

GRAVİTE VERİLERİ İLE TÜRKİYE'NİN KABUK YAPISININ İNCELENMESİ

Selim ARSLAN*, Uğur AKIN* ve Atakan ALACA**

ÖZ.- Bu çalışmada daha önce ölçülen Türkiye rejyonal gravite verileri kullanılmış ve jeoloji-tektonik-yükseklik ilişkilerini incelemek amacı ile Türkiye'nin izostazik haritası, serbest hava anomali haritası, Bouguer anomali haritaları elde edilmiş, yükseklik ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Dünyanın kabuk kalınlığı için, $T=32-0.08g$ bağıntısı kullanılmıştır. En iyi ilişki, +0.65 katsayısı ile Bouguer anomalisinden elde edilmiş, ilişki fonksiyonu $Y=-72E+7.77$ olarak bulunmuştur. Türkiye'nin kabuk kalınlığı, en sığ 31.4 km ve en derin 50 km olarak kestirilmiştir. Bunun yanı sıra, Türkiye'nin tektonik birlikleri incelenerek bölgeler arasındaki ilişki eşitlikleri hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Türkiye, Jeofizik, Gravite, Serbest Hava, Bouguer, Kabuk Kalınlığı, İzostazi, Tektonik

ABSTRACT.- During this work, the regional gravity data acquired earlier were used and in order to investigate the relations between geology - tectonics and elevation, isostatic map of Turkey, free air anomaly map and Bouguer anomaly maps were obtained, and comparisons with respect to elevations were carried out. For the thickness of the earth crust $T = 32 - 0.08g$ relation was used. The best relation was obtained from Bouguer anomaly with +0.65 coefficient; the relation function was obtained as $Y = - 72E + 7.77$. Thickness of the crust of Turkey is estimated to be 31.4 km where it is the shallowest and 50 km where it is deepest.

Key Words: Turkey, Geophysics, Gravity, Free Air, Bouguer, Crustal Thickness, Isostasy, Tectonics

GİRİŞ

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 1973 senesinde Türkiye rejyonal gravite çalışmalarına başlamış, 15 yıl süren çalışma sürecinde 60648 adet istasyonda ölçü almış ve 1988 yılında çalışmayı bitirmiştir. Ölçüler, 3-5 km aralıklarla 1, 2 ve 3. dereceden nirengiler ile 1:25000 ölçekli topoğrafik harita üzerinde kot ve koordinatlar alınabilecek (okul, cami, yol ayrımı, derelerin kesiştiği yerler, köprü vb) noktalarda gerçekleştirilmiştir. Bu verilere, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) ve Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından ölçülen gravite verilerinden de bir miktar eklenmiştir.

Arazi çalışmalarında Worden Master, LaCoste Romberg 344 ve 347 gravimetreleri kullanılmıştır. Potsdam'dan alınan uluslararası baz değeri, HGK tarafından havaalanlarına ta-

şınmıştır. HGK ve MTA bu değerleri, ülke geneline yayarak Türkiye Ulusal Gravite Baz Ağı'nı oluşturmuşlardır.

Jeofizik disiplinler içerisinde yer alan sismoloji, yer kabuğunun yapısı hakkında çok yararlı bilgiler sağlar. Sismolojinin yanı sıra kırılma, yansıma, yüzey dalgalarının hız dağılımı gibi sismik çalışmalar da belirli alanlarda kabuk yapısının anlaşılması için değerli bilgiler ortaya koyar. Yardımcı çalışmalardan bir diğeri de gravite yöntemidir. Tek başına yeterli ayrımlılık sağlayamamakla birlikte sismolojinin çalışmalarını destekleyici, bazen de çürütücü bir rol oynayabilir. Kabuk yapısı için, izostazi-topoğrafik yükseklik ile topoğrafik yükseklik-jeolojik etkenlerle ilişkilendirilerek geçerli jeolojik modeller oluşturulabilir. Bunun yanı sıra kabuk yapısı ile ısı akışı gibi diğer fiziksel olgular arasında da ilişkiler kurulabilir (Woollard, 1959). Bouguer ve yükseklik de-

* MTA Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi - Ankara

** MTA Genel Müdürlüğü, Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü - Sivas

ğerlerinin kendi arasındaki ilişkileri, kabuk yapısının anlaşılmasında önemli bir rol oynar (Qureshy, 1970).

Bu çalışmada serbest hava, izostazi (Airy) ve Bouguer haritaları oluşturularak bunların yükseklik, tektonik ve jeoloji ile olan ilişkileri incelenmiş ve Türkiye için Bouguer anomalisi ve yükseklik verilerinden hazırlanan kabuk kalınlığı haritası elde edilmiştir. Çalışmada dünyanın kabuk kalınlığı için $T=32-0.08g$ bağıntısı kullanılmıştır (Wollard, 1959).

Cebelitarık boğazından başlayıp, Endonezya ada yayına kadar uzanan bir deprem kuşağı üzerinde bulunan ve ada yaylarına benzer yapıları ile ilginç bir kuşak oluşturan Doğu Akdeniz Bölgesi, gravite anomalileri yönünden, 1930'lerden bu yana çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Son yıllardaki yeni gelişmeler bu incelemelere daha çok önem kazandırmıştır. Doğu Akdeniz gravite anomalileri ile Anadolu gravite anomalileri birlikte ilişkilendirilerek, Anadolu'da alınan profiller boyunca gravite değerleri ile topografik yükselimler arasında doğrusal ilişki aramak suretiyle değerlendirilmiştir (Özelçi, 1973).

Sismoloji ve sismik çalışmalarda, deprem dalgalarının ölçülmesi veya yapay patlatmalarla elde edilen verilerin yorumlanması kabuk yapısının ve bileşiminin anlaşılmasında önemli olmuştur. Marmara, Orta Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde gerçekleştirilen bu çalışmalarda yapay sismik kaynak olarak taş ocaklarından ve kuyu içi dinamit atışlarından yararlanılmıştır. Orta Anadolu için ortalama kabuk kalınlığı 36-40 km hesaplanmış ve yanal değişimler içeren kabuğun Kuzeybatı Anadolu'da Anadolu'nun doğusuna göre ince olduğu gözlenmiştir. Ağrı'da kabuk kalınlığı 41 km elde edilmiştir. Arap-Anadolu lehvası gibi tektonik açıdan oldukça karmaşık bir yapıyı KB-GD doğrultulu ve uzunluğu 220 km olan bir profil ile kesilmiştir. Sismik kırılma verilerinden kabuk

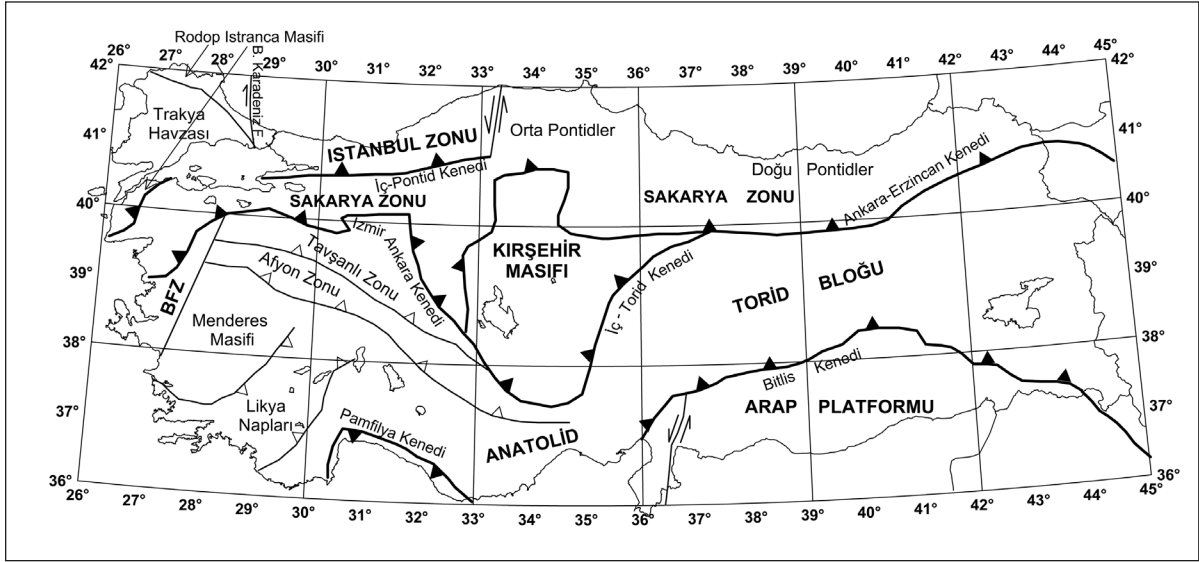
kalınlığı, 38-42 km olarak hesaplanmıştır (Bekler ve diğerleri, 2005).

Batı Yunanistan'daki sismik istasyonlardan elde edilen 1999 Türkiye depremlerinin yüzey dalgaları başlıca Love dalgalarının saçınımları çalışılarak Kuzeybatı Anadolu'nun kabuk kalınlığı 33 km civarında olduğu hesaplanmıştır (Novotny ve diğerleri, 2001).

Gravite anomali verilerine deneysel bağıntılar uygulanarak, Anadolu'da kabuk kalınlığı değerlerinin 26.4 km ile 49.5 km arasında değiştiği saptanmıştır (Maden ve diğerleri, 2005). Daha sonra, anomali haritasına iki boyutlu radyal ortalama güç spektrumu tekniği uygulanarak bölgeye ait ortalama rejyonel yapı derinliği 47 km olarak bulunmuştur. İkinci aşamada, aynı anomali haritasına tek boyutlu kayan pencere gücü spektrumu yöntemi uygulanarak olası yapı derinliklerinin değişimi araştırılmıştır. Uygulama sonucu derinliklerin 38-52 km arasında değiştiği ve ortalama kabuk kalınlığının 45 km olduğu saptanmıştır (Akçığ ve diğerleri, 2005).

TÜRKİYE'NİN GENEL JEOLÖJİK YAPISI

Alp - Himalaya Dağ oluşum sistemi içinde yer alan Türkiye'nin jeolojik yapısını, bir kaç bölgede yüzeyleyen Pan-Afrikan temel ile Tetis Okyanusu'nun (Paleo - ve Neo - Tetis) evrim süreci içerisinde oluşan kıtasal zonlar ile bunlar arasında yer alan okyanusal kenet kuşaklarının oluşturduğu paleotektonik zonlar şekillendirmektedir (Şekil 1). Genel olarak D-B konumunda uzanan bu tektonik birlikler şekil, konum, dağılım, dokanak ilişkileri, bölgesel deneştirmeleri ve tektonik evrimleri değişik araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Ketin 1966; Özgül 1976, 1984; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör ve diğerleri, 1984; Şengör 1985; Görür 1987, 1988, 1991; Okay 1989; Koçyiğit ve diğerleri, 1991; Tüysüz 1993; Görür ve diğerleri, 1983; Yılmaz ve diğerleri, 1994, 1995; Okay ve diğerleri, 1996; Okay ve Tüysüz 1999).



Şekil 1- Türkiye'nin yapısal birliklerini ve kenet sınırlarını gösteren harita. (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek alınmıştır).

Birbiriyle tektonik dokanaklı kıtasal zonlar ve kenet kuşakları kuzeyden güneye doğru incelendiğinde Türkiye'nin kuzeybatısında Istranca Zonu yer almaktadır. Istranca Masifi ve Trakya havzasından oluşan İstanca Zonu'nun temelinde gnays ve metagranitoidler görülmektedir. Bu litolojiler üzerinde Orta Jura'da metamorfizma geçirmiş Triyas-Erken Jura yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayaçlar görülmektedir. Bu metamorfik kayaçlar üzerine, Orta Eosen-Güncel zaman aralığında çökelen karbonat ve kırıntılılardan oluşan Trakya Havzası istifi uyumsuzlukla gelir (Aydın, 1974; Kasar ve Okay, 1992; Okay ve diğerleri, 2001). Istranca Zonu doğuda, doğrultu atımlı bir tektonik dokanakla İstanbul Zonu'ndan ayrılmaktadır (Okay ve Tüysüz, 1999). İstanbul-Zonguldak Zonu tabanında Prekambriyen yaşlı gnays, metagranit ve amfibolitten oluşan Pan-Afrikan temel kayaçları bulunmaktadır. Bu temel üzerinde metamorfizmadan etkilenmemiş Ordovisiyen-Karbonifer yaşlı kırıntılı ve karbonattan oluşan sedimanter istif yer almaktadır (Kozur ve Gönçüoğlu, 1999; Ustaömer ve Robertson, 2005). Triyas yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayaçlar alttaki

istifi uyumsuzlukla örtmektedir (Şengör ve Yılmaz 1981; Yılmaz ve diğerleri, 1995). Geç Kretase - Eosen yaşlı volkano-klastik ve karbonatlar, İstanbul - Zonguldak Zonu'nun örtü kayaçlarını oluşturmaktadır (Okay ve diğerleri, 1994; Görür ve Okay 1996). İstanbul-Zonguldak Zonu'nu, İç Pontid Kenedi güneydeki Sakarya Zonu'ndan ayırmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981). İç Pontid Kenedi'nde Geç Kretase-Paleosen yaşlı ofiyolitik melanj ile Geç Kretase-Eosen yaşlı bloklu fliş yer almaktadır (Okay ve Görür 1995; Görür ve Okay, 1996). İç Pontid Kenedi güneyinde, Biga Yarımadası'ndan Doğu Karadeniz'e kadar uzanan, kıtasal kayaç topluluğu Sakarya Zonu'nu oluşturmaktadır. Sakarya Zonu'nun temelindeki gnays, mermer ve metaperidotitlerden oluşan metamorfik masifler (Kazdağ, Uludağ ve Pulur masifleri) Hersinyen orojenezinden etkilenmiştir. Bu masifleri tektonik dokanakla örten, düşük dereceli metamorfizmadan etkilenmiş ve yoğun deformasyona uğramış, içerisinde kireçtaşı blokları bulunduran Geç Paleozoyik-Triyas yaşlı volkano-sedimanter kayaç toplulukları (Karakaya Kompleksi) yer almaktadır (Bingöl ve diğerleri, 1973; Okay ve

diğerleri,1996; Duru ve diğerleri, 2004). Bu kayaçlar üzerine Erken Jura-Eosen yaşlı karbonat ve fliş istif, transgresif olarak gelmektedir. Bu istif içerisinde Geç Kretase'den itibaren özellikle Doğu Karadeniz'de volkanik ürünler yaygın olarak görülmektedir. Ayrıca, Geç Paleozoyik-Miyosen yaş aralığında Sakarya Zonu içerisinde yoğun granitik sokulumlar bulunmaktadır. Sakarya Zonu güneyindeki İzmir-Ankara-Erzincan Kenedi, Neo-Tetis Okyanusu'nun kuzeye dalımlı yitim zonunu temsil etmektedir (Şengör ve Yılmaz,1981). Bu kenet, Triyas-Kretase yaşlı yoğun makaslanmış ofiyolitik kayaçlar ile Batı Anadolu'da Geç Kretase yaşlı bloklu fliş (Bornova Fliş Zonu) ve Tavşanlı Zonu'nda mavişistler ofiyolitik kayaçlara eşlik etmektedir (Okay, 1984, 1986; Erdoğan ve diğerleri, 1990). İzmir - Ankara - Erzincan Kenedi güneyinde yüksek dereceli metamorfik kayaçlardan oluşan Orta Anadolu Masifi yer almaktadır. Geç Kretase yaşlı granitik sokulumlar tarafından kesilen bu kristalin masif, geç Maasrihtiyen-güncel aralığında çökeltmiş kırıntılı ve karbonat kayaçlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Erkan, 1975; Göncüoğlu, 1981; Seymen 1982; Gökten, 1986). Orta Anadolu Masifi, güneyde Geç Kretase-Eosen yaşlı ofiyolitik kayaçlardan oluşan İç Torid Kenedi ile Torid platformundan ayrılmaktadır (Şengör ve Yılmaz 1981). İzmir-Ankara Kenedi ve İç Torid Kenedi güneyinde Menderes Masifi ve Toros Platformu yer almaktadır. Menderes Masifi bir çekirdek ve bunu saran örtü birimlerini kapsar (Dürr ve diğerleri, 1978; Şengör ve diğerleri, 1984; Konak, 2003). Çekirdek, Pan-Afrikan metamorfik temeli temsil eden gözlü gnays ve migmatitlerden oluşur. Örtü birimleri ise, Geç Paleozoyik - Eosen yaşlı karbonat ve kırıntılı istiflerden meydana gelmiştir. Bu litolojiler Paleosen-Eosen'de bölgesel metamorfizmadan etkilenmişlerdir. Toros Platformu farklı tektono-stratigrafik birlikler ve naplardan oluşmaktadır. Erken Paleozoyik-Tersiyer aralığında çökeltmiş platform, kıta kenarı ve okyanusal litolojiler içeren bu birlikler ve naplar, Geç Kretase-Eosen hareketleri ile üst üste bindirmişler ve yer yer metamorfizmadan etkilenmişlerdir (Özgül,1976;1984). Toros Platformu ile

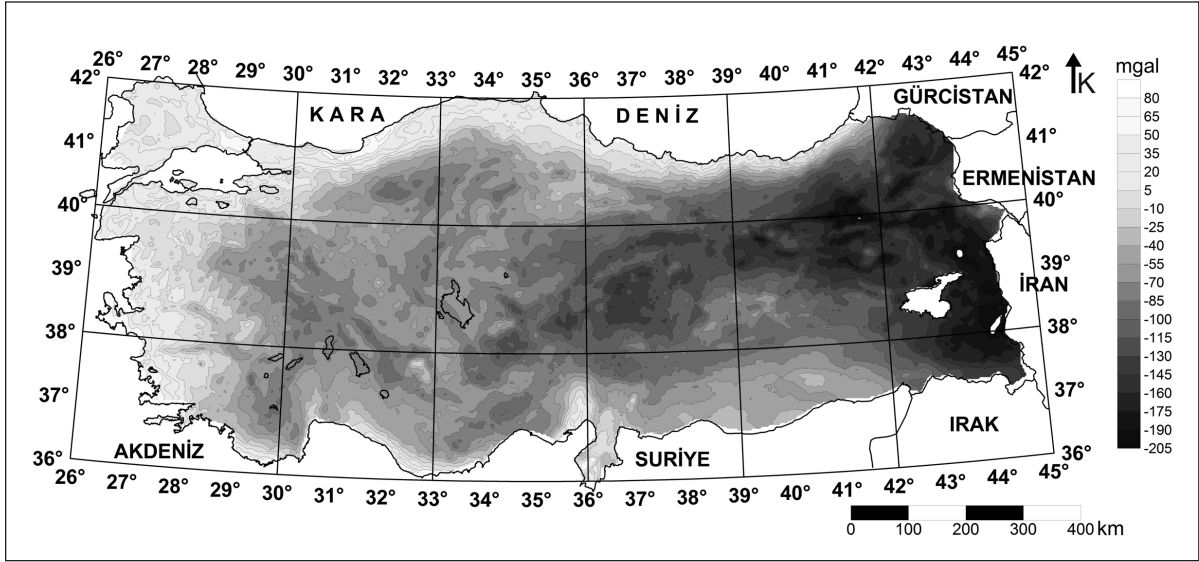
Arap Platformu'nun sınırını oluşturan Bitlis Kenedi, Geç Triyas'tan-Erken Miyosen'e kadar varlığını sürdüren Neo-Tetis Okyanusu'nun güney kolunu temsil eder. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'daki geniş ofiyolitik naplar bu okyanusun kalıntılarıdır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey ve diğerleri, 1986). Bitlis Kenedi güneyinde yer alan Arap Platformu Prekambriyen yaşlı okyanusal ve kıtasal parçalardan oluşmuş, yoğun deformasyona uğramış bir temel ve üzerinde Geç Permiyen öncesinde çökeltmiş kırıntılı kayaçlar ile temsil edilir. Bu birimler üzerine transgresif olarak gelen Geç Permiyen-Tersiyer yaşlı, karbonat ağırlıklı istif Arap Platformu'nun üzerinde ve kenarında çökeltmiştir (Perinçek, 1980; Perinçek ve diğerleri, 1991; Şengör ve Natal'in 1996).

TÜRKİYE'NİN BOUGUER, İZOSTAZİ VE KABUK HARİTALARI

Gravite metodu, yer kabuğunun ve jeolojik yapılarının analizi için kullanılır. Temel bilimsel çerçeveyi oluşturmak için yapılan çalışmalar ve bunun yanısıra, bölgesel (rejyonel) araştırmaları içermek üzere, sistemin yorumlanmasında birincil bir araçtır. Rejyonel gravite anomali haritaları coğrafik dağılımlar, temel kayanın görünümü, yapısal ve litolojik alanlar, kabuksal inceleme bölgeleri, litosfer içindeki kütlelikselliklerin bulunduğu alanlar, sedimanter havzaların geometrik şekli, volkanik ve sokulum kayaçların dağılımlarının haritalanmasında özellikle faydalıdır (Kwang ve diğerleri, 1999).

Bu çalışmada, Bouguer anomali haritası için yoğunluk 2.67 gr/cm^3 alınmıştır (Şekil 2). Bouguer değeri hesaplanırken gel-git, enlem, topografik ve yükseklik düzeltmeleri yapılmıştır. Topografik düzeltme için yoğunluk 2.4 gr/cm^3 kullanılmıştır. Enlem düzeltmesi için 1967 uluslararası gravitasyon formülü kullanılmıştır (Blakely, 1995). Yükseklik düzeltmesinde indirgeme yüzeyi deniz seviyesi olarak alınmıştır.

Türkiye Bouguer anomali haritasının toplam değışimi -205 ile +80 mgal arasında yer alır. Or-



Şekil 2- Türkiye Bouguer gravite haritası.

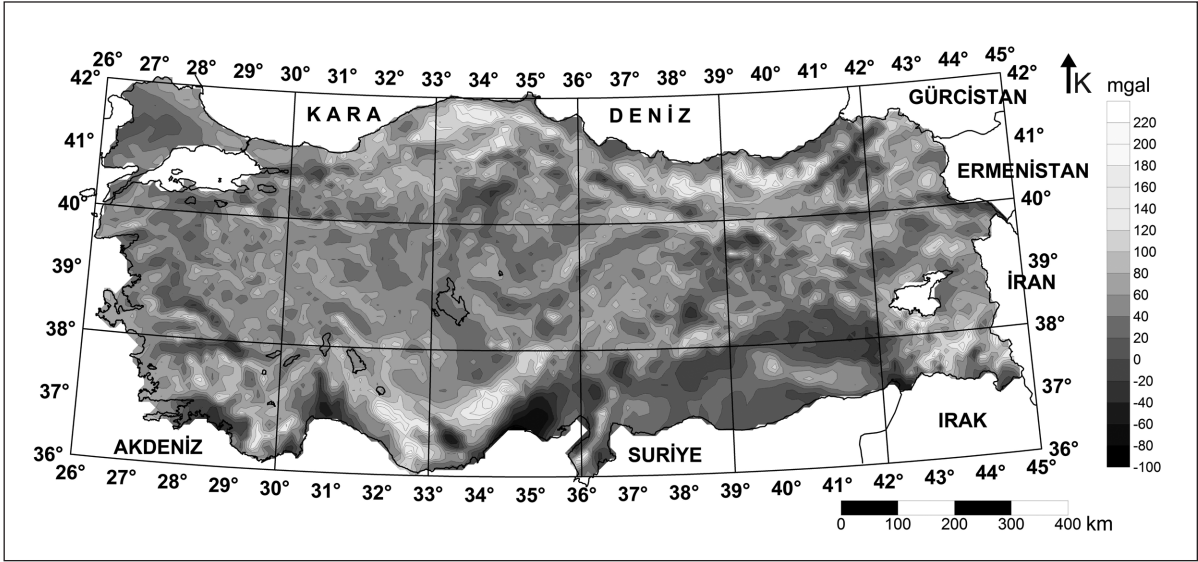
talama Bouguer değeri ise -66 mgal değerindedir.

Bouguer anomali haritasında, Doğu Karadeniz'den, Akdeniz'in doğusuna kadar uzanan pozitif bir kuşak gözlenmektedir. Bu kuşak muhtemelen yüksek yoğunluklu kütleleri temsil eder. Tuz Gölü'nün doğusundan başlayıp, sarp yüksek topografyaya hakim Doğu Anadolu'nun tamamını kapsayan, negatif bir kuşak görülmektedir. Bu kuşağın, -185 mgal negatif değerlere ulaştığı görülür. Burada kabuğun kalınlığı kıyı kesimlere göre daha yüksektir. Batı Anadolu'da yer alan Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz grabenleri de bu harita da açıkça izlenebilmektedir.

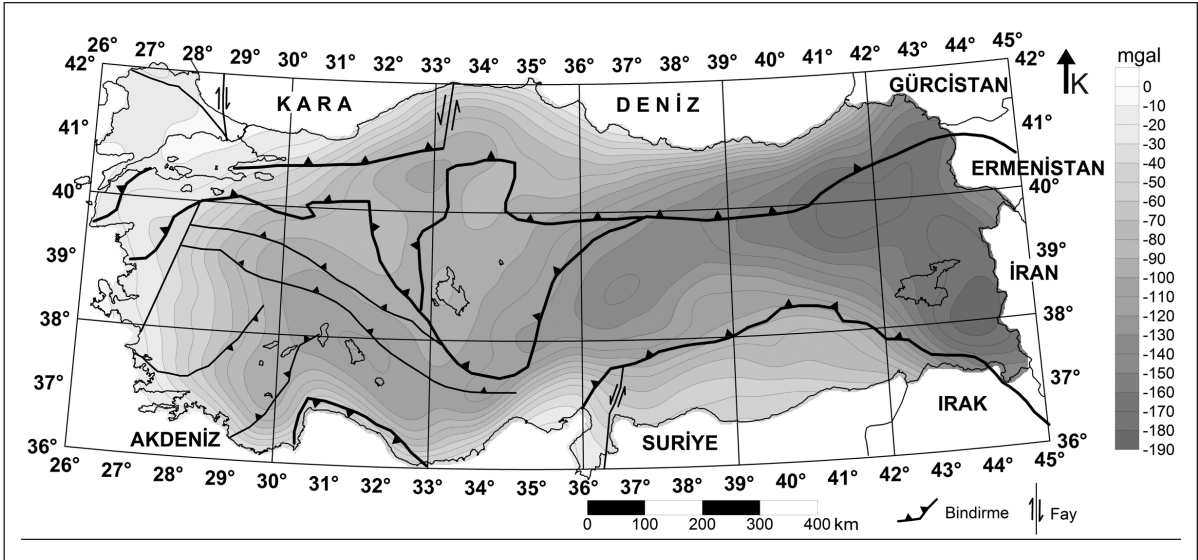
Serbest hava gravite ve topoğrafik harita arasındaki uyumsuzlukların olduğu yerler farklı yoğunluktaki jeolojik yapıları belirtir. Serbest hava anomali haritasına bakıldığında, Orta Karadeniz'den, Doğu Karadeniz'e kadar uzanan pozitif anomaliler, Van Gölü'nün güneyindeki pozitif kuşak, Antalya körfezinin doğusundaki pozitif kuşak, buralarda bulunan dağ silsilelerini temsil etmektedir (Şekil 3).

Airy ve Pratt izostazik denge kavramını, sırası ile 1854 ve 1855 yıllarında iki ayrı hipotez ile açıklamışlardır. İzostazi teorisi yerin en dış katmanının, alttaki kayaçların ortalama yoğunluklarına bağlı olarak, yüzey yüksekliklerinin dinamik denge durumunu ifade eder. Bu teorinin sonucu olarak yer yüzeyi, yapılan yeni yüklemeler veya çıkartmalar nedeni ile aşağı veya yukarı yönde hareket eder. Bu nedenle izostazi kavramı litosferin tanımlanması açısından önemlidir. İzostazik düzeltme, izostatik kök kısmının gravite etkisini ortadan kaldırmak için yapılır. İzostatik düzeltme ve haritaların elde edilmesi için Oasis Montaj 7.1 programı ve NGDC'nin (NOAA's National Geophysical Data Center) <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/gltiles.html> internet adresinden yükseklik ve batimetri değerleri kullanılmıştır.

Rejyonel izostazi hesabı için Airy modeli kabul edilmiştir (Simpson ve diğerleri, 1983, 1986). İlk, Moho derinliği (root) topoğrafik verilerden hesaplanmış ve sonrasında, kökün 166.7 km çapına kadar olan üç boyutlu gravite etkisi hesap edilmiştir (Şekil 4). Rejyonel izostatik gra-



Şekil 3- Türkiye serbest hava gravite haritası.

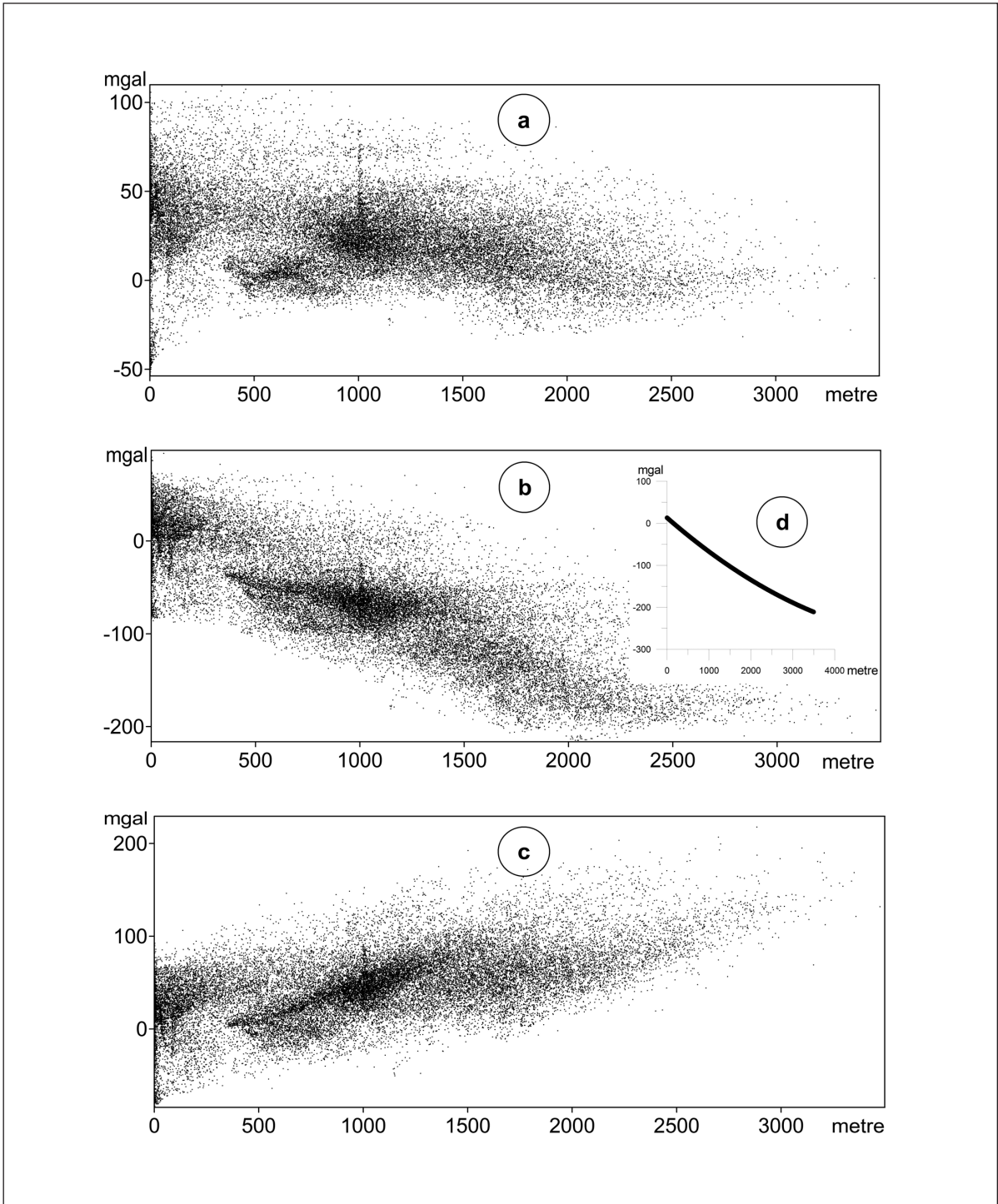


Şekil 4- Türkiye rejyonel izostazi haritası.

vite verisi, Bouguer gravite verisinden çıkarılarak, izostatik rezidüel gravite haritası oluşturulmuştur (Şekil 5). Kırşehir Masifi, kuzeyde Sakarya Zonu, güneydoğuda yer alan Arap Platformu, Anotolid Torid Bloğu, KB-GD uzanımlı Tavşanlı ve Afyon zonlarının, Türkiye rejyonel

izostazi haritası ile uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir (Şekil 4).

Türkiye Bouguer haritasında (-205 ile +80 mgal), rezidüel izostazi haritasında (-60 ile +110 mgal) arasında değişim görülmektedir. Bouguer



Şekil 6- Türkiye için (a) izostazi (b) Bouguer (c) serbest hava anomalilerinin yükseklik karşısındaki davranışları (d) Bouguer ve yükseklik arasındaki 2. dereceden polinom ilişkisi.

1. Bornova Fliş Zonu (BFZ), 2. İstanbul Zonu, 3. Trakya Baseni (Rodop-Istranca Masifi) dir.

Veri kümelerinden elde edilen doğrusal ilişki bilgileri, ilgili jeolojik/tektonik birimlerin kesme (intercept) değerleri, eğim, ilişki katsayıları, ortalama yükseklik bilgileri, ortalama Bouguer anomalisi değerleri ve istasyon sayıları hesap edilmiştir (Çizelge 2).

Serbest hava anomalisi, Bouguer anomalisi ve izostazi haritası için regresyon ilişkileri hesap edilmiştir. İzostazi, Bouguer ve serbest hava

anomalilerinin yükseklik ile ilişkilerinin grafikleri ortaya konmuştur (Şekil 6). İzostazi anomalisinin yükseklik karşısındaki noktalarının saçılımı -50 mgal ile +100 mgal arasında olmuş, eğim -11 ve kesme değeri 34.75 olarak bulunmuştur. İlişki katsayısı +0.11 dir şekil 6a.

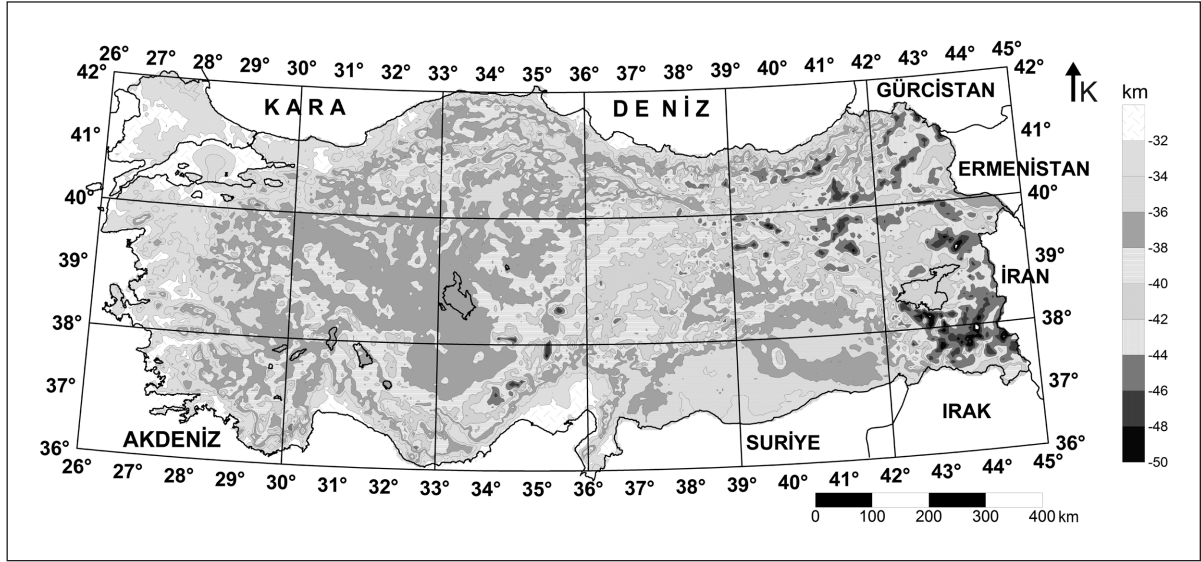
Bouguer anomalisinin yükseklik karşısındaki davranışında genel saçılım +60 ile -200 mgal arasında olmuş, eğim -72.2 kesme değeri ise 7.77 mgal olarak hesaplanmıştır. İlişki katsayısı +0.65 dir şekil 6b.

Çizelge 1- Türkiye'nin gravite verileri için regresyon eşitlikleri.

Anomali Tipi	Regresyon eşitliği Y mgal, E km	İlişki katsayısı	Nokta sayısı
Bouguer	$Y = -72.2 E + 7.77$	+0.65	60648
Serbest Hava	$Y = 32.7 E + 11.9$	+0.33	60648
İzostazi- Airy	$Y = -11 E + 34.75$	+0.11	60648

Çizelge 2- Farklı jeolojik ve tektonik birimler için Bouguer anomalisi ile yükseklik arasındaki bağıntılar.

Jeolojik/Tektonik Birim	Intercept mgal	Eğim mgal/km	İlişki katsayısı	Ortalama Yükseklik (metre)	Ortalama Bouguer anomalisi (mgal)	İstasyon sayısı
Antolit Torid Bloğu	-6.08	-67	0.6	1269	-91.2	29866
Afyon Zonu	-27.5	-35	0.3	1117	-66.7	3097
Bornova Fliş Zonu	13.2	-5.5	0.006	283	11.7	1032
Likya Napları	-10	-45	0.4	1018	-56	2798
Menderes Masifi	2.7	-23	0.1	515	-14.6	2809
Tavşanlı Zonu	-17.1	-39.7	0.3	960	-55.3	2427
Arap Platformu	-33.9	-41	0.3	765	-65.4	7830
İstanbul Zonu	40.6	-50.5	0.37	521	14.27	1603
Rodop Istranca Masifi	33.9	-24	0.1	228	28	715
Kırşehir Masifi	-51.8	-25.3	0.2	1097	-79.5	3577
Sakarya Zonu	13.3	-61.7	0.6	1031	-50.3	11617
Trakya Baseni	15.4	15.3	0.01	139	17.6	1645



Şekil 7 - Türkiye kabuk kalınlığı haritası.

Serbest hava anomalisinin kesme değeri 11.9 mgal ve eğimi 32.7, ilişki katsayısı ise +0.33 olarak hesaplanmıştır. Noktaların genel saçınımları, -80 ile +200 mgal arasında gerçekleşmiştir şekil 6c.

İkinci dereceden bir polinom geçirilerek elde edilen Bouguer ve yükseklik arasındaki ilişki grafiği şekil 6d de verilmiştir. Elde edilen bu grafik, Woollard (1959) tarafından dünya için hesaplanan Bouguer anomalisi ve yükseklik ilişkisi grafiği ile uyum içerisinde olmuştur.

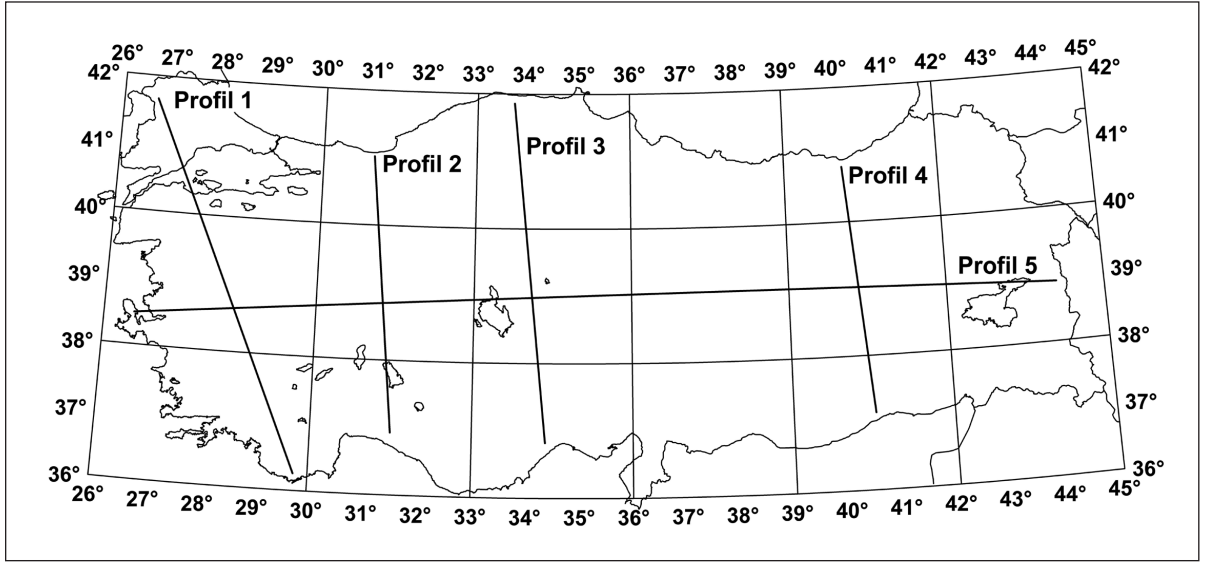
İlişki katsayısı açısından bakıldığında Bouguer, serbest hava ve izostazi anomalilerinin yükseklik ile ilişkilerinde en iyi uyumun +0.65 değeri ile Bouguer anomalisinde sağlandığı görülmüştür.

Bölgedeki jeoloji ve yapısal birlikler göz önüne alınarak, beş farklı profil atılmıştır. Profillerin ilk dört adedi yaklaşık kuzey güney doğrultusunda ve 400-600 km uzunluğunda yer alırken, profil 5 ise doğu batı yönlü 1500 km uzunluğundadır (Şekil 8). Kabuk kalınlığındaki değişimin görülmesi amacıyla alınan 5 profil boyunca

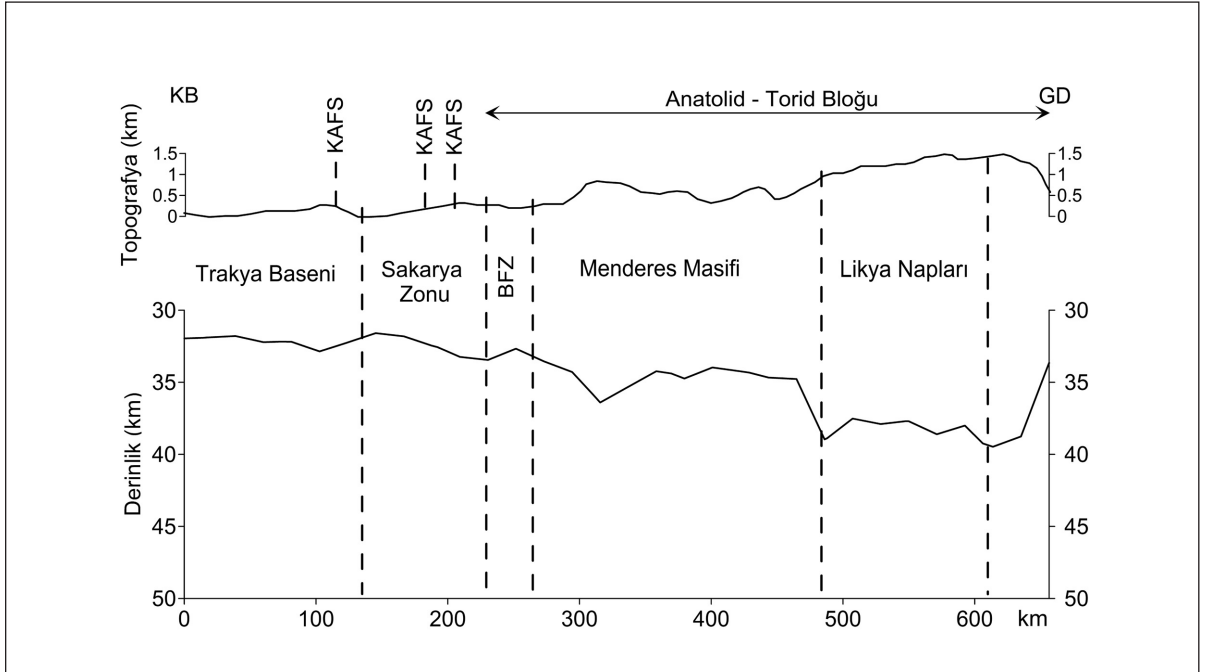
geçilen fay sistemleri ve zonları Koçyiğit ve diğerleri (2003)'den alınarak kesitler üzerinde kısaltma adları ile verilmiştir. Burada adı geçen kısaltmaların karşılıkları şunlardır. KAFS: Kuzey Anadolu Fay Sistemi, İEFZ: İnönü-Eskişehir Fay Zonu, TGFZ: Tuz Gölü Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu, DAFS: Doğu Anadolu Fay Sistemi, OAFZ: Orta Anadolu Fay Zonu.

Hazırlanan profiller neticesinde; Trakya Baseni'nden Anotolid Torid Bloğuna uzanan 650 km uzunluğunda 1 nolu profil boyunca kabuk kalınlığının 32 km'den başlamakta, Sakarya Zonu'nda kabuk kalınlığı yaklaşık aynı şekilde devam etmekte, Menderes Masifi'nin ortalarında 36 km ye ulaşmaktadır. Profilin güneydoğusundaki Likya Napları bölgesinde kalınlık 37-39 km arasında değişmektedir. Profilin en güney ucunda kabuk kalınlığı ani bir değişimle incelenerek 34 km olmaktadır (Şekil 9).

İstanbul Zonu'ndan Anotolid Torid Bloğuna ulaşan iki nolu profil, 450 km uzunluğundadır. Profil 2'de İstanbul Zonu için kabuk kalınlığı 32 km, Sakarya Zonu boyunca güneye doğru artan



Şekil 8- Kabuk kalınlığını saptamak için atılan profillerin konumları.



Şekil 9- KB-GD doğrultusunda, topoğrafya-kabuk kalınlığını gösteren bir nolu profilin düşey kesiti.

kabuk kalınlığı 36-37 km olmaktadır. Profilin en güneyine kadar 1-2 km arasında değişim gözlenmektedir (Şekil 10).

Sakarya Zonu'ndan Anotolid Torid Bloğuna kadar uzanan 550 km'lik üç nolu profil boyunca kabuk kalınlaşması 36-37 km den başlamaktadır.

Sakarya Zonu'nun Kuzey Anadolu Fayı ile keşildiği bölgede kabuk kalınlaşması 40 km'ye ulaşmaktadır. Kırşehir Masifi kabuk kalınlığı güneye doğru incelerek 35 km'ye kadar düşmektedir. Profilin Afyon Zonu'nu kestiği nokta kabuk kalınlaşmasının 44 km ile en fazla olduğu yeri temsil etmektedir. Bu zon bitiminde başlayan Anotolid Torid Bloğunda kabuk incelerek 35 km'ye düşmektedir (Şekil 11).

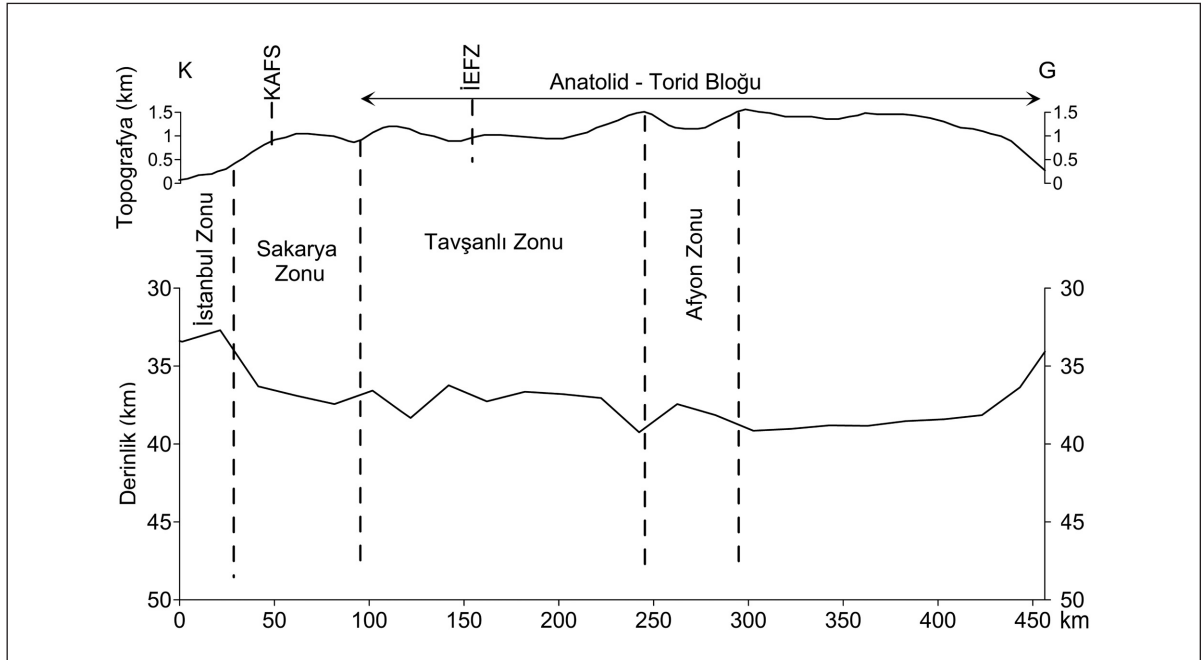
Sakarya Zonu'ndan Arap Platformu'na doğru alınan 400 km'lik dördüncü profilde kabuk kalınlaşması yine 36-37 km'den başlamakta, ancak burada derinlik 42-43 km'ye kadar ulaşmaktadır. Bu bölümde kesilen Anotolid Torid Bloğu kuzey-

den güneye doğru incelerek Arap Platformu bölgesinde 37 km'ye düşmektedir. Burada Arap Platformu'nun kabuk kalınlığı 35-36 km olarak gözükmektedir (Şekil 12).

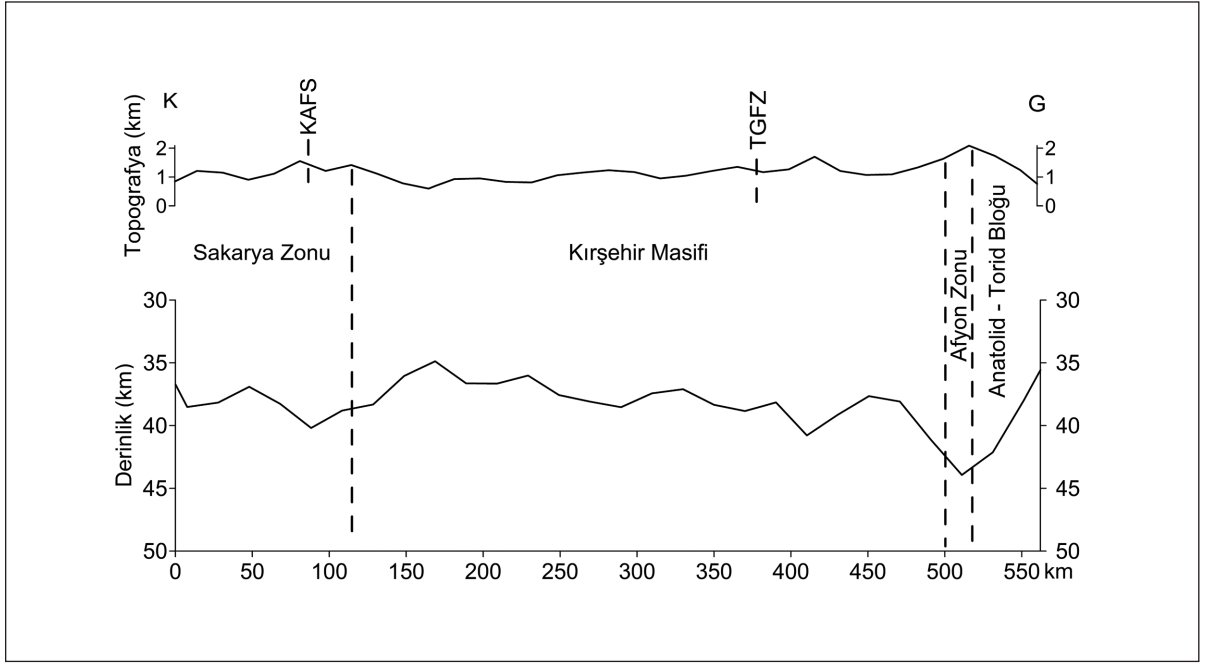
Batı doğu istikametinde yaklaşık 1500 km uzunluğunda alınan beş nolu profil boyunca kabuk kalınlıkları, Bornova Fliş Zonu'nda 32-34 km, tektonik açıdan aktif olan Batı Anadolu'da Menderes Masifi boyunca 33-37 km, Afyon Zonu ortalama 37 km, Tavşanlı Zonu 36-39 km, Sakarya Zonu 37 km, Kırşehir Masifi 36-39 km, Anotolid Torid Bloğu kabuk kalınlığı 37- 44 km arasında değişmektedir. Beşinci profil boyunca genel değişimin batıdan doğuya doğru kabuk kalınlaşması şeklinde olduğu görülmektedir (Şekil 13).

SONUÇLAR

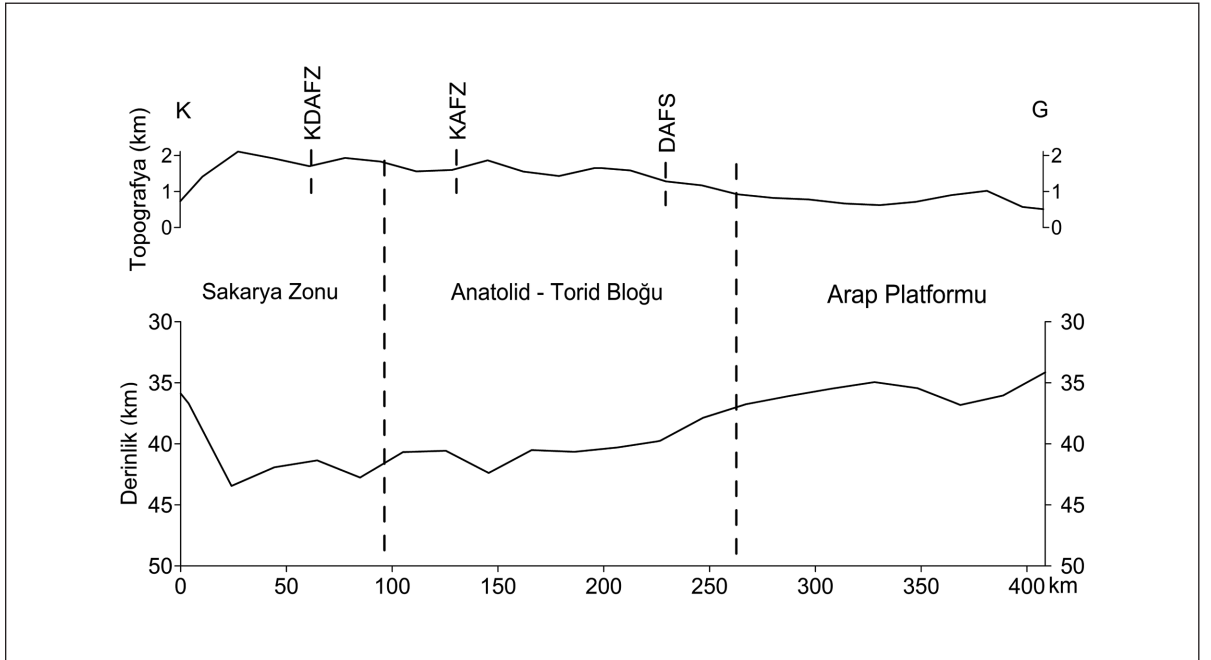
Bu çalışmada mevcut gravite verileri kullanılarak Bouguer, serbest hava ve izostazi harita-



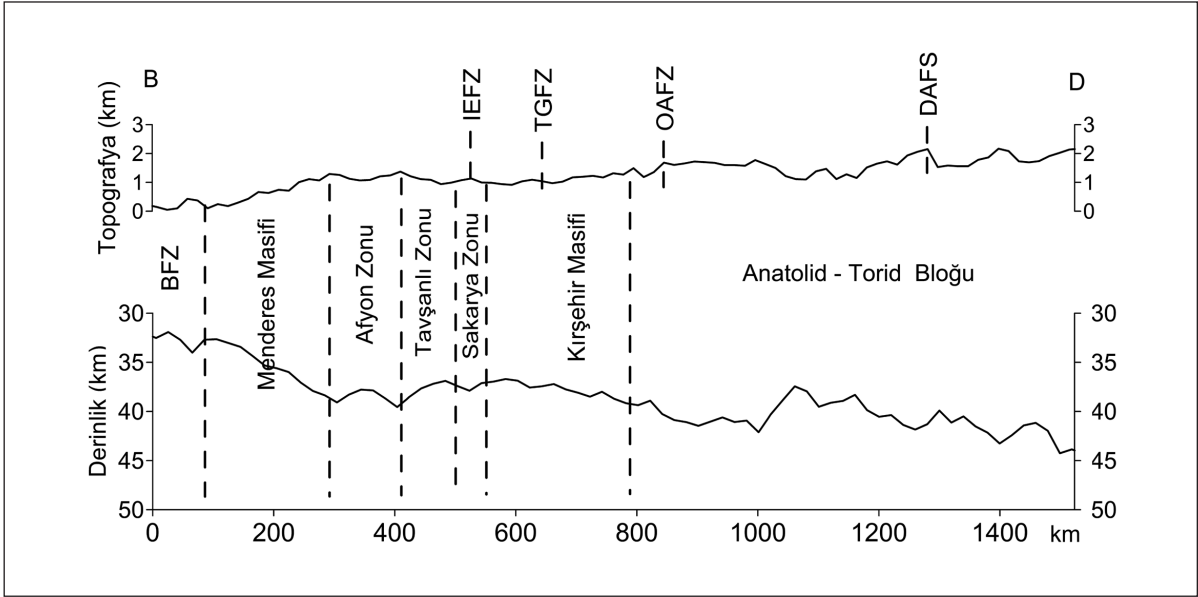
Şekil 10- Kuzey güney doğrultusunda, topoğrafya-kabuk kalınlığını gösteren iki nolu profilin düşey kesiti.



Şekil 11- Kuzey güney doğrultusunda, topoğrafya-kabuk kalınlığını gösteren üç nolu profilin düşey kesiti.



Şekil 12- Kuzey güney doğrultusunda, topoğrafya-kabuk kalınlığını gösteren dört nolu profilin düşey kesiti.



Şekil 13- Kuzey güney doğrultusunda, topografya-kabuk kalınlığını gösteren beş nolu profilin düşey kesiti.

ları elde edilmiştir. Her haritanın verileri yükseklik ile ilişkilendirilmiş, ilişki katsayıları hesap edilmiştir. Bouguer verileri, ilişki katsayılarında +0.65 değeri ile serbest hava ve izostazik verilere göre en iyi uyumu vermiştir. Türkiye'nin kabuk kalınlığını hesaplamak amacıyla Bouguer haritası esas olarak alınmıştır.

Türkiye'nin geneli için kabuk kalınlığının hesaplanması neticesinde regresyon eşitliği $Y = -72.2 E + 7.77$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, tektonik zonların her biri için ayrı ayrı regresyon ilişkileri bulunmuştur.

Türkiye'nin kabuk kalınlığı haritasında, tektonik etkinliğe uygun olarak doğusunda kabuk kalınlaşması görülmektedir. Kırşehir Masifi'nde ve Anadolu'nun batısında göreceli olarak bir kabuk incelmeleri bulunmaktadır. İzostazik rejyonel gravite haritası ile Okay ve Tüysüz (1999) tarafından hazırlanan tektonik zonlar ve kenet sınırlarını gösteren haritanın birbiri ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Tektonik zonların bulunduğu yerlerde kabuk kalınlığını bölgesel olarak araştırmak amacı ile alınan 5 adet profil boyunca kabuk kalınlığı verisi ayrıntılanmıştır. Türkiye'nin kabuk kalınlığı haritasında da görüleceği gibi, en ince 31.4 km, en derin yeri ise 50 km olarak bulunmuştur.

KATKI BELİRTME

Jeoloji konusundaki katkılarından dolayı Mehmet Duru'ya teşekkür ederiz.

Yayına verildiği tarih, 21 Nisan 2009

DEĞİNİLEN BELGELER

Akçığ, Z., Pınar, R., Türkelli, N., Gürbüz C., Pamukçu, O. A., Özyalın, Ş., Demirbaş, Ş. ve Tosun S., 2005. Doğu Anadolu bölgesindeki yapısal sorunların gravite ve manyetik yöntemlerle araştırılması Tübitak Raporu Proje No: 101Y124.

- Aydın, Y., 1974. Etude petrographique et géochimique de la partie centrale du Massif d'Istranca (Turquie). Thèse de Docteur Ingénieur, Univ. Nancy, 1, 131pp.
- Bekler, T., Gürbüz, Kalafat, D., ve Toksöz N., 2005. Anadolu'da Kontrollü Sismik Kaynak Kullanarak Kabuk Yapısı Araştırmaları, Deprem Sempozyumu Kocaeli.
- Blakely R.J., 1995. Potential Theory in Gravity & Magnetic Applications. Cambridge University Press.461 pp.
- Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmazer, B., 1973. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Karakaya Formasyonu'nun bazı özellikleri. Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri kongresi, 17-19 Aralık 1973, Tebliğler, MTA., Ankara, 70-76.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F. ve Şengör, A.M.C., 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia-a young collision zone. In: Covard, M.P. and Ries, A.C., (eds.), Collision Tectonics. Geol. Soc. London Spec. Publ., 19,3-36
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Şentürk, Y., Yavaş, F. ve Kar, H., 2004. New results on the lithostratigraphy of the Kazdağı Masif in NW Turkey, TUBİTAK, Turkish Journal of Earth Sciences,13/2, 177-186.
- Dürr, S., Altherr, R., Keller, J., Okrusch, M. ve Seidel, E., 1978. The Median Aegean crystalline belt: Stratigraphy, structure, metamorphism, magmatism. In: Cloos, H., Roeder, Schmidt, K.,(eds), Alps, Apenines, Hellenides. Stuttgart: E. Schweizbart'sche Verlag, 455-477.
- Erdoğan, B., Altiner, D., Güngör, T. ve Özer, S., 1990. Karaburun Yarımadasının stratigrafisi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi. 111, 1-21. (Foreign Edition: Stratigraphy of Karaburun peninsula. Bull. Min. Res. Exp., 111, 1-20).
- Erkan, Y., 1975. Orta Anadolu Masifi'nin güneybatısında (Kırşehir bölgesinde) etkili rejyonel metamorfizmanın petrolojik incelenmesi. Doçentlik tezi, H.Ü. Yerbilimleri Enst., Ankara, 147.
- Gökten, Y.E., 1986. Paleocene carbonate turbidites of the Şarkışla region, Turkey - Their significance in an orogenic basin. Sedimentary Geology, 49, 143-165.
- Göncüoğlu, M.C., 1981. Niğde Masifi'nin jeolojisi. 35. Türkiye Jeoloji Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, İç Anadolu'nun jeolojisi Sempozyumu, 16-19.
- Görür, N., 1987. Earth Science Problems Along The First Turkish Geotraverse. Tübitak, Basic Sciences Research Group And Research Institute For Basic Sciences, Earth Sciences Department, Gebze, Kocaeli, Turkey, 5-33.
- _____, 1988. Timing Of Opening Of The Black Sea Basin. Tectonophysics, 14, 247-262.
- _____, 1991. Aptian-Albian Palaeogeography of Neo-Tethyan Domain. Palaeoeco., Palaeoclim., Palaeoec., 871, 267-288.
- _____, Şengör, A.M.C., Akkök, R. ve Yılmaz, Y., 1983. Pontidler'de Neo-Tetis'in Kuzey Kolunun Açılmasına İlişkin Sedimentolojik Veriler. T.J.K. Bülteni, 26/1, 11-20
- _____, ve Okay, A.İ., 1996. A fore-arc origin for the Thrace Basin, NW Turkey. Geol. Rundsch, 85, 662-668.
- Kasar, S. ve Okay, A. İ., 1992. Silivri-Kıyıköy-İstanbul Boğazı arasındaki alanın jeolojisi. TPAO Raporu, No: 3119, 79s.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. MTA Dergisi, 66, 20-34, Ankara.
- Koçyiğit, A., Altiner, D., Farinacci, A., Nicosia, U. ve Conti, M.A.,1991. Late Triassic - Aptian Evolution Of The Sakarya Divergent Margin: Implications For The Opening History Of The Northern Neo-Tethys, In North-Western Ana-

- tolia, Turkey. In: Farinacci, A., Et Al., (Eds.), Geology And Paleontology of Western Pontides, Turkey; Jurassic - Early Cretaceous Stratigraphy, Tectonics And Paleogeographic Evolution. Cnr - Tubitak Project, 81-100.
- Koçyiğit, A. ve Özacar, A. A., 2003. Extensional neotectonic regime through the NE edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New field and seismic data, Turkish J. Earth Sci., 12,67-90.
- Konak, N., 2003. Menderes Masifi'nin güneydoğusundaki naplı yapılar. 56.Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri, 304-306.
- Kozur, H.W., ve Göncüoğlu, M.C., 1999. Differences in the geological evolution of the Istanbul and Zonguldak terranes, northern Turkey. In: Talent, J., Khan, F., Mawson, R. (Eds.), IGCP 421: Mid - Palaeozoic bioevent / biogeography patterns in relation to crustal dynamics. North Ryde (Macquarie University Printery), Peshawar, Pakistan, pp. 16-18.
- Kwang, S. C., Kumar, G.V.R. ve Kim K. Y., 1999. Qualitative interpretation of Bouguer anomaly in the southern part of the Korean peninsula. Geosciences Journal Vol. 3, No. 1, p. 49-54.
- Maden, N., Gelişli, K., Bektaş, O. ve Eyüboğlu, Y., 2005. Anadolu'da Kabuk Yapısı ve Tektonik Yapı ile İlişkisi II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK 2005 İstanbul 17-19 Kasım 2005.
- Novotn , O., Zahradník, J. ve Tselentis, G-A., 2001. Northwestern Turkey Earthquakes and the Crustal Structure Inferred from Surface Waves Observed in Western Greece. Bulletin of the Seismological Society of America; August 2001; v. 91; no. 4; p. 875-879.
- Okay, A.İ., 1984. Distribution ve characteristics of the north-west Turkish blueschists. In: Dixon, J.F. and Robertson, A.H.F. (eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 17, 297-308.
- Okay, A.İ., 1986, High pressure/low temperature metamorphic rocks of Turkey. Geol. Soc. Amer. Mem., 164, 333-348.
- _____, 1989. Tectonic Units And Structures In The Pontides, Northern Turkey. In: Şengör, A.M.C. (Ed.), Tectonic Evolution Of The Tethyan Region. Nato Asi Series, Kluwer Academic Publishers, 109-116.
- _____, Şengör, A.M.C. ve Görür, N., 1994. Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions. Geology, 22, 267-270.
- _____, ve Görür, N., 1995. Batı Karadeniz ve Trakya havzalarının kökenleri arasında zaman ve mekan ilişkisi. Trakya Havzası Jeolojisi Simpozyumu, Bildiri Özleri, TPAO - Ozan Sungurlu Bilim, Eğitim ve Yardım Vakfı, 9-10.
- _____, Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. ve Akyüz, S., 1996. Paleo-And Neo-Tethyan Events In Northwestern Turkey: Geological and Geochronological Constraints. In: Yin, A. And Harrison, T.M. (Eds), The Tectonic Evolution Of Asia. Cambridge Univ. Press., 420-441.
- _____, ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures Of Northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F., Seranne, M. (Eds.), Mediterranean Basins: Tertiary Extension Within The Alpine Orogen. Geological Society Of London Special Publication, 156, 475-515.
- _____, Satır, M., Tüysüz, O., Akyüz, S. ve Chen, F., 2001. The tectonics of the Strandja Massif; late Variscan and mid-Mesozoic deformation and metamorphism in the northern Aegean. International Journal of Earth Sciences 90 (2), 217-233.
- Özelçi, F., 1973. Doğu Akdeniz Bölgesi Gravite Anomalileri MTA Dergisi, Sayı 80 Sayfa 54-89 MTA Genel Müdürlüğü Ankara-Türkiye
- Özgül, N., 1976. Torosların Bazı Temel Jeoloji Özellikleri. TJK Bülteni, 19/1, 65-78.

- Özgül, N., 1984. Stratigraphy And Tectonic Evolution Of The Central Taurides. In: Tekeli, O. And Göncüoğlu, M.C. (Eds), *Geology Of The Taurus Belt*. Int. Symp. Proc., MTA, Ankara, 77-90.
- Perinçek, D., 1980. Arabistan kıtası kuzeyindeki tektonik evrimin kıta üzerinde çökelen istifteki etkileri. *Türkiye 5. Pet. Kong., Jeoloji-Jeofizik Bildirileri*, 77-94.
- _____, Duran, O., Bozdoğan, N. ve Çoruh, T., 1991. Stratigraphy and paleogeographical evolution of the autochthonous sedimentary rocks in the SE Turkey. *Ozan Sungurlu Semp. Bildirileri*, Kasım 1991, *Ozan Sungurlu Bilim, Eğitim ve Yardım Vakfı*, 274-305.
- Qureshy, M. N., 1970. Relation of gravity to elevation, geology and tectonics in India. *Proceedings of the second symposium on upper mantle project 28-31 December 1970, Hyderabad*
- Seymen, İ., 1982. Kaman dolayında Kırşehir Masifi'nin jeolojisi. *Doçentlik Tezi, İTÜ Maden Fak.*, 164s.
- Simpson, Robert W., Jachens, Robert C. ve Blakely, Richard J., 1983. Airyroot: A Fortran Program for Calculating the Gravitational Attraction of an Airy Isostatic Root Out to 166.7 KM: U.S.G.S. *Open-File Report 83-883*, 66 p.
- _____, _____, _____ ve Saltus, Richard W., 1986. A New Isostatic Residual Gravity Map of the Conterminous United States With a Discussion on the Significance of Isostatic Residual Anomalies: *JGR*, 91, 8348-8372.
- Şengör, A. M. C., 1985. Türkiye'nin Tektonik Tarihinin Yapısal Sınıflaması. *Ketin Simpozyumu*, TJK, Ankara, 37-61.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution Of Turkey: A Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- _____, _____ ve Sungurlu, O., 1984. Tectonics Of The Mediterranean Cimmerides: Nature And Evolution Of The Western Termination Of Paleo-Tethys. In: Dixon, J.F. And Robertson, A.H.F. (Eds.), *The Geological Evolution Of The Eastern Mediterranean*. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 17, 117-152.
- _____, ve Natal'in, B., 1996. Palaeotectonics of Asia: Fragments of a synthesis. In: Yin, A. and Harrison, M. (eds), *The tectonic evolution of Asia*. *Rubey Colloquium*, Cambridge University Press, Cambridge, 486-640.
- Tüysüz, O., 1993. Karadeniz'den Orta Anadolu'ya bir jeotravers; Kuzey Neo-Tetisin Tektonik Evrimi, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 5, 1-33.
- Ustaömer, T. ve Robertson, A.H.F., 2005. Tectonic evolution of the Intra-Pontides suture zone in the Armutlu Peninsula, NW Turkey; reply. *Tectonophysics* 405 (1-4), 223-231.
- Yılmaz Y., Genç, Ş. C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M. ve Yılmaz, K., 1994. Kuzeybatı Anadolu'da Geç Kretase Yaşlı Kıta Kenarının Jeolojik Evrimi; *Türkiye 10. Pet. Kong. ve Sergisi, Bildiriler, Jeoloji*, 37-55.
- _____, _____, _____, _____ ve _____, 1995. Geological Evolution Of The Late Mesozoic Continental Margin Of Northwestern Anatolia. *Tectonophysics*, 243, 155-171.
- Woollard, G.P., 1959. Crustal Structure from Gravity and Seismic Measurements, *J. Geophys. Res.*, 64 (10), 1524-1544.

