Maden Tetkik ve Arama Dergisi

http://dergi.mta.gov.tr



Naşa sokulumu (Batı Anadolu) ve teknotik 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

C. Ertan TOKER[a]*, Emin U. ULUGERGERLİ[b] ve Ali R. KILIÇ[c]

[a]*MTA Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara. orcid.org/000-002-4923-9835.*
[b]*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale. orcid.org/0000-0001-5639-1109.*
[c]*MTA Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara. orcid.org/0000-0002-2127-249X.*

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:
Gravite, deprem, Simav, Graben, kenar algılama, Euler dekonvolusyonu.

Geliş Tarihi: 21.10.2016
Kabul Tarihi: 28.09.2017

ÖZ

Batı Anadoluda bulunan Simav grabeni ve civarında toplanan gravite verileri, standart sapma süzgeci ve Euler evrişimi kullanılarak yeniden işlenmiş ve yorumlanmıştır. Gravite verilerinin ve sismolojik çalışmaların sonuclarının birlikte yorumu Simav yakınlarında yeni sokulum yapılarının varlığına işaret etmektedir. Sokulum grabenin doğu kenarında yeralmakta ve kalınlığı 12-15 km ve yüzeyden derinliği 2.5-3 km dir. Grabenin doğusunda kayıt edilen çok sayıda deprem bu sokulumla ilintilidir. Ayrıca, gravite verisinin çok boyutlu modellemesi ile Simav Grabeni, Simav Fayının büklümü, Naşa adı verilen Sokulum ve deprem odakları aynı tektonik karede görüntülenmiştir. Üç boyutlu kabartma modeli üzerinde tüm tektonik yapılar işaretlenmiştir.

Keywords:
Gravity, Earthquake, Simav, Graben, edge detection, Euler deconvolution.

ABSTRACT

The gravity data gathered in and around the Simav Graben in Western Anatolia were reprocessed and reinterpreted by using the standard deviation filter and the Euler deconvolution. The joint evaluation of results from the interpretation of gravity data and seismological studies indicates the presence of new intrusive structures in the vicinity of Simav. The intrusion is located in the eastern margin of the graben and has a thickness of 12-15 km at 2.5-3 km depth below the surface. Numerous earthquakes recorded in the eastern part of the graben are associated with this intrusion. Besides, the multi-dimensional modelling study of the gravity data allowed us to display the Simav Graben, the fold of the Simav Fault, the intrusion named as Naşa, and the epicenters of earthquake within the same tectonic frame. All tectonic structures were marked on the three dimensional relief model.

1. Giriş

Yeraltı araştırmalarında jeolojik yapıların sınırlarını ve tektonik süreksizlikleri anlamak önemlidir. Bu bağlamda jeofizik veriler, özellikle de gravite yönteminden elde edilenler işlenirken yapı unsurlarının ve tektonik bileşenlerin çözünürlüğünü artırarak jeolojik konumun netleştirilmesi ve tektonik ve jeodinamik yoruma katkıda bulunulması amaçlanır. Daha keskin sınırlar elde etmek üzere önerilen veri işlem yazılımları ve kullanılan süzgeç uygulamalarının sayıları gün geçtikçe artmaktadır. Kenar algılayıcı (edge detection) olarak tanımlayabileceğimiz bu süzgeçler, deneme verileri üzerinde tekil veya ardışık kullanılarak başarılı sonuçlar üretmektedir. Ancak, arazi verileri üzerinde yapılan çalışmalar ise hala yeni tekniklere gerek duyulduğunu göstermektedir (Arısoy ve Dikmen, 2013; Cooper, 2013; Zhou vd., 2013)

Batı Anadolu grabenlerinden biri olan Simav grabeni, gerek graben içi yapının tanımlanması gerekse graben sınırlarının belirlenmesi amacıyla birçok çalışmaya konu olmuştur. Önceki çalışmaların bazılarında sismolojik veriler kullanılarak

* *Başvurulacak yazar: C. Ertan TOKER, toker.ertan@gmail.com*
http://dx.doi.org/10.19076/mta.346159

graben sınırını oluşturan Simav Fayının oluşum mekanizması ve graben içerisinde oluşan depremlerin nedensellikleri incelenmiştir (Bekler vd., 2011; Toker, 2014; Gündoğdu vd., 2016; Kartal ve Kadirioğlu, 2014). Graben içerisindeki depremlerin odak dağılımı geometrisi ve oluşum mekanizmaları irdelenerek, tektonik yapının bileşenleri araştırılmıştır.

Simav Grabeninde toplanan gravite verileri hem geleneksel yaklaşım (Demirbaş ve Uslu, 1984) hem de görüntüleme teknikleri (Toker, 2014) ile değerlendirilmiştir. Görüntü işleme tekniklerine örnek olarak kayan standart sapma (KSS) süzgeçleri verilebilir. Önceki çalışmalarda, pencere boyutu dolayısıyla duyarlılığı ayarlanamayan (sabit) 2x2 boyutlarında bir KSS süzgecinin görüntü işleme süzgeci olarak kullanılması önerilmiştir (Jassim, 2013). Bu çalışmada ise boyutu ayarlanabilen kayan standart sapma (BAKSS) süzgeci potansiyel alan verilerine uygulanmıştır. İşlenen veriler, yeni jeolojik ve tektonik çıkarımlar yapmak amacıyla yorumlanmıştır.

Sınır belirleme yöntemlerinde amaç veri içindeki değişimleri belirginleştirmektir. Bu amaçla, önce farklı mertebeden türevler alınır, ardından bu türevlerin bileşkelerinden ya da oranlarından (faz) yeni görüntüler elde edilir. Bu tür görüntü iyileştirme işlemlerine analitik sinyal ve düşey türev yöntemleri (Miller ve Singh, 1994) örnek verilebilir. Önceki çalışmalarda, analitik sinyalin ikinci düşey türevi (Hsu vd., 1996), tilt açısının toplam yatay türevi (Verdusco vd., 2004), hiperbolik tilt açısı ve tilt açısının ikinci düşey türevleri (Cooper ve Cowan, 2004), tilt açısından elde edilen analitik sinyal (Ansari ve Alamdar, 2011) kullanılmıştır. KSS süzgeci daha önce görüntü işleme amacıyla kenar algılayıcı olarak Sobel ve Kany süzgeçleriyle karşılaştırılmıştır (Jassim, 2013). BAKSS süzgecinin, bu çalışmayla, jeolojik yapıların sınırlarını belirleme yöntemi olarakta kullanılabileceği gösterilmiştir.

2. Yöntem

Standart sapma değerlerinin, BAKSS süzgeci olarak veriye uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar irdelenecektir. Süzgecin duyarlılığı pencere boyutuna bağlıdır ve isteğe bağlı seçilerek değiştirilebilmektedir. Bir çeşit görüntü iyileştirme tekniği olan bu işlemin en önemli özelliği; türev (fark) ve faz (Oran) değerlerine gerek duymamasıdır. Bu yönüyle türev ve faz süzgeçlerinden ayrılır. Yanal farklılıklara duyarlı bu süzgeç veri istatistiği kullanmakta ve sonuçta yapısal bilgileri belirgin olarak elde etmektedir. İzleyen bölümlerde, önce süzgecin yapay verilere ve Simav verilerine uygulanmasıyla elde edilen sonuçları sunacağız. Daha sonra, 3D Standart Euler evrişim (dekonvolüsyonu) kullanarak öncelikle jeolojik birimlerin sınır ilişkilerini gösteren görüntüsü ile sahanın rölyef belirtilerine ait görüntüleri oluşturup, sonra da ortaya çıkan jeolojik yapıları değerlendireceğiz.

2.1. Kuramsal Model Uygulaması

Standart sapma:

$$\sigma = ((\sum(X)^2 - n*\overline{X}^2)/(n-1))^{1/2} \quad (1)$$

Bağıntısı ile verilir. Bağıntı, n adet ardışık gözleme ait "x" değişkeninin ortalama değer etrafındaki değişimini hesaplar. Giriş verisi x bir dizeydir ve bir hat boyunca alınan ölçümleri tanımlar. Eğer x iki boyutlu değişkenler içeriyorsa standart sapmalar iki boyutlu, ağırlıklandırılmış kxk boyutunda işleç dizeyinin veri grubu üzerinde kaydırılması ile elde edilir. Ağırlık değerleri ortalama değere göre değişimlerden elde edilir. "k" indisinin seçimi ile işleç boyutu ve duyarlılığı ayarlanabilmektedir.

Genel olarak "kayan pencereli standart sapma",

M = movstd (Amxn, k) ifade edilir (2)

bir dizi yerel k noktası standart sapma değeri döndürür. Her standart sapma, A'nın komşu elementleri boyunca süren bir kayar pencere üzerinde hesaplanır (https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/std.html).

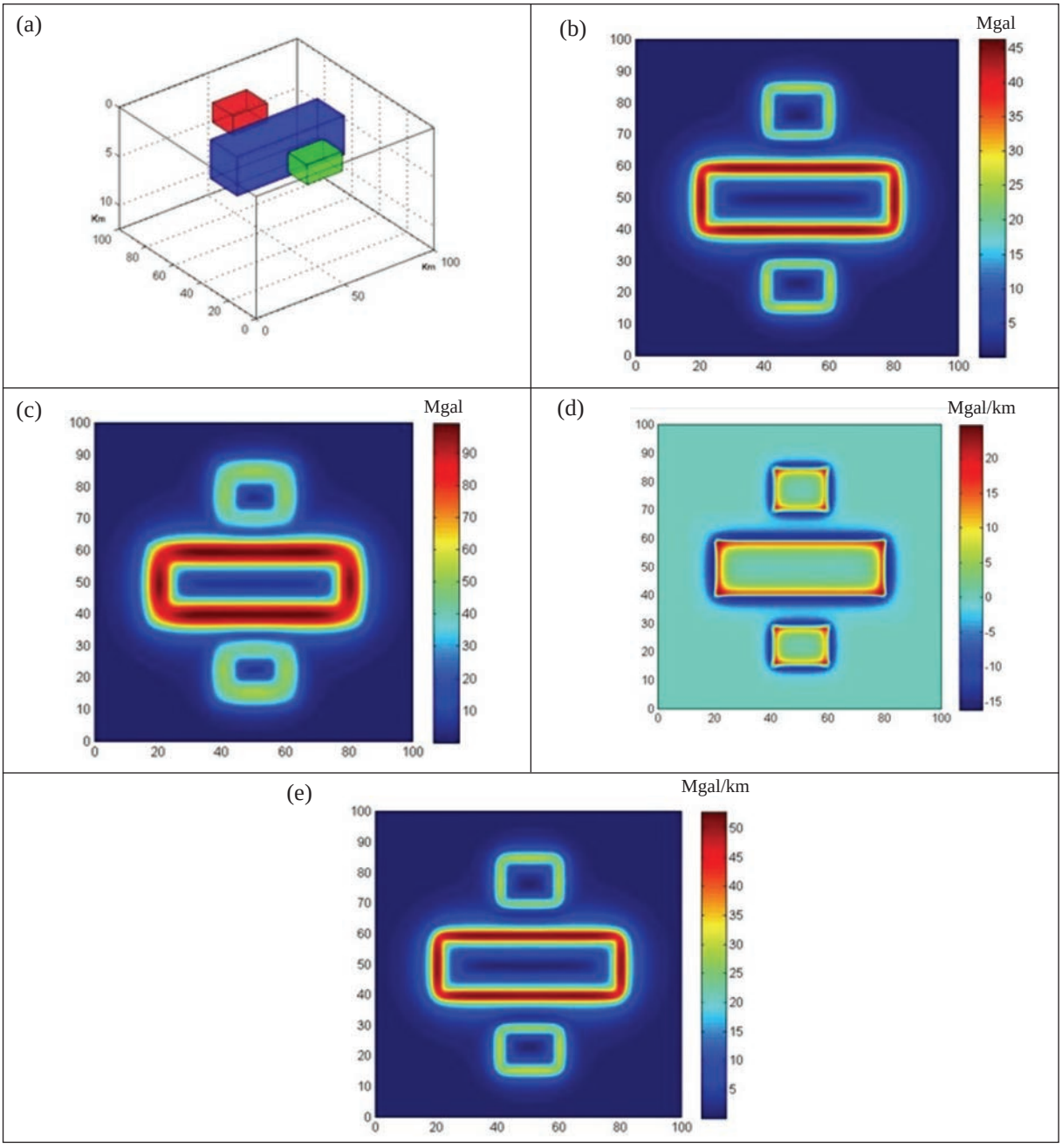
Süzgecin her bir eleman üzerine bakışımlı olarak yerleştirilebilmesi için k indisinin artı ve tam sayı olarak seçilmelidir.

İşleç dizeyi = (2*k+1, 2*k+1), (3)

Boyutunda olmalıdır. Bağıntıda k=1 için İşleç boyutları (3,3) olacaktır. Benzer olarak k=2 için dizey (5,5) boyutundadır. Bu işleç veri üzerinde her bir eleman için kaydırılarak merkezlenir ve ağdaki tüm elemanların standart sapmaları hesaplanır. İşleç merkezine atanan ağırlıklandırılmış ve süzgeçlenmiş değer yardımıyla yapı unsurlarını temsil eden sayısal dizge elde edilir. Veri dizgesinin kenarlarında süzgecin boyutu azaltılarak uygulanır.

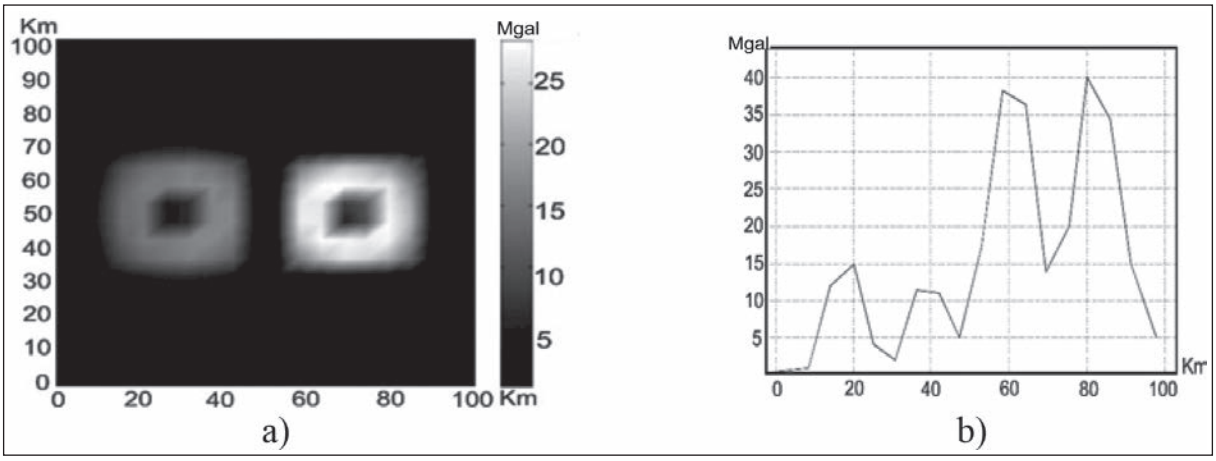
Yapay veriler şekil 1a'da verilen model için

elde edilmiştir. (3x3) boyutlarındaki BAKSS yanıtı şekil 1b'de (5x5) boyutlu BAKSS yanıtı ise şekil 1c de görülmektedir. "k" indisinin büyük seçilmesi durumunda orta bölümde yeralan yatay ince uzun prizma belirtisinin güçlendiği ve yapının ağırlık kazandığı izlenmektedir (Şekil 1c). Prizmaların belirtisi yapı iç sınırlarına doğru genişleyip güçlenmektedir. Şekil 1d'de verilen 2. Düşey türev haritasında yapı sınırları türev yönüne bağlı olarak belirginleşmektedir. 2. Düşey türev değerleri +20 ve -15 mgal/km arasında değişmektedir. Buna karşın, şekil 1b'deki aralık ise, 0 ile +45 mgal arasındadır ve daha kararlı bir değişim sunar. Şekil 1e'de yatay gradyent görülmektedir. 1b ile benzerlikler sunmaktadır. Ancak türev yoluyla elde edilmiştir.



Şekil 1- BAKSS süzgecinin sonuçlarını karşılaştırmak için farklı yoğunluk, boyut ve derinlikte yer alan yapılar kullanılmıştır (a) mavi renkli yapı 2.7 gr/cm^3 yoğunluğunda ve 5 km derinlikte, kırmızı yapı 2.5 gr/cm^3 yoğunluğunda ve 1 km derinlikte, yeşil renkli yapı ise 2.9 gr/cm^3 yoğunluğunda ve 1 km derinliktedir. (3x3) boyutlu süzgeç yanıtı (b), (5x5) boyutlu süzgeç yanıtı (c), düşey türev (d), yatay türev (e) sonuçları verilmiştir.

Şekil 2'de Derinlik ve yoğunluk olarak Simav grabeninin bilinen boyutlarında prizmalar kullanılmıştır. Kalınlaşan ve yoğunlaşan sınırlar prizmaların güçlendirilmiş görüntüsünü göstermektedir (Şekil 2a). Genlikler derinlikle ters orantılı olarak değişmektedir ve genlik oranları korunmaktadır (Şekil 2b).



Şekil 2- Graben ölçeğinde etkileri görmek için seçilen prizmaların boyutları ve derinlikleri: sığ prizma (sağ) 20x20x1.2 km d=2.2 gr/cm^3 ve derin prizma (sol) 20x20x13 km d=2.9 gr/cm^3. a) prizmalar için BAKSS sonucu, b) her iki prizmayı ortalayan hat boyunca degerler, sığ olan prizma daha yüksek genlikli standart sapma değeri vermektedir.

3. Çalışma Alanının Jeolojisi

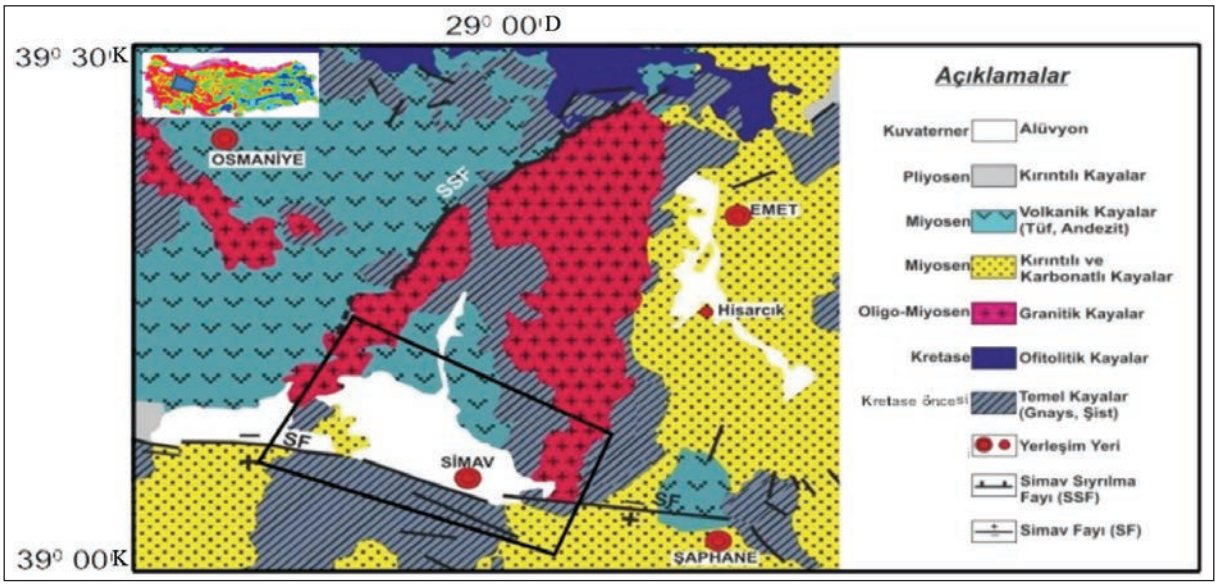
Simav Grabenini de içeren Ege Grabenleri, 60'lı yıllardan beri araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Arpat ve Bingöl, 1969). KD – GB uzanımlı Demirci, Selendi, Gördes basenlerini kuzeyden sınırlayan Simav fayı tarafından sınırlanan ve yaklaşık DB gidişli Pliyosen? – Kuvaterner çöküntü alanı, Simav Grabeni olarak ifade edilmektedir (Şaroğlu vd., 2002). Seyitoğlu vd. (1997), fay mekanizması çözümlerinden Simav Fayı'nın aktif ve listirik geometrili bir fay olduğunu belirtmişlerdir. Bu yapı, Geç Oligosen - Erken Miyosen döneminde Ege bölgesini etkileyen K-G genişlemeli tektoniğin son ürünlerindendir (Seyitoğlu vd.,1997).

Jeomorfolojik bulgular, Simav Gölü'nün yerleşmiş olduğu ovanın son on bin yılda meydana gelen depremlerle çöktüğüne işaret etmektedir (Doğan ve Emre, 2006). Bir diğer görüş ise, Simav Fayının, batı ucunda Gelenbe Fay Zonu'na, doğu ucunda ise Sultandağı Fayına bağlanan 205 km uzunluğunda doğrultu atımlı bir fay zonu olduğudur (Doğan ve Emre, 2006). Grabenin kuzey sınırı, bir dizi normal faydan oluşan Naşa Fay Zonu ve daha kuzeyde yer alan Emet (Kütahya) Fay zonu ile sınırlıdır (Emre vd., 2012). Emre vd. (2012)'ne göre, Simav Fay zonu içerisinde gelişen en büyük yapısal çöküntü konumundaki Simav ovası, Simav ve Şaphane fayları arasındaki sağa sıçramalı sekmede gelişmiş bir havzadır. Bölgesel harita (Şekil 3) Simav ve çevresinin jeolojisi ile calışma alanı göstermektedir.

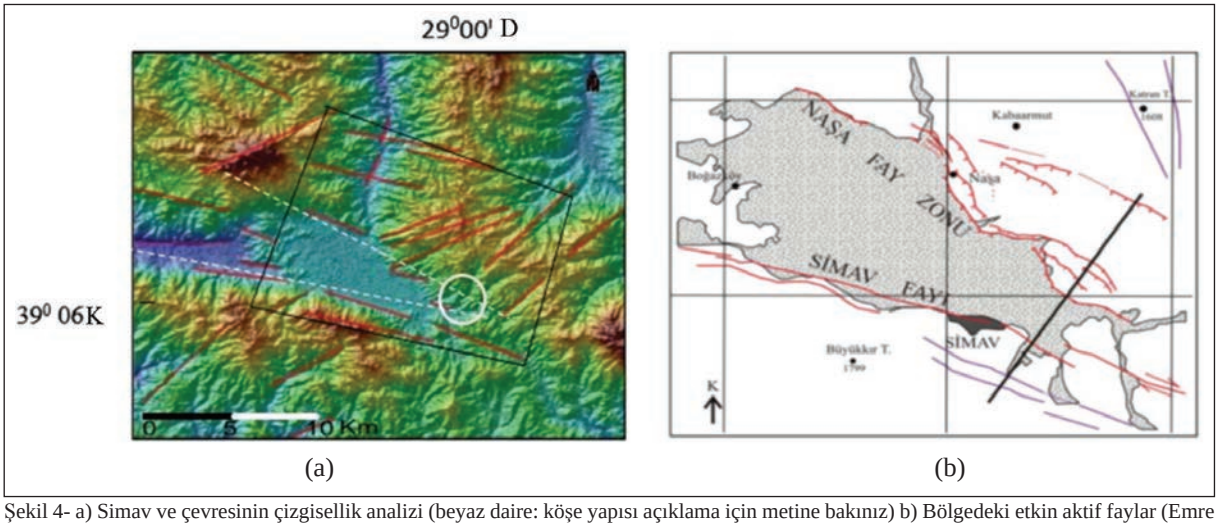
Emre vd. (2006) depremlerin meydana geldiği bölgede güncel tektonik deformasyonun normal ve doğrultu atımlı faylarla karşılandığı belirtilmektedir. Araştırıcılar, bölgenin en önemli deprem kaynak zonlarının, KB-GD doğrultulu, sağ yönlü Simav fayı ile KB-GD uzanımlı normal faylardan oluşan Naşa Fay Zonu olduğunu ve bunun birbirine koşut bir dizi faydan oluştuğunu (güney batıya doğru 55º - 65º arasında değişen eğimlerde olduğu) belirtmektedirler. Simav Fayı'nın Seyitoğlu vd. (1997) tarafından belirtildiği gibi normal fay mı, yoksa Emre vd. (2012) tarafından ileri sürüldüğü gibi, sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay mı olduğu konusunda tartışmalar günümüzde hala devam etmektedir. Gündoğdu vd. (2016) yaptıkları çizgisellik analizlerinden; akarsu boşalım ağında akarsu yataklarındaki ötelenmeleri göstermiş ve Simav Fayının doğrultu atımlı hareketinin yakın zamana değin devam ettiği belirtmişlerdir (Şekil 4).

Simav Grabeni, Simav Fayı ile Naşa Fay zonu (Emre vd., 2006) arasında kalan alanda, alt kenarı KB ve ucu GD yönünde uzanan üst yüzeyi üçgen geometrisinde olan bir tektonik kavşaktır.

Güneyindeki Simav Fayı KD eğimli yüzeyde oldukça dik açılı derine doğru eğimi azalan bir yarı



Şekil 3- Simav ve çevresinin Jeolojisi (MTA 2002'den değiştirilerek). Siyah dörtgenin içi çalışma alanıdır.



Şekil 4- a) Simav ve çevresinin çizgisellik analizi (beyaz daire: köşe yapısı açıklama için metine bakınız) b) Bölgedeki etkin aktif faylar (Emre vd., 2012).

grabendir. Kökleri Simav Fayına uzanan antitetik normal faylar gelişen asimetrik bir yarı grabendir.

Simav havzasının doğusunda Simav Fayı ve Naşa Fay zonunun kesişmesi ve yarattığı köşe yapısı (Şekil 4a beyaz dairenin içi) verilerde net bir biçimde görülmektedir (Toker, 2014).

Bu kesişimi de kesen üçüncü bir süreksizlik (GB – KD uzanımlı) varlığı yüzey verilerindeki çizgiselliklerden de anlaşılmaktadır. Bu süreksizlik yinelemeli ters çözüm yöntemiyle elde edilen üç boyutlu gravite derinlik arayüzeyinde de (13-15 km) izlenebilmektedir.

Graben içinde gelişen depremlerin tektonik kavşak niteliğiyle ilişkili olduğu bilinmektedir. Simav Fayı, Simav Grabeninin içinde büklüm yaparak doğrultusundan sapmaktadır.

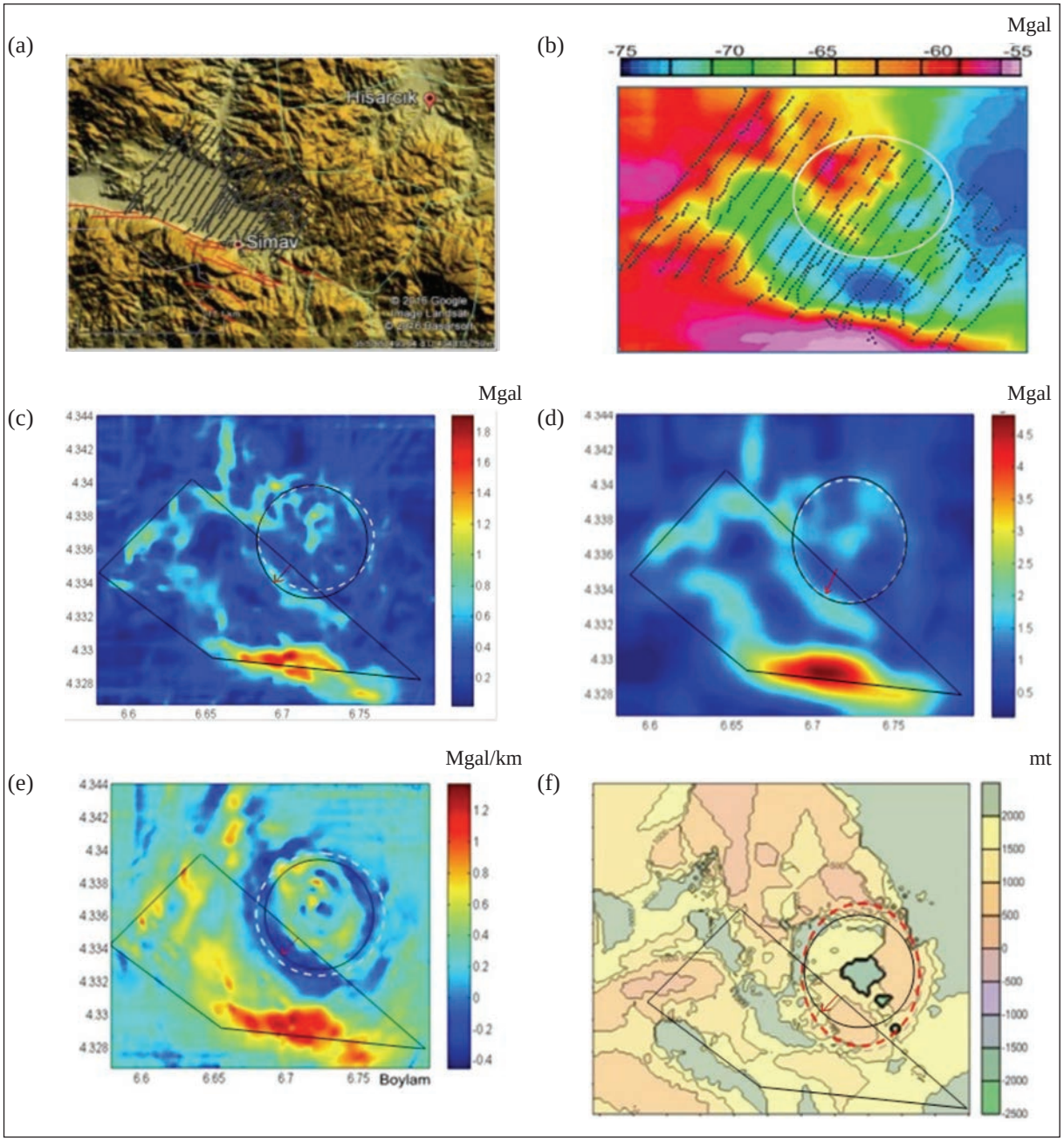
4. Yöntemlerin Gravite Verisine Uygulanması

Çalışmada kullanılan veri 1984 yılında MTA tarafından ölçülmüştür. Gravite verisi, bağlantı noktaları ile birlikte 946 noktada toplanmıştır. Nokta aralığı yaklaşık 250 m'dir. Bouguer yoğunluk değeri 2.67 gr/cm3 alınarak gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra Bouguer haritası elde edilmiştir (Demirbaş

ve Uslu 1984). Grabenin şekli ve konumu gravite haritasında (Şekil 4) izlenebilmektedir. Veriler -55 ve -75 mGal aralığında degişmektedir (Şekil 5b). -60 ile -64 mGal değer aralığı granitoyitleri, -72 ile -74 mGal aralığındaki değerler ise grabenin alt kenarı boyunca uzanan gnaysları temsil etmektedir (Toker, 2014). Şekil 5b'de mavi alanlar Kuvaterner yaşlı alüvyal dolgunun gravite etkisini tanımlamaktadır. Şekil 5b, c, d ve e'de beyaz çizgi ile gösterilen saha bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

k=1 alınarak oluşturulan 3x3 boyutlu BAKSS uygulaması ile k=4 alınarak oluşturulan 9x9 boyutlu BAKSS uygulaması şekil 5c ve 5d de gösterilmiştir.

Şekil 5c'de görülen harita, duyarlılığın azaltıldığı şekil 5d' de sadeleşmiş olarak görülmektedir. 5d'e ki harita basit halde graben ve GB'ya doğru grabenin içine doğru zorlayarak yerleşen dairesel sokulum yapısından oluşmaktadır.



Şekil 5- a) Çalışma alanı b) Bouguer haritası c) k=1 BAKSS (3X3) d) k=4 BAKSS (9X9) e) 500 mt den Güneş gölgelendirme görüntüsü f) Euler Derinlik haritası (açıklamalar için metin e bakınız)

Bouguer verisine 500 mt yükseklikten GB bakışıyla Güneş gölgelendirme tekniği (Cooper ve Cowan, 2003) uygulanmıştır (Şekil 5e).

Standart 3B Euler Dekonvolüsyonundan elde edilen derinlik haritası ise şekil 5f'de gösterilmektedir (Thompson, 1982; Reid vd., 1990). Hedef yapı kırmızı renkli daire ile verilmiştir.

Gravite haritası yüksek çözünürlülüklüdür ve grabenin kavramsal modelinin veriler tarafından desteklenmektedir (Toker, 2014). Gravite verilerinin iki boyutlu ters çözümünden graben dolgusunun derinliğinin 1200 – 1300 m' ye ulaştığı görülmüştür. Bu kalınlık Simav yerleşkesinden kuzeye ve batıya dogru azalmaktadır (Toker, 2014).

Üç boyutlu modelleme sonucu, Simav fayının ve Naşa Fay zonları arasında kalan sahada ara yüzeyin derinliğinin 13 – 15 km aralığında olduğu ve tabanda GB – KD doğrultulu bir süreksizliğin izlerini ortaya çıkarmıştır. Verilerin yeniden işlenmesi ile sadece çizgisellikler ve sınır ilişkileri açısından değil ayrıca jeolojik kütle açısından da bilgilere ulaşılmıştır.

Sınır belirleme analizlerinde, türev ve faz bileşenleri kullanılarak, verideki yapısal sınırlar izlenebilmektedir.

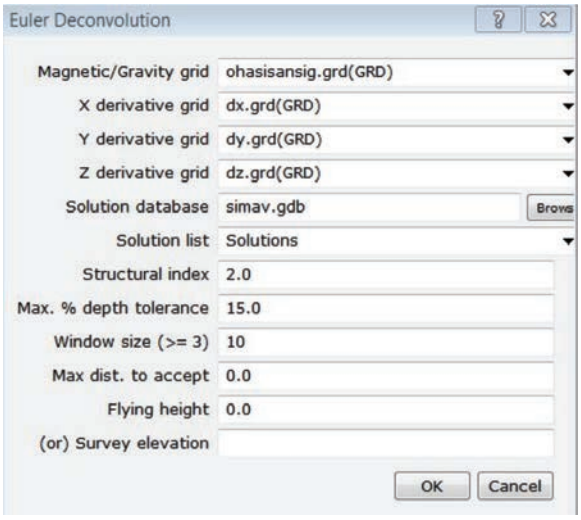
9x9 boyutundaki BAKSS süzgeci kullanılarak yaklaşık 2/5'i graben içerisine zorlayarak uzanan dairesel bir yapının varlığı ortaya konmuştur. BAKSS süzgeci hem düşey türevden kaynaklanan salınımın olmaması nedeniyle faz süzgecindeki olumsuz etkilerini barındırmayan (Toker vd., 2014) hem de jeolojik yapının etkisini güçlendirme gibi olumlu özellikler göstermektedir.

Bu yapının sınırları ve röliyefi üç boyutlu standart Euler dekonvolüsyon ile araştırılmıştır. Yapısal indis 1, pencere boyu 2219x2219 m^2 dir. Veride yükseklik bilgisi bulınmamaktadır. Derinlik nokta aralığının 20 katına kadar tanımlıdır (Çizelge 1).

Grabenin kuzeyinde, bu dairesel yapının ortalarında bir kök olduğu ve bu kökün 2 km'den daha derine uzandığı görülmektedir (Şekil 5f).

Bazı araştırmacıların tavan çökmesi (Roof subsidence) olarak nitelendirdiği, bu çalışma çerçevesinde de geometrisi ve varlığı jeofizik veri ile somutlaştırılan, gömülü dairesel yapının bir sokulum yapısı olduğu ve dairesel alanın çapının yaklaşık 9 km olduğu öngörülmektedir.

Çizelge 1- 3d Euler dekonvolüsyonu parametreleri.



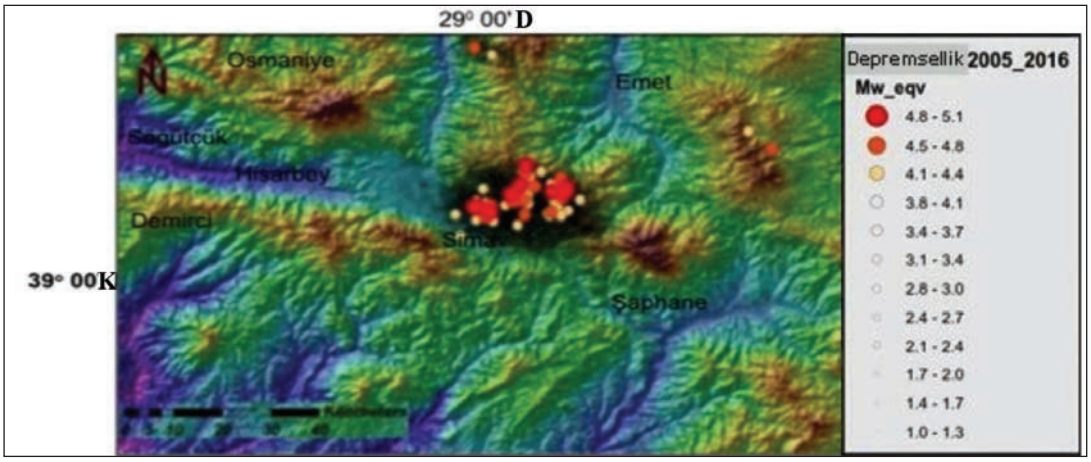
Yapılan çalışma, tektonik elemanların yalın görüntülenmesi açısından bu bölge için uygun BAKSS boyutunun 9x9 olduğunu göstermiştir. Ancak bu değerin veri ve hedef bağımlı olduğu unutulmamalıdır. Diğer alanlarda yapılacak çalışmalarda farklı boyutlu işleçler denemeli ve sahaya özgü işleç boyutları araştırılmalıdır.

5. Sismolojik Etkinlik

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi (www.koeri.boun.edu.tr/scripts/sondepremler.asp, 2016) veri tabanından, dağılımları şekil 6'da görülen yaklaşık 1086 adet deprem kaydı alınmıştır. Deprem odaklarının 5-10 km civarında yoğunlaşmakta ve 25 km derinliklerine değin dağılım göstermektedir (Şekil 7).

Kartal ve Kadirioğlu (2014) magnitüdü 4.0'dan daha büyük olan 39 depremi incelemiştir. Depremler, önerdiğimiz sokulum yapısının doğusundaki alanda, GB ve KD grupları olarak ikiye ayrılmışlardır. Çizelge 2'de dairesel yapıyla ilişkili olanlar görülmektedir. Tablodaki depremlerin oluşum aralıkları çok yakındır. Beş tanesi birer gün aralıkla ve aynı dairesel yapı üzerinde oluşmuştur.

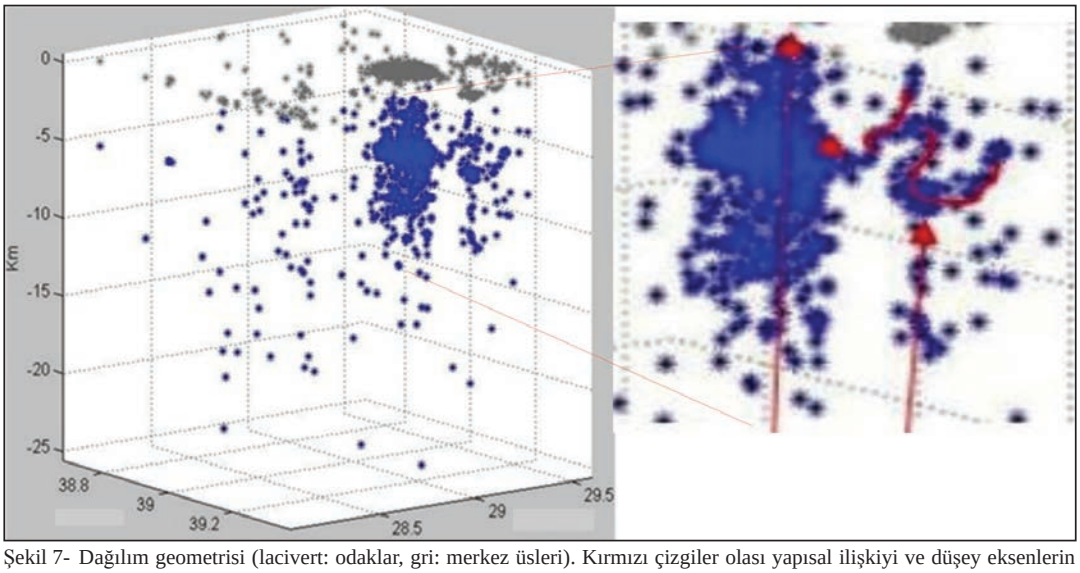
Deprem iç odaklarının (hiposantr) ve dış odaklarının (episantrlarının) dağılım geometrisi şekil 7'de 3B olarak verilmiştir. Şekil 7 sağ görüntüde genişletilmiş iç kesimde deprem odaklarının dağılımın yoğunlaştığı bölgede birbiriyle bağlantılı iki sokulum olduğu görülmektedir. Görüntü, deprem odaklarının konumları ile sokulum sınırlarının ilişkili olduğunu



Şekil 6- 2005 - 2016 yılları arasından Simav ve civarında oluşan depremler.

Çizelge 2- Dairesel sokulum üzerinde oluşan depremler (Kartal ve Kadirioğlu, 2014).

No	Tarih	Zaman (GMT)	Enlem	Boylam	Derinlk	MI	Doğ	Eğim	Açı1	Doğ2	Eğim2	Açı2
1	19.05.2011	20:15:22:79	39.1328	29.0820	24.46	5.7	149	35	-45	278	66	-117
4	19.05.2011	21:21:29:45	39.1128	29.0317	06.99	4.3	127	44	-68	278	50	-110
7	20.05.2011	00:58:33:05	39.1147	29.0837	17.38	4.3	84	26	-80	252	64	-95
9	20.05.2011	05:00:36.19	39.1202	29.0872	07.09	4.2	79	46	-79	243	45	-101
10	21.05.2011	21:43:08.56	39.1037	29.0513	07.00	4.0	302	43	-92	124	47	-89
11	24.05.2011	02:55:28.91	39.1013	29.0217	16.80	4.2	44	58	-87	219	32	-94
15	29.05.2011	01:31:39.16	39.1425	29.0853	05.04	4.5	129	37	-50	263	63	-116
19	27.06.2011	21:13:58.53	39.1108	29.0260	18.27	5.0	156	33	-65	307	60	-105
22	03.07.2011	14:16:28.51	39.1037	29.0147	10.78	4.1	159	47	-36	275	64	-131
34	03.05.2012	16:16:04.27	39.1018	29.0390	25.41	4.6	153	48	-60	292	50	-119



Şekil 7- Dağılım geometrisi (lacivert: odaklar, gri: merkez üsleri). Kırmızı çizgiler olası yapısal ilişkiyi ve düşey eksenlerin yaklaşık paralel olduğunu göstermektedir.

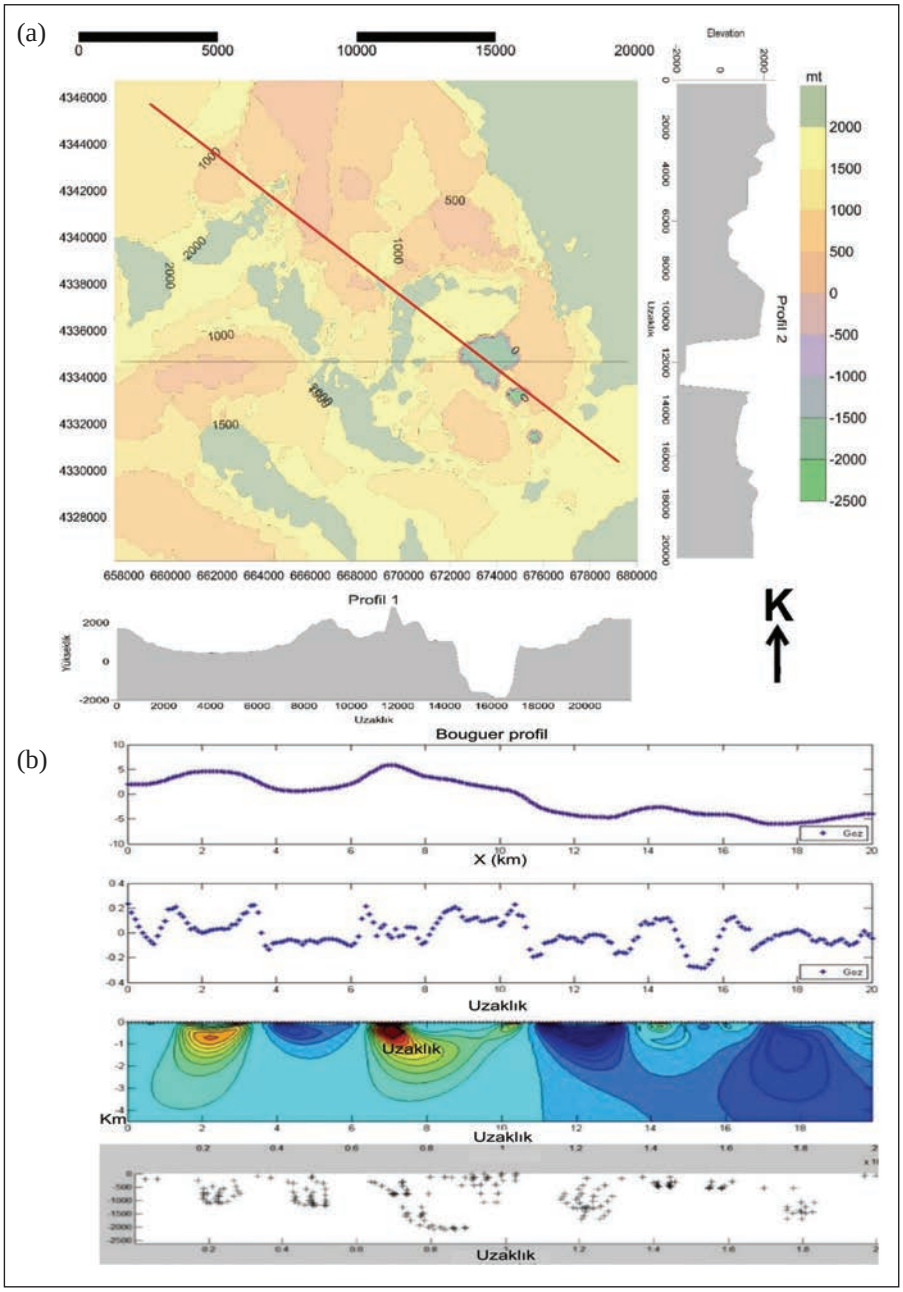
ve sokulum yükseldiğinde ya da yön değiştirdiğinde bu hareketlerin küçük depremleri oluşturduğunu göstermektedir.

6. Dairesel Yapının 3B Modellenmesi

Şekil 8a'da çalışma sahasındaki çöküntü alanını belirginleştirmek amacıyla enine kesitler alınmıştır. Bu kesitlerde dairesel yapı ve içinde yer alan derin kapanımlara ait derinlik bilgisi yer almaktadır.

Kesitlerde, dairesel yapının ortasından başlayıp sağa doğru uzanan, ucu ise büyük olasılıkla bölgenin derinliklerinde de devam eden sütun benzeri yapılar görülmektedir.

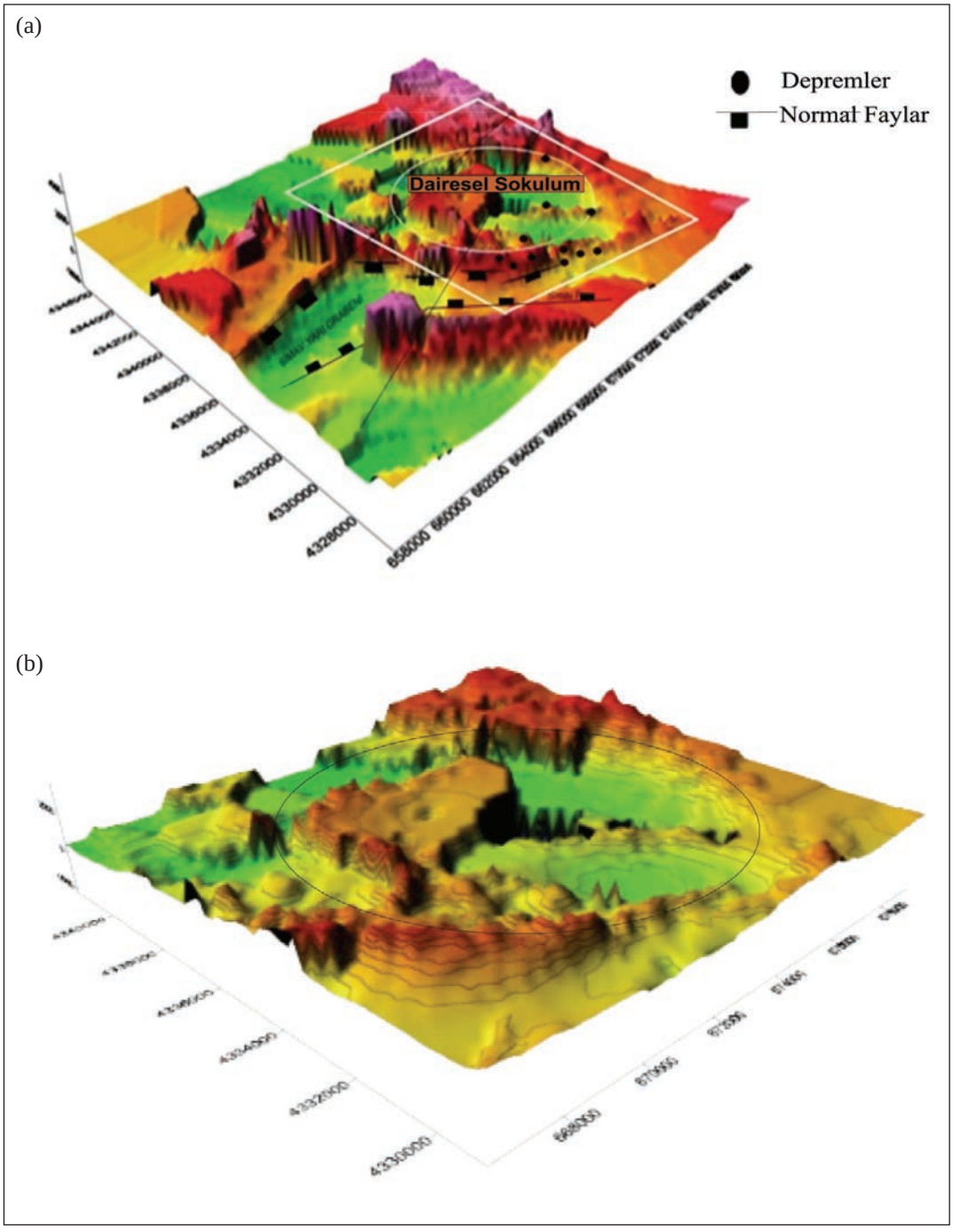
Yoğunluk dağılımını görmek için, şekil 8a da kahverengi çizgi boyunca alınan verilerden, 2B ters çözüm ile model üretimiştir (Şekil 8b). 2B model için derinlik aralığı denemeler sonucunda 0 - 4.5 km olarak seçilmiştir.



Şekil 8- (a) Belirginleşen dairesel yapı üzerinden alınan profiller ile taban topoğrafyası değişimi, (b) 2B ters çözüm sonucu ve yatay silindir kabulüyle uygulanan tilt derinliği yönteminden elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

Sunulan yoğunluk değerleri 2670 kg/m^3 e göre farklılıkları göstermektedir. Uyumsuzluk 0.0076624 olarak bulunmuştur. Şekil 8b'de tilt derinliği yöntemi (Cooper, 2011) ile elde edilen sonuç görülmektedir, yatayda 4–6 km uzaklıkları arasında hedef yapı görüntülenmiştir. Derinlik karşılaştırması yapılmamıştır.

Şekil 9'da Standart Euler ters evrişim (Dekonvolüsyonu) yöntemi ile elde edilen üç boyutlu gravite kabartı (rölyef) haritası görülmektedir. Kabartı haritası Simav yarı grabenini çevreleyen Simav Fayı ve Naşa fayını net bir şekilde göstermektedir ayrıca kuzey bölümde dairesel yapının varlığı ve derinliği görülebilmektedir.



Şekil 9- a) Gravite verisine ait 3B standart Euler dekonvolüsyonu ile elde üç boyutlu röliyef görüntüsü. (b) dairesel yapının yakınlaştırılmış görüntüsü.

7. Tartışma

Gravite verilerinde daha önce ortaya konmamış gömülü dairesel bir yapının varlığı araştırılmıştır. Yapısal indis 1 ve 2 seçildiğinde rölyefte çok büyük farklılık gözlenmemiştir.

BAKSS süzgecinin yapısal bilgiyi ağırlıklandırma özelliği ile yatay türev sonucuna benzer bir görüntü, türev ve faz süzgeci kullanmadan elde edilmiştir.

BAKSS süzgeci yapı sınır ilişkilerini aydınlatmak amacıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada yapılan denemeler, bu saha için 9x9 boyutunda işleçin uygun olduğunu göstermiştir. Farklı alanlarda yapılacak çalışmalarda bu değerlerin değişeceği unutulmamalıdır.

Gerçek veriye uygulamadan önce, yapay veriler ile yapılacak denemeler ve modelleme çalışmaları ile desteklemek işleç boyunun seçiminde kullanılabilecek en uygun yoldur.

Bu çalışmada önerilen dairesel yapının, odak derinliği 25 km'ye kadar olan depremler ile ilişkili olduğu ve bu depremleri tetiklediği düşünülmektedir.

Önceki çalışmada, graben içindeki kesişen süreksizlikler ortaya konmuştur (Toker, 2014). Bu çalışmada ise süreksizliklerin yarattığı köşe yapısının zayıf zon oluşturduğu, kolay ve hızlı yükselebilen magmatik eriyiğin dairesel yapıyı harekete geçirdiği düşünülmektedir.

Bunun sonucu olarak, magmatik eriyiğin, zayıf jeolojik kesimler (dokanak, kırık vb.) boyunca göç ederek kendine yeni yollar oluşturduğu düşünülmektedir.

Oluşan depremlerinde dairesel yapının bulunduğu konumdan (290D boylam, 39.10K enlem), kaynaklanmış olabileceği de düşünülmektedir.

Bu depremlere ait yüzey izlerinin dairesel yapının konumuna bağlı olarak araştırılması gereklidir. Ayrıca bu alanda ek jeofizik çalışmalara gerek vardır. Akustik, özdirenç ve manyetik duyarlılık parametrelerinin araştırılması sorunun çözülmesine yardım edecektir.

8. Sonuç ve Öneriler

Bölgede oluşan depremler için temelde üç durumdan söz edilebilir.

- Simav Fayı ve Naşa Fayı ile derindeki GB – KD doğrultulu süreksizliğin oluşturduğu depremler.

- Bu süreksizliklerin birleştiği noktada yükselen bir sokulum yapısının varlığı ve buna bağlı oluşan depremler.

-Yukarıdaki iki durumun birlikte çalışması ile oluşan depremler.

Bu çalışmada, gravite verilerinin yeniden işlenmesi ve modellenmesiyle dairesel geometrisi olan bir sokulum yapısı ve tektonik kavşağın varlığı ortaya konmuştur. Bu sokulum bölgenin yatay ve düşey tektonik etkinliğinin sonucu oluşmuştur.

Bölgede oluşan depremlerin ise, bu sokulum ve diri fayların oluşturduğu tektonik kavşaktan kaynaklandığı görüşüne ulaşılmıştır.

Üç yerleşim bölgesi arasında kalan bölge yaşam alanı olarak kullanılacaksa yapı güvenliği için gerekli tedbirlerin alınmalıdır. Gelecekte oluşabilecek sakıncalı durumların önlenmesi bakımından bu bölgenin öncelikli olduğuna inanılmaktadır.

Katkı Belirtme

Çalışmada kullanılan veriler MTA Genel Müdürlüğüne aittir ve kurumun yazılı izni ile yayınlanmaktadır. Destekleri için teşekkür ederiz. Bilgisayar programı D'errico (2016)'dan düzenlenerek kullanılmıştır. Hüseyin Pakyürek, Ayhan Öztürk, İlker Gürçiner, F. Alkan Tetik, Recep Çakır; makalenin olgunlaşmasına katkıda bulumuşlardır. Ayrıca dergi hakemlerine eleştirileri ve değerli katkıları dolayısıyla teşekkür ederiz.

Değinilen Belgeler

Ansari, A. H., Alamdar, K. 2011. A new edge detection method based on the analytic signal of tilt angle (*ASTA*) for magnetic and gravity anomalies, IJST A2: 81-88, Iranian Journal of Science and Technology.

Arısoy, M.Ö., Dikmen, Ü. 2011. Potensoft: MATLAB based software for potential field data processing, modeling and mapping, Computer And Geoscience, 37, 7, s. 935 – 942.

Arpat, E., Bingöl, E. 1969. Ege bölgesi graben sisteminin gelişimi üzerine düşünceler, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 73, 1-9, Ankara.

Bekler, T., Demirci, A., Özden, S., Kalafat, D. 2011. Simav, Emet fay zonlarındaki optimum kaynak parametrelerinin analizi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, ODTÜ, Ankara.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Kataloğu. 2016. www.koeri.boun.edu.tr/scripts/sondepremler.asp

Cooper, G.R.J. 2011. The Semi-Automatic Interpretation of Gravity Profile Data March 2011Computers & Geosciences 37(8) DOI10.1016/j.cageo.2011.02.016

Cooper, G. R. J. 2013. Reply to "A Discussion about the Hyperbolic Tilt Angle Method by Zhou et al.", Computers and Geosciences, 52, 496-497.

Cooper, G.R.J., Cowan, D.R. 2003. Sunshading geophysical data using fractional order horizontal gradients. The Leading Edge. 22:204.

Cooper, G.R.J., Cowan, D.R. 2004. Filtering using variable order vertical derivatives. Computer and Geoscience, 30, 455-459.

Demirbaş, Ş., Uslu A. 1984. Kütahya Simav Gravite Etüdü, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 8136, Ankara (yayımlanmamış).

D'errico, J. 2016. Personel Web Page https://www.mathworks.com/matlabcentral/.../869215-john-

Doğan, A., Emre, Ö. 2006. Ege graben sisteminin kuzey sınırı: Sındırgı Sincanlı Fay Zonu, 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiriler Kitabı.

Emre, Ö., Duman, T.Y., Olgun, Ş., Özalp, S. 2012. Türkiye diri fay haritası (yenilenmiş), Maden Tetkik ve Arama Yayınları, Ankara.

Doğan, A., Emre, Ö. 2006. Ege graben sisteminin kuzey sınırı: Sındırgı Sincanlı Fay Zonu, 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiriler Kitabı.

Gündoğdu, E., Özden, S., Karaca, Ö. 2016. Comparative structural analysis of field data from Simav fault and surrounding area with alos-palsar and landsat images, Journal of the graduate school of natural and applied sciences of Erciyes University Vol :32 No:1

Hsu, S.K., Sibuet, J.C., Shyu, C.T. 1996. Depth to magnetic source using generalized analytic signal,Geophysics, 61, 373-386.

Jassim, F.A. 2013. Semi – optimal edge detector based on simple standard deviation with adjusted thresholding, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 68– No.2, April 2013

Kartal, R.F., Kadiroğlu, F.T. 2014. 2011-2012 Simav Earthquakes (Ml=5.7, Ml=5.0, Ml=5.4) and Relationship with the Tectonic Structure of the Region Yerbilimleri, Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University 35 (3), 185-198.

Miller, H. G., Sing, V. 1994. Potential field tilt - A new concept for location of potential field sources Journal of Applied Geophysics, 32, 213-217.

MTA, 2002. General Directorate of Mineral Research and Exploration. http://www.mta.gov.tr/v30/hizmetler/500cd.

Oasis montaj Sofware, 2009 www.geosoft.com/resources/goto/oasis-montaj-7.1 Queens Quay Terminal 207 Queens Quay West Suite 810, PO Box 131 Toronto, ON Canada M5J 1A7.

Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. J., Somerton, I. W. 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution, Geophysics, 55, 80–91, http://dx.doi.org/10.1190/1.1442774.

Seyitoğlu, G. 1997. The Simav Graben: An example of young E-W trending structures in the late cenosoic extensional system of western Turkey. Turkish Journal of Earth Science, 6, 135-141, TÜBİTAK, Turkey.

Toker, C. E. 2014. Geophysical analysis and modelling of the Simav basin, Western Anatolia. Bulletin of the Mineral Research and Exploration. 148, 119-135, Ankara.

Toker, C. E., Çiftçi, Y., Ayva, A., Kürçer, A. 2014. Two examples for imaging buried geological boundaries: Sinkhole structure and Seyit Hacı fault, Karapınar, Konya. Bulletin of the Mineral Research and Exploration. 149, 189-199, Ankara.

Thompson, D. T. 1982. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, Geophysics, 47, 31–37, http://dx.doi.org/10.1190/1.1441278

Verdusco, B., Fairhead, J.D., Green, C.M. 2004. New insigth in to magnetic derivatives for structural mapping, Leading Edge, 23 (2), 116-119.

Zhou, W., Do, X., Li, J. 2013. A Discussion about hyperbolic tilt angle method, Computer and Geoscience, V. 52, p. 493-495.