

Sivas-Erzurum Alanındaki Kabuğun Tektonik Yapısının ve İzostatik Denge Durumunun Gravite Verileriyle Araştırılması

Investigation of Tectonic Structure and Isostatic Balance Status of the Crust in Sivas-Erzurum Area with Gravity Data

Ali Elmas^{1*} 

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, Sivas-Erzurum alanındaki kabuğun tektonik yapısı ve izostatik denge durumu gravite verileri kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada, kütle sınırlarını belirlemek için toplam yatay türev tekniği kullanılmıştır. Bouguer gravite verilerinden süzgeçleme ile elde edilmiş rejyonel gravite değerlerinin birinci düşey türev değerlerine bu teknik uygulanmıştır. Böylece, yoğunluk farkı sunan kütle sınırları genel hatlarıyla ortaya koyulmuştur. Gravimetrik moho ve izostatik moho değerleri hesaplanarak, alanın izostatik denge durumu araştırılmıştır. Böylece, sismik olarak aktif ve pasif alanlar haritalanmıştır. Çalışma alanı, Afrika levhasının kuzeye doğru hareketiyle sıkışan ve buna bağlı olarak da tektonik olarak oldukça aktif bir alandır. Buna bağlı olarak bu çalışmanın sonuçları, çalışma alanındaki bakir maden yataklarının yerlerinin tespit edilebilmesinde fayda sağlayabilir. Ayrıca, alanda deprem riski taşıyan yerlerin genel görünümü bu çalışma ile verilmiştir.

Abstract

In this study, the tectonic structure and isostatic balance status of the crust in the Sivas-Erzurum area were investigated. Gravity data were used for this purpose. In the study, the total horizontal derivative technique was used to determine the mass boundaries. First, regional gravity values were obtained from Bouguer gravity data by filtering. Then, the first vertical derivative values of these values were calculated. The total horizontal derivative technique was applied to these derivative values. Thus, the mass boundaries presenting density differences were generally revealed. The isostatic balance status of the area was investigated by calculating the gravimetric moho and isostatic moho values. Thus, seismically active and passive areas were mapped. The study area is a tectonically very active area that is compressed by the northward movement of the African continent. Accordingly, the results of this study may be useful in determining the locations of virgin mineral deposits in the study area. In addition, the general view of the earthquake risk areas in the area is given in this study.

Anahtar Kelimeler: Tektonik, Toplam Yatay Türev, Birinci Düşey Türev, Yapısal Süreksizlik, İzostatik Durum

Keywords: Tectonics, Total Horizontal Derivative, First Vertical Derivative, Structural Discontinuity, Isostatic Condition

* Sorumlu yazar e-posta (Corresponding e-mail): elmas@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received):28.01.2025, Kabul Tarihi (Accepted): 11.04.2025

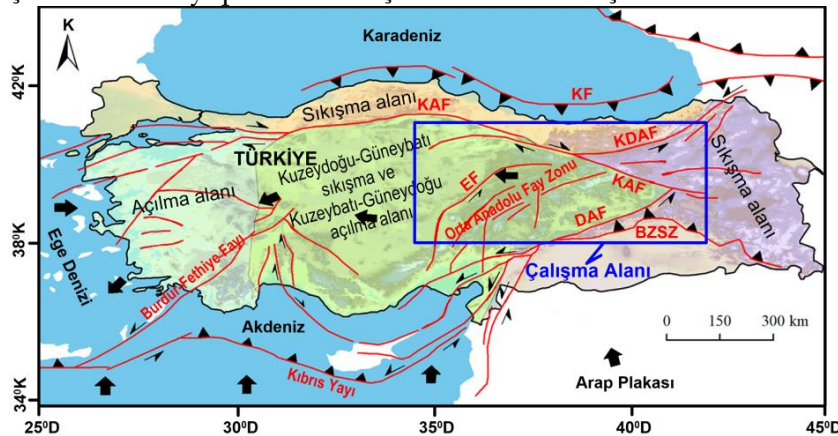
1. Giriş

Alpin sıradağlar kuşağında bulunan Türkiye; Anadolu, Avrasya, Arabistan ve Afrika levhalarını içine alan, tektonik olarak aktif bir alanda bulunmaktadır [24, 25, 40, 44]. Tektonik bakımdan Türkiye'deki sıradağlar, bir çalışma ile sınıflandırılmıştır [4]. Bu sınıflandırmada yer alan sıradağlar güneyden kuzeye doğru sırasıyla Kenar Kıvrımlar, İranidler, Toridler, Anatolidler ve Pontidlerdir. İçilid, Ortaile ve Ege İranidi sıradağlarını da bu sınıflandırmaya, daha sonraki bir zamandaki bir çalışmada eklenmiştir [13]. Daha sonraki jeolojik çalışmalarda neotektonik safhayı oluşturan beş farklı yapı belirlenmiştir [1, 43, 46]. Bu yapılar, Ölü Deniz Fayı, Bitlis-Zağros Bindirme Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu, Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Ege-Kıbrıs yayından oluşmaktadır. Belirlenen bu yapılarla ilişkili olarak da üç farklı neotektonik alan sınıflandırması yapılmıştır. Sınıflandırılmış bu alanlar ise, Orta Anadolu Ovalar alanı, Ege graben sistemi alanı ve Doğu Anadolu sıkışma alanlarından oluşmaktadır. Yapılan bir çalışmaya göre, Türkiye coğrafyasında devam eden depremlerin ve tektonik olayların başlangıç zamanı Pliyosen zamanıdır [20]. Daha sonraki bir zamanda yapılan bir jeolojik çalışmaya göre, Türkiye; Güneydoğu Anadolu, Anatolid-Torid Bloku ve Pontidler olarak sınıflandırılmıştır. İzmir - Ankara - Erzurum zonu ile diğer tektonik birimlerden ayrılan Pontidler, Türkiye'nin kuzeyine doğru konumlanmıştır. Rodop-Pontid ve Sakarya kısımları olarak ayrılan Pontidler [43], daha sonraki bir zamanda yapılan bir çalışmaya göre de İstranca masifi, Sakarya ve İstanbul zonları olarak da isimlendirilmiştir [27]. Jeolojik ve tektonik olaylara bağlı olarak zaman içerisinde gelişen Türkiye tektonik yapısının son durumu Şekil 1'de verilmiştir. Doğu Anadolu Fayı (DAF), Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF) ve Kuzey Anadolu Fayı (KAF) çalışma alanında öne çıkan faylardır [9, 10, 20, 27, 28]. Çalışma alanındaki diğer önemli faylar ise; Bitlis-Zağros Suture Zonu (BZSZ), Ecemiş Fayı (EF) ve Karadeniz Fayı (KF)'dir [11]. Afrika levhasının kuzeye doğru hareketiyle, Türkiye coğrafyasında oluşan sıkışma ve açılma alanları Şekil 1'de görülmektedir [11].

Bu çalışmada, Afrika levhasının kuzeye doğru hareketiyle sıkışan Türkiye coğrafyasında, Sivas-Erzurum civarlarındaki alanın sahip olduğu son tektonik yapı ve yine bu alandaki kabuğun izostatik denge durumları araştırılmıştır. Tektonik yapıya bağlı olarak, kütle sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Hem kütle sınırlarının belirlenmesi ve hem de izostatik denge durumlarına bağlı olarak sismik açıdan aktif ve pasif alanlar belirlenmeye çalışılmıştır. Kütle sınırlarını belirleyebilmek için çalışma alanına ait Bouguer gravite verilerinden elde edilmiş rejyonel gravite anomali değerleri kullanılmıştır. Bu anomali değerlerine öncelikle düşey türev hesaplaması yapılmıştır. Hesaplanan türev değerlerinin toplam yatay türev değerleri bulunmuştur. Ayrıca, izostatik denge durumunu araştırabilmek için ters çözümle gravimetrik moho ve Airy modeline göre de izostatik moho arayüzeyleri hesaplanmıştır. Böylece, bu iki arayüzey arasındaki farklar kullanılarak, çalışma alanındaki sismik olarak aktif ve pasif alanlar belirlenmiştir.

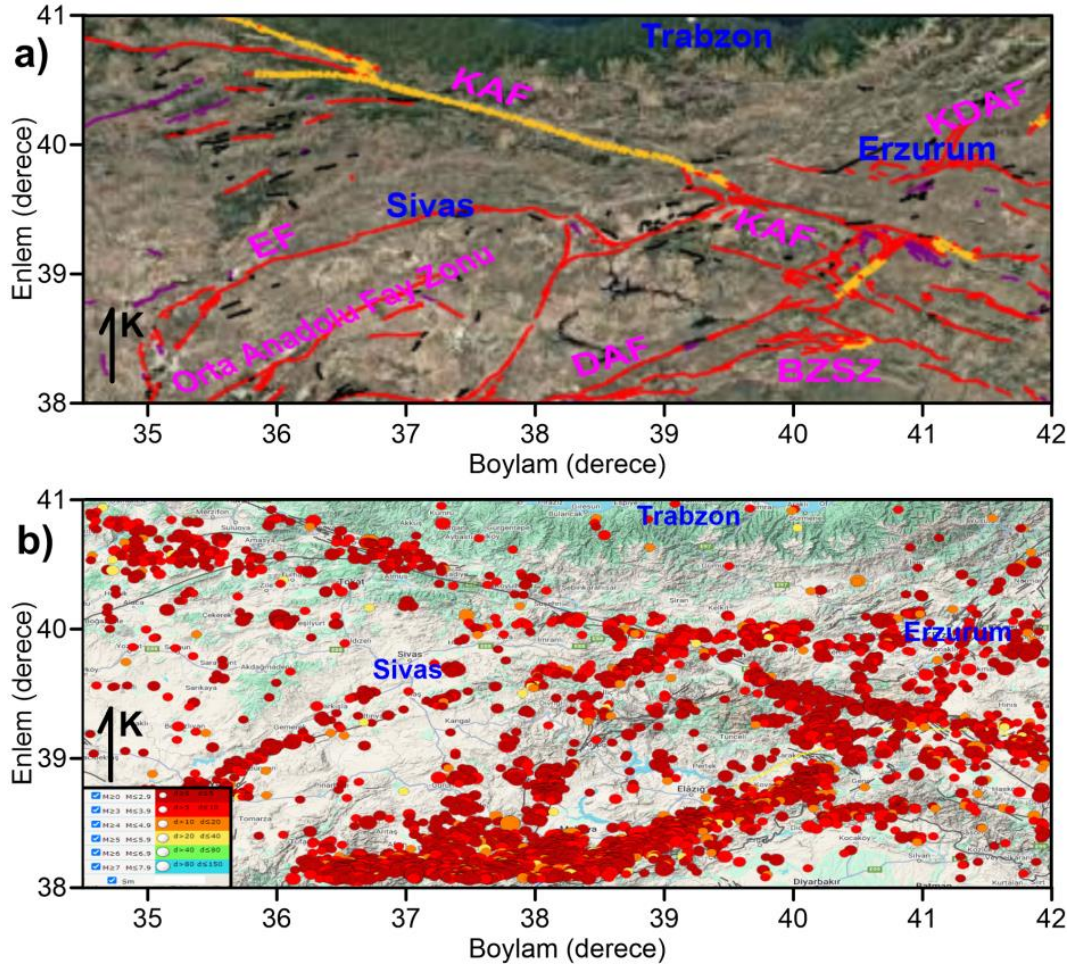
2. Materyal ve Metod

Türkiye'nin başlıca tektonik yapı unsurları Şekil 1'de verilmiştir.

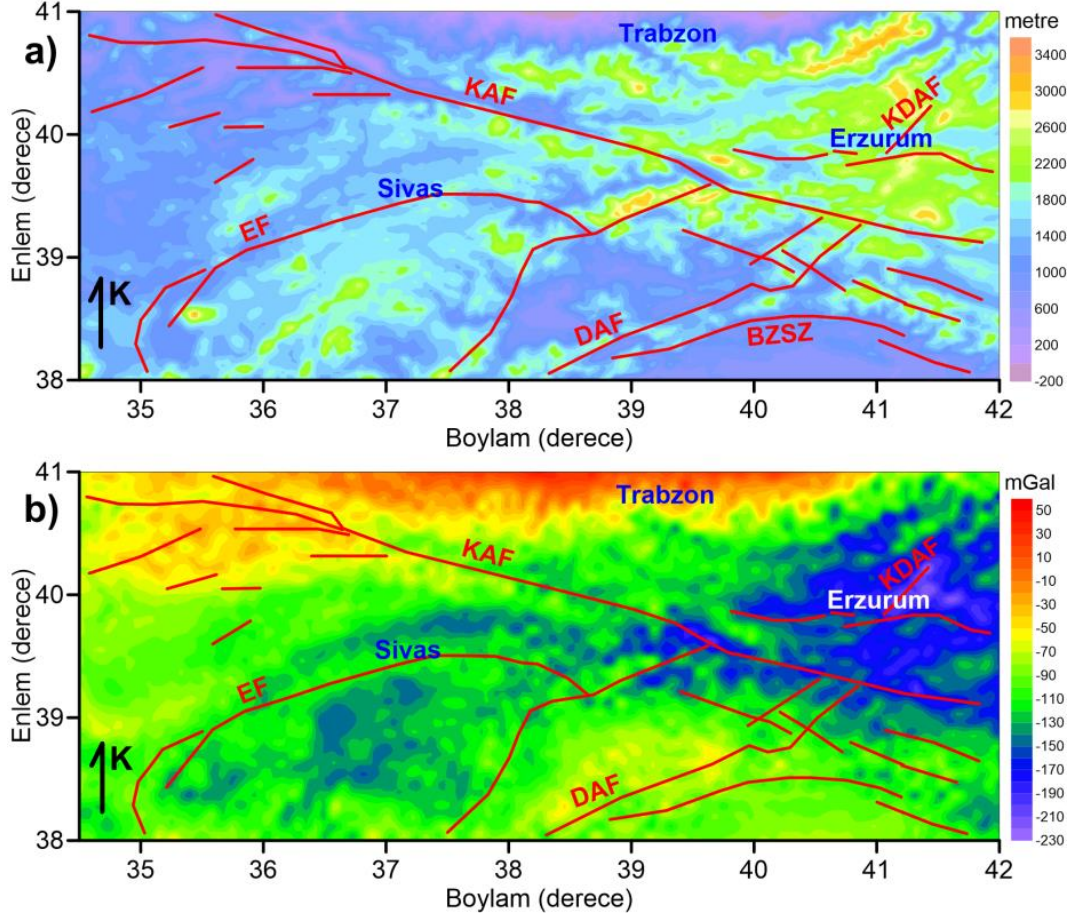


Şekil 1. Türkiye'nin başlıca tektonik yapı unsurları; Bitlis-Zağros Suture Zonu (BZSZ), Doğu Anadolu Fayı (DAF), Ecemiş Fayı (EF), Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF) ve Karadeniz Fayı (KF) ([11]'den alınmıştır).

Çalışma alanındaki aktif faylar Şekil 2a'da görülmektedir. Şekil 2b'de de, çalışma alanında 1900 yılından günümüze kadar meydana gelen ve büyüklüğü 4'ten büyük depremlerin episantr ve hiposantr dağılımları verilmiştir (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü). Bu haritalarda, mevcut aktif faylarla oluşmuş depremlerin konumları arasında önemli bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak, bu alanın sismik açıdan ve tektonik açıdan çok önemli bir alan olduğu göze çarpmaktadır.

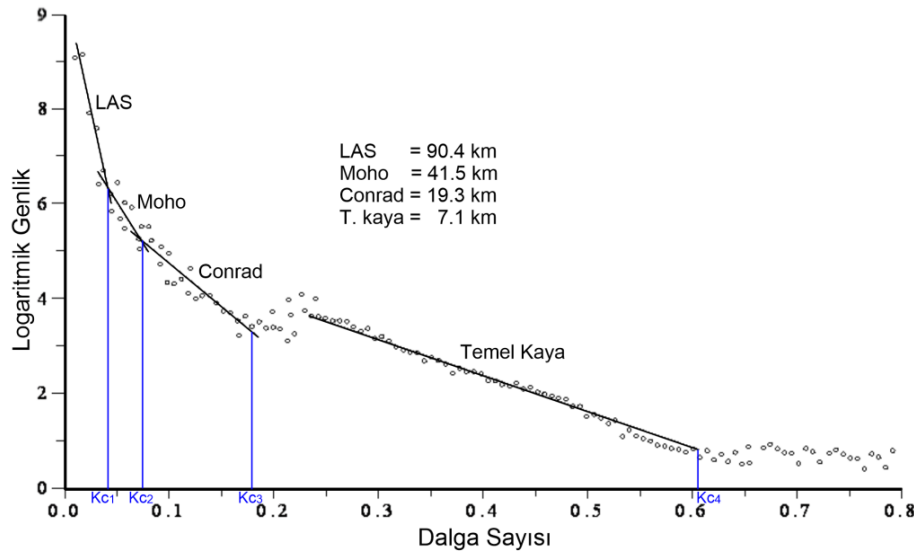


Bu çalışmada kullanılan topografya verileri (Şekil 3a) 1 km aralıklı çözünürlüğe sahip Küresel Yükseklik Modeli (GTOPO30) verilerinden alınmıştır [45]. Diğer taraftan, bu çalışmada kullanılan gravite verileri de Dünya Gravite Modeli verilerinden alınmıştır [36]. Şekil 3a ve 3b'ye bakıldığında, tektonik yapılara bağlı olarak, topoğrafya ve gravite anomalilerinin değişik doğrultularda uzanımlar gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3. a) Çalışma alanının topografya haritası ve b) Bouguer gravite anomali haritası.

Çalışma alanındaki kabuğun içindeki tabaka derinlikleri, [42]'nin geliştirdiği genlik spektrumundan yararlanılarak, iyi bir hassasiyetle hesaplanmıştır. Genlik spektrumu tekniği ile daha önceki çalışmalarda, iyi bir hassasiyetle tabaka derinlik hesapları yapılmıştır [16, 26, 31]. Genlik spektrumu tekniği, gravite değerlerinin 2B Fourier dönüşümleriyle yapılır. Diğer taraftan, kabuk içindeki mevcut tabakaların ortalama derinlik değerleri, hesaplanan dalga sayıları ile gravite değerlerinin genlik spektrum değerleri arasında belirlenen doğrusal ilişkilerin eğimlerinden hesaplanır. Bu çalışmada, genlik spektrumu hesaplamaları sonucunda, tabakalara ait dört ayrı ortalama derinlik değeri hesaplanmıştır (Şekil 4). Bu derinlik değerleri hesaplamalarında Litosfer-Astenosfer Sınırı (LAS) için 90.4 km, Moho sınırı için 41.5 km, Conrad sınırı için 19.3 ve temel kaya sınırı için de 7.1 km ortalama derinlik değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanının gravite verileri kullanılarak hesaplanan genlik spektrumu.

2.1. TYT Sınır Analizi

Literatüre geçmiş çalışmalarda, yoğunluk farkı veren kütle sınırlarının tespiti için yapılan TYT hesaplamalarında genellikle gravite verileri kullanılmıştır [2, 14, 23, 37-39]. Bununla birlikte, gravite verilerinden ziyade, bu verilerden hesaplanan birinci düşey türev değerlerinin, kabuk çalışmalarında daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [21]. Probleme uygun süzgeçleme yapılarak hesaplanan rejyonel gravite değerlerinin düşey türevi alınarak belirlenen verileri değerlendirmek için ve kabuk içindeki yoğunluk farkı veren kütle sınırlarını tespit etmek için, sınır analizi teknikleri geliştirilmiştir ve bu teknikler bulunan türev verileriyle kullanılmıştır [32, 33]. Bu çalışmada bu teknik, çalışma alanı için süzgeçleme ile hesaplanmış rejyonel gravite değerlerinin türev değerleriyle kullanılarak, yoğunluk farkı veren kütle sınırları belirlenmiştir. Bu amaçla, ilk olarak çalışma alanının Bouguer gravite değerlerine alçak geçişli süzgeçleme yapılmıştır. Böylece, rejyonel gravite değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu verilere birinci düşey türev hesaplaması yapılmıştır. Bu türev işlemi için de, Hızlı Fourier dönüşüm (FFT) tekniğinden yararlanılmıştır [22]. TYT değerlerinin genlik değeri, türev değerleri kullanılarak Formül 1'de olduğu gibi yazılır:

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

Burada $\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}$ ve $\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}$ kısımları gravite verilerinden hesaplanmış olan birinci türevlerin x ve y yönlerinde gösterdikleri değişimler olarak ifade edilmiştir.

2.2. Ters Çözüm Tekniği

Parker-Oldenburg işlemi kabuk içindeki arayüzleri göstermek için başarıyla kullanılmıştır [15, 31, 41]. Bir arayüzeyin topografyasının derinlik değerlerini Parker-Oldenburg yöntemiyle hesaplamak için önce bir başlangıç derinlik değeri kullanılır. Bu başlangıç değeri, genlik spektrumundan belirlenir. Parker-Oldenburg tarafından geliştirilen yöntem, ölçüm ağındaki derinlik ve gravite değerlerinin Fourier dönüşümlerine bağlıdır [29, 35]. Homojen ve düzensiz olan bir tabakaya ait gravite verilerini belirlemek için yararlanılan Fourier dönüşüm formülü aşağıda verildiği gibidir:

$$f[z_1(x)] = -\frac{f[\Delta g(x)]e^{|k|z_0}}{2\pi G\rho} - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{|k|^{n-1}}{n!} f[z_1^n(x)], \quad (2)$$

Burada $f[\Delta g(x)]$, z_0 , $z_1(x)$, k , G , ve ρ sırasıyla Fourier dönüşümü, ortalama derinlik, derinlik, dalga sayısı, gravitasyonel sabit ve yoğunluk parametrelerini temsil etmektedirler. Arayüzey topografya yoğunluk değerini belirlemek için z_0 ve $\Delta g(x)$ verileri yinelemeli olarak Formül 2'de kullanılır. Bu arayüzeyin derinlik değerinin ilk tahmini, ters Fourier dönüşümü kullanılarak elde edilir. Ayrıca, bu değer Formül 2'nin sağ tarafındaki ifadeyi hesaplamak için kullanılır. Bu şekilde, ikinci derinlik değeri de hesaplanır. Yakınsama kriteri dikkate alınarak yinelemelere son verilir. Böylece, çalışma alanının Moho topografyası ters çözümle hesaplanmıştır. Bu işlem için, Bouguer gravite verilerinden hesaplanan, süzgeçlenmiş gravite verileri kullanılmıştır. Yani, Moho topografyasını Parker-Oldenburg algoritması ile hesaplamak için, çalışma alanının Bouguer gravite verilerine bant geçişli süzgeç uygulayarak, Kc1 ve Kc2 dalga sayıları arasında olan, süzgeçlenmiş gravite verileri kullanılmıştır. Daha sonra, süzgeçlenmiş bu gravite verileri ters çözümle kullanılarak, Moho topografyası hesaplanmıştır. Moho arayüzey topografyasını ters çözümle modellemek için yinelemeler yakınsama ölçüsüne ulaşılan kadar devam etmiştir. Diğer bir ifadeyle, ardışık iki yineleme sonunda tahmin edilen derinlikler (z_i) arasındaki ortalama karekök (RMS) hataların yakınsama kriterinden (0,01 km) daha küçük olmasına dikkat edilir. Moho arayüzey topografyasını hesaplamak için litosferik manto ($\sim 3,28 \text{ g/cm}^3$) ile ortalama kabuk ($\sim 2,72 \text{ g/cm}^3$) arasında oluşan yoğunluk farkı $0,56 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır [30]. Şekil 6a'ya bakıldığında, özellikle Erzurum civarlarında Moho topografya derinliklerinde bir artış olduğu görülmektedir. Moho topografya haritasına bakıldığında Moho derinliklerinin 29 - 51 km arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 6a).

2.3. İzostatik denge araştırması

Moho arayüzünde aşırı kök oluşumu alanları izostatik denge analiz yöntemleri kullanılarak başarıyla belirlenebilir [7, 8, 12, 17, 34]. İzostatik denge derecesi, Gravimetrik Moho ve İzostatik Moho arasındaki farkların yüzdelere göre hesaplanır [7]. İzostatik denge oranları, bir bölgenin sismik aktivitesini anlamada önemli bilgiler sağlar. Bu durum, yerkabuğunun kararsızlığı ile sismik aktivitedeki artış arasındaki ilişkidir [12]. Eğer kabuk düşey yüklere karşı olması gerektiği gibi kökler geliştirmişse, bu köklere gerçek kökler (İzostatik Moho) denir. Gözlenen Bouguer gravite anomalisinden hesaplanan köklere de Gravimetrik Moho denir. Bu çalışmada, İzostatik Moho hesabı Airy İzostazi modeline göre yapılmıştır. Gravimetrik Moho, İzostatik Moho'dan daha derinde ise, kabuğun bu kısmı, düşey yüklere karşı dengesizdir [8]. Dengeli alanlarda düşey yüklere karşı yeterli kök oluşmuştur. Airy İzostazi modeline göre herhangi bir ölçüm noktasındaki topografya derinlik değeri 6.209 katsayısı ile çarpılarak o noktanın altındaki kök yükseklik değeri bulunabilir [34]. Bu noktanın altına inen İzostatik Moho derinliğini (h_i) bulmak için de, yaklaşık 30 km olarak kabul edilen denge derinliği T_d 'ye yükselim değerleri (r_i) eklenir (Denklem 3) [34].

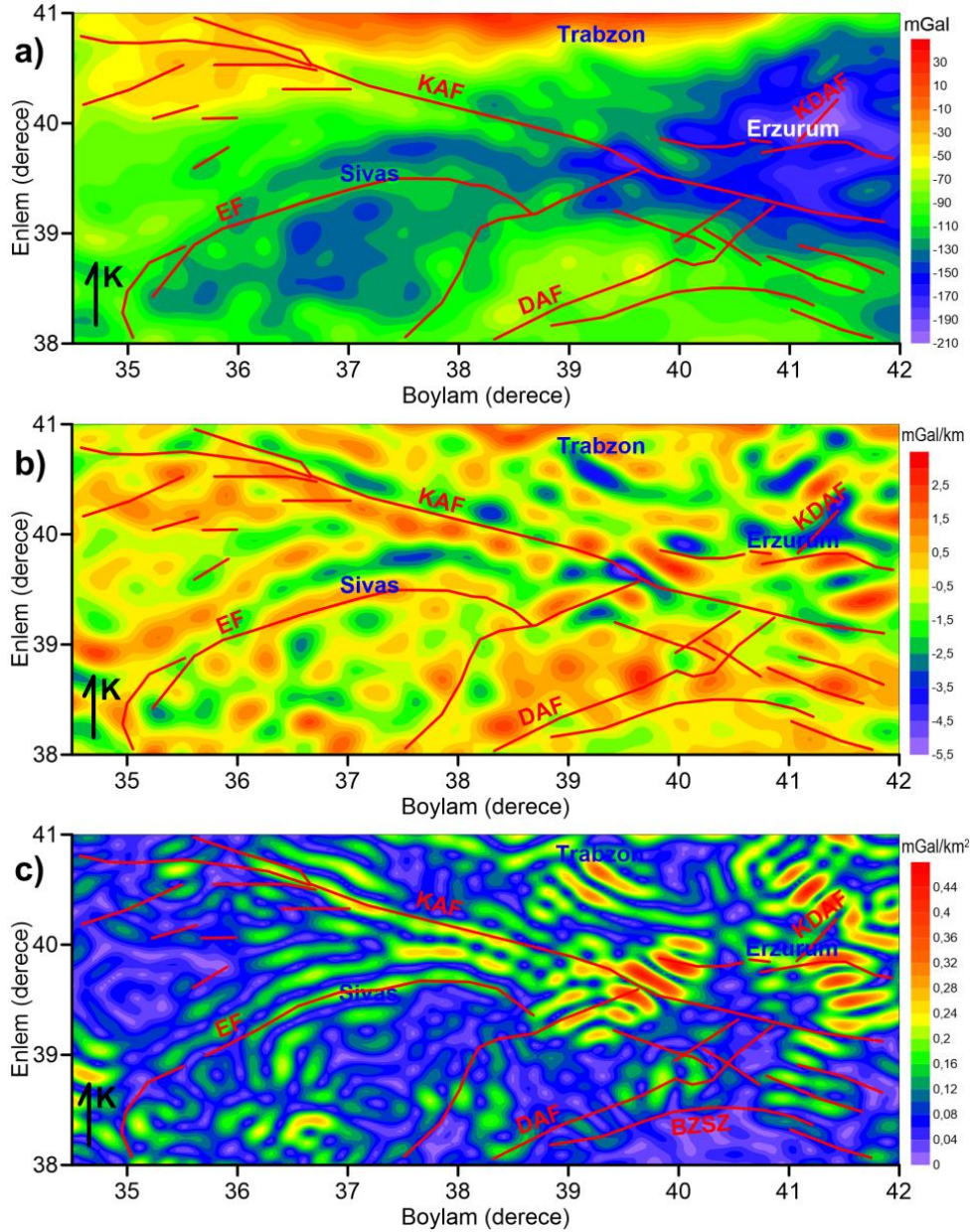
$$h_i = T_d + r_i = 30 + r_i \quad (3)$$

Şekil 6a, Kc1 ve Kc2 dalga sayılarında süzgeçlenmiş gravite verilerinin ters çözümü ile elde edilmiş Gravimetrik Moho topografyasını göstermektedir. Öte yandan, Şekil 6b Formül 3 ile topografya değerleri kullanılarak hesaplanan İzostatik Moho topografyasını göstermektedir. Her bir ölçüm noktasında Gravimetrik Moho derinlik değerinden İzostatik Moho derinlik değerleri çıkarılarak elde edilen fark haritası Şekil 6c'de görülmektedir. Böylece, bölgedeki Gravimetrik ve İzostatik Moho derinlikleri hesaplanarak, izostatik olarak dengeli ve dengesiz alanlar belirlenmiştir. Şekil 6c'ye bakıldığında, aşırı dengelenmiş alanların altında gereğinden fazla köklerin oluştuğu söylenebilir. Dengesiz alanlarda düşey yüklere karşı yeterli kök oluşmadığı ve sismik faaliyetlerin devam edeceği söylenebilir.

3. Yapılan Çalışmalar

Çalışma alanı için yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenen rejyonel gravite anomali haritası Şekil 5a'da, düşey türev anomali haritası Şekil 5b'de ve TYT anomali haritası da Şekil 5c'de verilmiştir. Burada yapılan hesaplamaların ilkinde, rejyonel gravite değerlerini Bouguer gravite değerlerinden elde etmek için yapılan alçak geçişli süzgeçleme işleminde kesme dalga sayısı olarak Kc4 dalga sayısı değeri

kullanılmıştır. Bulunan rejyonal gravite değerlerinin birinci düşey türevi hesaplandığında, temel kaya yüzeyine yakın olan ve yoğunlukları civar kayalara göre nispeten biraz yüksek olan birimlerin dağılımı Şekil 5b'de net olarak görülmektedir. Burada göze çarpan olaylar, Sivas'ın güney kesimlerinde KAF boyunca bu birimlerin sıralandığı ve yine bazı aktif fayların doğrultularıyla uyumlu olarak uzandıkları görülmektedir.

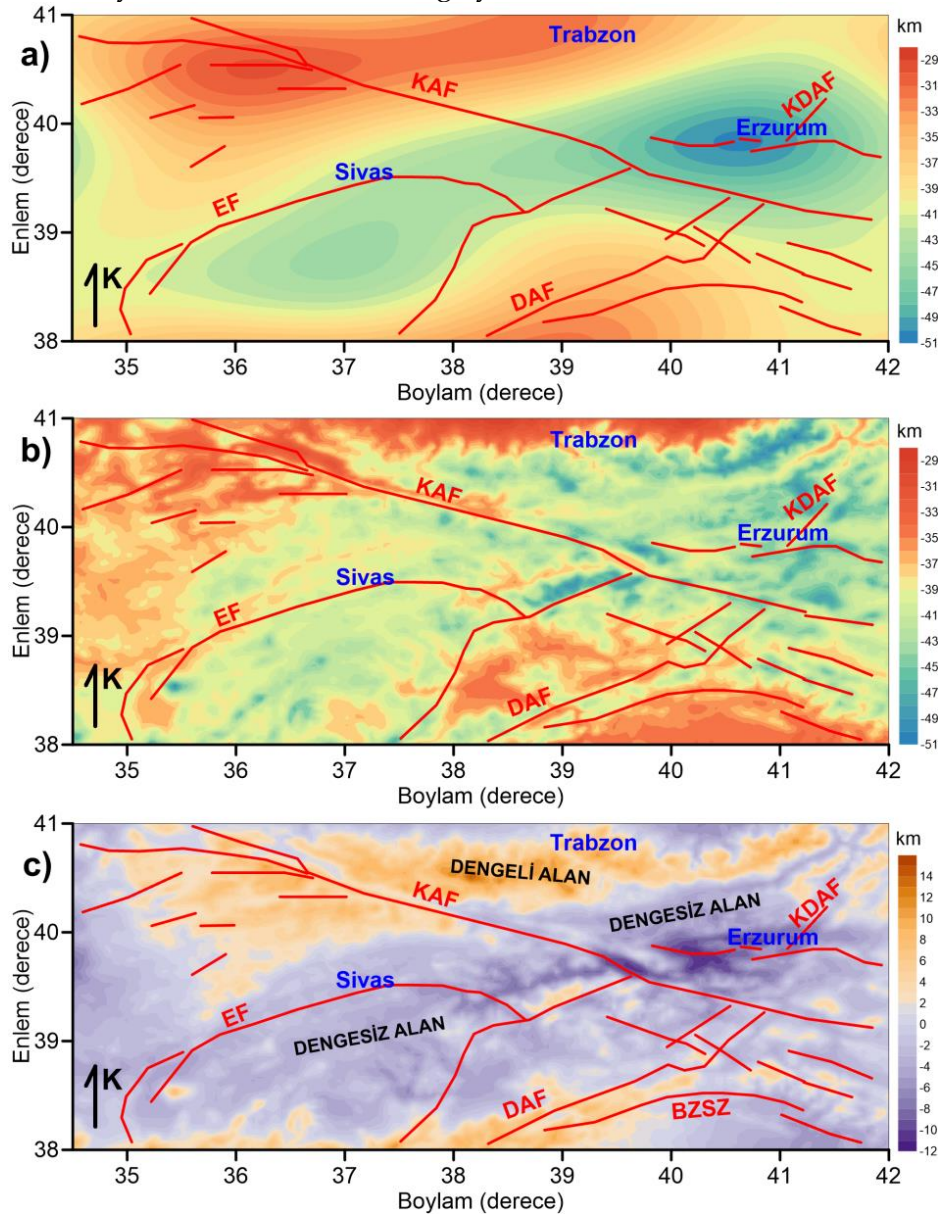


Şekil 5. a) rejyonal gravite anomali haritası, b) düşey türev anomali haritası ve c) TYT anomali haritası.

TYT haritasına bakıldığında, çalışma alanındaki kabuğun içinde, yoğunluk farkı veren kütlelerin sınırları yüksek genlikli olarak takip edilebilir. Ayrıca, bu süreksizlikler mevcut faylarla da bazı kısımlarda uyumludur. (Şekil 5c). Özellikle, Şekil 5c'deki yatay türev haritasında ise, Sivas'ın güneyindeki fayların, KAF, EF ve KDAF'ların uzanımlarının, yüksek genlikli TYT anomalilerinin uzanımlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, aktif fayların haricinde, diğer alanlardaki yüksek genlikli TYT anomali uzanımları da görülmektedir. Altın minerali ve gümüş minerali gibi çok değerli olan maden yataklarının oluşumlarında tektonik süreksizliklerin önemi çok fazladır [19]. Bu itibarla, bölgede halen keşfedilmeyi bekleyen maden yataklarının yerini belirleme çalışmalarında, hesaplanan bu TYT haritasının önemi çok büyüktür.

Ters çözümle bulunan Moho derinlik değerlerinin, 29 - 51 km arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 6a). Burada, Moho arayüzeyinin alçak kesimlerinde 30 km civarında değerler alırken, yüksek kesimlerde ve

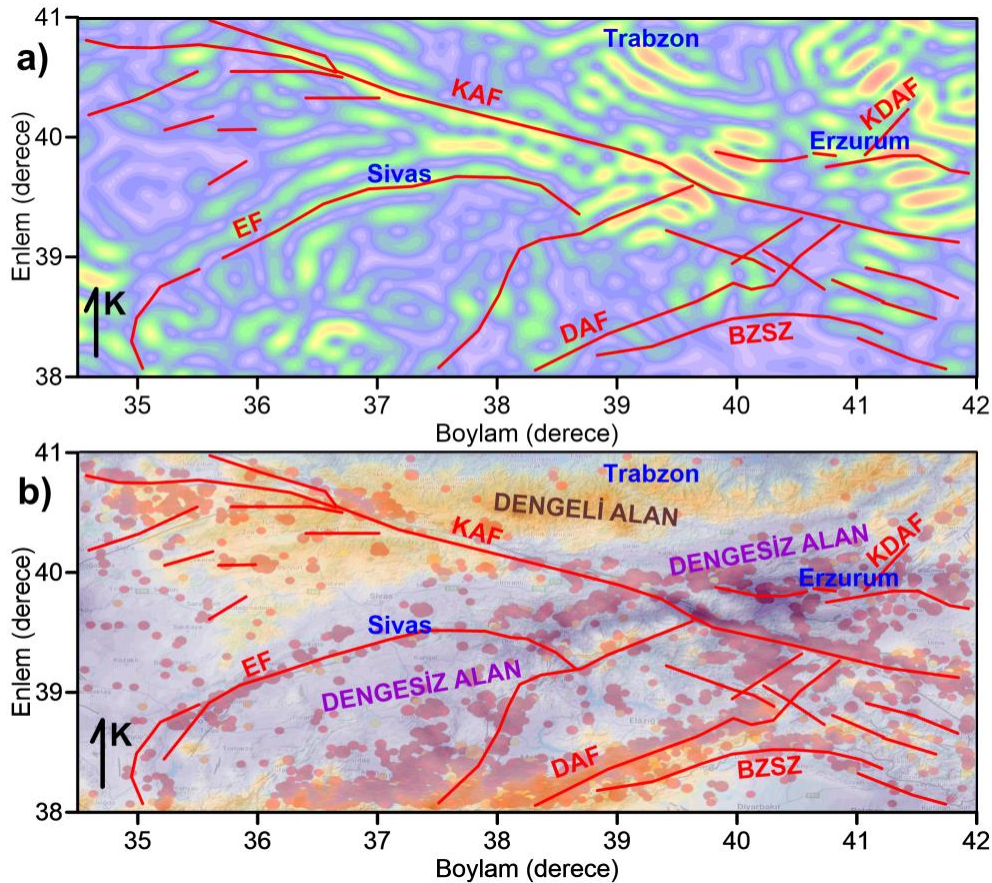
özellikle doğuya doğru 50 km değerlerine kadar derinleştiği görülmektedir. Şekil 6b'de ise topografya değerlerine bağlı olarak hesaplanan izostatik moho arayüzeyi görülmektedir. Bu arayüzey derinlik değerleri de, yaklaşık olarak gravimetrik moho arayüzeyi derinlik değerleri gibi davranmaktadır. Yani, sahil kesimlerinde sıkı iken, iç kesimlere doğru ve dağlık alanlara doğru derinleşmektedir. Bunlara bağlı olarak, çalışma alanındaki gravimetrik moho - izostatik moho farkları ile düşük ve yüksek sismik aktiviteye sahip kısımlar ortaya çıkarılmıştır (Şekil 6c). İzostatik olarak aşırı dengelenmiş alanların altında, yani izostatik moho arayüzeyinin gravimetrik moho arayüzeyinden daha derinde olduğu kısımlarda gereğinden fazla kök oluşur ve bu alanlarda genellikle sismik aktiviteler görülmez. Diğer taraftan, izostatik moho arayüzeyi gravimetrik moho arayüzeyinden daha yukarıda olduğu kısımlarda genellikle sismik aktiviteler görülür. Şekil 6c izlenerek, sismik açıdan aktif ve pasif olabilecek alanlar görülebilir. Özellikle KAF boyunca uzanan kısımlar, Erzurum civarları, EF'nin da yer aldığı Sivas civarları ve güneyi, DAF'ın kuzey kısımları, BZSZ'nin güney kısımları ve Karadeniz sahil kısımları sismik olarak aktif alanlardadır (Şekil 6c). Bir de, Trabzon ve civarının dengeli alanda olduğu ve bu alanın hemen güneyindeki KAF'na doğru olan kısımların dengesiz alanlar, yani sismik olarak aktif alanlar olduğu da görülmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, çalışma alanındaki bakir maden yataklarının ve deprem riski taşıyan bazı yerlerin ortaya çıkarılmasına katkı sağlayabilir.



Şekil 6. a) Ters çözümle elde edilen Gravimetrik Moho topografyası, b) Topografya değerleri kullanılarak Airy modeline göre hesaplanan İzostatik Moho topografyası ve c) Gravimetrik Moho ve İzostatik Moho derinlikleri arasındaki farklar.

4. Sonuçlar

Çalışma alanına ait Bouguer gravite verileri için genlik spektrumu hesaplaması sonucunda temel kaya, Conrad, Moho ve LAS arayüzeylerinin ortalama derinlik değerleri sırasıyla 7.1 km, 19.3 km, 41.5 km ve 90.4 km olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, belirli bir kesme dalga sayısına (Kc4) göre süzgeçleme işlemi yapıldıktan sonra hesaplanmış olan rejyonel gravite değerlerinin türevine TYT işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonucunda, kabuk içinde belli bir derinlikte var olan kütlelerin yoğunluk farkı veren sınırlarının uzanımları ve değerlerin bölgesel dağılımı ortaya koyulmuştur. Bölge, maden yataklarıyla, tektonik yapısıyla ve büyük faylarıyla önemli bir sahadadır. Diğer taraftan, bu alan ve civarı uzun zamandan beri çok sayıda deprem olayıyla karşı karşıya kalmıştır. Ters çözümle bulunan Moho derinlik değerleri, sahillerden iç kesimlere doğru ve de doğuya doğru da artmaktadır. Moho derinliklerinin 29 - 51 km arasında değiştiği görülmektedir. Çalışma alanındaki Gravimetrik Moho - İzostatik Moho farkları ile düşük ve yüksek sismik aktiviteye sahip kısımlar ortaya çıkarılmıştır. İzostatik olarak aşırı dengelenmiş alanların altında gereğinden fazla kök olduğu belirlenmiştir. TYT haritasında, özellikle KAF'nın varlığı ve EF'nın varlığı yüksek genlikli TYT değerleriyle izlenebilmiştir. Ayrıca diğer alanlarda da, yoğunluk farkı sunan yerler belirlenmiştir (Şekil 7a). Öte taraftan, dengeli alanlar ile dengesiz alanların deprem dağılımlarıyla olan ilişkileri Şekil 7b'de görülmektedir. Burada, sismik olarak aktif alanlarla deprem dağılımları arasında büyük bir uyum vardır. Uyumsuzluğun sadece KAF'nın batı kısımlarında ve DAF ve BZSZ arasındaki alanın batı kısımlarında var olduğu görülmektedir.



Şekil 7. a) Yüksek genlikli TYT anomali dağılımı ve b) dengeli ve dengesiz alanlar ile deprem dağılımları arasındaki ilişki.

Çalışma alanı Afrika levhasının kuzeye doğru hareketiyle sıkışan ve buna bağlı olarak da tektonik olarak oldukça aktif bir alandır. Buna bağlı olarak bu çalışmanın sonuçları, maden yataklarının genellikle kırık, çatlak ve fay sistemlerinde olduğundan, çalışma alanındaki bakır maden yataklarının yerlerinin tespit edilebilmesinde faydalı olabilir. Ayrıca, alanda yoğunluk farkı sunan çizgiselliklere sahip, izostatik olarak dengesiz olan ve deprem riski taşıyan yerlerin genel görünümü bu çalışma ile verilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Akbulut NE, Bayarı S, Akbulut A, Özyurt NN, Sahin Y. Rivers of Türkiye, Second Edition. Rivers of Europe, 2022; 7: 851–880.
- [2] Altinoğlu FF, Sarı M, Aydın A. Detection of Lineaments in Denizli Basin of Western Anatolia Region Using Bouguer Gravity Data. Pure and Applied Geophysics, 2015;172: 415–425.
- [3] Arısoy MÖ, Dikmen Ü. Potensoft: MATLAB-based Software for potential field data processing, modelling and mapping. Computer & Geosciences, 2011;37: 935–942.
- [4] Arni P. Doğu Anadolu ve mücavir muntikalarının tektonik ana hatları. MTA Tayini, 1939: seri B, No. 4, Ankara.
- [5] Ateş A, Bilim F, Büyüksaraç A, Aydemir A, Bektaş Ö, Aslan Y. Crustal structure of Turkey from aeromagnetic, gravity and deep seismic reflection data. Surveys of Geophys, 2012; 33: 869–885.
- [6] Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>). Ziyaret 06 Nisan 2024)
- [7] Bott MHP. Evolution of Young Continental Margins and Formation of Shelf Basins. Tectonophysics, 1971; 11: 319–327.
- [8] Braitenberg C, Zadro M, Fang J, Wang Y, Hsu HT. The Gravity and Isostatic Moho Undulations in Qinghai-Tibet Plateau. Journal of Geodynamics, 2000; 30(5): 489–505.
- [9] Celal Şengör AM, Yazıcı M. The aetiology of the neotectonic evolution of Türkiye. Mediterranean Geoscience Reviews, 2020; 2(3): 327–339.
- [10] Chadha RK. An Mw 7.8 Earthquake on 6 February 2023 on the East Anatolian Fault, Türkiye. Journal of the Geological Society of India, 2023; 99(4): 449–453.
- [11] Chang Y, Zhang Y, Zhang H. Tectonic geomorphology of Türkiye and its insights into the neotectonic deformation of the Anatolian Plate. Earthquake Research Advances, 2024; 4: 100267
- [12] Deng Y, Fan W, Zhang Z, Liang K.. The Gravity and Isostatic Moho in North China Craton and Their Implications to Seismicity. Earth Science, 2014; 27(2): 197–207.
- [13] Egeran N. Tectonique de la Turquie et Relations Entre les Unites Tectoniques et Les Gites Metalliferes de la Turquit. Imprimerie Georges Thomas, Nancy, 1947.
- [14] Elmas A, Karlı H, Kadirov FA. Lineaments in the Shamakhy–Gobustan and Absheron hydrocarbon containing areas using gravity data. Acta Geophysica, 2018; 66: 39–49.
- [15] Elmas A. Edge position detection and depth estimation from gravity data with application to mineral exploration. Carbonates and Evaporites, 2019; 34: 189–196.
- [16] Elmas A, Karlı H. Tectonic and crustal structure of Archangelsky ridge using Bouguer gravity data. Marine Geophysical Research, 2021; 42: 21 (DOI: 10.1007/s11001-021-09443-z)
- [17] Elmas A. Integrating gravity data to enhance understanding of northern Türkiye's geodynamic evolution. Acta Geophysica, 2025; <https://doi.org/10.1007/s11600-024-01504-2>
- [18] Emre Ö, Duman TY, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, Şaroğlu F. Annotated 1/1.250.000 Scale Active Fault Map of Turkey, General Directorate of Mineral Research and Exploration. Special Publication Series-30, Ankara- Türkiye. 2013.
- [19] Ercan ÖA, Şeren A, Elmas A. Gold and silver prospection using Magnetic, Radiometry and Microgravity Methods in the Kışladağ province of Western Turkey. Resource Geology, 2014; DOI: 10.1111/rge.12024.
- [20] Erol O. Türkiye Jeomorfolojisi, Türkiye'nin Jeomorfolojik Evrimi ve Bugünkü Genel Jeomorfolojik Görünümü. Yayınlanmamış Ders Notu, İstanbul. 1989.
- [21] Evjen HM. The place of the vertical gradient in gravitational interpretations. Geophysics, 1936; 1: 127–136.
- [22] Gunn PJ. Linear transformations of gravity and magnetic fields. Geophysical Prospecting, 1975; 23(2): 300–312.
- [23] Hornby P, Boschetti F, Horovitz FG. Analysis of Potential field data in the wavelet domain. Geophysical Journal International, 1999; 137: 175–196.
- [24] Ketin İ. Türkiye'nin Orojenik Gelişmesi. MTA Dergisi, 53, Ankara, 1959.

- [25] Kuzucuoglu C, Çiner A, Kazancı N. Landscapes and Landforms of Türkiye. Springer Berlin Heidelberg, 2019.
- [26] Maden N, Elmas A. Major tectonic features and geodynamic setting of the Black Sea Basin: Evidence from satellite-derived gravity, heat flow, and seismological data. *Tectonophysics*, 2022; 824: 229207 (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229207>).
- [27] Okay AI. High pressure/low temperature metamorphic rocks of Turkey. In: *Blueschists and Eclogites* (ed. B.W. Evans and E.H. Brown). Geological Society of America Memoir, 1986; 164: 333-348.
- [28] Okay AI, Tüysüz O. 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, 1999; 156: 475-515.
- [29] Oldenburg DW. The inversion and interpretation of gravity anomalies. *Geophysics*, 1974; 39: 526-536.
- [30] Oruç B, Gomez-Ortiz D, Petit C. Lithospheric flexural strength and effective elastic thicknesses of the Eastern Anatolian and surrounding region. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.09.015>
- [31] Oruç B, Balkan E. Stress field estimation by the geoid undulations of the Samos-Kuşadası Bay and implications for seismogenic behavior. *Acta Geophysica*, 2021; 69(3): 1137-1149.
- [32] Oruç B, Keskinsezer A. Structural setting of the northeastern Biga Peninsula (Turkey) from tilt derivatives of gravity gradient tensors and magnitude of horizontal gravity components. *Pure Applied Geophysics*, 2008; 165: 1913-1927.
- [33] 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*, 2010; DOI: 10.1007/s00024-010-0211-0.
- [34] Oruç B. Teori ve Örneklerle Gravimetri. ISBN: 978-605-5936-65-5, Umuttepe Yayınları, 2012.
- [35] Parker RL. The rapid calculation of potential anomalies. *Geophysical Journal International*, 1973; 31: 447-455.
- [36] Pavlis NK, Holmes SA, Kenyon SC, Factor JK. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008. EGU General Assembly 2008, Vienna, Austria. 2008; <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008> (Ziyaret tarihi: 11 Şubat 2017).
- [37] Phillips JD. Locating magnetic contacts; a comparison of the horizontal gradient, analytic signal, and local wavenumber methods, Society of Exploration Geophysicists, Abstracts with Programs (Calgary 2000) 2000: 402-405.
- [38] Rapolla A, Cella F, Fedi M, Florio G. Improved techniques in data analysis and interpretation of potential fields: Examples of application in volcanic and seismically active areas. *Annals of Geophysics*, 2002; 45: 6.
- [39] Saibi H, Nishijima J, Ehara S. Processing and interpretation of gravity data for the Shimabara Peninsula Area, Southwestern Japan *Memoirs of the Faculty of Engineering. Kyushu University* 2006; 66: 2.
- [40] Sançar T, Zabcı C, Karabacak V, Yazıcı M, Akyüz HS. Geometry and Paleoseismology of the Malatya Fault (Malatya-Ovacık Fault Zone), Eastern Türkiye: Implications for intraplate deformation of the Anatolian Scholle. *Journal of. Seismology*, 2019; 23(2): 319-340.
- [41] Sönmez T, Oruç B. Doğu Marmara Bölgesinin Moho Derinliklerinin Gravimetrik ve İzostatik Yöntemlerle Kestirimi ve Kabuk Denge Analizleri. *Yerbilimleri*, 2017; 38(2): 115-128.
- [42] Spector A, Grant FS. Statistical models for interpretation aeromagnetic data. *Geophysics*, 1970; 22: 359-383.
- [43] Şengör AMC. Mesozoic-Cenozoic tectonic evolution of Anatolia and surrounding regions. *Bulletin. Burgers Research Geological Minerals*, 1980: 115-137.
- [44] Şengör AMC, Yılmaz Y. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 1981; 75: 181 - 241.
- [45] US Geological Survey, Digital Elevation Models GTOPO30. Virginia, 1998. http://webmap.ornl.gov/wcsdown/wcsdown.jsp?dg_id=10003_1, (Ziyaret tarihi: 11 Şubat 2017).
- [46] Yadav K, Singh SK. Morpho-tectonic assessment of Central Northern escarpment of Peninsular India, based on tectonically sensitive geomorphic indices. *Physical Geography*, 2022; 43(6): 753-783.