


## İzmit Körfezi manyetik verilerine kenar tespit yöntemlerinin uygulanması

### *Application of edge detection methods to İzmit Gulf magnetic data*

Gülten AKTAŞ\*<sup>1</sup> , A. Sinan DEMİREL<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği, 34134, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 23.10.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 27.12.2023

#### Öz

Marmara Denizi'nin kuzeydoğusunda yer alan İzmit Körfezi Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolu üzerinde olması nedeniyle sismik tehlike tahminleri açısından oldukça önemli etkilere sahiptir. Bu çalışmada İzmit Körfezi'nin yapısal çizgisellikleri yüksek çözünürlüklü manyetik veriler kullanılarak tanımlanmıştır. Başlangıçta verilere günlük düzeltme işlemi yapılmış ve gürültü etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla filtreler uygulanmıştır. Ayrıca, İzmit Körfezi'nin çizgiselliklerini ve yapısal unsurların sınırlarını çıkarmak için verilere birinci düşey türev, analitik sinyal, tilt açısı, yatay gradyanın tilt açısı (TAHG), softsign fonksiyonu (SF) yöntemleri uygulanmıştır. Manyetik anomalilere neden olan yapısal unsurların belirlenmesinde TAHG ve SF filtreleri keskin ve net kenarlar oluşturmuştur. Tespit edilen çizgiselliklerin ana eğilimi körfezde D-B ve KD-GB yönündedir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular sismik yansıma kesitleriyle değerlendirilerek kesitlerdeki faylar ile çizgiselliklerin oldukça uyumlu oldukları görülmüştür. Böylece İzmit Körfezi'nin tektonik ve yapısal çerçevesinin daha iyi anlaşılması açısından manyetik sonuçlar güvenilir bir yapısal harita sunmaktadır. Çalışmadan elde edilen bölgenin çizgisellik haritası gelecekte yapılacak yeni araştırmalara katkı sağlayacağı açıktır.

**Anahtar kelimeler:** İzmit Körfezi, Manyetik, Softsign fonksiyonu, TAHG, Tilt açısı

#### Abstract

The Gulf of İzmit, which is in the northeast of the Marmara Sea, has significant implications for seismic hazard predictions due to its location on the northern branch of the North Anatolian Fault. The structural lineaments of the Gulf of İzmit were defined using high-resolution magnetic data. Initially, the data were corrected diurnal correction and filters were applied to remove noise effects. In addition, first vertical derivative, analytical signal, tilt angle, tilt angle of horizontal gradient (TAHG), softsign function (SF) filter methods were applied to the data to extract the lineaments of İzmit Gulf, and the boundaries of structural elements. TAHG and SF filters produced sharp and clear edges in the identification of structural elements causing magnetic anomalies. The main trend of the obtained lineaments is in the E-W and NE-SW directions in the gulf. The findings obtained from this study were also evaluated with seismic reflection sections and it was observed that the faults and lineaments in the sections were quite compatible. Thus, magnetic results provide a reliable structural map for a better understanding of the tectonic and structural framework of the İzmit Gulf. Thus, it is clear that the linearity map of the region obtained from the study will contribute to new research to be carried out in the future.

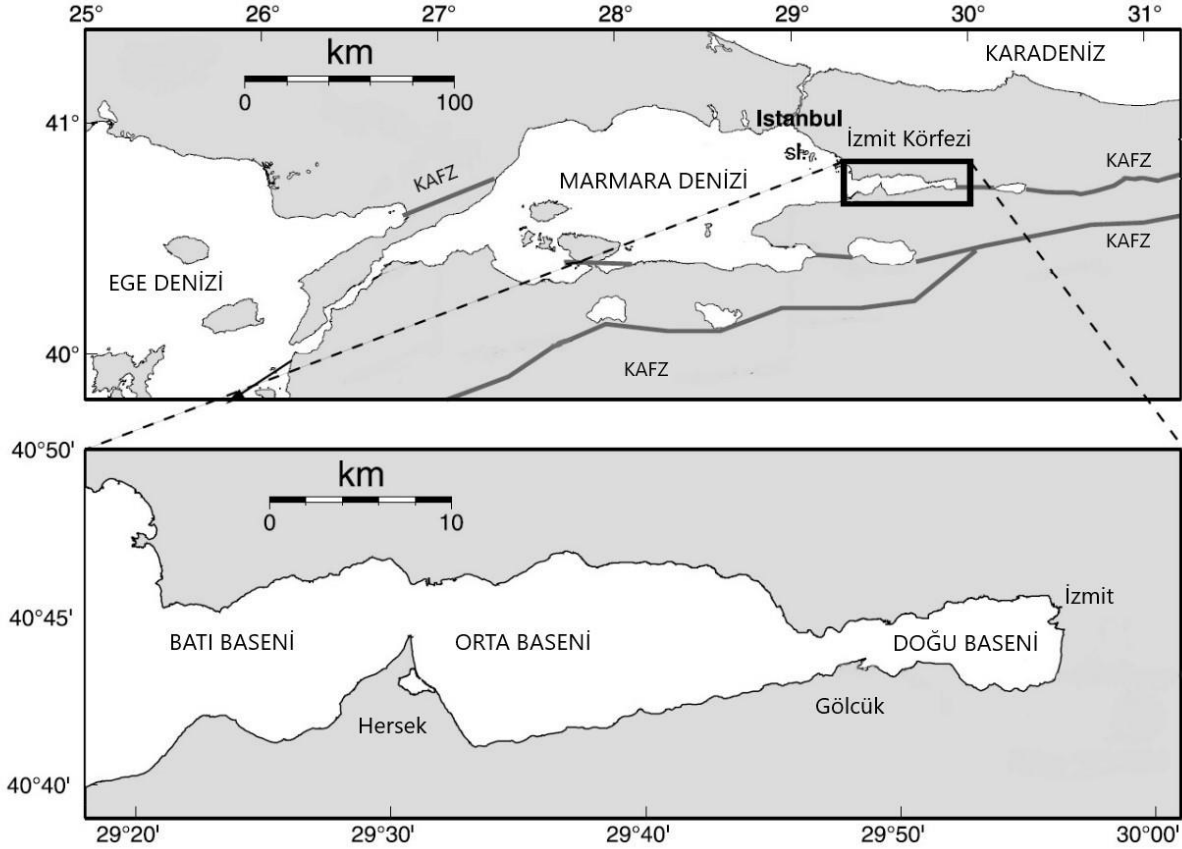
**Keywords:** İzmit Gulf, Magnetic, Softsign function, TAGH, Tilt angle

\*Gülten AKTAŞ; gultensimsek4@yahoo.com.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

İzmit körfezi, Marmara Denizi'nin kuzey doğusunda yer alan yaklaşık 50 km uzunluğunda, 2 ile 10 km arasında genişliğe ve 261 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahiptir (Şekil 1). İzmit Körfezi kıyılarında, Marmara bölgesinin en önemli sanayi tesisleri de yer alması bakımından bölge araştırmacıların özellikle 1999 da meydana gelen depremden sonra daha fazla dikkatini çekmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı (Cormier vd., 2006' dan değiştirilerek).

Figure 1. Study area (modified from Cormier et al. 2006).

Arap levhasının Miyosen döneminde Avrasya levhasına çarpması sonucunda, Anadolu levhası kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve doğuda Doğu Anadolu Fay Zonu aracılığı ile batıya doğru hareket etmeye başlamıştır (Şengör 1979; Şengör vd., 1985, 2005; Yaltırak 2002). KAFZ, doğuda Bingöl Karlıova'dan başlayıp batıda Saroz Körfezi üzerinden Ege Denizi'ne kadar uzanan sağ yönlü doğrultu atımlı aktif bir fay sistemidir (Ketin 1968; Şengör vd., 1985, 2005; Barka & Kadinsky-Cade 1988; Gurbuz vd., 2000). KAFZ, İzmit Körfezi'ne varmadan önce üç kola ayrılır ve coğrafi konuma göre kuzeyde olan kolu İzmit Körfezi üzerinden, orta kolu Gemlik Körfezi üzerinden Marmara Denizine girer (Şekil 1). Bu kollardan kuzeyde olanı üzerinde tarihsel dönemde ve günümüzde de yıkıcı deprem üretmesi yer bilimcilerin özellikle ilgisini çekmektedir (Görür vd., 1997; Yaltırak vd., 2002). Özellikle 1999 yılında meydana gelen depremden sonra (moment büyüklüğü 7.6) ilgi daha da artmıştır. Bölgede yapılan çalışmalarda, araştırmacılar çalışma alanı ile ilgili bazı tektonik ve kinematik modeller ileri sürmüşlerdir (Ozhan vd., 1985; Kavukçu 1990; Bargu & Yüksel, 1993; Barka & Kuşçu 1996; Şengör vd., 1999; Gökaşan vd., 2001; Kuşçu vd., 2002; Alpar & Yaltırak, 2002; Cormier vd., 2006; Okyar vd., 2008; Kurt & Yücesoy, 2009; Gasperini vd., 2011; Demirel vd., 2020; Ediger vd., 2021). Ozhan vd., (1985) ile Kavukçu (1990) önerdikleri modelde İzmit Körfezi'ni KAFZ tarafından kontrol edilen D-B uzanımlı bir graben olarak yorumlamışlardır. Barka & Kuşçu (1996) KAFZ' nin kademeli doğrultu atımlı bir yapıya sahip olduğu ve bölgenin şekillenmesini çek-ayır sistemi ile açıklamışlardır. Şengör vd., (1999) yaptıkları çalışmada iki farklı fay grubundan bahsetmişler ve ana fayın kabaca D-B uzanımlı KAFZ devamı niteliğinde olduğunu, ikincil fayların ise genellikle oblik sağ yönlü kesme fayları olarak yorumlamışlardır. Gökaşan vd., (2001) çalışmalarında yüksek ayrımlı sığ sismik ve batimetri verilerini kullanarak körfez için D-B uzanımlı üç doğrultu atımlı fay modelini önermişlerdir. Alpar & Yaltırak (2002)

yüksek ayrımlı sığ sismik verileri kullanarak D-B uzanımlı tek bir ana fayın varlığını savunmuşlar ve negatif çiçek yapısının körfezin batısında hâkim olduğu yorumunda bulunmuşlardır. Cormier vd., (2006) Chirp kayıtlarını inceleyerek, körfezde deprem sonrası oluşan yüzey kırıkları ile sismik çalışmalardan elde edilen deniz tabanı altındaki izleri karşılaştırmışlar ve deniz tabanı fay geometrisi inceleyerek güney fay bloğuna ait Holosen yaşlı graben yapısına sahip bir alan saptamışlardır.

Tüm bu yapılan çalışmalarda birbirinden ayrı fay grupları belirlenmiş ve ayrı ayrı sismik veri setleri ile analiz edilerek farklı fay modelleri ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar çeşitli jeofizik veri setlerinin kullanılmasının yorumlamaya getirdiği zenginlik açısından gerekli ve önemli olduğunu açıkça göstermektedir. Manyetik çalışmalarda manyetik özelliğe sahip kayaların oluşumu tektonik evrim ile bağlantılıdır. Bu nedenle manyetik anomalilerin yorumlanması büyük önem taşımaktadır (Lei vd., 2022). Bunun yanı sıra manyetik alan haritaları, temel kayaları etkileyen derin ve eski tektonik özellikleri ve üstteki çökelleri, kalınlıkları ve dağılımları yansıtır. MTA Genel Müdürlüğü'nün Türkiye'nin havadan manyetik çalışmaları dışında bölgesel olarak İzmit Körfezi'nde daha önce manyetik çalışmalar yapılmamıştır. Hatta Marmara Denizi genelinde manyetik çalışmalar çok azdır. Oysa Demirel vd., (2020); Vardar vd., (2021), Aktaş vd., (2021) ve Aktaş vd., (2023) gibi güncel çalışmalar KAFZ'a ait yapısal unsurları başarıyla ortaya koymuşlardır.

Bölge için ileri sürülen tüm modellerde dayanan veri bu alanda yapılan sığ sismik çalışmalardan elde edilen verilerdir. Ancak, Demirel vd., (2020) çalışmalarında bölgede bir ilk olarak yüksek duyarlıklı manyetik veriler kullanılmış ve bu veriler yardımıyla toplam manyetik alan haritası çıkarılmıştır. Bunun yanı sıra çeşitli noktalardan profiller alınarak iki boyutlu modeller üretilmiş ve KAFZ'ın körfez içindeki uzanımı belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmadaki temel amaç; çalışma alanında daha önceden alınan sismik yansıma kesitleri çok ışınlı batimetri profilleri ile birlikte ayrıca SeaSPY proton manyetometresi yardımı ile toplanan deniz manyetik verilerine daha önce uygulanmayan çeşitli sınır belirleme yöntemleri uygulanarak KAFZ'ın körfez içindeki kollarının daha net biçimde belirlemektir. Bu çalışmada manyetik verilerde anomaliye neden olan yapının sınırlarının belirlenmesinde birinci düşey türev (Elkins, 1951; Oruç & Keskinsezer, 2008), analitik sinyal (Roest vd., 1992), tilt açısı (Miller & Singh, 1994), yatay gradyanın tilt açısı (TAHG) (Cordell & Grauch, 1985), softsign fonksiyonu (SF) (Pham vd., 2022) yöntemleri kullanılmıştır. Geleneksel yöntemler ile son zamanlarda kullanılan yeni sınır belirleme yöntemleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Benzer sonuçlar vermesine rağmen yöntemler arasında farklılıklarda önemli detayları ortaya çıkarmaktadır. Örneğin sığ yapıların araştırılmasında birinci düşey türev etkilidir. TAHG ve SF yöntemleri ise farklı derinliklerdeki yapıların neden olduğu anomalileri dengeleme özelliğine sahiptir. Bu önemli detaylar araştırma alanındaki yapısal unsurların tespitinde büyük öneme sahiptir.

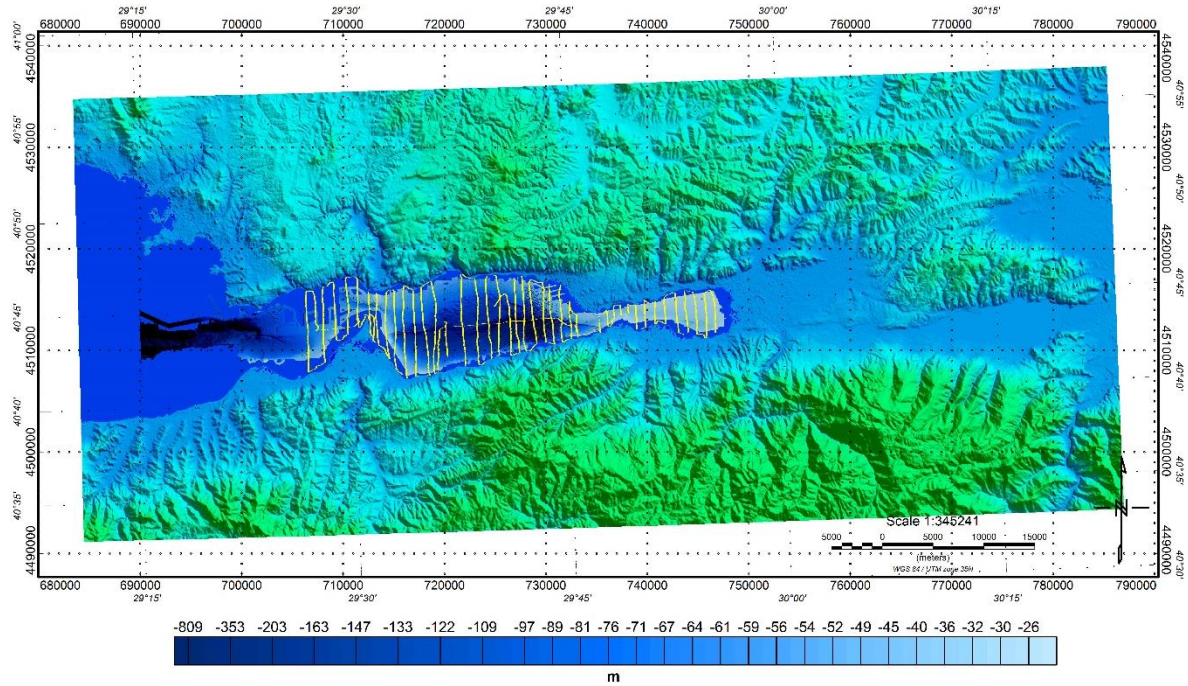
## 2. Bölgenin Batimetri ve Jeolojisi

### 2. Bathymetry and Geology of the Region

İzmit Körfezi, KAFZ'ın kuzey kolu üzerinde ve Marmara Denizinin doğusunda yer almaktadır. İzmit Körfezi'nin morfolojik ve batimetrik özellikleri bakımından doğu, orta ve batı olmak üzere 3 havzaya ayrılmaktadır (Şekil 1, 2). Körfez içerisinde derinlikler doğudan batıya doğru artmaktadır. Doğu havzası körfezin en sığ derinliğini oluşturmaktadır. Yaklaşık en derin kısmı 30 m'dir. Körfezin en derin ve dik çukurluğu orta havzasıdır. Orta havza yaklaşık 20 km uzunluğunda 3-10 km genişliğinde olup 60 m derinliğinde dar bir açıklıkla batı havzasına bağlanmaktadır (Tugrul vd., 1989). Orta havzada yaklaşık 207 m derinliğine kadar çöküntü Şekil 2' de görülmektedir. Bu havzanın kuzey kıyısından ve Hersek deltasından dolayı sediman birikimi oldukça fazladır (Algan vd., 1999). Bu nedenle bu alanlarda derinlik azalmaktadır. Batı havzası Marmara denizi ile bağlantılı olup maksimum derinlik 129 m'dir. Batı havzası, Marmara Denizi'nden, Hersek Deltası'ndan ve kısmen de Orta Havza'dan çökelti almaktadır (Algan vd., 1999).

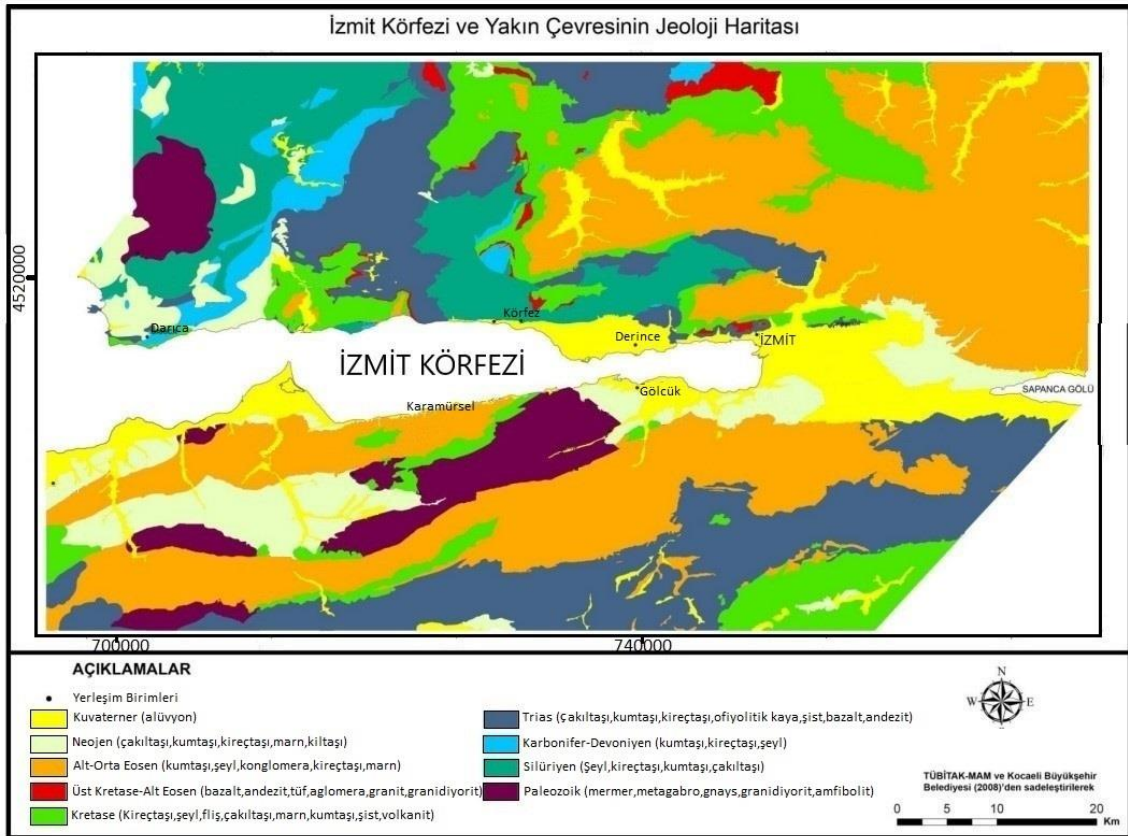
İzmit Körfezi ve civarında Neotektonik döneme ait çökeltme ve aşınma rejimiyle ilişkili birimler Neojen ve sonrası yaşlıdır. Alüvyal çökeller İzmit Körfezi'nin kıyı ve iç kesimlerinde bulunmaktadır (Şekil 3). Kıyı alanları çoğunlukla delta çökelleri ile karakterizedir. Delta çökelleri daha çok İzmit Körfezi'nin güney kıyısı boyunca görülmektedir (Okyar vd., 2008). Ayrıca İzmit Körfezi'nin doğusunda Sapanca Gölü- İzmit Körfezi arasındaki alüvyal düzlük alanı bulunmaktadır. Kuzeyde İzmit yakınları Üst-Kretase – Alt Eosen yaşlı bazalt, andezit, granitik kayalardan oluşmaktadır. Kısmen de Triyas yaşlı ofiyolit kayalar gözlenmektedir. Paleozoik

yaşlı metagabro, metakumtaşı, granidiorit birimler İzmit Körfezi'nin güneyinde yaygın şekilde görülmektedir (Uzun, 2013).



Şekil 2. Çalışma alanının batimetri haritası (Demirel vd., (2020) 'den değiştirilerek, sarı çizgiler manyetik ölçüm hatlarını göstermektedir)

Figure 2. Bathymetry map of the study area (modified from Demirel et al., (2020), yellow lines indicate magnetic measurement lines)



Şekil 3. İzmit Körfezi ve çevresinin jeoloji haritası (Uzun, 2013)

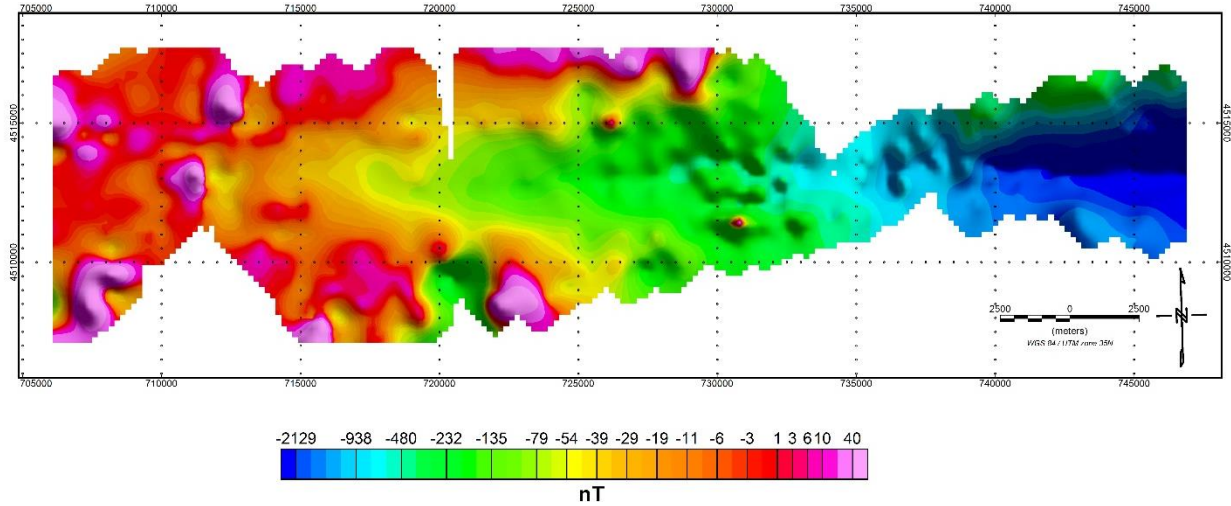
Figure 3. Geological map of the Gulf of İzmit and its surroundings (Uzun, 2013)

### 3. Materyal ve Metod

#### 3. Material and Method

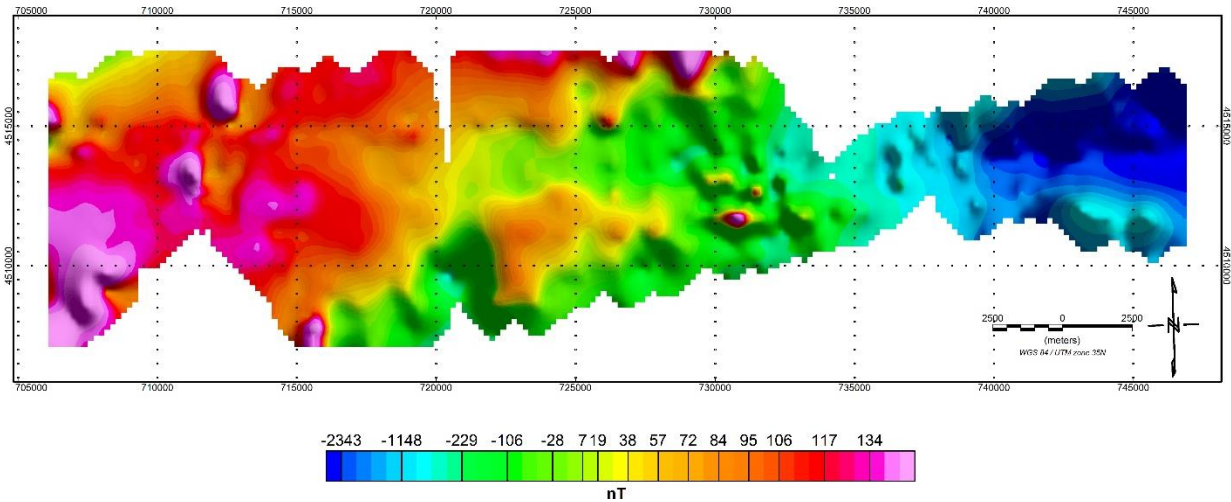
Çalışma alanında alınan manyetik ölçümler, 2014 yılında SeaSPY proton manyetometresi kullanılarak alınmıştır. Ölçümler tekneden 30 m uzaklıkta ve yaklaşık olarak deniz seviyesinin 3-5 m altından çekilerek toplanmıştır (Demirel vd., 2020). Manyetik ölçümlerde 43 profil K-G ve 2 profil D-B olmak üzere 1 km aralıklarla toplanmıştır (Şekil 2). Ölçümler esnasında profiller boyunca gürültüye neden olabilecek durumlar ve metal içeren yapılar elimine edilmiştir. Verilerin işlenmesi, analizi ve yorumlanmasında Oasis Montaj (Geosoft) yazılımı kullanılmıştır.

Manyetik alandaki değişimler manyetik ölçümlere etki edeceğinden verilere Kandilli Rasathanesi'ne bağlı İznik manyetik gözlemeviden alınan günlük değişim değerleri alınarak düzeltme uygulanmıştır. Çalışma alanının manyetik verisine IGRF (Uluslararası Jeomanyetik Referans Alanı) düzeltmesi yapılmıştır. Daha sonrasında geminin yapmış olduğu gürültüleri ortadan kaldırmak amacıyla microleveling düzeltmesi ile veriler gürültülerden arındırılmıştır. Microleveling, araştırma profilleri boyunca uzun dalga boylu gürültülerin neden olduğu ve kaynağı jeolojik olmayan etkileri ortadan kaldırmak amacıyla gridlenmiş verilere uygulanan bir filtredir. Elde edilen manyetik alan verileri 500×500 m grid aralıklarıyla gridlenerek toplam alan manyetik anomali haritası oluşturulmuştur. Manyetik anomali haritası Şekil 4' de verilmiştir. Toplam alan değerleri -2129-40 nT arasındadır. Toplam alan manyetik anomali daha sonra kutba indirgenmiştir. Kutba indirgeme işlemi için inklınasyon açısı değeri 58° ve denklinasyon açısı değeri 5° olarak alınmıştır.



Şekil 4. Toplam alan manyetik anomali haritası

Figure 4. Total field magnetic anomaly map



Şekil 5. Kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası

Figure 5. Reduce to pole magnetic anomaly map

Kutba indirgenmiş anomali haritası -2343 ile 134 nT arasında değişen yüksek ve düşük değerlerde anomaliler göstermektedir (Şekil 5). Yüksek değerler pembe ve kırmızı ağırlıklı olarak çalışma alanının batı kesiminde bulunurken, ortalarında yer yer yeşil renkler kümelenmiştir. Düşük değerler mavi renkte gösterilmiş olup çalışma alanının doğusunda daha baskın olduğu görülmektedir.

### 3.1. Birinci düşey türev

#### 3.1. First vertical derivative

Düşey türevler, sığ kaynakların ortaya çıkarılıp daha derin kaynakların bastırılmasında oldukça etkilidir. Nedensel kaynakların kenarlarını tespit etmek için de kullanılır (Elkins, 1951; Oruç & Keskinsezer, 2008). Kutba indirgenmiş toplam alan verilerine birinci düşey türev yöntemi uygulanmıştır. Birinci düşey türevden elde edilen sonuçlar ile çalışma alanındaki yapı sınırlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

### 3.2. Analitik sinyal

#### 3.2. Analytic signal

Nabighian (1972) tarafından iki boyutlu analitik sinyal yöntemi geliştirilmiştir. Analitik sinyal (AS), toplam manyetik alanın düşey (z) ve iki yatay türevlerinin (x ve y) karelerinin toplamının karekökü olarak tanımlanır (Nabighian, 1972, 1974). AS yöntemi, Roest vd., 1992 tarafından

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

denklemleri ile tanımlanmıştır. Burada T manyetik alanı, x, y, z yatay ve düşey yönleri tanımlamaktadır.

AS yönteminin jeomanyetik alan ve mıknatıslanma yönlerine bağımlılığı yoktur (Blakely 1996; Roest vd., 1992). Manyetik kaynakların bulunduğu yerlerde maksimum değer elde eder.

### 3.3. Tilt açısı

#### 3.3. Tilt angle

Tilt açısı yöntemi (Miller & Singh, 1994), potansiyel alanın düşey türevinin, yatay türevine oranı olarak tanımlanmıştır. Tilt açısı şu şekilde verilir:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)}{\sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2}} \quad (2)$$

Bu denklemlerde,  $\partial T/\partial x$ ,  $\partial T/\partial y$ ,  $\partial T/\partial z$  potansiyel alanın sırasıyla x, y, z yönündeki türevlerini, tilt açısını T potansiyel alanı gösterir. Tilt açısının konturları pozitif ise kaynağın kendisini tanımlarken, negatif olduğunda kaynağın dışını ve sıfır konturu ise kaynağın sınırlarını temsil etmektedir.

### 3.4. Yatay gradyanın tilt açısı (TAHG)

#### 3.4. Tilt angle of the horizontal gradient (TAHG)

Ferreira vd., (2013) tarafından kaynak kenarlarını haritalanmasında ve sığ ve derin kaynaklı anomalilerin genliklerini dengeleyebilen faz tabanlı bir filtredir. TAHG filtresini;

$$TAHG = \text{atan} \frac{\frac{\partial THDR}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial THDR}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial THDR}{\partial y}\right)^2}} \quad (3)$$

bağıntısıyla vermiştir.

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2} \quad (4)$$

THDR bu bağıntıda potansiyel alanın toplam yatay gradyanını göstermektedir (Cordell & Grauch, 1985).  $\frac{\partial THDR}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial THDR}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial THDR}{\partial z}$  sırasıyla x, y, z yönlerinde T alanının yatay gradyanının türevleridir.

Bu yöntemde maksimum değerlerin jeolojik yapıların sınırlarını temsil etmektedir. Ferreira vd., (2013) teorik modelleri, bu yöntemin derinliğe daha az duyarlı olduğunu ve kaynak sınırlarını doğru bir şekilde sağlayabildiğini göstermiştir.

### 3.5 Softsign Fonksiyonu (SF)

#### 3.5 Softsign Function (SF)

Yanal sınırların tespit edilmesi için Pham vd., (2022) tarafından softsign fonksiyonu(SF);

$$SF = \frac{k \times THDR_z - (k+2) \sqrt{(THDR_x)^2 + (THDR_y)^2}}{\sqrt{(THDR_x)^2 + (THDR_y)^2} + \left| k \times THDR_z - (k+1) \sqrt{(THDR_x)^2 + (THDR_y)^2} \right|} \quad (5)$$

bağıntısıyla verilmiştir. Burada k pozitif bir gerçek sayı olup kenar çözünürlük faktörünü temsil etmektedir. Potansiyel alan kaynaklarının kenarlarını üreten SF yönteminde k değeri 1 ve 10 arasında en iyi sonuçları sağlar (Pham vd., 2022).  $THDR_x$ ,  $THDR_y$ ,  $THDR_z$  denkleminde sırasıyla yatay gradyanın x, y, z türevleridir (Cordell & Grauch, 1985).

SF yönteminin dezavantajı gürültüye diğer yöntemlere göre daha duyarlı olmasıdır. Yöntemin avantajı kaynakların yanal uzantıları hassas bir şekilde elde edilir, sonuçta sahte kenarların oluşması önlenir ve kenarlar daha yüksek çözünürlükte tanınır (Pham vd., 2022).

## 4. Bulgular ve tartışma

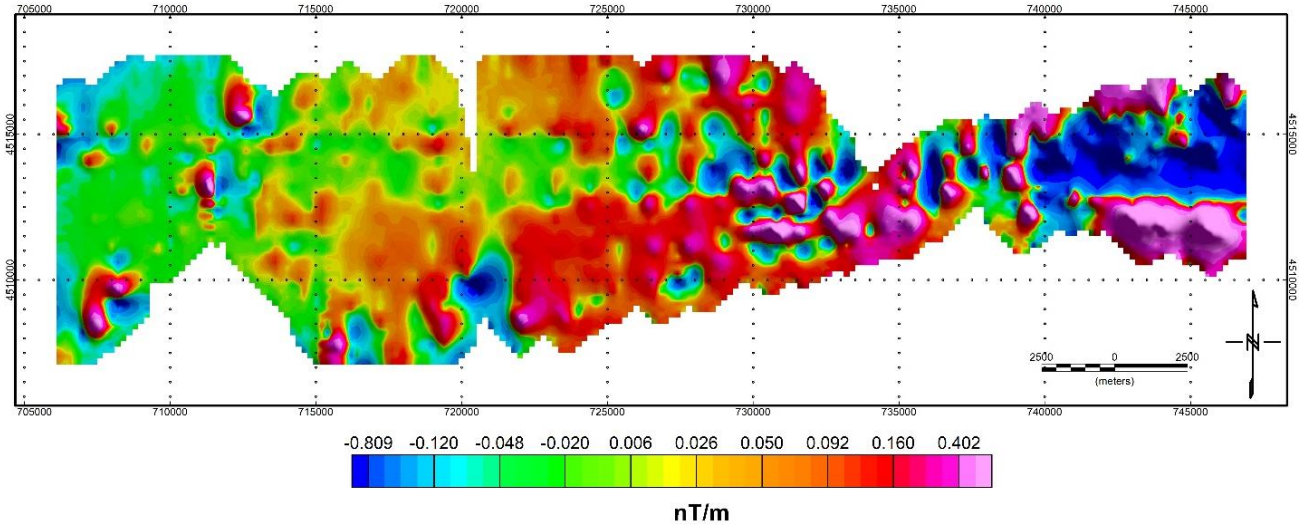
### 4. Results and discussion

Gelişmiş yapı sınır analiz yöntemlerini uygulamadan önce manyetik verilere bazı düzeltmeler uygulanmıştır. Bu düzeltmeler IGRF ve microleveling düzeltmeleridir. Ayrıca elde edilen toplam alan manyetik anomali haritasına kutba indirgeme yöntemi uygulanmıştır (Şekil 4, Şekil 5). Kutba indirgenmiş anomali haritası ana pozitif ve negatif anomalilerin kuzeye doğru çekildiğini gösteriyor. 134 nT büyüklüğündeki maksimum pozitif anomali çalışma alanının batıya yakın kısmındadır. Orta ve doğu kısımlarında daha düşük anomali değişimlerinin yer aldığı görülmektedir.

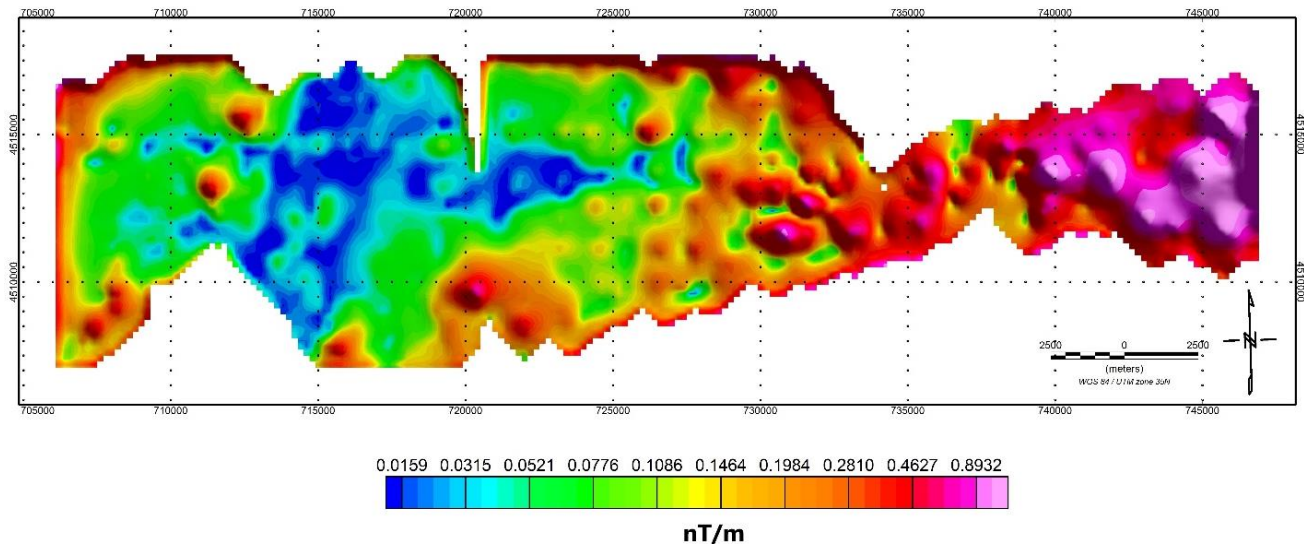
Kutba indirgenmiş anomali haritasına birinci düşey türev, analitik sinyal, tilt açısı, TAHG ve SF sonuçları Şekil 6-10 arasında gösterilmiştir. Çalışma alanının manyetik verilerine uygulanan filtreler manyetik anomali haritasını anomalilere kaynak olan yapıların kenarlarının ayırt edilebilmesi bakımından önemli ölçüde iyileştirmiştir.

Çalışma alanının kutba indirgenmiş toplam alan manyetik verisinden elde edilen birinci düşey türev haritası Şekil 6'da verilmiştir. Anomalilerin düşey türevi daha çok yüzeye yakın sığ yapılardan kaynaklı anomalileri belirginleştirmek için uygulanmıştır. Birinci düşey türev haritasında D-B ve K-G yönündeki ana yapıları oldukça iyi ortaya çıkarmaktadır. Bilindiği gibi AS'nin yüksek genliklerinin konumları manyetik bir kaynağı veya bir yapıyı göstermektedir. AS haritasında bakıldığında değerler 0.0159 ile 0.8932 nT/m arasındadır (Şekil 7). Çalışma alanının doğusunda ve kısmen de güney kıyılarında yüksek genlik ile açıkça bir yapının varlığı karakterize edilmiştir. Diğer bir sınır analiz yöntemi olan Tilt açısı haritasında değerler -1.427 ile 1.367 arasında değişmektedir (Şekil 8). Kaynağın sınır konumunda eğim açısı sıfırdır (Salem vd., 2008; Oruç & Selim, 2011). Jeolojik yapıların sınırlarının belirlenmesinde oldukça yaygın kullanılan bu yöntem çalışma alanında iyi sonuçlar vermiştir. Tilt açısının sıfır konturu jeolojik yapının körfezin içerisinde D-B uzantılı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte birden fazla sınır analizi yöntemlerinin uygulanması ve bunlardan elde edilen sonuçların karşılaştırılması neticelerin güvenilirliğini sağlamaktadır. Fakat yöntemlerin avantaj ve dezavantajları da gözden kaçırılmamalıdır. Uygulanan filtrelerin sonuçlarında gözlemlenen benzerliklere rağmen önemli farklılıklar da olabilmektedir. Bu amaçla çalışma alanına son zamanlarda uygulanan yeni yöntemlerde kullanılmıştır.

Elde edilen haritalar incelendiğinde AS, birinci düşey türev, Tilt açısı, TAHG ve SF haritaları benzer sonuçlar göstermektedir. AS sinyal haritasında doğuda belirgin yapılar gözlenirken batıya doğru gidildiğinde daha düşük genlikli anomaliler yapı sınırlarını belirgin yansıtmamaktadır. Bu yöntemlerden en iyi sonuçlar TAHG ve SF yöntemleri için gözlenmiştir. TAHG, SF ve Tilt açısı haritaları incelendiğinde İzmit Körfezi'nin doğudan batıya uzanımında orta kısımlarda D-B uzanımlı anomaliler belirgin yapı sınırlarını yansıtmaktadır (Şekil 9,10). TAHG, SF, Tilt açısı yöntemlerinin sonuçları oldukça benzerdir ancak TAHG ve SF yöntemleri çalışma alanındaki yapısal sınırları ve jeolojik dokunakları daha net bir şekilde göstermiştir. Böylelikle yapı sınır analiz yöntemlerinden elde edilen haritalar olası yapıların bölgenin batısında daha derinlerde olabileceğini düşündürmektedir. Yapı sınır analizleri birlikte değerlendirilirken birden fazla analiz tekniğinin birlikte yorumlanması çalışma alanının yapı sınırlarının belirlenmesinde oldukça büyük katkılar sunmakta ve ayrıntılı bilgiler vermektedir. Tek bir yöntem jeolojik sınırların belirlenmesinde en iyi yöntem olarak seçilemez. Yöntemlerin birlikte entegre yaklaşımıyla çalışma alanında daha net bilgiler sağlamaktadır. Bu çalışmada da yorumlama açısından elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

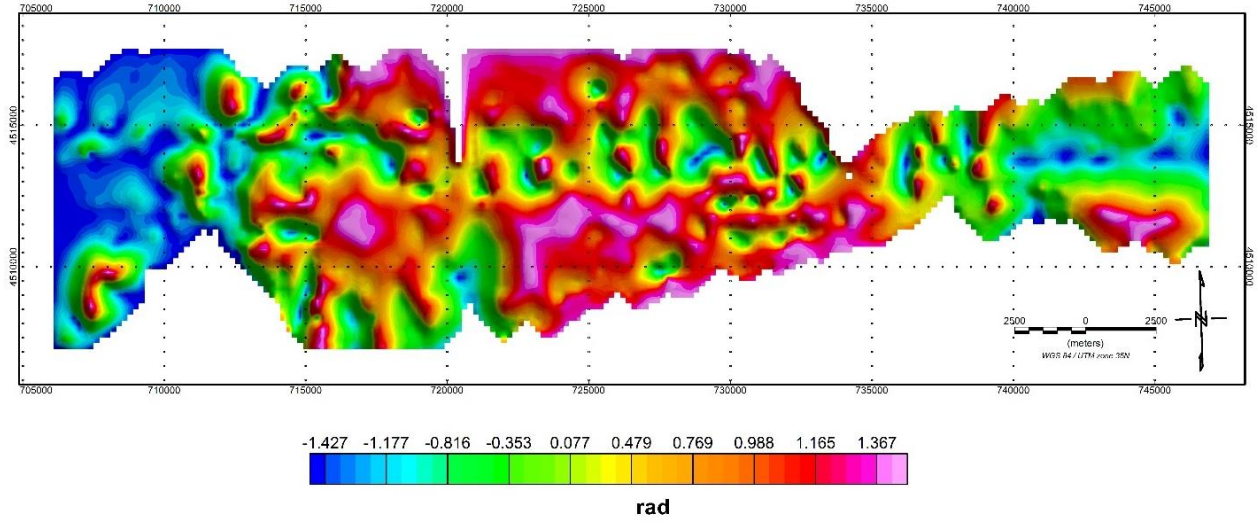


Şekil 6. Birinci düşey türev haritası  
Figure 6. First vertical derivative map

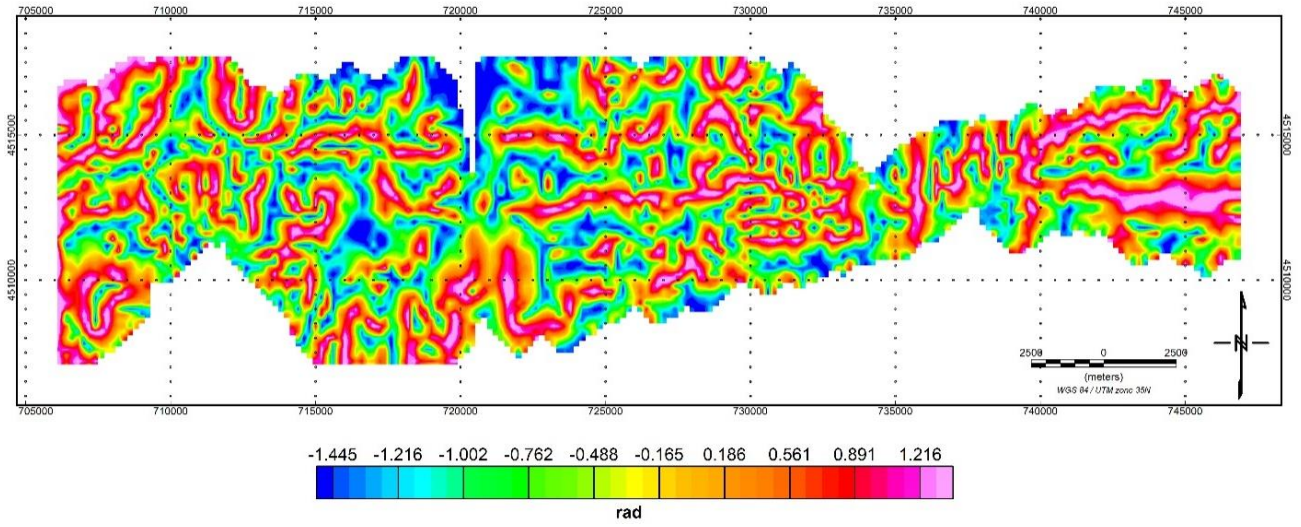


Şekil 7. Analitik sinyal haritası  
Figure 7. Analytic signal map

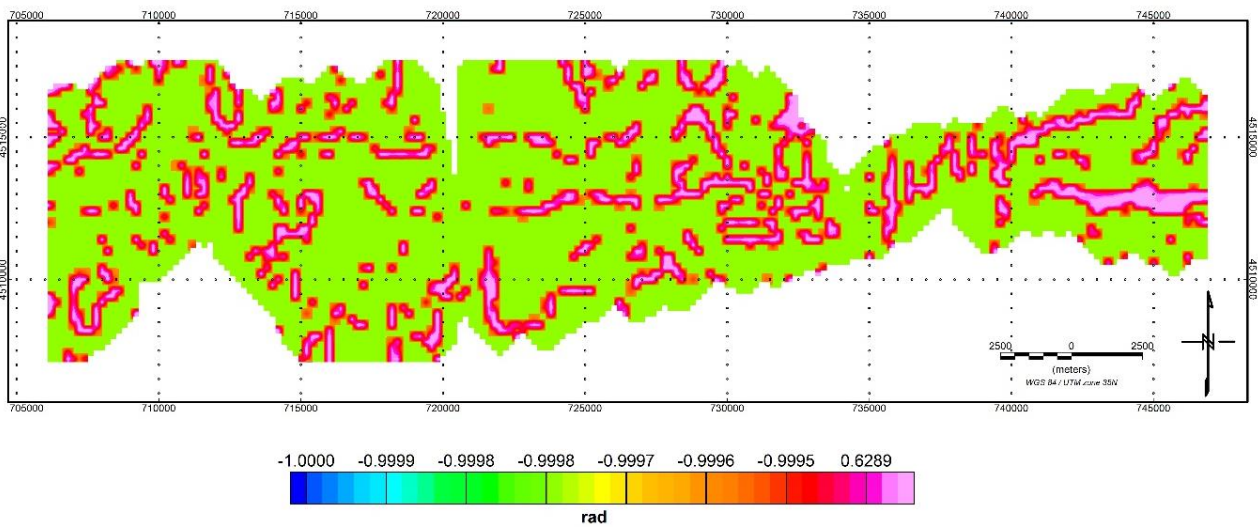




Şekil 8. Tilt açısı haritası  
Figure 8. Tilt angle map



Şekil 9. Çalışma alanının TAHG haritası  
Figure 9. TAHG map of study area

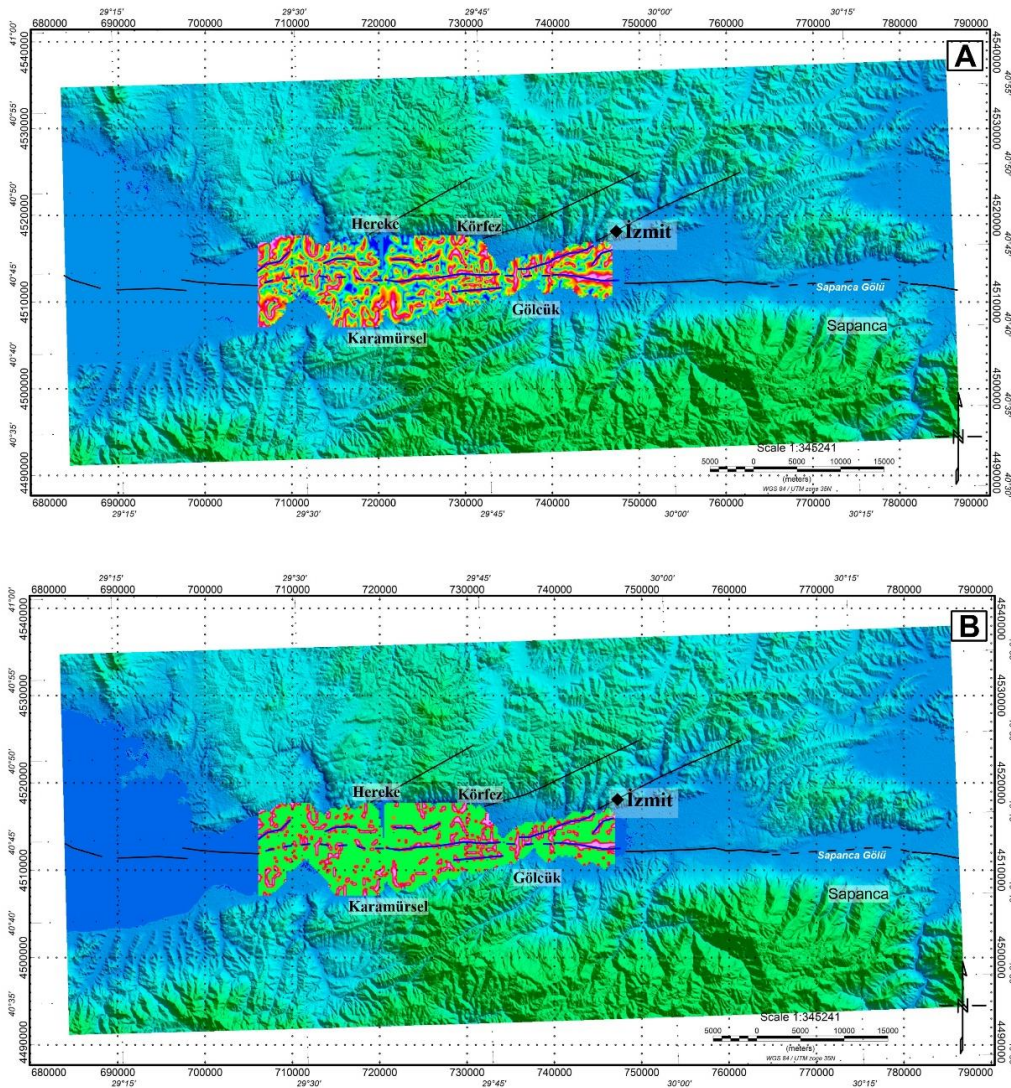


Şekil 10. Çalışma alanının SF haritası (k=5)  
Figure 10. SF map of study area (k=5)

Tilt açısında sıfır kontur çizgileri faylar, kırılma gibi jeolojik dokunaklara karşılık gelmektedir (Salem vd., 2008). Tilt açısı yapı sınırlarını çalışma alanında ortaya koymaktadır. TAHG ve SF çizgisellik haritasıyla daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. TAHG bölgesel olarak daha iyi olduğundan grid noktalarını bazı yerlerde bağlamıştır (Şekil 9,10). Buna karşılık SF bu konuda daha iyi TAHG haritasından farklı olarak bu yerlerde kesikli sonuçlar vermiştir. İzmit Körfezi'ndeki yapısal özelliklerin görüntülenmesi için tilt açısı, TAHG ve SF yapı sınırlarının tespitinde oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Geliştirilmiş yapı sınır analiz teknikleri ile elde edilen haritaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlarla birlikte çizgisellik haritası oluşturulmuştur (Şekil 11). Körfez içerisinde genel bölgesel tektonik gidiş D-B yönlü olduğu açıkça Şekil 11' de görülebilmektedir. Tilt açısıyla gözlemlenemeyen başka birçok jeolojik yapıların olduğu görülmektedir. Tanımlanan çizgiselliklere ek olarak da birkaç çizgisellik de SF haritasında gözlenmektedir. Körfezin doğusunda KD-GB yönlü çizgisellik kenar tespit yöntemleriyle tespit edilmiştir (Şekil 9,10). SF filtresinin jeolojik yapıların sınırlarını belirlemede hassasiyetini de ortaya koymaktadır.

Bu çalışma neticesinde gelişmiş kenar algılama teknikleri ile bölgenin manyetik verilerinden elde edilen çizgisellik haritaları bölgenin öne çıkan yapısal unsurları ile uyumludur. Bununla birlikte elde edilen haritalar bilinen yapısal unsurların yanı sıra pek çok farklı yeni çizgisellikler de sunması bölgenin tektonik ve jeolojik bilgilerinin ileriki çalışmalarda güncellenmesine katkı sağlayacaktır.



**Şekil 11.** Çalışma alanı çizgisellik haritası A. TAHG B. SF (siyah çizgiler MTA diri fay haritasından çizilmiş ve mavi renkteki çizgiler manyetik verilerden elde edilen yeni önerilen çizgiselliklerdir).

**Figure 11.** Lineament map of the study area (faults shown with black line are taken from the MTA fault map and the new lineaments are drawn in blue colour from magnetic data).

## 5. Sonuçlar

### 5. Conclusions

Bu çalışmada manyetik veriler İzmit Körfezi'nin manyetik verileri bölgenin çizgiselliklerini tanımlamak için kullanıldı. İzmit Körfezi manyetik anomalilerinden yapısal çizgiselliklerin haritalanması amacıyla birinci düşey türev, analitik sinyal, tilt açısı gibi geleneksel yöntemler ve ayrıca son zamanlarda TAHG ve SF gibi çözünürlüğü yüksek yeni sınır belirleme teknikleri kullanılmıştır. Uygulanan analiz teknikleri benzer sonuçlar vermiştir. SF' nin çözümü ile TAHG' nin çözümü oldukça benzer olmakla birlikte SF' nin yapı sınırlarında daha keskin sonuçlar verdiği açıktır. Ayrıca yakın zamanda önerilen SF filtresinin bölgesel tektonikle ilgili diğer tekniklerin uygulamasından elde edilen çizgiselliklerin analizindeki benzer tutarlılıkta ve daha yüksek hassasiyetle tanımlanmasını sağlaması bu tekniğin yararlı bir teknik olduğunu göstermektedir. Yapı sınır analiz teknikleri ile bölgeyi etkileyen D-B, KD-GB yönlerinde çeşitli yapısal eğilimler tanımlanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda çizgisellik haritası oluşturulmuştur (Şekil 11). Bu çizgisellikler bölgesel tektonikle oldukça uyumludur. Çalışma alanında manyetik verilerin analizinden elde edilen sonuçlardaki D-B yönündeki çizgiselliklerin KAFZ' nun kuzey kolunun olduğunu göstermektedir.

### Teşekkür

#### Acknowledgement

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 48218 numaralı proje ile desteklenmiştir. Değerli yorumları için Prof. Dr. Z. Mümtaz HİSARLI' ya teşekkür ederiz. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

Birinci yazar veri-işlem adımlarının hazırlanmasında, makalenin yazımında ve verilerin değerlendirilmesinde, ikinci yazar arazi çalışmaları ve veri analizinde katkı sağlamıştır.

### Etik beyanı

#### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### Çıkar çatışması beyanı

#### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### Kaynaklar

#### References

- Aktaş, G., Hisarlı, Z. M., & Demirel, A. S. (2021). High-resolution total field magnetic anomaly maps of Lake İznik (NW Turkey): assessment of faults which play important roles in tectonics of the lake. *Marine Geophysical Research*, 42(3), 20. <https://doi.org/10.1007/s11001-021-09442-0>
- Aktaş, G., Hisarlı, Z. M., & Demirel, A. S. (2023). Interpretation of the tectonic structure of Gemlik Bay using magnetic data. *Tectonophysics*, 863, 230021. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230021>
- Algan, O., Altıok, H., & Yüce, H. (1999). Seasonal variation of suspended particulate matter in two-layered İzmit Bay, Turkey. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49(2), 235-250.
- Alpar B., & Yalıtırak C. (2002) Characteristic features of the North Anatolian Fault in the eastern Marmara region and its tectonic evolution. *Marine Geology*, 190(1-2):329-350.

- Bargu S, & Yüksel A. (1993) Stratigraphic and structural features of the Quaternary sea bottom sediments of the Gulf of İzmit and distribution of their thickness (in Turkish). *Geological Bulletin of Turkey*, 8, 169–187.
- Barka A.A, & Kadinsky-Cade K. (1988) Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663–684.
- Barka A, & Kuşçu I (1996) Extends of the North Anatolian Fault in the İzmit, Gemlik and Bandırma bays. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 2, 93–106.
- Blakely, R.J. (1996), Potential theory in gravity and magnetic applications, Cambridge: Cambridge University Press.
- Cordell, L., & Grauch, V. J. S. (1985). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps. *Society of Exploration Geophysicists*, pp. 181-197.
- Cormier, M. H., Seeber, L., McHugh, C. M., Polonia, A., Çağatay, N., Emre, Ö., ... & Newman, K. R. (2006). North Anatolian Fault in the Gulf of İzmit (Turkey): Rapid vertical motion in response to minor bends of a nonvertical continental transform. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B4). <https://doi.org/10.1029/2005JB003633>.
- Demirel, S., Alpar, B., Yaltırak, C., Vardar, D., & Kurt, H. (2020). Northern segment of the North Anatolian Fault in the Gulf of İzmit inferred from marine magnetic anomalies. *Marine Geophysical Research*, 41, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11001-020-09399-6>.
- Ediger, V., Cankurtaranlar, A., & Akyol, O. (2021). Sea bottom features of eastern İzmit Bay and entrance zone of the North Anatolian Fault in the northeastern Marmara Sea. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(1).
- Elkins, T.A. (1951). The second derivative method of gravity interpretation. *Geophysics*, 16(1), 29-50. <https://doi.org/10.1190/1.1437648>
- Ferreira, F. J., de Souza, J., de B. e S. Bongiolo, A., & de Castro, L. G. (2013). Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. *Geophysics*, 78(3), J33-J41.
- Gasperini L, Polonia A, Bortoluzzi G, Henry P, Le Pichon X, Tryon M, Çağatay N, & Géli L. (2011) How far did the surface rupture of the 1999 İzmit earthquake reach in Sea of Marmara? *Tectonics* 30, 1–20. <https://doi.org/10.1029/2010TC002726>.
- Göktaşan E, Alpar B, Gazioğlu C, Yücel Z.Y., Tok B., Doğan E., & Güneysu C. (2001) Active tectonics of the İzmit Gulf (NE Marmara Sea): from high resolution seismic and multi-beam bathymetry data. *Marine Geology*, 175, 273–296. doi: 10.1016/S0025-3227(01)00133-5.
- Görür, N., Çağatay, M. N., Sakinc, M., Sümengen, M., Sentürk, K., Yaltırak, C., & Tchapylyga, A. (1997). Origin of the Sea of Marmara as deduced from Neogene to Quaternary paleogeographic evolution of its frame. *International Geology Review*, 39(4), 342-352.
- Gurbuz, C., Aktar, M., Eyidogan, H., Cisternas, A., Haessler, H., Barka, A., ... & Yoruk, A. (2000). The seismotectonics of the Marmara region (Turkey): results from a microseismic experiment. *Tectonophysics*, 316(1-2), 1-17.
- Kavukçu, S. (1990). Active fault investigation in İzmit Bay, Bandırma Bay and Erdek Bay of Marmara sea. *Proceedings Historical Seismicity and Seismotectonics of the Mediterranean Region, Turkish Atomic Energy Authority*, 238-266.
- Ketin İ (1968) Relations between general tectonic features and the main earthquake regions in Turkey (in Turkish). Ankara, *General Directorate of Mineral Research and Exploration Bulletin*, 71, 129–134
- Kurt, H., & Yücesoy, E. (2009). Submarine structures in the Gulf of İzmit, based on multichannel seismic reflection and multibeam bathymetry. *Marine Geophysical Researches*, 30, 73-84.
- Kuşçu, İ., Okamura, M., Matsuoka, H., & Awata, Y. (2002). Active faults in the Gulf of İzmit on the North Anatolian Fault, NW Turkey: a high-resolution shallow seismic study. *Marine Geology*, 190(1-2), 421-443.

- Lei, Y., Jiao, L., Tu, J., Zhao, J., & Huang, Q. (2022). Magnetic structure and its tectonic implication around Longmenshan fault zone revealed by EMAG2v3. *Frontiers in Earth Science*, 10, 848824.
- Miller H.G., Singh V. (1994) Potential field tilt-a new concept for location of potential field source. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213-217. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1).
- Nabighian M.N. (1972) The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, 507-517. <https://doi.org/10.1190/1.1440276>.
- Nabighian M.N. (1974) Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, 39, 85-92. <https://doi.org/10.1190/1.1440416>.
- Okyar M., Pinar A., Tezcan D., Kamacı Z. (2008) Late quaternary seismic stratigraphy and active faults of the Gulf of Izmit (NE Marmara Sea). *Marine Geophysical Research*, 29, 89–107. doi:10.1007/s11001-008- 9049-6.
- Oruç, B., & Keskinsezer, A. (2008). Structural setting of the northeastern Biga Peninsula (Turkey) from tilt derivatives of gravity gradient tensors and magnitude of horizontal gravity components. *Pure and applied geophysics*, 165(9), 1913-1927. <https://doi.org/10.1007/s00024-008-0407-8>.
- Oruç, B., & Selim, H. H. (2011). Interpretation of magnetic data in the Sinop area of Mid Black Sea, Turkey, using tilt derivative, Euler deconvolution, and discrete wavelet transform. *Journal of Applied Geophysics*, 74(4), 194-204.
- Ozhan, G., Kavukçu, S., Çete, M., & Kurtulus, C. (1985). Marmara Denizi Izmit Körfezi Yüksek Ayırmımlı Sığ Sismik Etüdü Raporu.
- Pham, L.T., Oksum, E., Le, D.V., Ferreira, F.J.F., Le, S.T., (2022). Edge detection of potential field sources using the softsign function. *Geocarto International*, 14. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1882007>.
- Roest W.R., Verhoef J., Pilkington M. (1992) Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57, 116-125. <https://doi.org/10.1190/1.1443174>.
- Salem, A., Williams, S., Fairhead, J.D., Smith, R., Ravat, D.J. (2008). Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives; *Geophysics*, 73, L1–L10.
- Şengör, A.M.C. (1979), The North Anatolian transform fault: Its age, offset and tectonic significance, *Journal of the Geological Society*, 136, 269 – 282.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., & Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study.
- Şengör, A.M.C., Demirbag, E., Tuysuz, O., Kurt, H., Gorur, N., & Kuscu, I. (1999). A preliminary note on the structure of the Gulf of Izmit: implications for the westerly prolongation of the North Anatolian Fault.
- Şengör A.M.C, Tüysüz O, Imren C, Sakınç M, Eyidoğan H, Görür N, Le Pichon X, Rangin C. (2005) The North Anatolian Fault: a new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37–112.
- Tugrul, S., Morkoç, E., Okay, O., & Balkaú, T. (1989). The determination of oceanographic characteristics and assimilation capacity of the Izmit Bay. Wastewater treatment and disposal studies: NATO-TU WATERS. Final Report, TUBITAK Marmara Scientific and Industrial Research Center, Department of Chemical Engineering, Gebze, Istanbul, 193-259.
- Uzun, S. M. (2013). *İzmit Körfezi Kıyılarının Jeomorfolojisi ve Kıyı Alanı Kullanımı* [Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi,].
- Vardar, D., Alp, H., Demirel, S., Aykurt Vardar, H., & Alpar, B. (2021). Offshore/onshore correlation of the North-Anatolian fault deformations in the Western Sea of Marmara. *Natural Hazards*, 107, 1905-1923.
- Yalıtırak C. (2002) Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings. *Marine Geology*, 190, 1-2, 493-529. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00360-2](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00360-2).