Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Afyon Kocatepe University – Journal of Science and Engineering
https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid

Araştırma Makalesi / Research Article
e-ISSN: 2149-3367
DOI: https://doi.org/10.35414/akufemubid.1671235
AKÜ FEMÜBİD **25** (2025) 065802 (1458-1469)
AKU J. Sci. Eng. **25** (2025) 065802 (1458-1469)

Bakırçay ve Kırkağaç Basenlerinin Gravite Verileriyle İncelenmesi

Makale Bilgisi / Article Info
Alındı/Received: 07.04.2025
Kabul/Accepted: 18.07.2025
Yayımlandı/Published: 03.12.2025

Investigation of the Bakırçay and Kırkağaç Basins Using Gravity Data

Oya TARHAN BAL*

İstanbul Üniversitesi–Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Büyükçekmece, İstanbul, Türkiye

© 2025 The Author | Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC) International License

Öz

Türkiye'nin KB bölümünde bulunan Bakırçay ve Kırkağaç basenleri hem Kuzey Anadolu Fayı'nın doğrultu atımlı doğasından hem de Ege Genişleme Bölgesi'nin üç fazlı gerilmeli rejiminden etkilendiği için karmaşık bir tektonik sürece sahiptir. Bu çalışmada, Bouguer gravite anomalilerine sınır belirleme yöntemleri analitik uzanımlarla uygulanarak çizgisellikler jeolojik sınırlar tespit edilmiş ve düz çözüm tabanlı bir üç–boyutlu modelleme yöntemiyle basen derinlikleri yaklaşık olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda, basenleri kesen KD–GB uzanımlı birçok çizgiselliğin varlığı gözlenmiştir. Bu çizgisellikler, neotektonik dönemde normal bileşenli faylar olarak yeniden aktifleşmiş paleo–yapı sınırları olarak yorumlanmıştır ve bölge depremselliği açısından önemlidir. Soma kömür baseninin derinliği yaklaşık 1 km olarak belirlenmiştir. Bakırçay ve Kırkağaç basenlerinin derinlikleriyse, B–GB doğrultusunda uzanan fayların çevresinde yaklaşık 2 km olarak belirlenmiştir. En düşük yoğunluk karşıtlığı değerleri de bu basenlerin B–GB sınırları boyunca izlenmiştir ve bu bölgelerde yeraltı suyu potansiyelinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Gravite; Bakırçay; Kırkağaç; 3B modelleme; Sınır Belirleme*

Abstract

Bakırçay and Kırkağaç basins, located in NW Turkiye, are defined with a complex development process due to being affected both from the strike–slip nature of the North Anatolian Fault and the three–phase extensional regime of the Aegean Extensional Province. In this study, boundary analysis methods are applied on Bouguer gravity anomalies along with analytical continuation methods to reveal lineations and geological contacts, and three–dimensional modeling is applied to estimate basin depths. The results indicate several NE–SW extending lineations cutting the basins, which are interpreted to be paleo–structure boundaries, reactivated as faults with normal components which are important features for earthquake hazard assessments for the region. The depth of the Soma coal basin is determined to be 1 km and the depth extent of the Bakırçay and Kırkağaç basins is estimated to be ~2 km maximally near the W–SW boundary faults. The lowest density contrast values are observed throughout W–SW boundaries of these basins, indicating higher groundwater potential.

Keywords: *Gravity; Bakırçay; Kırkağaç; 3D modeling; Boundary Analysis*

1. Giriş

Bakırçay ve Kırkağaç basenlerini kapsayan çalışma alanı, saatin tersi yönünde dönme içeren Batı yönlü hareket vektörleri ile tanımlanan Ege–Anadolu mikro plakasının Kuzeybatı bölümünde yer almaktadır. Yaklaşık Kuzey–Güney yönlü genişleme rejimi altındaki bu bölge Ege Genişleme Bölgesi (EGB) olarak adlandırılmaktadır. Bakırçay ve Kırkağaç basenleri, EGB'nin Kuzey sınırında yer alan normal faylar etkisiyle açılmış çökel havzalardır. Bu havzalar jeotermal potansiyellerinin yanında Soma linyit havzası nedeniyle önemli bir alandır. Bölgede daha önce yayınlanmış jeofizik çalışmalar sınırlı ve genelde geniş bölgesel ölçektedir. Westerweel vd. (2020) bölgeye dair paleomanyetik analizler gerçekleştirmiştir, Çağlar (2001) tarafından yorumlanmış 2–Boyutlu manyetotellürik hatlar çalışma alanının batısından geçmekte olup bölgedeki çöküntü havzalarının derinliği hakkında bilgi sağlamıştır. Özürlan vd. (2006) çalışmasında, araştırma alanının Güneybatısında kalan bir bölgede toplanmış Düşey Elektrik Sondaj (DES) ve gravite verilerini 2–Boyutlu ters çözümlerle modellemiştir ve yaklaşık 900 m çökel derinliği hesaplamıştır. Timur ve Sarı (2021) Bergama Havzasında, çalışma alanının batısında toplanmış gravite verilerini Radyal Genlik Spektrumu yöntemini kullanarak yorumlamıştır. Uluğtekin (2022) çalışma alanının batısında bulunan geniş bir alanda 840 noktada toplanmış gravite verilerine sınır analizi ve 3–Boyutlu (3B) ters çözüm yöntemleri uygulayarak temel kayaç derinliklerini hesaplamıştır. Gravite yöntemi, mikro hassasiyetteki modern cihazların gelişmesinin de etkisiyle petrol ve madencilik endüstrilerinde, basen alanlarının araştırılmasında, jeoloji haritalarının oluşturulmasında ve

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Oya Tarhan Bal e-posta / e-mail: tarhan@iuc.edu.tr

arkeolojik çalışmalarda sıklıkla uygulanmaktadır (Nabighian vd. 2005, Oruç 2013). Çalışmada kullanılan temel yorumlama araçları olan sınır belirleme ve 3B modelleme işlemleri gravite verilerinin yorumlanmasında en çok kullanılan yöntemlerdendir.

Sınır analizleri, gravite ve manyetik verilerini 1980'lerden beri uygulanmaktadır (ör. Cordell ve Grauch 1985). Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda, Eshaghzadeh vd. (2018) sınır belirleme yöntemleri ile İran'da toplanan gravite verilerini yorumlayarak sonuçlarını 3B Euler çözümleriyle kıyaslamıştır. Melouah ve Pham (2021) Yatay Türev temelli sınır belirleme yöntemi ile Cezayir'de bulunan Oued Mya çöküntü alanı çevresindeki çizgisellikleri belirlemiştir. Liu vd. (2023), çeşitli sınır belirleme yöntemleri uygulayarak tektonik sınırların haritalanması için kullanmıştır. Oruç ve Keskinsezer (2008) sınır belirleme yöntemleri ile Biga yarımadasındaki çizgisellikleri yorumlamıştır. Aydoğan (2011), sınır belirleme yöntemleri ile Orta Anadolu'da Tuz Gölü çevresindeki çizgisellikleri belirlemiştir. Sınır belirleme analizleriyle, Oruç (2011) Orta Anadolu'da Kozaklı çevresinde toplanmış kara gravite verilerini Tilt Açısı yöntemi ile analiz etmiş, belirlediği sınırları 3B Euler çözümleriyle korele etmiştir. Özyalın vd. (2012), Batı Anadolu'daki süreksizlikleri sınır analizi yöntemleri ile değerlendirmiştir. Altınoğlu vd. (2015), Yatay Türev, Tilt Açısı ve Analitik Sinyal yöntemleri ile Denizli Baseni ve çevresindeki çizgisellikleri belirleyerek yorumlamıştır. Doğru vd. (2017), sınır belirleme yöntemlerini ve analitik uzanımları kullanarak Batı Anadolu gravite verilerini yorumlamıştır; bulgularını deprem aktivitesi ile örtüştürmüştür. Oruç ve Balkan (2021), Sisam Adası ve Kuşadası Körfezi civarı gömülü çizgisellikleri ayrık dalgacık dönüşümleriyle inceleyerek depremsellikle ilişkilerini analiz etmişlerdir. Uluğtekin vd. (2022), çalışmasında sınır analizi yöntemleri ile çizgisellikleri belirlemiştir.

Modern yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiş çalışmalarda, Pallero vd. (2017), Fransa'da bulunan Argelès–Gazost baseninde toplanmış gravite verilerini Genetik Algoritma kullanarak basen derinliklerini modellemiştir. Nguyen vd. (2020), uydu gravite verilerini kullanarak, Parker (1977) algoritması ile Doğu Vietnam Denizi Basen derinliklerini ve kabuk kalınlıklarını hesaplamıştır. Yin vd. (2024), Brezilya'da bulunan Santos ve Campos Basenlerini kapsayan bir bölge için uydu gravite verilerini sismik yansıma verileriyle sınırlandırarak 3B modellemiştir. Marotta vd. (2024), İtalya'da bulunan Ischia Kalderası üzerinde toplanmış gravite verilerini bu çalışmada da kullanılan Growth yaklaşımıyla 3B modelleyerek magmatik süreçlerle yükselen Epomeo Dağı'nın altındaki düşük yoğunluk kontrastını ve çevresindeki olası magmatik girişimlerin yarattığı yüksek yoğunluk kontrastına sahip bölgeleri belirlemiştir. Türkiye'de bulunan çökel alanlar üzerinde yapılan çalışmalarda Sarı ve Şalk (2006), Batı Anadolu'da toplanmış gravite verilerini 5km aralıklarla örnekleyerek 2B ve 3B ters çözüm teknikleriyle yorumlamıştır. Işık ve Şenel (2009) Büyük Menderes Baseni'nin derinliklerini modellemek için 3B ters çözüm tekniğini kullanmıştır. Oruç vd. (2013), Erzurum Baseni'ni sınır belirleme yöntemleriyle incelemiş ve basen derinliğini 3B ters çözüm ile modellemiştir. Uluğtekin vd. (2022) çalışmasında sınır analizi yöntemlerini uygulamanın yanısıra bölgedeki temel kaya derinliğini de ters çözümle belirlemiştir. Oruç ve Balkan (2023), Bursa Baseni ve çevresinde toplanmış gravite verilerini Occam ters çözümü ile modellemiş; üst ve alt kabuk arayüzünü Parker–Oldenburg ters çözümü ile belirlemişlerdir. Ekinci vd. (2021, 2023), Küçük Menderes, Büyük Menderes ve Gediz Basenlerini içeren bir alanda kara gravite verilerini kullanarak basen derinliklerini Global Optimizasyon yöntemlerinden olan Evrimsel Algoritmalar ile 3B modellemiştir.

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen alan, Bakırçay ve Kırkağaç basenlerini kapsayan dar bir bölgede yer almaktadır. Bu iki çöküntü alanını kapsayan bölgede toplanmış gravite ölçümleri yüksek veri yoğunluğuna sahiptir. Bu veriler, temel sınır analizi yöntemlerinden olan yatay türev, analitik sinyal ve düz çözüm temelli bir 3B modelleme yöntemi olan Growth (Camacho vd. 2011a, 2021, 2024) yaklaşımıyla yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Çalışma alanının jeolojisi ve gravite verileri

Çalışma alanı Batı Anadolu'da KG yönlü gerilme rejimi altındaki EGB'nin en kuzey kısmında yer almaktadır. Bu nedenle hem EGB'nin genişleme rejiminin hem de sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fayı'nın etkisi altında şekillenmiştir (Gürer vd. 2006, Yılmaz 2017, Sangu vd. 2019). Gerçekleştirilmiş çalışmalara göre, EGB içerisinde bulunan çökel havzalar üç fazdan oluşan bir gelişim süreci geçirmiştir. Bu süreç Geç Miyosen–Orta Pliyosen arasındaki sıkışma rejimi ile bölünmüş iki genişleme periyodu ile tanımlanmaktadır (Alçiçek vd. 2005, Koçyiğit 2005, Koçyiğit ve Deveci, 2007). Sıkışma rejimi bölgede ters ve normal faylara neden olmuş, neotektonik havzalar ise Pliyosen dönemde gelişen normal faylara bağlı gelişmiştir. Bu durum deforme olmayan neotektonik çökellerin, deforme eski çökellerin üzerine bir uyumsuzluk yüzeyiyle yerleşmesine neden olmuştur.

Çalışma alanı üç ana stratigrafik birimle tanımlanmaktadır. Bunlar sırasıyla Pre–Neojen, Neojen

Volkano–Sedimanter ve Pliyo–Kuvaterner ünitelerdir (Westerweel vd. 2020). İzmir Ankara Yitim Zonu çalışma alanının yaklaşık olarak merkezinde yer almaktadır (Şekil 1, 2). Yitim, Sakarya ve Anatolit–Torit blokları arasındaki KD–GB uzanımlı sınırı temsil etmektedir. Kretase–Eosen arasında Neo–Tetis'in kuzey uzanımı, Sakarya bloğunun altına kuzey yönlü dalım ile yitime uğramıştır, bu olayın kalıntısı olarak yorumlanan parçalanmış ve dilimlenmeye uğramış ofiyolitler yitim zonu çevresinde gözenmektedir (Gürer 2023). Sakarya Bloğu Karakaya Kompleksi olarak adlandırılan deforme Triyasik temelle karakterize edilir (Gürer 2023). Anatolit–Torit bloğu ise Mezozoik dönemde büyük bir karbonat platformu olarak ifade edilir, ancak dalım ve çarpışmalar nedeniyle yüksek oranda deforme olmuş ve metamorfizmaya uğramıştır. Bu nedenle metamorfik ve deformasyon dağılımına göre alt bölgelere ayrılmıştır (Okay vd. 2001).

Çalışma alanının batısında bulunan Bakırçay baseni, yaklaşık DB yönde ~50 km uzunlukta ve KG yönünde ~15 km genişliktedir, Doğusunda ise yaklaşık DB yönde ~18, KG yönde ~12 km genişlikte olan Kırkağaç baseni bulunmaktadır. Bakırçay baseninin batı bölümünü Güneyden sınırlayan faylar yüksek eğimlidir, Kuzeyden sınırlayan faylar ise daha alçaktır. Kırkağaç baseni, batıda yüksek eğimli Kocatepe Horstu ile basamaklı faylarla sınırlandırılmıştır (İnci vd. 2003). Bölgedeki faylar aktif olup, tarihsel ve aletsel dönemde tespit edilmiş birçok yıkıcı deprem bulunmaktadır (Sangu vd. 2020, Yerli 2022). Bölgede gerçekleştirilen paleosismolojik çalışmalar sonucunda çalışma alanındaki fayların maksimum M>6 depremlere neden olabileceği sonucuna varılmıştır (Yerli 2022).

Sangu vd. (2019) Bakırçay baseni ve çevresinin Kuvaterner' de iki sağ doğrultu atımlı En–Echelon fay segmenti arasında geliştiğini ve bu faylar arasında saat tersi yönünde dönme gerçekleştiğini belirtmiştir. Paleomanyetik çalışmalar da Soma ve çevresinin KD–GB uzanımlı iki paleo çizgisellik arasında Miyosende saat yönünde döndüğünü, geç Miyosen'den günümüze kadar ise saat tersi yönünde dönme gösterdiğini ortaya koymuştur (Westerweel vd. 2020).

Çalışma alanındaki veriler Türkiye Petrolleri tarafından sağlanmıştır. Veriler, arazi koşullarına göre düzensiz toplanmıştır ve örnekleme aralığı çalışma alanın batı bölümünde 100 m altına düşmektedir. D–B ve K–G eksenlerinde yaklaşık 60x22 km alanı kapsayan veriler, ticari nedenlerle her iki yönde 500 m örnekleme aralığıyla yeniden örneklenmiştir ve çalışma alanını toplam 5978 nokta ile ifade etmektedir. Veriler Şekil 3'te UTM (WGS–84) koordinat düzleminde gösterilmiştir. Bölgede ölçülen anomalilerin, fayların konum ve uzanımlarıyla yüksek oranda uyumlu olduğu gözlenmektedir. En büyük gravite değerleri çökel kalınlığının az olduğu, Neojen kayaçların gözlendiği alanlarda ve Miyosen volkanikleri üzerinde gözlenmektedir. En düşük gravite değerleri ise beklendiği üzere Neotektonik çökellerin bulunduğu Bakırçay ve Kırkağaç çökel havzaları içerisinde gözlenmektedir.

2.2 Toplam Yatay Türev, Analitik Sinyal, Tilt Açısı

Toplam Yatay Türev, Analitik Sinyal ve Tilt Açısı, gravite ve manyetik verilerde sınır belirleme için en çok kullanılan yöntemlerdendir (ör. Oruç ve Keskinsezer 2008, Aydoğan 2011, Özyalın vd. 2012, Altınoğlu vd. 2015, Liu vd. 2023). Her üç yöntem de türev tabanlıdır. Eşitlik (1)'e göre Toplam Yatay Türev yöntemi verilerin birbirine dik yatay iki yöndeki türevlerinin karelerinin toplamının karekökünden

$$TYT = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial y}\right)^2} \qquad (1)$$

eşitliğiyle hesaplanır (Cordell ve Grauch 1985). Burada, ölçülen veriler, d; bu verilerin birbirine dik iki yatay yöndeki türevleri $\frac{\partial d}{\partial x}$, $\frac{\partial d}{\partial y}$ ve düşey yöndeki türevi $\frac{\partial d}{\partial z}$ ile gösterilmiştir. Analitik Sinyal yine türev tabanlı bir yöntem olarak,

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

eşitliğiyle verilir (Nabighian 1972, Roest v.d. 1992). Tilt Açısı yöntemi düşey türevlerin yatay türevlere oranının ters tanjant fonksiyonu olarak,

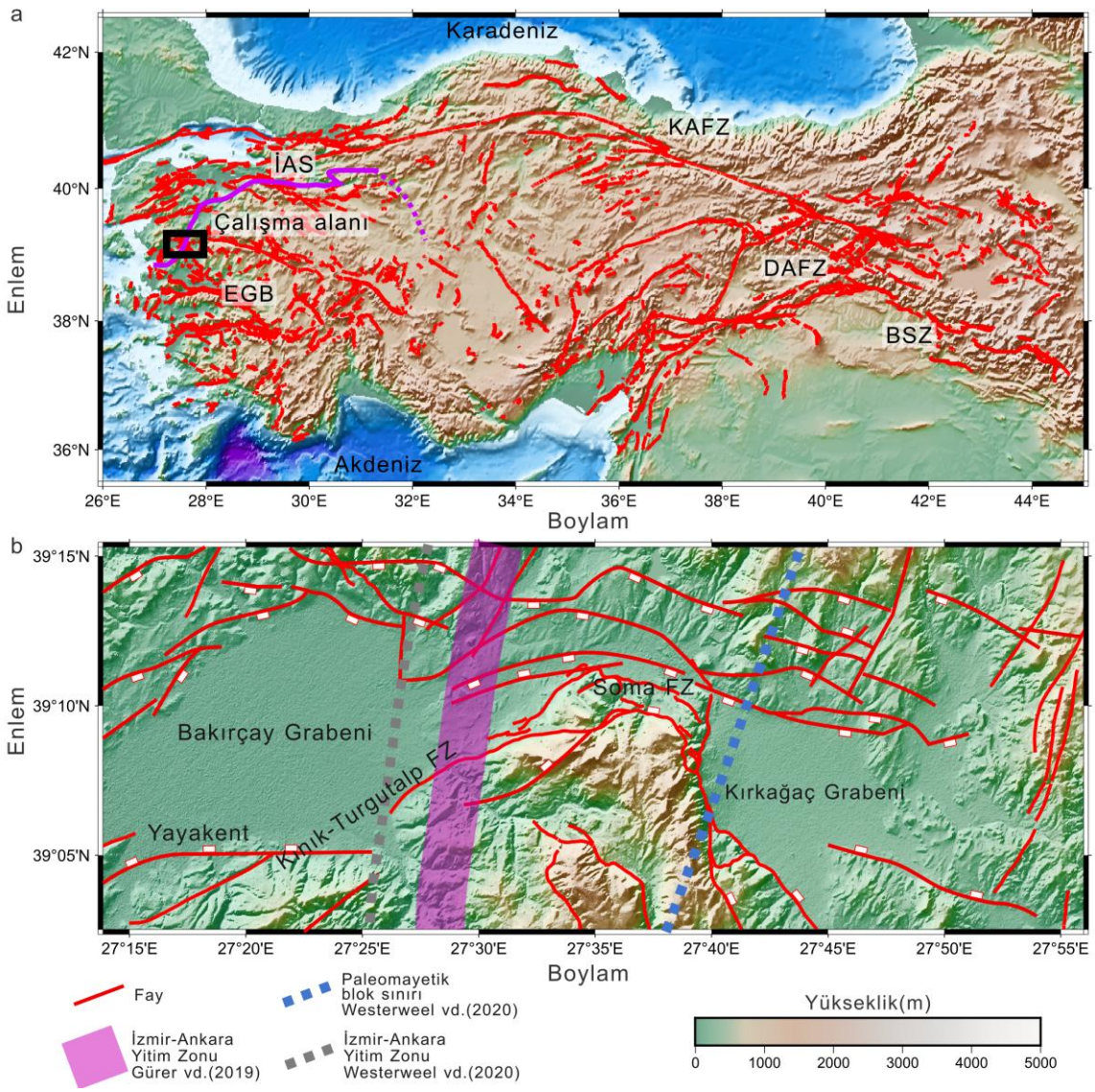
$$TA = \tan^{-1}\left[\frac{\frac{\partial d}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial y}\right)^2}}\right] \qquad (3)$$

eşitliğiyle tanımlanır (Miller ve Singh 1994). Bu eşitliklerden elde edilen Toplam Yatay Türev anomalilerinin maksimum değerleri, maksimum Analitik Sinyal anomalileri ve Tilt Açısı anomalilerinin sıfır değerleri çizgisellikleri işaret etmektedir.

2.3 Yukarı Analitik Uzanım

Analitik uzanımlar, verileri ölçümlerin gerçekleştiği gerçek yükseklikten farklı bir datuma matematiksel olarak taşımak için uygulanır. Bir noktadaki gravite potansiyeli uzaklıkla üstel olarak azaldığı için yukarı analitik uzanım derin yapılardan kaynaklı anomalileri fazla etkilemezken küçük dalga boylu anomalileri sönümlendirir ve verilerdeki gürültüyü azaltan bir filtre etkisi gösterir. 2–B Fourier dönüşümü ile Frekans ortamına aktarılmış gravite verilerinin $F(u, v, 0)$, herhangi h yüksekliğine analitik uzanım aşağıdaki eşitlikle gerçekleştirilebilir (Bhattacharyya 1967) :

$$F(x, y, h) = F(x, y, 0)\exp\left(h(x^2 + y^2)^{1/2}\right) \qquad (4)$$



Şekil 1. a) Türkiye'nin başlıca tektonik çizgisellikleri ve çalışma alanı, b) Çalışma alanının gölgeli kabartı haritası üzerinde başlıca fayların konumu. İzmir–Ankara Yitim Zonu ve Plaeomanyetik blok sınırı Gürer vd. (2019) ve Westerweel vd. (2020)' den, faylar Emre vd. (2013) ve Westerweel vd. (2020)' den çizilmiştir. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BSZ: Bitlis Yitim Zonu, EGB: Ege Genişleme Bölgesi.

2.4 3B Modelleme

3B modelleme işlemi, ölçülen verileri en iyi sağlayan yeraltı yoğunluk dağılımı modelini bulmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla en sık kullanılan yaklaşım Tikhonov (1977) düzgünleştiricili ters çözümdür (Li ve Oldenburg 1996, 1998). Düzgünleştiricili ters çözüm genelde yuvarlatıcılı (smoothing) bir düzgünleştirici kullanarak, gözlenen ve hesaplanan veriler arasındaki farkı enküçükleyen en basit modeli bulmaya çalışır. Yöntem, özellikle yanal sınırları başarılı bir şekilde belirlemekle ancak gravite verilerinin gerçek manada bir derinlik çözünürlüğü sunmamasından ötürü yapı derinliklerini genelde düşey yönde abartılmış olarak tespit edebilmektedir (Witter vd. 2016). Bu nedenle derinlik ağırlıklandırma yöntemleri sıklıkla uygulanmaktadır (Li ve Oldenburg 1996, Tarhan Bal ve Karcıoğlu 2025).

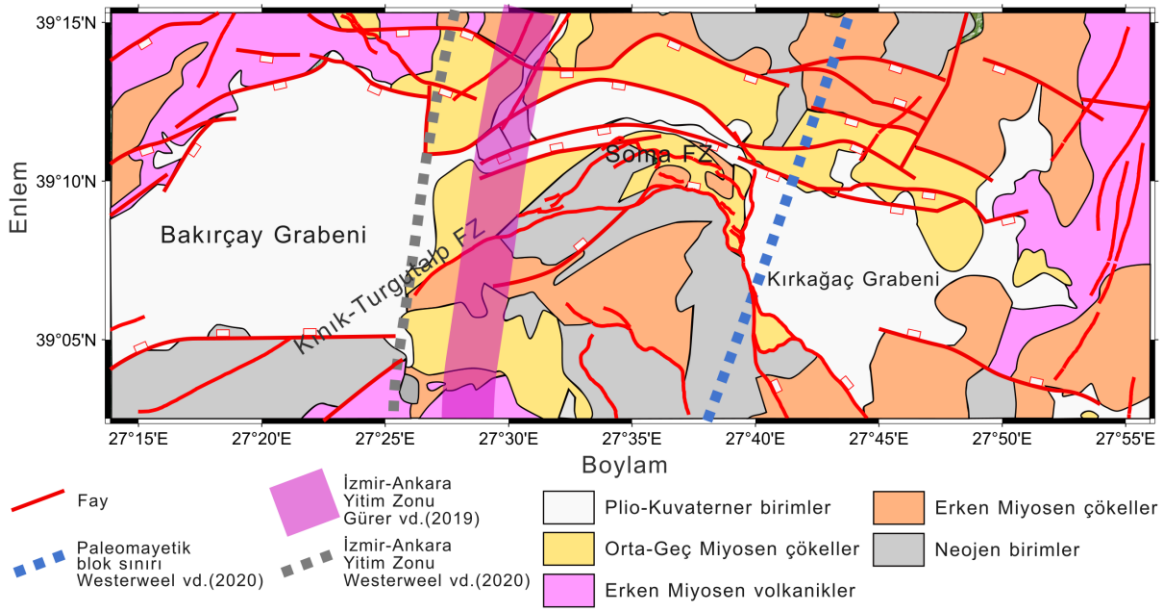
Bu çalışma kapsamında kullanılan Growth 3.0 (Camacho vd. 2021a) yaklaşımı düz çözüm temelli bir yöntem olup yeraltını dörtgen bloklar olarak ayrıklaştırarak modellemektedir. Yöntem, olası noktalarda belirlediği belli sayıdaki bloğa yoğunluk farkı değerleri atar ve enküçüklenmek istenen fonksiyonun değeri azaldıkça bu blokları yanal ve düşey yönlerde genişletmeye çalışır. En küçüklenmek istenen amaç fonksiyonu (5), geleneksel ters çözümde de kullanılan, model düzgünlüğü (smoothness) ve çakışma hatasını (misfit) enuygunlayan (optimize eden) bir fonksiyondur. Bu yöntem, düz çözüm temelli olduğu için geleneksel ters çözümün aksine, matris tersi alınmasını gerektirmez. Bu nedenle hızlı ve duraylıdır; geleneksel ters çözümden daha düşük model düzgünlüğüne sahip, daha keskin sınırlı modeller sağlayabilmektedir.

Bu yaklaşım daha önceki çalışmalarda volkan ve kaldera modellemesi (ör. Camacho vd. 1997, 2021, Hautmann vd. 2013, Kobayashi vd. 2024, Marotta vd. 2024), arkeojeofizik ve obrukların tespiti (Saibi vd. 2021, Bódi vd. 2025) ve çökel havzaların modellenmesi amacıyla uygulanmaktadır (Camacho vd. 2011b, Camacho vd. 2015, Maresca ve Berrino, 2016, Bal 2022). Çökel alanların modellenmesinde başarılı olduğu bilinen bu yöntem, Bakırçay ve Kırkağaç basenlerinin bulunduğu alanın modellenmesi için de idealdir.

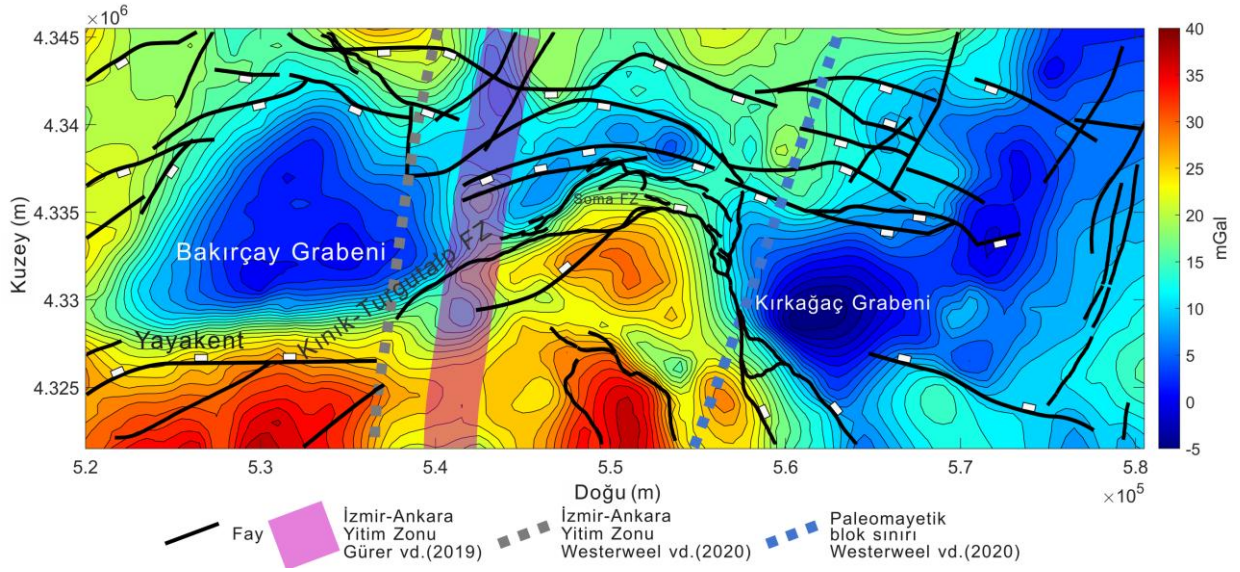
Yöntemin en küçüklediği amaç fonksiyonu

$$U = \|\varphi\|^2 + \mu\|S\|^2 \qquad (5)$$

eşitliğiyle verilir. Burada, φ Bouguer anomalisi ile modelden hesaplanan veriler arasındaki fark (çakışma hatası), S model kabalığını veren fonksiyon, μ çakışma hatası ile model düzgünlüğünü dengeleyen parametredir.



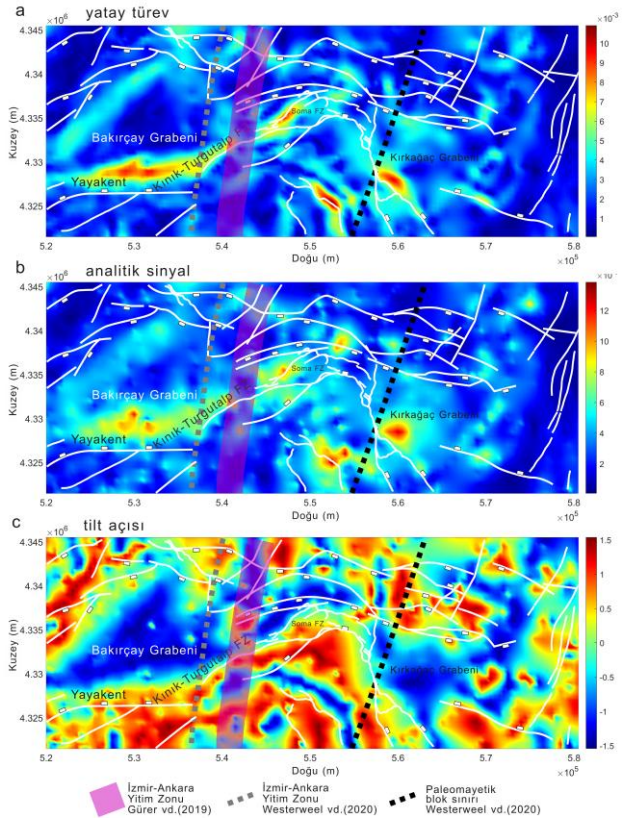
Şekil 2. Çalışma alanının basitleştirilmiş jeolojisi. Bölgeyi oluşturan jeolojik bileşenler Emre vd. (2013), Gürer vd. (2019), Westerweel vd. (2020), Yang vd. (2021) çalışmalarından basitleştirilerek yeniden çizilmiştir.



Şekil 3. Bakırçay ve Kırkağaç Basenleri üzerinde toplanmış kara gravite ölçümlerinden elde edilmiş Bouguer anomali haritası (mGal) ve çalışma bölgesinin tektonik bileşenlerinin veriler üzerine izdüşümü (b). Koordinatlar UTM izdüşümüne göre metre cinsinden verilmiştir.

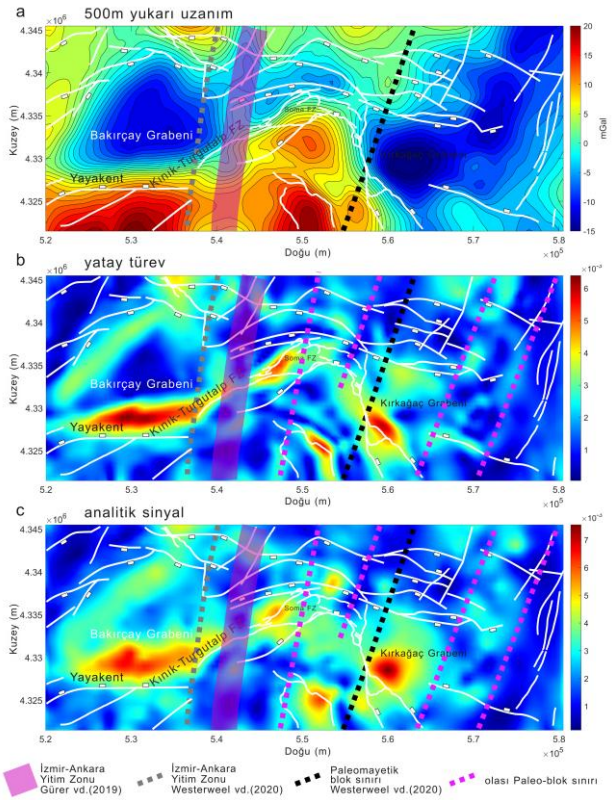
3. Bulgular

Bölgenin Bouguer haritasının (Şekil 3) bölge jeolojisiyle (Şekil 2) ve bilinen fayların dağılımı Emre vd. (2013) ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bakırçay ve Kırkağaç basenleri, düşük anomali değerleri ile gözlenmekte ve en düşük değerler Kırkağaç basenin güney bölümünde tespit edilmiştir. Anomali haritasındaki çizgiselliklerin daha net görüntülenmesi için sınır belirleme teknikleri uygulanmıştır (Şekil 4). Uygulanan yöntemlerden en belirgin bilgiyi Yatay Türev ve Analitik Sinyal haritalarının sağladığı görülmüştür. Tilt Açısı haritası ise yorumlanması daha zor bir görüntü sağlamıştır. Bouguer anomalilerini küçük dalgaboylu sığ etkilerden ve gürültüden arındırmak ve yerel yapıyı ön plana çıkarmak amacıyla 500 m (Şekil 5) ve 1000 m (Şekil 6) yukarı analitik uzanımları gerçekleştirilmiştir. Yukarı analitik uzanım anomalilerine Yatay Türev ve Analitik Sinyal yöntemleri uygulanmıştır.



Şekil 4. Kara gravite ölçümlerine uygulanmış sınır belirleme yöntemleri sırasıyla; yatay türev (a), analitik sinyal (b), tilt açısı (c). Çalışma alanındaki faylar beyaz çizgiyle gösterilmiştir. Yatay türev genlikleri, analitik sinyal haritasının maksimum zonları ve tilt açılarının sıfır değerleri yapısal süreksizlikleri takip etmektedir.

Bölgedeki Neojen birimler en yüksek yoğunluğa sahip kayaçları temsil etmektedir. Yatay Türev ve Analitik Sinyal haritalarında yüksek değerli anomaliler Neojen birimlerin sınırlarıyla yüksek uyumluluk göstermektedir (Şekil 2–6). Haritalarda birçok KD–GB yönlü çizgisellik görülmektedir. Bunlar İzmir–Ankara Yitimi ve Westerweel vd. (2020) tarafından tanımlanan paleomanyetik blok sınırlarıyla ilişkilendirilebilir. Ayrıca çalışma alanının Doğusunda başka birçok KD–GB yönlü çizgisellik de belirgin olarak izlenebilmektedir. EGB içerisinde benzer paleo–yapı sınırları daha önce Koçyiğit (2005) tarafından Denizli ve çevresi için de tanımlanmıştır. Yukarı analitik uzanım ve sınır belirleme yöntemleriyle elde edilen haritalarda gözlenen KD–GB uzanımlı olası blok sınırları Şekil 5–6 b ve c'de gösterilmiştir. Tanımlanan bu çizgiselliklerin, Kuvaterner dönemde KAF ve EGB rejimlerinin etkileriyle yeniden aktifleşmiş normal bileşenli KD–GB uzanımlı faylar olmaları muhtemeldir.



Şekil 5. Kara gravite verilerinin 500 m yukarı analitik uzanım anomalisi (a), bu anomaliye ait yatay türev genlikleri (b) ve analitik sinyal sonuçları (c). Yatay türev genlikleri ve analitik sinyal haritasının maksimum zonları yapısal süreksizlikleri takip etmektedir.

Bakırçay ve Kırkağaç basenlerinin yaklaşık çökel derinliklerini belirlemek için veriler Growth 3.0 yazılımıyla modellenmiştir (Camacho vd. 2021). Bölgesel (rejyonel) etkileri atmak için trend analizi uygulanmış, Bouguer anomalisinden trend giderildikten sonra elde edilen veriler modellenmiştir (Şekil 7).

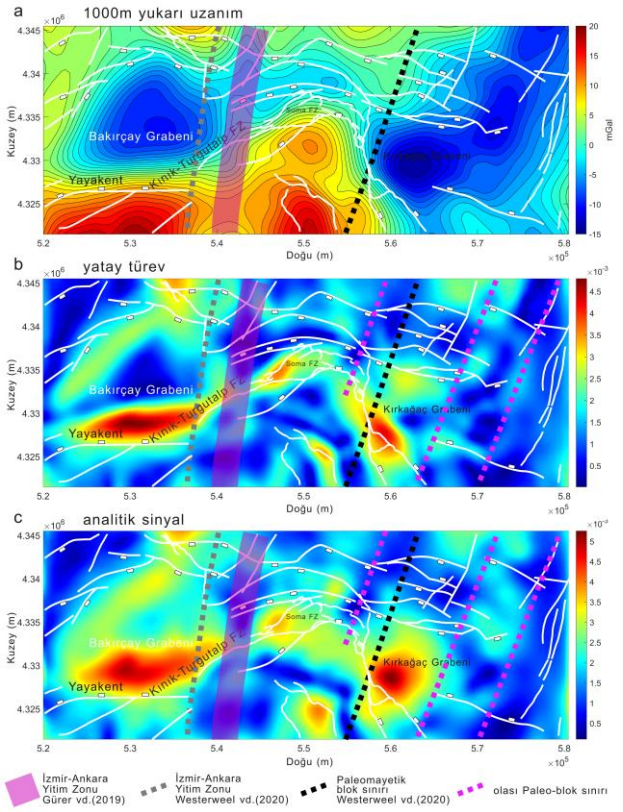
Trend analizi (Şekil 7b), bölge için KD–GB yönünde değişen bir yerel anomali olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen modelin genelinde (Şekil 8), basen alanları haricinde, önemli bir pozitif yoğunluk farkı anomalisi gözlenmemektedir. Bu durum, yerel etkilerin veriden çıkarılması için gerçekleştirilen trend analizinin başarılı bir

şekilde gerçekleştirildiğini ve baseni çevreleyen neojen birimlerle temel kayaçların benzer yoğunluk değerlerine sahip olduğunu göstermektedir.

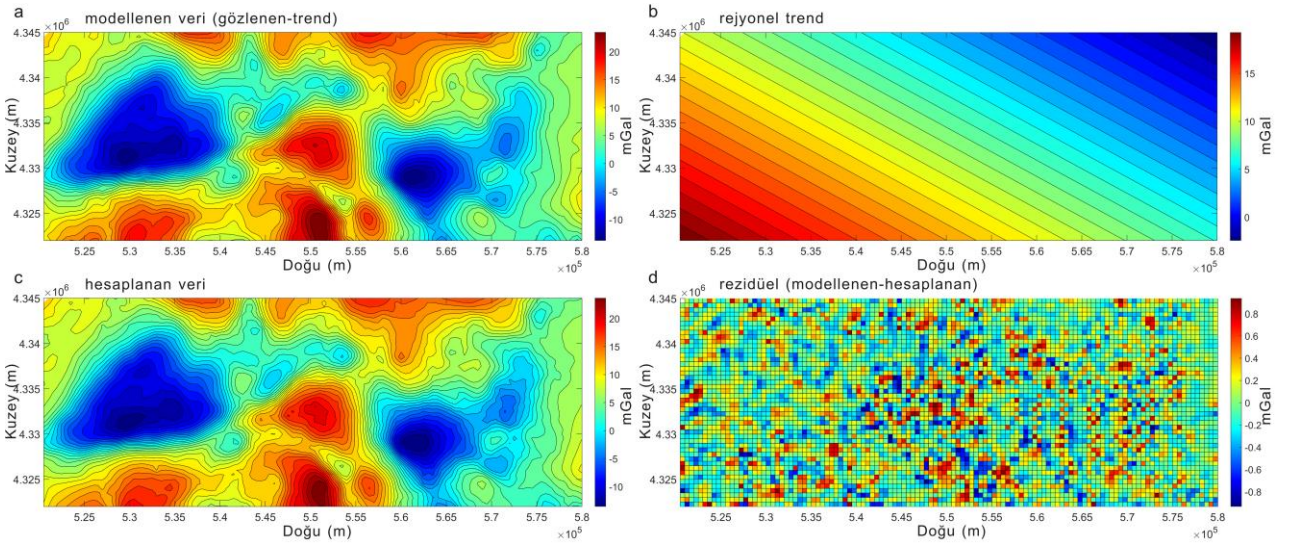
Modelleme sonucu elde edilen yeraltı yoğunluk farkı dağılımından hesaplanan verilerle modellenen veriler arasındaki fark (rezidüel) Şekil 7d'de verilmiştir. Görece yüksek rezidüel değerlerinin çalışma alanının Güney merkez bölümünde bulunduğu gözlenmiştir. Bu rezidüeller, topografik olarak karmaşık bu alanda dijital yükseklik modellerinden elde edilen topografyadan (Şekil 1b) kaynaklı hatalardan ve kullanılan düzgünleyicinin (eşitlik 5) etkisinden ileri gelmektedir. Yoğunluk farkı modelinde (Şekil 8) bu alanlarda gözlenen, yüzeyden başlayarak derine ilerleyen yüksek yoğunluk farklı (0.2–0.5 g/cm^3) küçük yapılar, bu etkilerin sonucudur ve yorumlamada dikkate alınmamıştır.

Elde edilen modelde (Şekil 8), her iki basenin de güney bölümünde daha derin olduğu gözlenmekte, buradaki fayların daha dik açılı olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu açıdan İnci vd. (2003)'nin gözlemleri ile uyumludur. Bakırçay ve Kırkağaç basenleri için gözlenen düşük yoğunluk farkı değerlerinin 2 km derinliğe kadar uzandığı gözlenmiştir. Uluğtekin vd. (2022) çalışma alanının batısında sismik temel derinliğini 1.25 km olarak hesaplamıştır. Elde edilen değerler, Bakırçay baseninin doğu bölümünde ve Kırkağaç baseninde çökel kalınlıklarının daha fazla olduğunu göstermektedir. Elde edilen modele göre, çalışma alanının merkez bölgesinde, Soma güneyinde kömür içeren Miyosen çökeller 1 km kalınlığa ulaşmaktadır. İnci (1998)' nin Soma kömür basenini ele aldığı çalışmasına göre, bu bölgede Miyosen birimlerin toplam kalınlığı >900 m' dir. Bu kullanılan algoritma ile elde edilen basen derinliklerinin doğruluğunu desteklemektedir.

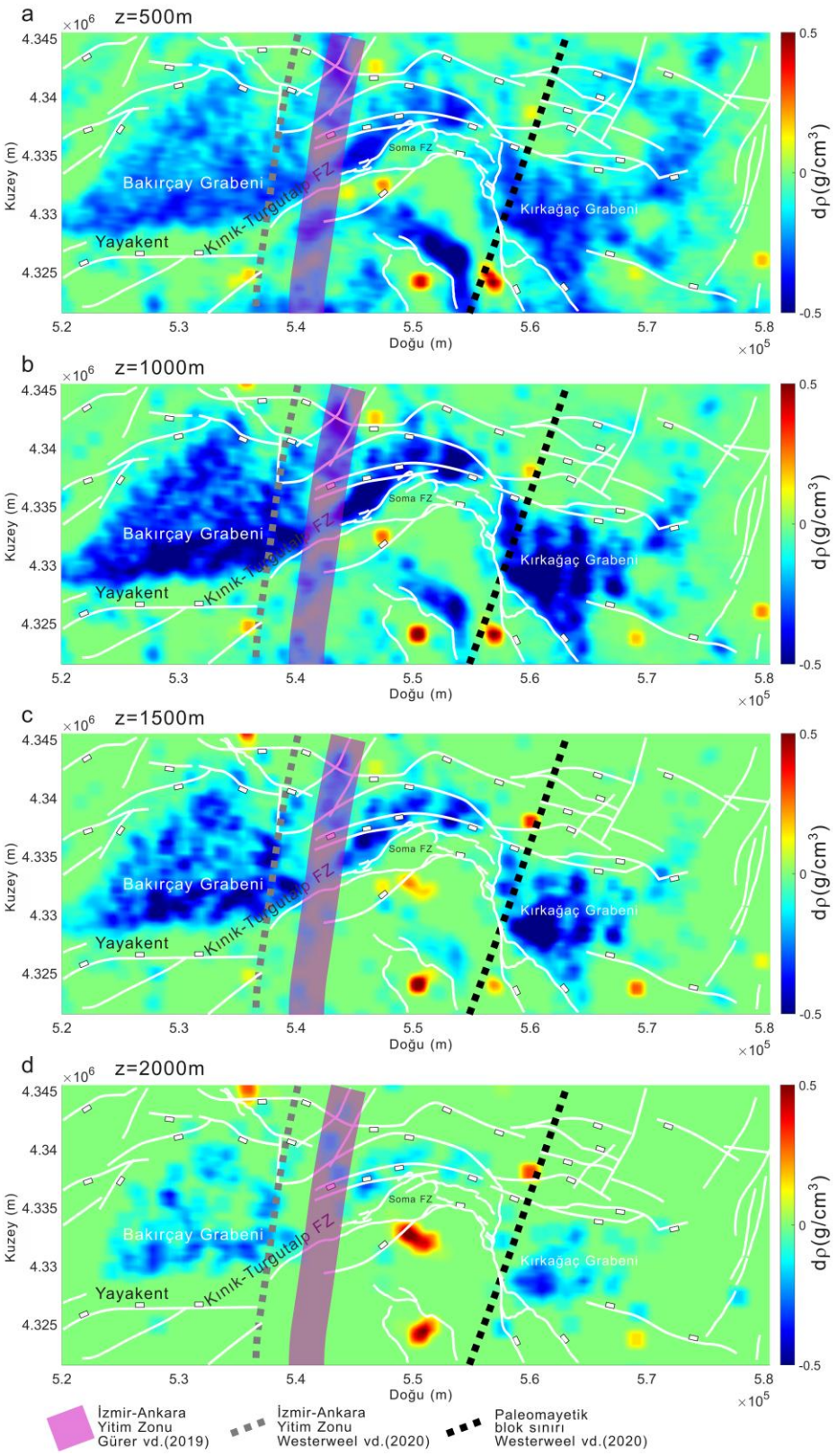
Bakırçay baseninde göreceli en düşük yoğunluk değerleri (-0.5 g/cm^3), güneyini kuşatan sınır fayları boyunca gözlenmiştir. Bu faylar çevresinde yeraltı suyu potansiyelinin daha fazla olduğu yorumu yapılabilir.



Şekil 6. Kara gravite verilerinin 1000 m yukarı analitik uzanım anomalisi (a) ve bu anomaliye ait yatay türev (b), analitik sinyal sonuçları (c). Yatay türev genlikleri ve analitik sinyal haritasının maksimum zonları yapısal süreksizlikleri takip etmektedir.



Şekil 7. Trend giderilmiş gravite anomalisi (a), hesaplanan rejyonel trend (b), modelleme sonucu elde edilen modelden hesaplanan veriler (c), modellenen ve hesaplanan veriler arasındaki fark (rezidüel). Koordinatlar UTM izdüşümüne göre metre cinsinden verilmiştir.



Şekil 8. Kara gravite verilerinin Growth 3.0 algoritmasıyla modellenmesi sonucu elde edilen yoğunluk farkı dağılımı modeli.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bakırçay ve Kırkağaç Basenlerinde toplanmış olan gravite verileri, sınır belirleme yöntemleri, analitik uzanımlar ve 3B modelleme gerçekleştirilerek incelenmiştir. Hem Bouguer gravite anomalisinin hem de sınır belirleme yöntemleriyle elde edilen anomali haritalarının bölgedeki faylarla yüksek oranda uyumlu olduğu görülmüştür. Bölgedeki en yüksek yoğunluklu kayaçlar Neojen birimler ve Miyosen çökellerdir. Sınır belirleme yöntemleri bu kayaçların bulunduğu alanları net bir şekilde göstermektedir. Sınır belirleme ve analitik uzanımlar, çalışma alanında birçok KD–GB çizgiselliği işaret

etmektedir. Bu çizgiselliklerin uzanımlarının, daha önceden tanımlanmış olan İzmir–Ankara Süturu ve paleomanyetik blok sınırı ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu yapılar, günümüzde KAF ve EGB rejimlerinin etkisinde normal bileşenli faylar olarak yeniden aktifleşmiş paleo–blok sınırları olarak yorumlanmıştır. Daha önce, EGB içinde başka bölgeler için de belirlenen KD–GB paleo–çizgisellikler, bu unsurların EGB'nin genelinde var olabileceğini göstermektedir. Bu faylar, Miyosende gerçekleşen saat yönünde dönme, geç Miyosen'den günümüze kadarki süreç için ileri sürülen saat tersi yönünde dönmeye katkı sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, bu çizgiselliklerin bölgeyi önceki çalışmalarda sunulan sonuçlara göre daha küçük bloklara ayırdığını göstermektedir. Farklı araştırmacılar tarafından aktif olma olasılıkları vurgulanan bu fayların yön ve dağılımları bölge depremselliği açısından önemlidir.

3B modelleme sonucu elde edilen yoğunluk farkı modelinde, çalışma alanının merkezinde Soma güneyinde yer alan Soma kömür baseninin derinliği önceki çalışmalarla uyumlu olarak yaklaşık 1 km bulunmuştur ve basen derinliği güneydoğu yönünde artmaktadır. Bu sonuç kullanılan algoritmanın sonuçlarını teyit etmektedir. Bakırçay ve Kırkağaç basenlerinin derinlikleri ise yaklaşık 2 km olarak elde edilmiştir. Her iki basenin de G–GB bölümündeki fayların daha dik dalımlı ve bu faylar çevresinde basen derinliğinin daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bölgelerdeki düşük yoğunluk farkı değerleri (-0.5 g/cm^3), Bakırçay ve Kırkağaç basenlerinin G–GB sınır fayları çevresinde yeraltı suyu zenginleşmesinin daha fazla olabileceğini göstermektedir.

Etik Standartlar Bildirgesi
Yazar, bu çalışmada bütün etik standartlara uyduğunu beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı
Yazarın bu makale içeriğiyle ilgili beyan edeceği hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği
Bu makale kapsamında kullanılan veri kümesi istek üzerine paylaşılacaktır.

Teşekkür

Çalışma alanında toplanmış gravite verilerini kullanmamıza izin veren Türkiye Petrolleri'ne ve verileri bize ileten değerleri hocamız Prof.Dr. İbrahim KARA'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu makaleyi inceleyerek iyileştirilmesini sağlayan editör ve hakemlere teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

Alçiçek, M. C., Kazancı, N., & Özkul, M., 2005. Multiple rifting pulses and sedimentation pattern in the Çameli Basin, southwestern Anatolia, Turkey. *Sedimentary Geology*, **173**(1-4), 409-431. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2003.12.012

Altinoğlu, F. F., Sari, M., & Aydin, A., 2015. Detection of lineaments in Denizli basin of western Anatolia region using Bouguer gravity data. *Pure and Applied Geophysics*, **172**, 415-425. https://doi.org/10.1007/s00024-014-0911-y

Aydoğan, D., 2011. Extraction of lineaments from gravity anomaly maps using the gradient calculation: Application to Central Anatolia. *Earth, Planets and Space*, **63**, 903-913. https://doi.org/10.5047/eps.2011.04.003

Bal, O. T., 2022. 2B ve 3B Yorumlama Teknikleriyle Tuz Gölü'nün Güneybatısında Toplanmış Gravite Verilerinin İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **24**(70), 233-245.

Bhattacharyya, B. K., 1967. Some general properties of potential fields in space and frequency domain: a review. *Geoexploration*, **5**(3), 127-143.

Bódi, J., Vajda, P., Pašteka, R., Pánisová, J., Papčo, J., Zahorec, P., & Fernández, J., 2025. Applicability of Growth inversion in microgravimetry for archeological prospection and sinkhole hazard detection: Jur, Koš and Senec case studies. *Journal of Applied Geophysics*, **238**, 105718. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2025.105718

Camacho, A. G., Montesinos, F. G., & Vieira, R., 1997. A three-dimensional gravity inversion applied to Sao Miguel Island (Azores). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **102**(B4), 7717-7730. https://doi.org/10.1029/96JB03667

Camacho, A. G., Fernández, J., & Gottsmann, J., 2011a. The 3-D gravity inversion package GROWTH2. 0 and its application to Tenerife Island, Spain. *Computers & Geosciences*, **37**(4), 621-633. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.12.003

Camacho, A. G., Fernández, J., & Gottsmann, J., 2011b. A new gravity inversion method for multiple subhorizontal discontinuity interfaces and shallow basins. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **116**(B2).

Camacho, A. G., Carmona, E., García-Jerez, A., Sánchez-Martos, F., Prieto, J. F., Fernández, J., & Luzón, F., 2015. Structure of alluvial valleys from 3-D gravity inversion: the Low Andarax Valley (Almería, Spain) test case. *Pure and Applied Geophysics*, **172**, 3107-3121. https://doi.org/10.1007/s00024-014-0914-8

Camacho, A. G., Prieto, J. F., Aparicio, A., Ancochea, E., & Fernández, J., 2021. Upgraded GROWTH 3.0 software for structural gravity inversion and application to El Hierro (Canary Islands). *Computers & Geosciences*, **150**, 104720. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2021.104720

Camacho, A. G., Vajda, P., & Fernández, J., 2024. GROWTH-23: an integrated code for inversion of complete Bouguer gravity anomaly or temporal gravity changes. *Computers & Geosciences*, **182**, 105495. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2023.105495

Cordell, L., & Grauch, V. J. S., 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico, in W. J. Hinze, ed., *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps: SEG*, 181-197. https://doi.org/10.1190/1.0931830346.ch16

Ekinci, Y. L., Balkaya, Ç., Göktürkler, G., & Özyalın, Ş., 2021. Gravity data inversion for the basement relief delineation through global optimization: a case study from the Aegean Graben System, western Anatolia, Turkey. *Geophysical Journal International*, **224**(2), 923-944. https://doi.org/10.1093/gji/ggaa492

Ekinci, Y. L., Balkaya, Ç., Göktürkler, G., & Ai, H., 2023. 3-D gravity inversion for the basement relief reconstruction through modified success-history-based adaptive differential evolution. *Geophysical Journal International*, **235**(1), 377-400. https://doi.org/10.1093/gji/ggad222

Eshaghzadeh, A., Dehghanpour, A., & Kalantari, R. A., 2018. Application of the tilt angle of the balanced total horizontal derivative filter for the interpretation of potential field data. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, **59**(2).

Gürer, Ö.F., Sanğu, E., and Özburan, M., 2006, Neotectonics of the SW Marmara region, NW Anatolia. *Geological Magazine*, **143**(2), 229–241. https://doi.org/10.1017/S0016756805001469.

Gürer, A., Gürer, Ö. F., & Sangu, E., 2019. Compound geotourism and mine tourism potentiality of Soma region, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, **12**, 1-14. https://doi.org/10.1007/s12517-019-4927-6

Gürer, Ö. F. , 2023. A new look at the origin of NS trending young basins of western Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, **170**(170), 117-146.

Hautmann, S., Camacho, A. G., Gottsmann, J., Odbert, H. M., & Syers, R. T., 2013. The shallow structure beneath Montserrat (West Indies) from new Bouguer gravity data. *Geophysical Research Letters*, **40**(19), 5113-5118. https://doi.org/10.1002/grl.51003

Işık, M., & Şenel, H., 2009. 3D gravity modeling of Büyük Menderes basin in Western Anatolia using parabolic density function. *Journal of Asian Earth Sciences*, **34**(3), 317-325. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2008.05.013

İnci, U., 1998. Lignite and carbonate deposition in Middle Lignite succession of the Soma Formation, Soma coalfield, western Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 37(3-4), 287-313. https://doi.org/10.1016/S0166-5162(98)00010-X

İnci, U., Koçyiğit, A., Bozkurt, E., & Arpalıyiğit, İ., 2003. *Soma ve Kırkağaç Grabenlerinin Kuvaterner Jeolojisi*, Batı Anadolu. İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü Kuvaterner Çalıştayı IV, 84-100.

Kobayashi, T., Matsuo, K., Ando, R., Nakano, T., & Watanuki, G., 2025. High-resolution image on terminus of fault rupture: relationship with volcanic hydrothermal structure. *Geophysical Journal International*, **240**(2), 1196-1214. https://doi.org/10.1093/gji/ggae435

Koçyiğit, A., 2005. The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, **18**(3-4), 167-208. https://doi.org/10.3166/ga.18.167-208

Koçyiğit A. and Deveci Ş., 2007. A NS-trending active extensional structure, the Şuhut (Afyon) graben: commencement age of the extensional neotectonic period in the Isparta Angle, SW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **16**, 391-416.

Li, Y., & Oldenburg, D. W., 1996. 3-D inversion of magnetic data. *Geophysics*, **61**(2), 394-408. https://doi.org/10.1190/1.1443968

Li, Y. & Oldenburg, D.W., 1998 3-D inversion of gravity data. *Geophysics*, **63**(1):109–119. https://doi.org/10.1190/1.1444302

Liu, J., Li, S., Jiang, S., Wang, X., & Zhang, J., 2023. Tools for edge detection of gravity data: comparison and application to tectonic boundary mapping in the Molucca Sea. *Surveys in Geophysics*, **44**(6), 1781-1810. https://doi.org/10.1007/s10712-023-09784-x

Maresca, R., & Berrino, G., 2016. Investigation of the buried structure of the Volturara Irpina Basin (southern Italy) by microtremor and gravimetric data. *Journal of Applied Geophysics*, **128**, 96-109. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.03.010

Marotta, E., Berrino, G., de Vita, S., Di Vito, M., & Camacho, A. G., 2024. Structural setting of the Ischia resurgent caldera (southern Tyrrhenian Sea, Italy) by integrated 3D gravity inversion and geological models, Volcanic Island: from Hazard Assessment to

Risk Mitigation, E. Marotta, L. D'Auria, F. Zaniboni, R. Nave. https://doi.org/10.1144/SP519-2022-129

Melouah, O., & Pham, L. T., 2021. An improved ILTHG method for edge enhancement of geological structures: application to gravity data from the Oued Righ valley. *Journal of African Earth Sciences*, **177**, 104162. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104162

Miller, H. G., Singh, V., 1994. Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, **32**(2-3), 213-217,1994. https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1

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. https://doi.org/10.1190/1.1440276

Nabighian, M. N., Ander, M. E., Grauch, V. J. S., Hansen, R. O., LaFehr, T. R., Li, Y., Pearson, W.C., Peirce, J.W, Philips, J.D., Ruder, M. E., 2005. Historical development of the gravity method in exploration. *Geophysics*, **70**(6), 63-89. https://doi.org/10.1190/1.2133785

Nguyen, T. N., Van Kha, T., Van Nam, B., & Nguyen, H. T. T., 2020. Sedimentary basement structure of the Southwest Sub-basin of the East Vietnam Sea by 3D direct gravity inversion. *Marine Geophysical Research*, **41**(1), 7. https://doi.org/10.1007/s11001-020-09406-w

Okay, A. I., Tansel, I., Tuysuz, O., 2001. Obduction, subduction and collision as reflected in the Upper Cretaceous–Lower Eocene sedimentary record of western Turkey. *Geological Magazine*, **138**(2), 117-142. https://doi.org/10.1017/S0016756801005088

Oruç, B, & Keskinsezer, A., 2008. Structural setting of the northeastern Biga Peninsula (Turkey) from tilt derivatives of gravity gradient tensors and magnitude of horizontal gravity components. *Pure and Applied Geophysics*, **165**(9), 1913-1927. https://doi.org/10.1007/s00024-008-0407-8

Oruç, B., 2011. Edge detection and depth estimation using a tilt angle map from gravity gradient data of the Kozaklı-Central Anatolia Region, Turkey. *Pure and Applied Geophysics*, **168**(10), 1769-1780. https://doi.org/10.1007/s00024-010-0211-0

Oruç, B., 2013. Yeraltı Kaynak Aramalarında Gravite Yöntemi (Matlab Kodları ve Çözümlü Örnekler). Umuttepe Yayınları, ISBN: 6055100070, Kocaeli, Türkiye.

Oruç, B., Sertçelik, İ., Kafadar, Ö., & Selim, H. H., 2013. Structural interpretation of the Erzurum Basin, eastern Turkey, using curvature gravity gradient tensor and gravity inversion of basement relief. *Journal of Applied Geophysics*, **88**, 105-113. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2012.10.006

Oruç, B., & Balkan, E., 2021. Stress field estimation by the geoid undulations of the Samos-Kuşadası Bay and implications for seismogenic behavior. *Acta Geophysica*, **69**, 1137-1149. https://doi.org/10.1007/s11600-021-00604-7

Özyalın, Ş., Pamukçu, O., Gönenç, T., Yurdakul, A., & Sözbilir, H., 2012. Application of boundary analysis and modeling methods on Bouguer gravity data of the Gediz Graben and surrounding area in Western Anatolia and its tectonic implications. *The Journal of the Balkan Geophysical Society*, **15**, 19-30.

Pallero, J. L. G., Fernández-Martínez, J. L., Bonvalot, S., & Fudym, O. , 2017. 3D gravity inversion and uncertainty assessment of basement relief via particle swarm optimization. *Journal of Applied Geophysics*, **139**, 338-350. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2017.02.004

Parker, R.L., 1977. Understanding inverse theory. *The Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **5**, 35–64

Roest, W. R., Verhoef, J., & Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, **57**(1), 116-125. https://doi.org/10.1190/1.1443174

Saibi, H., Bloushi, K. A., & Gabr, A., 2021. *Cavity extension investigations from gravity and electrical surveys at Mountain Hafeet (Al-Ain, UAE)*. In Sixth International Conference on Engineering Geophysics, Virtual, 25–28 October 2021 (pp. 321-324). Society of Exploration Geophysicists. https://doi.org/10.1190/iceg2021-081.1

Sangu, E., Gürer, Ö. F., & Gürer, A., 2020. Fault kinematic and Plio-Quaternary paleostress evolution of the Bakırçay basin, western Turkey. International *Geology Review*, **62**(10), 1245-1261. https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1642148

Sarı, C., & Şalk, M., 2006. Sediment thicknesses of the western Anatolia graben structures determined by 2D and 3D analysis using gravity data. *Journal of Asian Earth Sciences*, **26**(1), 39-48. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.09.011

Tikhonov, A. N., 1977. Solutions of Ill-Posed Problems. VH Winston and Sons.

Uluğtekin, M., Gönenç, T., & Özdağ, Ö. C., 2022. Examining several edge detection techniques in gravity method together with 3D bedrock topography: A case study from the northern part of the İzmir/Turkey. *Journal of Earth System Science*, **131**(3), 144. https://doi.org/10.1007/s12040-022-01891-4

Westerweel, J., Uzel, B., Langereis, C. G., Kaymakci, N., & Sözbilir, H., 2020. Paleomagnetism of the Miocene Soma basin and its structural implications on the central sector of a crustal-scale transfer zone in western Anatolia (Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, **193**, 104305. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104305

Witter, J.B., Siler, D.L., Faulds, J.E., Hinz, N.H., 2016. 3D geophysical inversion modeling of gravity data to test the 3D geologic model of the Bradys geothermal area, Nevada, USA. *Geothermal Energy*, **4**(1):14. https://doi.org/10.1186/s40517-016-0056-6

Yang, X., Becker, F., Knitter, D., & Schütt, B., 2021. An overview of the geomorphological characteristics of the Pergamon micro-region (Bakırçay and Madra River catchments, Aegean region, West Turkey). *Land*, **10**(7), 667. https://doi.org/10.3390/land10070667

Yerli, B., 2022. Soma-Kırkağaç fayının paleosismolojisi ve uzun/kısa dönem kayma hızının değerlendirilmesi, Manisa, Batı Anadolu. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 177.

Yılmaz, Y., Çemen, İ., & Yılmaz, Y., 2017. Morphotectonic development of Anatolia and the surrounding regions. In Active global seismology: neotectonics and earthquake potential of the Eastern Mediterranean Region. *American Geophysical Union Geophysical Monograph*, **225**, pp. 11-91

Yin, X., Yao, C., Wang, J., Xu, W., Zheng, Y., Li, Z., & Mu, W., 2024. A constrained 3D gravity inversion for complex density distributions: Application to Brazil rifted continental margin. *Tectonophysics*, **874**, 230236. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2024.230236