



Araştırma Makalesi

## Datça Grabeninin Yeraltı Yapısının Mikrogravite ve Mikrotremor Verileriyle Belirlenmesi

Ayça ÇIRMIK\*<sup>1</sup> Oya ANKAYA PAMUKÇU<sup>1</sup>, Metehan ULUĞTEKİN<sup>2</sup>, Özkan Cevdet ÖZDAĞ<sup>1</sup>, Zülfikar ERHAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

\*Sorumlu yazar e-posta: [ayca.cirmik@deu.edu.tr](mailto:ayca.cirmik@deu.edu.tr)

**Öz:** Bu çalışma, Batı Anadolu genişleme tektoniği içerisinde yer alan Datça Yarımadası'nın merkezindeki Datça grabeninin yeraltı yapısını mikrogravite ve mikrotremor verileri kullanarak belirlemeyi amaçlamaktadır. Datça grabeni, Gökova ve Hisarönü grabenlerini yaklaşık dik kesen konumuyla dikkat çekmekte olup, kuzeyinde yer alan Gökova Körfezi'nin yoğun sismik aktivitesinden tüm yarımada etkilenmektedir. Yarımada, yerleşim, tarım ve turizm açısından önemli bir bölge olduğundan, graben sisteminin yapısal özelliklerinin aydınlatılması hem tektonik hem de sismik tehlike açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, Datça grabeni ve yakın çevresindeki ilk kez yapılmış olan mikrogravite ve mikrotremor çalışmalarını içermektedir. Mikrogravite verilerine uygulanan düzeltmeler sonucunda Bouguer gravite anomalisi elde edilmiş ve alansal güç spektrumu analiziyle ortalama tabaka derinlikleri belirlenmiştir. Mikrotremor verilerinden elde edilen Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSR) eğrilerinin ters çözümünden 1B yeraltı S-dalgası hızı ve derinlik bulgusu elde edilmiştir. Her iki yöntem ile elde edilen derinlik bulguları birbirleriyle uyumlu çıkmıştır. Ayrıca, bu iki yöntemden elde edilen bulgular bir profil hattı boyunca birlikte değerlendirilerek Talwani modellemesi uygulanmış ve böylelikle Datça grabeni boyunca iki boyutlu (2B) yeraltı modeli ilk kez bu çalışma ile oluşturulmuş ve üç farklı yoğunluk ile tanımlanan bir yeraltı yapısı ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Datça grabeni, Mikrogravite, Mikrotremor, Güç spektrumu, Talwani modellemesi

## The Subsurface Structure of the Datça Graben Determined by Microgravity and Microtremor Data

**Abstract:** This study aims to determine the subsurface structure of the Datça Graben, located at the center of the Datça Peninsula within the extensional tectonic regime of Western Anatolia, using microgravity and microtremor data. The Datça Graben, which intersects the Gökova and Hisarönü grabens almost perpendicularly, is influenced by the intense seismic activity of the Gökova Gulf to its north. Since the peninsula is an important region in terms of settlement, agriculture, and tourism, elucidating the structural characteristics of the graben system is of great significance for both tectonic and seismic hazard assessments. This study represents the first microgravity and microtremor investigations carried out in and around the Datça Graben. After applying standard corrections to the microgravity data, Bouguer gravity anomalies were obtained, and mean layer depths were estimated through power spectrum analysis. From the inversion of the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) curves derived from microtremor data, one-dimensional S-wave velocity and depth profiles were obtained. The depth results derived from both methods are consistent with each other. Furthermore, the findings from these two methods were jointly evaluated along a profile line and modeled using the Talwani method, thereby producing, for the first time, a two-dimensional subsurface model along the Datça Graben that reveals a three-layered structure characterized by distinct density contrasts.

**Keywords:** Datça graben, Microgravity, Microtremor, Power spectrum, Talwani modeling

Gönderilme Tarihi: 17.10.2025

Kabul Tarihi: 25.02.2026

**Nasıl atıf yapılır:** Çırmık, A., Ankaya Pamukçu O., Uluğtekin M., Özdağ, Ö., C., Erhan Z. (2026). Datça Grabeninin Yeraltı Yapısının Mikrogravite ve Mikrotremor Verileriyle Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 31, 225-240 <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1805789>

## 1. Giriş

Batı Anadolu, Anadolu Levhasının batıya doğru hareketine bağlı olarak gelişen genişleme tektoniğinin en belirgin şekilde izlendiği bölgelerden biridir. Bu tektonik rejim, çok sayıda graben ve horst yapısının gelişmesine neden olmuştur. Bu yapılar arasında yer alan Datça grabeni, Datça Yarımadası'nın merkezinde, kuzeyde Gökova Körfezi ve güneyde Hisarönü Körfezi arasında uzanmakta (Şekil 1a, 1b) ve her iki graben sistemini yaklaşık dik kesen bir konum göstermektedir (Şekil 1b). Grabenin çevresinde gözlenen sarp yükselimler ve düşük kot seviyeleri, aktif tektonik süreçlerin yüzeydeki izlerini açıkça ortaya koymaktadır.

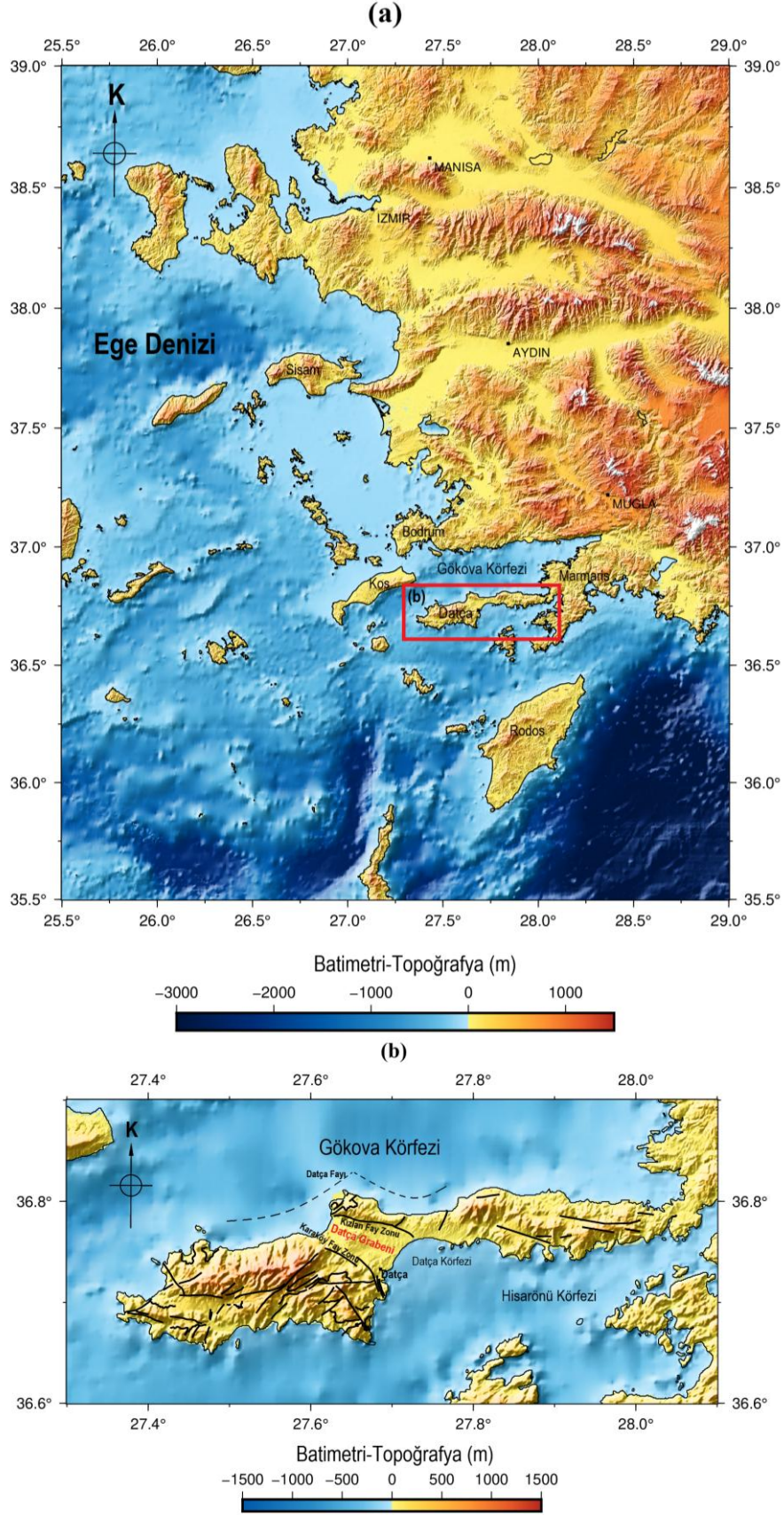
Datça Yarımadası'nın kuzeyinde yer alan Gökova Körfezi, Ege Denizi'nin sismik açıdan en aktif bölgelerinden biri olup, sık ve çoğu zaman sığ odaklı depremler üretmektedir. Bu nedenle Datça Yarımadası sismik risk açısından önemli bir konumda yer almaktadır. Datça Yarımadası ve çevresinde tarihsel dönemlerde de önemli ve yıkıcı depremler meydana gelmiştir (Dirik, 2007). Datça grabeninin yakınında yer alan KB–GD doğrultulu fay zonu boyunca yapılan arazi gözlemleri, halen karasal çökellerle birlikte sin-sedimenter bir büyüme fayının varlığını ortaya koymaktadır. Ersoy (1991), bölgede yürüttüğü çalışmalarda bu fayın aktif olduğunu ve gelecekte deprem üretme potansiyeline sahip bulunduğunu belirtmiştir. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) deprem kataloğundan (<https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>) elde edilen verilerine göre 1 Ocak 1990–31 Aralık 2025 tarihleri arasında 27.3°-28.2° boylamları ile 36.6°-36.9° enlemleri arasında kalan Datça Yarımadası ve yakın çevresini kapsayan bölgede büyüklüğü 3 ve 3'ten büyük 391 adet, 4 ve 4'ten büyük 35 adet ve büyüklüğü 5 olan 1 adet olmak üzere 427 adet deprem meydana gelmiştir (Şekil 2). Bu yoğun sismisite, bölgedeki jeolojik yapıların ve yeraltı süreksizliklerinin daha ayrıntılı biçimde incelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Önceki araştırmalar (Ersoy, 1991; Dirik, 2007; Tur ve ark., 2015; Şimşek ve ark., 2017; Ganas ve ark., 2019; Sboras ve ark., 2020; Özsayın ve ark., 2021; Yıldırım ve ark., 2022) Datça Yarımadası ve çevresinin jeolojik ve tektonik özelliklerini genel ölçekte incelemiş olmakla birlikte, Datça Yarımadası özelinde bölgeye yönelik gravite veya mikrotremor tabanlı ayrıntılı bir yeraltı modeli bugüne kadar oluşturulmamıştır. Bu çalışma, söz konusu eksikliği gidermek amacıyla yürütülmüş olup, Datça grabeni ve yakın çevresinde gerçekleştirilen ilk gravite ve mikrotremor uygulamasıdır.

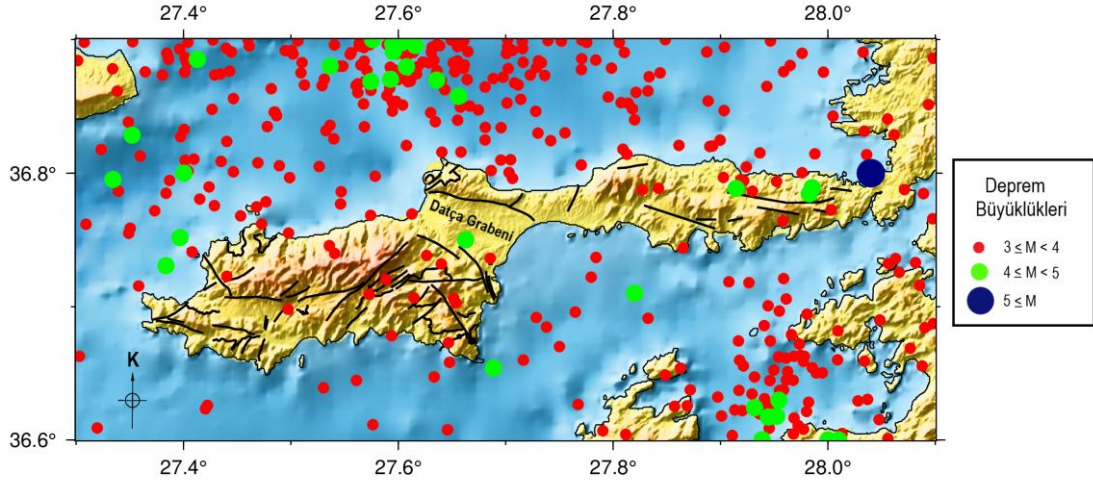
Bu çalışmada, Datça grabeninin yeraltı yapısı mikrogravite, mikrotremor çalışmaları ve Talwani modellemesi yöntemleriyle çok yönlü olarak analiz edilmiştir. Elde edilen Bouguer gravite anomalileri ve Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSR) sonuçları birlikte değerlendirilerek, graben boyunca derinlik dağılımları ve yeraltı yoğunluk zonları belirlenmiştir. Çalışma, hem Batı Anadolu genişleme tektoniği bağlamında Datça grabeninin evrimini anlamaya hem de bölgesel sismik tehlike değerlendirmelerine katkı sağlamaya yöneliktir.

Datça Yarımadası'nda gerçekleştirilen proje kapsamında (Proje No: 2020.KB.FEN.021) yarımada genelinde mikrogravite ölçümleri yapılmıştır. Ancak bu çalışmada analiz edilen noktalar, Datça grabeni ve yakın çevresini kapsayacak şekilde 213 noktaya indirgenmiştir (Şekil 3). Bu kapsamda amaç, Datça grabenine ilişkin elde edilecek anomalinin çözünürlüğünü artırmak olmuştur. Mikrogravite ölçümlerine ek olarak 3 noktada mikrotremor ölçümleri alınmış (Şekil 3) ve veriler bir profil hattı boyunca birlikte değerlendirilmiştir.

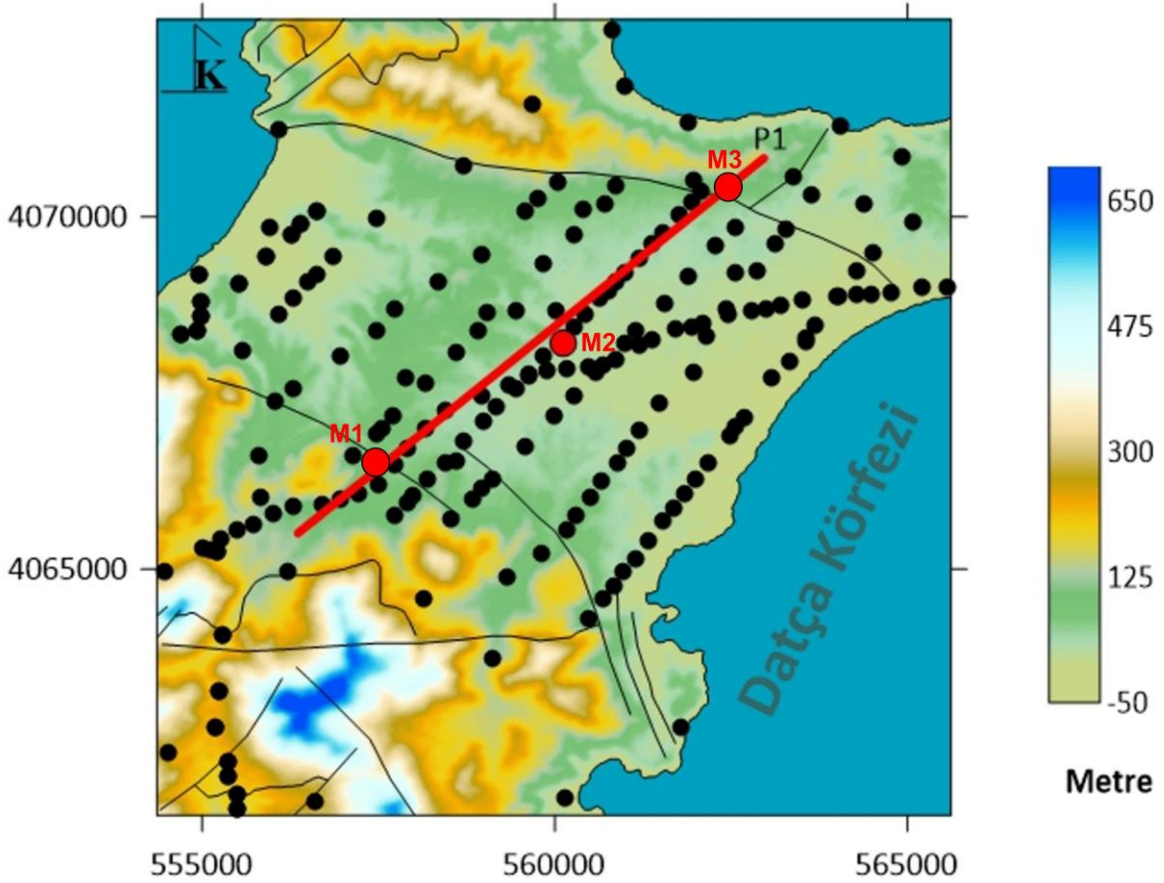
Arazi çalışmaları, topoğrafik koşulların elverdiği en sık örnekleme yoğunluğu sağlanacak şekilde planlanmıştır. Ulaşımı güç, engebeli topoğrafyaya sahip bölgede 2020, 2021 ve 2022 yıllarında gerçekleştirilen mikrogravite ölçümleriyle Datça grabeni farklı fiziksel parametreler kullanılarak ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Bu veriler, bir profil hattı boyunca derinliğe bağlı olarak değerlendirilmiş ve sonuçta iki boyutlu (2B) Talwani modellemesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. a) Çalışma alanını (Datça Grabeni) içeren Datça Yarımadası'nın Batı Anadolu'daki yerini gösteren harita. b) Datça Yarımadası'nın tektonik haritası (Kırmızı dikdörtgen çalışma alanını içeren bölgeyi temsil etmektedir). (Fay bilgisi, Tur ve ark., 2015; Özsayın, 2016; Özsayın ve ark., 2021'den alınmıştır).



Şekil 2. 1.1.1990-31.12.2025 tarihleri arasında çalışma alanı ve çevresinde içerisinde büyüklükleri  $M \geq 3$  olan depremlerin episantr dağılımları (Fay bilgisi, Tur ve ark., 2015; Özsayın, 2016; Özsayın ve ark., 2021'den alınmıştır).



Şekil 3. Çalışma alanında yapılan mikrogravite ve mikrotremor ölçüm noktaları dağılımı (Siyah noktalar; mikrogravite ölçüm yerlerini, kırmızı noktalar; mikrotremor ölçüm yerlerini (M1, M2 ve M3), kırmızı çizgi ile gösterilen P1 profili; Talwani modellemesi için seçilen hattın yerini göstermektedir.) (Fay bilgisi; Tur ve ark., 2015; Özsayın, 2016; Özsayın ve ark., 2021'den alınmıştır).

## 2. Bölgenin Jeolojisi ve Tektoniği

Datça Yarımadası'nda yüzeyleyen kayalar genel olarak temel ve örtü birimleri olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Temel birimler; ofiyolit ve ofiyolitli melanj, karbonatlar ve bloklu flişlerden oluşmaktadır. Üst Pliyosen–Kuvaterner yaşlı çökeller ise örtü birimlerini temsil eder. Yarımada'daki yüzey jeolojisi, Bodrum Napı, Gülbahar Napı ve Marmaris Ofiyolitini içeren Triyas–Kretase yaşlı Likya Napıları ile bunların üzerine uyumsuz olarak gelen Paleojen, Neojen ve Kuvaterner birimlerinden meydana gelir (Şimşek ve ark., 2017).

Datça grabeni ve yakın çevresinde Kuvaterner, Neojen, Jura–Üst Kretase ve Orta Triyas yaşlı kaya birimlerinin geniş alanlara yayıldığı görülmektedir (Şekil 4). Datça Yarımadası, karmaşık tektonik süreçlerin sonucu olarak farklı dönemlere ait litolojik birimlerin bir arada bulunduğu çok evreli bir jeolojik yapıya sahiptir. Yarımada'nın jeolojik evriminde Alt Eosen öncesi temel birimler ile Pliyosen yaşlı örtü birimleri arasında belirgin bir diskordans (zaman boşluğu) bulunmaktadır. Tüm yaşlı birimleri uyumsuz olarak örten Yıldırım Formasyonu, Üst Pliyosen yaşlı konglomera, kumtaşı, marn ve kil taşlarından oluşur. Bunun üzerine gelen Kuvaterner yaşlı alüvyon, plaj kumu, yalı taşı, yamaç molozu, alüvyon yelpazesi çökelleri ve genç volkanik kayalar, güncel yüzey jeolojisini oluşturur (Dirik, 2007).

Bölgenin tektonik yapısı incelendiğinde hem paleotektonik hem de neotektonik dönemlere ait yapıların birlikte gözlemlendiği görülmektedir. Paleotektonik dönemde kıvrımlar, ters faylar ve bindirmeler gibi sıkışmalı rejim unsurları hâkimdir. Yarımada'nın batısında tabaka doğrultuları genellikle doğu–batı yönlü olup, eğimleri güneye doğrudur; Emecik civarında ise tabaka doğrultuları kuzey–güney yönlüdür ve burada asimmetrik, yer yer devrik antiklinal–senklinal yapılar gelişmiştir. Bu durum, geçmişte bölgede hem doğu–batı hem de kuzey–güney yönlü sıkışma kuvvetlerinin etkili olduğunu göstermektedir.

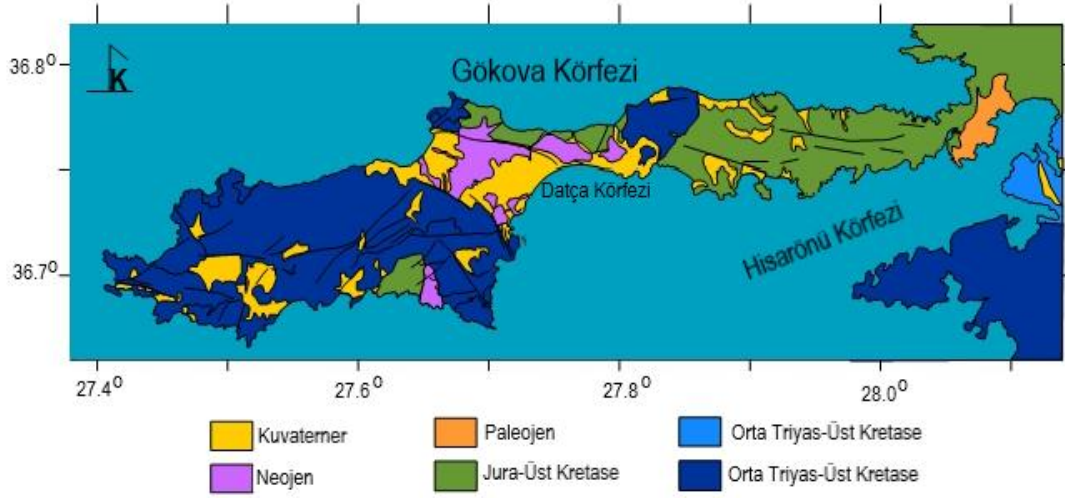
Neotektonik dönemde ise Batı Anadolu genelinde gözlenen genişleme rejimi etkin hale gelmiştir. Bu dönemde Datça grabeni, Gökova grabeni ve Reşadiye Horstu gibi yapılar gelişmiş; bölge genelinde KB–GD ve KD–GB doğrultulu normal faylar baskın tektonik unsurlar haline gelmiştir. Bu yapılar, Datça grabeninin hem kuzeyini hem de güneyini sınırlayarak yarımada içindeki güncel deformasyonun ana kontrolünü sağlamaktadır (Dirik, 2007; Özsayın ve ark., 2021).

Datça Grabeni, yaklaşık 10 km uzunluğunda ve 5 km genişliğinde, Batı Anadolu tektonik yapısına uygun olarak açılma deformasyonunun en belirgin yapısal unsurlarından biri olup BKB doğrultusunda uzanan bir tektonik çöküntü alanıdır (Şekil 1a) ve kuzeyde Kızlan Fay Zonu, güneyde ise Karaköy Fay Zonu (Şekil 1b) tarafından sınırlandırılmaktadır (Ersoy, 1991; Kahraman ve ark., 2013). Yaklaşık N100° doğrultulu Kızlan Fay Zonu, yaklaşık 10 km uzunluğunda olup ağırlıklı olarak güneye eğimli normal fay segmentlerinden oluşmaktadır. KB yönelimli Karaköy Fay Zonu ise yaklaşık 9 km uzunluğundadır (Kahraman ve ark., 2013). İnce (2019) yaptığı çalışmada, Karaköy Fay Zonu'nun gelişimini kontrol eden gerilme rejiminin KKD-GGB ile KD-GB doğrultulu bir açılma rejimi olduğunu ortaya koymuştur. Kahraman ve ark. (2013), Karaköy Fay Zonu'nun Kızlan Fay Zonu'ndan daha yaşlı olduğunu ve havzanın Erken Pliyosen'de yarı graben olarak gelişmeye başladığını ve Geç Pliyosen'e kadar evrimini sürdürdüğünü ileri sürmüşlerdir. Çalışma alanındaki faylar ağırlıklı olarak KB–GD, KD–GB ve D–B doğrultularında uzanmaktadır (Şekil 1b).

Özsayın ve ark. (2021)'in yaptıkları çalışmaya göre graben içerisindeki çökme hızları mekânsal olarak değişmekte olup, orta kesimlerde yaklaşık 0.36–0.46 mm/yıl, güney kesimlerde ise yaklaşık 1.05–1.15 mm/yıl değerlerine ulaşmaktadır. Ayrıca Datça Grabeni çevresindeki Geç Kuvaterner deniz seviyesi değişimlerine ilişkin çalışmalar, yaklaşık 2.6 bin yıl önce deniz seviyesinin günümüzden yaklaşık 1.0–1.25 m daha düşük olduğunu göstermektedir (Özsayın ve ark., 2021). Yıldırım ve ark. (2022) yapmış oldukları çalışmada, Datça Yarımadası kıyıları boyunca, özellikle grabenin batı kenarı civarında, güncel deniz seviyesinin üzerinde gelişmiş deniz çentiklerini tanımlamışlardır. Bu gözlemleri, yarımada'nın kuzeyinde deniz açıklarına doğru uzanan Datça Fayı'nın (Şekil 1b) Holosen tektonik aktivitesi ile ilişkilendirmiş ve bu fay sisteminin kıyı boyunca önemli bir sismik potansiyele sahip olduğunu vurgulamışlardır. Özsayın ve ark. (2021) ve Yıldırım ve ark. (2022) yaptıkları bu çalışmalar ile bölge gözlenen deniz seviyesi değişimlerinin bölgedeki tektonik süreçlerden kaynaklı olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Datça Yarımadası, hem Gökova Körfezi'nin güneyinde yer alması hem de Ege Denizi'ne kıyısı bulunması nedeniyle, sismik açıdan oldukça aktif bir bölgede yer almaktadır ve bu nedenle önemli bir sismik tehlike potansiyeline sahiptir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında Datça grabeni boyunca gerçekleştirilen mikrogravite ve mikrotremor ölçümleri, yalnızca sığ jeolojik birimlerin belirlenmesine

değil, aynı zamanda aktif fay zonlarının derinlik uzanımlarının ve yoğunluk farklılıklarının anlaşılmasına da katkı sağlamaktadır.



Şekil 4. Datça Yarımadası'nın jeoloji haritası (Şimşek ve ark., 2017'den düzenlenmiştir).

### 3. Materyal ve Yöntem

#### 3.1. Mikrogravite verilerin analizi

Çalışma alanında kullanılan bağıl mikrogravite yöntemi, yerçekimi ivmesinin düşey bileşenindeki değişimlere dayanmaktadır. Bu yöntem, alandaki yoğunluk farklılıklarını belirleyerek yeraltı yapısındaki süreksizliklerin ve anomalilerin saptanmasını amaçlar. Mikrogravite verileri doğrudan kullanılmadan önce, ölçüm koşullarına bağlı etkilerin ortadan kaldırılması için bir dizi düzeltme işlemi uygulanmıştır. Bu düzeltmeler sırasıyla; enlem düzeltmesi ( $g_E$ ), serbest hava düzeltmesi, Bouguer düzeltmesi ( $g_B$ ) ve topoğrafya düzeltmesi ( $g_T$ )'dir. Bu işlemler sonucunda alana ait tam Bouguer gravite anomalisi;

$$g_B = g_{ölç} \pm g_E + 0,3086 * \Delta h - (0,04191 * \rho) * \Delta h + g_T \quad (1)$$

bağıntısı ile elde edilir. Burada  $g_{ölç}$  arazide ölçülen gravite değeri,  $\Delta h$  ise gravite ölçüm noktasının deniz seviyesine olan ortometrik yüksekliğini temsil etmektedir. Elde edilen gravite anomali değerlerine, bölgedeki tabaka derinlikleri hakkında bilgi sağlamak amacıyla 2B güç spektrumu analizi uygulanır. Bu analiz, potansiyel alan verilerinin dalga sayısı özelliklerine dayalıdır ve anomali kaynaklarının ortalama derinliğinin belirlenmesine olanak tanır. Yöntemin en önemli avantajı, kaynak geometrisi veya yoğunluk farkı hakkında ön bilgiye gereksinim duymadan derinlik bilgisi sunmasıdır (Spector & Grant, 1970).

Potansiyel alanların dalga sayısı özelliklerine dayalı olarak Fourier güç spektrumundan anomali kaynaklarının ortalama derinliğinin kestirimi yönteminin en önemli avantajı kaynak geometrisi ve yoğunluk farkı bilgilerine gerek duyulmaksızın kaynak derinlik çözümleri sunmasıdır. Bu çalışmada, Pirttijärvi (2009) tarafından geliştirilen 2B radyal güç spektrumu programı kullanılmıştır. Program 2B Fourier dönüşümü kullanarak derinlik bilgisine ulaşmaktadır. Bu durum profil bazlı güç spektrumundan farklı olarak iki bileşenli bir dalga sayısı hesaplanmasını gerektirir. Radyal dalga sayısı ( $K_r$ ), dalga sayısı bileşenlerinin ( $k_x$ ,  $k_y$ ) kareleri toplamının karekökü olarak ifade edilir;

$$K_r = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad (2)$$

Her bir dalga sayısına karşılık gelen genlik değerleri ( $A$ ) ise Fourier dönüşümünün reel (gerçek) ( $Re(F)$ ) ve imajiner (sanal) ( $Im(F)$ ) bileşenlerinden,

$$A = |F| = \sqrt{[Re(F)]^2 + [Im(F)]^2} \quad (3)$$

bağıntısıyla elde edilir. Bu genlik spektrumu, iki tabaka arasındaki ortalama derinliklerin kestirimi için kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar, daha sonra 3B yeraltı modellenmesi için başlangıç derinlik değerlerini sağlamaktadır. Bu nedenle genlik spektrumu ile elde edilen bu derinlik değerleri oldukça önemlidir.

Güç spektrumu herhangi bir dalga sayısında sonlu bir değere sahiptir ve dalga sayısı arttıkça eksponansiyel olarak sifıra yaklaşır. Logaritmik güç spektrumunda artan dalga sayılarında, spektrumun ayrık bölümlerinde doğrusal azalmalar gözlenir. Bu doğrusal parçaların eğimleri ortalama derinlikleri verir. Ayrıca logaritmik güç spektrumunda kesme dalga sayısı (cutoff wavenumber), spektrumu yüksek ve alçak dalga sayılarına göre iki ortama ayırır (Oruç, 2012). Derinlik ( $h$ ) kestirimi ise,

$$\tan^{-1}\left(\frac{\ln E_1 - \ln E_2}{\omega_1 - \omega_2}\right) = -2h \quad (4)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada,  $\omega_1, \omega_2$  iki farklı açılal frekans değerlerini,  $E_1, E_2$  ise bu açılal frekanslara karşılık gelen enerji spektrumu değerlerini ifade etmektedir. Bu bağıntı, özellikle manyetik ve gravite verilerinden elde edilen güç spektrumlarının analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, logaritmik güç spektrumundaki doğrusal eğim ile derinlik arasındaki ilişkinin lineer olduğu varsayılmaktadır, dolayısıyla eğimin büyüklüğü ortalama kaynak derinliğinin ( $h$ ) bir göstergesi olarak değerlendirilir. Arazi çalışmaları için elde güç spektrumu uygulaması sonucundan, açılal frekans ve o frekans değerine karşılık gelen enerji grafiği şeklinde bir dağılım grafiği elde edilir. Bu grafikteki dağılımın çizgisellik gösterdiği kısımlar aynı tabakaya ait olduğu kabul edilir. Bu nedenle bu çizgisellikleri en iyi temsil eden bir doğru çizilerek bu doğrunun eğiminden derinlik kestirimi yapılır. Alan içerisindeki karmaşık jeoloji, ölçüm düzeni ve veri sıklığına bağlı olarak elde edilecek çizgisellik sayısı yani alan içerisinde gözlenebilen sayısı tabaka farklılık gösterebilir. Bu durum bir alan içerisinde farklı çözünürlüklerde yapılacak çalışmalarda farklı sayıda tabaka ve derinlik bilgisi elde edilebileceği anlamına gelmektedir. 2B genlik spektrumu uygulaması ile elde edilen tabaka ara yüzeylerine ait derinlikler veri setinin kapsadığı alanın tamamını temsil eden ortalama derinliklerdir. Yani alan için elde edilen derinlik alanın her noktasında sabit olmak zorunda değildir. Elde edilecek her bir derinlik değeri alan içerisinde o tabakaya ait değişken derinliğin en iyi temsil edildiği bir ortalama değerdir ve bu değerler genel olarak modelleme çalışmalarında başlangıç parametresi olarak kullanılmak amacıyla hesaplanır.

Gravite anomalilerinin değerlendirilmesinde, anomaliyi yaratan yeraltı yapısının geometrik biçimi, modelleme çalışmalarının temelini oluşturur. Oluşturulacak geometrik modelin yaratacağı anomalinin hesaplanmasıyla elde edilen verilerin araziden ölçülmüş gravite verileri ile karşılaştırılmasıyla; ön kestirilen modelin yeraltındaki yapıyı ne oranda yansıtabileceği araştırılır (Özyalın ve ark., 2012). Kuramsal bağıntısı bilinmeyen anomalilerin modellenmesi Talwani ve ark. (1959) tarafından geliştirilen modelleme yöntemiyle yapılır. Bu çalışmada, Talwani ve ark. (1959) tarafından geliştirilen çokgen (poligon) modelleme yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yöntemde yeraltı yapısı, belirli sayıda köşeye sahip bir çokgen olarak temsil edilir. Modelde kullanılan köşe sayısı, cismin geometrisini tanımlayan temel parametrelerden biridir. Her bir köşe noktası ( $x_i, y_i$ ), poligonun  $i$ 'inci köşesinin yatay ve düşey koordinatlarını ifade eder. Modelden hesaplanan gravite anomalisi,

$$\Delta g = 2G\Delta\rho \sum [(x_{i+1} - x_i)\ln r_{i+1} - (y_{i+1} - y_i)\theta_{i+1}] \quad (5)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada,  $\Delta g$ ; modelden hesaplanan gravite anomalisi (mGal),  $G$ ; evrensel gravite sabiti,  $\Delta\rho$ ; modeldeki yapının yoğunluğu ile çevre kayaların yoğunluğu arasındaki farkı gösterir ve gravite anomalisinin büyüklüğünü doğrudan etkiler. ( $x_i, y_i$ ); çokgenin köşe koordinatlarıdır ve bu köşelere ait uzaklık terimi  $r_{i+1}$ , gözlem noktasından poligonun  $i+1$  köşesine olan mesafeyi gösterir ve

logaritmik terim ( $\ln r_{i+1}$ ) içinde yer alarak gravite etkisinin mesafeye bağlı azalma davranışını tanımlar. Açısal terim  $\theta_{i+1}$  ise, köşe noktasının gözlem noktasına göre yaptığı yön açısını belirtir ve cismin geometrik konumunun gravite alanı üzerindeki yönsel etkisini temsil eder. Böylece Bağıntı (5), model poligonunun yerçekimi anomalisi üzerindeki toplam etkisinin hesaplanmasında kullanılır.

### 3.2. Mikrotremor verilerinin analizi

Çalışma alanında mikrotremor yöntemi, yer hareketlerinin doğal titreşim özelliklerini belirleyerek zemin davranışını tanımlamak amacıyla uygulanmıştır. Mikrotremor verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSR) yöntemi, Nakamura (1989) tarafından önerilmiş olup yüzeydeki titreşim kayıtlarının yatay (H) ve düşey (V) bileşenlerinin oranına dayanır. Bu yaklaşım, ortam sismik gürültüsünü (mikrotremorlar) kullanarak zeminin frekans özelliklerini belirleyen görece düşük maliyetli bir yöntemdir. Nakamura yöntemi, yerel zemin koşullarının değerlendirilmesinde özellikle zeminin hâkim titreşim periyodu ( $T_0$ ) ve göreceli zemin büyütme (amplifikasyon) katsayısının ( $A_0$ ) belirlenmesi için sıklıkla kullanılmaktadır (Roberts & Asten, 2004; Tunçel ve ark., 2019; Özdağ & Gönenç, 2020). Bu periyot; sediman kalınlığı ve kayma dalgası hızı gibi etmenlere bağlı olarak değişmekte olup, genellikle daha yumuşak ve kalın zeminlerde daha uzun, daha rijit ve sığ zeminlerde ise daha kısadır (Kramer & Stewart, 2024). Bu parametreler kullanılarak, farklı deprem senaryolarına yönelik sismik kırılma indeksi ( $K_g$ ) ve kesme birim şekil değiştirmesi değerleri de hesaplanabilmektedir (Nakamura, 1997). Uygulamada, üç bileşenli sismometreler veya jeofonlar kullanılarak sahada ortam sismik gürültüsü verileri toplanır. Büyütme katsayısı–frekans eğrisi, yatay bileşen genlik tayflarının düşey bileşen genlik tayfına bölünmesiyle elde edilir. Eğrinin büyütme değerinin en yüksek olduğu frekans ( $f_0$ ), doğal saha frekansı olarak kabul edilir. Matematiksel olarak Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSR);

$$\frac{Y}{D} = \frac{\sqrt{KG^2 + DB^2}}{D} \quad (6)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada,  $\frac{Y}{D}$  spektral oranı,  $KG$  ve  $DB$  sırasıyla Kuzey–Güney ile Doğu–Batı bileşenlerinin spektral genliklerini,  $D$  ise düşey bileşenin spektral genliğini temsil eder. Elde edilen  $Y/D$  oranı, yüzeyde ölçülen mikrotremor verilerinin frekans ortamındaki enerji dağılımını temsil eder.

Arazi ölçümleri üç bileşenli ( $KG$ ,  $DB$ , yükseklik) geniş bant hız-ölçer sismometre (Guralp Systems CMG-6TD) ile, düşük gürültü koşullarında, rüzgâr ve trafik titreşimlerinden uzak bir zamanda gerçekleştirilmiştir. İstasyonda en az 30 dk kayıt alınmış, veriler 81,92 s'lik pencereleme bölünmüştür. Pencereleme, transiyent içeren kısımlar (yakın patlama/geçişler) dışlanarak seçilmiş; her pencereleme enine Hanning penceresi uygulanmış ve alet tepkisi giderilmiştir. Güç tayf yoğunlukları (PSD) Welch yöntemiyle hesaplanmış; yatay bileşenler ortalanmış, Konno–Ohmachi yumuşatma bant genişliği  $b=40$  olacak şekilde uygulanmıştır.

Son yıllarda gelişen hem bilgisayar hem de veri değerlendirmede kullanılan program olanaklarına bağlı olarak bir adet geniş frekans bant özelliğine sahip hız sismometresi ile yapılan 3 bileşen gürültü ölçümlerinin ters çözümü sonucunda düşey yönde sismik S-dalga hızı ( $V_s$ ) derinlik kesitleri başarılı olarak elde edilmektedir (Bignardi ve ark., 2016; García-Jerez ve ark. 2016; Piña-Flores ve ark., 2017). Böylece daha düşük maliyetli ekipmanlar kullanılarak yerleşim alanları için kablo serimine ihtiyaç duyulmadan ölçü alınmasına ve  $V_s$  Hız Derinlik kesitlerine ulaşma olanağı sağlanmıştır.

Uygulanan ters çözümün kuramsal temeli, ortam sismik gürültüsünün yayılı ve enerji olarak modlar arasında dengeye yakın (diffuse/equipartitioned) olduğu varsayımdır. Bu varsayım altında, tabakalı 1B bir ortam için teorik ve hesaplanan  $Y/D$  oran eğrileri, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) veya Genetik Algoritma (GA) ile çoklu başlangıçlar üzerinden en iyi 100–200 aday çözüm belirlenmesi ve en iyi adaylar üzerinde sınırlı BFGS/Levenberg–Marquardt adımlarıyla yakınsama yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilmesidir. Her değerlendirmede kuramsal eğri Dağınık Alan Varsayımı (Diffuse Field Assumption-DFA) tabanlı ileri çözücü ile hesaplanmaktadır (García-Jerez ve ark., 2016). Talwani modellemesi sırasında kullanılacak olan tabaka yoğunluk değerleri için S-dalga hızından yoğunluk hesabı ( $\rho$ ) (Keçeli, 2012);

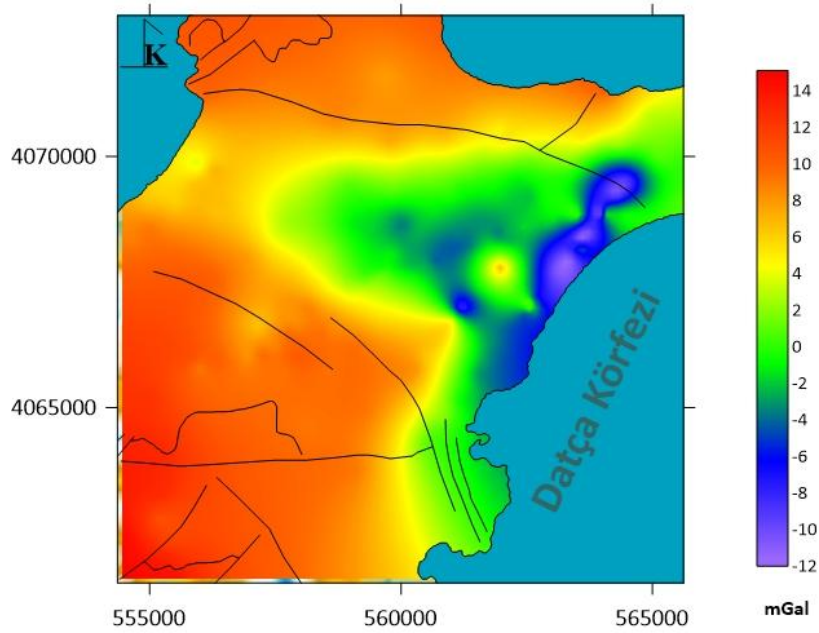
$$\rho = 0.44V_s^{0.25} \quad (7)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

#### 4. Bulgular

Çalışma alanında ilk kez bu çalışma ile elde edilen mikrogravite ve mikrotremor verileri, yeraltı yapısının belirlenmesi amacıyla değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen gravite anomali haritaları, güç spektrumları, hâkim periyot dağılımları ve Talwani modelleme sonuçları bir bütün olarak yorumlanmıştır.

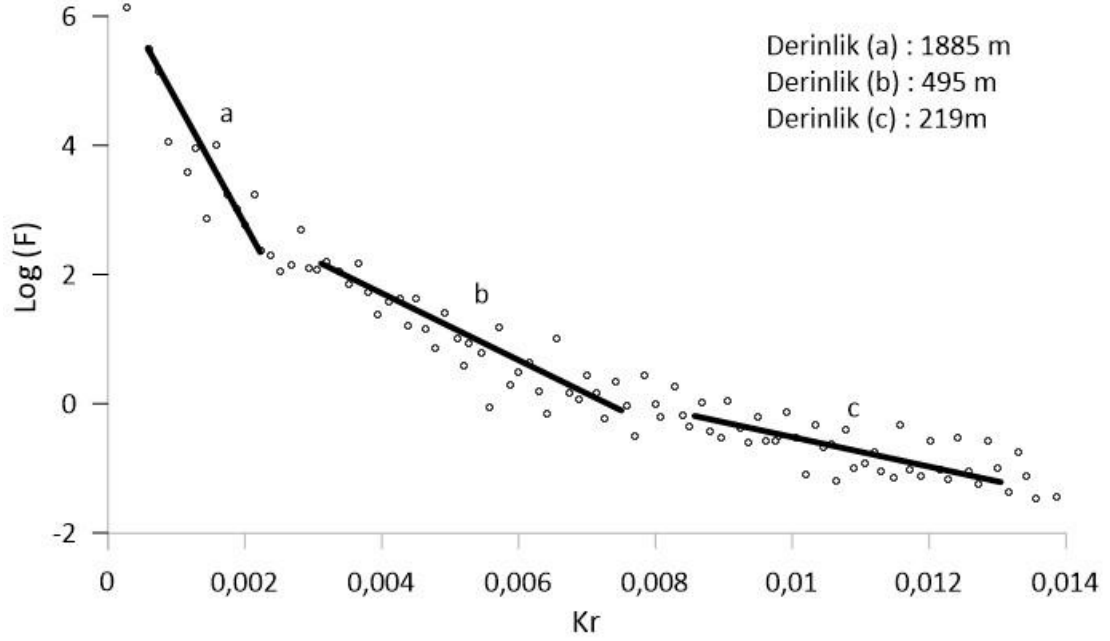
Arazi çalışmaları alansal olacak şekilde uygulanmıştır. Ölçüm alınan günlerde sabah akşam baz noktası ölçümleri gerçekleştirilerek günlük değişimlerin oluşturulacağı gürültü etkisi giderilmesi hedeflenmiştir. Her bir ölçüm 50 sn kayıt uzunluğuna sahip 3 tekrar olacak şekilde yerinde gerçekleştirilmiş tilt etkisinin en aza indirgenmesi için alınan üç ölçümün ortalaması kullanılarak veri seti oluşturulmuştur. Alan içerisinde baz düzeltmesi, kayma düzeltmesi, enlem düzeltmesi yapılmış ve deniz seviyesi üzerine kalan kütle etkisi de hesaplamalara katılmak amacıyla yaygın kullanımla uyumlu olarak  $2.67 \text{ g/cm}^3$  yoğunluk değeri için Bouguer düzeltmesi uygulanmıştır. Verilere gravite düzeltmeleri uygulandıktan sonra alanın sarp ve ani topoğrafya değişimlerinin etkisini gidermek amacıyla topoğrafya düzeltmesi uygulanmış ve böylece tam Bouguer gravite anomali elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma alanına ait elde edilen tam Bouguer anomali haritası (Fay bilgisi, Tur ve ark., 2015; Özsayın, 2016; Özsayın ve ark., 2021'den alınmıştır).

Elde edilen anomali haritası incelendiğinde (Şekil 5) bölge genelinde anomali değerlerinin 15 mGal ile -12 mGal arasında değiştiği gözlenmektedir. Datça Grabeni'nin doğusunda maksimum negatif değerlere (-6 ile -12 mGal arası) ulaştığı görülmektedir. Şekil 5'de görüldüğü üzere, grabenin doğusundan batısına doğru gravite değerlerinde aşamalı olarak bir artım gözlenmektedir. Grabenin ortasında -2 mGal ile 2 mGal arasında değerler gözlenirken grabenin batısında grabenin geneline göre yüksek gravite değerleri (6 mGal-13 mGal arası) gözlenmektedir. Gravite anomalisindeki bu değişimin temel sebebinin; grabenin orta bölgesinde görülen topografik düşmenin (çökme) grabenin batısına kıyasla doğuda daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Graben merkezinde gözlenen lokal olarak düşük gravite değerleri graben yapısını temsil ederken grabenin doğusundaki görece daha düşük değerler almasının sebebi grabendeki çökmenin homojen olmadığının göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Elde edilen Bouguer gravite verileri kullanarak alana 2B genlik spektrumu uygulanmıştır. Oluşturulan genlik – dalga sayısı grafiği (Şekil 6) incelendiğinde alanda tanımlanabilen 3 farklı çizgiselliğin varlığı gözlenmektedir. Elde edilen bu 3 çizgiselliği en iyi temsil eden doğrular grafik üzerine eklenmiştir. Her bir doğrunun başlangıç ve bitiş noktalarına karşılık gelen genlik ve dalga sayısı değerleri Bağıntı (4)'te yerine konularak derinlik kestirimleri yapılmıştır. Alan içerisinde 3 adet ortalama derinlik bulunmuştur. Bulunan derinlikler; 219 m, 495 m ve 1885 m'dir (Şekil 6).



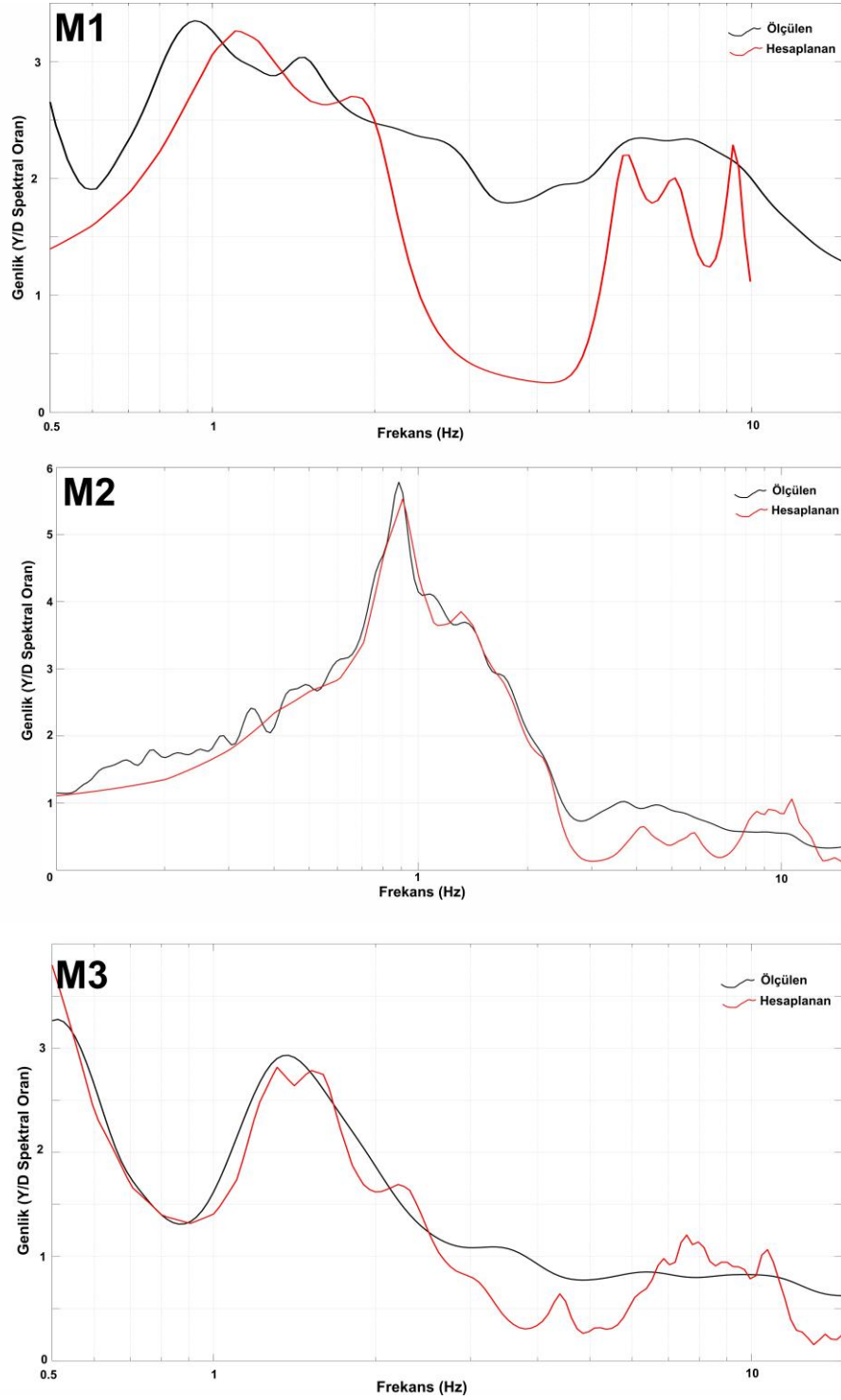
Şekil 6. Bouguer gravite anomali verisi kullanılarak oluşturulan alansal genlik spektrumu ve hesaplanan ortalama derinlikler.

Bu çalışma kapsamında Y/D Spektral Oran Eğrisi hesaplamaları Geopsy V.3.5.2 (Wathelet ve ark., 2020) ters çözüm işlemleri Bignardi ve ark. (2016) çalışmasında geliştirilen MATLAB tabanlı OpenHVSr yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen arazi çalışmaları sonucunda elde edilen Y/D Spektral Oran eğrisi (ölçülen-siyah) ve hesaplanan Y/D Spektral oran eğrisi (Kırmızı) Şekil 7'de, ters çözüm işlemleri sonucunda elde edilen 1B S-Dalga Hız dağılımı Şekil 8'de verilmiştir.

Y/D Spektral Oran Eğrisinin ters çözümünde kullanılan başlangıç modeli; bölgesel jeoloji/havza yapısını temsil edecek şekilde benzer çalışmalarda dikkate alınarak (Pamuk ve ark., 2018; Özdağ & Gönenç, 2020; Uluğtekin ve ark., 2022) belirlenmiştir (Çizelge 1). Başlangıç modelinde giriş parametrelerinden olan kalite faktörleri ( $Q_p$  ve  $Q_s$ ) değerleri ilgili tabakadaki hız değerlerinin onda biri olarak kabul edilmiştir (Herak, 2008). Ters çözüm işlemleri sürecince hesaplanan Y/D spektral oran eğrisinin tamamı dikkate alınarak işlemler 0.1/0.5-15 Hz aralığında gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte havza tabanını temsil edeceği düşünülen Orta Triyas-Kretase yaşlı birim sismik ana kaya ( $V_s > 3000$  m/sn) olarak kabul edilerek bu tabakadaki parametreler sabit tutulmuştur.

Çizelge 1. Y/D Spektral Oran Eğrisinin Ters Çözüm Başlangıç Modeli.

Tabaka	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	Yoğunluk ( $gr/cm^3$ )	Tabaka Sınırı (m)
1	350	200	1.65	20
2	500	300	1.8	40
3	900	500	2.0	120
4	1500	900	2.4	300
5	2000	1200	2.5	500
6	2500	1500	2.7	600
7	5000	3000	3.0	700

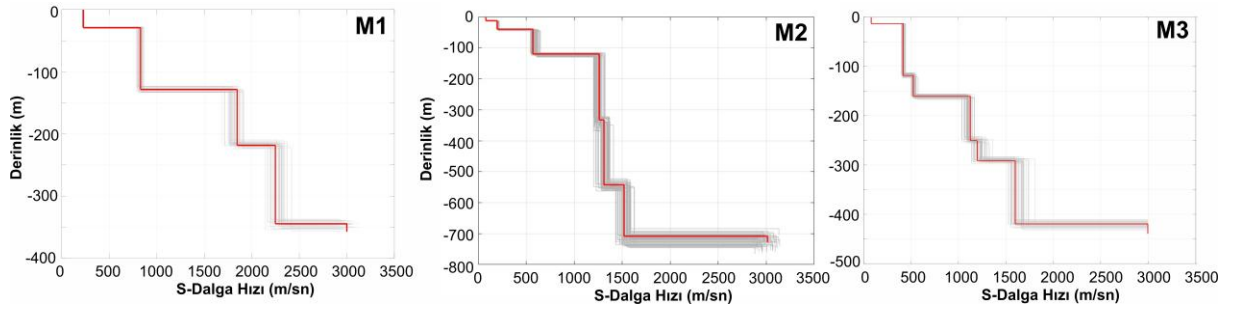


Şekil 7. Y/D Spektral Oran Eğrileri (Ölçülen ve Hesaplanan) (M1, M2 ve M3; mikrotremor ölçüm noktalarıdır).

Şekil 7’de gözlenen ölçülen ve hesaplanan Y/D spektral oran eğrileri ana rezonans bandında genel olarak iyi uyum göstermekte, sapmaların ise ağırlıklı olarak daha yüksek frekanslarda ( $\approx 3-12$  Hz) arttığı görülmektedir. Bu durum, HVSR ters çözümünün düşük frekanslarda daha derin yapıya duyarlı olması; yüksek frekansların ise sığ heterojeniteler, yerel etkiler ve sönüm parametrelerine daha duyarlı olması ile ilişkilendirildiğinde havza ölçeğinde yapılacak bir genel modelleme için derin hız yapısını

temsil etmede daha güvenilir, yüksek frekans bandında ise daha sınırlı temsil gücüne sahiptir. Hesaplamalar sonucunda en iyi model uyumunu sağlayan modelin misfit değeri 0.27-0.36 mertebesinde. Sonuç olarak, ters çözüm işlemleri en iyi uyumlu 1B Vs profillerinin tabakalı temsiline karşılık gelen 7 tabakalı parametre uzayı üzerinden yürütülerek Şekil 8’de tanımlanmıştır.

Yatay/Düşey (Y/D) Spektral Oran eğrisinin ters çözümü sonucunda elde edilen 1B S-dalga hızı profilleri, yüzeyden itibaren artan hız değerleriyle birlikte üç tabaka ayırt edilmesine olanak sağlamıştır (Şekil 8). Yaklaşık 150–530 m derinlik aralığında belirgin bir zemin–kaya geçiş yüzeyinin varlığı gözlenmiş olup, bu derinlikler mikrogravite verilerinden elde edilen ortalama tabaka sınırlarıyla uyumluluk göstermektedir. Grafik incelendiğinde (Şekil 8), tabaka derinlikleri yaklaşık olarak 30 m, 130 m ve 550 m olarak belirlenmiştir. İlk tabaka, çalışmanın hedef derinliğini temsil etmemekle birlikte, genlik spektrumu sonuçlarında açık biçimde izlenmemektedir. İki yöntem arasında çözünürlük ve hedef derinlikler farklı olduğu için elde edilen derinliklerin örtüşmesinden ziyade birbirini tamamlaması ve bir noktada da birbirini sağlaması hedeflenmiştir.



Şekil 8. Y/D Spektral Oran Eğrilerinin Ters Çözümünden Elde Edilen S-Dalga Hız Dağılımları (M1, M2 ve M3; mikrotremor ölçüm noktalarıdır).

Ayrıca çalışmanın bir sonraki aşamasında, elde edilen derinlik bilgileri modelleme için giriş parametresi olarak kullanılarak 2B bir yeraltı modeli oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle gravite ölçüm noktalarının en yoğun olduğu bölgeden geçen bir profil hattı (Şekil 3) boyunca sayısallaştırma yapılmış ve bu profilden elde edilen gravite anomalisi verileri kullanılarak Talwani modeli oluşturulmuştur (Şekil 9). Oluşturulan yeraltı modelinde katman yoğunlukları Bağıntı (7) aracılığıyla ampirik olarak belirlenmiş olup, sıgdan derine doğru sırasıyla 2.18 g/cm<sup>3</sup>, 2.64 g/cm<sup>3</sup> ve 2.76 g/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 9). Şekil 9’da mavi ok ile gösterilen mikrotremor ölçüm noktaları, HVSR ters çözümünde kullanılan 1B hız modellerinin temsil ettiği konumu ifade etmektedir. Bu noktada elde edilen S-Dalga Hızı dağılımı havza yapısına duyarlı olup, modelde havza tabanı derinliği sınırlandırılmasında kısıtlayıcı rol oynamaktadır.

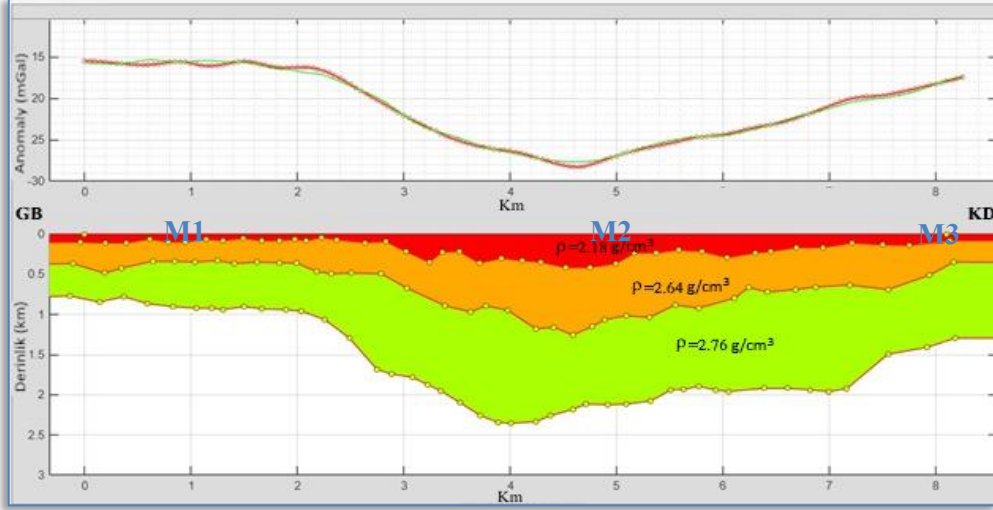
Profil hattı boyunca arazi çalışmalarından elde edilen “ölçülen gravite anomalisi” ile oluşturulan yer altı modeli sonucunda “hesaplanan gravite anomalisi” değerleri arasında RMS 0.21 olarak hesaplanmıştır.

## 5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, Batı Anadolu genişleme tektoniği içinde yer alan Datça grabeninin yeraltı yapısını mikrogravite ve mikrotremor yöntemleriyle inceleyen ilk detaylı jeofizik araştırmadır. Çalışma alanı olan Datça grabeninin yer aldığı Datça Yarımadası, hem Batı Anadolu genişleme rejimi içerisinde bulunması hem de sismik açıdan aktif bölgelerden olan Gökova Körfezi ve Ege Denizi tarafından çevrenmesi nedeniyle oldukça karmaşık bir tektonizmaya sahip bir bölgedir.

Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında (Proje no: 2020.KB.FEN.021) Datça grabeni ve yakın çevresinden alınan 213 bağılı mikrogravite verisine düzeltmeler uygulanarak Bouguer gravite anomalisi (Şekil 5) elde edilmiştir. Oluşturulan gravite anomalisi haritasında grabenin ortasında düşük değerlerin elde edilmesinin nedeni grabenin açılma tektoniğinden kaynaklı çökmelerden meydana gelmesi durumu ile uyumludur. Gravite değerlerindeki düşüşün GB doğrultuda artması graben tabanında (tavan bloğu) KD-GB doğrultuda bir eğime sahip olabileceğini göstermektedir. Bouguer gravite anomalilerinden elde edilen alansal genlik spektrumu (Şekil 6) ve

mikrotremor verisinin ters çözümünden elde edilen 1B S-dalga hızı dağılımı (Şekil 8) bilgileri birbirine yakın derinlik sonuçları elde edilmiştir. Oluşturulan Talwani modeli batıdan doğuya doğru denizel çökellerin daha kalın tabakalar halinde konumlandığı gözlenmektedir. Batıda 800 m seviyelerinde gözlenen tabaka graben merkezinde profil hattının 4. ve 5. km'lerinde 2500 m seviyelerine kadar ulaşmaktadır.



Şekil 9. Talwani modellemesi sonucunda elde edilen yeraltı modeli Mavi ok, mikrotremor ölçüm noktalarının (M1, M2 ve M3) yerlerini göstermektedir.

Bouguer gravite anomalilerinden elde edilen alansal genlik spektrumu (Şekil 6) ile mikrotremor verilerinin ters çözümünden elde edilen 1B S-dalga hızı dağılımı (Şekil 8) benzer derinlik sonuçları vermektedir. Ancak aradaki küçük farkın, yöntemlerin doğasından kaynaklandığı; mikrotremor verilerinin noktasal kestirimlere dayanmasına karşın mikrogravite yönteminin tüm alanı temsil eden derinlik hesaplamalarına dayanmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

Mikrogravite ve mikrotremor verilerinin birlikte değerlendirilmesi, Datça grabeninin çok katmanlı yapısını detaylı biçimde ortaya koymuştur. Mikrogravite yöntemi, derin yapının (yaklaşık 1900 m) genel geometrisini belirlerken; mikrotremor yöntemi, sığ birimlerin (150–530 m) ayrıntılı hız yapısını çözümlenmiştir. Sonuç olarak, graben tabanının kuzey kesimde daha dik ve derin, güney kesimde ise daha sığ eğimli olduğu gözlenmektedir. Böylece, Datça Grabeni'nin güneydeki Karaköy Fay Zonu'na göre kuzey sınırındaki Kızılan Fay Zonu'ndan daha çok etkinliği söylenebilir.

### Teşekkür / Destekleyen Kuruluş

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje No: 2020.KB.FEN.021) tarafından desteklenmiştir.

### Yazarların Katkı Oranı Beyanı

**Ayça Çırmık:** Araştırma, Veri Analizi, Özgün Taslak Yazımı, Gözden Geçirme ve Düzenleme, Proje Yönetimi; **Oya Ankaya Pamukçu:** Araştırma, Veri Analizi, Özgün Taslak Yazımı, Gözden Geçirme ve Düzenleme; **Metehan Uluğtekin:** Veri Analizi, Özgün Taslak Yazımı; Görselleştirme; **Özkan Cevdet Özdağ:** Veri Analizi, Özgün Taslak Yazımı; Görselleştirme; **Zülfikar Erhan:** Gözlem, Gözden Geçirme ve Düzenleme

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Bu makalenin yazarları çalışmalarında araştırma ve yayın etiğine uyduklarını beyan ederler.

## Etik Kurul Beyanı

Bu makalenin yazarları çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## Yapay Zeka Kullanımı

Yazarlar, bu makalenin yazımında, görsellerin, grafiklerin, tabloların ya da bunlara karşılık gelen başlıkların oluşturulmasında herhangi bir tür üretken yapay zeka kullanmadıklarını beyan ederler.

## Kaynakça

- Bignardi, S., Mantovani, A., & Zeid, N.A. (2016). OpenHVSr: imaging the subsurface 2D/3D elastic properties through multiple HVSr modeling and inversion. *Computers & Geosciences*, 93, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.05.009>
- Dirik, K. (2007). Neotectonic characteristics and seismicity of the Reşadiye Peninsula and surrounding area, Southwest Anatolia/Reşadiye Yarımadası ile çevresinin neotektonik özellikleri ve depremselliği, Güneybatı Anadolu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 50(3), 130-149. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/289319>
- Ersoy, Ş. (1991). Datça (Muğla) yarımadasının stratigrafisi ve tektoniği. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 34, 1-14. [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/cd4e8a2ce081c3d\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/cd4e8a2ce081c3d_ek.pdf)
- Ganas, A., Elias, P., Kapetanidis, V., Valkaniotis, S., Briole, P., Kassaras, I., Argyrakis, P., Barberopoulou, A., & Moshou, A. (2019). The 20 July 2017 M6.6 Kos Earthquake: Seismic and geodetic evidence for an active North-dipping normal fault at the western end of the Gulf of Gökova (SE Aegean Sea). *Pure and Applied Geophysics*, 176, 4177–4211. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02154-y>
- García-Jerez, A., Piña-Flores, J., Sánchez-Sesma, F. J., Luzón, F., & Pertou, M. (2016). A computer code for forward calculation and inversion of the H/V spectral ratio under the diffuse field assumption. *Computers & Geosciences*, 97, 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.06.016>
- Herak, M. (2008). ModelHVSr—A Matlab® tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. *Computers & Geosciences*, 34(11), 1514-1526.
- İnce, M.D. (2019). Magnetostratigraphy and Kinematic Characteristics of Datça graben (Muğla, SW Turkey). (Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Kahraman, B., Özsayın, E., Üner, S. & Dirik, K. (2013, Nisan). *Pliocene to Recent Tectonic Activity of the Reşadiye Peninsula and the Relationship Between the Recent Earthquakes Occurred in the Gulf of Gökova: Preliminary Results*. European Geosciences Union General Assembly (EGU2013), Viyana, Avusturya..
- Keçeli, A. (2012). Sismik hızlar ile saptanabilen zemin parametreleri. *Jeofizik Dergisi*, 26(1), 17-29.
- Kramer, S. L., & Stewart, J. P. (2024). *Geotechnical earthquake engineering* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003512011>
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1).
- Nakamura, Y. (1997, Kasım). *Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor*. World Congress on Railway Research in Florence, Floransa, İtalya.
- Oruç, B. (2012). Manyetik anomalilerin normalize tam gradyenti ile kaynak lokasyon ve derinlik kestirimi. *Yerbilimleri*, 33, 2 141–168. <https://izlik.org/JA75FM25RX>
- Özdağ, Ö. C., & Gönenç, T. (2020). Modeling stratigraphic structure of Menemen Plain-Izmir/Turkey by microgravity, passive seismic methods and examining its behavior under earthquake effect. *Journal of Applied Geophysics*, 182, 104175. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104175>

- Özsayın, E. (2016). Relative tectonic activity assessment of the Çameli Basin, Western Anatolia, using geomorphic indices. *Geodinamica Acta*, 28(4), 241-253. <https://doi.org/10.1080/09853111.2015.1128180>
- Özsayın, E., Üner, S., & Kahraman, B. (2021). Late Quaternary subsidence records from the Datça graben and Cnidus ancient city (SW Turkey): sea-level changes versus tectonics. *Geologica Acta*, 19, 1-14. <https://doi.org/10.1344/GeologicaActa2021.19.6>
- 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. *Journal of Balkan Geophysical Society*, 15, 19-30. [https://mail.balkangeophysoc.gr/online-journal/2012\\_V15/No\\_2\\_December/JBGS\\_Vol\\_15\\_2012\\_No2\\_December\\_p19-30\\_Ozyalin.pdf](https://mail.balkangeophysoc.gr/online-journal/2012_V15/No_2_December/JBGS_Vol_15_2012_No2_December_p19-30_Ozyalin.pdf)
- Pamuk, E., Gönenç, T., Özdağ, Ö. C., & Akgün, M. (2018). 3D bedrock structure of Bornova plain and its surroundings (İzmir/western Turkey). *Pure and Applied Geophysics*, 175(1), 325-340. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1681-0>
- Piña-Flores, J., Pertou, M., García-Jerez, A., Carmona, E., Luzón, F., Molina-Villegas, J. C., & Sánchez-Sesma, F. J. (2017). The inversion of spectral ratio H/V in a layered system using the diffuse field assumption (DFA). *Geophysical Journal International*, 208, 1, 577-588. <https://doi.org/10.1093/gji/ggw416>
- Pirttijärvi, M. (2009). *Grablox2-Gravity interpretation and modelling based using 3-D block models* (Version 2.0) [Computer software]. <https://sites.google.com/view/markkussoftware/gravity-and-magnetic-software/grablox-2>
- Roberts, J. C., & Asten, M. W. (2004). Resolving a velocity inversion at the geotechnical scale using the microtremor (passive seismic) survey method. *Exploration Geophysics*, 35(1), 14-18. <https://doi.org/10.1071/EG04014>
- Sboras, S., Lazos, I., Mouzakiotis, E., Karastathis, V., Pavlides, S., & Chatzipetros, A. (2020). Fault modelling, seismic sequence evolution and stress transfer scenarios for the July 20, 2017 (MW 6.6) Kos-Gökova Gulf earthquake, SE Aegean. *Acta Geophysica*, 68, 1245-1261. <https://doi.org/10.1007/s11600-020-00471-8>
- Spector, A., & Grant, F.S. (1970). Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35, 293-302.
- Şimşek, B., Ergin, M., Evren, M., Türkmen, Ö., Palas, S., Pehlivan, H., Aydemir, B. S., & Öcal, F. (2017). Grain size, total heavy mineral and element distribution of actual sediments on bottom of Hisarönü and Datça bays and its control factors. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 154, 59-82. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.304502>
- Talwani, M., Worzel, J. L. & Landisman, M. (1959). Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocine Submarine Fracture Zone. *Journal of Geophysical Research*, 64, 49-61. <https://doi.org/10.1029/JZ064i001p00049>
- Tunçel, A., Özdağ, Ö. C., Pamuk, E., & Akgün, M. (2019). Calculation of the soil dynamic amplification factor values by using microtremor data: a case study in Izmir (North). *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(1), 43-52. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416459>
- Tur, H., Yaltrak, C., Elitez, İ. & Sarıkavak, K. T. (2015). Pliocene-Quaternary tectonic evolution of the Gulf of Gökova, southwest Turkey. *Tectonophysics*, 638, 158-176. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.11.008>
- 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>
- Wathelet, M., Chatelain, J. L., Cornou, C., Giulio, G. D., Guillier, B., Ohrnberger, M., & Savvaidis, A. (2020). Geopsy: A user-friendly open-source tool set for ambient vibration processing. *Seismological Research Letters*, 91(3), 1878-1889. <https://doi.org/10.1785/0220190360>
- Yıldırım, C., Aksoy, M. E., Özcan, O., İşiler, M., Özbey, V., Çiner, A., ... & Schneiderwind, S. (2022). Coseismic (20 July 2017 Bodrum-Kos) and paleoseismic markers of coastal deformations in the

Gulf of Gökova, Aegean Sea, SW Turkey. *Tectonophysics*, 822, 229141.  
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.229141>