



Orta Anadolu (Ankara ve civarı) Havzalarının Gravite & Manyetik Yöntemler ile Modellenmesi

Modeling of Central Anatolian (Ankara and vicinity) Basins with Gravity and Magnetic Methods

Murat Özkaptan* 

* Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon-Türkiye

Geliş/Received : 14.12.2018 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 18.02.2019 • Kabul/Accepted : 25.02.2019 • Baskı/Printed : 15.04.2019

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Orta Anadolu havzaları; kuzeyde Pontidler, güney-güneydoğudan ise Kırşehir ve Toros tektonik bloklarıyla sınırlanmıştır. Havzalar, Neotetis Okyanusu'nun kuzey segmentinin Pontidler altına yitim sürecini de (Senozoik) kapsayacak şekilde günümüze kadar tortul birikimleriyle bölgede önemli jeolojik yapılardır. Bu çalışma kapsamında, coğrafik olarak günümüzde Ankara ve yakın civarında yüzlek vermiş bu yapılar, literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında; Kırıkkale-Bala, Alcı-Orhaniye, Haymana ve Tuzgölü havzaları olarak isimlendirilmektedir. Tortul birikim evreleri, litolojik yapıları ve oluşum mekanizmaları büyük benzerlikler göstermesine rağmen bugünkü buldukları coğrafik konumları bakımından farklı havzalar olarak dikkate alınmıştır. Yapılan bu çalışmada, belirtilen bu havzalar gravite ve manyetik yöntemler ile incelenerek, daha derindeki yapıları ile alakalı bilgiler elde edilmiştir. Özellikle Haymana ve Kırıkkale-Bala havzaları, bölgedeki en kalın tortul birikimine (yaklaşık 8-9 km) sahiptirler. Havzaların yeraltındaki yapıları gravite yöntemi ile modellenerek birbirleri ile olan ilişkileri ve bağlantıları ortaya çıkartılmıştır. Özellikle, Tuzgölü ve Haymana havzalarının geçmiş jeolojik dönemlerde tek bir havza olduklarına dair literatürdeki süregelen tartışmalara gravite ve manyetik veriler ile bir açıklama getirilmeye çalışılmıştır. Havza içlerinde, gravite verisinde ani bir değişim gözlenmeyen fakat pozitif manyetik anomali veren alanlar, yüzeye yakın Neojen yaşlı volkanik birimlerin varlığı ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, bölgeden geçen İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı'nın yine bu havzalar üzerindeki tektonik deformasyon evrimine ait önemli veriler ortaya konulmuştur. Havzaların bu derinlikle değişim bilgileri, özellikle çevrelendikleri tektonik bloklar dikkate alındığında bölgenin geçirmiş olduğu jeodinamik evrimine yönelik yeni bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: 2.5B Modelleme, Gravite, Havza evrimi, Manyetik, Orta Anadolu havzaları

Abstract: Central Anatolian basins, which are boundend by the Pontides in the north and the Kırşehir and Toros tectonic blocks to the south-southeast, geologically important structures in the region with sediment accumulations up to the present day to comprises subduction to collusion process (Senozoyik) in northern segment of the Neotethys Oceanic litosphere beneath to the Pontides. Within the scope of this study, these depositional structures, which are geographically located in Ankara and in the vicinity and classifield as the Kırıkkale-Bala, Alcı-Orhaniye, Haymana and Tuzgölü basins in litreture. Although sedimentary deposition stages, lithological properties and source characteristics show great similarities, they are considered as different basins in terms of their today's geographical positions. In this study, these basins were examined with gravity and magnetic methods and information about their structures in the depths of the earth were obtained. Especially, the Haymana and Kırıkkale-Bala basins were found to have the thickest sediment depositions in the region (about 8-9 km). The deep structures of the basins were modeled by gravity method and their possible connections with each other were determined. In particular, it has been tried to explain the ongoing debates in the literature that Tuzgölü and Haymana basins were the same sedimentary basin in the past. Within the basin areas, no clear change in gravity data but high positive magnetic anomalies can

be associated with the presence of volcanic units (Neogene) near beneath the surface. In addition, important data related to the evolution of tectonic deformation of the İAESZ on these basins have been revealed. The information of the basins with this depth provides new perspective related with the geodynamic evolution of the region, especially considering the tectonic blocks they surround.

Keywords: 2.5D Modeling, Basin evolution, Cenral Anatolian basins, Gravity, Magnetic

GİRİŞ

Tortul havzalar oluştukları konum ve kapsadıkları zaman bakımından yakın civarının geçirmiş oldukları tüm tektonik deformasyonları bünyelerinde barındıran önemli jeo-kronolojik kayıtlardır. Havza istiflerinin yaşlandırılması, formasyonlarının litolojik özellikleri, birbirleri ve temel kaya ile olan ilişkileri ve yer yüzeyinden elde edilebilecek diğer kinematik analizlerin yanı sıra yüzeyde gözlenemeyen daha derin devamlılıklarının belirlenmesi için özellikle sismik, gravite ve diğer jeofizik ölçüm ve elde edilen anomalilerinin modellenmesi, jeolojik resmin bütünlüğünün oluşturulması açısından önemlidir. Yüzeyden elde edilen verilere ek olarak derinden gelen bilgiler ışığı altında yapılacak olan bütünleşik havza analizi çalışmalarının daha güvenilir sonuçlara götüreceği aşikârdır. Tortul havzalarda yapılan deformasyon analiz çalışmaları, çalışılan bölgenin jeodinamiğinin açıklanmasında ne kadar önemli ise, çalışmanın amacına uygun olarak derin devamlılıklarının belirlenmesi amacıyla jeofiziksel modelleme yöntemlerinden de yararlanılması bir o kadar önemlidir. Sismik yöntemler yer altı yapılarının belirlenmesinde son yıllarda en fazla kullanılan, ortaya koyduğu sonuçları bakımından oldukça güvenilir, temel bir jeofizik yöntemidir (Çukur vd. 2014; Alp vd. 2018). Yöntemin uygulanmasında, yapılacak çalışmanın amacına uygun olarak, kapsamlı bir ekipmana ve farklı ölçüm alma tekniklerine gerek vardır. Bunla birlikte, özellikle gravite ve manyetik gibi sadece ölçme sistemlerine ihtiyaç duyan pasif kaynak yöntemleri, diğer aktif kaynak jeofizik yöntemlere (örn. sismik, yer-elektrik yöntemi) nazaran özellikle havza analizi gibi çok geniş alanlardaki çalışmaları için,

ekipman gereksiniminin göreceli azlığı, basit ölçme sistemleri ve hızlı veri işleme yorumlama prosedürleri bakımından son derece kullanışlı metotlardır. Halihazırda gelişen teknoloji (uzaktan algılama, uydu verileri) ile beraber neredeyse tüm Dünya çapında gravite ve manyetik veriler (denizel ve karasal) araştırmacıların bilimsel kullanımı için çeşitli kaynaklardan açık hale getirilmiştir. Karasal ölçümler ile çoğunluğu uydudan elde edilmiş denizel ölçümlerin birleştirilmesi ile veri kalitesi her geçen gün arttırılmakta (ayrımılık) ve bu yolla bütünleşik havza araştırmalarında ve diğer büyük ve orta ölçekli jeolojik yapıların modellenmesinde sıklıkla kullanılabilir (Pamukçu vd., 2007; Aydemir ve Ateş, 2008; Önal vd., 2008; Maden vd., 2009; Demir vd. 2012; Oruç vd. 2013; Aslan vd., 2013; Akpınar vd. 2016; Koşaroğlu vd. 2016). Açık kaynak olarak sağlanan bu veriler sığ ve küçük ölçekli lokal yapıların araştırılması için halen yetersiz olabilmesine rağmen, daha büyük ölçekli, bölgesel jeolojik yapıların modellenmesinde, yerbilimciler için rutin ve öncelikli bir hale gelmektedir.

İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı (İAEKK); Neotetis Okyanusal litosferin kuzeye, Pontid Bloğunun altına dalarak yitmesi sonucunda kıta-kıta çarpışmasıyla vuku bulan ve Türkiye'yi doğudan batıya kat ederek (1100 km'den fazla) günümüz Avrasya ile Arap-Afrika levhalarının sınırını teşkil etmektedir. Orta Anadolu'da bu levhaların parçaları olan; Pontidler (Avrasya) ile Kırşehir-Toros bloklarını (Arap-Afrika) birbirinden ayırmaktadır. Bölgede tektonik olarak 3 önemli aktör bulunması, dolayısı ile bunların tektonik ilişkilerinin ve deformasyon evriminin ortaya konulması son derece önemlidir. Bunun için çalışan bölgede gelişen ve yukarıda anlatılan

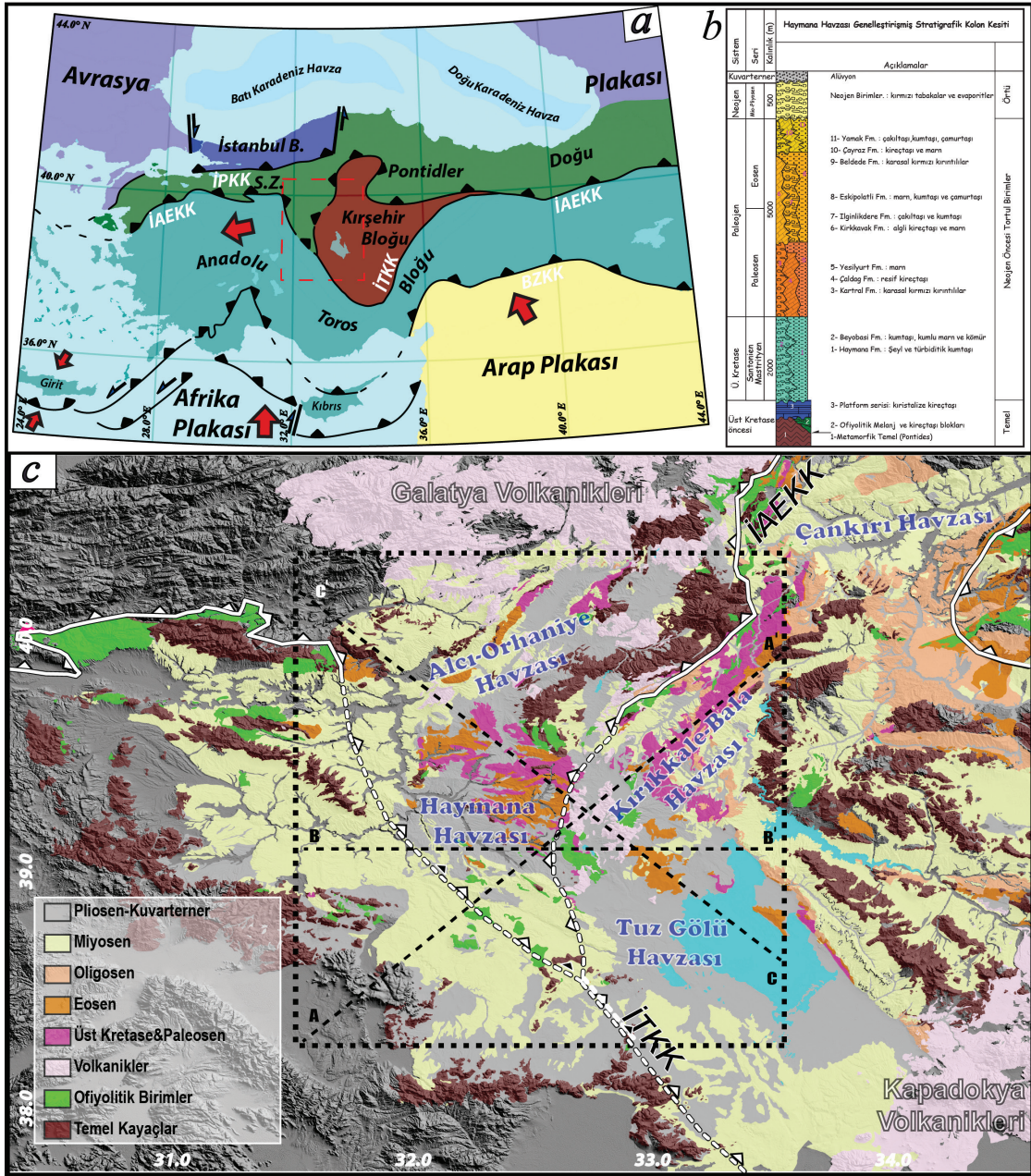
süreçler boyunca tortul biriktirmiş 4 havzanın hem yüzlek vermiş birimlerinin hem de derin devamlıklarının bütünleşik olarak irdelenmesi yerelden bölgeye kadar önemli tektonik bulgular ortaya koyacaktır.

Bu çalışmanın amacı; günümüzde hala bazı noktaları tartışmalı olan bölgedeki Neotetis Okyanus'unun kuzey kolunun kapanım evresinden günümüze geçirmiş olduğu deformasyonlara ve gelişen tektonik süreçlere ilişkin yapılan havza modellemesiyle yeni ve farklı bulguların ortaya konulmasıdır. İç Anadolu'da İAEKK boyunca Pontid-Torid-Kırşehir bloklarının jeodinamik deformasyonları sonucunda, Geç Kretaseden günümüze tortul biriktirmiş 4 önemli havzanın gravite ve manyetik yöntemler ile daha derin devamlılıklarının ve tortul istif kalınlıklarının değişimi incelenmiştir. Bulunan tortul kalınlık değişim modelleri ve temel bloklarının günümüz pozisyonları ile alakalı yeni bulgular sunulmuştur.

BÖLGENİN GENEL TEKTONİK EVRİMİ

Anadolu Plakası, geçmişte iki büyük kıta olan kuzeydeki Lavrasya ve güneydeki Gondvana'nın farklı kıtasal parçalarının bir araya gelerek bütünleşmesiyle oluşmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Bozkurt, 2001; Okay, 2008). Bu bütünleşik kıtasal bloklar (mikro kıtalar) yaklaşık kuzey-güney yönünde daralma sonucunda Tetis Okyanusal litosferinin yitiminden kalan

parçalarla çevrelenmiştir. Bu bağlamda, Anadolu üç ana tektonik bloktan oluşmaktadır; Pontidler, Anatolide-Torid Bloğu ve Arap Platformu (Ketin, 1966). Her ne kadar yitim sistemlerinin zamanlaması ve özellikleri için çeşitli senaryolar önerilmişse de bu tektonik plakaların kuzeyde İzmir-Ankara-Erzincan ve güneyde ise Bitlis-Zagros Kenet Kuşakları boyunca kademeli olarak çarpışıp bütünleşik bir yapı oluşturdukları kabul edilmektedir. İç Anadolu Bölgesi, Neotetis Okyanus'unun kapanmasıyla, kuzeydeki Pontidler (Lavrasya'nın parçası) ile güneydeki Torid ve Kırşehir Blokları (Gondvana'nın parçaları) ile bütünleşmiştir. Çalışma alanı tamda bu Pontid-Kırşehir ve Torid bloklarının, İzmir-Ankara-Erzincan ve hala tartışmalı olan İç Torid Kenet Kuşağı (İTKK) ile sınırlarının çizildiği, İç Anadolu'da (Ankara ve civarı) yer almaktadır. Bölgede; İzmir-Ankara Kenet Kuşağı; İAEKK'nın batı bölgesini temsil etmekte olup, güneydeki Toridler ile kuzeyde Pontidler arasında sutür iken, doğu kesimi (Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı) kuzeydeki Pontidler ile Kırşehir Bloğunun sınırını teşkil etmektedir (Şekil 1). Diğer yandan, güney ve güneybatıdaki Toroslar ile doğu ve kuzeydoğudaki Kırşehir Bloğu, İç-Torid Kenet Kuşağı ile ayrılmaktadır (Şekil 1a). Bu iki kenet kuşağı; bölgede Kretasenin sonundan erken Paleosene kadar tamamen kapanmış olan Neotetis Okyanusu'nun eski konumuna işaret etmektedir (Kaymakçı vd. 2009; Pourteau vd. 2010; van Hinsbergen vd. 2016).



Şekil 1. a) Türkiye ve doğu Akdeniz'in basitleştirilmiş temel tektonik yapıları. b) Haymana havzası genelleştirilmiş düşey stratigrafik kesiti. c) İç Anadolu havzalarının basitleştirilmiş jeolojisi ve günümüz coğrafik pozisyonları. (Ünalın vd. 1976; Okay, 2008). İAEKK: İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı, İTKK: İç Torid Kenet Kuşağı. Gravite ve manyetik verilerin kapsadığı alan siyah dörtgenle belirtilmiştir. 3 farklı model hattı siyah kesitli çizgiler ile gösterilmektedir.

Figure 1. a) Simplified basic tectonic structure of Turkey and the Eastern Mediterranean. b) Generalized vertical stratigraphic section of the Haymana Basin. c) The simplified geology of the Central Anatolian basins and today's geographic positions. (Ünalın et al. 1976; Okay, 2008). İAEKK: İzmir-Ankara-Erzincan Suture Belt, İTKK: Inner Torid Suture Belt. The dashed (black) rectangular area indicate the boundary of the gravity-magnetic data and dashed lines (inside) shows 3 different paths for 2.5D modeling.

İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı'nın farklı bölümlerinin geometri, konum ve tektonik ilişkileri nispeten iyi bilinmektedir (Görür vd., 1984; Okay ve Tüysüz, 1999; Kaymakçı vd., 2009). Bununla birlikte, İç-Torid Kenet Kuşağı ile ilgili bazı tartışmalar devam etmektedir. Bu kuşağın varlığını kabul eden çalışmaların yanısıra kabul etmeyen çalışmalarda mevcuttur. Kabul eden çalışmaların dayanakları kısaca; (i) Kırşehir Bloğu üzerindeki granitoidlerin yay kimyası ile temsil edilmesi (Kadioğlu vd., 2006); (ii) bu kenet boyunca evrimleşmiş olduğu düşünülen havzaların (Tuzgölü ve Ulukışla), önerilen kenet kuşağına paralel yönelimde olmaları ve havza dolgularının Torid ve Kırşehir blokları üzerinde çökeltmiş uzak-ülke havza birimleri olarak tanımlanmaları (örn. Görür vd., 1984); (iii) Kırşehir Bloğu granitoidleri üzerinde yapılan paleomanyetik blok rotasyon çalışmalarının bu magmatik kütlelerin orijinal geometrilerini yaklaşık kuzey-güney yönlü uzanım geometrisi göstermesi (kuzey-güney uzanım, önerilen kenet kuşağına paralel hale gelmektedir) (Lefebvre vd., 2013). Fakat, bu çalışmaların aksine kenet kuşağının varlığını kabul etmeyen çalışmaların önerdikleri ise; (i) Kırşehir Bloğu üzerindeki granitoidlerin kıta içi jeokimya (kıta kalınlaşması ilişkili S-tipi) ile temsil edilebilmeleri (Göncüoğlu, 1986; Erler vd., 1991; Erler ve Göncüoğlu, 1996), (ii) önerilen kenet kuşağı boyunca havzalarda (Tuzgölü ve Ulukışla) gözlemlenen genişleme rejimi ile alakalı fay verilerinin, İAEKK boyunca meydana gelen kıtasal çarpışma sonrası kıta içi genişleme rejimi ile ilişkilendirilmesi (Köksal ve Göncüoğlu, 1997; Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2003) olarak kısaca özetlenebilir. Bu iki kenet kuşağı, bölgede gelişmiş olan tortul havzalar arasındaki geometrik ve tektonik ilişkinin anlaşılması, bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Literatürde dört farklı havza olarak isimlendirilmiş bu yapılar, sırasıyla Kırıkkale-Bala Havzası (Pontid-Kırşehir), Alcı-Orhaniye ve Haymana havzaları (Pontid-Torid), Tuzgölü Havza'sı (Kırşehir-

Torid) tektonik blokları arasında gelişmiştir (Şekil 1). Çökel ortamları, stratigrafik yapıları, litolojik özellikleri ve geçirmiş oldukları temel deformasyon evrelerine bakıldığında, havzalarda büyük benzerlikler göze çarpmakta bu durumda da jeolojik geçmişinin belirli evrelerinde bağlantılı olduklarının, yani ortak bir çökel ortamının olabileceğine işaret etmektedir. Bugünkü coğrafik konumları, İAEKK ve temel blokları ile olan ilişkileri sonucunda dört farklı havza olarak kabul edilmektedir. Bu havzaların genel jeolojik yapıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Haymana Havzası

Haymana Havzası, Neotetis'in nihai yitimine ve kapanış evrimine ilişkin tektonik verilerin elde edilebileceği, Pontid-Torid-Kırşehir Tektonik blokların kesişimini ve dolayısıyla geç Kretase'den Paleojen'e kadar İzmir-Ankara ve İç-Torid Kenet Kuşakları bölgelerinin merkezinde gelişmesi gibi çok önemli bir pozisyonda bulunmaktadır (Görür vd. 1984; Gülyüz vd. 2014). Haymana Havzası'nın evrimsel geçmişi, Pontidler, Torid ve Kırşehir bloklarının metamorfik temel kayaları ile doğrudan bağlantılıdır. Ancak havzada yalnızca Pontid Bloğuna ait temel birimler mostra vermişken, Kırşehir veya Torid Bloklarına ait herhangi bir temele rastlanmamaktadır (Gülyüz, 2015).

Havzayı oluşturan litolojik birimler, temelde yüksek metamorfizmaya uğramış, Karbonifer-Permian yaşlı kireçtaşları (Karakaya Karmaşığı) ve bu temelide, Üst Jura'dan Alt Kretase'ye kadar bir platform serisi üstlenmektedir. Yer yer ara katmanlı ofiyolitik birimlerde (Ankara Karmaşığı) mevcuttur (Ünalın vd. 1976; Altın vd. 1991; Koçyiğit, 1991) (Şekil 1b).

Temel birimlerinin karmaşıklığının aksine, Geç Kretase-Neojen dönemde çökelmiş olan örtü birimleri yaklaşık 8 km bir stratigrafik kalınlıkları ile bölgede denizelden karasal çökellere kadar

devamlılığı olan yatay ve düşey geçişli stratigrafik bir paketi temsil etmektedirler (Şekil 1b) (Ünalın vd. 1976; Aydemir ve Ateş, 2008).

Kırıkkale-Bala Havzası

Kırıkkale-Bala Havzası, yaklaşık kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı ve İAEKK'nın doğu segmenti boyunca çökelim göstermiştir (Şekil 1c). Pontidler ile Kırşehir Bloğu arasında, Geç Kretaseden, Kuvarterner'e kadar bir dönemde çökelmiş olan tortul birimler, Neotetis'in kapanmasının sonucunda oluşan ve Ankara Karmaşığı (Melanj) olarak adlandırılan temel birimlerin üzerini örtmektedir. Bu tortul istif, denizaltı çöküntüleri, olistostromlar ve türbiditik birimlerden oluşmaktadır. Havza birimleri batıya doğru kalınlaşmakta ve yaklaşık 3.2 km stratigrafik kalınlığa kadar ulaşmaktadır (Nairn vd. 2013). Paleosen yaşlı Granitoidler, bölgedeki okyanusal lav akıntıları ve tüflü birimleri keserek havzanın doğu kenarına yerleşmişlerdir. İstifin üstüne doğru, denizin sığlaşmasıyla, kırmızı kıtasal kırıntılılar, jipsli birimler ve lagünel kireçtaşları çökelleri hakimdir. Eosen sonrası (çoğunlukla Oligosen) havzadaki tektonik gelişim; asimetrik kıvrımlar oluşturarak doğuya doğru ters çevirmiştir ve akabinde bir dizi bindirme faylanması, sağ-yanal doğrultu atımlı faylanmalar bölgenin tektonizmasında hakim olmuştur (Norman, 1973).

Kısacası havza, geç Kretaseden Kuvarterner dönemine kadar kalın bir tortul istifi muhafaza etmektedir. Tektonik olarak birimlerin ana deformasyonu; kıvrımlı ve devrik yapıların, yanal atımlı faylar ile ötelendiği gözlenmiş ve bunun sonucunda da bölge genel olarak daralmalı tektonik bir sürecin hâkim olduğunu işaret etmektedir. Bu daralmalı tektonik süreç, Neotetis okyanusunun kapanmasıyla, Kırşehir Bloğunun güneyden kuzeye doğru Pontidlere girişmesine bağlanılmıştır.

Tuzgölü Havzası

Çalışma alanının en güney ucunda bulunan havza; Kırşehir Bloğunun batı kenarında yer almakta olup, güneyde Ulukışla Havzası, batıda Yeniceoba ve Cihanbeyli fay zonları (Özsayın ve Dirik, 2007), doğuda Tuzgölü Fay'ı ile, kuzeyinde ise İAEKK ve Haymana Havzası tarafından sınırlandırılmaktadır (Şekil 1c). Yine tartışmalı (Toroslar ile ilişkili mavi şist varlığı) olan İç Torid Kenet Kuşağı güneybatıda Kırşehir-Torid Blokları arasında bir sınır oluşturmaktadır (Okay, 1984). Havzanın tortul çökelişi, Kırşehir Bloğunun metamorfik temelini uyumsuz olarak örtmektedir. Büyük ölçüde Neojen ve Kuvarterner birimler tarafından örtülmüştür ve daha yaşlı tortul birimler, çok sınırlı bölgelerde, havzanın doğu tarafında, kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı sınırlı bir mostra alanı olarak gözlenmektedir (Şekil 1c). Ayrıca Kapadokya Volkanik Kompleksinin volkanik birimleri, havzanın güney kısmının çoğunu kaplamaktadır. Sınırlı alandaki tortul istifleri nedeniyle, havzanın toplamda ne kadar stratigrafik bir kalınlığa ulaştığını hesaplamak güçtür. Bölgede yapılmış olan jeofizik çalışmalar (özellikle sismik, gravite ve manyetik) civardaki formasyonlar deneştirilerek en az 3-3.5 km'lik bir kalınlık önerilmektedir (Çemen vd. 1999; Aydemir ve Ateş, 2008).

Alcı-Orhaniye Havzası

Havza genel olarak kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı kalın bir tortul istifi ihtiva etmektedir (Şekil 1). Neotetis okyanusunun bölgedeki kapanmaya başlaması ve sonrası süreçleri (yay önü ve ön-ülke) kapsayan bu alandaki tortul birimler litolojik açıdan özellikle güneyinde bulunan Haymana Havzası ile büyük benzerlikler göstermektedir (Şekil 1b). Üst Jura-Alt Kampaniyen türbiditleri, karbonatlar ve radyolaritler, yastık-lavları ve olistostromlarından oluşan (Ankara Karmaşığı) temel birimleri örten bu tortul istif; derin deniz türbiditleri ile başlar ve aralarda konglomera, kumtaşı, şeyl ve marnlı

ardalanmalar gözlenmektedir. İstifin üstüne doğru sığ delta kırıntılıları, kıtasal kırıntılıları daha hâkim olarak gözlenmektedir. Yer yer bu birimler, yaygın olarak Paleosen'e atfedilen ve erken Galatya yay volkanikleri ile ilişkili olan, Orhaniye siyenitik daykları tarafından kesilmişlerdir (Koçyiğit, 1991). Havza birimlerinin yüzlek vermiş birimlerin ölçülü kesitlerinden elde edilen toplam kalınlık en az 3.5-4 km olarak verilmektedir (Licht vd. 2017).

METODOLOJİ

Gravite ve Manyetik Veri Analizi

Tüm potansiyel alan jeofizik verilerin yorumlamasında olduğu gibi, manyetik ve gravite verileri analizinin öncelikli olarak niteliksel ve niceliksel olarak iki farklı yönü vardır. Niteliksel yorumlama aşaması: büyük ölçüde harita tabanlıdır ve öncelikli olarak verinin genel görünüşüne bakmak için kullanılmaktadır, dolayısıyla çalışma bölgesindeki temel yapıtaşlarını ortaya çıkarmak için önemli bir analizdir. Bu tür yorumlama ile genelde; faylı yapılar, yaşlı genç kayaç ayrımı, yapısal analizler gibi önemli jeolojik farklar ortaya çıkartılabilir. Niteliksel yaklaşımda ise; elde edilen verilerin, haritalar üzerinde enine kesitler almak ve değişimleri yakalamak sürecin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Değişime neden olan ve anomali yaratan bölgedeki derine doğru değişimin incelenmesi sürecin ikinci aşamasıdır. Örneğin, anomali yaratan manyetik bir yapının derinlik araştırmaları, eğim değişimi, Euler ve Werner gibi analitik metotlar yardımıyla araştırılabilmektedir. Gravite ve manyetik modelleme yöntemleri (sismik veriler ile), düz ve ters çözüm yaklaşımları kullanılarak, yapının, x, y ve z'deki konum bilgileri hakkında önemli çıkarımlarda bulunabilir. Modelleme sonucunda elde edilecek jeolojik yapının doğruluğu, başlangıçta kabul edilen model parametreleriyle yakından bağlantılıdır. Manyetik verilerin yorumlanması teorik olarak, manyetik alanın dipolar doğası gereği ve gravite verilerinde buna

karşın monopolar yerçekimi etkisi bakımından, her zaman daha karmaşık olmaktadır. Buna karşın manyetik yöntemler, gravite yöntemindeki çok fazla kaynak etkisinin modellenmesi gibi karmaşık modellere göre, daha basit yeraltı yapıları ile açıklanabilmektedir. Manyetik anomali yeraltı modellemesinde genellikle bir manyetik kaynak vardır. Fakat gravite verisi bunun aksine, çalışma alanındaki ve hatta yakın civardaki tüm jeolojik yapıların (yoğunluk etkilerinden dolayı) etkisinden oluşmaktadır ve modellemelerde göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Manyetik anomali haritaları, yerkabuğunun özellikle manyetik mineralce zengin ya da tam tersi düşük manyetik özellik sergileyen kısımlarının görüntülenmesinde yardımcı olmaktadır. Maden arama çalışmalarında, kaynak derinlik hesaplamaları genellikle manyetik mineral içeren cevher kütlelerinin derinliğini belirlemek için kullanılır. Havza analizi çalışmalarında ise, tortul birimlerinin temel kayaca göre daha düşük manyetik mineral içerme potansiyeline bağlı olarak düşük manyetik alanlar genellikle havza yapıları ile alakalıdır.

Bu çalışma, tortul havza yapılarının ortaya çıkartılması için gravite-manyetik verilerin elde edilmesini, veri-işlem ve yorumlanması aşamalarını içermektedir. Gravite ve manyetik veriler doğrudan kayaçların fiziksel özellikleriyle, yani yoğunluk ve manyetik duyarlılıkla ilişkili olabilir ve çeşitli kaya türlerinin haritalanması ve tanımlanmasında yer bilimciler için çok yararlıdır. Özellikle son 50 yıldaki hızla gelişen teknoloji ile beraber (özellikle uydu verileri), yer kürenin tamamı için (hatta yüzeyden ölçüm almanın imkânsız olduğu engebeli ve hatta kutup bölgeleri de dahil) hassas uydu gravite ve manyetik ölçüm sistemleri sayesinde, Dünyanın her bölgesi için veri elde edilmesi mümkün hale gelmiştir.

Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'nin, Ulusal Jeofizik Veri Merkezi (NGDC) tarafından tüm uydu, gemi ve havadan

elde dilmiş manyetik ölçümler derlenerek, küresel bir manyetik anomalisi grid haritası (EMAG2) yerbilimcilerin kullanımına sunulmuştur (<http://geomag.org/models/emag2.html>, Maus vd. 2009). EMAG2 verisi 2 dakikalık çözünürlüğe sahiptir ve buda yaklaşık örneklenen alan için 2.8 km'lik bir yüzey gridleme aralığına karşılık gelmektedir. Küresel manyetik anomali haritaları, jeodinamik

değişime neden olan yapıları araştırmak, geniş volkanik bölgeleri (yüksek manyetik genlikli) tanımlamak ve uzun dalga boylu manyetik anomalilere (örneğin kenet kuşakları) neden olan yapıları ve tortul havzalar gibi nispeten düşük manyetik özellikli alanların modellenmesi için sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Tablo 1. Magmatik, Tortul ve Başkalaşım kayaçları için karakteristik yoğunluk/manyetik duyarlılık değerleri) (Dobrin ve Savit, 1988; Kearey vd., 2013).

Table 1. Characteristic density/magnetic susceptibility values for magmatic, sediment and metamorphic rocks (Dobrin and Savit, 1988; Kearey et al., 2013).

Kayaç Tipi	Yoğunluk (gr/cm³)	Ortalama (gr/cm³)	Manyetik duyarlılık (μcgs)	Ortalama (μcgs)
<u>Tortul Kayaçlar</u>				
Alüvyon	1.96 – 2.00	1.98		
Kil	1.63 – 2.60	2.21	0 -1500	50
Dolomit	2.28 – 2.90	2.7	0 – 75	10
Kireçtaşı	1.61 - 2.76	2.35	0 – 300	25
Kumtaşı	1.77 - 3.20	2.4	0 – 1670	30
<u>Mağmatik Kayaçlar</u>			40 - 10000	2600
Granite	2.50-2.81	2.64		
Andezit	2.40-2.80	2.61		
Bazalt	2.70-3.30	2.99		
Gabro	2.70-3.50	3.03		
<u>Başkalaşım Kayaçları</u>			0 - 5800	350
Şist	2.39-2.90	2.64		
Kayrak	2.70-2.90	2.79		
Amfibolit	2.90-3.04	2.96		
Mavi şist	3.20-3.54	3.37		

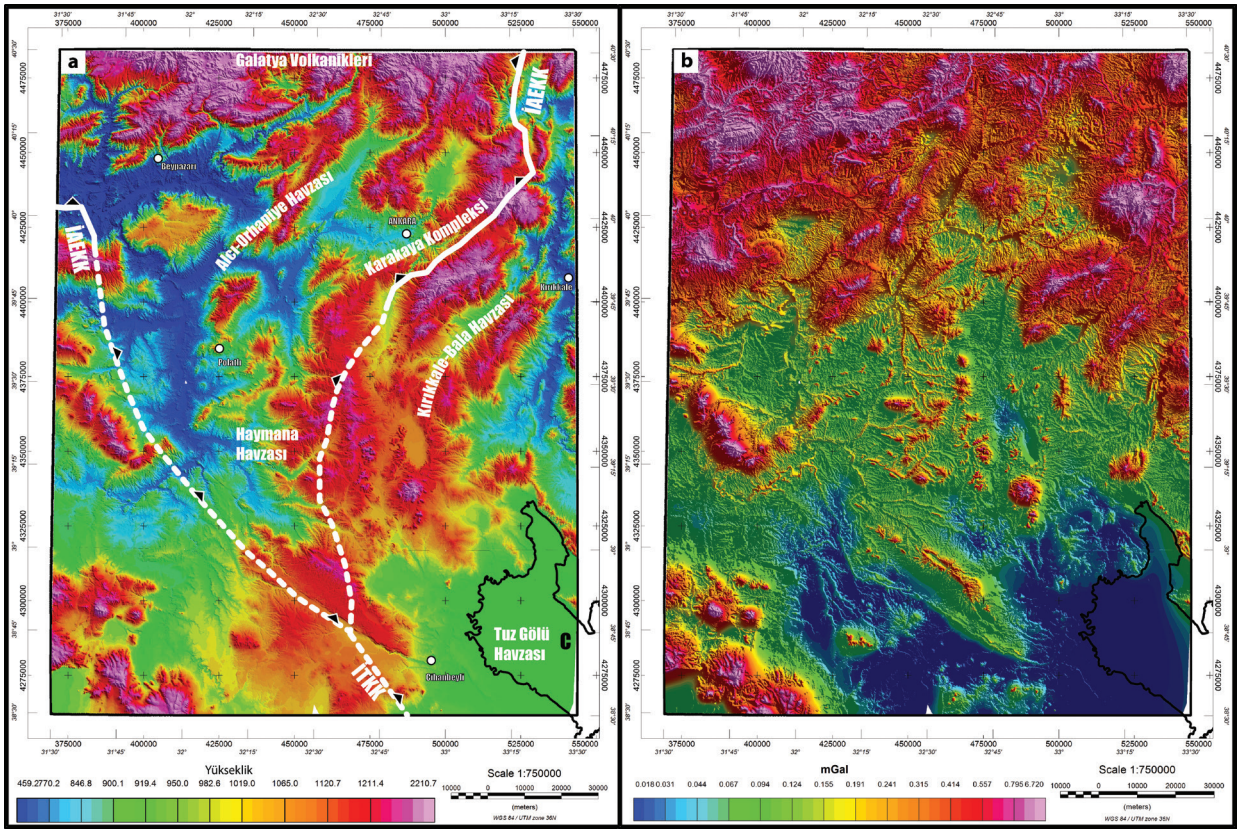
Manyetik yöntemin kullanılabilmesi için bölgede yeterli bir manyetik mineral kontrastının olması gereklidir. Buna karşın, yaygın olarak bulunan çoğu kayaç türü içeriğince çok az manyetik özellik barındırmaktadır (Tablo 1). Kayaç birimlerinin manyetik özellik göstermeleri, manyetit, pirit, protin, ilmenit, franklinit ve hematit gibi manyetik minerallerin varlığına bağlıdır. Kayaçların manyetik özellikleri yaygın olarak bulunan manyetit mineralinden kaynaklanmaktadır. Manyetik yöntemde temel kaya parametresi duyarlılıktır (manyetik duyarlılık). Bir kayaç biriminin ne kadar kolay manyetize edilebileceği, manyetik duyarlılık k tarafından belirlenir. Manyetik duyarlılık k (süseptibilite); kayacın indüklenmiş manyetik yoğunluk derecesi ve indükleyici (yer manyetik) alanın mıknatıslanma kuvvetine (H) bağlı bir faktördür. Mıknatıslanma M ve mıknatıslanma alanı H arasındaki doğru bir orantı ($M=k \times H$) vardır.

Bu çalışma içinde kullanılmış olan EGM2008 (Yer global gravite modeli) veri tabanı, 2.5'×2.5' dakikalık çözünürlük ile nerdeyse tüm yerküreyi kapsayacak şekilde kara, deniz ve havadan elde edilmiş gravite verileri ve bunlara ek olarak gelişen ölçüm hassasiyeti ile birlikte uydudan elde edilmiş okyanus alanları üzerindeki serbest hava anomalilerinin birleştirilerek yerbilimcilerin kullanımına sunulmuştur. Çalışılan bölge için mekânsal çözünürlük yaklaşık 3.8 km'lik bir grid aralığına tekabül etmektedir. Haritalama aşamasında, normal gravite verisi ve referans elipsoidin koordinatını tanımlamak için WGS 84 Jeodezik Referans Sistemi (JRS) kullanılmıştır. Hesaplanan gravite değerleri bu referans elipsoidin yüzeyine tekabül etmektedir. Genel olarak,

uydu gravite verileri / haritaları; levha tektoniği, litosferik yapılar, deprem aktiviteleri, hidrokarbon araştırmaları, havza tortul dolgu yapısı, maden alanları, denizaltı volkanları, kalın buzullar ve buz tabakalarının erimesi nedeniyle meydana gelen değişikliklerin incelenmesi için kullanılmaktadır. EGM2008 modeli uydu gravite verileri, ABD Ulusal Mekânsal-İstihbarat Teşkilatı veri tabanından ücretsiz olarak kullanılabilir (NGA, web sitesi:http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/anomalies_dov.html, Sandwell ve Smith, 2009).

Gravite ve manyetik veri analizleri ve filtreleme

Bu çalışmada gravite ve manyetik verilerin analizi (haritalama, filtreleme, modelleme) işlemleri için Geosoft, Oasis Montaj 7.1 programı kullanılmıştır. Çalışma için kullanılmış olan gravite ve manyetik veriler, orta Anadolu'da Şekil 1c de kesikli dörtgenle gösterilen alanı kapsamaktadır. Coğrafik olarak köşe koordinatları 37.5°K, 29.5°D ve 37.5°K, 29.5°D, 2'×2' derecelik bir alana karşılık gelmektedir. Şekil 2a'da çalışma alanının dijital yükseklik haritası ve Bouguer gravite düzeltmesi için kullanılmış olan arazi (terrain, engebe) düzeltme değerleri gösterilmiştir. Bölge ortalama 1000 metre yüksekliği, güneyinde (Kapadokya) ve kuzeyindeki (Galatya) Neojen volkanik alanları arasında geç Krataseden günümüze İzmir-Ankara Erzincan ve İç Torid Kenet Kuşakları boyunca gelişmiş 4 önemli tortul havza oluşumu ile dikkat çekmektedir (Şekil 1 ve 2a). Arazi değerlerine bakıldığında en yüksek 5 mGal'lik düzeltmeler yine topografyanın en fazla değişim gösterdiği kuzey bölgelerinde ve Karakaya Karmaşığının yüzlek verdiği alanlara düşmektedir (Şekil 2b).



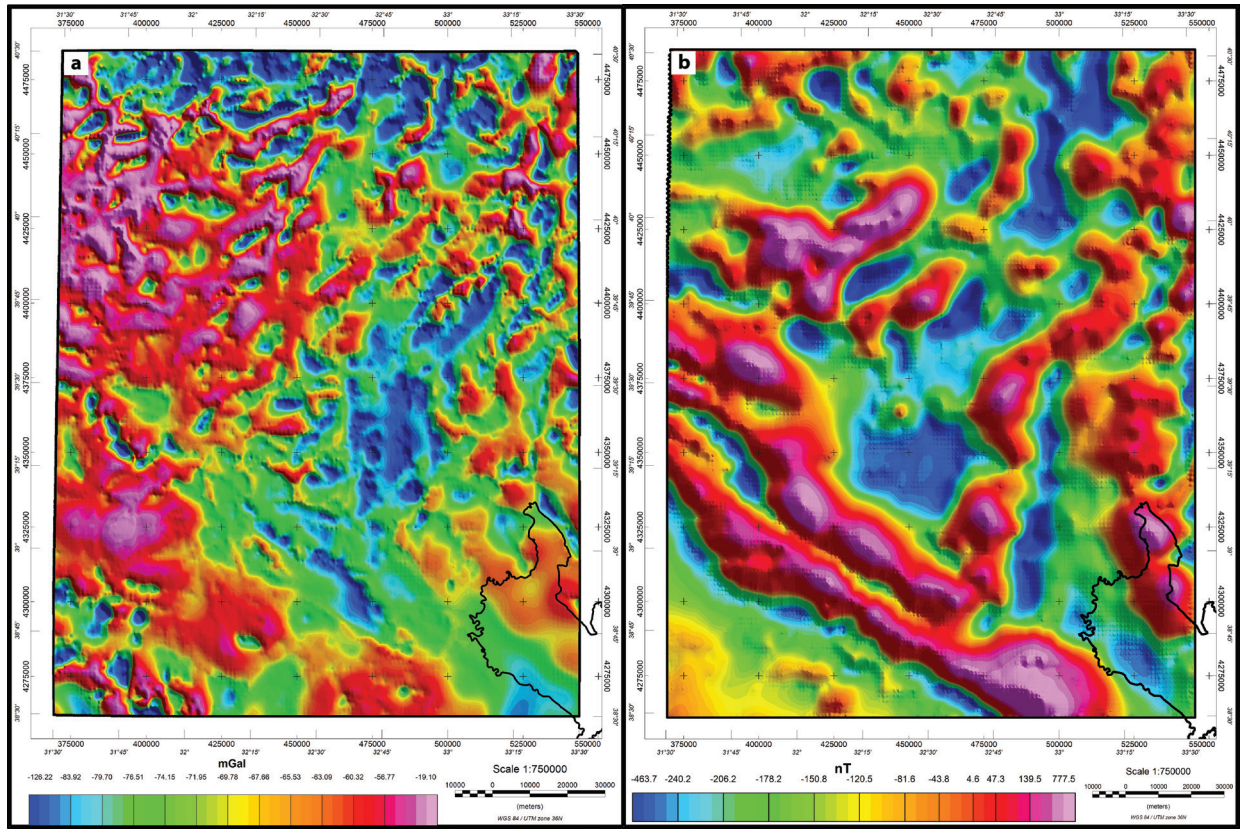
Şekil 2. a) Şekil 1c’de gösterilen siyah dörtgen alana ait dijital yükseklik haritası. b) Gravite düzeltmesinde kullanılmış olan topoğrafik etki (terrain) haritası.

Figure 2. a) Digital elevation map of the study area (black rectangular area shown in Figure 1c). b) The terrain map used in the gravity correction.

Gravite (serbest hava anomalisi) ve manyetik verilerin ham hali Şekil 3’ te verilmiştir. Serbest hava anomalisi haritası üzerinde, yükseklik düzeltmesi yapılmadığı için topoğrafik etkiler belirgindir. Bu hali ile morfoetektonik analizler için kullanışlı olabilmektedir. Havza alanları ve büyük ölçekli derin yeraltı yapılarının (özellikle kenet kuşakları) sınırları bu şekilde kabaca belirlenmiştir (Şekil 3a). Alanın manyetik anomalisi haritasına bakıldığında yine aynı şekilde havza

alanları ve kenet kuşaklarının konumları kabaca belirlenebilmektedir (Şekil 3b).

Serbest hava anomalisi verileri gerekli düzeltmeler (yükseklik, Bouguer plaka ve engebe etkisi düzeltmeleri) yapıldıktan sonra düzeltilmiş Bouguer gravite anomalisi haritasına dönüştürülerek, böylece incelenecek alandaki jeolojik yapıların yoğunluk farklarından kaynaklı, Bouguer anomalisi haritası elde edilmiştir (Sandwell ve Smith, 2009).

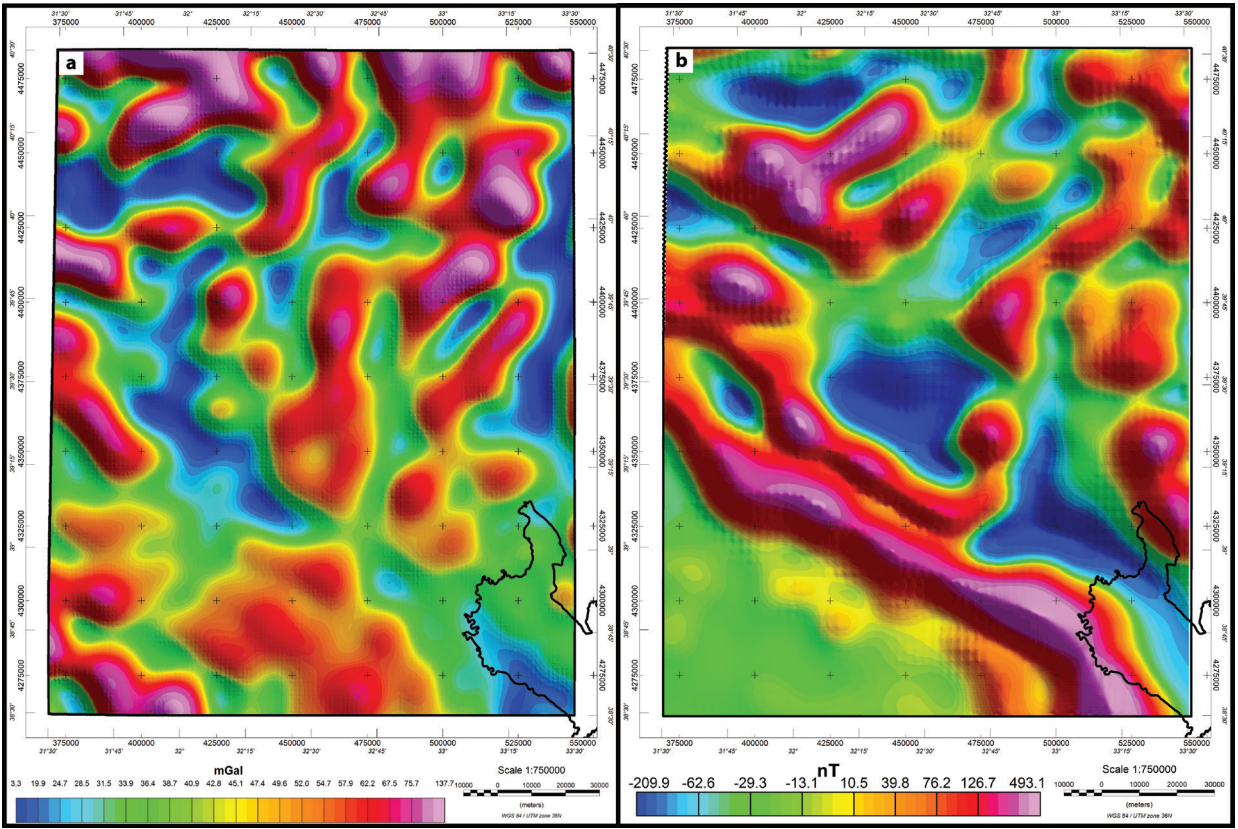


Şekil 3. a) Çalışma alanının serbest hava gravite anomali haritası. b) Manyetik anomali haritası (düzeltilmemiş).

Şekil 3. a) The Free-Air gravity anomaly map of the study area. b) Magnetic anomaly map (not corrected) of the study area.

Manyetik veriler, gravite verilerine göre işlem aşamaları daha basittir ve bir iki veri-işlem adımından sonra 2 ve 2.5 B modellenmeye hazır hale gelmektedir. Manyetik veriler öncelikli olarak, yer manyetik alanının geometrisinden kaynaklanan farklılıkları ortadan kaldırmak için manyetik kutba indirme işlemi uygulanmaktadır. Bunun için, çalışılan bölgeye ait yer manyetik alanının eğim (56.2°) ve sapma açılarına (4°)

ihtiyaç vardır. Bu iki manyetik bileşen değerleri 2018 yılı Türkiye (Ankara) ortalaması için Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresinden (NOAA) alınmıştır (NOAA, 2018). Bu şekilde manyetik veriler düşey eksene projekte edildikten sonra farklı kesme dalga boyu (10-40 km) alçak geçişli filtreleme uygulanmış ve sonrasında modelleme aşamasına hazır hale getirilmiştir (Şekil 4b).



Şekil 4. a) Çalışma alanının düzeltilmiş Bouguer gravite anomali haritası. **b)** Kutba indirgenmiş çalışma alanının manyetik anomali haritası.

Şekil 4. a) The corrected Bouguer gravity anomaly map of the study area. **b)** Magnetic anomaly map (reduced to the North Magnetic Pole) of the study area.

Gravite ve manyetik veriler, tamamlanan saha ölçümlerinden sonra yeraltı yapılarının tanımlanması ve yorumlanmasından önce belirli bir veri-işlem aşamalarından geçmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan her iki veri seti (gravite ve manyetik) halihazırda standart düzeltmeler (Enlem, Serbest hava) yapılmış olarak alınmıştır. Hali hazırda alınmış olan serbest hava gravite verisinin Bouguer gravite verisine dönüştürmek için, yoğunluk değeri olarak standart 2.67 gr/cm^3 değeri ve yine arazi düzeltmesi (terrain, engebe etkisi) için maksimum 167 km uzaklığa göre hesaplamalar yapılmıştır. Manyetik veri setine, filtreleme aşamasından önce sadece yukarıda verilmiş olan 2018 yılı Ankara için ortalama manyetik eğim ve deklinasyon değerleri

kullanılarak kutba indirgemeleri sağlanmıştır. Kutba indirgeme işlemi, yeraltı jeolojik yapısından kaynaklı maksimum manyetik genlikli anomalinin, cismin tam düşeyine getirmek için uygulanmıştır. Her iki veri seti için filtreleme aşamasından önceki düzeltmeler için Oasis Montaj (versiyon 7.0.1) programının 'Gravity' ve 'Magmap' modülleri kullanılmıştır.

Yukarıdaki belirtilen düzeltmeler uygulandıktan sonra veri-işlemin ikinci aşaması olarak çalışmanın amacına uygun (havza tortul kalınlıklarının ve sınırlarının belirlenmesi) filtrelemeler yapılmıştır. Filtrelemenin genel amacı, farklı dalga boyundaki sinyalleri ayırmak ve böylece hedeflenen jeolojik yapıyı en iyi temsil

eden anomali haritaları elde etmektir. Böylece filtreleme, belirli bir derinlik aralığında sadece ilgilenilen jeolojik yapının ürettiği anomalileri baskın hale getirmeyi amaçlamaktadır. Klasik bir filtreleme çalışması ya alçak geçiş (yüksek dalga boyu) özellikli fitreler ile daha bölgesel (rejyonel) ya da yüksek geçişli fitreler (kısa dalga boyu) ile daha lokal yapıların (rezidüel) etkilerini baskın hale getirebilir.

Çalışmanın ana amacını teşkil eden bölgedeki tortul havza yapılarını daha belirgin hale getirmek için öncelikle farklı filtreleme yöntemleri ve farklı dalga boylu filtreler denenmiştir (yukarı uzanım, alçak geçişli, 5-40 km dalga boylu). Yukarı uzanım filtresi, uzun dalga boylu anomalileri belirginleştirerek kısa dalga boylu anomalileri sönmüştür. Alçak geçişli veya uzun dalga boylu fitreler, kısa dalga boylu anomalileri bastırarak daha bölgesel ve derin yapıların neden olduğu anomalileri etkin hale getirirler. Pratikte hem yukarı uzanım hem de alçak geçişli filtreler derin kaynaklı yapıların etkilerini ortaya çıkartmak için kullanılmaktadır. Gravite ve manyetik veri setine öncelikle çeşitli yükseklik uzanım değerleri (500 metre - 10 km) denenmiş ve sonrasında yine farklı alçak geçişli filtreleme sonuçları (5-40 km dalga boyu) ile karşılaştırılmıştır. Bu analizin amacı, her iki yöntem sonucunda çalışma amacına uygun olarak ideal filtrelemeyi niteliksel olarak seçmektir. Bu işlemler sonucunda, kısa dalga boylu etkilerin (<10 km dalga boyu) yüzeyden yaklaşık 5 km yükseklikten itibaren bariz bir şekilde sönmüştüğü görülmüştür. Filtrelemenin ikinci adımı olarak; iki filtreleme yönteminden elde edilen sonuçların genliklerindeki benzerliklerden yararlanarak ideal alçak geçişli filtreleme (kesme dalga boyu>20 km) metodu hem gravite hem de manyetik veriler üzerinde uygulanmıştır. Filtrelenmiş gravite ve manyetik anomali haritaları, 3 farklı yönde enine kesit güzergahı belirlenerek yeraltı modellenmesi için kullanılmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gravite ve Manyetik anomaliler ve 2B analizleri

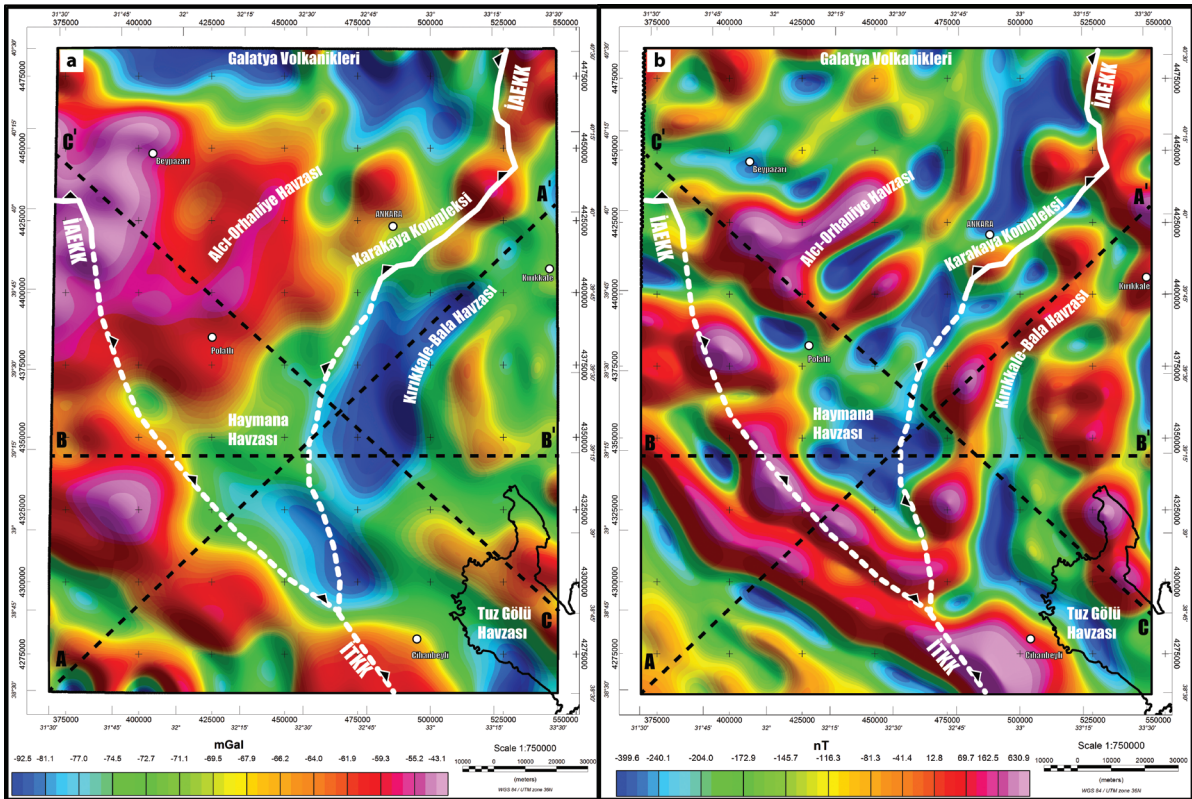
Yukarıda verilmiş olan gravite ve manyetik düzeltmelerin ve uygulanan filtreleme stratejisinden sonra bölgenin Bouguer gravite ve manyetik anomali haritaları, filtreleme aşamasından önce, derin-sığ, küçük ya da büyük ölçekli jeolojik yapıların etkilerini bir arada barındırmaktadır (Şekil 4). Yapılacak çalışmanın amacına yönelik bir arada bulunan rejyonel (büyük ölçekli) ve rezidüel (küçük ölçekli) etkilerin ayrılması filtreleme çalışmasının temel hedefidir. Manyetik ve gravite veri setlerinde yer altındaki yapıların fiziksel özelliklerine bağlı olarak çok yüksek ve düşük genlikli anomali bölgeleri gözlenmektedir (Şekil 4a). Gravite haritasındaki değerlerin tümünün negatif değerli olması bölgesel bir etkinin sonucunda yani, çalışılan bölgenin kıta içerisinde olmasından ve kıtasal kabuk kalınlığından ileri gelmektedir. Manyetik anomali haritası hem negatif hem de pozitif değerler göstermektedir (Şekil 4b). Bouguer gravite anomali haritasında temel yapılar belirgin olsa da kısa dalga boylu yüzeye yakın ve/veya kütleli olarak görece daha küçük jeolojik yapıların etkileri de bariz bir şekilde görülmektedir. Manyetik veriler, örnekleme sırasında belirli bir yükseklikten (yaklaşık 750 metre) alındıkları için halihazırda doğal bir yukarı uzanım filtresi uygulanmış haldedir. Negatif Bouguer gravite anomalileri yaklaşık -125 mGal değerlerine kadar düşmekte ve genel olarak çalışma bölgesinin iç ve güneydoğusu ile kuzey sınırında yoğun olarak gözlenmektedir. Bu düşük değerlikli alanlar, coğrafik konum olarak Tuzgölü, Haymana ve Kırıkkale-Bala havzalarına karşılık gelmektedir. Manyetik anomali haritası incelendiğinde yine benzer bir durum göze çarpmaktadır. Yani, düşük genlikli manyetik anomali alanları, yine havza alanlarını işaret etmekte, fakat yüksek manyetik anomali bölgeleri daha çok havza sınırları ve temel kayalar ile volkanizmanın yoğun olduğu bölgelere karşılık gelmektedir. Manyetik anomali

haritasına bakıldığında, havza alanlarında yine nispeten daha düşük değerler -465 nT düzeyinde gözlenmektedir. En yüksek değerler ise 750 nT düzeyinde ve genellikle havza sınırlarında belirgin hale gelmektedir (Şekil 4b).

Verilerin yüksek frekansları sönmüldürildikten sonra, elde edilen anomali haritaları ile bölgenin genel jeolojik yapıları arasında bir korelasyonun yapılması mümkün hale gelmektedir (Şekil 5). Filtrelenmiş Bouguer gravite haritasına bakıldığında, dört önemli anomali değişim alanı göze çarpmaktadır. Bunlardan ilki, bölgenin en batısını büyük oranda

kapsayan (Beypazarı ve civarında) ve göreceli olarak yüksek gravite anomali alanıdır (Şekil 5a). Coğrafik olarak bu alan Galatya volkaniklerinin güneyine denk gelmekte ve büyük oranda Alcı-Orhaniye Havza'sı Neojen tortulları tarafından örtülmektedir. Literatür çalışmalarına göre, yaklaşık doğu-batı uzanımlı İAEKK, bu bölgede aniden güneye doğru kıvrılmakta ve bu alandaki gravite yükselimi, yüzeyden takip edilemeyen fakat önemli bir jeolojik deformasyonu işaret etmektedir. İkinci önemli yapı, çalışma alanının güneybatısında, Sivrihisar-Cihanbeyli arasında, kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı görece yüksek değerlikli gravite anomali bölgesidir.

Şekil 5



Şekil 5. a) Çalışma alanının alçak geçişli filtrelenmiş Bouguer gravite anomali haritası ve bölgedeki önemli jeolojik yapıların pozisyonları. b) Alçak geçişli filtrelenmiş manyetik anomali haritası ve bölgedeki önemli jeolojik yapıların pozisyonları.

Figure 5. a) Low-pass filtered Bouguer gravity anomaly map of the study area and geographic positions of the main geological structures. b) Low-pass filtered magnetic anomaly map of the area and geographic positions of the main geological structures.

Jeolojik olarak bu KB-GD uzanan hat, bölgede yine diğer çalışmalarda da önerilen İAEKK'nın güncel pozisyonu ile örtüşmekte ve buda Toros Bloğu'nun kuzey sınırını işaret etmektedir. Bölgenin doğu kısmında parçalı halde güneyden kuzeye lokal gravite yükselimleri görülmektedir. Yer yer tortul havza alanlarına da denk gelen bu gravite bölgeleri yer altında Kırşehir Bloğu'nu oluşturan granitoid yükselimlerinden kaynaklı olabilir. Görece düşük Bouguer gravite değerleri, genellikle çalışma alanının merkezi civarındadır (Ankara-Tuzgölü). Bu alanlar büyük oranda Haymana, Tuzgölü ve Kırıkkale-Bala tortul havzalarına denk gelmektedir. Bouguer gravite anomali haritasına bakıldığında jeolojik olarak ilginç olabilecek iki durum bariz bir şekilde göze çarpmaktadır. İlki, Galatya volkanik alanının göreceli düşük gravite değerleri göstermesidir. İkincisi önemli durum, Pontidler'in parçası olan Karakaya Karmaşığının (temel kayaçlar) güneye doğru yüzlek veren bölümünde, beklenenden daha düşük Bouguer gravite anomali değerleri bulunmaktadır.

Bölgenin filtrelenmiş manyetik anomali haritasında yine benzer yapılar göze çarpmaktadır (Şekil 5b). Gravite haritasından farklı olarak jeolojik yapı sınırlar daha da belirgindir. Özellikle, bölgeden geçen İAEKK boyunca bariz bir pozitif manyetik anomali alanları gözükmektedir. Bölgenin güneybatısında, birbirine paralel iki KB-GD uzanımlı pozitif anomali şeritlerinden, kuzeydeki pozitif anomali, Haymana Havzası'nı güneyden sınırlayarak kuzeydoğu istikametine kıvrılmakta ve İAEKK boyunca Kırıkkale-Bala Havza'sı sınırını takip etmektedir. Daha güneydeki ikinci pozitif anomali hattı, sınırlı bir kısmı çalışma bölgesi içinde kalmasına rağmen, literatürde önerilmekte olan İç Torid Kenet Kuşağı'nın varlığına işaret edebilir. Çalışma alanının güney kısmı, büyük oranda genç Neojen örtü ile kaplı olmasına rağmen, gravite ve manyetik verilerin kullanılmasıyla yüzeyden gözlenemeyen daha derin jeolojik yapıların

etkileri ortaya konulabilmektedir. Yine bölgenin doğu sınırını teşkil eden Kırşehir Bloğu'na ait granitoidler, yüksek genlikli manyetik anomali değerleri ile derin devamlılıkları açık bir şekilde görülmektedir. Gravite verisinde bariz olarak daha düşük ve birleşik halde gösterilen Haymana ve Tuzgölü havzaları, bölgenin manyetik haritası üzerinde yüksek genlikli anomali hattı ile ayrılmış gözükmektedir. Yine beklenilenin tersine bir şekilde Galatya volkanik alanında, görece olarak daha düşük genlikli manyetik anomali değerleri hakimdir (Şekil 5).

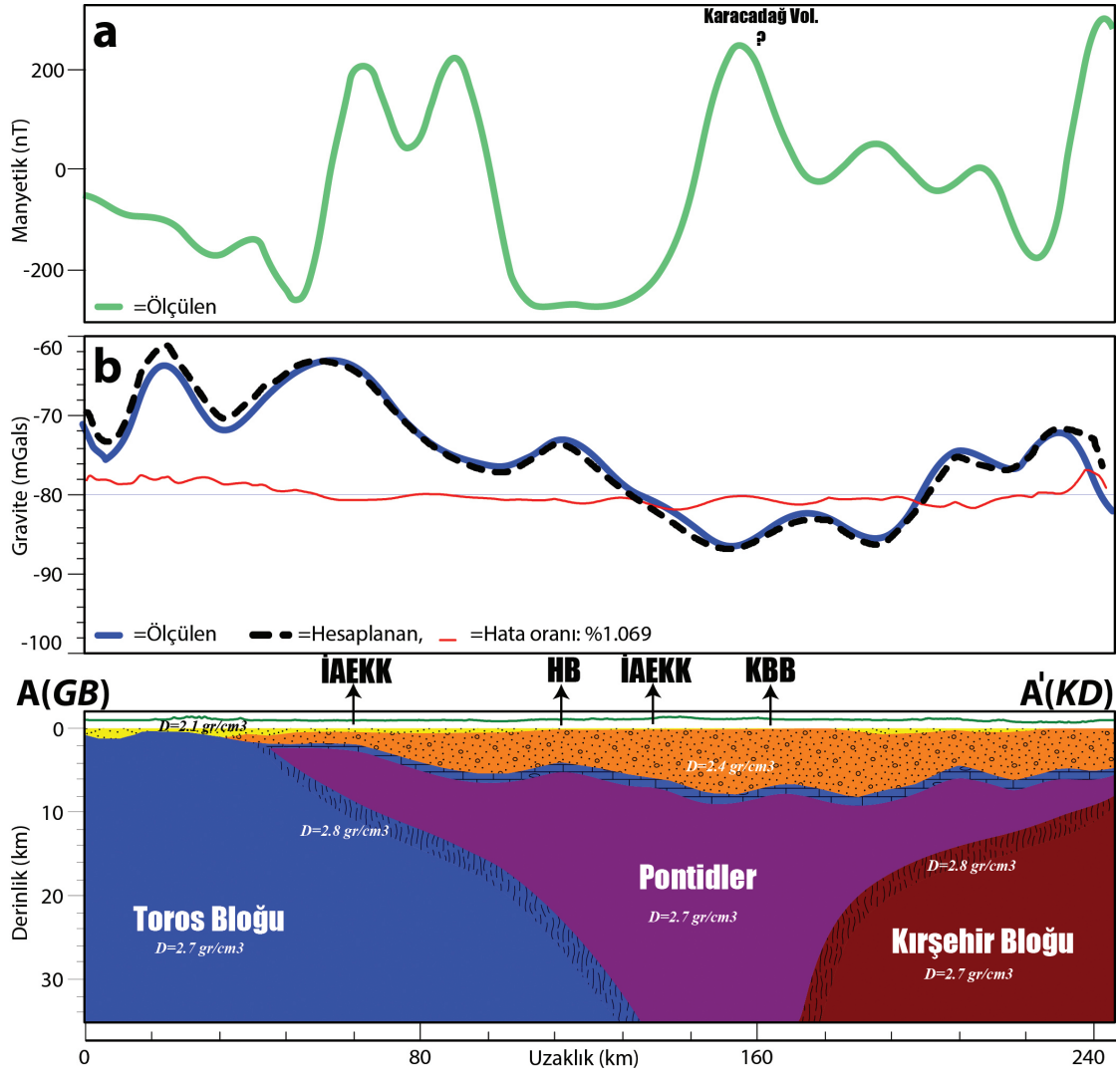
2.5B Gravite Modelleme

Harita bazlı niteliksel analizlerden sonra, yüzeysel araştırmalar ile sınırları tanımlanmış tortul havzaların yeraltındaki devamlılıklarının daha iyi görüntülenebilmesi için bu çalışmada 3 farklı enine kesit üzerinden 2.5B'lu modellemeleri oluşturulmuştur. Modelleme çalışmasına ait hesaplamalar, Talwani vd., (1959), Rasmussen ve Pedersen, (1979) çalışmalarında önerilen metodoloji ve formülasyonlara göre Oasis Montaj, GM_SYS interaktif modülü kullanılarak yapılmıştır. Dört tortul havzayı da modelleyebilecek şekilde 3 farklı doğrultuda enine kesit gravite modelleri oluşturulmuştur. Alınan enine kesit güzergahları Şekil 5'te gravite ve manyetik anomali haritaları üzerinde gösterilmektedir. Ayrıca, Şekil 1c'de basitleştirilmiş jeoloji haritası üzerinde yine bu kesit alınan hatlar, bölgenin jeolojik yapısı ile gravite ve manyetik verilerin karşılaştırılması için ayrıca verilmektedir.

Yapılan çalışmada modeller sadece yoğunluk farklarına bağlıdır ve ona göre tabaka kalınlıkları oluşturulmuştur. Kullanılan yoğunluk değerleri Tablo 1' de verilen ortalamalara göre alınmıştır. Alınan manyetik kesitlerden, gravite modellemesi sırasında genel yapı sınırlarını belirlemek, yeryüzünden gözlenemeyen ve muhtemele derin, manyetik duyarlılığı yüksek volkanik alanların belirlenmesi amaçlı yararlanılmıştır.

İlk enine kesit olan A-A' modeli; bölgede güneybatıdan kuzeydoğuya doğru uzanan, Haymana ve Kırıkkale-Bala havzalarını örnekleyen yaklaşık 245 km'lik bir hattır (Şekil 5 ve 6). Kesit, yaklaşık olarak Toros Bloğundan başlayarak, literatürde yaklaşık pozisyonu önerilmiş olan İAEKK'ını iki kez keserek Kırşehir Bloğuna kadar uzanmaktadır. Kesitin güneybatı bölümünde gravite anomali değerleri

göreceli yüksek ve manyetik duyarlılık değerleri ise oldukça düşük olarak gözlenmektedir. Bunun sonucunda Toros temel bloğunun yüzeye yakın olduğuna işaret edebilir. Bölgenin jeolojisine bakıldığında, bu alan Neojen bir örtü ile örtülmüştür ve gravite modellemesinden bulunan sonuçlara göre maksimum 1 km civarında bir stratigrafik kalınlığa sahiptir.



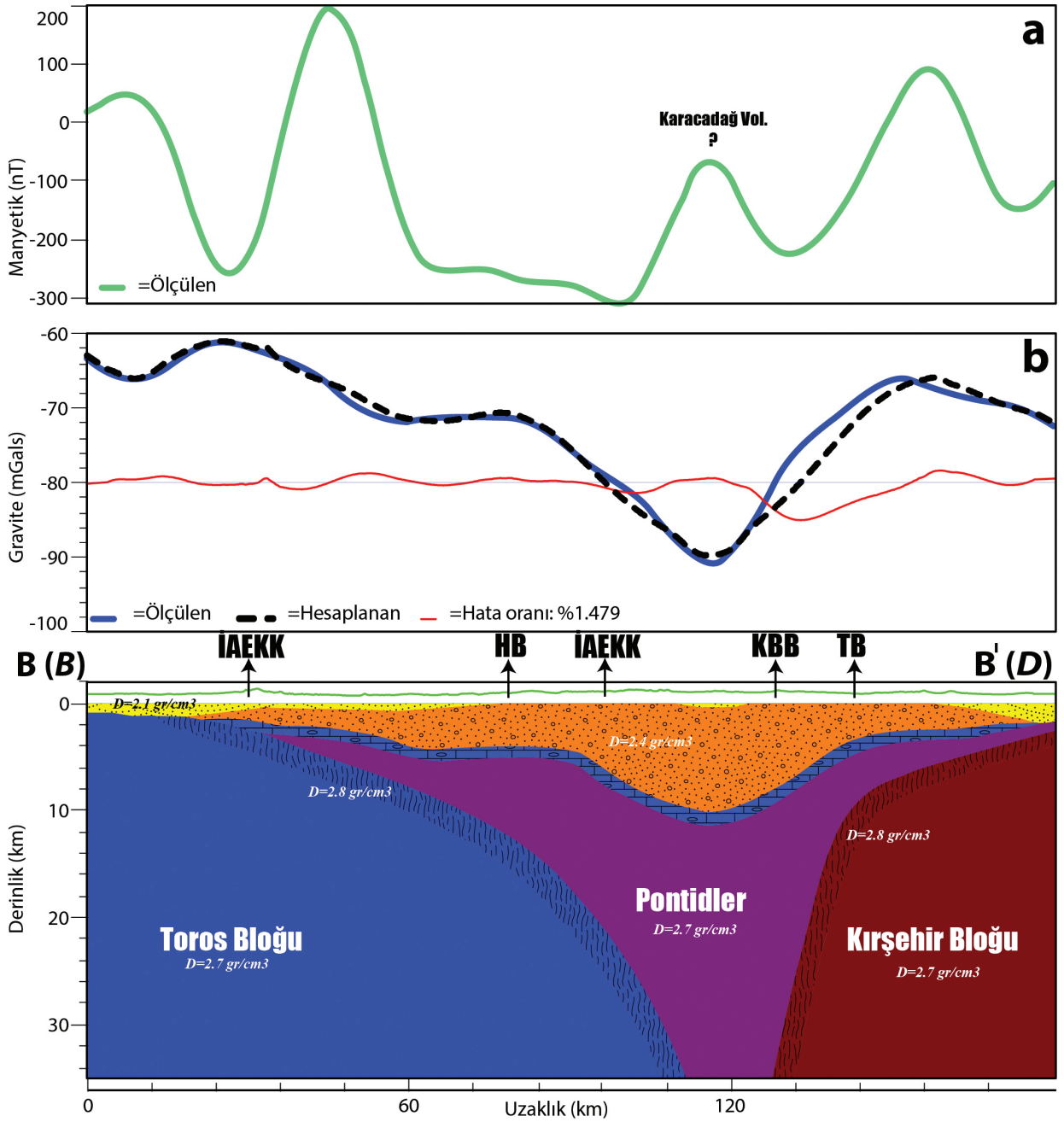
Şekil 6. A-A' kesitine ait manyetik (a) gravite (b) anomalileri ve gravite verisine göre oluşturulan 2.5B'lu yeraltı modeli. İAEKK: İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı, HB: Haymana Havzası, KBB: Kırıkkale-Bala Havzası.

Figure 6. A-A' cross-section of the magnetic (a), gravity (b) anomalies and 2.5D gravity modeling of the area. İAEKK: İzmir-Ankara-Erzincan Suture Belt, HB: Haymana Basin, KBB: Kırıkkale-Bala Basin.

Kesit üzerinde kuzeydoğuya doğru ilerlendiğinde, iki pozitif yüksek genlikli manyetik anomali değerleri dikkat çekmektedir ve gravite değerleri de göreceli olarak yine yüksek genliklidir. Bu durum İAEKK ile kapanan Neotetis'in dalan parçalarının pozisyonu ile alakalı olabilir. Hattın devamında gravite ve manyetik değerlerinde ani bir azalış gözlenmektedir. Bu iki fiziksel özelliğin göreceli düşük oluşu ve jeolojik harita ile yapılan korelasyon sonucunda bu durumun tortul birimlerin etkisiyle olabileceği açıktır. Bu alanda Haymana Havzası gelişmiş ve kesitin güzergahındaki gravite modeline göre en az 5 km'lik bir kalınlıkta olabileceği modellenmiştir. Hattın kuzeydoğu devamında gravite değerlerinde azalma devam etmiş fakat manyetik değerlerde ani bir yükselim gözlemlenmiştir. Bölgenin jeoloji haritasında, bu alanlarda yüzlek vermiş Neojen yaşlı genç volkano-sedimenter (Karacadağ) birimler bulunmaktadır. Gravite modellemesinde bu yapılar ani bir anomali değişikliğine (köksüz olması ya da volkanik birimlerin beklenenden daha az yoğunlukta olması) neden olmadığı için dikkate alınmamıştır. Fakat manyetik verilerde bariz bir şekilde pozitif anomali göstermesi, manyetik mineral içeriği yüksek (muhtemelen volkanik) bir etkininin varlığına işaret etmektedir (Şekil 6).

İkinci enine kesit olan B-B' kesiti, yaklaşık 175 km'lik profil uzunluğu ile bölgeyi batıdan

doğuya örnelemektedir (Şekil 5 ve 7). Model, bir önceki kesite benzer bir şekilde İAEKK ve iki önemli havzayı (Haymana ve Kırıkkale-Bala) kapsamaktadır. Batıdan doğuya doğru; gravite değerleri göreceli yüksek başlamıştır ve en düşük (-90 mgal) değerlere Haymana ve Kırıkkale-Bala havzalarının bulunduğu bölgede ulaşılmıştır. Manyetik değerler yine pozitif başlamış ani bir düşüşten sonra yaklaşık 200 nT' lara ulaşmıştır. Bölge yine Neojen bir örtü ile kaplanmış olmasına rağmen, gravite-manyetik verileri bir arada değerlendirildiğinde, bu durumun Toros Bloğu'na ait temel yapıların yüzeye yakın olması ve İAEKK'nın varlığı ile ilişkilendirilebilir. Kesitin orta kesimlerinde gravite değerleri en düşük seviyelerde iken manyetik verisinde ani bir yükselim gözlenmektedir. A-A' kesitinde de benzer bölgeye denk gelen bu anomali yine bölgenin jeolojik yapısı karşılaştırıldığında, Neojen volkaniklere (Karacadağ) karşılık gelmektedir. Bu modelden de görüleceği üzere volkanik alan, gravite değerlerinde beklenildiği gibi pozitif değişim göstermemiş ve bu volkanik birimlerin uzak bir kaynaktan gelebileceği tahmin edilmektedir. Maksimum tortul kalınlığı iki havza içinde yaklaşık 9 km'lere kadar ulaşabilmektedir (Şekil 7). Kesitin doğu kesiminde yine gravite ve manyetik verilerde göreceli artışlar devam etmiş ve bunun kaynağı olarak da Kırşehir Bloğu (muhtemelen granitoidleri) temel kayaları gösterilebilir.



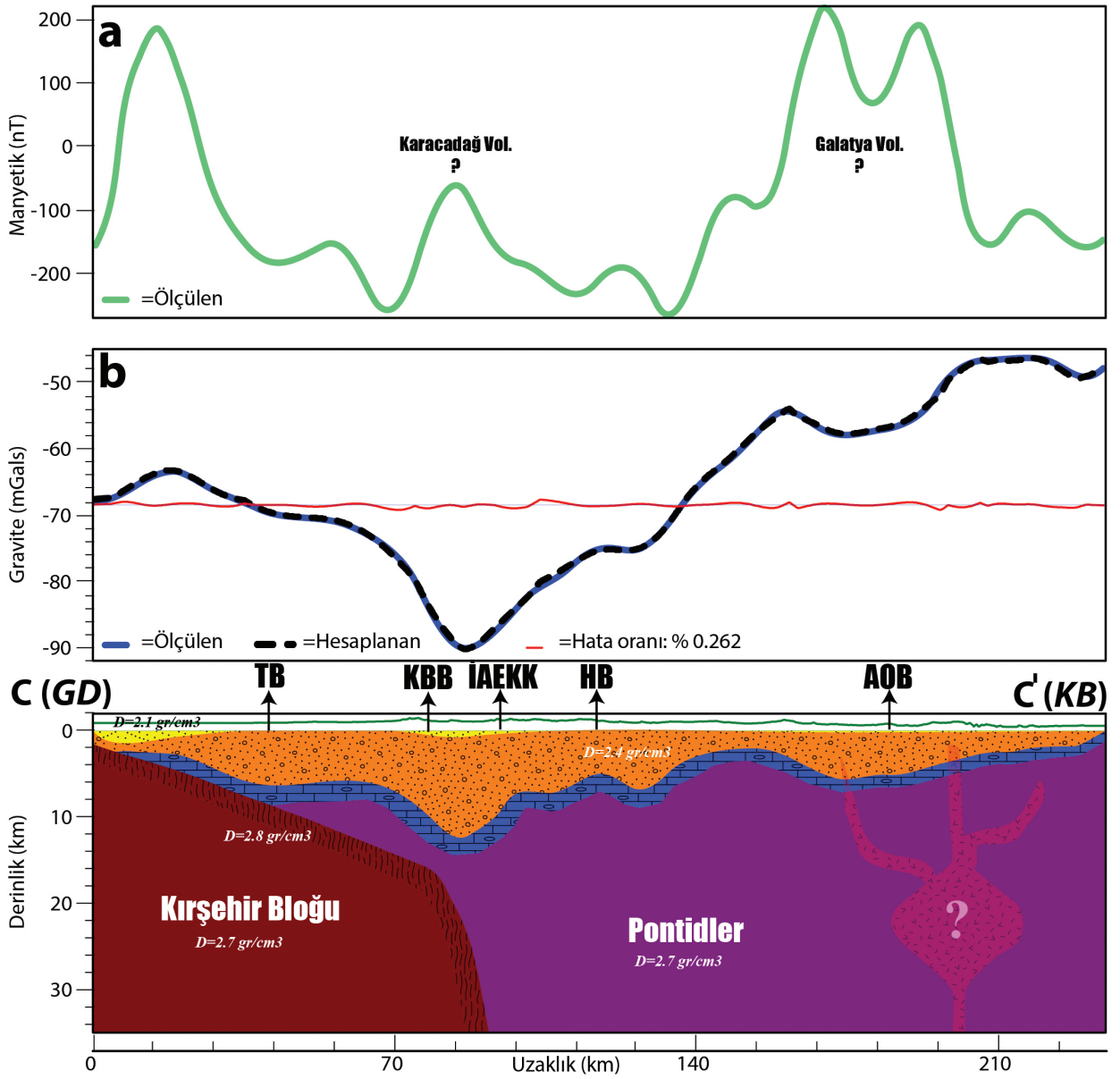
Şekil 7. B-B' kesitine ait manyetik (a), gravite (b) anomalileri ve gravite verisine göre oluşturulan 2.5B'lu yeraltı modeli. İAEKK: İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı, HB: Haymana Havzası, KBB: Kırıkkale-Bala Havzası, TB: Tuzgölü Havzası.

Figure 7. B-B' cross-section of the magnetic (a), gravity (b) anomalies and 2.5D gravity modeling of the area. İAEKK: İzmir-Ankara-Erzincan Suture Belt, HB: Haymana Basin, KBB: Kırıkkale-Bala Basin, Tuzgölü Basin.

Son olarak modellenen C-C' kesiti, bölgeyi güneydoğudan kuzeybatıya yaklaşık 220 km'lik bir uzunlukta kat etmektedir (Şekil 1 ve 8). Tuzgölü havzasından başlayarak, Kırıkkale-Bala, Haymana ve Alcı-Orhaniye havzalarının modellenmesini sağlamaktadır. İlk iki kesitte de görülen, bölgenin güneyinde manyetikçe yüksek bir anomali kaynağı dikkat çekmektedir. Tuzgölü bölgesi Neojen tortullar tarafından örtülüdür ve gravitedeki göreceli yüksek genlikli değerler bu tortul istifin çok kalın olmadığı ve Kırşehir Bloğuna ait temel birimlerin yüzeye yakın olabileceklerine işaret etmektedir (pozitif genlikli manyetik anomali). Bölgenin jeolojik haritasına göre, havza alanlarında gravite değerleri azalış göstermekte ve en düşük (-90mGal) yine Kırıkkale-Bala, Haymana havzaları arasında bulunmaktadır. Bouguer gravite değerlerinin en düşük olduğu bölümde tortul istifin kalınlığı yine 8-9 km'lere kadar ulaşabildiği hesaplanmıştır (Şekil 8). Kırıkkale-Bala ve Haymana havza alanında gravite anomalisi en düşük değerleri gösterirken manyetik anomalide bir yükselim gözlenmektedir. Önceki iki kesitteki yaklaşık aynı alana denk gelen bu anomali yine eldeki bölgenin yüzey jeoloji verisinden yararlanarak bir volkanik aktivitenin neden olabileceği önerilmektedir. Modelin güneybatı bölümüne doğru gravite değerlerinde genel bir yükselim trendi görülmektedir. Fakat, Alcı-Orhaniye Havza sınırlarında yine lokal bir düşüş belirgindir. Gravite verisinden yararlanarak bu düşük anomaliye karşılık 4-5 km kalınlığında bir tortul istif modellenmiştir. Bölgenin jeolojik

yapısına göre Alcı-Orhaniye Havzası olarak belirtilen alanda yine iki pozitif manyetik anomali değerleri (180 nT kadar) görülmektedir. Yüzey verisine göre bölge kalın bir tortul istif ile örtülü olmasına rağmen manyetik anomali verisine göre ise yeraltında yüksek manyetik mineral içeriğine sahip bir kaynağın olması gerekmektedir. Bölgede, böyle bir yüksek genlikli pozitif manyetik anomali gösterebilecek bir kaynağın daha kuzeyde geniş alanlarda yüzlek vermiş Galatya volkanikleri olabileceği öngörülmektedir. Çalışma alanının kuzey sınırında sadece küçük bir bölümünde yüzlek vermiş bu volkanik birimler, kesit hattının geçtiği bölgede (Alcı-Orhaniye Havzası) daha derinlerde, havza birimlerince örtülü olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak 3 farklı yönde alınmış olan 2.5B'lu enine kesit modellerden bölgede ortalama 5 km kalınlığında bir tortul istif tarafından örtüldüğü ve yer yer 8-9 km maksimum kalınlıklara kadar (özellikle Haymana ve Kırıkkale-Bala havzalarında) çıkabilecekleri hesaplanmıştır. Günümüzde İAEKK'nın ofiyolitik birimleri ve Toros-Pontid-Kırşehir bloklarına ait temel kayaların yüzeylenmelerine göre ayrık bir pozisyonda bulunan bu havzaların, Neojen dönemine kadar birleşik bir yapıda olabilecekleri önerilmektedir. Havza içlerinde gravite verilerinde göreceli düşük fakat pozitif manyetik anomali veren alanlara dikkat çekmektedir. Bu anomali farkının muhtemelen bölgede yer yer yüzlek vermiş genç Neojen volkanik birimlerinin neden olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 8. C-C' kesitine ait manyetik (a), gravite (b) anomalileri ve gravite verisine göre oluşturulan 2.5B'li yeraltı modeli. İAEKK: İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı, HB: Haymana Havzası, KBB: Kırıkkale-Bala Havzası, TB: Tuzgölü Havzası, AOB: Alcı-Orhaniye Havzası.

Figure 8. C-C' cross-section of the magnetic (a), gravity (b) anomalies and 2.5D gravity modeling of the area. İAEKK: İzmir-Ankara-Erzincan Suture Belt, HB: Haymana Basin, KBB: Kırıkkale-Bala Basin, TB: Tuzgölü Basin, AOB: Alcı-Orhaniye Basin.

KATKI BELİRTME

Önerileri doğrultusunda makalenin geliştirilmesine katkı sağlayan Kadir Dirik (Hacettepe Üniversitesi) ve özellikle veri-işlem, modelleme, yazım dili konusundaki titiz ve yapıcı eleştirileri ile çalışmaya değer katan 2. Hakeme de çok teşekkür ederim.

EXTENDED SUMMARY

The sedimentary basins are important geochronological recorder that can comprises all deformation phases in the vicinity of which they are formed. The aging of the basin units, the lithological characteristics of their formations, their relations with each other and the basement rock, and the other kinematic analyzes that can be obtained from the earth surface, as well as the use of seismic, gravity and other geophysical methods to determine their deeper continuities, are vital for geodynamical evolution of a region. Owing to advanced technological measurement methods (remote sensing, satellite data), open source gravity and magnetic data (sea and terrestrial) covering almost the whole world provides very important data sets that researchers can use frequently. By combining terrestrial measurements and marine measurements derived from satellites, data quality is increased and can be used frequently in integrated basin surveys and other large and medium-sized geological structures (Demir et al. 2012; Oruç et al. 2013; Akpınar et al. 2016; Koşaroğlu et al., 2016).

The Anatolian Plate was formed by the integration of the continental parts of the two major continents the Laurasia in the north, and the Gondwana in the south (Şengör and Yılmaz, 1981; Bozkurt, 2001; Okay, 2008). These integrated continental blocks (micro-continents) were formed as a result of the continental-continent collision by completely consuming the Tethys oceanic lithosphere in the north-south direction. As a

result of these evolution, Anatolia is composed of three main tectonic blocks; Pontides, Anatolide-Torid Block and Arabian Platform (Ketin, 1966). Although various scenarios have been proposed for the timing and characteristics of subduction systems, it is assumed that these tectonic plates collide gradually in the north between Izmir-Ankara-Erzincan and the Bitlis-Zagros Suture Belt in the south. The central Anatolian region is integrated with the Pontides (a part of Laurasia) and the Torid and Kırşehir blocks in the south (parts of Gondwana) with the closure of the Neotethys Ocean.

The study area is located in the central Anatolia (Ankara and its surroundings) and is restricted by the Pontide-Kırşehir-Torid blocks and their two sutures of İzmir-Ankara-Erzincan (İAEKK) and Inner Torid Suture Zone (ITKK). In the region; the Izmir-Ankara Suture Zone; represents the western part of the İAEKK, while the eastern part (Ankara-Erzincan Suture Zone) constitutes the boundary between the Pontides and Kırşehir blocks (Figure 1). On the other hand, the Taurides separated from the Kırşehir Block by the Inner-Torid Suture Belt (Figure 1). These two suture zones point to the former position of the Neotethys Ocean, which was completely consumed during end of the Cretaceous to the early Paleocene (Kaymakçı et al. 2009; Pourteau et al. 2010; van Hinsbergen et al. 2016).

The aim of this study is to understand the geometric and tectonic relations between these two suture zones and their sedimentary basins developed in the region. These areas separated as 4 different basins in the literature, the Kırıkkale-Bala Basin (Pontid-Kırşehir), Alcı-Orhaniye and Haymana basins (Pontid-Torid), and Tuzgölü Basin (Kırşehir-Torid) (Figure 1c). Due to sedimentation characteristics, stratigraphic properties, lithological features, and the basic deformation phases, there are lots of similarities in between the basins. Using the gravity and

magnetic modeling methods, 4 key basins, which were continued to sedimentations during whole geodynamic evolution explained at above, were investigated. With the gravity and magnetic modeling of basins, new results are presented regarding sediment thicknesses, positions of tectonic blocks and young volcanic activities in the region.

In this study, Geosoft, Oasis Mounting 7.1 program was used for the analysis of gravity and magnetic data (mapping, filtering, modeling). The gravity data were obtained from the EMAG2 and the magnetic data from the EGM2008 sources. Various filtering methods have been applied according to the main purpose of the study (upward extension, low pass, band pass) in the region. First of all, various upward continuation values were tested and then compared with different low pass filtering results. The purpose of this process is to choose the ideal cut-off frequency due to the purpose of the study. The short-wavelength effects (<10) were significantly ceased from the surface at a height of about 5 km. As the second step of filtering; low-pass filtering (cut-off wave length >20 km) method was applied on both gravity and magnetic data by using the similarities in the amplitudes of the results obtained from the upward continuation filtering methods.

Once the frequencies of the data are adjusted, it is possible to correlate the obtained anomaly maps with the general geological structures of the region (Figure 5). From the filtered Bouguer gravity map, four significant anomaly changes can be classified. The first of these is the relatively high anomaly values (Beypazarı and its vicinity) that cover the westernmost part of the region. Geographically, this region corresponds to the south of Galatia Volcanic area and is mostly covered by Neogene sediments of the Alci-Orhaniye Basin. According to the literature studies, approximately east-west trending the İAEKK is abruptly curved in the region and the gravity values indicate a

significant tectonic deformation which cannot be observed from the surface. The second important structure is the relatively high gravity anomaly region which is northwest-southeast directed between Sivrihisar and Cihanbeyli, southwest of the study area. Geologically the NW-SE trending anomaly coincides with the position of İAEKK, demarcates northern boundary of the Taurus Block from the Pontides. In the eastern part of the region, locally some high gravity values from south to north are observed. This gravity may be caused by granitoids (Kırşehir Block) covered by sedimentary basins. Relatively low Bouguer gravity values are generally around the center of the study area (Ankara-Tuzgözü) and these areas correspond to the Haymana, Tuzgözü, and Kırıkkale-Bala sedimentary basins.

Similar structures are observed in the filtered magnetic anomaly map of the region. Unlike the gravity map, the boundaries of the geological structure are more prominent. In the south of the study area, two positive magnetic anomaly belt trending NW-SE, probably correspond with the İAEKK that limits the Haymana Basin to the south. The same pattern makes a curve trending NE-SW around the Kırıkkale-Bala Basin at the northeast of the area. Although the southern part of the study area is mostly covered with young Neogene cover, the presence of deeper geological structures which cannot be observed from the surface by using gravity and magnetic data can be revealed. Again, the granitoid belongs to the Kırşehir Block, which constitutes the eastern border of the region, is clearly seen with its high magnetic anomaly values.

2.5D gravity models were calculated in 3 different directions which demarcates four sedimentary basins (Figure 1 and 5). In the models were only sensitive to density differences and according to this, only layer thicknesses were changed. The density values used were taken according to the averaged densities given in Table

1. From the magnetic anomaly values, it was used to determine the main structural boundaries during the gravity modeling, and to determine the volcanic areas which are not observable from the surface.

The first cross-section A-A' has about 245 km long section, which passes Haymana and Kırıkkale-Bala basins, trending southwest to northeast in the area (Figure 5 and 6). In the southwest part of the section, the gravity values are relatively high but the magnetic values are quite low most probably due to Torid Block which probably close to the surface. Two high magnetic anomalies are significant in the model. This may be related to the present position of the subducted parts of Neotethyan oceanic plate. There is a sudden decrease in both gravity and magnetic values which are geologically correspond to the thick sedimentary units. In this area, the Haymana Basin has been developed and more than 5 km in thickness was calculated from the gravity model (Figure 6). Similar results are observed in the other two model sections (Figure 7 and 8).

As a result; from 3 different cross-section models, an average of 5 km of sediment thickness was calculated in the region and the maximum thicknesses of 8-9 km were found especially in Haymana and Kırıkkale-Bala basins. Today, it is stated that these basins, which are in a different location according to the ophiolitic units of the İAEKK and the basement rocks of the Torid-Pontides-Kırşehir blocks, can be in a single basin at least until the Neogene period. Some local areas within the basin, gives relatively low gravity anomaly but shows significantly high magnetic results high probably due to young Neogene volcanic rocks which are mostly covered by sedimentary units.

ORCID

Murat Özkaptan  <https://orcid.org/0000-0002-8317-7754>.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akpınar, Z., Gürsoy, H., Tatar, O., Büyüksaraç, A., Koçbulut, F., Piper, J.D.A., 2016. Geophysical analysis of fault geometry and volcanic activity in the Erzincan Basin, Central Turkey: Complex evolution of a mature pull-apart basin. *Journal of Asian Earth Sciences* 116, 97–114.
- Alp, H., Vardar, D., Alpar, B., Ustaömer, T., 2018. Seismic evidence for change of the tectonic regime in Messinian, northern Marmara Sea, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 151, 40–53.
- Altınler, D., Koçyiğit, A., Farinacci, A., Nicosia, U., Conti, M.A., 1991. Jurassic-lower Cretaceous stratigraphy and paleogeographic evolution of the southern part of north-western Anatolia (Turkey). *Geologica Romana* 27, 13–80.
- Aydemir, A., Ates, A., 2008. Determination of hydrocarbon prospective areas in the Tuzgolu (Saltlake) Basin, central Anatolia, by using geophysical data. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 62, 36–44.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey - a synthesis. *Geodinamica Acta* 14, 3–30.
- Çemen, I., Göncüoğlu, M.C., Dirik, K., 1999. Structural evolution of the Tuzgölü basin in Central Anatolia, Turkey. *The Journal of Geology* 107, 693–706.
- Çukur, D., Krastel, S., Schmincke, H.-U., Sumita, M., Çağatay, M.N., Meydan, A.F., Damcı, E., Stockhecke, M., 2014. Seismic stratigraphy of Lake Van, eastern Turkey. *Quaternary Science Reviews* 104, 63–84.
- Demir, D., Bilim, F., Aydemir, A., Ates, A., 2012. Modelling of Thrace Basin, NW Turkey using gravity and magnetic anomalies with control of seismic and borehole data. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 86–87, 44–53.
- Dirik, K., Erol, O., 2003. Tuzgölü ve civarının tektonomorfolojik evrimi Orta Anadolu, Türkiye, Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri Uygulamalı Çalışma (Workshop). T.P.J.D. Bülteni özel sayı, 27–46.
- Dobrin, M.B., Savit, C.H., 1988. Introduction to Geophysical Prospecting, 4th Editio. ed. McGraw Hill Book Co., New York.

- Erler, A., Akıman, O., Unan, C., Dalkılıç, F., Geven, A., Önen, P., 1991. Petrology and geochemistry of the magmatic rocks of the Kırşehir Massif at Kaman (Kırşehir) and Yozgat. Doğa, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 15, 76–100.
- Erler, A., Göncüoğlu, M.C., 1996. Geologic and tectonic setting of the Yozgat Batolith, Northern Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. International Geology Review 38, 714–726.
- Göncüoğlu, M.C., 1986. Orta Anadolu Masifinin güney ucundan jeokronolojik yaş bulguları. MTA Bülteni 105/106, 111–124.
- Görür, N., Oktay, F.Y., Seymen, İ., Şengör, A.M.C., 1984. Palaeotectonic evolution of the Tuzgölü basin complex, Central Turkey: sedimentary record of a Neo-Tethyan closure. Geological Society, London, Special Publications 17, 467–482.
- Gülyüz, E., 2015. Tectone-Stratigraphic and Thermal Evolution of the Haymana Basin, Central Anatolia, Turkey. Middle East Technical University.
- Gülyüz, E., Özkaptan, M., Lefebvre, C., Kaymakci, N., Persano, C., Stuart, F.M., 2014. Tectono-stratigraphic evolution and exhumation of the Haymana basin: Unravelling the subduction and collision history of Neotethys in Turkey, in: EGU General Assembly Conference Abstracts. p. 8284.
- Kadioğlu, Y.K., Dilek, Y., Foland, K. a., 2006. Slab break-off and syncollisional origin of the Late Cretaceous magmatism in the Central Anatolian crystalline complex, Turkey, in: Special Paper 409: Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia. pp. 381–415. [https://doi.org/10.1130/2006.2409\(19\)](https://doi.org/10.1130/2006.2409(19))
- Kaymakcı, N., Özçelik, Y., White, S.H., Van Dijk, P.M., 2009. Tectono-stratigraphy of the Çankırı Basin: late Cretaceous to early Miocene evolution of the Neotethyan suture zone in Turkey. Geological Society, London, Special Publications 311, 67–106.
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I., 2013. An introduction to geophysical exploration. John Wiley & Sons.
- Ketin, I., 1966. Tectonic units of Anatolia (Asia Minor). Mineral Research Exploration Bulletin 66, 23–34.
- Koçyiğit, A., 1991. An example of an accretionary forearc basin from northern Central Anatolia and its implications for the history of subduction of Neo-Tethys in Turkey. Geological Society of America Bulletin 103, 22–36.
- Köksal, S., Göncüoğlu, M.C., 1997. Geology of the İdiş Dağı - Avanos area (Nevşehir - Central Anatolia). Mineral Research Exploration Bulletin 119, 41–58.
- Kosaroglu, S., Buyuksarac, A., Aydemir, A., 2016. Modeling of shallow structures in the Cappadocia region using gravity and aeromagnetic anomalies. Journal of Asian Earth Sciences 124, 214–226.
- Lefebvre, C., Meijers, M.J.M., Kaymakcı, N., Peynircioğlu, A., Langereis, C.G., Van Hinsbergen, D.J.J., 2013. Reconstructing the geometry of central Anatolia during the late Cretaceous: Large-scale Cenozoic rotations and deformation between the Pontides and Taurides. Earth and Planetary Science Letters 366, 83–98.
- Licht, A., Coster, P., Oçakoğlu, F., Campbell, C., Métais, G., Mulch, A., Taylor, M., Kappelman, J., Christopher Beard, K., 2017. Tectono-stratigraphy of the Orhaniye Basin, Turkey: Implications for collision chronology and Paleogene biogeography of central Anatolia. Journal of Asian Earth Sciences.
- Maus, S., Barckhausen, U., Berkenbosch, H., Bournas, N., Brozena, J., Childers, V., Dostal, F., Fairhead, J.D., Finn, C., von Frese, R.R.B., Gaina, C., Golynsky, S., Kucks, R., Lühr, H., Milligan, P., Mogren, S., Müller, R.D., Olesen, O., Pilkington, M., Saltus, R., Schreckenberger, B., Thébaud, E., Caratori Tontini, F., n.d. EMAG2: A 2-arc min resolution Earth Magnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne, and marine magnetic measurements. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 10.
- Nairn, S.P., Robertson, A.H.F., Ünlügenç, U.C., Taslı, K., İnan, N., 2013. Tectonostratigraphic evolution of the Upper Cretaceous–Cenozoic central Anatolian basins: an integrated study of diachronous ocean basin closure and continental collision. Geological Society, London, Special Publications 372, 343–384.
- Norman, T., 1973. Late Cretaceous-Early Tertiary sedimentation in Ankara Yahşihan Region. Türkiye Jeoloji Bülteni 16, 42–66.

- Okay, A.I., 2008. Geology of Turkey: a synopsis. *Anschnitt* 21, 19–42.
- Okay, A.I., 1984. Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. , Geological Society Special Publication No. 17. In: J.E. Dixon & A.H.F. Robertson (eds.) *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean* 455–466.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey, in: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F., Séranne, M. (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen: Special Publication of the Geological Society of London*. pp. 475–515.
- Oruç, B., Sertçelik, İ., Kafadar, Ö., Selim, H.H., 2013. Structural interpretation of the Erzurum Basin, eastern Turkey, using curvature gravity gradient tensor and gravity inversion of basement relief. *Journal of Applied Geophysics* 88, 105–113.
- Özsayın, E., Dirik, K., 2007. Quaternary Activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba Fault Zones: Inonu-Eskiflehir Fault System, Central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences* 16, 471–492.
- Pourteau, A., Candan, O., Oberhnsli, R., 2010. High-pressure metasediments in central Turkey: Constraints on the Neotethyan closure history. *Tectonics* 29.
- Rasmussen, R., Pedersen, L.B., 1979. End Corrections in Potential Field Modeling. *Geophysical Prospecting*.
- Sandwell, D.T., Smith, W.H.F., 2009. Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge segmentation versus spreading rate. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 114.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey - a Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics* 75, 181–241.
- Talwani, M., Worzel, J.L., Landisman, M., 1959. Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone. *Journal of Geophysical Research*.
- Ulamiş, K., Kaçka, N.B., Kiliç, R., 2018. Estimation of seismic slope displacements in North Anatolian Fault Zone, Karamürsel (Kocaeli, Turkey). *Journal of African Earth Sciences* 138, 258–263.
- Ünalın, G., Yüksel, V., Tekeli, T., Gönenç, O., Seyirt, Z., Hüseyin, S., 1976. The stratigraphy and palaeogeographical evolution of the Upper Cretaceous–Lower Tertiary sediments in the Haymana-Polatlı region (SW of Ankara). *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 19, 159–176.
- Van Hinsbergen, D.J.J., Maffione, M., Plunder, A., Kaymakçı, N., Ganerød, M., Hendriks, B.W.H., Corfu, F., Gürer, D., Gelder, G.I.N.O., Peters, K., 2016. Tectonic evolution and paleogeography of the Kırşehir Block and the Central Anatolian Ophiolites, Turkey. *Tectonics* 35, 983–1014.

