

TOPEX V28.1 gravite verilerinin denizler hariç ana kara genelinde kullanılabilirliği; Batı Anadolu örneği.

Availability of TOPEX V28.1 gravity data across the continent excluding seas; A case study, Western Anatolia example.

Tolga GÖNENÇ^{1*} 

¹Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
tolga.gonenc@deu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 17.02.2020
Kabul Tarihi/Accepted: 06.10.2020

Düzeltilme Tarihi/Revision: 05.10.2020

doi: 10.5505/pajes.2020.32654
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Yer bilimlerinde yerinde ölçümün mümkün olmadığı yerlerde uydu verileri çok önemli araçlardır. Özellikle gravite verileri gömülü yapıların, yanıl yönlü ortam değişikliklerinin tespitinde önemli jeofiziksel yöntemlerdendir. Günümüzde birçok küresel uydu modelleri benzer problemlerin çözülmesinde kullanılmaktadır. TOPEX V28.1 veri seti diğer modellere göre çok daha sık örnekleme aralığına sahiptir. Fakat genel uygulamada elde edilen veri seti serbest hava anomalisi değerleridir. Bu nedenle uygulamacılar kara verilerinin değerlendirilmesinde bu veri setini tercih etmemektedirler. Bu çalışmada örnekleme aralığının daha sık olması nedeniyle TOPEX V28.1 veri setinden Bouguer Gravite Anomali değerlerinin hesaplanması hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar EGM08 ve WGM 2012 sonuçları ile karşılaştırılmış uyumları denetlenmiştir. Güç spektrumu yöntemi ile hesaplanan derinlikler irdelenmiş, yanıl yönlü türev sonuçları ile karşılaştırıldıktan sonra 3 Boyutlu (3-B) Euler derinlik uygulamaları ile Batı Anadolu genel tektonik yapısı içinde sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Uydu gravite verileri, TOPEX, Güç spektrumu, Batı Anadolu, Euler.

Abstract

In geosciences, satellite data are very important, where in-situ methods cannot be applicable. Especially the gravity data are very important for investigating the buried structures and discovering the changes of subterranean media alongside laterally. Nowadays, many global satellite models are used for solving these problems. The TOPEX V28.1 data set has a much more frequent sampling interval than other models. However, the TOPEX data set obtained in the general application is free air anomaly values. For this reason, researchers do not prefer TOPEX dataset for evaluation. In this study the target is using of TOPEX data set, which has a much more frequent sampling interval, to obtain Bouguer gravity values. These calculated new Bouguer gravity results have been compared with the results of the EGM08 and WGM2012 models to check coherence. The depth values which calculated by using the power spectrum method were investigated the findings have been compared with the result of the horizontal derivatives and finally findings of the general tectonic of the western Anatolian which obtained by using 3-D Euler depth solutions were discussed.

Keywords: Satellite gravity data, TOPEX, Power spectrum, Western Anatolia, Euler.

1 Giriş

Günümüzde farklı gravite modelleri küresel bazlı birçok fenomenin çözümlenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle ağır topoğrafya nedeniyle yerinde ölçüm yapılamayan lokasyonlarda kalın sediman ve birikim alanlarının altında kalan gömülü yapıların haritalanmasında, yapısal sınırların belirlenmesinde uydu gravite yöntemi çok güçlü bir araçtır.

Uydu gravite modellerinin oluşturulmasında kaynaklara bağlı olarak farklı birçok model oluşturulmuştur. Sadece uydu bazlı EIGEN05S, GGM03S, IT-GRACE03S gibi modeller olduğu gibi karasal verilerin entegrasyonu ile elde edilen EGM96, GGM02C, EIGEN-05C, EGM2008 gibi modellerde mevcuttur. NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) Yerküre Gravite modeli geliştirme ekibi, çalışmalarında ayrıntılı olarak EGM 08'i tanımlamışlardır [1]. Bu modelde bölgesel Serbest Hava Anomalisi ve Bouguer gravite anomalisi değerleri ortalama 2.5x2.5 arc dk.'lık kareleme ile hesaplanmıştır. Bouguer düzeltmesinde ortalama yoğunluk 2.67 g/cm³ olarak seçilmiş ve Fuller ve diğ. [2] çalışmasında sunulmuş olan FA2BOUG yazılımı bu modelin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Bouguer gravite, serbest hava ve izostatik hesaplamalarının küresel geometri içinde global anlamda daha yüksek

çözünürlükte içeren bir diğer model olan WGM2012 modeli, BGI (Bureau Gravimétrique International-<http://bgi.obs-mip.fr/en>) tarafından Dünya Jeoloji Haritası Komisyonu (CGMW), UNESCO, Uluslararası Jeodezi Birliği (IAG), Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği (IUGG) gibi kuruluşlarla iş birliği yapılarak sunulmuştur. WGM 2012 modeli EGM08 ve DTU10 [3],[4] modellerinden elde edilmiş olup ETOPO1 modelinden elde edilen 1'x1' çözünürlükte topoğrafya düzeltme değerlerini içermektedir [5],[6].

Bu yayının konusu olan TOPEX veri setinin oluşturulma süreci diğerlerine göre daha parçalı bir dönemi içermektedir. 2001 yılında Jason-1 uydusu, ömrünü tamamlayan TOPEX (TOPOgraphy EXperiment)/Poseidon uydusunun yerini almak üzere aktive edildi. 406 günlük jeodezik görev süresini takip eden 4 gün içinde Jason-1 uydusu da görev dışı kaldı [7]. Takip eden 2002 senesinden itibaren sürekli veri toplayan ENVISAT uydusu ise 2012 senesinde devre dışı kaldıktan sonra CryoSat-2 ise Şubat 2010 tarihinde yörüngede aktive edilmiştir ve buzullar, ana kara ve okyanuslar üzerinde Temmuz 2010'dan itibaren veri toplamaktadır [8]. Sandwell ve diğ. [9] Meksika Körfezi'nde yapmış oldukları çalışmalarında CryoSat-2 ve Jason-1 uydularından elde edilen verileri birleştirerek elde ettikleri sonuçların daha önceki modellerden 2 kat fazla doğruluk içerdiğini söylemişlerdir. Kullanmış oldukları V21

*Yazışılan yazar/Corresponding author

gravite modeli mevcut tüm altimetre (ERS-1 dahil olmak üzere CryoSat-2, Envisat, Jason-1) verilerini içermektedir [9]. Bu çalışmada 1'x1' grid aralığına sahip olması nedeniyle (Tablo 1) https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi linkinden alınan Topex V28.1 veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti serbest hava anomali değerlerini içermesi nedeniyle ana kara değerlendirmelerinde tercih edilmemektedir. Fakat veri örnekleme sıklığının fazla olması önemli bir noktadır. Bu çalışmanın ana amacı ise, TOPEX veri seti kullanılarak, bu veri setinin verimliliğinin Batı Anadolu tektoniği kapsamında değerlendirilmesidir.

Tablo 1. Modellerin kareajlama miktarları.

Table1. Gridding values of models.

Model	Grid (dk.)	Derece	kmxkm Yaklaşık
EGM08	2.5	0.041666	4.6295
WGM12	2	0.033333	3.7037
TOPEX	1	0.016666	1.8517

2 Bölge jeolojisi ve tektoniği

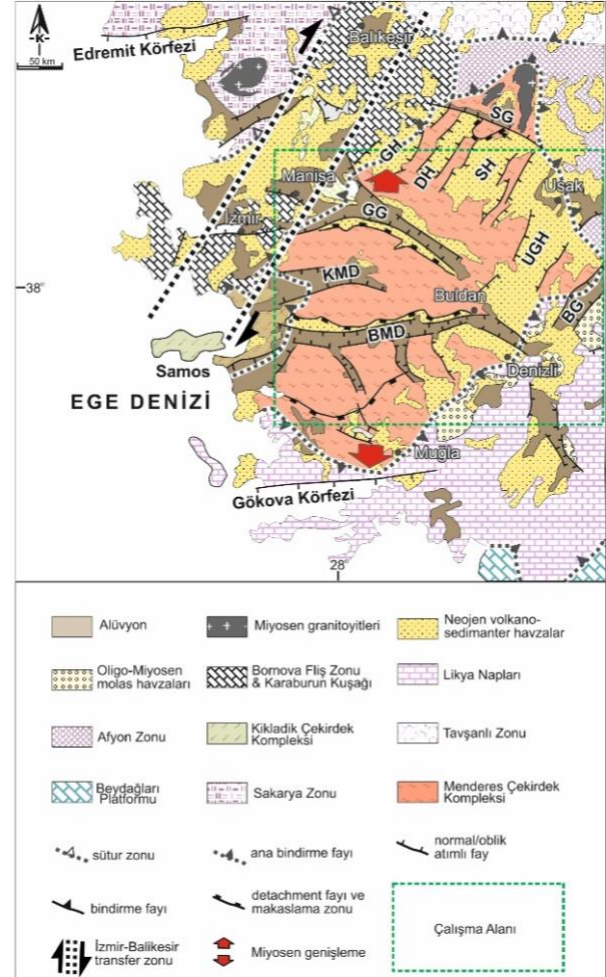
Batı Anadolu dünya genelinde en hızlı deforme olan ve genişleme rejimi içinde dinamik bir bölge olup bu bölge genelinde doğu-batı (D-B) ve kuzey-güney (K-G) yönlü iki ana basen trendi mevcuttur [10]. Bölge erken Miyosenden günümüze kadar genişleme mekanizmasına sahip olup önce üst mantoda bir yükselme devamında kabukta incelleme sonucu kuzey-güney doğrultulu genişleme tektoniği etkisinde şekillenmiştir [11]. Günümüzde bu genişleme 30-40 mm/yıl'dır [12],[13]. Yaklaşık doğu batı uzanımlı graben sistemleri ve bölgenin doğusu ile batısı arasındaki genişleme hız farkından dolayı meydana gelen İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ) bölgenin en önemli tektonik mekanizmalarındandır (Şekil 1) [14],[15].

Bölgede gözlenen horst graben sistemlerine Batı Anadolu bölgesindeki K-G yönlü bir açılma rejiminin sebep olduğu konusunda fikir birliği olmasına karşın bu bahsedilen açılma rejimine neden olan mekanizma konusunda farklı modeller ortaya konmuştur. Bu fikir çeşitlilikleri sonucunda bölgedeki genişlemeye sebep olabilecek bu modeller sırasıyla tektonik kaçış modeli [16], orojenik çökeltme modeli [10], yay-arkası açılma modeli [17] ve iki evreli grabenleşme modelidir [18]-[20].

Bu bölgenin önemli düzlükleri sırasıyla Büyük ve Küçük Menderes Grabenleri, Gediz Grabeni ve Denizli Basenidir. Doğrultusu yaklaşık D-B yönlü olan Büyük Menderes Grabeni'nin uzunluğu 124 km, genişliği ise kuzey güney yönlü olarak ortalama 9 km civarındadır [21]. Bu graben sistemi, Buldan'ın doğusunda Gediz Grabeni ile kesişerek Sarayköy mevkiinden itibaren yaklaşık 7-9 km genişliğe ve 62 km uzunluğa sahip Denizli Havzası'nı oluşturmaktadır [22]-[24]. Denizli Havzası güneyde 2000 m yüksekliğe sahip, kuzeyde 700 m yüksekliğe sahip topoğrafik yükseltilerle sınırlıdır. Gediz Grabeni yaklaşık KB-GD uzanımlı olup Menderes Çekirdek kompleksinin kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 1).

Kabuk kalınlığı Batı Ege'de yaklaşık 20 km'nin altındayken Menderes Masifi'nin doğu kenarında 40 km ye kadar bu kalınlık değeri artmaktadır [25]-[30]. Bunun yanı sıra, Menderes Masifinde, yaklaşık 30 km kalınlığında, sismolojik olarak nispeten sakin bir alan mevcuttur (Şekil 1 ve Şekil 2) [31]. Bölgede rift türü Kuvaterner volkanizma ve yüksek ısı akışı belirtileri vardır.

Batı Anadolu Bölgesi'nin başlıca jeolojik unsurları; Metamorfik topluluklar, Neojen havza çökelleri, Oligo-Miyosen'den başlayıp Kuvaterner'e kadar aralıklarla gelişimini sürdürmüş magmatik topluluklar, D-B doğrultulu graben havzaları ve Ege denizel ortamlarıdır. Ege bölgesinin en yaygın jeolojik birimi, Neojen çökelleri olup [32], Batı Anadolu jeolojik haritası incelendiğinde graben alanlarında yüzeyde mostra vermiş alüvyon ve Neojen volkano-sedimanter birimler geniş bir alana yerleşmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanına ait genel tektonik ve jeolojik birimler.

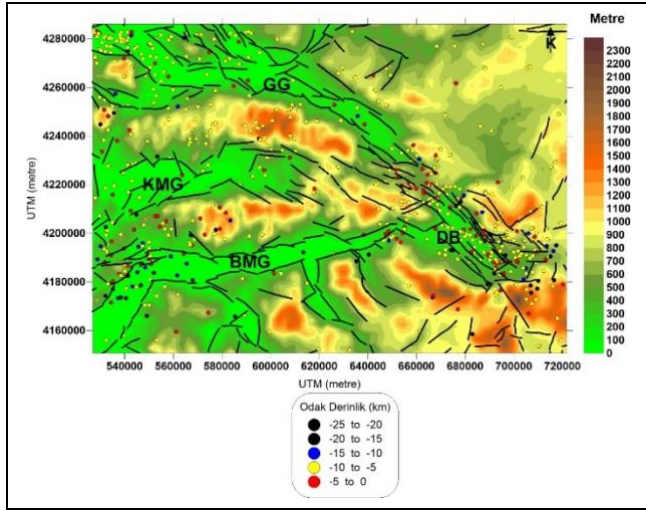
KMD: Küçük Menderes Grabeni, BMD: Büyük Menderes Grabeni, GG: Gediz Grabeni, BG: Baklan Grabeni, UGH: Uşak Güre Havzası, SH: Selendi Havzası, SG: Simav Grabeni, DH: Demirci Havzası, GH: Gördes Havzası (Sözbilir ve diğ. [33]'ten düzenlenmiştir).

Figure 1. General tectonic and geological units of the study area.

KMD: Küçük Menderes Grabeni, BMD: Büyük Menderes Grabeni, GG: Gediz Grabeni, BG: Baklan Grabeni, UGH: Uşak Güre Basin, SH: Selendi Basin, SG: Simav Graben, DH: Demirci Basin, GH: Gördes Basin (revised from Sözbilir et al. [33]).

Bölge morfolojisi incelendiğinde K-G yönlü horst-graben yapısı genelinde 2350 m yüksekliğe kadar ulaşan yükseklikler ve deniz seviyesinden 400 m yukarıda bulunan graben sistemleri bölgenin oluşumunda önce bir yükselimin ve sonrasında grabenlerin oluştuğunun işaretidir [11] (Şekil 2). Alan genelinde Gediz grabeni, Küçük Menderes Grabeni, Büyük Menderes Grabeni ve Denizli Baseni çevresindeki depremselliklerde odak derinliklerinin büyük oranda 10 km

derinliğe kadar ulaştığı çok daha az oranda ise 15 km ve daha derin depremlerin bölge genelinde gözlemlendiği görülmektedir (Şekil 2).

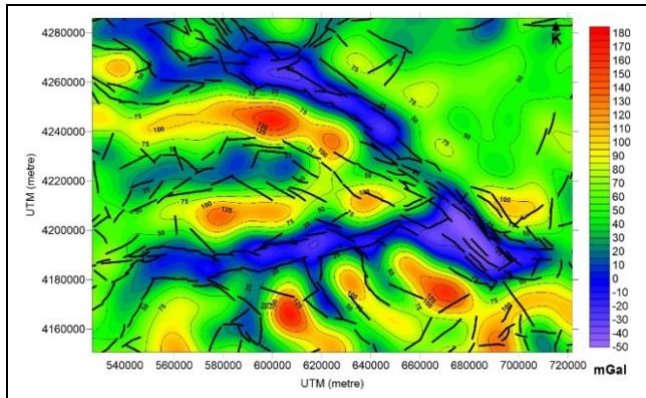


Şekil 2. Çalışma alanına ait topoğrafya haritası (Smith ve diğ. [34] kullanılarak oluşturulmuştur), faylar [35] ve deprem odak lokasyonlarının genel görünümü (USGS 1900-2019 3.5>M). (GG: Gediz Grabeni, KMG: Küçük Menderes Grabeni, BMG: Büyük Menderes Grabeni, DB: Denizli Baseni).

Figure 2. Topography map of the study area (created using Smith et al. [34]), faults [35] and general view of earthquake focal locations (USGS 1900-2019 3.5> M) (GG: Gediz Grabeni, KMG: Küçük Menderes Grabeni, BMG: Büyük Menderes Grabeni, DB: Denizli Basini).

3 Gravite verilerinin analizi

EGM08, WGM2012 veri setleri yaygın olarak gömülü yeraltı yapılarının analizinde doğrudan kullanılabilir. Ancak TOPEX V28.1 veri seti serbest hava anomali olması nedeni ile ana kara genelinde elde edildiği haliyle kullanılmamaktadır. Bu durum Bouguer değerlerinin ayrıca hesaplanmasını gerektirmektedir. Aksi takdirde denizden karaya geçildiğinde ve bu hesaplama yapılmadığı zaman topoğrafya değerleri arttıkça gravite anomali değerleri de artacaktır. Elde edilen harita incelendiğinde topoğrafya ile doğrusal ilişkisi açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 2, Şekil 3).



Şekil 3. TOPEX verilerinden elde edilen Serbest Hava Anomali Haritası. Faylar [35] esas alınarak yerleştirilmiştir.

Figure 3. Free Air anomaly Map obtained from TOPEX data. Faults were placed on the basis by using [35].

Bu nedenle yine aynı veri seti kapsamında bulunan topoğrafya değerleri kullanılarak ortalama yoğunluk 2.67 g/cm³ seçilmiş ve Bouguer gravite değerleri ayrıca hesaplanmıştır.

Çalışmada EGM08, WGM2012 ve TOPEX verileri kullanılarak Batı Anadolu'ya ait Bouguer gravite haritaları oluşturulmuş sonra elde edilen Bouguer gravite anomali haritalarının genel tektonik ile olan uyumu irdelenmiştir. Bu ilksel irdelmeden sonra, çalışma alanına ait yapısal derinlik değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Yapısal derinliklerin hesaplanmasında FourPot [36] programı kullanılmıştır. Fourpot programı içeriği dahilinde iki-boyutlu (2-B) bir alansal veri üzerinde, 2-B Fourier dönüşümü yapılarak radyal dalga sayısına dayanan ve genliklerin güç aktarımı olmadan derinlik tayin hesabı olanağı sunmaktadır [37],[38].

Programda;

$$A = |F| = \sqrt{(Re(F)^2 + Im(F)^2)} \quad (1)$$

şeklindeki genlik spektrumu ifadesine kadar 2-B profil bazlı güç spektrumundan farklı olarak iki bileşenli bir dalga sayısı hesabı elde edilmesi gereklidir. Bu nedenle dalga sayısı, bileşenlerin kareleri toplamının karekökü şeklinde hesaplanmaktadır.

kr ; alansal dalga sayısı, h ; derinlik olmak üzere,

$$kr = \sqrt{kx^2 + ky^2} \quad (2)$$

Frekans ortamında anomaliye sebep olan kaynak üst derinliğini elde etmek için,

$$-h.k = \text{Log}(F/C) \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir.

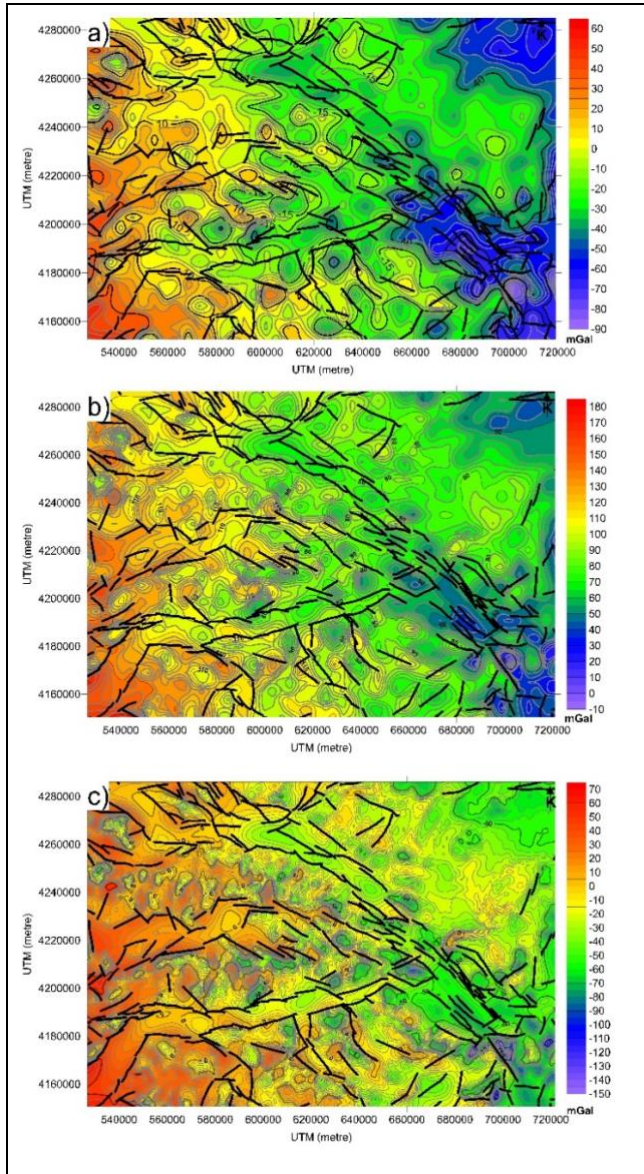
Tablo 1'de verilen örnekleme aralıkları temel alınarak elde edilen 5 mGal kontur aralığına sahip EGM08, WGM 2012 ve TOPEX Bouguer Gravite Anomali Haritaları incelendiğinde her ne kadar anomali yerleşim karakteristikleri birbirine benzese de TOPEX Bouguer gravite anomali haritasında Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes Grabenleri ile Denizli basenine ait anomali yerleşimleri ve uzanımları daha belirgin olarak gözlenebilmektedir (Şekil 4). EGM08, WGM 2012 tabanlı haritalar TOPEX Bouguer gravite haritasına göre daha reyonel bir sonuç üretmişlerdir.

Alansal güç spektrumu sonuçlarına göre EGM08 ve WGM 2012 veri setlerinde üç ara yüzey bilgisi elde edilirken TOPEX uydu verilerinden elde edilen alansal güç spektrumu sonuçları da dört ara yüzey derinlik bilgisi elde edilmiştir (Şekil 5).

Her üç veri setine ait alansal güç spektrumu sonuçları irdelendiğinde, EGM08, WGM 2012 ve TOPEX V28.1 veri setlerine ait en derin yapısal sınırların sırasıyla 32.8 km, 33.4 km, 33.4 km civarında olduğu hesaplanırken bu sınırı takip eden daha sığ yapısal sınırların 12.1 km, 12.9 km, 14 km civarında ve 4.9 km, 4.2 km, 4.5 km derinliklerde olduğu hesaplanmıştır (Şekil 5). TOPEX V28.1 veri setinde ayrıca EGM08 ve WGM 2012 de gözlenmeyen en sığ yapı sınırı ayrıca 2.8km olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular Akay ve diğ.'nin yapmış olduğu çalışmanın sonuçları [30] ile uyumlu olup TOPEX verilerinin gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra ana kara değerlendirilmelerinde de kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

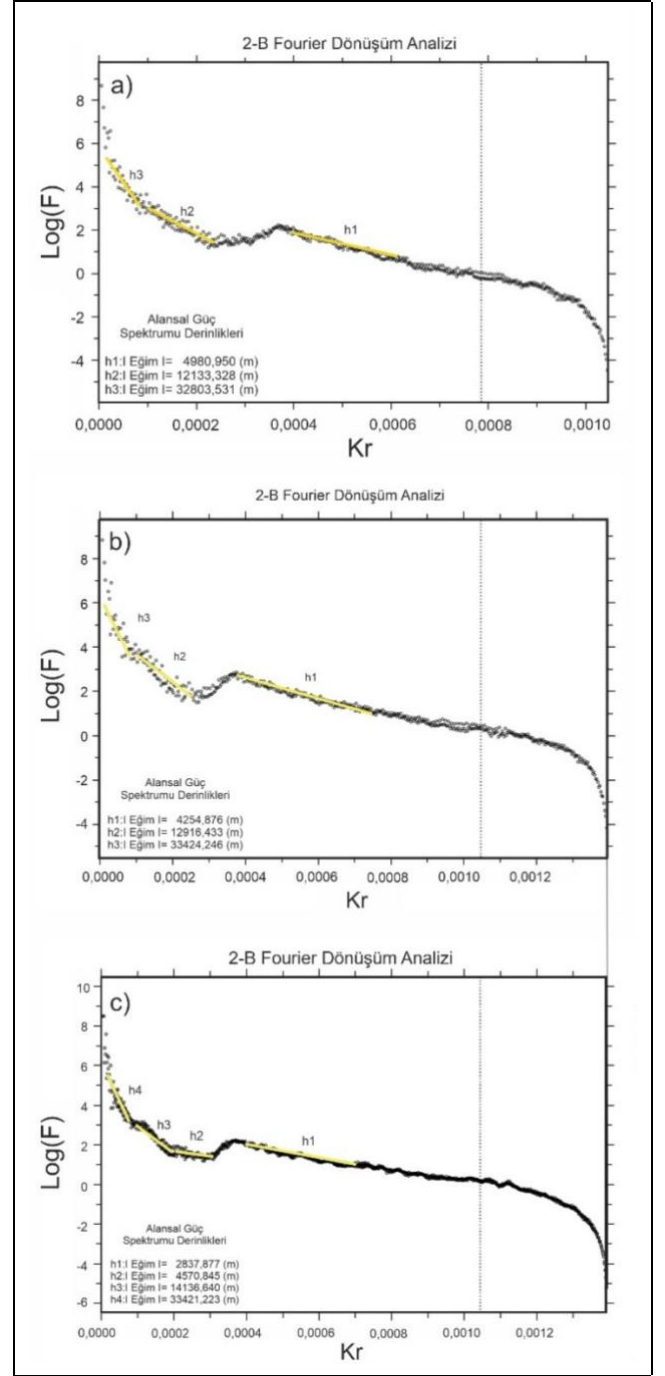
Horst-Graben sistemi ile karakterize olan çalışma alanında TOPEX V28.1 veri seti kullanılarak elde edilen Bouguer gravite haritası genelinde anomaliler maksimum 80 mGal ile minimum -150 mGal arasında karakterize olmuştur (Şekil 4c). Harita genelinde D-B yönlü yüksek genlikli anomaliler ve K-G uzanımlı düşük genlikli anomalilerin yerleşimi bölge havza sınırlarını oluşturan baskın fay sisteminin [35] karakteristiği uyumludur (Şekil 4c). Gediz grabeni, Küçük Menderes Grabeni, Büyük Menderes Grabeni ve Denizli Baseni belirgin şekilde harita genelinde gözlenmektedir (Şekil 4c).

Gömülü jeolojik yapıların belirlenmesinde farklı sınır analizi yöntemleri kullanılmaktadır [39],[40]. Çalışmanın bu aşamasında TOPEX verilerinden hesaplanan Bouguer gravite anomali haritasında gözlenen yapısal sınırların sürekliliği ve uyumlarının var olan tektonik izler ile uyumunu görmek için yönlü türev uygulaması yapılmıştır. Yönlü türevlerin elde edilmesinde FourPot [41] yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 4(a). EGM 08. (b): WGM 2012. (c): TOPEX uydu verilerinden elde edilen Bouguer Gravite Anomali haritası.

Figure 4. Gravity anomaly maps obtained from a) EGM 08, b) WGM 2012, c) Bouguer TOPEX satellite data.



Şekil 5(a): EGM 08. (b): WGM 2012 ve (c): TOPEX uydu verilerinden elde edilen alansal güç spektrumu sonuçları.

Figure 5. Radial power spectrum results obtained from a) EGM 08, b) WGM 2012 and c) TOPEX satellite data.

Program yönlü türev uygulamasında Blakely (1995)'i temel almaktadır [42]. Sürekli bir $f(x)$ fonksiyonun birinci derece türevinin Fourier dönüşümü $F(k_x)$ olup Blakely, (1995)'e göre [42];

N ve M: x ve y yönündeki veri adedi olmak üzere

$$F(k_x) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-ik_x} f(x) dx \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-ik_x F(k_x)} dk_x \quad (5)$$

Olarak ifade edilir ve ayrık iki boyutlu veriler için

$$f_{kl} = f(x_k, y_l) \Rightarrow$$

$$F_{nm} = \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N e^{-2\pi i \left(\frac{nk}{N} + \frac{ml}{M} \right)} f_{kl} \quad (6)$$

$$f_{kl} = \frac{1}{NM} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} e^{+2\pi i \left(\frac{nk}{N} + \frac{ml}{M} \right)} F_{nm}$$

şeklinde tanımlanmaktadır [50].

Elde edilen "y" yönlü türev haritasında elde edilen D-B yönlü uzanan maksimum minimum anomali bulgu çizgisellikleri ve uzanımları belirgin şekilde tanımlanmış olan fay sistemleri ile son derece uyumlu bir görünüm vermektedir (Şekil 6).

Bu bakış açısı ile "x" yönlü türev haritasında ise grabenleri yaklaşık D-B hattı boyunca sınırlayan genel fay bulguları yerine daha lokalize büyüklükte kuzey güney yönlü kısa dalga boylu fakat D-B ardalanmalı sınır bölgelerinin varlığı göze çarpmaktadır (Şekil 7). Jeotermal kuyularının da her iki türev uzanımlarının yaklaşık kesiştiği noktalarda lokalize olduğu görülmektedir.

Yönlü türev sonuçlarına göre TOPEX veri setinden elde edilen Bouguer gravite anomali haritası literatürde bilinen alana hâkim bölge morfolojisi ile ilişkili tektonik elemanların [35] izleri ile uyumlu sonuçlar vermiştir.

Bu bakış açısı ile bu yapısal elemanların temel derinlikleri ve yüzey altı yerleşim uzanımlarını belirlemek için Thomson [44] ve Reid ve diğ. [45] çalışmalarında kullanılan Euler yöntemi bu çalışmanın son aşamasında kullanılmıştır. 3-B Euler yöntemi oldukça hızlı derinlik tayini yapan bir yöntem olup anomalilere neden olan kaynak derinliğinin yanı sıra yapısal sınırlar, fay hatları ve/veya kaynak tiplerinin tanımlanmasında da kullanılmaktadır.

Herhangi bir üç-boyutlu (3-B) fonksiyon

$$f(tx, ty, tz) = t^n f(x, y, z) \quad (7)$$

$$x \frac{\partial f}{\partial x} + y \frac{\partial f}{\partial y} + z \frac{\partial f}{\partial z} = n f \quad (8)$$

İle verilir.

$f(x, y, z)$ ve n : homojenlik derecesi olmak üzere,

Gravite ve manyetik veriler için Euler homojenlik eşitliği

Euler eşitliği;

$$(x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial T}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial T}{\partial z} = N(B - T) \quad (9)$$

şeklinde yazılır.

Burada;

N : Yapısal indeks

T : uzay ortamında (x, y, z) konumunda gözlemsel yerçekimi veya manyetik alanıdır.

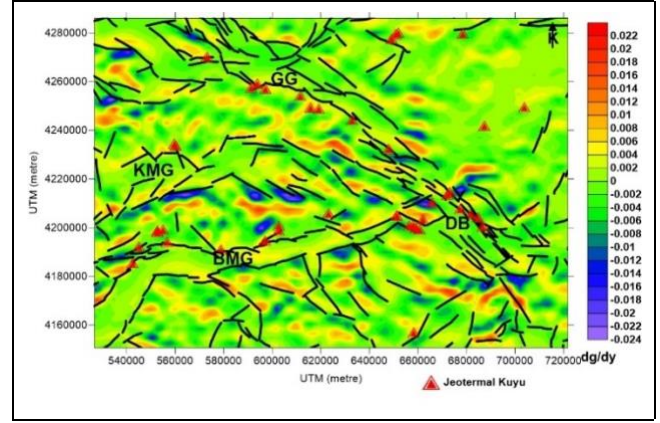
Yöntemin uygulanabilirliği ve verimli sonuçları farklı çalışmalarda sunulmuştur [46]-[49]. 3-B Euler uygulamasında

Yapısal İndeks değeri (Tablo 2) çalışma amacına göre seçilmelidir.

Tablo 2. Euler Yapısal İndeks tanımları [44],[45].

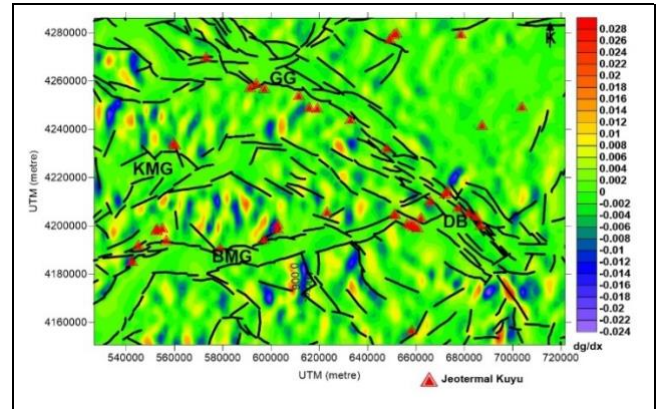
Table 2 Euler structural index definitions [44],[45].

Yapısal İndeks	Gravite Alanı	Manyetik Alanı
0	Sill/Dayk/Basamak	Dokanak
1	Yatay Silindir/Boru	Sill Dayk
2	Küre	Yatay Silindir
3		Küre



Şekil 6. TOPEX Bouguer gravite anomali haritasından elde edilen "y" yönlü yanıl türev haritası ve bölge geneli tanımlı fayların lokasyonları [35]. Jeotermal kuyular [43] esas alınarak yerleştirilmiştir. GG: Gediz Grabeni, KMG: Küçük Menderes Grabeni, BMG: Büyük Menderes Grabeni, DB: Denizli Baseni.

Figure 6. The "y" directed lateral derivative map obtained from the TOPEX Bouguer gravity anomaly map with the locations of the defined faults [35] and Geothermal wells [43]. GG: Gediz Graben, KMG: Küçük Menderes Graben, BMG: Büyük Menderes Graben, DB: Denizli Baseni.



Şekil 7. TOPEX Bouguer gravite anomali haritasından elde edilen "x" yönlü yanıl türev haritası ve bölge geneli tanımlı fayların lokasyonları [35]. Jeotermal kuyular [43] esas alınarak yerleştirilmiştir. GG: Gediz Grabeni, KMG: Küçük Menderes Grabeni, BMG: Büyük Menderes Grabeni, DB: Denizli Baseni.

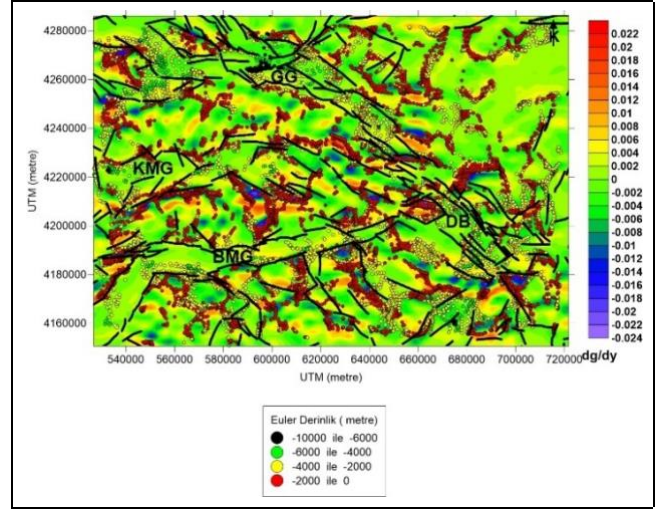
Figure 7. The "x" directed lateral derivative map obtained from the TOPEX Bouguer gravity anomaly map with the locations of the defined faults [35] and Geothermal wells [43]. GG: Gediz Graben, KMG: Küçük Menderes Graben, BMG: Büyük Menderes Graben, DB: Denizli Baseni.

Çözümlerde doğruluk oranının yüksek olması seçilen yapısal indeks değerine bağlı olarak hesaplama sonuçlarında noktasal kümelenmelerin uygun dağılım göstermesi ile değerlendirilebilir. Gravitede eğer yapısal indeks 1 seçildiyse noktasal çözümlerin bir çizgisellik göstermesi gerekirken, 2 seçildiği zaman ise çözümlerin dairesel kümelenme karakteristiği içinde olması beklenir. Bu çalışmada yapısal indeks 1, pencere boyu 10 ve %15 derinlik toleransı seçilerek elde edilmiş olan Euler derinlik sonuçlarında 2000 m kadar yapısal derinliklerin alan genelinde hakim olduğu ve derinlik lokalizasyonlarının çizgiselliğinin hâkim tektonik yapı ile uyumlu olduğu görülmektedir. Daha derinde 2000-4000 m arasında sarı renk ile tanımlanan derinlik sonuçları mevcut olup elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda yüzeyleme vermeyen ve tanımlanmamış olan olası kırık sistemlerinin veya kontak noktalarının varlıkları alan genelinde gözlenmektedir (Şekil 8, Şekil 9). “y” ve “x” yönlü türev haritalarında da Euler derinlik sonuçlarının var olan sistemler ile uyumu net bir şekilde görülmektedir. Şekil 1’de tanımlanmış olan Demirci Havzası, Selendi Havzası ve Uşak Güre Havzası’na ait 3-B Euler derinlik, “y” yönlü türev ve “x” yönlü türev haritalarının ortak bulguları da Şekil 8 ve 9’da haritanın kuzey doğusunda ortalama 4000 m derinliğe kadar uzanan yapısal bir cevabını göstermektedir.

4 Tartışma

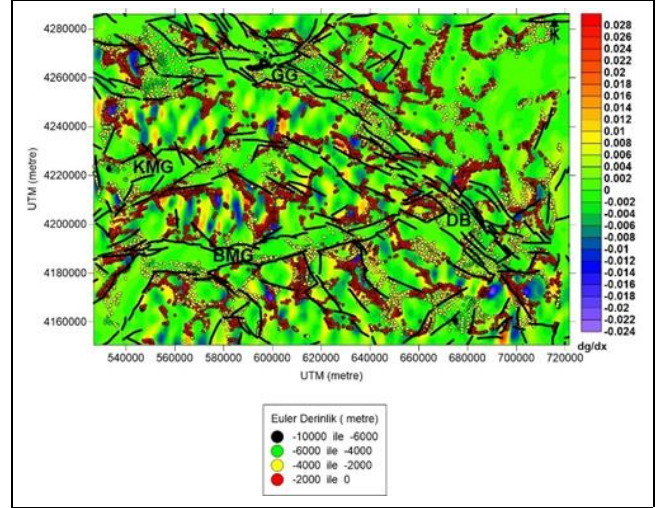
Akay ve diğ. [30] çalışmalarında güç spektrumu yöntemi ile çalışma alanında ortalama Moho derinliğini 34.5 km, Conrad süreksizliğini 13.1 km ve sediman kalınlığını ise 4.3 km olarak vermişlerdir. Conrad süreksizliği üst kıtasal kabuk ile alt kıtasal kabuk arasındaki sınır olarak tanımlanmış olup, kıtasal kabuğun içerisinde, yatay bir yönde sismik dalga hızının artış gösterdiği süreksizlik bölgesidir [49]. Genel olarak, bu sınırın derinlikleri 12-20 km arasında tanımlanmıştır [49]. Bu sınırın üstünde olan üst kabuk, feldispat ve kuvars minerallerince zengin magmatik kayalardan (granit vb.) oluşan sial (kıtasal kabuk) olarak tanımlanırken, alt kabuk ise magneziumca zengin mafik kayalardan (bazalt) oluşan sima (okyanusal kabuk) olarak tanımlanır. Okyanusal kabukta Conrad süreksizliği yoktur. Anadolu karası içinde bu sınırın ortalaması 16 km civarındadır [49]. Bu çalışma kapsamında da uygulanan güç spektrumu sonucunda TOPEX verilerinde Conrad süreksizliğine ait derinlik 14.1 km olarak hesaplanmıştır. Diğer iki veri seti dahil olmak üzere ortalama Conrad süreksizliğine ait derinlik 13 km’dir. Deprem odak derinlikleri değerlendirildiğinde de odak derinliklerinin %88.4’ü ilk 10 km lik derinlik içindedir. Bu göstermektedir ki 3.5 ve üzeri büyüklükte kaydedilen depremlerin büyük bir çoğunluğu kırılğan granitik üst kabuğun içinde vuku bulmaktadır. Pamukçu ve diğ. [50] çalışmalarında Batı Anadolu’nun Jeotermal potansiyeline ait sonuçlarda olası ısıtıcı kaynak ortamların 10 km ve daha derinde ve 18 km civarında olduğuna vurgu yapmıştır. Farklı araştırmacıların çalışmalarında Batı Anadolu’ya ait Curie derinlik noktalarının 8.3km ile 17.1 km arasında olduğu verilmiştir [25],[51],[52]. Tüm bu sonuçlar 10 km ve daha derinde sıcaklığın yükselmesi ile ilişkili olarak kırılğan ortam varlığının yok olması ile ilgili ilişkiyi ortaya koymaktadır.

Ozer ve diğ. [53] çalışmasında Batı Anadolu’ ait MOHO derinliğini tomografik modellerine bağlı olarak ortalama olarak 20km ile 30km arasında olduğunu söylerken, Akay ve diğ. [40] çalışmalarında Güç spektrumu hesaplarına bağlı olarak MOHO derinliğini 34.5 km olarak vermiştir.



Şekil 8. TOPEX Bouguer gravite anomali haritasından elde edilen “y” yönlü yanıl türev haritası genelinde tanımlı fayların lokasyonları [35] ve yapısal indeks 1 seçilerek elde edilmiş olan Euler derinlik sonuç dağılımları. GG: Gediz Grabeni, KMG: Küçük Menderes Grabeni, BMC: Büyük Menderes Grabeni, DB: Denizli Baseni.

Figure 8. Locations of defined faults [35] across the “y” directed lateral derivative map obtained from the TOPEX Bouguer gravity anomaly map and Euler depth result distributions obtained by selecting the structural index as 1. GG: Gediz Graben, KMG: Küçük Menderes Graben, BMC: Büyük Menderes Graben, DB: Denizli Basin.



Şekil 9. TOPEX Bouguer gravite anomali haritasından elde edilen “x” yönlü yanıl türev haritası genelinde tanımlı fayların lokasyonları [35] ve yapısal indeks 1 seçilerek elde edilmiş olan Euler derinlik sonuç dağılımları. GG: Gediz Grabeni, KMG: Küçük Menderes Grabeni, BMC: Büyük Menderes Grabeni, DB: Denizli Baseni.

Figure 9. Locations of defined faults [35] across the “x” directed lateral derivative map obtained from the TOPEX Bouguer gravity anomaly map and Euler depth result distributions obtained by selecting the structural index as 1. GG: Gediz Graben, KMG: Küçük Menderes Graben, BMC: Büyük Menderes Graben, DB: Denizli Basin.

Vanocore ve diğ. [54] ise Menderes Masifinde Moho derinliğini 25 km olarak vermiştir. Bu çalışmada EGM08, WGM 2012 ve TOPEX V28.1 verilerini kullanarak yapılan güç spektrumu uygulamasından elde edilen Moho derinlikleri sırasıyla 32.8 km, 33.4 km, 33.4 km olarak hesaplanmıştır.

Sarı ve Şalk [55] Büyük Menderes Grabeni ve Gediz Grabeni'nin gravite anomali verilerini incelemiş oldukları çalışmada gravite anomali haritasından aldıkları 2-B'lu profillerin modellenmesinden Büyük Menderes Grabeninde sediman kalınlığını 2.5 km-3.5 km arasında Gediz Grabeninde ise sediman kalınlığını 0.5-2 km olarak hesaplamışlardır. Altunoğlu ve diğ. [56] çalışmalarında maksimum sediman kalınlığının 4.1km'ye kadar ulaştığını ve yine üst alt kabuk arasındaki sınırın 9 km civarında olduğunu sunmuşlardır. Akay ve diğ.'nin [30] yaptıkları çalışmada sediman kalınlığı 4.3 km olarak verilirken, Çifçi ve diğ. [27] Büyük Menderes Grabeninde yaptıkları çalışmada 2-3 km, 5-7 km ve 10-17 km arasında yapısal değişimlerin olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma kapsamında da EGM08, WGM 2012 verilerinden farklı olarak güç spektrumu uygulaması sonucunda 2.8km ve 4.6km derinliklerde sığ yapısal geçişlerin olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada elde edilen 3-B Euler derinlik hesabı sonuçlarında da 2 km ile 6 km arasındaki sığ yapısal kaynakların cevapları ile uyum göstermektedir. Var olan sediman kalınlığının alan genelinde yapılan çalışmalarda en az 0.5 km'den 6 km'ye kadar değiştiği düşünülürse [57], 3-B Euler sonuçlarında Büyük Menderes Grabeni ve Küçük Menderes Grabeni boyunca 4 km'ye kadar, Gediz Grabeni'nde ise yer yer 6km ile 10 km arasında derinlik çözümleri elde edilmiştir. Yapısal sınırların var olan izler ile uyumu göz önüne alındığında Gördes Havzası, Selendi Havzası ve Uşak Güre havzasına (Şekil 1) ait 3-B Euler cevapları bu havzaları ait yanal ve düşey yönlü sınırlar konusunda da ayrıca yanıt vermiştir. Yönlü türev uygulamalarının sonuçları irdelendiğinde de TOPEX V28.1 verilerinden elde edilen sonuçlar tanımlı tektonizma ile uyumlu olup olası gömülü sınırların izlerini ortaya koymaktadır. Y yönlü türev sonuçları güncel kuzey güney yönlü açılmaya bağlı sınırları işaret etmekteyken, bu uzanımlara dik cevap veren X yönlü türev sonuçlarının 3-B Euler sonuçlarında 10 km derinliğe kadar olan cevaplarında belirgin cevaplar vermemesi olası daha derin yapısal sınırların varlığı ile ilişkisi olarak açıklanabilir.

5 Sonuçlar

TOPEX veri seti kullanılarak yapılan güç spektrumu uygulaması sonucunda Conrad süreksizliğine ait derinlik 14.1 km, Moho derinliği ise 33.4 km olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında alan genelinde deprem odak derinliklerinin %88.4'ü ilk 10 km içindedir.

EGM08, WGM 2012 veri setlerine bağlı sonuçlardan farklı olarak TOPEX veri seti tabanlı güç spektrumu uygulaması sonucunda 2.8 km ve 4.6 km derinliklerde sığ yapısal sınırların varlığı saptanmıştır. Bu bulgular ayrıca 3-B Euler derinlik hesabı sonuçlarıyla da desteklenmiştir. Büyük Menderes Grabeni ve Küçük Menderes Grabeni boyunca 4 km'ye kadar, Gediz Grabeni'nde ise yer yer 6 km ile 10 km arasında 3-B Euler derinlik çözümleri elde edilmiştir. Tespit edilen yapısal sınırların var olan literatür sonuçları ile uyumu dikkate alındığında, Gördes Havzası, Selendi Havzası ve Uşak Güre Havzası'nda elde edilen sonuçların TOPEX veri setinin karada kullanılabilirliği açısından uygun olduğunu göstermektedir.

Özetle, TOPEX V28.1 veri setinin, büyük ölçekli basen çalışmalarında ilksel bulguların elde edilmesinde, proje ön

hazırlıklarında ve yerinde ölçüm imkânı bulunmayan sahalarda değerlendirilmesinde kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

6 Conclusions

Conrad and Moho discontinuity depths were obtained as respectively 14.1 km and 33.4km by using a power spectrum method. Within the scope of the study, 88.4% of the earthquake focal depths are defined within the first 10 km throughout the area.

Unlike the results based on EGM08 and WGM 2012 data sets, the presence of shallow structural boundaries were determined at 2.8km and 4.6km depths as a result of the TOPEX data set based power spectrum application. These findings were also supported by the 3-D Euler depth calculation results. 3-D Euler depth solutions have been obtained up to 4 km depth along the Büyük Menderes Graben and Küçük Menderes Graben, and between 6 and 10 km in the Gediz Graben. Considering the compatibility of the determined structural boundaries with the existing literature results, it shows that the results were obtained in Gördes Basin, Selendi Basin, and Uşak Güre Basin are suitable for the usability of the TOPEX data set across the continent.

Briefly, it was concluded that the TOPEX V28.1 dataset can be used in obtaining preliminary findings in large-scale basin studies, in project preliminary preparations, and in evaluating sites where on-site measurement is not possible.

7 Yazar katkı beyanı

Yazar, Tolga GÖNENÇ, bu çalışma kapsamında çalışma fikrinin oluşmasında, literatür çalışmasında, veri analizlerinde, literatür sonuçları ile bu çalışmanın bulguların tartışılması ve sonuçların değerlendirilmesi aşamalarında katkı koymuştur.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur ve makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

9 Kaynaklar

- [1] Pavlis NK, Holmes SA, Kenyon SC, Factor JK. "An earth gravitational model to degree 2160: EGM2008". *EGU General Assembly*, Vienna, Austria, 13-18 April, 2008.
- [2] 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.
- [3] Andersen OB, Knudsen P, Berry P. "The DNSC08GRA global marine gravity field from double retracked satellite altimetry". *Journal of Geodesy*, 84(3), 191-199, 2010.
- [4] Andersen OB. "The DTU10 Gravity field and Mean sea surface". *Second International Symposium of the Gravity Field of the Earth (IGFS2)*, Fairbanks, Alaska, 20-22 September, 2010.
- [5] Balmino G, Vales N, Bonvalot S, Briais A. "Spherical harmonic modelling to ultra-high degree of Bouguer and isostatic anomalies". *Journal of Geodesy*, 86(7), 499-520, 2012.
- [6] Bureau Gravimétrique International Commission for the Geological Map of the World. "World gravity map". <https://bgi.obs-mip.fr/data-products/grids-and-models/wgm2012-global-model/> (16.04.2021).

- [7] Sandwell DT, Garcia E, Soofi K, Wessel P, Smith WHF. "Towards 1 mGal global marine gravity from CryoSat-2, Envisat, and Jason-1". *The Leading Edge*, 32(8), 892-899, 2013.
- [8] Wingham D, Francis CR, Baker S, Bouzinac C, Brockley D, Cullen R, de Chateau-Thierry P, Laxon SW, Mallow U, Mavrocordatos C, Phalippou L, Ratier G, Rey L, Rostan F, Viau P, Wallis DW. "CryoSat-2: A mission to determine the fluctuations in Earth's land and marine ice fields". *Advances in Space Research*, 37(4), 841-871, 2006.
- [9] Sandwell DT, Müller RD, Smith WH, Garcia E, Francis R. "New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure". *Science*, 346(6205), 65-67, 2014.
- [10] Bozkurt E. "Neotectonics of Turkey-a synthesis". *Geodinamica Acta*, 14, 3-30, 2001.
- [11] Şengör AMC, Kidd WSF. "Post-collisional tectonics of Turkish-Iranian plateau and a comprasion with Tibet". *Tectonophysics*, 55, 361-376, 1979.
- [12] Oral MB, Reilinger RE, Toksöz MN, Kong RW, Barka AA, Kınık I, Lenk O. "Global Positioning System Offers Evidence of Plate Motions in Eastern Mediterranean". EOS, Transactions, American Geophysical Union 76, 1995.
- [13] Le Pichon, X, Chamot-Rooke C, Lallemand S, Noomen R, Veis G. "Geodetic determination of the kinematics of Central Greece with respect to Europe: implications for Eastern Mediterranean tectonics". *Journal of Geophysical Research*, 100, 12675-12690, 1995.
- [14] Sözbilir H, Sümer Ö, Uzel B, Özkaymak Ç, Ersoy Y, Erkül F, Helvacı C. "Batı Anadolu'da İzmir-Balıkesir Transfer Zonu içinde kalan aktif doğrultu-atımlı faylarla sınırlı havzaların jeolojik özellikleri". *ATAG 11*, Kocaeli, Türkiye, 08-09 Kasım 2007.
- [15] Özkaymak Ç, Sözbilir H, Uzel B. "Neogene-Quaternary evolution of the Manisa Basin: Evidence for variation in the stress pattern of the İzmir-Balıkesir Transfer Zone, western Anatolia". *Journal of Geodynamics*, 65, 117-135, 2013.
- [16] Dewey JF, Şengör AMC. "Aegean and surrounding regions: complex multi-plate and continuum tectonics in a convergent zone". *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90, 84-92, 1979.
- [17] McKenzie DP. "Active tectonics of the Mediterranean". *Region". Geophysical Journal of Royal Astronomical Society* 30(2), 109-185, 1972.
- [18] Koçyiğit A, Yusufoglu H, Bozkurt, E. "Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey". *Journal of the Geological Society*, 156, 605-616, 1999.
- [19] Bozkurt E, Sözbilir, H. "Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in Western Turkey". *Geological Magazine*, 141, 63-79, 2004.
- [20] Bozkurt E, Sözbilir H. "Evolution of the large-scale active Manisa Fault, Southwest Turkey: implications on fault development and regional tectonics". *Geodinamica Acta* 19, 427-453, 2006.
- [21] Bozkurt E. "Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications". *Geological Society Special Publication, Geological Society, London*, 173(1), 385-403, 2000.
- [22] Westaway R. "Block rotation in western Turkey: 1. Observational evidence". *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 95(B12), 19857-19884, 1990.
- [23] Westaway R. "Neogene evolution of the Denizli region of western Turkey". *Journal of Structural Geology*, 15(1), 37-53, 1993.
- [24] Koçyiğit A. "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, 2005.
- [25] Pamukcu O, Yurdakul A. "Isostatic compensation in western Anatolia with estimate of the effective elastic thickness". *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(3), 545-557, 2008.
- [26] Tezel T, Shibutani T, Kaypak B. "Crustal structure variation in western Turkey inferred from the receiver function analysis". *Tectonophysics*, 492(1-4), 240-252, 2010.
- [27] Çifçi G, Pamukçu O, Çoruh C, Çopur S, Sözbilir H. "Shallow and deep structure of a supradetachment basin based on geological, conventional deep seismic reflection sections and gravity data in the Buyuk Menderes Graben, western Anatolia". *Surveys in Geophysics*, 32(3), 271-290, 2011.
- [28] Ates A, Bilim F, Buyuksarac A, Aydemir A, Bektas O, Aslan Y. "Crustal structure of Turkey from aeromagnetic, gravity and deep seismic reflection data". *Surveys in geophysics*, 33(5), 869-885, 2012.
- [29] Dogru F, Pamukcu O, Gonenc T, Yildiz H. "Lithospheric structure of western Anatolia and the Aegean Sea using GOCE-based gravity field models". *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 59(2), 135-160, 2018.
- [30] Akay T, Bilim, F, Koşaroğlu S. "Menderes Masifi tektonik yapılarının (Batı Anadolu, Türkiye) Bouguer gravite analizi kullanılarak incelenmesi". *Cumhuriyet Yerbilimleri Dergisi*, 30(2), 71-86, 2013.
- [31] Gessner K, Gallardo LA, Markwitz, V, Ring U, Thomson SN. "What caused the denudation of the Menderes Massif: review of crustal evolution, lithosphere structure, and dynamic topography in southwest Turkey?". *Gondwana Research*, 24, 243-274, 2013.
- [32] Yılmaz Y. "Ege bölgesinin aktif tektoniği". *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 24-27 Mayıs, 2000.
- [33] Sözbilir H, Sarı B, Uzel B, Sümer Ö, Akkiraz S. "Tectonic implications of transtensional supradetachment basin development in an extension-parallel transfer zone: the Kocaçay Basin, western Anatolia, Turkey". *Basin Research*, 23(4), 423-448, 2011.
- [34] Smith WHF, Sandwell DT. "Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings". *Science*, 277, 1957-1962, 1997.
- [35] Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Şaroğlu F, Olgun Ş, Elmacı H, Can T. "Active fault database of Turkey". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229-3275, 2018.
- [36] Pirttijärvi M. FOURPOT Version 1.1 User's guide "Fourier Transform Based Processing of 2D Potential Field Data". <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.459.9490&rep=rep1&type=pdf> (16.04.2021).
- [37] Bhattacharyya BK. "Some general properties of potential fields in space and frequency domain; a review". *Geoexploration*, 5, 127-143, 1967.
- [38] Ruotoistenmäki, T. Depth estimation from potential field data using the Fourier amplitude spectrum. *Geoexploration*, 21(3), 191-201, 1983.

- [39] Cordell L, Grauch VJS. "Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps". *Society of Exploration Geophysicists*, 1985. <https://doi.org/10.1190/1.0931830346.ch16>.
- [40] Hood PJ, Teskey DJ "Aeromagnetic gradiometer program of the Geological Survey of Canada". *Geophysics*, 54(8), 1012-1022, 1989.
- [41] Verdusco B, Fairhead JD, Green CM, MacKenzie C. "New insights into magnetic derivatives for structural mapping". *The leading edge*, 23(2), 116-119, 2004.
- [42] Blakely R. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. New York, USA, Cambridge University Press, 1995.
- [43] Akkuş İ, Akıllı H, Ceyhan S, Dilemre A, Tekin Z. "Jeotermal Kaynakları Envanteri". Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Ankara, Türkiye, Envanter Serisi 201, 2005.
- [44] Thompson DT. "EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data". *Geophysics*, 47(1), 31-37, 1982.
- [45] Reid AB, Allsop JM, Granser H, Millett AT, Somerton IW. "Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution". *Geophysics*, 55(1), 80-91, 1990.
- [46] Khalil MA, Santos FM, Farzamian M. "3D gravity inversion and Euler deconvolution to delineate the hydro-tectonic regime in El-Arish area, northern Sinai Peninsula". *Journal of applied Geophysics*, 103, 104-113, 2014.
- [47] Aboud E, Shareef A, Alqahtani FA, Mogren S. "Using a 3D gravity inversion technique to image the subsurface density structure in the Lunayyir volcanic field. Saudi Arabia". *Journal of Asian Earth Sciences*, 161, 14-24, 2018.
- [48] Toker CE, Ulugergerli EU, Kılıç AR. "Naşa sokulumu (Batı Anadolu) ve tektonik anlamı: gravite ve deprem verilerinin birlikte analizi The Naşa intrusion (Western Anatolia) and its tectonic implication: A joint analyses of gravity and earthquake catalog data". *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 156, 251-262, 2018.
- [49] Akın U. "Gravite verilerinden Türkiye'nin sismik hız dağılımı ve kabuk yapısının ortaya çıkarılması". *MTA Dergisi*, 153, 185-202, 2016.
- [50] Pamukçu O, Gonenç T, Çırmık A, Pamukçu Ç, Ertürk N. "The Geothermal Potential of Büyük Menderes Graben Obtained by Combined 2.5-D Normalized Full Gradient Results". *Pure and Applied Geophysics*, 176(11), 5003-5026, 2019.
- [51] Dolmaz MN, Hisarlı ZM, Ustaömer T, Orbay N. "Curie point depths based on spectrum analysis of aeromagnetic data, West Anatolian extensional province Turkey". *Pure and Applied Geophysics*, 162(3), 571-590, 2005.
- [52] Bilim F, Akay T, Aydemir A, Kosaroglu S. "Curie point depth, heat-flow and radiogenic heat production deduced from the spectral analysis of the aeromagnetic data for geothermal investigation on the Menderes massif and the Aegean region, western Turkey". *Geothermics*, 60, 44-57, 2016.
- [53] Ozer C, Gok E, Polat O. "Three-dimensional seismic velocity structure of the Aegean Region of Turkey from local earthquake tomography". *Annals of Geophysics*, 61(1), (1-21), 2018.
- [54] Vanacore EA, Taymaz T, Saygin E. "Moho structure of the Anatolian Plate from receiver function analysis". *Geophysical Journal International*, 193, 329-337, 2013.
- [55] Sarı C, Şalk M. "Sediment thicknesses of the western Anatolia graben structures determined by 2D and 3D analysis using gravity data". *Journal of Asian Earth Sciences*, 26, 39-48, 2006.
- [56] Altınoğlu FF, Sari M, Aydın A. "Shallow crust structure of the Büyük Menderes graben through an analysis of gravity data". *Turkish Journal of Earth Sciences*, 27(6), 421-431, 2018.
- [57] Altınoğlu FF. Batı Anadolu Tektoniğinin Jeofizik Yöntemlerle İncelenmesi. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye 2012.