

GÜNEYDOĞU ANADOLU ÇARPIŞMA KUŞAĞINDAKİ (MALATYA-ELAZIĞ-BİNGÖL-DİYARBAKIR-ADİYAMAN) LİTOSFERİK YAPININ MANYETİK VE GRAVİMETRİK YÖNTEMLER İLE ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE LITHOSPHERIC STRUCTURE IN THE SOUTHEASTERN ANATOLIAN COLLISION ZONE (MALATYA-ELAZIĞ-BİNGÖL-DİYARBAKIR-ADİYAMAN) WITH MAGNETIC AND GRAVIMETRIC METHODS

M. Nuri DOLMAZ¹, Erdiñç ÖKSÜM², Ü. Yalçın KALYONCUOĞLU¹,
Ömer ELİTOK³, İbrahim AYDIN⁴, Selda A. POYRAZ⁵

¹ Süleyman Demirel Üniv. Müh-Mim. Fak. Jeofizik Müh. Böl., 32260, Çünür - Isparta

² İstanbul Üniv. Müh. Fak. Jeofizik Müh. Böl. 34320 Avcılar - İstanbul

³ Süleyman Demirel Üniv. Müh-Mim. Fak. Jeoloji Müh. Böl., 32260, Çünür - Isparta

⁴ Ankara Üniv. Müh. Fak. Jeofizik Müh. Böl., 06100, Tandoğan - Ankara

⁵ Boğaziçi Üniv. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enst., 34684, Çengelköy - İstanbul

Yayına Geliş (Received): 25.12.09, Yayına Kabul (Accepted): 21.05.10

ÖZ : Malatya-Elazığ-Bingöl-Diyarbakır-Adıyaman bölgesinin kabuk yapısını ortaya koymak için bölgenin gravite ve havadan manyetik verileri analiz edilmiştir. Gravite ve manyetik verilere Yapı Sınır Analizi (YSA) tekniği uygulanarak anomali yapılarının uzanım ve sınırları araştırılmış ve çalışma alanına ait jeolojik bilgiler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sayısal sınırlar bölgedeki kıtasal bloklar ve yapısal trendler olan Bitlis-Pötürge Sütür Zonu (BPSZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile uyum göstermektedir. Anomalilere neden olan kaynak derinliklerinin araştırılması için spektral analiz tekniklerinden güç spektrumu yönteminden yararlanılmıştır. Çalışma alanında ortalama kabuk derinliği 44 km olarak bulunmuştur. Gravite verilerden GD-KB yönünde alınan kesit değerleri değerlendirilerek Talwani modelleme tekniğine göre iki boyutlu bir kabuk modeli oluşturulmuştur. Buna göre çalışma alanında kabuk kalınlığı güneyden kuzeye doğru 38 km ile 51 km arasında değişim göstermektedir. DAFZ'nin kuzey sınırındaki Elazığ civarındaki en yüksek gravite ve manyetik anomaliler, üst kabukta yüksek yoğunluklu ve manyetizasyonlu malzemeye sahip bir yapıyla ilişkilendirilmiştir. Gravite ve manyetik verilerin analizi sonucunda; Arap levhası uç kesimleri, BPSZ, yüksek manyetizasyonlu yapı ve Anadolu Bloğu olmak üzere farklı tektonik özelliklere sahip dört bölge belirlenmiştir. BPSZ ve yüksek manyetizasyonlu bölge arasındaki geçiş zonu, DAFZ'na karşılık gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gravite, manyetik, kabuk kalınlığı, Doğu Anadolu Fay Zonu

ABSTRACT : In this study, gravity and aeromagnetic analysis have been conducted in the region of Malatya-Bingöl-Diyarbakır-Adıyaman, in order to elucidate the crustal structure beneath the region. Boundary analysis technique of the gravity and aeromagnetic data were performed to investigate frontiers and continuations of causative structures and compared with

geological informations of the study area. The obtained boundaries of density and magnetization contrast correspond well to the major geological formations and the structural trends in the area as Bitlis-Pötürge Suture Zone (BPSZ) and East Anatolian Fault Zone (EAFZ). For estimating the source depths of causative structures, spectral analysis as power spectrum method was used. An average thickness of 44 km was calculated for the crust in the study area. A two dimensional crust model was generated by interpretation a SE-NW cross-section profile of gravity data using the Talwani modeling technique. According to this model, the thickness of the crust in the study area lies between 38 km to 51 km. The high gravity and magnetic anomalies around Elazığ in northern part of EAFZ are related with a body which has high magnetic and density material. In consequence of gravity and magnetic analysis, boundaries of four regions with different tectonic characters were identified. They are Arabian foreland, BPSZ, high magnetized body and Anatolian Block. Transition zone between BPSZ and high magnetized body is correlated by the EAFZ which has intense tectonic activity.

Keywords: Gravity, magnetic, crust thickness, East Anatolian Fault Zone

1. GİRİŞ

Türkiye yer kürenin en aktif tektonik yapıya sahip kıtasal bölgelerinden birinde yer alır. Kuzeye doğru hareket eden Afrika-Arap plakası ve göreceli olarak durağan Avrasya plakası arasında kalan Anadolu plakası sıkışma tektoniğinin etkisi altında sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) olarak isimlendirilen iki büyük fay zonu boyunca (Şekil 1) batıya doğru hareket halindedir (Ketin, 1948; McKenzie, 1972; Dewey, 1976; Şengör, 1979; Şengör ve Canitez, 1982; Hempton, 1982; Şengör ve diğ., 1985; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Barka ve Reilinger, 1997; Çetin ve diğ., 2003). DAFZ kuzeydoğuda Karlıova'dan başlayıp güneybatıda Anadolu-Arap-Afrika üçlü eklemine şekillendiği Kahramanmaraş bölgesinde Ölü Deniz Fayı ile birleşir (Karig ve Kozlu, 1990; Perinçek ve Çemen, 1990). Bu ana fayların yanı sıra bölgede farklı doğrultularda irili ufaklı birçok fay yer almaktadır.

GPS çalışmaları, Arap levhasının Avrasya levhasına göre yaklaşık 18 mm/yıl'lık bir hızla KB doğrultusunda hareket ettiğine işaret etmektedir (McClusky ve diğ., 2000). Doğu Anadolu'da Arap levhası, Bitlis Pötürge Suture Zonu (BPSZ) olarak adlandırılan bir deformasyon kuşağı boyunca Anadolu levhası ile çarpışmaktadır (Eyidoğan, 1983; Barka ve Reilinger, 1997). Tam kenet kuşağı üzerinde ve iki büyük metamorfik masifin de kopuk olarak bulunduğu bölgede gravite ve manyetik açıdan şiddetli anomalilerin gözlenmesi, kenet kuşağının bu kesimini çarpışmanın şekli, litosfer-kabuk yapısı ve astenosferle olan ilişkileri açısından ilginç hale getirmektedir.

Güneydoğu Anadolu'daki yukarıda bahsedilen güncel tektonik, GPS çalışmaları yanında bölgede daha önce meydana gelmiş büyük depremlerin odak mekanizması çözümleri ile de desteklenmektedir (McKenzie, 1972; Eyidoğan, 1983; Jackson ve McKenzie, 1984; Osmanşahin ve diğ., 1986; Taymaz ve diğ., 1991; Pınar, 1995; Kalafat, 1995).

Arap levhası ile Anadolu levhası arasındaki göreceli hareketi karşılayan DAFZ, çalışma alanını KD-GB doğrultusunda kat etmektedir. İnceleme alanı bu iki büyük ana tektonik özellik (BPSZ ve DAFZ) ile karakterize edilmektedir. Bu çalışma ile bölgeye ait

gravite ve manyetik verilerin çeşitli yöntemler ile analiz edilerek bölgedeki jeolojik yapılar, tektonik yapılar ve kabuk yapısının araştırılması amaçlanmıştır.

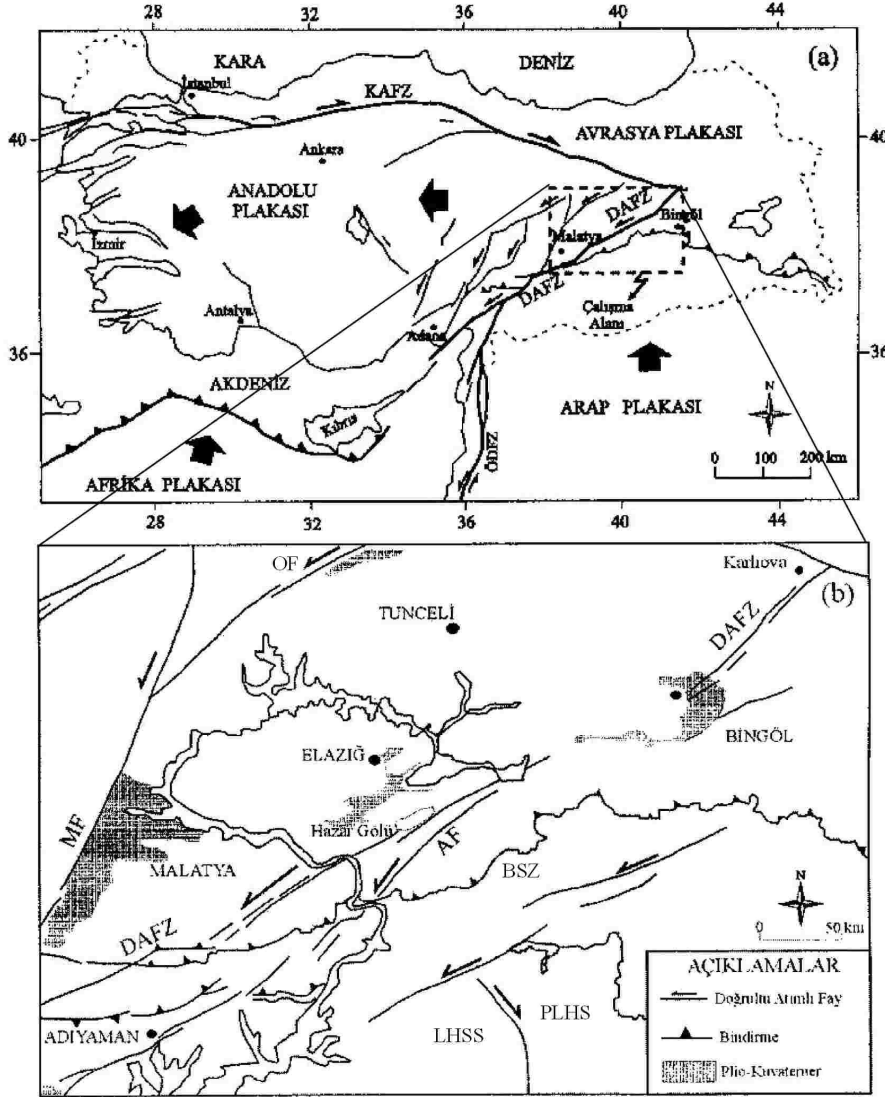
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), çalışma alanında Bitlis Pötürge Suture Zonu'nu (BPSZ) kesmekte ve sol yanal hareketlerin yanında ters atımlı hareketler ile de dikkati çekmektedir (Taymaz ve diğ., 1991; Lyberis ve diğ., 1992). Son jeofizik çalışmalar Doğu Anadolu'nun büyük bir bölümünde hemen hemen tamamen litosferik mantonun yok olduğunu göstermiştir (Gök ve diğ., 2000, 2003; Al-Lazki ve diğ., 2003; Angus ve diğ., 2006). Alıcı fonksiyonu analizi çalışmalarından Doğu Anadolu'da 38 ile 50 km arasında değişen ve ortalama 45 km kabuk kalınlığı elde edilmiştir (Zor ve diğ., 2003, Gök ve diğ., 2007). Daha açık ifade etmek gerekirse, kabuk altında çok ince bir litosferik manto yada doğrudan astenosfer başlamaktadır (Keskin, 2005). ETSE projesinde elde edilen tomografik çalışmalar Doğu Anadolu altında bir dalımın bulunmadığını göstermiştir (Al-Lazki ve diğ., 2003). ETSE projesi (Al-Lazki ve diğ., 2003; Gök ve diğ., 2000, 2003; Sandvol ve diğ., 2003) ve yüzey dalgası tomografisi (Maggi ve Priestley, 2005) gibi birbirinden farklı iki sismik çalışmadan elde edilen sonuçlar, Doğu Anadolu çarpışma zonunun büyük bir bölümünün litosferik mantodan yoksun olduğunu göstermiştir. Tarihsel deprem aktivitesi ile karşılaştırılan mevcut sismik sessizlik, DAFZ'da elastik gerginlik enerjisi birikiminin kilitlenmiş olabileceği ve bunun yakın gelecekte harekete geçemeyeceği vurgulanmıştır (Çetin ve diğ., 2003). Buna paralel olarak Lg ve Sn sismik dalga girişimleri Arap-Avrasya levhaları arasındaki sınıra karşılık gelen BPSZ'da Lg blokajı olduğunu göstermektedir (Al-Damegh ve diğ., 2004).

Elitok ve Dolmaz, (2008) Bitlis-Pötürge zonu boyunca gerçekleşen Arap-Avrasya çarpışmasının ardından Arap plakasına ait dalan okyanusal litosferin kopmasına (slab breakoff) bağlı olarak Arap ön kıtası altından Doğu Anadolu altına doğru astenosferik manto akışı geliştiğini, bu manto akışının da Anadolu levhası ile birlikte altında yer alan astenosferik mantoyu batıya doğru hareketlendirdiğini ifade etmişlerdir. Yazarlar

ayrıca, KAFZ ve DAFZ ile sınırlanan Anadolu plakasının batıya doğru kaçışından kaynaklanan Anadolu plakasının doğu kısmından itibaren kabuk kalınlığının (~44 km) güneyde Arap ön kıtasına doğru incelendiğini (~36 km) ifade etmişlerdir. DAFZ üzerinde Bitlis ve Pötürge masifleri arasında kalan Elazığ ve onun güneydoğusundaki düşük sismik aktivite, elde edilen sığ Curie Nokta Derinlikleri (CND) ve yüksek b-değerleri ile karakterize olan alan aynı zamanda

çevresine göre sığ kabuk yapısına sahiptir (Dolmaz ve diğ., 2008). Yine aynı çalışmada, bu bölgenin kabuk yapısı büyük olasılıkla sıcak astenosferik manto etkileşiminden etkilenen kabuğun yüksek termal yapısı ile ilişkili olabileceği vurgulanmıştır. Bunun yanında Doğu Anadolu bölgesinin CND haritasından (Bektaş ve diğ., 2007) düşük sismik aktiviteli bölgenin yine sığ CND ile karakterize edildiği görülmektedir.



Şekil 1: (a) Türkiye ve çevresinin ana fay sistemleri (Çetin ve diğ., 2003'ten değiştirilmiştir). KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu; DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu. Oklar relatif levha hareketlerini göstermektedir. (b) DAFZ boyunca bölgenin ayrıntılı tektonik haritası (Çetin ve diğ., 2003'ten değiştirilmiştir). ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu; LHSS: Hazar Gölü-Sincik Segmenti; PLHS: Palu-Hazar Gölü Segmenti; MF: Malatya Fayı; OF: Ovacık Fayı; BSZ: Bitlis Suture Zonu; AF: Adıyaman Fayı.

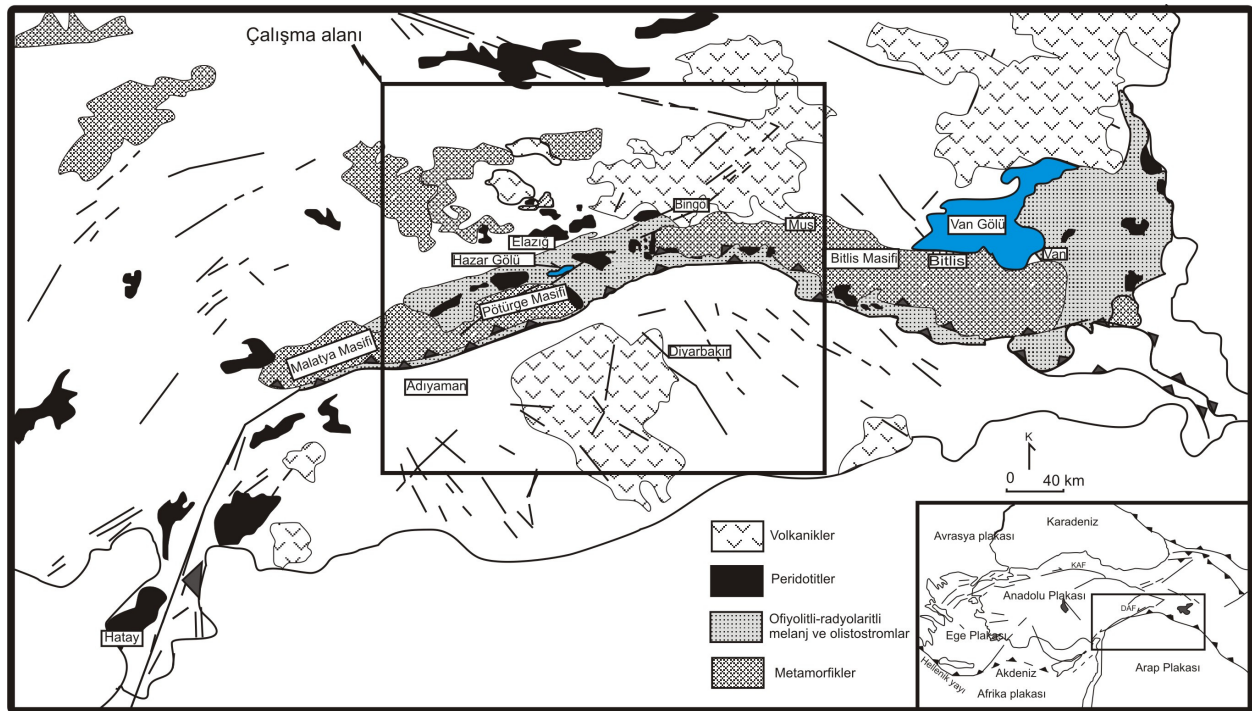
Figure 1: (a) The main fault systems of Turkey and surrounding area (modified after Çetin et al., 2003). KAFZ: North Anatolian Fault Zone; DAFZ: East Anatolian Fault Zone. Arrows show relative plate movements. (b) detailed tectonic map of the area along East Anatolian Fault Zone (modified after Çetin et al., 2003). ÖDFZ: Dead Sea Fault Zone; LHSS: Caspian Sea-Sincik Segment; PLHS: Palu-Caspian Sea Segment; MF: Malatya Fault; OF: Ovacık Fault; BSZ: Bitlis Suture Zone; AF: Adıyaman Fault.

Pamukçu ve diğerleri (2007), potansiyel alan verilerin güç spektrumlarından elde edilen sonuçlara dayanarak Bitlis Sütür Zonu'nda kabuk kalınlığının 42 km'ye ve KAFZ'a doğru 50 km'lere ulaştığını, sütür zonu boyunca kabuk kalınlaşmasının olmadığını fakat BSZ'dan başlayıp Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeyine kadar uzanan Pontidlere doğru kalınlaşmanın söz konusu olduğunu belirtmektedirler. Yine Euler dekonvolüsyon tekniği kullanarak, 40° doğu boylamı yakınlarında kabuğun incelmeye başlayıp, doğu ve kuzeye doğru incelmeye devam ettiğini ileri sürmüşlerdir. Elde ettikleri kabuk kalınlığı değerleri Şengör ve diğ. (2003) ve Keskin (2003) tarafından önerilen kabuk incelmeye modelini desteklemektedir.

2.1. GENEL JEOLJİ

Doğu Anadolu'nun genel jeolojik yapısının, kuzeyden güneye doğru (i) temelde volkanik yay kayalarının yer aldığı *Pontid kuşağı*, (ii) çarpışma ile

ilişkili gelişen Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı volkaniklerin de üzerinde geniş alanlar kapladığı *Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi* ve (iii) *Bitlis-Pötürge Masifinden* oluştuğu görülmektedir (Keskin 2003). Güneydoğu Anadolu'da Van Gölü ile İran sınırı arasında ve Bitlis-Pötürge masiflerinin güney kenarında, ofiyolitli-radyolaritli kayalar topluluklarının oluşturduğu bir kuşak yer almaktadır (Şekil 2). Kuşağı oluşturan kayalar topluluklarının bir bölümü "ofiyolitli melanj" ve diğer bir bölümü ise "ofiyolitli olistostrom" olarak tanımlanmaktadır. Malzemeleri aynı fakat oluşum biçimleri, oluşum koşulları farklı olan bu kayalar toplulukları aynı zamanda allokton kütleler olup ve birbiri üzerine bindirmiş ekaylar-naplar meydana getirmişlerdir (Ketin, 1983). Ayrıca bu kuşak özellikle masif sülfid yatakları açısından da ayrı bir öneme sahip olup (Erlar, 1984) oldukça şiddetli manyetik anomaliler bunun göstergesidir.



Şekil 2: Güneydoğu Anadolu kenet kuşağı ve civarına ait basitleştirilmiş jeoloji haritası (1/250 000 lik MTA jeoloji haritasından değiştirilmiştir).

Figure 2: Simplified geology map around the South-East Anatolian Belt (modified from 1/250 000 scaled MTA geology map).

3. YÖNTEM

3.1. Gravite-Manyetik Çalışmalar

Havadan manyetik verilerin yorumlanması ve manyetik anomalilere sebep olan indüklenmiş yapı/yapıların ortaya çıkarılabilmesi için; manyetik verilerin kutba indirgenmesi (Bhattacharyya, 1965),

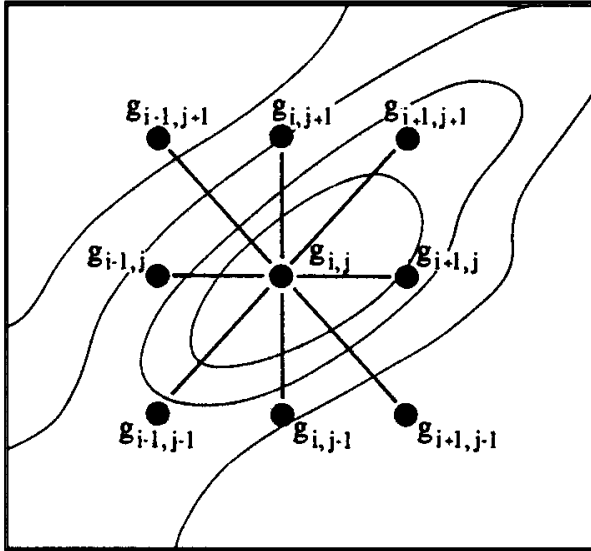
manyetik verilerin yalancı gravite verilerine dönüştürülmeleri (Baranov, 1957), güç spektrumundan yapı derinliğine yaklaşım (Spector ve Grant, 1970), anomaliye sebep olan yapı/yapıların yaklaşık sınırlarının tayini için Yapı Sınır Analizi (YSA) teknikleri (Blakely ve Simpson, 1986) kullanılmıştır. Güç spektrumu ve yapı sınır analizi aynı zamanda

gravite verilerinin analizinde de kullanılmıştır. Havadan manyetik ve Bouguer gravite verilerinin Spektral Yöntemler ile analizinde, FFTFIL programından (Hildenbrand, 1983) yararlanılmıştır. Gravite ve manyetik anomalilerin iki boyutlu (2-B) modellenmesinde Talwani ve diğ. (1959)'un modelleme tekniğinden yararlanılmıştır. Daha sonra tüm verilerin birlikte yorumlanması yapılmıştır.

3.1.1. Yapı Sınırı (Boundary) Analizi Yöntemi (YSA)

YSA yöntemi ilk olarak Cordell ve Grauch (1982, 1985) tarafından, kayaların kütle yoğunluklarında veya manyetizasyonlarındaki ani değişimlerin yerlerinin saptanmasında kullanılmıştır. Daha sonraları Blakely ve Simpson (1986) tarafından geliştirilen yöntem, otomatik olarak yapı sınırlarını hesaplar hale gelmiştir (Şekil 3). Manyetik verilerden yapı sınırları kısaca şu üç adımda hesaplanır:

- Eğer manyetik veri ile çalışılıyorsa, manyetik verilerinden onların yalancı-gravite (pseudo-gravite) hesaplanması,
- Yalancı-gravite ya da gravite anomalisinin yatay gradientlerinin hesaplanması. Yüzeğe yakın kütlelere ait yalancı-gravite (gravite) anomalilerinin yatay gradientlerinin, köşe değerleri üzerinde maksimuma ulaşması beklenmektedir.
- Yatay gradientlerin maksimum yerlerinin belirlenmesi.



Şekil 3: Yatay gradientin maksimumlarını bulmada kullanılan grid noktalarının yerleri (Blakely ve Simpson, 1986).

Figure 3: Locations of the grid points using for optaining horizontal gradient maxima (Blakely and Simpson, 1986).

3.1.2. Güç Spektrumu Yapı Derinliği Yöntemi

Güç spektrumu yöntemi ile anomalilere neden olan kaynak derinliklerinin saptanmasında Spector ve Grant (1970)'i temel alan Okubo ve diğ. (1985)'nin metodolojisinden yararlanılmıştır. Buna göre en derin kaynak derinliği (z_b), ortalama derinliğin (z_0) ve üst derinliğin (z_t) hesaplanması ile 2 aşamada bulunmaktadır. Bu derinlikler (z_0 , z_t) ise aşağıda ifadeleri verilen radyal ortalanmış güç spektrumu değerlerinin sırasıyla büyük dalga boylarında ve düşük dalga boylarındaki dağılımlarına geçirilen doğruların eğimleriyle hesaplanmaktadır.

z_0 için ;

$$\ln \left[\Phi_{AT} (|k|)^{1/2} \right]$$

ve z_t için;

$$\ln \left\{ \left[\Phi_{AT} (|k|)^{1/2} \right] / |k| \right\}$$

Burada Φ_{AT} , anomali verisinin güç spektrumu, k ise dalga boyunu simgelemektedir. En derin kaynak z_b ise,

$$z_b = 2 \cdot z_0 - z_t$$

ifadesinden hesaplanmaktadır.

3.1.3. İki Boyutlu (2-B) Modelleme

Gelişigüzel seçilmiş iki boyutlu kütlelerin oluşturdukları gravite ve manyetik anomalilerinin hesaplanmasında kullanılan bir yöntemdir (Talwani ve diğ., 1959).

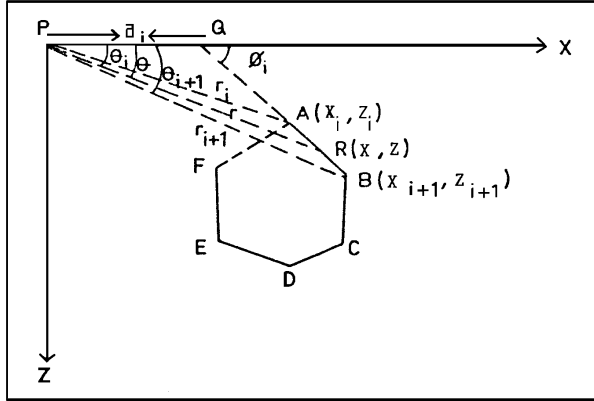
Şekil 4'te gösterilen A, B, C, D, E, F köşelerine sahip iki boyutlu kütlelerin P noktasında oluşturduğu gravite çekiminin düşey bileşeni,

$$g = 2G \cdot \rho \sum_{i=1}^n Z_i$$

şeklinde verilir. Denklemden G : gravitasyon sabiti, ρ : hacim yoğunluğudur. Toplamları poligonun n kenarı üzerinde yapılır. Bir dizi işlemden sonra,

$$Z_i = a_i \sin \phi_i \cos \phi_i \left[\frac{\theta_i - \theta_{i+1} + \tan \phi_i \cdot x \log_e (\cos \theta_i (\tan \theta_i - \tan \phi_i))}{x \cos \theta_{i+1} (\tan \theta_i - \tan \phi_i)} \right]$$

denklemini elde edilir. Böylece bir tek kenar üzerinde yapılan integrasyon işleminin kenarlı poligon üzerine götürülerek çözüm sağlanır.



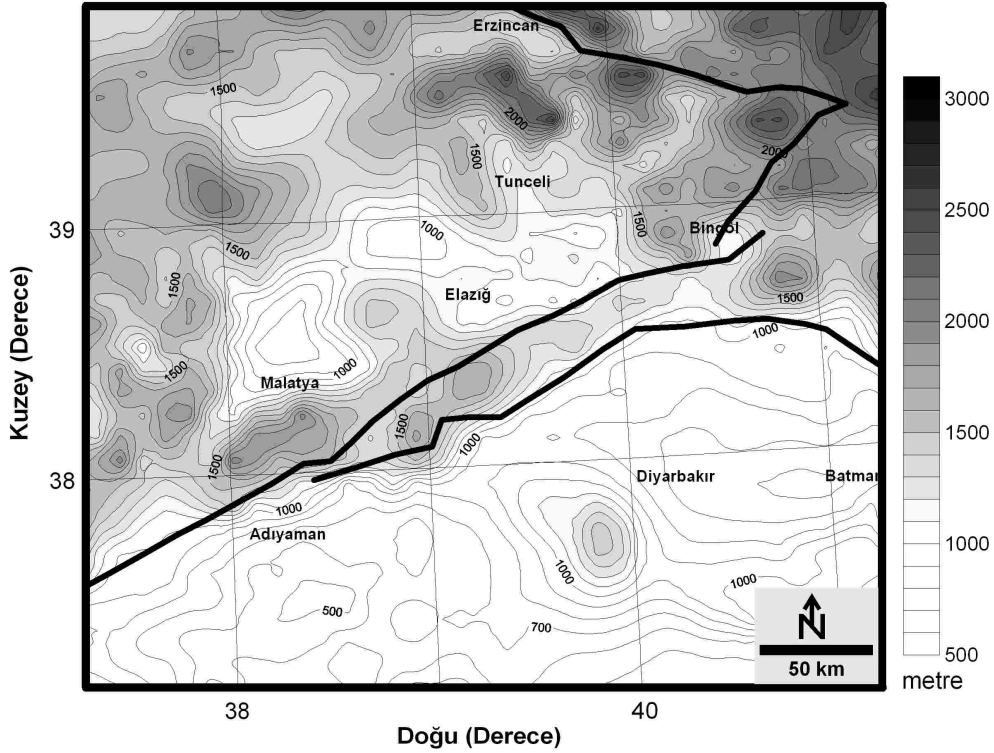
Şekil 4: İki boyutlu n kenarlı poligon bir yapının geometrik gösterilimi.

Figure 4: Geometric illustration of a two dimensional n side polygon.

4. YÖNTEMLERİN UYGULANMASI VE SONUÇLAR

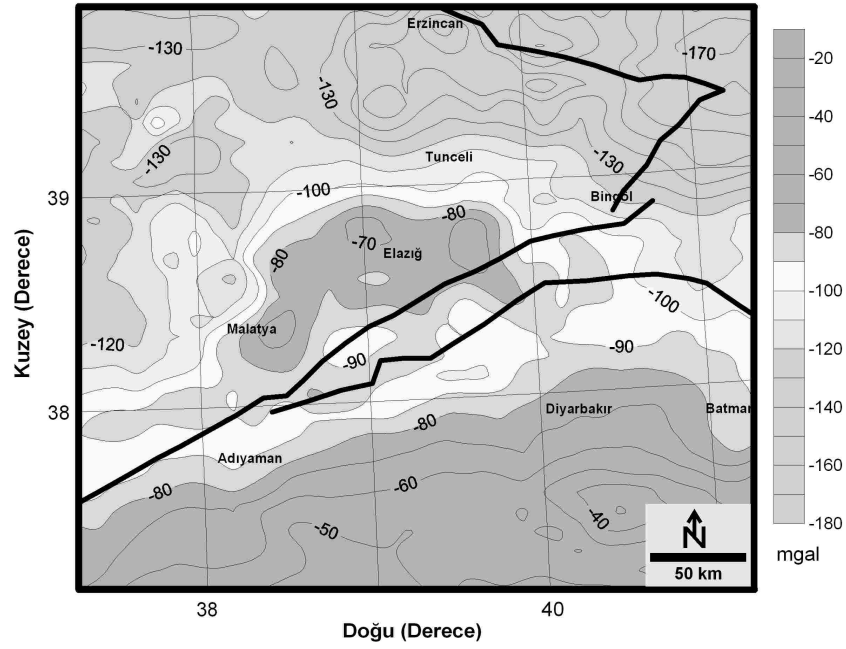
İnceleme alanı Bitlis kenet kuşağı üzerinde Hazar Gölü'nün de içerisinde yer aldığı Malatya-Elazığ-Bingöl-Diyarbakır-Adıyaman yörelerini kapsamaktadır (Şekil 5). Şekil 5'te çalışma alanı ve çevresini kapsayan GD Anadolu'nun 100 m kontur aralığındaki topoğrafik haritası görülmektedir. Büyük fay zonları da bu harita üzerine izdüşürülmüştür.

Çalışma alanına ait Bouguer ve Toplam alan manyetik verileri, MTA Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Dairesi veri bankasından 5 km kareli olarak alınmıştır. Ayrıca, büyük fay zonları bu haritalar üzerine izdüşürülmüştür (Şekil 6 ve Şekil 7).



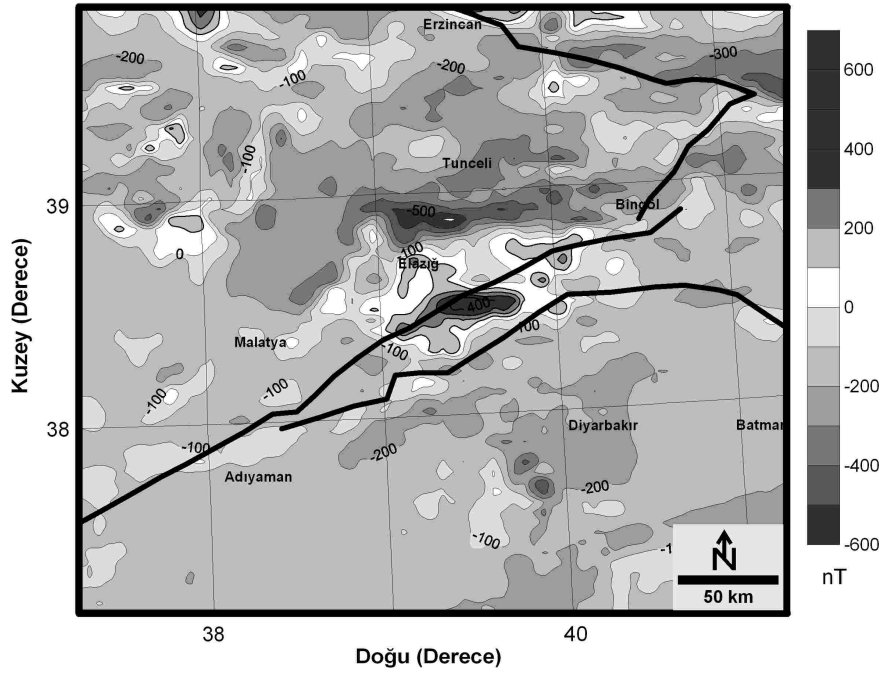
Şekil 5: Çalışma alanının topoğrafik haritası.

Figure 5: Topography map of the study area.



Şekil 6: Çalışma alanının Bouguer gravite anomali haritası.

Figure 6: Bouguer anomaly map of the study area.

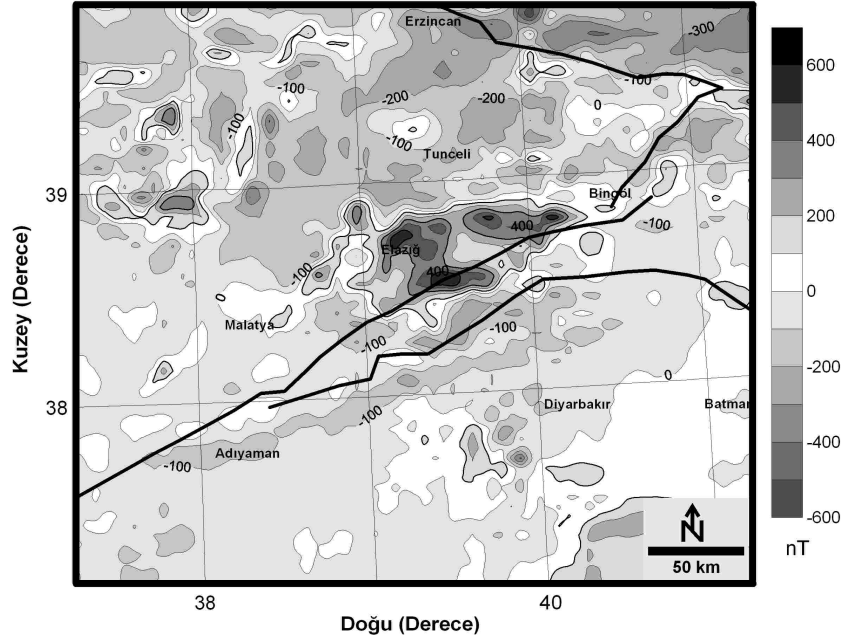


Şekil 7: Çalışma alanının rejyonel havadan toplam alan manyetik anomali haritası.

Figure 7: Regional aeromagnetic anomaly map of the study area.

Yapıya ait mıknatıslanma vektörünün doğrultusu genellikle yer manyetik alanı doğrultusundan farklı olabilmektedir. Bu nedenle manyetik verilerin analizi yapılırken ve yorum aşamasında, havadan manyetik verilerin kutba indirgenmiş olması gerekmektedir. Kutba indirgeme işleminde yapı

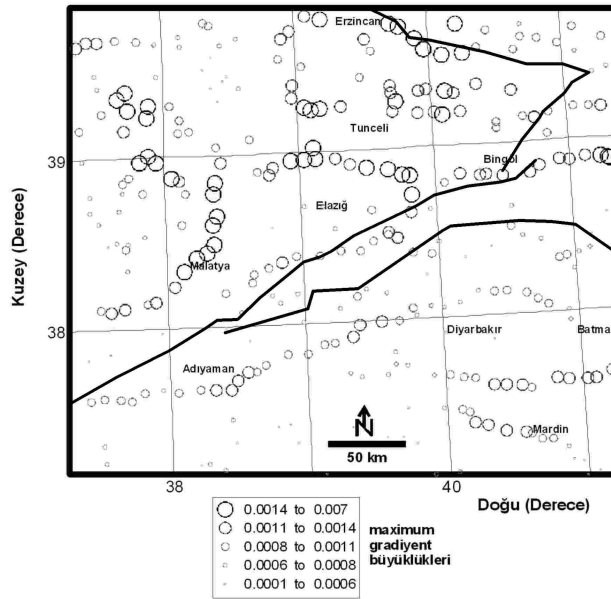
mıknatıslanması ile yer manyetik alanı aynı doğrultuda olduğu varsayılarak çalışma bölgesi için yer manyetik alanı eğim ve sapma açıları sırasıyla 58° ve 4° alınmıştır. Şekil 8, kutba indirgenmiş havadan manyetik anomali haritasını göstermektedir.



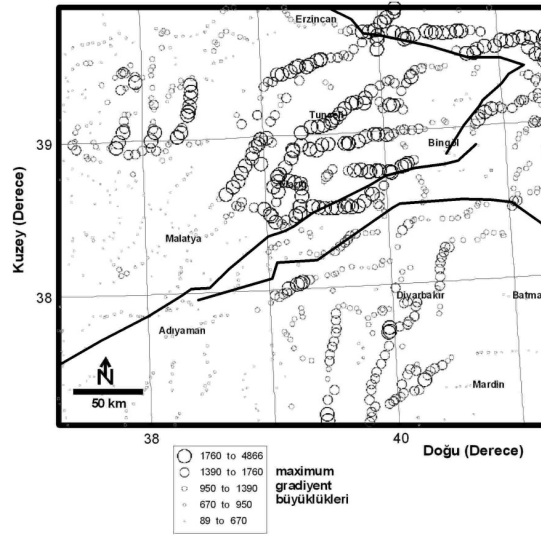
Şekil 8: Çalışma alanının kutba indirgenmiş havadan manyetik anomali haritası.
Figure 8: Aeromagnetic anomaly map of the study area after reduce to pole.

Çalışma alanında yoğunluk kontrastlarına sahip alanların yapı sınırlarının belirlenmesi amacı ile Bouguer gravite anomalilerinin YSA yönteminde kullanılmak üzere yatay gradientleri hesaplanmıştır. Yatay gradientlerin maksimumlarının yerleri saptanarak, gradientlerin büyüklüklerine göre Şekil 9'da harita üzerinde içi boş çemberler ile gösterilmiştir.

Benzer olarak, mıknatıslanma farkına sahip alanların yapı sınırlarının belirlenmesi amacıyla da kutba indirgenmiş havadan manyetik veriler pseudo gravite verilerine dönüştürüldükten sonra YSA yönteminde kullanılmak üzere yatay gradientleri hesaplanarak maksimumlarının yerleri büyüklüklerine göre Şekil 10'da içi boş çemberler ile gösterilmiştir.



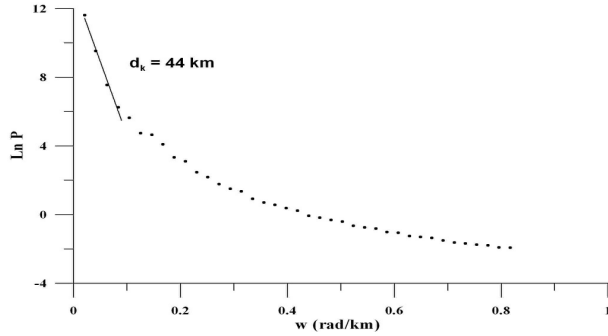
Şekil 9: Bouguer gravite anomalilerinin YSA sonucundan elde edilen yatay gradient maksimumlarının yerleri.
Figure 9: Locations of the horizontal gradient maxima obtained from boundary analysis of Bouguer gravity anomalies.



Şekil 10: Kutba indirgenmiş havadan manyetik anomalilerinin YSA sonucundan elde edilen yatay gradiyent maksimumlarının yerleri.

Figure 10: Locations of the horizontal gradient maximas obtained from boundary analysis of the reduced to pole aeromagnetic anomalies.

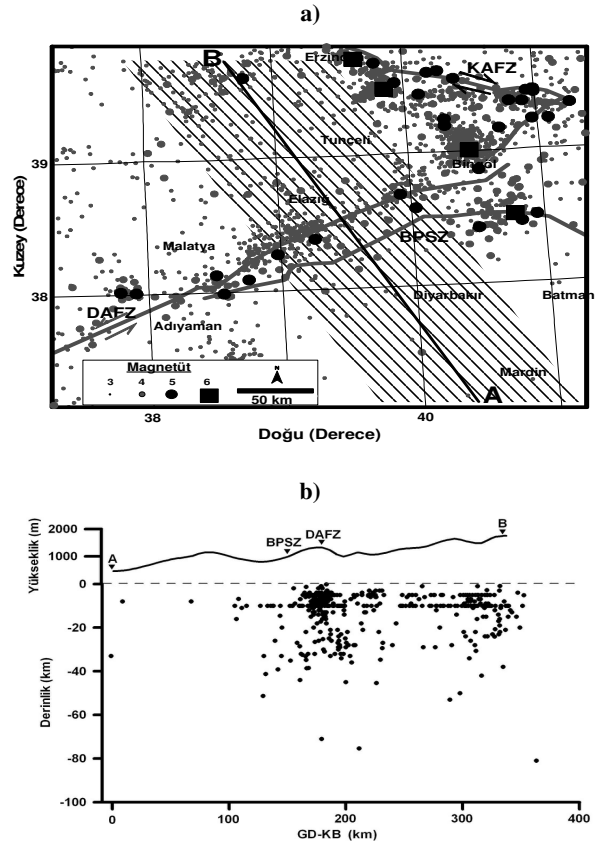
Kabuk modellemesinde referans alınabilecek ortalama bir kabuk derinliğinin belirlenmesi amacıyla da tüm çalışma alanına ait gravite verilerinin iki boyutlu güç spektrumu hesaplanmıştır. Spektrumun büyük dalga boylarında lineerlik gösteren kısımdan en küçük kareler yöntemi ile bir doğru geçirilmiştir. Bu doğrunun eğiminden ortalama kabuk kalınlığı değeri yaklaşık 44 km civarında olduğu hesaplanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11: Çalışma alanı gravite anomalilerinin güç spektrumu.

Figure 11: Power spectrum of gravity anomalies of the study area.

Küresel boyutta Türkiye'nin sismisitesi Afrika, Arap ve Avrasya plakalarının karmaşık ilişkisi altında gelişir (McKenzie, 1972). Şekil 12, çalışma alanının Uluslararası deprem kayıtlarından (USGS) alınan 1964 ve sonrası 3556 adet depremlerini ($M \geq 3$) ve büyük fay sistemlerini içeren sismotektonik haritasını göstermektedir. Ayrıca şekilde taralı alan içerisinde kalan depremlerin yerleri, A-B kesit hattı üzerine izdüşürülerek bunların derinlik dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 12: a) 1964 ve sonrası ($M \geq 3.0$ ten büyük olan depremlerin dağılımı, b) A-B hattı üzerine izdüşürülen depremlerin derinlik dağılımları.

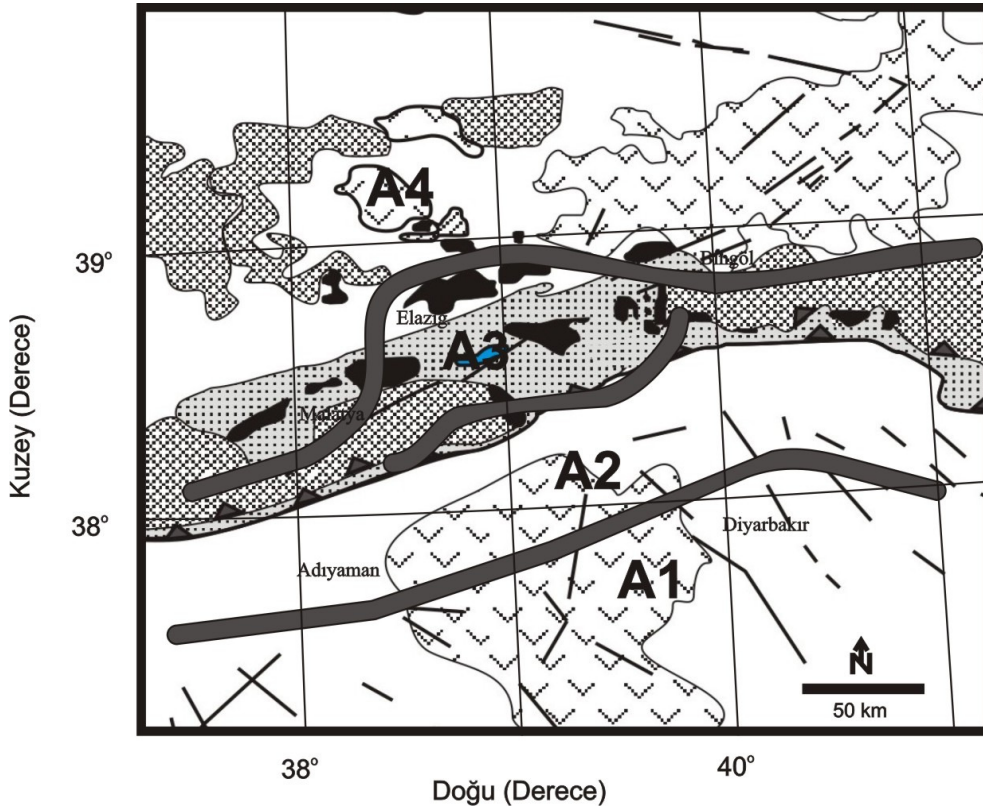
Figure 12: a) Epicentres of the earthquakes ($M \geq 3$) since 1964, b) depth ranges of the earthquakes projected to line A-B.

Şekil 13, Bouguer gravite ve manyetik verilerin sınır analizi sonucunda elde edilen yorum haritasını göstermektedir. Potansiyel alan verilerinin yorumundan elde edilen GD Anadolu Bindirme Zonunun sınırları jeoloji haritası üzerine izdüşürülmüştür. Şekil üzerinde A1: Arap levhasını, A2 ve A3: Arap-Anadolu bindirme kuşağını, A3 ise bindirme kuşağı içerisinde ince kabuk karakterindeki bir bölgeyi ve A4: ise kalın kabuk karakterindeki Anadolu levhasını temsil etmektedir. Bu bölgeler gravite ve manyetik verilerde hem yoğunluk hem de manyetik duyarlılık kontrastı açısından farklı zonları temsil etmektedir.

Arap levhasından Anadolu levhasına doğru jeolojik bir model oluşturabilmek için KB-GD

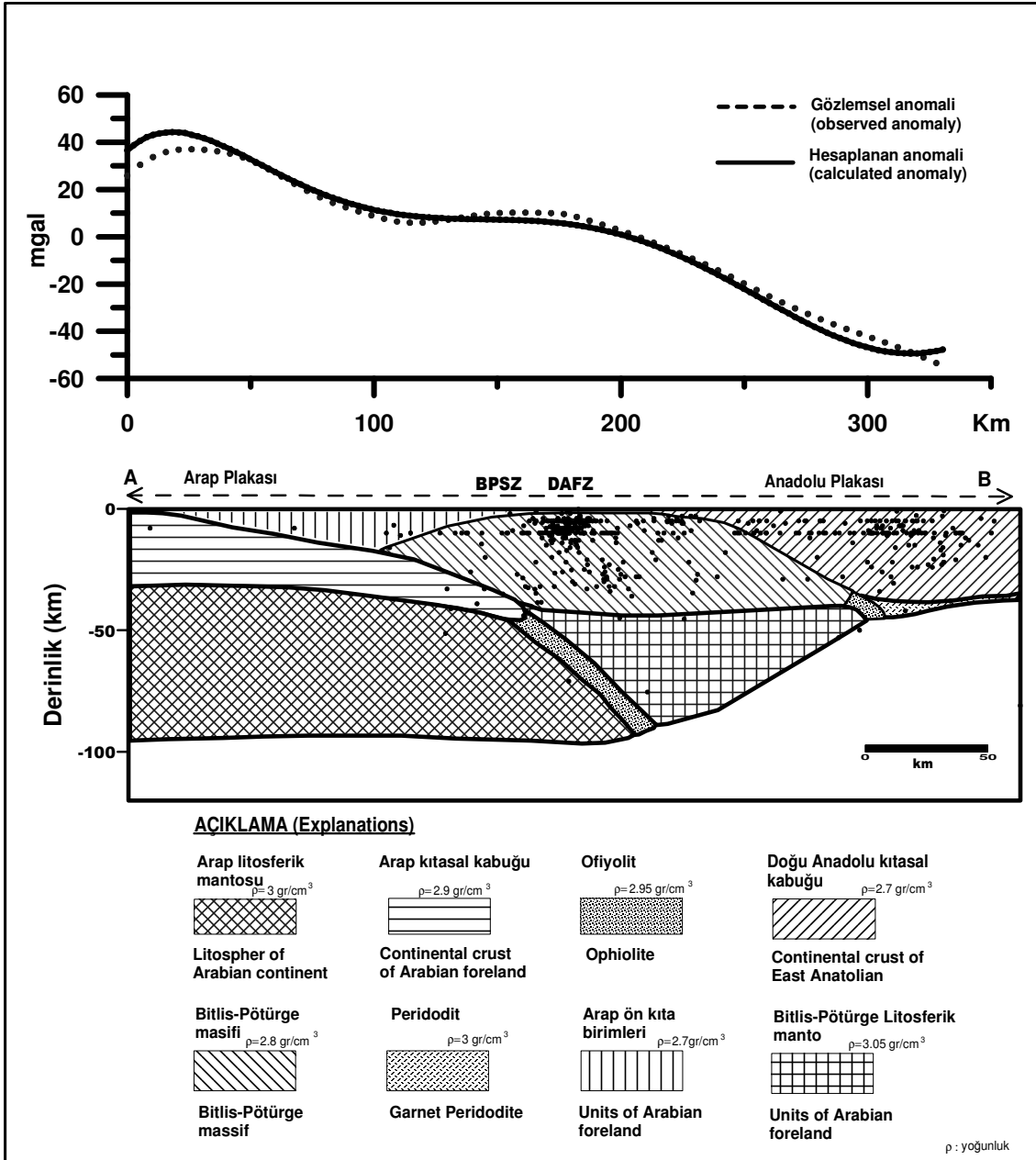
doğrultusundaki A-B hattı boyunca olan gravite verileri alınmıştır. Yüzeğe yakın bozucu kütlelerin etkisini gidermek için verilere alçak geçişli filtre uygulanmış ve daha uzun dalga boylu etkiler değerlendirmeye alınmıştır.

Model yapıların oluşturduğu teorik gravite değerleri ile gözlemsel gravite değerleri arasında bir uyum sağlanıncaya kadar yapılan düz çözüm uygulamasında diğer jeofizik ve jeolojik bilgiler de göz önünde bulundurularak elde edilen olası bir yer altı modeli Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 13: Potansiyel alan verilerinin yorumundan elde edilen GD Anadolu Bindirme Zonunun sınırlarının jeoloji haritası ile birlikte gösterimi.

Figure 13: Boundaries of the SE Anatolian Collision Zone obtained from interpretation of potential field data are drawn on the geological map.



Şekil 14: Profil A-B (Şekil 12a) boyunca jeofiziksel yeraltı modeli (depremlerin konumu model üzerinde gösterilmiştir).

Figure 14: Geophysical model of profile A-B (Figure 12a) (locations of earthquakes are shown on the model).

5. TARTIŞMA

Çalışma alanına ait en şiddetli manyetik anomaliler çalışma alanının ortalarında Elazığ'ın güneyinde görülmektedir (Şekil 8). Ayrıca bu şiddetli anomalinin daha düşük değerli konturlarına dikkat edilecek olursa; anomalilerin gidişatının büyük tektonik yapılar (DAFZ ve BPSZ) ile yakın ilişkide olduğu gözlenir. Bunun yanı sıra bahsedilen bu büyük ve şiddetli anomaliden daha az şiddete sahip birçok küçük dalga boylu anomalilerin de çalışma alanının kuzeybatı

kesimlerinde yer aldığı gözlenmektedir. Çalışma alanının Bouguer gravite anomali değerleri (Şekil 6), -180 ile -20 mgal arasında değişmektedir. Malatya-Tunceli-Bingöl hattının kuzeyinde göreceli olarak negatif değerler gözlenirken, bu hattın güneyi ise göreceli olarak pozitif değerler ile karakterizedir. Negatif Bouguer gravite anomalileri, topoğrafik yükseltiler ile uyum içersindedir. Özellikle Elazığ çevresi gözlenen pozitif Bouguer gravite ve manyetik

açıdan şiddetli pozitif anomaliler bu bölgeyi jeofizik yorum açısından ilginç hale getirmektedir.

Gravite ve havadan manyetik verilerin yapı sınır analizlerinden, Elazığ ve çevresinde, üst kabukta yüksek yoğunluklu ve yüksek manyetik süseptibiliteli kayaların varlığından söz edilebilir (Şekil 9 ve Şekil 10). Bunlar mafik alt kabuk kayaların sınırlarını temsil ediyor olabilir. Her iki potansiyel alan verisinin yatay gradiyent maksimumlarının dağılımları incelendiğinde, büyük tektonik yapılar üzerindeki çizgiselliklerin dışında bunlara paralel olarak hem güney hem kuzey kesimlerde çizgisellikler gözlenmektedir. Özellikle gravite verisine ait dağılımda bu daha belirgin görülmektedir (Şekil 9). Bu sınırların, Doğu Anadolu Bindirme kuşağının güney ve kuzey sınırlarını temsil ettiği düşünülmektedir (Şekil 13). Yine deprem aktivitesi de bu sınırlara uygun bir dağılım göstermektedir.

Tektonik karakteristiği ve jeodinamik yapısı bakımından Arap ve Avrasya plakalarının kıta-kıta çarpışması ile açıklanan Doğu Anadolu bölgesi, şimdiye kadar birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve birbirinden farklı modeller ileri sürülmüştür. Bu çalışmada gravite verilerinin modellenmesiyle oluşturulan bölgenin olası yer altı kesiti (Şekil 14), özellikle sismolojik verilerden elde edilen bulgulardan sonra (AL-Lazki ve diğ., 2003, Gök ve diğ., 2003; Türkelli ve diğ., 2003; Sandvol ve diğ., 2003; Zor ve diğ., 2003) ileri sürülen modeller (Şengör ve diğ., 2003; Keskin, 2003; Angus ve diğ., 2006) göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Modelin oluşturulmasında kullanılan yoğunluk değerleri, ilgili tektonik birimlerin literatürlerde geçen ortalama yoğunlukları baz alınarak seçilmiştir. Elde edilen modele göre çalışma alanı güneyinde kabuk kalınlığı 38 km civarında olup kuzey kesimlerde 50 km'lere kadar ulaşmaktadır. Bu değerler, güç spektrumu analizinden hesaplanan 44 km'lik ortalama kabuk derinliği ile de örtüşmektedir (Şekil 11). Yapılan tomografi çalışmalarından (Sandvol ve diğ., 2001) elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanı içerisinde DAFZ'ndan itibaren kuzeye doğru Lg dalga hızlarındaki düşüş, burada litosferik manto bileşenlerinin incelmekte olduğunu ve yerini daha düşük rijitideye sahip astenosferik manto bileşenlerine bırakmasıyla ilişkilendirilmiştir. Gravite verilerinden oluşturulan modelde de Bitlis masifi altında bulunan litosferik mantonun kuzeye doğru incelendiği görülmektedir.

SUMMARY

Gravity and aeromagnetic analysis have been conducted in the region of Malatya- Elazığ-Bingöl-Diyarbakır-Adıyaman, in order to elucidate the crustal structure beneath the region. A broad NE-SW trending belt Bitlis-Pötürge Suture Zone (BPSZ) across the Arabian-Eurasian collision zone is well identified from

the analysis of Bouguer gravity, aeromagnetic and seismological data. In consequence of gravity and magnetic analysis, boundaries of four regions which have different tectonic characters were identified. An average thickness of 44 km has been calculated for the crust in the study area. The thickness of the crust in the study area has been found between 38 km to 51 km according to a geophysical model, generated by interpretation of gravity data. On the other hand the lithospheric mantle is thinner in the southern part of the study area.

TEŞEKKÜR

Makalenin son şekline gelmesindeki değerli görüş ve katkılarından dolayı adı belirtilmemiş hakemlere ve Editör Prof. Dr. Naci ORBAY'a teşekkür ederiz. Bu çalışma SDÜ BAP Yönetim Birimi tarafından 1069-m-05 numaralı proje ile desteklenmiştir. Potansiyel alan verilerini sağlayan MTA'ya teşekkürü bir borç biliriz.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Al-Damegh, K., Sandvol, E., Al-Lazki, A. Barazangi, M., 2004,** Regional wave propagation (Sn and Lg) and Pn attenuation in the Arabian plate and surrounding regions, *Geophys. J. Int.* , 157 , 775-795.
- Al-Lazki, A., Seber, D., Sandvol, E., Turkelli, N., Mohamad, R., Barazangi, M., 2003,** Tomographic Pn velocity and anisotropy structure beneath the Anatolian plateau (eastern Turkey) and the surrounding regions, *Geophys. Res. Lett.*, Lett., 30 (24), 8043, doi:10.1029/2003GL017391.
- Angus, D.A., Wilson, D.C., Sandvol, E., Ni, J.F., 2006,** Lithospheric structure of the Arabian and Eurasian collision zone, *Geophys. J. Int.*, 166, 1335-1346.
- Barka, A.A., Kadinsky-Cade, K., 1988,** Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, *Tectonics*, 7 (3), 663-684.
- Barka, A., Reilinger, R., 1997,** Active tectonics of the eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data, *Annali di Geofisica*, XI (3), 587-610.
- Baranov, V., 1957,** A new method for interpretation of aeromagnetic maps: pseudo gravimetric anomalies, *Geophys.*, 22, 359-383.
- Bektaş, Ö., Ravat, D., Büyüksaraç, A., Bilim, F., Ateş, A., 2007,** Regional Geothermal Characterisation of East Anatolia from Aeromagnetic, Heat Flow and Gravity Data. *Pure and Appl. Geop.*, 164, 975-998.

- Bhattacharyya B.K., 1965**, Two dimensional harmonic analysis as a tool magnetic interpretation, *Geophys.*, 30, 829-857.
- Blakely, R.J., Simpson, R.W., 1986**, Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies, *Geophysics*, 51, 1494-1498.
- Çetin, H., Güneşli, H., Mayer, L., 2003**, Paleoseismology of the Palu–Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, *Tectonophysics*, 374, 163-197.
- Cordell, L., Grauch, V.J.S., 1982**, Reconciliation of the discrete and integral fourier transform. *Geophysics*, 47(2), 237-343.
- Cordell, L., Grauch, V.J.S., 1985**, Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico, edited by W.J. Hinze, *The utility of the regional gravity and magnetic anomaly maps*, Soc. Explor. Geophys, 181-197.
- Dewey, J.F., 1976**, Seismicity of northern Anatolia, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66, 843-868.
- Dolmaz, M.N., Ö. Elitok ve Ü.Y. Kalyoncuoğlu, 2008**, Interpretation of low seismicity in the eastern Anatolian collisional zone using geophysical (seismicity and aeromagnetic) and geological data, *Pure and Applied Geophysics*, 165, 2, 311-330, doi: 10.1007/s00024-008-0307-y.
- Elitok, Ö. ve M.N. Dolmaz, 2008**, Mantle flow-induced crustal thinning in the area between the easternmost part of the Anatolian plate and the Arabian Foreland (E Turkey) deduced from the geological and geophysical data, *Gondwana Research*, 13, 3, 302-318, doi: 10.1016/j.gr.2007.08.007.
- Erlor, A., 1984**, Tectonic setting of the Massive sulfide deposits of the Southeast Anatolian thrust Belt, *Proceedings on Geology of the Taurus Belt*, edited by O.Tekeli and M.C.Göncüoğlu, 309-316.
- Eyidoğan, H., 1983**, Bitlis-Zagros Bindirme ve Kıvrımlı kuşağının sismotektonik özellikleri, Doktora Tezi, İTÜ Maden Fak., 112 s.
- Gök, R., Turkelli, N., Sandvol, E., Seber, D., Barazangi, M., 2000**, Regional wave propagation in Turkey and surrounding regions, *Geophys. Res. Lett.*, 27 (3), 429-432.
- Gök, R., Sandvol, E., Türkelli, N., Seber, D., Barazangi, M., 2003**, *S_n* attenuation in the Anatolian and Iranian plateau and surrounding regions, *Geophys. Res. Lett.*, 30 (24), 8042, doi:10.1029/2003GL018020.
- Gök, R., Pasyanos, M., Zor, E., 2007**, Lithospheric structure of the continent-continent collision zone: eastern Turkey. *Geophys. J. Int.* 169, 1079-1088.
- Hempton, M.R., 1982**, The North Anatolian fault and complexities of continental escape, *Journal of Structural Geology*, 4, 502-504.
- Hildenbrand, T.G., 1983**, FFTFIL: A Filtering Program Based on Two-dimensional Fourier Analysis, U.S.G.S. Open File Report, 83-237.
- Jackson, J., McKenzie, D.P., 1984**, Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan, *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 77, 185-264.
- Kalafat, D., 1995**, Anadolu'nun tektonik yapılarının deprem mekanizmaları açısından irdelenmesi, *Deprem Araştırma Bülteni*, 77, 217 s.
- Karig, D.E., Kozlu, H., 1990**, Late Palaeogene-Neogene evolution of the triple junction region near Maras, south-central Turkey, *Journal of the Geological Society of London*, 147, 1023-1034.
- Keskin M., 2003**, Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction‐ accretion complex: An alternative model for collision‐related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, *Geophys. Res. Lett.*, 30 (24), 8046-8049.
- Keskin, M., 2005**, Domal uplift and volcanism in a collision zone without a mantle plume: Evidence from Eastern Anatolia: <http://www.mantleplumes.org>.
- Ketin, I., 1948**, Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anatolischen Erdbeben des letzten Dezenniums. *Geologische Rundschau*, 36, 77-83.
- Ketin, İ., 1983**, Türkiye jeolojisine genel bir bakış, İTÜ Yayını.
- Lyberis, N., Yürür, T., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E., Gündoğdu, N., 1992**, The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt, *Tectonophysics*, 204, 1-15.
- Maggi A., Priestley, K., 2005**, Surface waveform tomography of the Turkish-Iranian plateau, *Geophys. J. Int.*, 160 (3): 1068-1080.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N., Veis, G., 2000**, GPS constraints on plate kinematics and dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695-5719.
- McKenzie, D.P., 1972**, Active tectonics of Mediterranean region, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 30, 109-185.
- Okubo, Y., Graf, J.R., Hansen, R.O., Ogawa, K., Tsu, H., 1985**, Curie Point Depths of the Island of Kyushu and Surrounding Areas, Japan, *Geophysics*, 53, 481-494.
- Osmanşahin, Ü., Ekşi, F., Alptekin, Ö., 1986**, Doğu Anadolu ve Kafkasya bölgesinin depremselliği ve aktif tektoniği, *Deprem Araştırma Bülteni*, 52, 5-41.

- Pamukçu, O. A., Akçığ, Z., Demirbaş, Ş., Zor, E., 2007**, Investigation of crustal thickness in Eastern Anotolia using Gravity, Magnetic and Topographic data. *Pure and Applied Geophysics*, Volume 164, Issue 11, 2345-2358
- Perinçek, D., Çemen, İ., 1990**, The structural relationship between East Anatolian and Dead Sea fault zones in southeastern Turkey, *Tectonophysics*, 172, 331-340.
- Pınar, A., 1995**, Rupture process and spectra of some major Turkish earthquakes and their seismotectonic implications, PhD Thesis, Boğaziçi University, İstanbul, 125 pp (unpublished).
- Sandvol, E., Al-Damegh, K., Calvert, A., Seber, D., Barazangi, M., Mohamad, R., Gok, R., Turkelli, N., and Gurbuz, C., 2001**, Tomographic imaging of Lg and Sn Propagation in the Middle East *Pure and Applied Geophysics*, 158, 1121-1163.
- Sandvol, E., Turkelli, N., Barazangi, M., 2003**, The Eastern Turkey Seismic Experiment: The study of a young continent-continent collision, *Geophys. Res. Lett.*, 30 (24), 8038, doi:10.1029/2003GL018912.
- Spector, A., Grant, F.S., 1970**, Statistical models for interpreting aeromagnetic data, *Geophysics*, 35, 293-302.
- Şengör, A.M.C., 1979**, The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance: *Jour. Geol. Soc. London*, c. 136, ss. 269-282.
- Şengör, A.M.C., Canitez, N., 1982**, The North Anatolian fault. In: Berckhemer, H., Hsul, K. (Eds.), *Alpine and Mediterranean Geodynamics*, American Geophysical Union, *Geodynamics Series*, 7, 205-216.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985**, Strike slip faulting and related basin formations in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle, K.T., Christie-Blick, N. (Eds.), *Strike-Slip Faulting and Basin Formation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma, pp. 227-264, Special Publication No. 37.
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Genç, T., and Zor, E., (2003)**, East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure, *Geophys. Res. Lett.* 30, 24, 8045.
- Talwani, M., Worzel, L., Landisitian, M., 1959**, Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with applications to the Mendocino submarine fracture zone, *J.G.R.*, 64, 49-59.
- Taymaz, T., Eyidoğan, H., Jackson, J, 1991**, Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian fault zone (Turkey), *Geophysical Journal International*, 106, 537-550.
- Turkelli, N., Sandvol, E., Zor, E., Gok, R., Bekler, T., Al-Lazki, A., Karabulut, H., Kuleli, S., Eken, T., Gurbuz, C., Bayraktutan, S., Seber, D., and Barazangi, M., 2003**, Seismogenic zones in Eastern Turkey, *Geophys. Res. Lett.*, 30 (24).
- Zor, E., Gurbuz, C., Turkelli, N., Sandvol, E., Seber, D. and Barazangi, M., 2003**, The crustal structure of the East Anatolian Plateau from receiver functions, *Geophys. Res. Lett.*, 30 (24), 8044, doi:10.1029/2003GL018192.