Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 32(6), 1329-1338, 2026

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Tarihsel Trakya bölgesinde kabuk kalınlığının uydu gravite verileri ile araştırılması

The investigation of crustal thickness in the historical Thrace Region using satellite gravity data

Mehmet Özceylan[1*], *Erdinç Uslan*[1], *Emin Uğur Ulugergerli*[1]

[1]Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye.
mozcylan@gmail.com, erdincuslan@gmail.com, emin@comu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.11.2024 Düzeltme Tarihi/Revision: 08.01.2026 doi: 10.65206/pajes.93390
Kabul Tarihi/Accepted: 28.01.2026 Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada Tarihsel Trakya bölgesi olarak bilinen ve günümüzde Türkiye, Yunanistan ve Bulgaristan sınırları içerisine uzanan coğrafi bölgede yer alan büyük ölçekli jeolojik yapılar gravite yöntemiyle araştırılmıştır. Çalışmanın ilk evresinde, EGM08 uydu gravite verisine uygulanan kenar belirleme teknikleri Trakya kırık kesiminin (Thrace fault zone) Bulgaristan'da Meriç Vadisi havzasına kadar uzandığını ortaya koymuştur. Çalışmanın ikinci evresinde ise önce Fourier dönüşümü kullanan değerlendirme tekniklerinden yararlanarak Bouguer anomalisine neden olan kaynakların derinlikleri kestirilmiştir. Ardından kabuk kalınlığının hesaplanmasına yardımcı olması bakımından Demenitskaya, Woollard ve Woollard-Strange deneysel (ampirik) bağıntıları verilere uygulanmış ve ortalama kabuk kalınlıkları hesaplanmıştır. Sonuçların denetlenmesi için kabuk-manto sınır derinliği hesabında güç spektrumu ve Parker-Oldenburg yöntemleri kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarda kabuk kalınlığının 19 km'den 43 km'ye, Parker-Oldenburg yönteminde 20 km'den 40 km'ye ve güç spektrumunda 16 km'den 45 km'ye değişim göstermektedir. Anılan sonuçlara ek olarak kabuk topografyasındaki değişimler petrol ve doğal gaz aramalarında hedef olarak da incelenen büyük ölçekli havzalara ev sahipliği yapabilecek alanlara işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Derinlik, Gravite, Moho, Kenar belirleme, Tarihi Trakya.

Abstract

In this study, large-scale geological structures located in the geographical region known as the Historical Thrace region, which today extends within the borders of Turkey, Greece, and Bulgaria, were investigated using the gravity method. In the first phase of the study, edge detection techniques applied to EGM08 satellite gravity data revealed that the Thrace fault zone extends to the Maritsa Valley Basin in Bulgaria. In the second phase of the study, first, the depths of the sources causing the Bouguer anomaly were estimated using evaluation techniques that employ the Fourier transform. Then, to assist in the calculation of crustal thickness, Demenitskaya, Woollard, and Woollard-Strange empirical relationships were applied to the data, and average crustal thicknesses were calculated. To verify the results, power spectrum and Parker-Oldenburg methods were used to calculate the crust-mantle boundary depth. The experimental results indicate that crustal thickness varies from 19 km to 43 km, from 20 km to 40 km in the Parker-Oldenburg method, and from 16 km to 45 km in the power spectrum analysis. In addition to aforementioned findings, variations in crustal topography indicate areas that could host large-scale basins, which are considered targets in oil and gas exploration.

Keywords: Depth, Gravity, Moho, Edge detection, Historical Thrace.

1 Giriş

Çalışmanın konusunu, günümüzde Türkiye, Yunanistan ve Bulgaristan sınırları içerisinde yer alan tarihsel Trakya bölgesi oluşturmaktadır. Bu coğrafi alan; kuzeyde Balkan (Stara Planina) Dağları, doğuda İstanbul Boğazı ve Karadeniz, güneybatıda Rodop Dağları, güneyde Ege Denizi, güneydoğu sınırında ise Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi ile çevrilidir. İzleyen bölümlerde çalışma alanı, her üç ülkeye uzanan sınırları kapsayacak şekilde tanımlanmış ve kısaca 'Trakya' olarak adlandırılmıştır (Şekil 1). Bölgenin jeolojisi, kuzeydoğu tarafında Istranca masifi ve güneybatı tarafında da Rodop karmaşığı ile sınırlanan Trakya havzasını kapsamaktadır.

Havza, güney doğu tarafında Marmara Denizi'ne komşudur (Şekil 2). Trakya havzasının Genç Eosen- Oligosen yaşlı tortul örtüsü İstanbul'un batısından başlayarak Bravista'ya kadar uzanmakta, içinde yer alan Ergene, Trakya ve Osmancık formasyonları başta olmak üzere, kalın tortul birikimi içeren alanlar petrol ve doğal gaz (izleyen bölümlerde HK olarak adlandırılacaktır) aramalarında da önemli bir hedef alanı oluşturmaktadır [1]-[3]. Istranca dağlarını oluşturan magmatik ve metamorfikler temel kaya niteliğindedir. Rodop Karmaşığı ise Trakya'nın batı kesimini kaplamakta ve Eosen yaşlı metamorfik kayaçlar kısmen de olsa Trakya içine uzanmaktadır [4].

Trakya bölgesi ve çevresinde Bouguer gravite verileri ile yapılan kabuk çalışmaları literatürde yer almaktadır. Grigoriadis ve diğ. yaptıkları çalışmada, Yunanistan ve çevresini kapsayan alanda, yer kabuğu ile manto arasındaki sınırı temsil eden Mohorovicic süreksizliği (Moho) derinliğini incelemişlerdir [5].

Tirel ve diğ. (2004) tarafından sunulan çalışmada verilerin ters çözümü ile elde edilen sonuçlar, Ege Denizi'nde Moho derinliğinin 20-31 km arasında değiştiğine, anakaraya doğru arttığına, Trakya Bölgesinin batısını kapsayan kuzeydoğu Yunanistan çevresinde Moho derinliğinin 30 km'ye ulaştığını ve kuzeybatı kesimlerine doğru artan bir eğilim gösterdiğine işaret etmektedir [6].

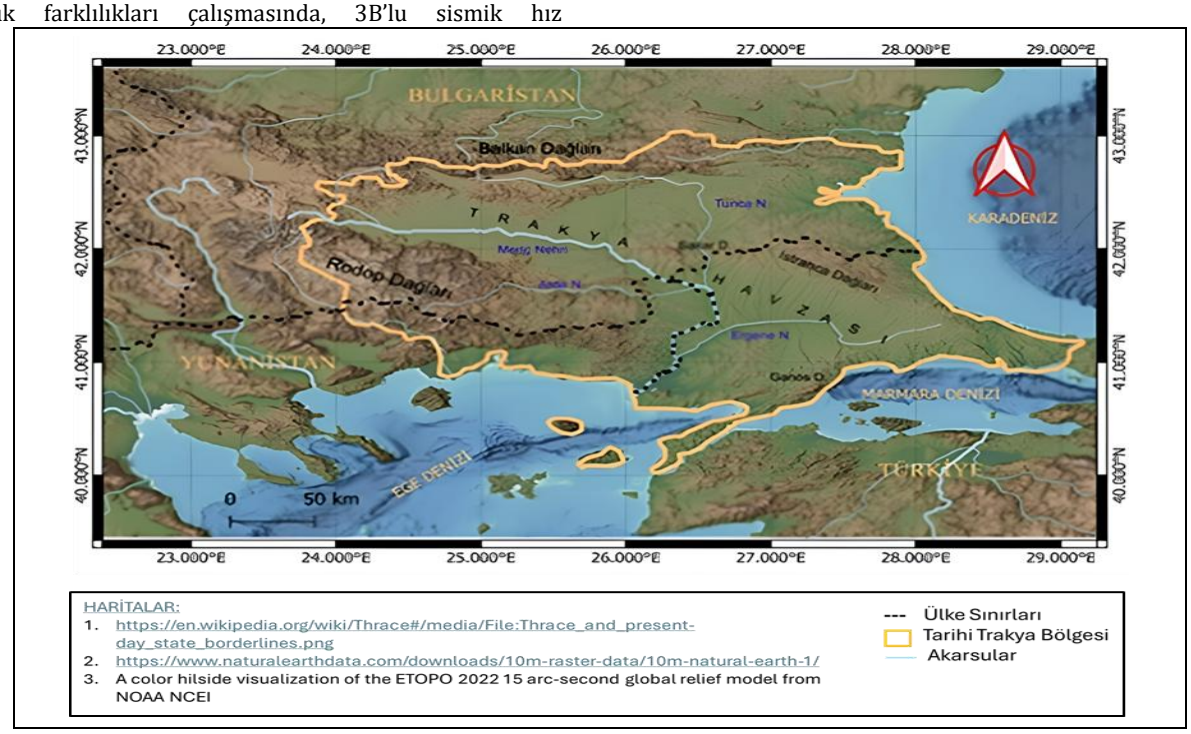
Gholamrezaie ve diğ. [7] gelişmiş-TOPEX gravite verileri ile Gravite ve Manyetik Uygulama Sistemi (IGMAS+ - Interactive Gravity and Magnetic Software; [8]) kullanarak yaptıkları 3

*Yazışılan yazar/Corresponding author

boyutlu (3B) modelleme çalışmasında, Marmara Denizi Moho derinliğin 27.5 km ile 35.5 km arasında değiştiğini, Marmara Denizi'nin Trakya kıyılarında kabuk kalınlığının ortalama 28.5 km olduğunu, Çanakkale Boğazı'nda 31 km'ye kadar yükseldiğini, Trakya içlerine doğru 33 km den başlayarak artış gösterdiğini belirlemişlerdir [7]. Starostenko ve diğ. eski Sovyetler Birliği zamanından bu yana derlenmiş gravite verileri ile yaptıkları çalışmada Karadeniz havzası altındaki kabuk-manto sınırı topografisini araştırmışlardır.

Gravite verilerinin kabuk yoğunluğu ve derinlik ilişkisine dayanan yöntemle belirlenen kabuk kalınlığı sonuçlarında, Trakya Bölgesinin doğu sınırını oluşturan güneybatı Karadeniz ve İstanbul boğazı kıyılarında Moho derinliğinin yaklaşık 36 km olduğu ve Trakya havzasının içlerine doğru artış gösterdiği görülmektedir [9]. Yegorova ve diğ. Orta Balkanların üst manto yoğunluk farklılıkları çalışmasında, 3B'lu sismik hız modellerinden elde edilen ve 3B'lu verilerinden ve yoğunluk dağılımı kullanılarak gravite verilerinden elde edilen Moho derinlikleri ortalama olarak Balkan Dağları altında 33 km, Rodop Dağları'nda 40 km, Meriç vadisi çevresinde ise 36 km olarak haritalanmıştır [10].

Değinilen bu çalışmalar ve literatürde yer alan diğer çalışmalarda araştırma sınırları genelde güncel ülke sınırları ile kısıtlanmakta ve Trakya bir bütün olarak ele alınmamaktadır. Bu durum özellikle diri kırıklar (fault) gibi afete neden olabilecek yapıların tanımlanmasında, güncel olarak da petrol ve doğal gaz aramalarına konu olan Trakya'da havza tanımlamaları için kabuk yapısının bir bütün olarak araştırılmamasında önemli bir eksiklik olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 1. Tarihi Trakya bölgesi.

Figure 1. Historical Thrace region.



Şekil 2. Trakya ve çevresinde başlıca jeolojik birimler. Havzadaki tortul birimlerin eş kalınlık çizgileri [1],[2]'den, jeoloji haritası [4]'den değiştirilerek alınmıştır.

Figure 2. Major geological units in and around Thrace. Sedimentary units isopach lines of the basin are modified from [1],[2] and the geological map is adapted from [4].

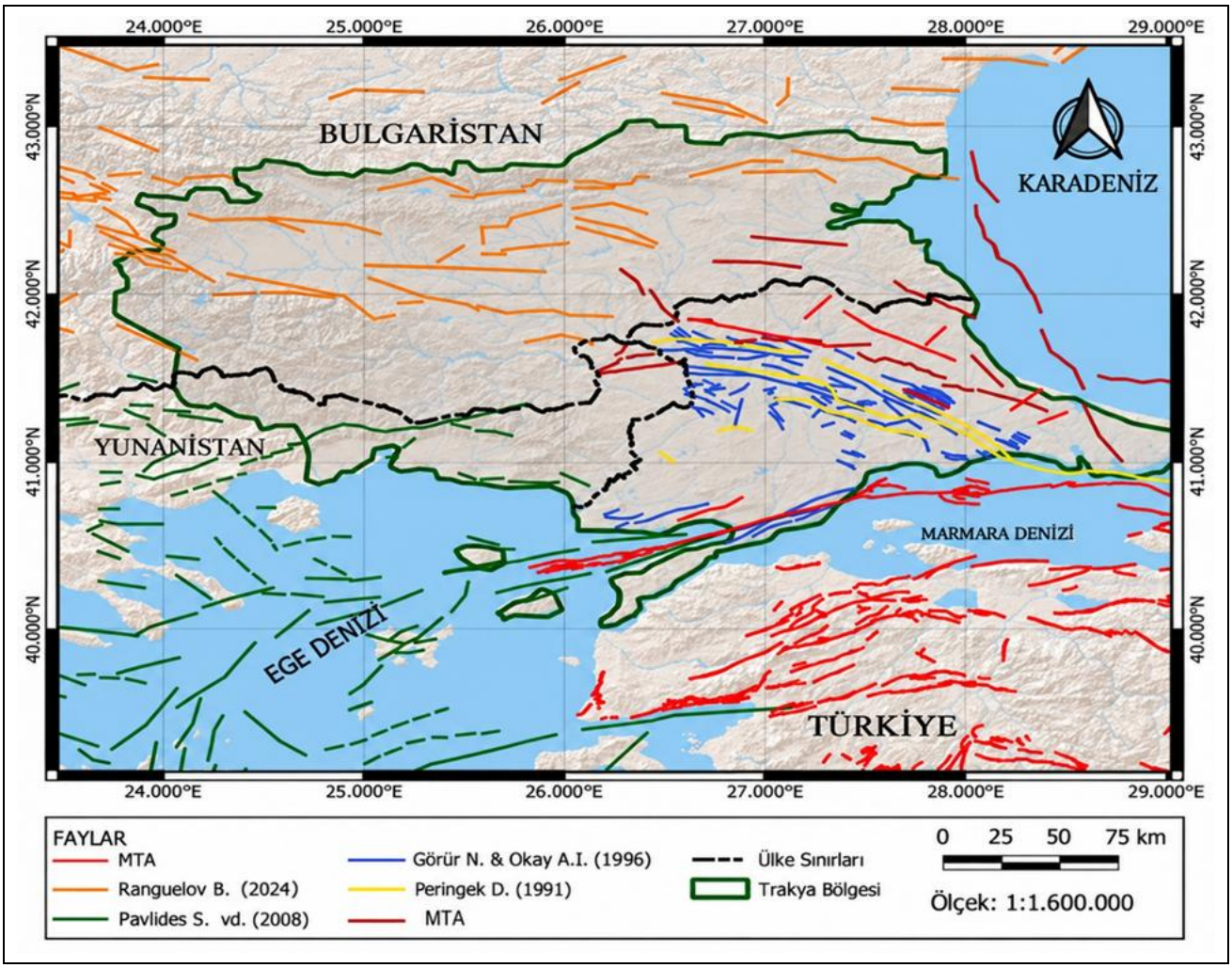
Trakya Bölgesi'nin güncel olarak Türkiye sınırları içinde kalan kesimindeki büyük ölçekli kırıkların (Şekil 3), Yunanistan ve Bulgaristan'da kalan kesimlerinde de süreklilik sunduğu öngörülmektedir [11],[12].

Bu çalışmada, bölgede yer alan büyük ölçekli yapısal jeolojik unsurlar gravite yöntemiyle araştırılmıştır. Çalışma, Trakya'yı bir bütün olarak ele alarak, bölgenin tektonik bileşenlerinin güncel ülke sınırlarından bağımsız olarak bir süreklilik gösterdiğine ilişkin öngörüyü incelemektedir. Bu nedenle veri alanımız 23.50-29.50E boylamları ile 39.50-43.5N enlemleri arasında kalan alanı kapsamaktadır.

Çalışmada EGM08 Bouguer uydu gravite verileri [17],[18] kullanılmıştır. Bu amaçla anılan veriler Bureau Gravimetrique International (BGI) sitesinden indirilmiştir. Verilere öncelikle kenar belirleme tekniklerinden olan toplam yatay türev ve analitik sinyal büyüklüğü uygulanmış, devamında kabuk kalınlığının hesaplanmasına yardımcı olması bakımından Demenitskaya [19], Woollard [20], Woollard and Strange [21] deneysel (ampirik) bağıntıları uygulanarak ortalama kalınlıklar hesaplanmıştır.

İzleyen bölümlerde kabuk kalınlığını belirleyen kabuk-manto sınırı Moho topografyasın çıkarılması amacıyla verilerin Fourier dönüşümünden elde edilen güç spektrumu yöntemi ve yine bir spektral yöntem olan Parker-Oldenburg Yöntemi kullanılmıştır [22],[23]. Özetle, çalışma sadece bir kabuk-manto sınır topografyası çalışması olmayıp iki temel konuya odaklanılmıştır; tektonik izlerin devamlılığı araştırılmış ve elde edilen bulgular süreklilik gösteren kırık doğrultularının belirli bir kabuk kalınlığına ulaşan bölgelerde yoğunlaştığını göstermiştir.

Ek olarak, elde edilen bulgular ışığında bölgenin Hidrokarbon (HK) birikim alanı içerebilecek havzalarının olası konumları araştırılmıştır. Bölgede HK aramaları çok eski yıllara kadar uzanmaktadır [24],[25]. Havzadaki HK araştırmaları ilk olarak 1897-1898 yılları arasında yapılan araştırmalar ile başlamıştır. 1947'nin sonlarında, çeşitli petrol şirketleri tarafından yaklaşık 245 araştırma ve petrol kuyusu açılmıştır. İki küçük petrol sahası (Deveçatağı ve Kuzey Osmancık) ve bir dizi gaz alanları (örneğin Hamitabat, Karacaoğlan, Umurca, Kandamış ve Hayrabolu) keşfedilmiştir [26]. Günümüzde de devam eden çalışmalarda yeni sahalar keşfedilmeye devam edilmektedir [27],[28]. HK aramalarında tortul birimlerin kalın olduğu havza yapıları hedef sahaları oluşturacaktır.



Şekil 3. Çalışma bölgesinde yer alan kırıklar, [3],[13]-[16].

Figure 3. Faults in the study area [3],[13]-[16].

2 Materyal ve yöntemler

2.1 Gravite verisi

Bu çalışmada kullanılan EGM08 Bouguer anomali veri gridleri [17],[18], 2.5 yay dakikası üzerinden ortalama alınarak EGM2008 küresel harmonik katsayılarından Pavlis ve diğ. [17] tarafından hesaplanmıştır. Topografik düzeltme 1 yay dakikası ETOPO1 Sayısal Yükselti Modeli kullanılarak 167 km mesafeye kadar uygulanmıştır [18].

2.2 Sınır belirleme yöntemleri

Potansiyel alan verilerindeki kenar iyileştirme çalışmaları jeolojik yorumlamaya yardımcı olurken, sadece kayaç türleri arası değişiklikleri görüntülemekle birlikte, yapılar ve bozuşma türleri hakkında da bilgiler sağlamakta [29].

Bu çalışmada, sınır belirleme yöntemlerine örnek olarak toplam yatay türev (Total Horizontal Derivative, THDR) [30].

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

ve yapısal görüntüleme için analitik sinyal büyüklüğü (Analytic Signal Amplitude, ASA) bağıntısı [31]-[33],

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

kullanılmıştır. Bu denklemlerde $g(x,y)$ koordinatlara karşılık gelen gravite verisidir. Ek olarak 3×3 boyutlu evrişimsel 45 derece yatay türev süzgeci kullanılmıştır. Evrişimsel 45 derece yatay türev süzgeci 9 elemanlı 3×3 boyutlu bir dizeyden oluşur. Bu tip süzgeç görüntü işleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [34]. Bu çalışmada evrişim dizeyi,

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

biçimindedir.

2.3 Derinlik eldesi için deneysel bağintilar

Bouguer anomalisi $g(x,y)$ ile sismik yöntemler kullanılarak belirlenen kabuk kalınlığı arasındaki deneysel (ampirik) ilişkileri kullanarak kabuk yapısını belirlemeye yönelik bir dizi çalışma, her iki veri türü arasında doğrusal olarak ilişki olduğunu ortaya koymaktadır [19]-[21],[35]. Bu çalışmada, Woollard, Demenitskaya, Woollard ve Strange [19]-[21] tarafından önerilen bağıntılar kullanılmıştır. Sırasıyla Woollard bağıntısı,

$$H_w = 32 - 0.08 \times g(x,y) \quad (4)$$

Demenitskaya bağıntısı,

$$H_D = 35 \times [1 - tanh(0.0037 \times g(x,y))] \quad (5)$$

Woollard ve Strange bağıntısı,

$$H_{WS} = 40.50 - 32.50 \cdot tanh((g(x,y) + 75)/275)) \quad (6)$$

biçimindedir. Burada H, veriye karşılık gelen kabuk kalınlığıdır.

2.4 Parker-Oldenburg algoritması

Yeraltı yapılarının üç boyutlu yoğunluk ara yüzey biçiminin gravite anomalisinden eldesi birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu uygulamalardan biri de karşılık geldiği anomaliden Moho süreksizliği topografyasının haritalanmasıdır [36]. Bu çalışmada Moho topografyası belirlemede iki spektral yöntem kullanılmıştır, bunlarda biri Parker-Oldenburg algoritmasıdır [22],[23]. Bu algoritma, topoğrafya ara yüzey derinliğinin Fourier dönüşümü ile gravite verilerinin Fourier dönüşümü arasındaki bağıntıya dayanır. Bu bağıntı, jeolojik yapının bir ara yüzey boyunca yoğunluk farkı ve belirlenen ortalama bir başlangıç derinliğinden yineleme yoluyla çözüm oluşturur [22],[23]. Bağıntı;

$$F[h(x)] = -\frac{F[g(x)]e^{-kz_o}}{2\pi G\Delta\rho} - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{k^{n-1}}{n!} F[h^n(x)] \quad (7)$$

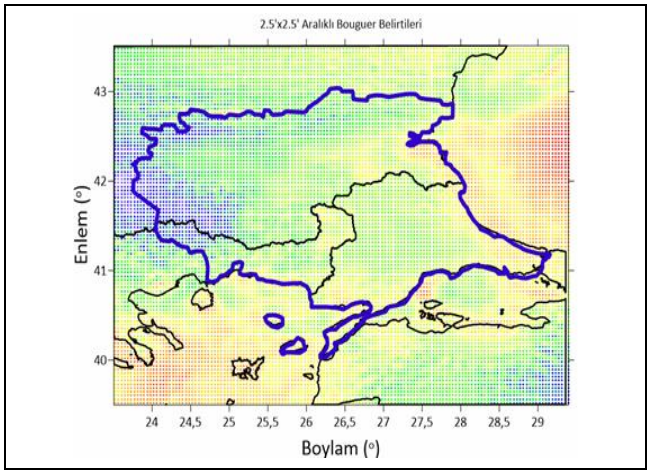
şeklindedir. Burada, $F[g(x)]$ gravite değerlerinin Fourier dönüşümü, $h(x)$ her ölçü noktası altındaki ara yüzeye olan derinlik, z_o başlangıç ortalama derinliği, k dalga sayısı, G yer çekimi sabiti ve $\Delta\rho$ arayüzey boyunca yoğunluk farklılığı. Gómez-Ortiz ve Agarwal tarafından bu amaçla geliştirilen 3DINVER.m adlı MATLAB programında [36], başlangıç ara yüzey derinliği deneysel (ampirik) bağıntılardan elde edilen ortalama ile $z_o = 30\,km$ ve Yegorova ve diğ. [10] Orta Balkanların üst manto yoğunluk farklılıkları çalışması esas alınarak alınarak yoğunluk farkı ortalama $\Delta\rho = 0.4\,gr/cm^3$ alınarak çalıştırılmış ve bir Moho derinlik modeli elde edilmiştir.

2.5 Güç spektrumu yöntemi

Uzaklık ortamından dalga sayısı ortamına geçiş sağlayan Fourier dönüşümü, bir anomalinin düşük dalga sayısı bileşenlerinin daha derin kaynakları göstermesi ilkesine dayanarak kaynak derinliğinin tahmini için kullanılabilir [37]-[41].

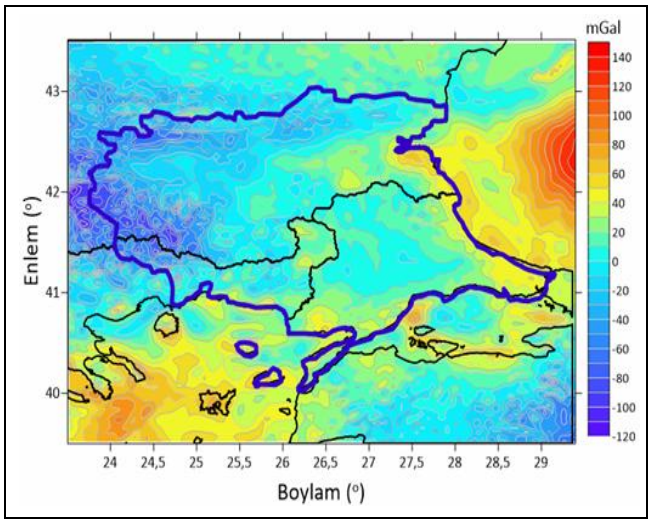
3 Bulgular

BGI'den indirilerek üretilen enlem ve boylamda 2.5′ (~2.6 km) grid aralıklarında örneklenmiş veri noktalarının dağılımı (Şekil 4), çalışmanın amacına uygun veri yoğunluğunu sağlamaktadır. Bouguer anomalisi için üretilen eş gravite çizim haritası verileri -120 mGal 'den 140 mGal aralığında değişmektedir (Şekil 5).



Şekil 4. EGM2008 örneklenmiş Bouguer anomalisi. Her nokta bir veriyi tanımlamaktadır.

Figure 4. Sampled Bouguer anomalies from EGM2008. Each point represents a data value.

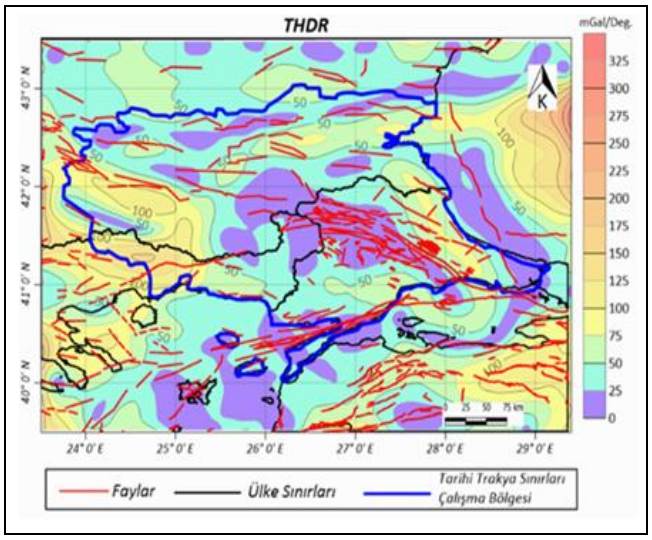


Şekil 5. Bölgenin Bouguer anomali haritası. Eş gravite aralığı 10 mGal.

Figure 5. Bouguer anomaly map of the region. Contour interval is 10 mGal.

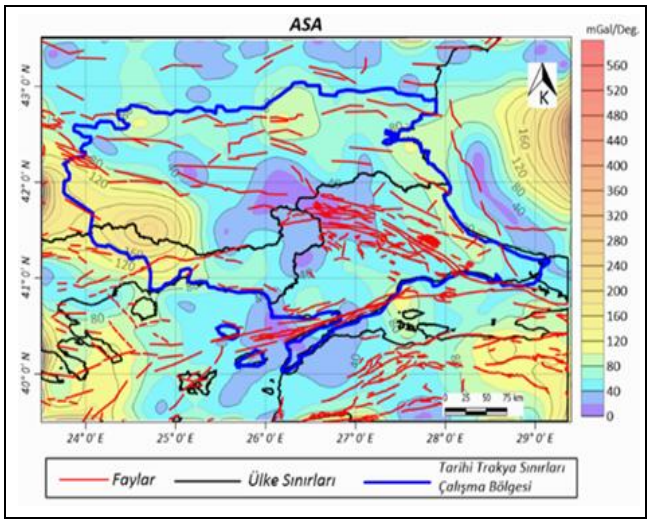
Bouguer anomalileri Rodop dağları üzerinde en düşük değerleri, Balkan dağları ve Uludağ çevresinde eksi (negatif) değerleri, Ege Denizi içlerinde 60 mGal ve üzeri ve Batı Karadeniz içlerinde de en yüksek değerleri aldığı görülmektedir. Diğer bölgelerde ise Bouguer anomali değerleri genel olarak -30 mGal ile 60 mGal arasında değişmektedir. Anomali kaynakları üzerinde en büyük değerleri üretme eğiliminde olan THDR (Eşitlik 1), gravite anomalisinin yatay bileşenlerinin türevlerinin bileşke büyüklüğünü hesaplar ve jeolojik sınırları veya yoğunluk farklarını daha belirgin bir şekilde görülmesine yardımcı olur.

Yer altındaki yapıların konumunun belirlenmesinde etkili bir araç olan ASA (Eşitlik 2), yatay ve düşey türevlerin büyüklüklerinin bir vektör toplamıdır ve en büyük değerleri belirteçtir. Bu iki süzgeç veriye uygulanmış ve bölgedeki kırıklarla birlikte değerlendirilmiştir (Şekil 6, 7).



Şekil 6. Toplam yatay türev (THDR) haritası. Eş türev aralığı 25 mGal/Deg.

Figure 6. Total Horizontal Derivative (THDR) map. Contour interval is 25 mGal/Deg.

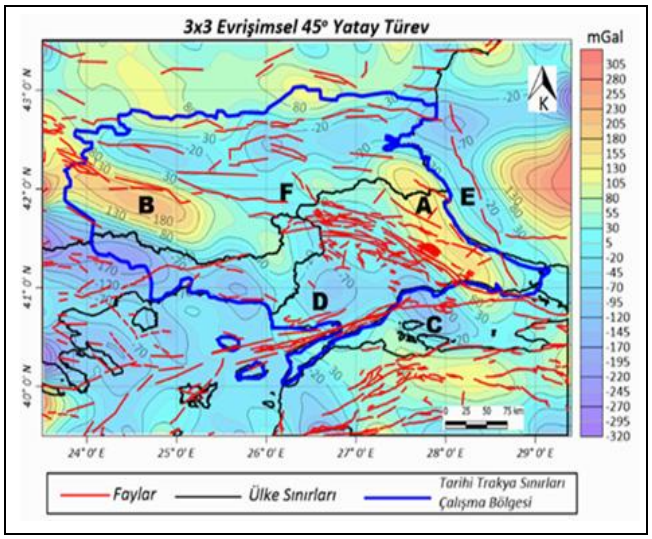


Şekil 7. Analitik sinyal büyüklüğü (ASA) haritası. Eş türev aralığı 20 mGal/Deg.

Figure 7. Analytical Signal Amplitude (ASA) map. Contour interval is 20 mGal/Deg.

Çalışma bölgesi olan Trakya Bölgesi'nin orta kesiminde kuzeybatı-güneydoğu yönleri boyunca yaklaşık olarak THDR de 20 mGal/Deg., ASA da yaklaşık 40mGal/Deg. değerler gözlenmektedir. Bu coğrafi olarak, bölgenin kuzeybatısından Meriç Vadisi boyunca başlayan ve Ergene Havzası ile güneydoğuda Marmara Denizi'ne kadar devam eden bir anomalidir. Her haritanın da kendi veri ölçeklerinde, Rodop ve Istranca masifleri, Ganos ve Balkan dağları anomali haritasında kendini göstermektedir. Ayrıca, bölgenin doğu sınırı Karadeniz'in kıyıya yakın kesimleri ile güney sınırı Ege Denizi'nin kuzey kesimlerinde de benzer düşük anomali değerleri gözlenmektedir. THDR ve ASA anomali haritalarına oturtulan bölge içindeki kırık izlerine bakıldığında; kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda anomali değerlerinin sırasıyla 20 ile 40 mGal/Deg. aralığındaki alanları takip ettiği, bölge bir bütün olarak düşünüldüğünde, birbirini tamamlayan veya devamı olan bir yapı sunduğu görülmektedir. Türkiye siyasi sınırları içerisinde yer alan Doğu Trakya bölgesi dışında kalan kuzey, doğu ve güney kesimlerde de genel olarak aynı şekilde kırık izlerinin THDR ve ASA haritalarının düşük değerli kısımlarında yoğunlaştığı söylenebilir.

Çalışma bölgesinin içinde kalan kırıkların doğrultuları yaklaşık -45° azimut açısı ile güneydoğu-kuzeybatı doğrultulu olduğundan, anomalileri görünür kılması bakımından bunlara dik doğrultuda 3x3 boyutlu evrişimsel 45° yatay türev süzgeci veriye uygulanmıştır. Bu işlem diferansiyel anlamda türev olmayıp, çıktı gravite değerleri verinin belirli giriş değerlerinin süzgeç elemanlarının doğrusal birleşimi ile elde edilen değerler olan basit aritmetik çarpma ve toplama işlemidir. Eğik türev süzgeçleri, belirli açılarda yoğunluk farklarının olduğu yerlerin, anomali kaynaklarının geometrik yapıların ve belirli yönlere duyarlı olan jeolojik yapıların sınırlarını iyileştirmede kullanılır. Yöntem veriye uygulanmış ve bölge sınırları ve kırık izleri ile görselleştirilmiştir (Şekil 8). Harita incelendiğinde büyük harflerle işaretli jeolojik unsurların sınırları daha belirgin gözlenmektedir. Bunlar; Istranca masifi (A), Rodop masifi (B), Ganos çukuru (C), Kadıköy çukuru (D), Burgaz havzası (E) ve alanı yaklaşık olarak güneydoğu-kuzeybatı doğrultusuna boydan boya kesen Trakya kırık kesimi (fault zone) (F) şeklinde sıralanabilir.



Şekil 8. 3x3 boyutlu evrişimsel 45 derece yatay türev süzgeci sonucu. Eş gravite aralığı 25 mGal. Istranca masifi. (A): Rodop masifi. (B): Ganos çukuru. (C): Kadıköy çukuru. (D): Burgaz havzası (E) ve alanı yaklaşık olarak güneydoğu-kuzeybatı doğrultusuna boydan boya kesen Trakya kırık kesimi (fault zone). (F): ile belirtilmiştir.

Figure 8. Result of the 3x3 convolutional 45-degree horizontal derivative filter. Contour interval is 25 mGal. The area is defined by the Istranca massif. (A): The Rhodope massif. (B): The Ganos depression. (C): The Kadıköy depression. (D): The Burgaz basin. (E): and the Thracian fault zone. (F): Which cuts across the area approximately in a southeast-northwest direction.

Şekil 6, 7, ve 8 ile sunulan haritalar derinlik bilgisi içermeyip hem yanal süreksizliklerin hem de sürekliliğin olduğu kesimleri belirgin hale getiren işleç örnekleridir. Yorumların anlamlı olması için derinlik bağımlı değişkenlerin elde edilmesi gerekir. Bu amaçla kabuk ölçeğinde derinlik incelemesi yapılmıştır.

Kabuk kalınlığı veya daha kapsamlı tanımla Moho topografyası çalışmasında öncelikle deneysel bağıntılarla elde edilen derinlikler hesaplanmıştır. Bu amaçla Demenitskaya, Woollard ve Woollard-Strange bağıntıları veriye uygulanmış, Tablo 1'deki sonuçlar elde edilmiştir [19]-[21].

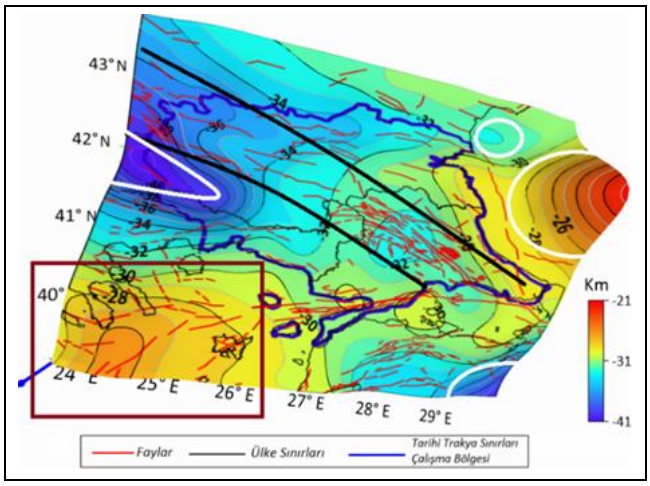
Bu üç bağıntıdan her bir Bouguer verisine karşılık gelen derinlik değerlerinin ortalaması alınarak ortalama derinlik haritası oluşturulmuş, üç boyutlu Moho topografyası görselleştirilerek kırıklarla birlikte değerlendirilmiştir (Şekil 9).

Parker-Oldenburg algoritmasının kullanıldığı Gómez-Ortiz ve Agarwal tarafından geliştirilen 3DINVER.m adlı MATLAB programı için bir takım ön işlem adımları gerekmiştir [36]. Program, karesel bölgeyi tanımlayan verilerde çalışmaktadır. Bir başka deyişle uydu verileri ile çalıştığımız için algoritmanın uygulanacağı veri enlemde ve boylamda eşit uzunluklarda, enlemde ve boylamda eşit grid aralıklarında, veri sayısı da enlemde ve boylamda 2'nin kuvvetine eşit bir sayıda olmalıdır. Diğer bir konu ise, verinin sınırlarındaki süreksizlikler nedeniyle Fourier dönüşümü kıyı etkilerini gidermek için veri saha dışına tercihen %10 taşırılmıştır. Bu amaçla, çalışma alanında oluşturulan karesel bölgeler üzerinden derinlikler ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların birleştirilip yeniden gridlenmesiyle Moho topografyası haritalandırılmış ve bölgedeki kırık sistemleriyle birlikte görselleştirilmiştir (Şekil 10).

Tablo 1. Deneysel bağıntılardan elde edilen derinlikler.

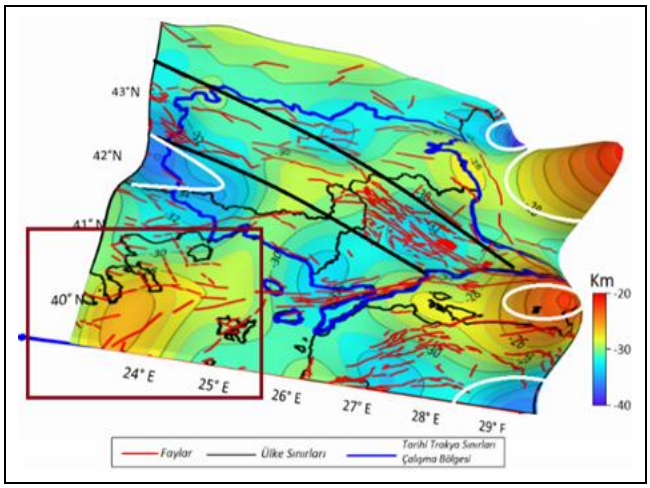
Table 1. Depths obtained from empirical relationships.

Bağıntı	Min. (Km)	Max. (Km)	Ort. (Km)
Woollard (H_w)	18	47	32
Demenitskaya (H_D)	21	40	31
Woollard-Strange (H_{ws})	19	43	31
Ortalama Derinlikler (H_{ORT})	19	43	31



Şekil 9. Deneysel bağıntılardan elde dilen Moho topografyası. Eş derinlik 1 km, Siyah çizgi Trakya fayların yoğunlaştığı koridoru ve beyaz çizgiler kabuğun belirgin olarak incelip kalınlaştığı kesimleri ve kahve rengi dikdörtgen Grigoriadis ve diğ. [5] tarfından yapılan çalışma ile bağlantıyı tanımlamaktadır.

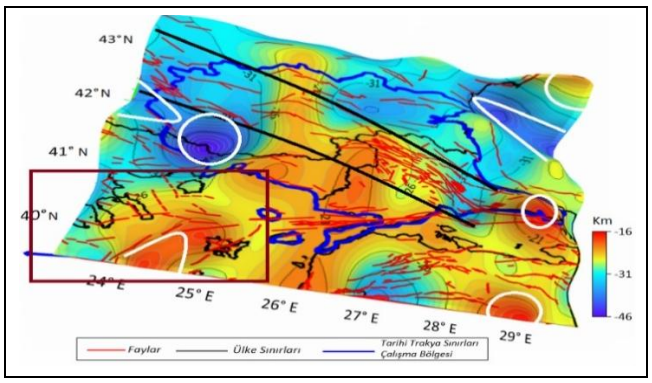
Figure 9. Moho topography derived from empirical relationships. Contour interval is 1 km. The black line represents the corridor where the Thracian faults are concentrated, the white lines represent the sections where the crust is distinctly thinned and thickened, and the brown rectangle represents the connection with the study by Grigoriadis et al. [5].



Şekil 10. Parker-Oldenburg algoritması ile elde edilen Moho topografyası Eş derinlik aralığı 1 km, siyah ve beyaz çizgiler ile kahve rengi dikdörtgen için Şekil 9'a bakınız.

Figure 10. Moho topography derived using the Parker-Oldenburg algorithm. Contour interval is 1 km. Refer to Figure 9 for the black and white lines and the brown rectangle.

Güç spektrumu yöntemi için, çalışma bölgesinde 117 derinlik noktası belirlenmiş, bu noktaları merkeze alan ve birbirlerinin üzerlerine 0.5° örtüşen 1° x1° karesel veri setleri oluşturularak yöntem uygulanmıştır. Yöntem sonucu 16 km'den 45 km ye değişen derinlik değerleri bulunmuştur. Çalışma bölgesinin derinlik haritası oluşturulmuş ve Moho topografyası kırıklarla birlikte görselleştirilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Güç spektrumu ile elde dilen Moho topografyası. Eş derinlik aralığı 1 km, siyah ve beyaz çizgiler ile kahverengi dörtgen için Şekil 9'a bakınız.

Figure 11. Moho topography derived from the power spectrum. Contour interval is 1 km. Refer to Figure 9 for the white lines and the brown rectangle.

Rölyef derinlik haritaları (Şekil 9, 10, 11) incelendiğinde; deneysel bağıntılardan elde edilen harita (Şekil 9) Şekil 5'te sunulan Bouguer anomali haritası benzer bir görünüm sunmaktadır. Moho topografyasına göre kırık izleri ortalama 30 km ve daha kalın bölgelerde yoğunlaşmıştır. Kırık izlerinin Trakya bölgesinin havzasını ortalayarak, siyah çizgilerle belirtilen koridor boyunca kuzeybatı yönünde, Meriç vadisine doğru uzandığı görülmektedir. Kırık izlerinin beyaz çizgilerle belirtildiği bölgeleri derinliğin genele oranla daha derin veya daha sığ olduğu kestirilen bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Kahverengi ile belirtilen bölge, Ege Denizi'nin kuzeyi, Grigoriadis ve diğ. [5] tarafından yapılan çalışmaya değinilerek, güney kesimlere doğru daha ince bir kabuk yapısı sunduğu, kıyılarda yaklaşık 30 km olduğu, anakaraya doğru artan bir kalınlık sunduğu da onanmaktadır. Ayrıca, kırık doğrultularının Ege Denizi içlerine doğru karasız bir düzen sunduğu söylenebilir.

Parker-Oldenburg [22],[23] yönteminden elde edilen haritada (Şekil 10) derinlikler 20 km'den 40 km'ye değişmektedir. Kırık izlerin ortalama 30 km ve daha kalın bölgelerde yoğunlaştığı, Trakya bölgesini ortalayarak, siyah çizgilerle belirtilen koridor boyunca kuzey batı yönünde, Meriç vadisine doğru uzandığı görülmektedir. Kırık izleri beyaz çizgilerle belirtilen bölgelerde, derinliğin genele oranla daha derin veya daha sığ olduğu tahmin edilen bölgelerden geçtiği gözlenmektedir. Kahverengi ile belirtilen bölgenin Ege Denizi'nin kuzeyi ve Grigoriadis ve diğ. [5] çalışmasında değinilen, güney kesimlere doğru daha ince bir kabuk yapısı sunduğu, kıyılarda yaklaşık 30 km olduğu, anakaraya doğru artan bir kalınlık gösterdiği de onanmaktadır. Ayrıca, kırık doğrultularının Ege Denizi içlerine doğru kararsız bir düzen sunduğu söylenebilir. Algoritmanın ürettiği sonuçlar, Yegorova ve diğ. [10] tarafından elde edilen Moho derinliklerinin yaklaşık olarak Balkan Dağları altında 33 km, Rodop Dağları altında 40 km, Meriç vadisi çevresinde ise 36 km olarak önerildiği çalışmasına yakın, Gholamrezaie ve diğ. [7] çalışmasında Tarihi Trakya Bölgesinin güneydoğu sınırlarını oluşturan Marmara Denizi'nin Trakya kıyılarında kabuk kalınlığının ortalama 28.5 km, Çanakkale Boğazı'nda ise yaklaşık 31 km yönündeki sonuçları ile hemen hemen benzerdir.

Genel olarak, Güç spektrumu yönteminden elde edilen sonuçların (Şekil 11), yine spektral bir yöntem olan Parker-Oldenburg [22],[23] yöntemindeki sonuçlara benzer sonuçlar ürettiğini söyleyebiliriz. Üç yöntem birlikte değerlendirildiğinde, sonuçların birbirlerini destekler nitelikte olduğunu söylemek olasıdır. Parker-Oldenburg yöntemi [22], [23] ve Güç Spektrumu yöntemi ile elde edilen derinliklerden oluşan Moho topografyası parçalanmış bir kabuk yapısı sunarken, deneysel bağıntılarla elde dilen ortalama derinlik Moho topografyası ise iki belirgin yapı içerir.

Şekil 8'de tanımlanan yapısal unsurların (A-F) derinlik modellerinde konumları ele alındığında Istranca masifi (A); üç kabuk modelinde de izlenebilmektedir. Rodop Dağları'nın 31 km altına uzanan bir kök elde edilmiştir. Anılan kök deneysel bağıntılarda ve Parker-Oldenburg algoritması [22],[23] sonuçlarında karasal sınırlar içinde kalırken, güç spektrumunda Karadeniz'e uzanan bir yapıyı tanımlamaktadır Rodop Masifi (B); her üç kabuk modelinde de belirgindir ve bölgedeki en derin kök ile tanımlıdır. KD-GB doğrultusunda uzanım değişkenlik göstermekte ve Romanya'ya kadar uzanmaktadır. Ganos çukuru (C), 28-30 km kabuk kalınlığı üç haritada (Şekil 9, 10, 11) da izlenmektedir. Kadıköy çukuru (D), güç spektrumunda 20-22 km kabuk kalınlığı ile sığ anomali verirken, Parker-Oldenburg yönteminde [22],[23], 30-32 km kalınlığı ile anomali vermiştir. Burgaz Havzası (F), 30 km kabuk kalınlığı ile deneysel sonuçlarda bir bütün olarak kendini gösterirken, Parker-Oldenburg yönteminde bu 28-30 km olarak değişmektedir. Güç spektrumda ise 26-33 km arasında parçalı dağılım göstermektedir. Kırıkların sürekliliği (F), üç yöntemde de çalışma bölgesi içinde kalan kırık izlerinin kendi ölçeğinde ortalama 30 km bir kabuk kalınlığını izleyerek, güneydoğu-kuzeybatı yönünde bir bütünlük içinde uzandığı izlenmektedir.

30 mGal'den -60 mGal'e değişen gravite anomalileri Trakya'nın karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ve basınçlı tektonik hareketler ile doğrultu atımlı kırıklanmaların etkisiyle şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bölgenin kuzeyinde yer alan Burgaz havzası Istranca Masifi ile yanal sınırlı olduğu için HK aramalarında iyi bir kapanlama alanı olarak düşünülebilir. Istranca Masifinin hemen önünde, havza içerisinde sıralı olarak keşfedilen gaz sahaları bunun kanıtıdır [42].

HK potansiyelinin ağırlıklı olarak Ergene Formasyonu kumtaşları olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Osmancık, Mezardere, Ceylan, Soğucak ve Hamitabat formasyonları HK içeren kaya özellikleri taşımaktadır ve uygun kapanımların oluştuğu yerlerde HK bulma potansiyeli yüksektir [43]. Anılan birimler Şekil 8'de D ile tanımlanan Kadıköy çukuruna da ev sahipliği yapan Ergene formasyonun sınırları içinde kalmaktadır. 30 km derinliğe inen bir kabuk topografyası, formasyonları içeren havzaya altlık oluşturmaktadır. THDR haritası (Şekil 6) havzanın sınırlarını göstermektedir, Trakya havzası Bulgaristan içinde Pazarcık'a kadar uzanmaktadır.

Georgiev, Batı Karadeniz havzasında önemli HK içeren birimleri araştıran çalışmasında, Doğu Varna ve Burgaz havzalarına dikkat çekmiştir. Çalışma alanlarının örtüştüğü Burgaz havzası, ASA haritasında (Şekil 7) en düşük gravite değeri ile tanımlıdır [44]. Çalışma alanının sınırında olmasına karşın Doğu Varna çukurunda da benzer anomali izlenebilmektedir, Maden ve Doğu Karadeniz'in genelini kapsayan çalışmalarında Burgaz

havzasına dikkat çekmişlerdir [42]. Denizel alandaki en küçük ASA anomalileri dikkate alındığında Şarköy ve Saroz Körfezi de benzer bir anomali sunmaktadır (Şekil 7). Saroz körfezindeki anomali Semadirek petrol sızıntı kümesinin kaynağı olarak düşünülebilir [45]. Bu anlamda değerlendirilmesi yerinde olacaktır. Bu çalışma, benzeri örneklerinde olduğu gibi (ör. [46], [47]) derinlik bilgisinden çok yanal değişimleri dikkate alan bir çalışmadır. Gravite yönteminin doğası gereği derinlik bilgisi seçilen parametrelere göre değişkenlik gösterecektir.

Diğer taraftan Tarihsel Trakya Bölgesi'nin kabuk yapısının EGM08 uydu gravite verileri kullanılarak Parker-Oldenburg, güç spektrumu ve deneysel bağıntılarla, çalışılan bölge ölçeğinde bölgenin Moho topografyası hakkında yüksek çözünürlüklü bir görünüm sunmuştur. Kabuk kalınlıklarının 16-45 km arasında değiştiği, ortalama 30 km civarında değerlerin kırık sistemleri ile uyumlu şekilde konumlandığı gösterilmiştir. Bu graviteye dayalı bulgular, bölgeye dair başka jeofizik çalışmalarla anlamlı biçimde örtüşmektedir.

Jenkins ve diğ. tarafından yayımlanan ve Marmara Bölgesi'nin tamamını kapsayan çok istasyonlu RF-CCP (Receiver Function-Common Conversion Point - Alıcı Fonksiyonu - Ortak Dönüştürme Noktası) analizine dayalı çalışmada, Trakya'nın batı kesiminde, özellikle Tekirdağ Havzası altında Moho derinliğinin 26 km'ye kadar inceldiği, doğuya doğru ise İstanbul Zonu'nda 41 km'ye kadar kalınlaştığı belirtilmiştir [48]. Bu değerler, gravite verilerinden Parker-Oldenburg yöntemiyle elde edilen 20-40 km aralığındaki derinliklerle yüksek ölçüde örtüşmektedir.

Bayrak ve diğ. tarafından Trakya Havzası boyunca yürütülen manyetotellurik (MT) çalışmada, tortul örtünün yaklaşık 8-9 km derinliğe kadar uzandığı ve bunun altında iletken alt kabuk zonunun gözlendiği bildirilmiştir [49]. MT profiline göre, kabuk kalınlığı kuzeyde yaklaşık 45 km iken, güneyde yaklaşık 17 km'ye kadar azalmaktadır.

Benzer şekilde, bu çalışmada güç spektrumu yöntemiyle elde edilen 16-45 km kabuk kalınlığı aralığı, Bayrak ve diğ.'nin MT bulgularını destekler niteliktedir. Özellikle Burgaz Havzası ve Meriç Vadisi çevresinde gözlenen kabuk kalınlıkları, MT verilerindeki yüksek dirençli masif zonlar ile benzer dağılım göstermektedir.

Poyraz tarafından KOERI istasyonları ile yapılan RF çalışması, Trakya Havzası genelinde kabuk kalınlıklarının 26-33 km arasında değiştiğini ve ortalama yaklaşık olarak 30 km olarak ölçüldüğünü bildirmektedir [50]. Bu sismik bulgular, gravite verilerine uygulanan Demenitskaya, Woollard ve Woollard-Strange bağıntıları ile elde edilen ortalama 31 km'lik değerle son derece tutarlıdır. Ayrıca, RF analizinde ortaya çıkan Vp/Vs değişimleri de bu çalışmada kırık izlerinin kabuk kalınlığıyla ilişkili olabileceği yönündeki yorumu güçlendirmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada gravite verileri ile modellenen kabuk kalınlıkları, farklı disiplinlerde yürütülmüş sismik ve elektromanyetik yöntemlerle elde edilen sonuçlarla büyük ölçüde örtüşmekte özellikle Trakya'nın batı kesimindeki kabuksal incelme ve doğudaki kalınlaşma eğilimlerini ortak bir jeodinamik bağlamda doğrulamaktadır. Kabuk kalınlığı, yalnızca yerbilimsel yapıların belirlenmesinde değil, aynı zamanda hidrokarbon aramalarında da yönlendirici bir parametre olarak değerlidir. Bu yönüyle, çalışma bölgesinde HK potansiyeli taşıyan havzaların (örneğin Ganos, Kadıköy, Burgaz) yerleşimi ve jeolojik devamlılığı hem yüzey hem de derin yapı analiziyle daha bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

4 Sonuçlar

Trakya bölgesi bir bütün olarak ele alınmış ve kabuk ölçeğinde derinlikler ve yapısal unsurlar incelenmiştir. Gravite verilerine uygulanan deneysel bağıntılar karşılaştırmalı olarak kullanılmış ve ortalama kabuk kalınlığı için modeller önerilmiştir.

Bulgularımız, Trakya kırık kesiminin Pazarcık'a kadar uzandığını, Istranca Masifi ve Burgaz Havzası'nın birleşimiyle ortaya çıkan geometrinin hidrokarbon (HK) aramaları için hedef olabilecek yapılara karşılık geldiğini göstermektedir. Ganos ve Kadıköy çukurluklarının benzerlikleri ve derinliği, ülkemiz sınırları içinde petrol ve doğal gaz aramaları için gerekli yeterli alüvyon kalınlığını içeren havzaların varlığını ortaya koymaktadır.

Bulguların ekonomik değerinin tam olarak ortaya konması için alanda yapılacak derinlik duyarlı jeofizik yöntemlere gerek vardır.

5 Conclusions

The Thrace region has been considered as a whole, and crustal-scale depths and structural elements have been examined. Experimental relations applied to gravity data have been used in a comparative manner, and models have been proposed for average crustal thickness.

Our findings indicate that the Thrace fault zone extends as far as Pazarcık, the geometry presented by the combination of the Istranca Massif and Burgas Basin points to structures that could serve as targets for HC (hydrocarbon) exploration, and the twin behavior and depth of the Ganos and Kadıköy deposits suggest the presence of basins within our country's borders containing sufficient alluvium thickness necessary for petroleum and natural gas exploration. To fully assess the economic value of these findings, depth-sensitive geophysical methods are required in the field.

6 Teşekkür

Makalenin yazımında destek veren Prof. Dr. Coşkun Sarı ve içeriğin gelişmesinde katkı koyan hakemlere teşekkür ederiz.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Mehmet Özceylan literatür taraması, verilerin temini, yöntemlerin uygulanması, sonuçların eldesi ve sonuçları görselleştiren şekil ve tabloların oluşturulması başlıklarında, Erdinç Uslan fikrin oluşması, Emin U. Ulugergerli fikrin oluşması, tasarımın yapılması, elde edilen sonuçların incelenmesi ve değerlendirilmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

9 Kaynaklar

[1] Turgut S. Türkarslan M. Perinçek D. *Evaluation of the Thrace sedimentary basin and its hydrocarbon prospectivity.* Editor: Spencer, MA Generation, Accumulation, and Production of Europe's Hydrocarbons, Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists, 1, 415-437, 1991.

[2] Siyako M, Huvaz O. "Eocene stratigraphic evolution of the Thrace Basin, Turkey". *Sedimentary Geology*, 198(1-2), 75-91, 2007.
[3] Perinçek D, Ataş N, Karatut Ş, Erensoy E. "Trakya Havzasında, danişmen formasyonu içindeki linyit katmanlarinin potansiyelini kontrol eden jeolojik faktörler". *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 150, 79-110, 2015.
[4] Okay AI, Özcan E, Siyako M, Bürkan KA, Kylander-Clark ARC, Biggood MD, Shaw D, Simmons MD. "Thrace basin-An Oligocene clastic basin formed during the exhumation of the Rhodope Complex". *Tectonics*, 42(10), e2023TC007766, 2023.
[5] Grigoriadis VN, Tziavos IN, Tsokas GN, Stampolidis A. "Gravity data inversion for Moho depth modeling in the Hellenic area". *Pure Applied Geophysics,* 173(4), 1223-1241, 2016.
[6] Tirel C, Gueydan F, Tiberi C, Brun JP. "Aegean crustal thickness inferred from gravity inversion. Geodynamical implications". *Earth and Planetary Science Letters,* 228(3-4), 267-280, 2004.
[7] Gholamrezaie E, Scheck-Wenderoth M, Bott J, Heidbach O, Strecker MR. "3-D crustal density model of the Sea of Marmara". *Solid Earth*, 10, 785-807, 2019.
[8] Schmidt S, Plonka C, Götze HJ, Lahmeyer B. "Hybrid modelling of gravity, gravity gradients and magnetic fields". *Geophysical Prospecting*, 59, 1046-1051, 2011.
[9] Starostenko V, Buryanov V, Makarenko I, Rusakov O, Stephenson R, Nikishin A, Georgiev G, Gerasimov M, Dimitriu R, Legostaeva O, Pchelarov V, Sava C. "Topography of the crust-mantle boundary beneath the Black Sea Basin". *Tectonophysics*, 381(1-4), 211 -233, 2004.
[10] Yegorova TP, Kozlenko VG, Starostenko VI, Shen EL, Botev EA. "Density inhomogeneities of the upper mantle of the Central Balkans". *Geophysical Journal International*, 132, 283-294, 1998.
[11] Özceylan M, Ulugergerli EU. "Gravite verileri ile trakya'nin tektonik izleri". *Trakya Üniversitesi I. Ulusal Edirne Sempozyumu*, Edirne, Türkiye, 2-4 Mayıs 2024.
[12] Özceylan M, Ulugergerli EU. "Tarihi Trakya Bölgesinde kabuk kalınlığının araştırılması". *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası 21. Jeofizik Kongre ve Sergisi,* Ankara, Türkiye, 16-18 Ekim 2024.
[13] Görür N, Okay AI. "A fore-arc origin for the Thrace Basin, NW Turkey". *Geologische Rundschau,* 85, 662-668, 1996.
[14] Pavlides S, Chatzipetros A, Valkaniotis S. "Active faults of greece and surroundings". *33rd International Geological Congress*, Oslo, Norway, 6th-14th August 2008.
[15] Emre Ö. Duman TY, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, Şaroğlu F. "Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara, Türkiye, 2013.
[16] Ranguelov B. "Earthquake "doublets"-case studies for Kresna-Kroupnik (BulgariaM7.8) and Gaziantep-Kahramanmaraş (Turkey-M7.8)". *Earthquake,* 2(1), 1-15, 2024.
[17] Pavlis NK, Holmes SA, Kenyon SC, Facto, JK. "The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)". *Journal of Geophysical Research, 117*, B04406, 2012.
[18] Fullea J, Fernandez M, Zeyen H. "FA2BOUG-A FORTRAN 90 code to compute Bouguer gravity anomalies from gridded free-air anomalies: Application to the Atlantic-Mediterranean transition zone". *Computers & Geosciences*, 34(12), 1665-1681, 2008.
[19] Demenitskaya RM. "Planetary structure and their reflection in Bouguer anomalies". *Geology Bulletin*, 8, 52-62, 1958.
[20] Woolard GP. "Regional variation in gravity, in the Earth's crust and upper Mantle". *Journal of Geophysics*, 13, 320, 1959.
[21] Woolard GP, Strange WE. "Gravity anomalies and Crust of the Earth in the Pacific Basin: The crust of the Pacific basin Geophysical monograph". *Journal of Geophysics*, 67, 6-12, 1962.
[22] Parker RL. "The rapid calculation of potential anomalies", *Geophysical Journal International.* 31(4), 447-455, 1973.
[23] Oldenburg DW. "The inversion and interpretation of gravity anomalies". *Geophysics,* 39(4), 526-536, 1974.
[24] Yurtoğlu N. "Cumhuriyet Döneminde Türkiye'de Petrol Arama Politikaları (1923-1950)". Gazi *Akademik Bakış*, 10(20), 145-168, 2017.
[25] Korkmaz C, Ulugergerli EU. "Trakya havzası ve çevresinde petrol ve doğal gaz aramaları: 1892-1958 aralığında tarihsel gelişim", MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 39,49-57,2025.
[26] Coskun B, "Influence of the Istranca-Rhodope Massifs and strands of the North Anatolian Fault on the oil potential of Thrace basin, NW Turkey". *Journal of Petroleum Science and Engineering,* 27, 1-25, 2000.
[27] Kasar S, Bürkan K, Siyako M, Demir O. "Tekirdağ- Şarköy-Keşan-Enez bölgesinin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları". Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arama Grubu Rapor No: 1771, 71, Ankara, Türkiye, 1983.
[28] Gürgey K. "Estimation of oil in-place resources in the lower Oligocene Mezardere Shale, Thrace Basin". *Turkey. Journal of Petroleum Science and Engineering*, 133, 543-565, 2015.
[29] Zhang HL, Liu T, Yang YS. "Calculation of gravity and magnetic source boundaries based on anisotropy normalized variance", *Chinese Journal of Geophysics*, 54(4), 560-567, 2011.
[30] Cordell L, Grauch VJS. *Mapping Basement Magnetization Zones from Aeromagnetic Data in the San Juan Basin*. Editor: Hinze WJ. The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomaly Maps (pp. 181-197), *Society of Exploration* Geophysicists, 1985.
[31] Gabor D. "Theory of communication", *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, Part III, Radio Communication Engineers, 93, 429-441, 1946.
[32] 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.
[33] Roest WR, Verhoef J, Pilkington M. "Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal". *Geophysics* 57(1), 116-125, 1992.
[34] Seequent, "3x3 Convolution". https://help.seequent.com/Oasismontaj/2023.2/Content/gxhelp/g/gridfilt_gx.htm (05.11.2024).

[35] Rivero L, Pinto V, Casas A. "Moho depth structure of the eastern part of the Pyrenean belt derived from gravity data". *Journal of Geodynamics* 33(3), 315-332, 2002.
[36] Gomez-Ortiz D, Agarwal BNP. "3DINVER.M: A MATLAB program to invert the gravity anomaly over a 3-D horizontal density interface by Parker-Oldenburg's algorithm". *Computer & Geoscience*, 31(4), 513-520, 2005.
[37] Dean WC. "Frequency analysis for gravity and magnetic interpretation". *Geophysics* 23(1), 97-127, 1958.
[38] Neidell NS. "A geophysical application of spectral analysis.". *Journal of the Royal Statistical Society, Series C: Applied Statistics,* 14(1), 75-88, 1965.
[39] Gudmundsson G. "Interpretation of one-dimensional magnetic anomalies by use of Fourier Transform". *Geophysical Journal International,* 12(1), 87-97, 1966.
[40] Bhattacharyya BK. "Continuous spectrum of total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body". *Geophysics,* 31(1), 97-121, 1966.
[41] Pal PC, Khurana KK, Unnikrishna P. "Two examples of spectral approach to source depth estimation in gravity and magnetics". *Pure and Applied Geophysics*, 117, 772-783, 1979.
[42] Maden N, Doğru F. "Hydrocarbon migration and structural reservoir traps in the Western Black Sea Basin: evidence from satellite-derived gravity tensor data". *Marine Geophysical Research*, 45(2), 1-14, 2024.
[43] Demir D. "Trakya Havzası'nın Potansiyel Alan ve Sismik Veri Kullanılarak İncelenmesi ve Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, Türkiye, 2011.
[44] Georgiev G. "Geology and hydrocarbon systems in the Western Black Sea". *Turkish Journal of Earth Sciences* 21(5), 723-754. 2012.
[45] Jatiault R, Henry P, Loncke L, Sadaoui M, Sakellariou D. "Natural oil seep systems in the Aegean Sea". *Marine and Petroleum Geology*, 163, 106754, 2024.
[46] Özyalın Ş, Kaftan İ. "Gravite verilerinin sınır analizi yöntemleriyle değerlendirilmesi; Eskişehir örneği". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(6), 804-808, 2017.
[47] Yüksel FA, Aydoğan D. "Bouguer anomalilerinden üstü örtülü fayların saptanması ve İstanbul-Silivri bölgesinin yeraltı yapısının modellenmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(3), 389-393, 2001.
[48] Jenkins J, Stephenson SN, Martínez-Garzón P, Bohnhoff M, Nurlu M. "Crustal thickness variation across the Sea of Marmara region, NW Turkey: a reflection of modern and ancient tectonic processes". *Tectonics,* 39(7), e2019TC005986, 2020.
[49] Bayrak M, Gürer A, Gürer ÖF. "Electromagnetic Imaging of the Thrace Basin and Intra-Pontide Subduction Zone, Northwestern Turkey*". International Geology Review*, 46(1), 64-74. 2004.
[50] Poyraz SA. "Crustal thicknesses on Thrace Basin via receiver function". *Journal of Radiation Research and Applied Sciences,* 16(4), 100739, 2023.