



GRAVİTE DÜŞEY TÜREV VERİLERİYLE BATI KARADENİZ BÖLGESİNİN YAPI SINIRLARININ ARAŞTIRILMASI

Ali ELMAS^{1*}, Abdurrahman Yasir PARLAK²

^{1,2} Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Eğim Açısı, Teta Açısı, Batı Karadeniz Bölgesi, Birinci Düşey Türev, Yapısal Süreksizlik.</i>	Bu çalışma ile EGM08 gravite verilerin düşey türev değerlerine toplam yatay türev, eğim açısı ve teta açısı yöntemleri uygulanarak Batı Karadeniz Bölgesi'nin jeolojik birimlerinin sınırlarının temel kaya seviyesinde araştırılması hedeflenmiştir. Bu süreksizlik sınırlarını ortaya çıkarırken, toplam yatay türevin maksimum genlik değerleri, eğim açısının sıfır genlik değerleri ile teta açısı haritasının maksimum genlik değerlerinden yararlanılmıştır. Belirlenen, yoğunluk farkından kaynaklanan sınırlar, çalışma alanının bilinen süreksizlikleri ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmadaki sonuçlarla daha önceden yapılmış olan çalışmaların sonuçları arasında alaka olmasının yanı sıra, yeni süreksizlik sınırları tespit edilmiştir. Bunun yanında çalışma alanının yumuşak-sert sediman, temel kaya, Conrad, Moho ve litosfer-astenosfer topoğrafyalarının ortalama derinlikleri genlik spektrumu ile sırasıyla; 2.108 km, 6.055 km, 18.211 km, 34.611 km ve 62.485 km olarak hesaplanmıştır. Bulunan sonuçların daha sonradan yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

INVESTIGATION OF THE MASS BORDERS OF THE WESTERN BLACK SEA REGION WITH GRAVITY VERTICAL DERIVATIVE DATA

Keywords	Abstract
<i>Tilt Angle, Theta Angle, Western Black Sea Region, First Vertical Derivative, Structural Discontinuity.</i>	With this study, it is aimed to investigate the boundaries of the geological units of the Western Black Sea Region at the basement level by applying total horizontal derivative, tilt angle and theta angle methods to the vertical derivative values of EGM08 gravity data. While revealing these discontinuity limits, the maximum amplitude values of the total horizontal derivative, zero amplitude values of the tilt angle and the maximum amplitude values of the theta angle map were used. The limits arising from the density difference are compared with the known discontinuities of the study area. In addition to the relevance between the results of this study and the results of previous studies, new discontinuity limits have been identified. In addition, the average depths of the soft-hard sediman, basement, Conrad, Moho and lithosphere-asthenosphere topographies of the study area were calculated with the amplitude spectrum as 2.108 km, 6.055 km, 18.211 km, 34.611 km and 62.485 km, respectively. It is thought that the results found will shed light on future studies.

Alıntı / Cite

Elmas, A., Parlak, A.Y., (2021). Gravite düşey türev verileriyle Batı Karadeniz Bölgesinin yapı sınırlarının araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1072-1079.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

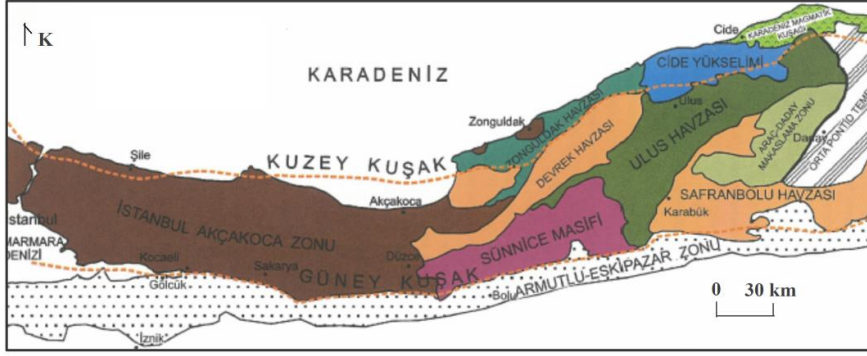
Ali Elmas, 0000-0003-3343-2742
A. Yasir Parlak, 0000-0001-9014-8970

Makale Süreci / Article Process

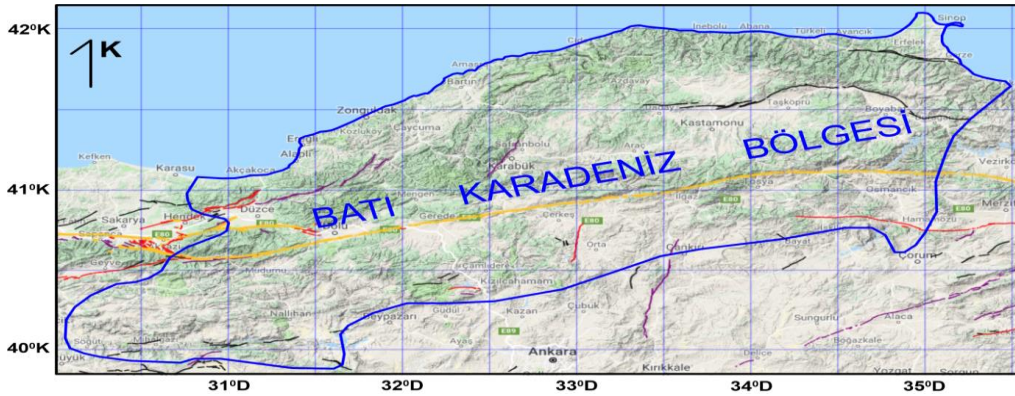
Başvuru Tarihi / Submission Date	06.05.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	11.07.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	13.09.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.12.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: aeaelmas@gmail.com, +90-462-377-3429

yaşlı çökel tortulardır. Bu gibi Paleozoyik yaşlı istifler Kuzey Anadolu'daki diğer tektonik birimler içerisinde allohton ya da otokton olarak yer almazlar. Bölgenin aktif fay haritası da Şekil 3'de görülmektedir.



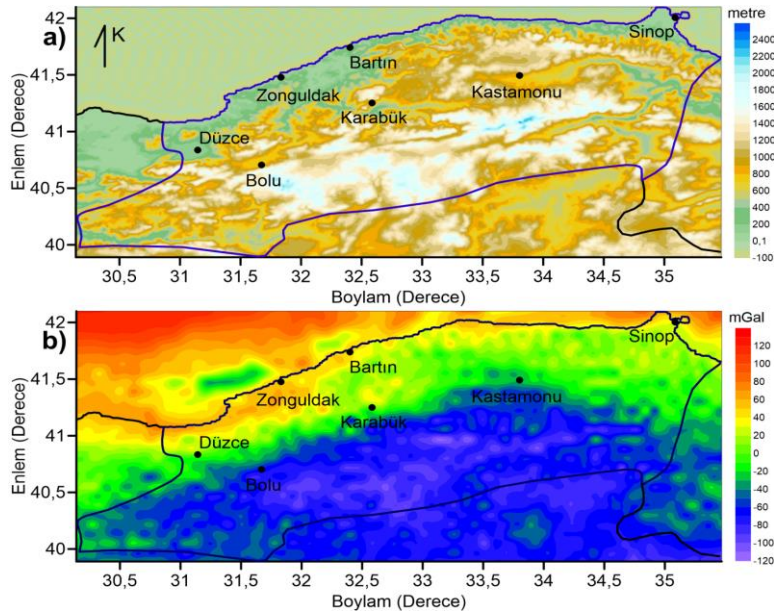
Şekil 2. Batı Karadeniz Bölgesi'nin tektonik birimleri (Yiğitbaş v.d., 1999'dan değiştirilerek alınmıştır) (Tectonic units of the Western Black Sea Region (modified and taken from Yiğitbaş et al., 1999))



Şekil 3. Batı Karadeniz Bölgesi'nin aktif fay haritası (Emre v.d., 2013'den alınmıştır) (Active fault map of the Western Black Sea Region (taken from Emre et al., 2013))

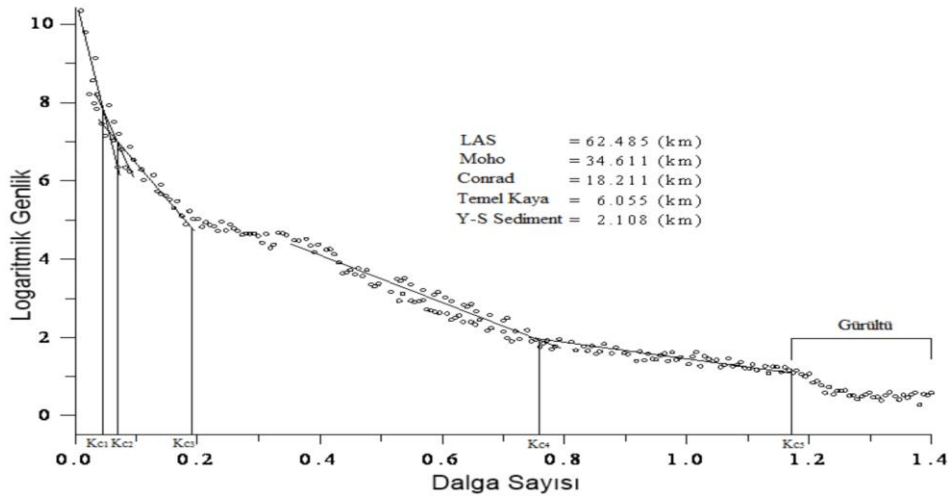
3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Şekil 4a'da verilmiş olan bölgeye ait topoğrafya verileri USGS (1998)'den alınmıştır. Yüksek çözünürlüklü yeni Dünya Gravite Modeli 2008 (EGM08) yılında tanıtılmıştır (Pavlis et al., 2008). Çalışma alanına ait Bouguer gravite verileri EGM08 modelinden elde edilmiştir (Şekil 4b).

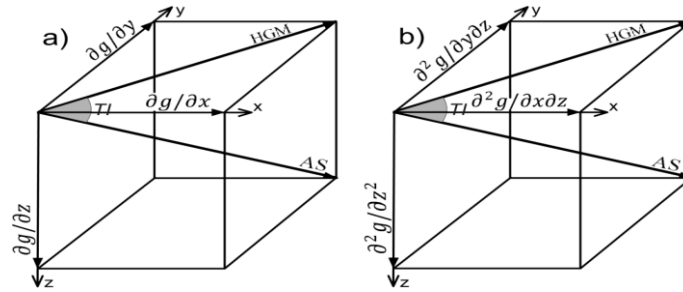


Şekil 4. a) Bölgenin topoğrafya haritası (Topography map) b) Bouguer gravite anomali haritası (Bouguer gravity anomaly map of the region)

Bölgedeki ara tabaka yüzeylerinin ortalama derinlik değerleri, Bhattacharyya'nın (1967) geliştirdiği radyal ortalamalı genlik spektrum tekniğinden faydalanılarak bulunmuştur. İşlemler sonunda beş adet derinlik hesaplanmıştır (Şekil 5). Genlik spektrumu hesabı sonucu yumuşak-sert sediman, temel kaya, Conrad, Moho ve litosfer-astenosfer arayüzeylerine ait ortalama derinlikler sırasıyla 2.108 km, 6.055 km, 18.211 km, 34.611 km ve 62.485 km olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Çalışma alanının Bouguer gravitesinin genlik spektrumu ile ara tabaka yüzeylerinin derinlik değerleri (The amplitude spectrum of the Bouguer gravity of the study area and the depth values of the interface surfaces)



Şekil 6. a) Gravite alanı için şematik diyagram. $\partial g/\partial x$, $\partial g/\partial y$, $\partial g/\partial z$ terimleri gravitenin (g) birinci türevleridir (Schematic diagram for gravity field. The terms $\partial g/\partial x$, $\partial g/\partial y$, $\partial g/\partial z$ are the first derivatives of gravity (g) (Alvandi et al., 2014)), b) Gravite alanının birinci düşey türevi için şematik diyagram. $\partial^2 g/\partial x\partial z$, $\partial^2 g/\partial y\partial z$, $\partial^2 g/\partial z^2$ terimleri gravitenin birinci düşey türevinin ($\partial g/\partial z$) x, y ve z yönlerindeki türevleridir (Schematic diagram for the first vertical derivative of the gravity field. The terms $\partial^2 g/\partial x\partial z$, $\partial^2 g/\partial y\partial z$, $\partial^2 g/\partial z^2$ are the derivatives of the first vertical derivative of gravity ($\partial g/\partial z$) in the x, y and z directions (Oruç, 2010))

Gravite alanı ve gravitenin birinci düşey türevi için şematik diyagramlar Şekil 6a ve 6b'de görülmektedir (Oruç, 2010). Cordell ve Grauch (1985), yeraltındaki aranan hedef kütlelerin yanal sınırlarını belirleyebilmek için, Formül 1'de görüldüğü gibi, TYT tekniğini geliştirmişlerdir. Bu teknik ile yapılan hesaplamalarda, yüksek genlikler kütle sınırlarında, bir bant şeklinde toplanırlar. Formül 1'de bu tekniğin eşitliği görülmektedir. Formül 1'de gravite değeri yerine, gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri yazılırsa, Formül 2 elde edilir (Oruç, 2010).

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

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

Bu çalışmada kullanılan sınır analiz tekniklerinden ikincisi EA yöntemidir (Verduzco vd., 2004; Miller ve Singh, 1994). Formül 3 kullanılarak, gravite verilerinden EA hesaplamalarında sıfır konturlar ortaya çıkar. Bu sıfır konturlar yanal süreksizlik sınırlarını temsil etmektedir. Formül 3'de gravite değerleri yerine, gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri yazılırsa, Formül 4 elde edilir (Oruç, 2010). Ayrıca Oruç (2010), EA haritasındaki ± 0.785 radyan konturları arasındaki yatay mesafenin yarısının, kaynak derinliğine eşit olduğunu ortaya koymuştur.

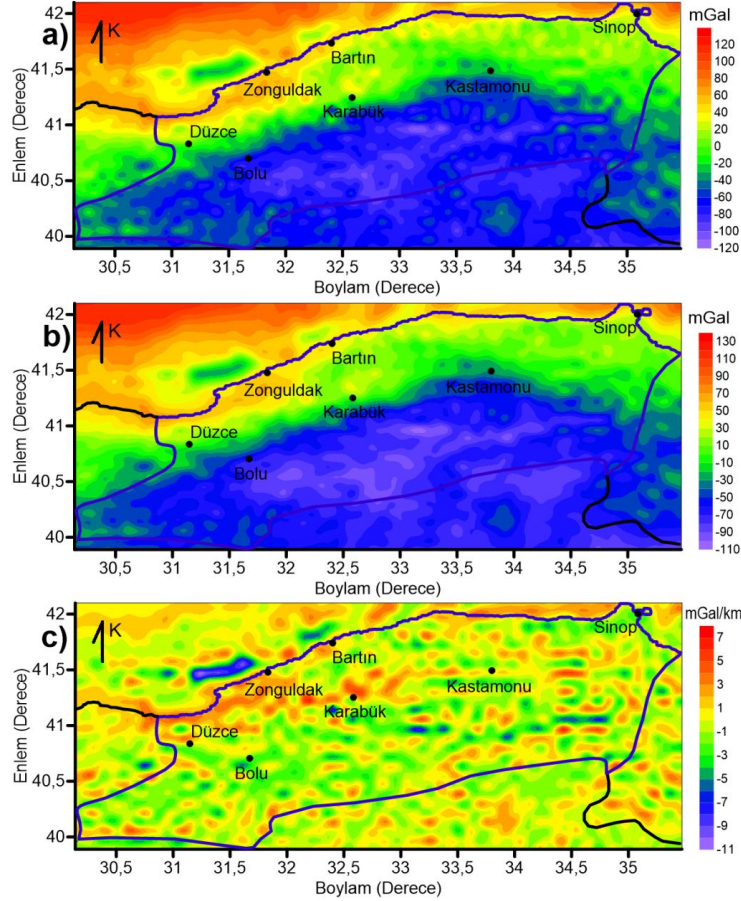
$$EA = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial g}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2}} \right) \quad (3)$$

$$EA = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2}} \right) \quad (4)$$

Bu çalışmada kullanılan sınır analiz tekniklerinin sonucusu olan TA tekniğini de Wijns vd. (2005) tanıtmıştır. Gravite verileri için TA genliği, toplam yatay türevin analitik sinyale oranıdır (Formül 5). TA genliği 0 - 1 aralığında değişir ve kütle sınırlarında maksimum değerler bir bant şeklinde toplanır (Wijns vd., 2005). Yeraltında aranan kütlelerin derinlikleri attıkça, kütle sınırları üzerinde oluşacak olan TA yüksek genlikli bantlarının genişliği artacaktır. Yüzeze yaklaştıkça, bu bantların genişliği azalacak ve bir çizgi görünümünde olacaktır. Formül 5'de gravite değerleri yerine, gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri yazılırsa, Formül 6 elde edilir.

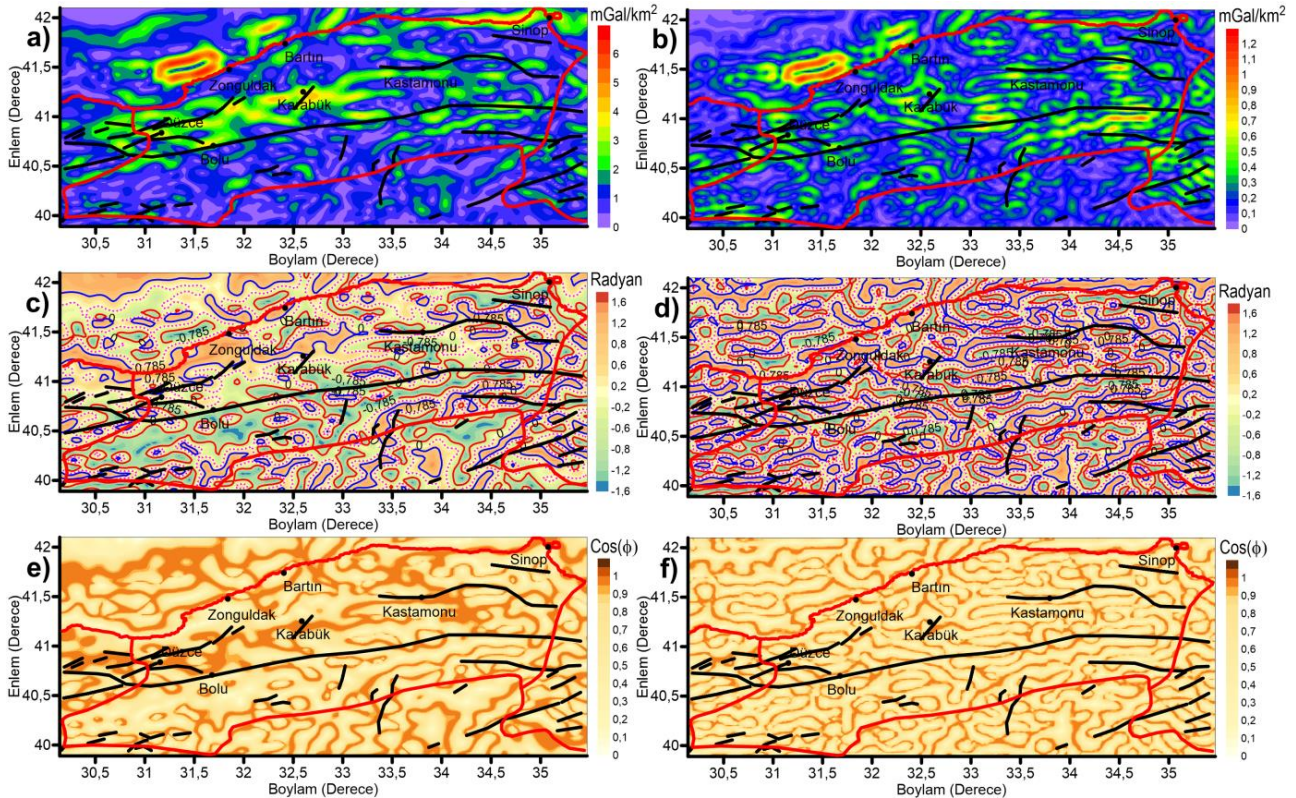
$$TA = \cos(TI) = \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial z}\right)^2}} \quad (5)$$

$$TA = \cos(TI) = \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}\right)^2}} \quad (6)$$



Şekil 7. a) Bouguer gravite anomalisi (Bouguer gravity anomaly) **b)** rejonel gravite (regional gravity) **c)** rejonel gravitenin düşey türev anomalisi haritaları (vertical derivative anomaly maps of regional gravity)

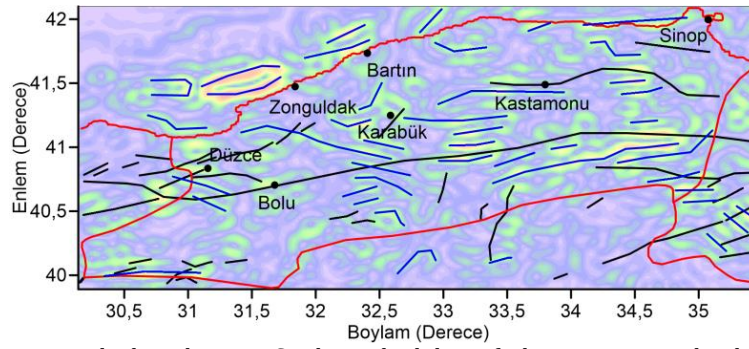
Yer altındaki hedef kütlelerin yanal sınırlarını ve derinliklerini belirlemek için yapılan hesaplamalarda, gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar daha doğru sonuç vermektedir (Formül 2, 4 ve 6). Batı Karadeniz Bölgesi'ne ait Bouguer gravite, rejyonal gravite ve rejyonal gravitenin birinci düşey türev anomali haritaları Şekil 7a, 7b ve 7c'de görülmektedir. Belli kesme dalga sayısı ile ($K_{c4} = 0.76 \text{ rad/km}$) alçak geçişli süzgeç kullanılarak Batı Karadeniz Bölgesi'nin rejyonal gravite verileri, Bouguer gravite verilerinden hesaplanmıştır. Sonra, hesaplanan rejyonal gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan birinci düşey türev değerleri kullanılarak, çalışma bölgesinin TYT, EA ve TA anomali haritaları bulunmuştur (Şekil 8b, 8d, 8f). Hesaplanan bu haritalarda, EA'nın sıfır kontur değerleri, TYT ve TA'nın yüksek genlikli değerleri izlenerek, temel kaya seviyelerindeki yoğunluk farkı sunan kütle sınırlarının yanal konumları belirlenebilir. Ayrıca, EA'nın ± 0.785 radyan konturları arasındaki yatay mesafenin yarısı kullanılarak, bu kütlelerin derinlikleri de bulunabilir. Bu işlem, çalışma alanının herhangi bir yerinde, ± 0.785 radyan konturları göz önünde bulundurularak yapılabilir (Şekil 8d).



Şekil 8. a) Rejyonal gravitenin TYT (TYT of regional gravity) **b)** birinci düşey türevin TYT (TYT of first vertical derivative) **c)** Rejyonal gravitenin EA (EA of regional gravity) **d)** birinci düşey türevin EA (EA of first vertical derivative) **e)** rejyonal gravitenin TA (TA of regional gravity) **f)** birinci düşey türevin TA haritaları. Siyah çizgiler bilinen fayları göstermektedir (TA maps of first vertical derivative. Black lines indicate known faults)

Literatürde yapılmış kuramsal model çalışmasında belirtildiği gibi, doğrudan gravite verileri kullanılarak hesaplanan Şekil 8a, 8c ve 8e'de belirlenen kütlelerin süreksizlik sınırlarının yanal konumları ve bu kütlelerin derinlikleri ile ilgili bilgiler, derinliğe bağlı olarak hata içerir (Altınoğlu vd., 2015; Özyalın ve Kaftan, 2017; Elmas, 2018a,b; Altınoğlu, 2019). Ancak, gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri kullanılarak hesaplanan Şekil 8b, 8d ve 8f'de belirlenen süreksizliklerin, bölgenin tektonik yapısına karşılık geldiği söylenebilir. EA'nın sıfır genlik değerleri, TYT ve TA'nın yüksek genlik değerleri birimlerin çeşitli yönlerde uzandıklarını ortaya koymaktadır (Şekil 8b, 8d ve 8f). Şekil 8b'ye bakılacak olursa, çalışma alanında temel kaya seviyelerindeki yoğunluk farkı sunan kütlelerin yanal sınırlarının uzanımları açıkça görülebilmektedir. Bu şekil üzerinde, bazı kısımlarda TYT'in yüksek genlik değerleri görülememektedir. Bu kısımlar ya yeterince yoğunluk farkına sahip değildir, ya da daha derindedirler. Temel kaya seviyelerinde, temel kaya üst yüzeyine yakın süreksizlik sınırları açık bir biçimde görülebilmektedir. Diğer taraftan, hem derindeki ve hem de temel kaya yüzeyine yakın süreksizlik sınırlarının tamamı EA ve TA haritalarında görülebilmektedir (Şekil 8d ve 8f). Bu süreksizlikler, Şekil 8d'de sıfır EA konturu takip edilerek, Şekil 8f'de ise bant şeklindeki yüksek TA genli değerleri takip edilerek izlenebilir. Bu bantların genişliğindeki artma, kütlelerin derinliğindeki artma ile doğru orantılıdır. Bu bantın genişliğindeki daralma, aranan kütlelerin derinliğinin, temel kaya üst yüzeyine yakın olduğunu ifade eder. Bu, sadece nitel bir değerlendirmedir. Oysa, Şekil 8 d'deki ± 0.785 radyan EA konturları arasındaki yatay mesafenin yarısı dikkate alınarak, aranan kütlelerin derinlikleri nicel olarak hesaplanabilir. Şekil 9'da, Batı Karadeniz Bölgesi'nin temel kaya seviyelerinde, temel kaya yüzeyine yakın yoğunluk farkı sunan süreksizlik sınırlarının dağılımı mavi renkli çizgilerle belirtilmiştir.

Bu çizgilere bakıldığında, bulunan süreksizlikler bazı kısımlarda bilinen faylara paralel uzanmakta iken, bazı kısımlarda da değişik açılarla bu fayları kestikleri görülmektedir.



Şekil 9. Çalışma alanının güncel tektonik yapısı. Siyah çizgiler bilinen fayları ve mavi çizgiler de bulunan çizgisellikleri göstermektedir (Current tectonic structure of the study area. Black lines show known faults and blue lines show lineaments)

4. Sonuç (Result)

Bu çalışmada öncelikle, Batı Karadeniz Bölgesi'nin Bouguer gravite verilerinin genlik spektrumu alınarak, bölgenin kabuk yapısında var olan yumuşak-sert sediman, temel kaya, Conrad, Moho ve litosfer-astenosfer arayüzeylerine ait ortalama derinlikler sırasıyla 2.108 km, 6.055 km, 18.211 km, 34.611 km ve 62.485 km olarak bulunmuştur. Diğer taraftan, Batı Karadeniz Bölgesi'nin Bouguer gravite verilerinden elde edilmiş rejyonel gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerine üç farklı sınır analiz yöntemi uygulanarak, bölgenin temel kaya seviyelerinde ve temel kaya üst yüzeyine yakın olan kütlelerin sınırları, EA haritasının sıfır konturları, TYT ve TA haritalarının yüksek genlik değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, EA haritasındaki ± 0.785 radyan konturları arasındaki yatay mesafenin yarısı kullanılarak, bölgede herhangi bir yerde, bu kütlelerin derinliklerinin hesaplanabilmesi için bir EA haritası sunulmuştur. Diğer taraftan, bu kütle derinlikleri nitel olarak TA haritasındaki yüksek genlik değerlerinin oluşturduğu bant genişliği takip edilerek belirlenebilmesi için bir TA haritası sunulmuştur. Son olarak da, Batı Karadeniz Bölgesi'nin güncel tektonik yapısı, TYT haritası değerlendirilerek ortaya konulmuştur.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Altınoğlu, F.F., Sarı, M., Aydın, A., 2015. Detection of Lineaments in Denizli Basin of Western Anatolia Region Using Bouguer Gravity Data. *Pure and Applied Geophysics* 172, 415-425.
- Altınoğlu, F.F., 2019. Elazığ ili ve çevresinin çizgisel yapılarının gravite verisine sınır analizi teknikleri uygulanarak belirlenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(6), 785-793.
- Alvandi, A., Asil, R. H., 2014. Edge detection process of Qom salt dome gravity anomalies using hyperbolic tilt angle. *International Journal of Geomatics and Geosciences* 5(2), 209-224.
- Arısoy, M. Ö., Dikmen, Ü., 2011. Potensoft: MATLAB-based Software for potential field data processing, modelling and mapping. *Computer & Geosciences*, 37, 935-942.
- Bhattacharyya, B.K., 1967. Some general properties of potential fields in space and frequency domain: a review. *Geoexploration* 5 (3), 127-143.
- Cooper, G. R. J., Cowan, D. R., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers and geosciences*, 32 (10), 1585-1591.
- Cordell, L., and Grauch, V.J.S., 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico, (Ed. Hinze, W.J.) *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps*, Society of Exploration Geophysicists, 181-197.
- Çavşak, H. and Elmas, A., 2010. 3D Modeling Of Gravity Anomalies Using 2D Synthetic Models, *SDÜ Journal of Engineering Science and Design* Vol:1 No:2 pp.79-86
- Çavşak, H. and Elmas, A., 2014. Comparing of the 2D-3D Gravity Calculations in Cartesian Coordinates and 3D in Cartesian-Spherical Coordinates, *SDÜ Journal of Engineering Science and Design* Vol:2 No:2 pp.103-111
- Ekinci, Y.L. ve Kaya, M.A., 2006. Manyetik verilerde sınır analizi yöntemi kullanılarak gömülü arkeolojik yapı sınırlarının tanımlanması, *Yerbilimleri*, 27(2), 97-107.
- Elmas, A., 2018a. Kıbrıs Adasındaki Yapısal Süreksizliklerin EGM08 Gravite Verileri Kullanılarak Belirlenmesi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 42, 17-32 (DOI: 10.24232/jmd.434135).
- Elmas, A., 2018b. Türkiye'nin Tektonik Yapısının Gravite Verileri Kullanılarak Değerlendirilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarımı Dergisi*, 6(2), 258-264 (DOI: 10.21923/jesd.371723).

- Elmas, A. ve Yiğitbaş, E., 2001. Ophiolite emplacement by strike-slip tectonics between the Pontide Zone and the Sakarya Continent in northwestern Anatolia, Turkey. *Geologische Rundschau*, 90, 257-269.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30. Ankara- Türkiye.
- Ketin, I., 1966. Anadolunun tektonik birlikleri (Tectonic Units of Anatolian Asia Minor): Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayını, Ankara, 66: 20-34.
- Miller, H. G., Singh, V., 1994. Potential field tilt -a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213-217.
- Nabighian, M. N., 1972. The Analytic Signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, 507-517.
- Okay, A.I. and Tüysüz, O., 1999, Tethyan sutures of northern Turkey. In "The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen" (eds. B. Durand, L. Jolivet, F. Horváth and M. Séranne), Geological Society, London, Special Publication 156, 475-515.
- Okay, A.I., 1989. Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. A.M.C., Şengör (Ed) Tectonic evolution of the Tethyan region. Nato Advanced Science Institute (ASI) Series, C 259, 109-116.
- Oruç, B., 2010. 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*, DOI: 10.1007/s00024-010-0211-0.
- Özyalın, Ş ve Kaftan, İ., 2017. Gravite verilerinin sınır analizi yöntemleriyle değerlendirilmesi; Eskişehir örneği, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(6), 804-808.
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., Factor, J. K., 2008. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008. EGU General Assembly 2008, Vienna, Austria, April 13-18, 2008. <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008>. (Ziyaret tarihi: 11 Şubat 2020).
- Şengör, A.M.C., and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., and Sungurlu, O., 1984., Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: Nature and evolution of the westwrn termination of Paleotethys. In: J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (eds.), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean: geological Society of London Special publication 17*, 77-112.
- Tüysüz, O., 1990. Tectonic evolution of a part of the Tethyside orogenic collage: The Kargı massif. Northern Turkey. *Tectonics*, 9, 141-160.
- Ustaömer, P.A., and Rogers, G., 1999. The Bolu Massif: remnant of a pre-Early Ordovician active margin in the west Pontides, northern Turkey, *Geological Magazine*, 136, 5, 579-592.
- U.S. Geological Survey, Digital Elevation Models GTOPO30, Virginia, 1998. http://webmap.ornl.gov/wcsdown/wcsdown.jsp?dg_id=10003_1, (Ziyaret tarihi: 11 Şubat 2020).
- Verduzco, B., Fairhead, J.D., Green, C.M., Mackenzie, C., 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *Leading Edge* 23. 116-119.
- Wijns, C., Perez, C., and Kowalczyk, P. (2005), Theta map: edge detection in magnetic data, *Geophysics* 70 (4) 39-43.
- Yiğitbaş, E., Elmas, A., and Yılmaz, Y., 1999. Pre-Cenozoic tectono-stratigraphic components of the Western Pontides and their geological evolution. *Geological Journal*, 34, 55-74.