen genç sedimanlarla örtüldüyse (neojen kuvaterner havzalar) oldukça yararlıdır [3]. Genellikle, potansiyel alan verilerinde dik gradientlerin; dik süreksizlikler, faylar, diskordanslar, intrüfiz kontaklar gibi kayaç materyalleri arasındaki zıtlıklar sonucu oluştuğu farz edilir.

Bu çalışmada, çeşitli sınır belirleme süzgeçleri önce yapay modellere uygulanmış, yöntemlerin becerileri tartışılmıştır. Sonrasında çalışma alanı olarak seçilen, Doğu Anadolu bölgesi Hazar Gölü-Elazığ ili ve çevresini içine alan bölgenin Bouguer

gravite anomali verisine yöntemler uygulanarak çizgisel yapıların ve örtülü fayların irdelenmesi amaçlanmıştır.

2 Yöntemler

Gömülü yapıların sınırlarını belirlemek için, potansiyel alanın birinci ve ikinci dereceden türevlerine dayanan türev tabanlı birçok yöntem oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Gömülü yapıların sınırlarını belirlemek için, yatay ve düşey türevlerin çeşitli kombinasyonları ile üretilmiş süzgeçler mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan yöntemlere aşağıda değinilmiştir:

2.1 Toplam yatay gradient (TYG)

Toplam yatay gradient yöntemi, yüzey ya da gömülü fayların belirlenmesinde kullanılan en eski sınır belirleme yöntemlerinden biridir. İlk olarak [4] tarafından önerilmiştir.

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

Burada; $\frac{\partial g}{\partial x}$ ve $\frac{\partial g}{\partial y}$ x- ve y- yönlerindeki yatay türevlerdir. Yöntem hem sığ hem de derin jeolojik yapıların belirlenmesinde başarılıdır. Toplam yatay gradientin en büyük değerleri (pozitif değerleri) yanal yoğunluk değişimlerinin üzerinde bulunur ve kaynak sınırlarını işaret ederler[4]-[6].

2.2 Analitik sinyal (AS)

Analitik sinyal yöntemi ile olarak [7] tarafından önerilmiş, ilk kez [8] potansiyel alan verisine uygulanmıştır.

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

Toplam yatay gradient uygulamasında olduğu gibi analitik sinyalin en büyük değerleri kaynak sınırlarını yansıtır [8]-[10].

2.3 Tilt açısı (TA)

Tilt açısı yöntemi ilk olarak [11] tarafından gravite verisine uygulanmıştır. Tilt açısının pozitif değerleri anomaliye neden olan kütleyi, sıfır değerleri ise kaynak kütle sınırlarını yansıtır. Eşitlik [11] tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

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

Yöntem, hem sığ hem de derin yapıların belirlenmesinde kullanılır.

2.4 Teta Haritası (TH)

Teta haritası toplam yatay gradient ve analitik sinyal yöntemlerinin birleşimidir. [12] tarafından kaynak kütle sınırlarının belirlenmesi için geliştirilmiştir.

$$\cos(\theta) = \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2}}{|AS|} \quad (4)$$

Burada, |AS| analitik sinyal genliğidir. Teta haritasında en büyük değerler kaynak kütle üzerinde, en düşük değerler kaynak kütle kenarları boyunca görülmektedir.

2.5 Tilt türevi (TT)

Tilt türevi yöntemi ilk olarak, [13] tarafından tilt açısının toplam yatay gradienti olarak hesaplanmıştır.

$$TT = \sqrt{\left(\frac{\partial TA}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial TA}{\partial y}\right)^2} \quad (5)$$

Tilt türevi haritasında en büyük değerler kaynak kütle sınırlarını yansıtır [14].

2.6 Hiperbolik tilt açısı (HTA)

Hiperbolik tilt açısı fonksiyonu [14] tarafından

$$HTA = \tanh^{-1} \frac{\frac{\partial g}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2}} \quad (6)$$

olarak verilmiştir. Hiperbolik tilt açısının en yüksek değerleri kaynak kütle kenarlarının yerini yansıtır.

3 Uygulamalar

3.1 Model veri uygulaması

Sınır belirleme tekniklerinin etkinliğini belirlemek amacıyla, POTENSOFTE programı kullanılarak [15] yapay bir model oluşturulmuştur.

Aynı yoğunlukta, farklı derinliklerde dört düşey prizmadan oluşan model ve teorik gravite anomali verisi POTENSOFTE programı kullanılarak modellenmiştir. Prizmalara ait parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Yapay model için parametreler.

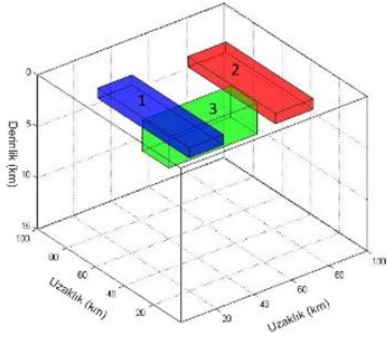
Prizma	Tavan derinliği (km)	Taban derinliği (km)	Yoğunluk farkı (gr/cm ³)
1	1	3	0.5
2	2	4	0.5
3	1	2	0.5
4	4	6	0.5

Modelin üç boyutlu görünümü Şekil 1(a)'da, gravite anomali haritası Şekil 1b'de verilmiştir. Yapay modelden elde edilen gravite anomali verisine, TYG, AS, TA, TT, TH, HTA yöntemlerinin uygulanmasıyla elde edilen haritalar sırasıyla Şekil 1(c), (d), (e), (f), (g), (h)'de verilmiştir. TYG ve AS maksimum değerleri, prizma kenarlarını verdiği görülmektedir. Ancak sığ yapı sınırlarının daha belirgin olduğu, derin yapıların sınırlarının daha küçük yüksek değerler verdiği görülmektedir. Prizmaların üst üste olduğu kısımlarda, yapı sınırlarını belirlemek ve ayırt etmek zorlaşmaktadır. TA haritasında, sıfır değerleri yapı sınırlarını yansıtmaktadır, yine üst üste olan yapıların kenarlarını belirlemek daha zordur. TT haritasında, sığ yapıların sınırları belirlenirken, derin yapı sınırlarını belirlemek mümkün değildir. TH haritasında, yapı sınırlarında geniş maksimum değerler, yapı içerisinde minimum değerler gözlenmektedir. Yapılar üst üste olduğunda, derin kütlelerin sınırlarını belirlemek zorlaşmaktadır. Derin kütleler daha geniş maksimum kontur aralığı ile gözlenmektedir. HTA haritasında, pozitif değerler kütleyi, maksimum değerler yapı sınırlarını vermektedir. Hem sığ hem derin kütlelerin kenarlarını belirlemek bu yöntem ile mümkündür.

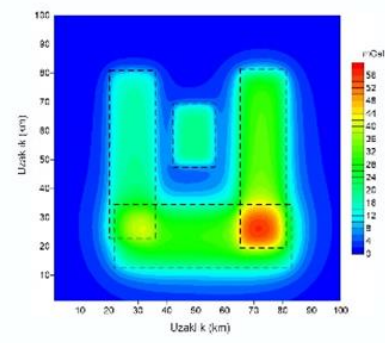
3.2 Arazi verisi uygulamaları

Çalışma alanı olarak, Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Elazığ ili ve çevresini içine alan bölge seçilmiştir (Şekil 2). Doğu Anadolu bölgesi, Anadolu plakasının, sıkışma tektoniği altında sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) boyunca batıya doğru hareket eder [16]-[23]. KAFZ ve DAFZ, Arabistan ve Avrasya plakalarının miyosende başlayan çarpışmasından sonra Anadolu'nun batıya kaçış hareketi sonucu oluşmuşlardır [24],[25].

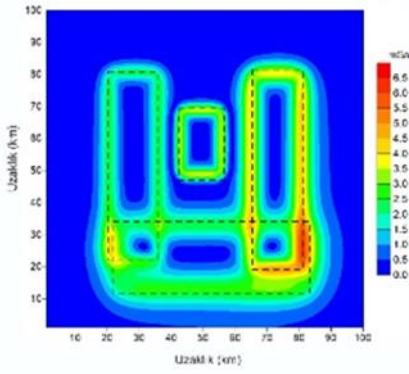
Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) Türkiye'nin tektoniğini kontrol eden ana unsurlardan biridir. Kuzeydoğuda Karlıova'dan başlayıp güneybatıda Anadolu-Arap-Afrika üçlü eklemine şekillendiği Kahramanmaraş bölgesinde Ölü Deniz Fayı ile birleşir [26]. Yapılan çalışmalar, Doğu Anadolu'nun büyük bir bölümünde litosferik mantonun yok olduğunu [27]-[30], Doğu Anadolu'da ortalama kabuk kalınlığının 45 km olduğunu göstermiştir [31],[32].



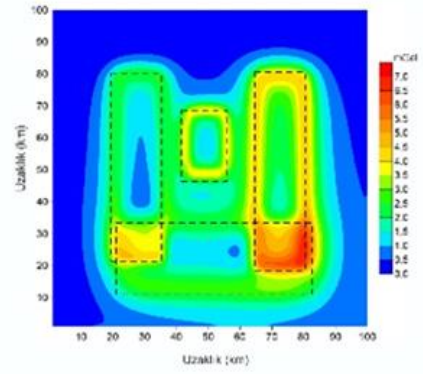
(a): Üç boyutlu görünüm.



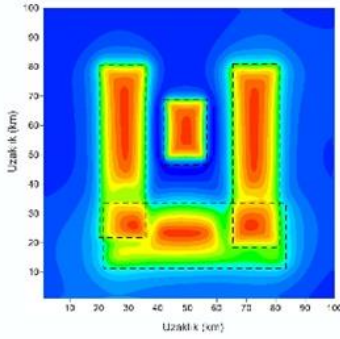
(b): Gravite anomali.



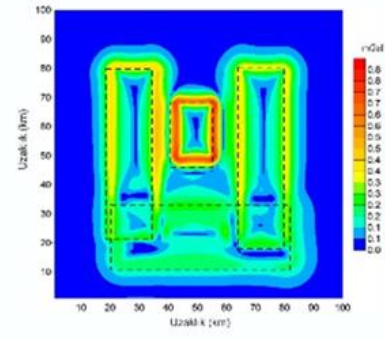
(c): Toplam yatay gradient.



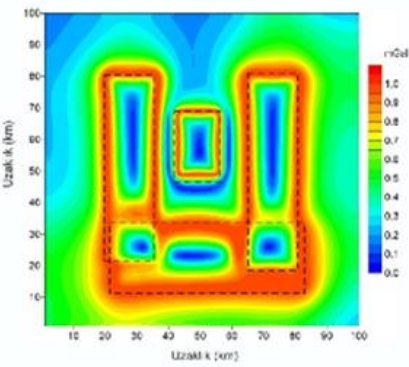
(d): Analitik sinyal.



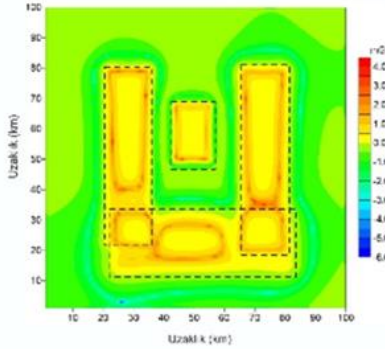
(e): Tilt açısı.



(f): Tilt türevi.

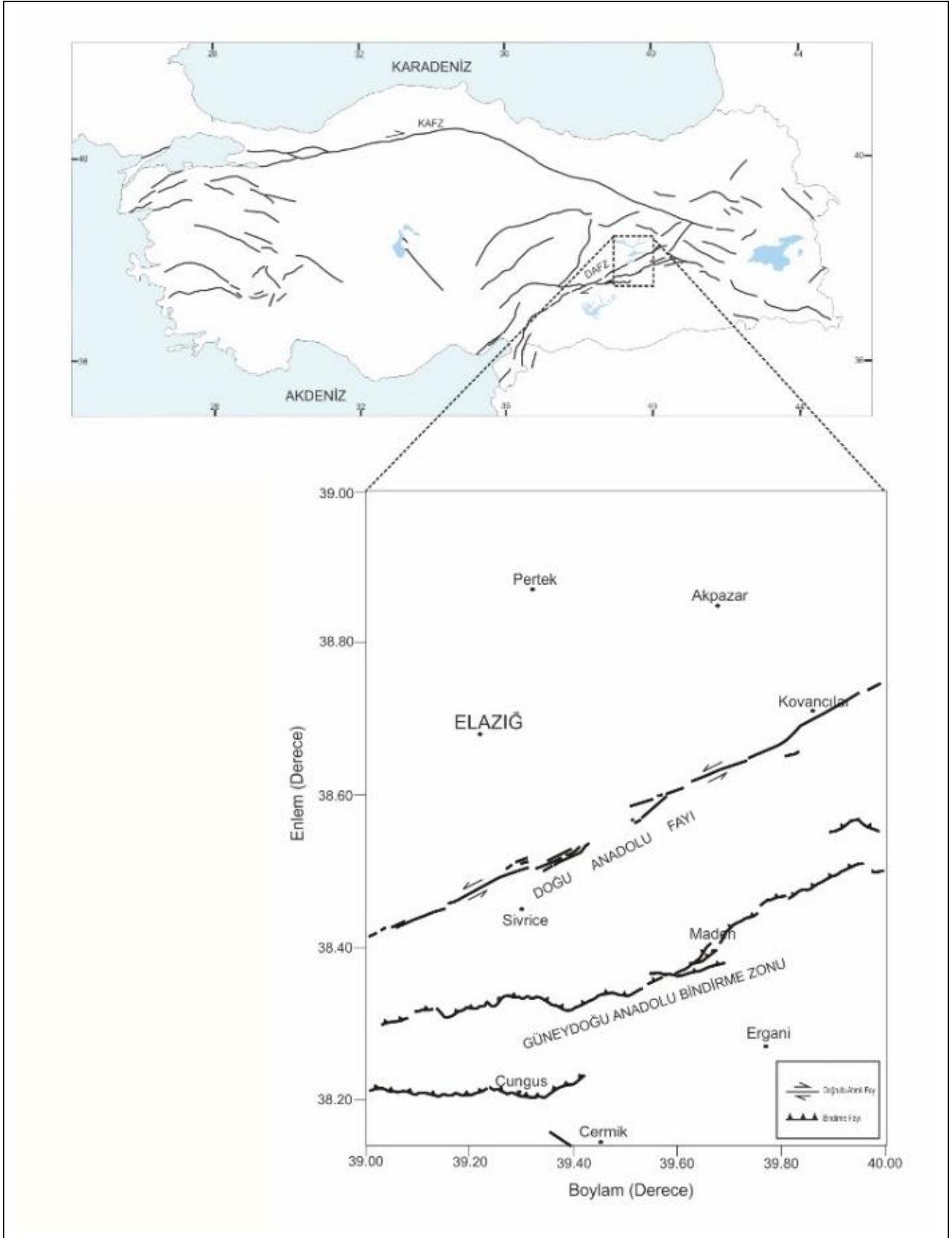


(g): Teta açısı.



(h): Hiperbolik tilt açısı haritaları.

Şekil 1: Yapay model için yöntem uygulamaları.



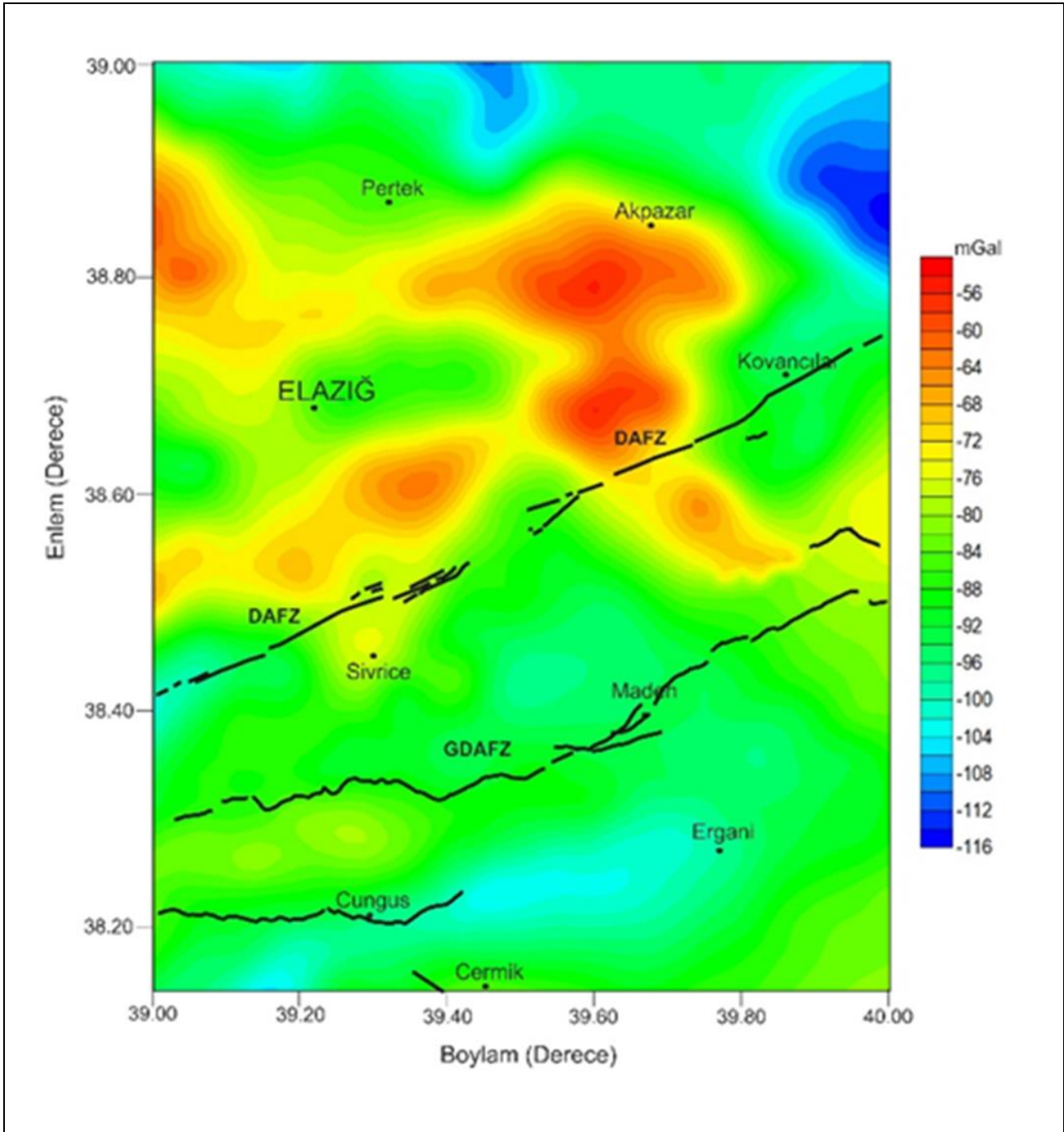
Şekil 2(a): Türkiye ana fay sistemleri (MTA diri fay haritasından sadeleştirilerek çizilmiştir), çalışma alanı dikdörtgen içinde gösterilmiştir. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu; DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu. (b): Çalışma alanı tektonik haritası (MTA diri fay haritasından çizilmiştir).

3.2.1 Bouguer gravite anomalisi

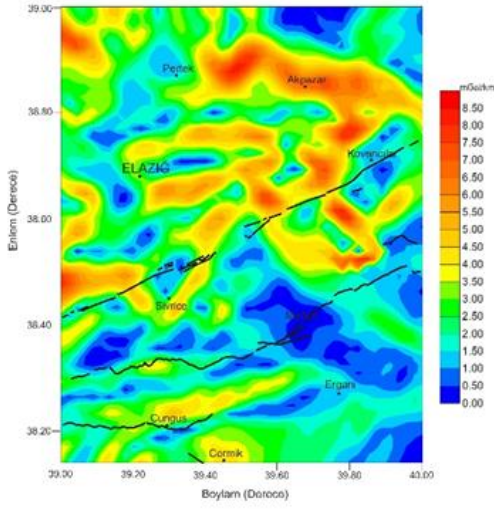
Çalışma alanı gravite verisi olarak, MTA ve TPAO ortak çalışmasından elde edilen veriler kullanılmıştır. Ölçümler 250-500 m aralıklarla alınmıştır. Çalışma alanı 10 mGal aralıklarla konturlanmış Bouguer gravite anomalisi haritası Şekil 3'te verilmiştir. Bouguer gravite anomalisi değerleri -116 mGal ile -56mGal arasında değişmektedir. Doğu Anadolu bölgesinin Bouguer gravite anomalisi haritasında, negatif yüksek genlikli rejyonel anomaliler baskındır [33]. Çalışma alanının kuzey ve güneyinde görülen yüksek negatif anomaliler, güneyde KD-GB

yönlü DAFZ, kuzeydeki ise KAFZ arasında kalmaktadır. Bölgedeki en önemli tektonik unsurlardan olan Güneydođu Anadolu Fay Zonunun (GDAFZ) güneyinde negatif anomaliler gözlenmektedir. DAFZ ve Hazar Gölü Sivrice fayının kuzeyinde, Elazığ-Pertek-Kovancılar arası bölgede daha düşük negatif anomaliler gözlenmektedir.

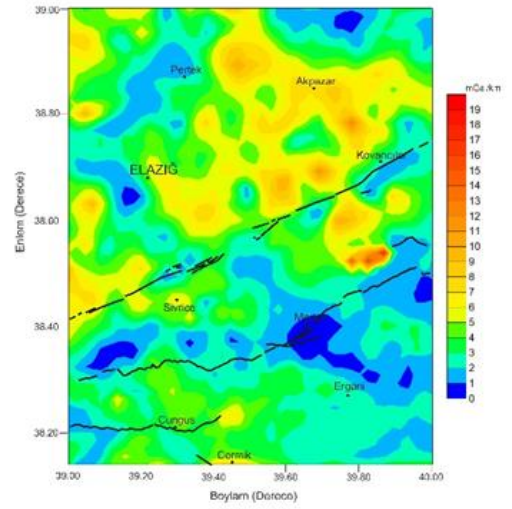
Çalışma alanı gravite anomalisi verisine, sırasıyla yapay model üzerinde denenen sınır belirleme yöntemleri uygulanmış ve elde edilen haritalar Şekil 4'te verilmiştir.



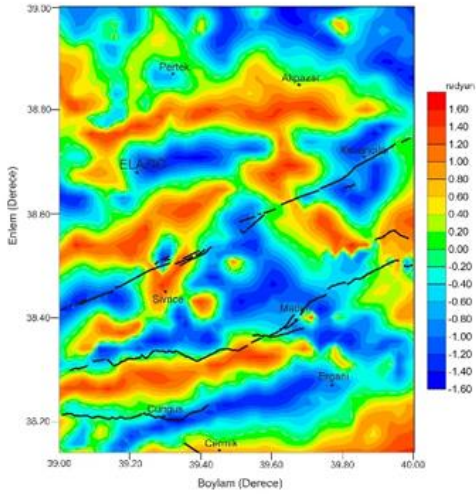
Şekil 3: Çalışma alanı Bouguer gravite anomalisi haritası.



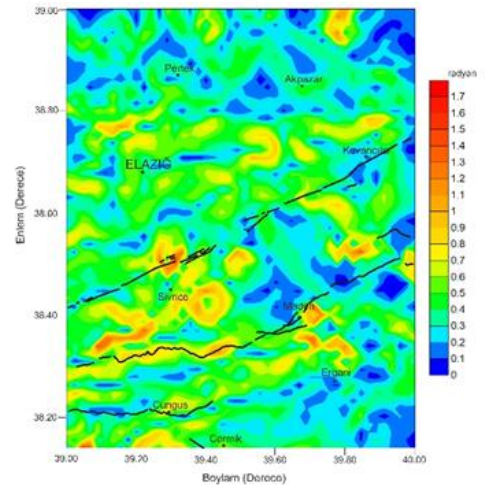
(a): Toplam yatay gradient haritası.



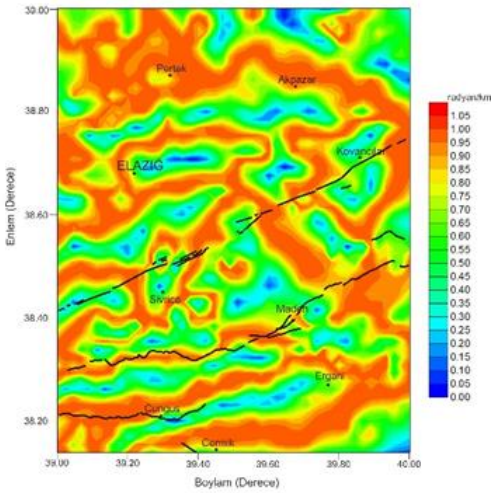
(b): Analitik sinyal haritası.



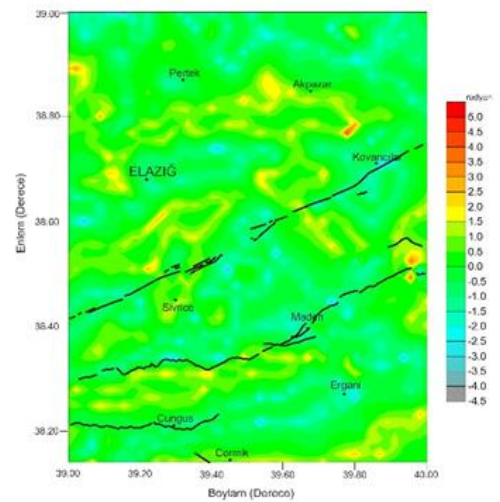
(c): Tilt açısı haritası.



(d): Tilt türevi haritası.



(e): Teta açısı haritası.



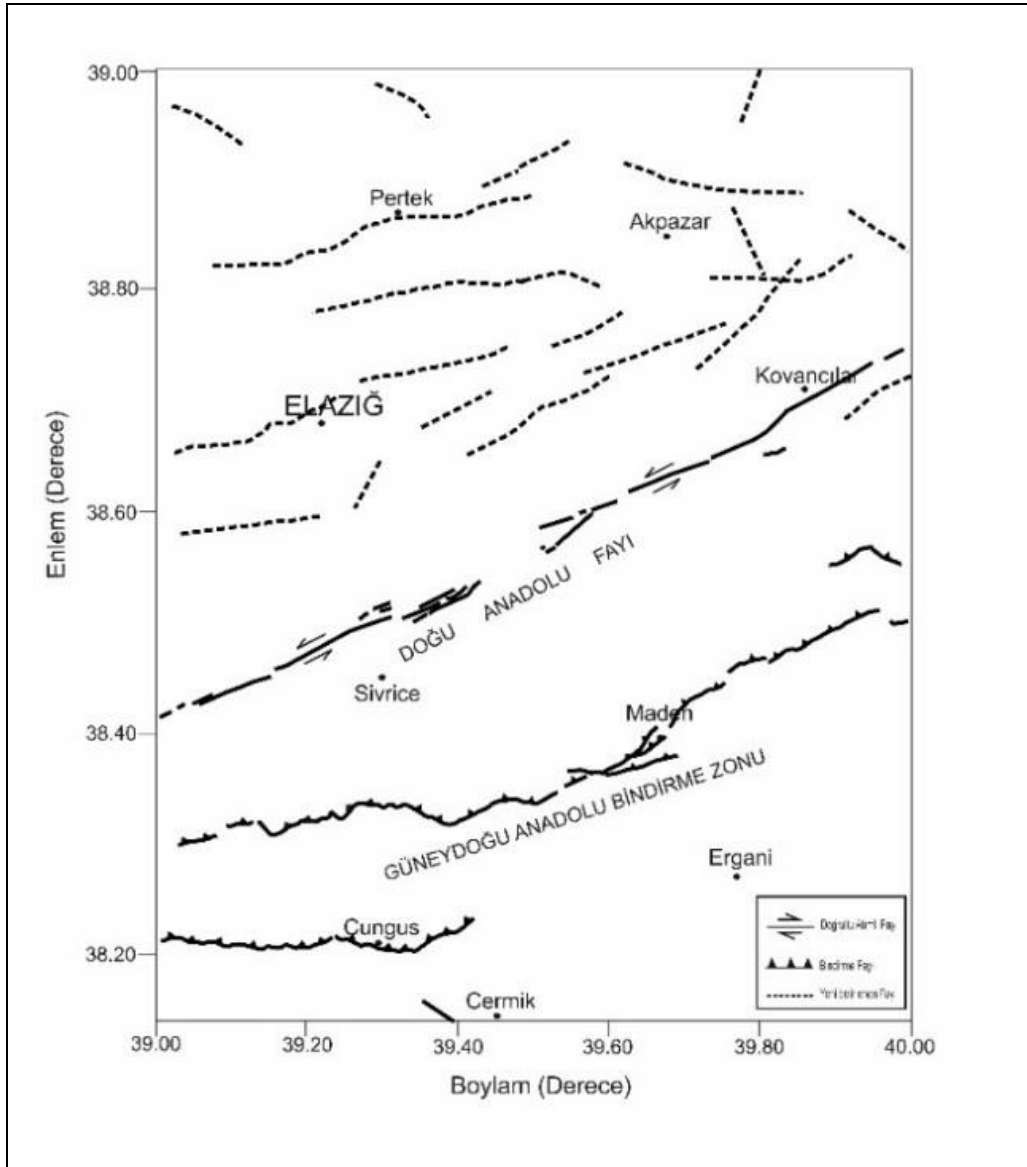
(f): Hiperbolik tilt açısı haritası.

Şekil 4: Çalışma alanı Bouguer gravite anomali haritasına sınır belirleme yöntemleri uygulanmasıyla elde edilen haritalar.

Şekil 4(a) ve 4(b)'de verilen TYG ve AS haritalarında, çalışma alanının güneyinde GB-KD yönlü uzanımlı maksimum değerler bölgenin en önemli tektonik yapıları olan DAFZ ve GDAFZ yansıtmaktadır. TYG ve AS haritalarında maksimum değerler çizgisel yapıları vermektedir ve aynı şekilde çalışma alanı kuzeyinde, Elazığ-Pertek-Kovancılar arasındaki bölgede, D-B ve GB-KD uzanımlı maksimum değerler görülmektedir. Şekil 4(c)'de verilen TA haritasında, sıfır değerleri çizgisel yapıları işaret etmektedir, DAFZ ve GDAFZ ile örtüşen maksimum değerleri görülmektedir. TYG ve AS haritalarında olduğu gibi çalışma alanı kuzeyinde Elazığ-Pertek-Kovancılar arası bölgede, D-B ve GB-KD uzanımlı sıfır değerleri görülmektedir. Şekil 4(d)'de verilen tilt türevi haritasında, çizgisellikleri işaret eden maksimum değerler DAFZ ve GDAFZ ile örtüşmektedir. Kuzeyde Elazığ-Pertek arası bölgede D-B ve GB-KD uzanımlı maksimum değerler görülmektedir. Teta haritası Şekil 4(e)'de verilmiştir ve maksimum değerler çizgisel yapıları işaret etmektedir. Bu durumda diğer dört süzgeç

uygulamasında olduğu gibi DAFZ ve GDAFZ ile örtüşen maksimum değerler görülmektedir. Bununla birlikte Pertek-Akpazar arasında, Elazığ ve çevresinde ve Kovancılar'da maksimum değerler görülmektedir, Şekil 4(f)'de verilen HTA haritasında, çalışma alanının güneyinde görülen maksimum değerler, DAFZ ve GDAFZ ile örtüşmektedir. Kuzeyde Pertek-Elazığ-Sivrice-Kovancılar arasında yaklaşık D-B ve GB-KD uzanımlı maksimum değerler, diğer süzgeç uygulamaları sonucu elde edilen haritalar ile uyumludur.

Çalışma alanı çizgisellik haritasını elde etmek için, tüm yöntemlerin uygulanmasıyla belirlenen çizgisellikler karşılaştırılmıştır. Dört yöntemde de elde edilen her çizgisellik, bölge için yeni çizgisellik haritasında gösterilmiştir (Şekil 5). Yeni belirlenen çizgisellikler Çalışma alanının kuzeyinde, yaklaşık D-B ve GB-KD uzanımlı olarak Elazığ-Pertek-Kovancılar arası bölgede yer almaktadır.



Şekil 5: Çalışma alanı yeni çizgisellik haritası. Düz çizgiler MTA diri fay haritasında belirtilen mevcut fayları, kesikli çizgiler bu çalışmada belirlenen yeni olası fayları göstermektedir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, türev tabanlı sınır belirleme yöntemlerinden toplam yatay gradient, analitik sinyal, tilt açısı, tilt türevi, teta haritası ve hiperbolik tilt açısı yöntemlerini gravite anomali verisine uygulayarak, yeraltı çizgisel yapılarını belirlemek amaçlanmıştır. Yöntemler öncelikle yapay bir veriye, sonrasında Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Elazığ ili ve çevresi Bouguer gravite anomali verisine uygulanmıştır. Süzgeçleme yöntemlerinin Bouguer gravite anomali haritasına uygulanmasıyla elde edilen her bir haritada, çizgisellikler belirlenmiştir. Tüm haritalarda belirlenen çizgisel yapılar karşılaştırılmış ve ortak belirlenen çizgisel yapılar ile çalışma alanı için yeni çizgisellik haritası oluşturulmuştur. Elde edilen harita MTA diri fay haritası ile karşılaştırılarak, bölge için yeni çizgisellik haritası ortaya konulmuştur. Elazığ-Pertek-Akpazar ve Kovancı bölgesinde, yaklaşık D-B ve GD-KB uzanımlı yeni çizgisellikler belirlenmiştir. Ortaya konulan yeni çizgisellik haritasının, bölge için yapılacak yeni çalışmalarda yer bilimcilere yol gösterici olması hedeflenmiştir.

5 Kaynaklar

- [1] Du W, Wu Y, Guan Y, Hao M. "Edge detection in potential field using the correlation coefficients between the average and standard deviation of vertical derivatives". *Journal of Applied Geophysics*, 143, 231-238, 2017.
- [2] Alvandi A, Babaei M. "Edge Detection of Gravity Anomalies with Directional Hyperbolic Tilt Angles: Application to Synthetic and Field Data". *Journal of Ind. Geophysics Union*, 21(1), 13-16, 2017.
- [3] Ali MY, Fairheadb JD, Green CM, Noufal A. "Basement structure of the United Arab Emirates derived from an analysis of regional gravity and aeromagnetic database". *Tectonophysics*, 712-713, 503-522, 2017.
- [4] Cordell L, Grauch VJS. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico. Editor: Hinze WJ, Ed.: The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps. Expanded Abstract, *Annual Meeting of Society of Exploration Geophysics*, 181-197, 1985.
- [5] Cordell L. "Gravimetric expression of graben faulting in Santa Fe Country and the Espanola Basin, New Mexico". *New Mexico Geological Society*. 30, 59-64, 1979.
- [6] Cooper GRJ, Cowan DR. "Enhancing potential field data using filters based on the local phase". *Computers & Geosciences*, 32(10), 1585-1591, 2006.
- [7] Gabor D. "Theory of communications". *Journal of Instrumentation and Electronic Engineering*, 93, 429-457, 1946.
- [8] Nabighian MN. "The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and used for automated anomaly interpretation". *Geophysics*, 37, 507-517, 1972.
- [9] Nabighian MN. "Toward a three dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert Transforms: Fundamental relations". *Geophysics*, 49, 780-786, 1984.
- [10] Roest WR, Verhoef J, Pilkington M. "Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal". *Geophysics*, 57, 116-125, 1992.
- [11] Miller HG, Singh V. "Potential field tilt-a new concept for location of potential sources". *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213-217, 1994.
- [12] Wijns C, Perez C, Kowalczyk P. "Theta map: Edge detection in magnetic data". *Geophysics*, 70, 39-43, 2005.
- [13] Verduzco B, Fairhead JD, Green CM. "New insights into magnetic derivatives for structural mapping". *The Leading Edge*, 23, 116-119, 2004.
- [14] Cooper GRJ, Cowan DR. "Enhancing potential field data using filters based on the local phase". *Computer Geosciences*, 10(32), 1585-1591, 2006.
- [15] Arısoy MÖ, Dikmen Ü. "Potensoft: Matlab-based software for potential field data processing, modeling and mapping". *Computers & Geosciences*, 37(7), 935-942, 2011.
- [16] McKenzie DP. "Active tectonics of Mediterranean region". *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 30, 109-185, 1972.
- [17] Dewey JF. "Seismicity of northern Anatolia". *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66, 843-868, 1976.
- [18] Sengör AMC. "The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance". *Journal Geological Society of London*, 136, 69-282, 1979.
- [19] Sengör AMC, Canitez N. The North Anatolian fault. Editors: Berckhemer, H. Hsul, K. Alpine and Mediterranean Geodynamics. *American Geophysical Union, Geodynamics Series*, 7, 205-216, Washington, DC, USA, 1982.
- [20] Hempton MR. "The North Anatolian fault and complexities of continental escape". *Journal of Structural Geology*, 4, 502-504, 1982.
- [21] Barka AA, Kadinsky-Cade K. "Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity". *Tectonics*, 7(3), 663-684, 1988.
- [22] Barka A, Reilinger R. "Active tectonics of the eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data". *Annali di Geofisica*, 11(3), 587-610, 1997.
- [23] Çetin H, Güneşli H, Mayer L. "Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey". *Tectonophysics*, 374, 163-197, 2003.
- [24] Sengör AMC, Görür N, Saroglu F. Strike slip faulting and related basin formations in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. Editors: Biddle KT, Christie-Blick N. Strike-Slip Faulting and Basin Formation. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, 37, 227-264, Tulsa, Oklahoma, USA, 1985.
- [25] Bozkurt E, Oberhänsli R. "Menderes Massif (Western Turkey): Structural, metamorphic and magmatic evolution-a synthesis". *International Journal of Earth Sciences*, 89, 679-708, 2001.
- [26] Karig DE, Kozlu H. "Late Palaeogene - Neogene evolution of the triple junction region near Maras, south-central Turkey". *Journal of the Geological Society of London*, 147, 1023-1034, 1990.
- [27] Gök R, Turkelli N, Sandvol E, Seber D, Barazangi M. "Regional wave propagation in Turkey and surrounding regions". *Geophysical Research Letters*, 27(3), 429-432, 2000.
- [28] Gök R, Sandvol E, Türkelli N, Seber D, Barazangi M. "Sn attenuation in the Anatolian and Iranian plateau and surrounding regions". *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8042, 2003.
- [29] Al-Lazki A, Seber D, Sandvol E, Turkelli N, Mohamad R, Barazangi M. "Tomographic Pn velocity and anisotropy structure beneath the Anatolian plateau (eastern Turkey) and the surrounding regions". *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8043, 2003.

- [30] Angus DA, Wilson DC, Sandvol E, Ni JF. "Lithospheric structure of the Arabian and Eurasian collision zone". *Geophysical Journal of International*, 166, 1335-1346, 2006.
- [31] Zor E, Gurbuz C, Turkelli N, Sandvol E, Seber D, Barazangi M. "The crustal structure of the East Anatolian Plateau from receiver functions". *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8044, 2003.
- [32] Gök R, Pasyanos M, Zor E. "Lithospheric structure of the continent-continent collision zone: eastern Turkey". *Geophysical Journal of International*, 169, 1079-1088, 2007.
- [33] Pamukçu OA, Akçığ Z, Demirbas S, Zor E. "Investigation of crustal thickness in Eastern Anotolia using Gravity, Magnetic and Topographic data". *Pure and Applied Geophysics*, 164(11), 2345-2358, 2007.