

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞU PONTİDLERDE HAVA VE YER MANYETİK ANOMALİ DEĞİŞİMLERİNİN ANALİZ
EDİLEREK DERİN VE SİĞ JEOLojİK YAPILAR İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğçe ÖZKAPTAN

**HAZİRAN 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞU PONTİDLERDE HAVA VE YER MANYETİK ANOMALİ DEĞİŞİMLERİNİN
ANALİZ EDİLEREK DERİN VE SIĞ JEOLojİK YAPILAR İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

Tuğçe ÖZKAPTAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"JEOFİZİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 / 06 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 25 / 06 / 2021

Tez Danışmanı : Dr.Öğr. Üyesi Ali Erden BABACAN

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans Tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarımın yürütülmesi esnasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Dr.Öğr.Üyesi Ali Erden BABACAN'a teşekkür ederim.

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: FHD-2020-8798

Manyetik verilerinin modellenmesi çalışmalarında vermiş olduğu katkılardan dolayı Doç.Dr. Ali ELMAS' a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans tez çalışmam boyunca her koşulda yanımda olan, sevincimi ve üzüntümü beraber paylaştığım eşim Doç.Dr. Murat ÖZKAPTAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tuğçe ÖZKAPTAN

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Doğu Pontidlerde Hava ve Yer Manyetik Anomali Değişimlerinin Analiz Edilerek Derin ve Sığ Jeolojik Yapılar ile İlişkilendirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Ali Erden BABACAN‘ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 25/06/2021.

Tuğçe ÖZKAPTAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	VII
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IXV
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş... ..	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	5
1.3. Bölgenin Genel Jeolojisi ve Tektoniği	6
1.4. Manyetik Yöntem.....	10
1.4.1. Manyetik Yöntemde Temel Bilgiler.....	10
1.4.2. Yer manyetik Alanın Ölçülmesi ve Uygulanan Düzeltmeler.....	16
1.4.3. Manyetik Verilere Uygulanan Temel Veri İşlem Yöntemleri.....	20
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	27
2.1. Çalışma Alanının Tanıtımı	27
2.2. Yapay ve Gerçek Manyetik Veriler Üzerinde Yapılan Çalışmalar	29
2.2.1. Yapay Verinin Üretilmesi ve Sınır/Çizgisellik Analizi.....	30
2.2.2. Gerçek Manyetik Verilerin Elde Edilmesi ve Değerlendirilmesi.....	39
2.2.2.1. EMAG-2 Global Manyetik Anomali Verilerinden Çizgisellik Analizi..	45
2.2.2.2. Ölçülen Toplam Alan Manyetik Verilerinden Çizgisellik Analizi.....	53
2.3. Çalışma Alanının Tektono-Morfolojik Yapısı ve Çizgisellik Analizi ...	61
2.3.1. Bölgenin Sayısal Yükseklik Modeli ve Tektonik Çıkarımlar	61
2.3.2. Tektonik Verilere Göre Çizgisellik Analizi.....	63
2.3.3. Uydu Görüntüsü Verilerine Göre Çizgisellik Analizi	65
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	69
4. SONUÇLAR.....	78

5. KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

DOĞU PONTİDLERDE HAVA VE YER MANYETİK ANOMALİ DEĞİŞİMLERİNİN
ANALİZ EDİLEREK DERİN VE SİĞ JEOLJİK YAPILAR İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ

Tuğçe ÖZKAPTAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Erden BABACAN
2021, 86 Sayfa

Doğu Pontidler tektonik olarak Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağının bir parçası olarak, iki büyük levhanın (Lavrasya ve Gondvana) sınırını teşkil etmektedir. Belirtilen bu alan için yer ve hava manyetik verilerinden yararlanarak, bölgenin jeolojik yapısı ve tektonik deformasyon izleri araştırılmıştır. Tüm Doğu Pontidi kapsayacak olan bu çalışma ile havadan alınmış manyetik ölçümler (EMAG-2) ile karadan bu çalışma ile alınan manyetik veriler karşılaştırılmıştır. Böylece hem bu bölge için daha ayrıntılı bir manyetik harita elde edilmiş, hem de mevcut anomali haritası ile aralarındaki farklılıkların nedenleri tartışılmıştır. Alınan ölçüm sonuçları ile kayaçların fiziksel özellikleri denetlenerek, bölge için önerilen üç farklı alt zon için manyetik değişimler incelenmiştir. Bu amaçla literatürde sıklıkla kullanılan altı farklı çizgisellik analizi metodu uygulanmıştır. Öncelikle yapay veri üzerinde bu metodlar denenmiş daha sonra gerçek verilere uygulanmıştır. Elde edilen çizgisellikler Gül diyagramları ile çizdirilerek hakim trendler belirlenmiş ve olası nedenleri tartışılmıştır. Manyetik verilerin sonuçlarını karşılaştırmak amacı ile üç farklı (sayısal yükseklik verisi, faylar, uydu fotoğrafı) veride analiz edilerek gül diyagramları oluşturulmuştur. Tüm veriler derlendiğinde bölge için genel doğu-batı yönlü çizgiselliklerin hakim olduğunu bunun sonucu olarak bölgenin kuzey-güney yönlü bir sıkıştırılmalı rejim altında deforme olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava ve yer manyetik, Çizgisellik, Doğu Pontidler

SUMMARY

ANALYSIS OF AIR AND EARTH MAGNETIC ANOMALY CHANGES IN EASTERN
PONTIDES AND THEIR RELATION WITH DEEP AND SHALLOW GEOLOGICAL
STRUCTURES

Tuğçe ÖZKAPTAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geophysical Engineering Graduate Program
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali Erden BABACAN
2021, 86 Pages

The Eastern Pontides, tectonically part of the Alpine-Himalaya orogeny belt, form the boundary of two major plates (Laurasia and Gondwana). Using the surface and air magnetic data for this area, the geological structure of the region and tectonic deformation were investigated. This study covering the entire Eastern Pontides, compares the magnetic data taken from the air (EMAG-2) and surface (this study). Thus, a more detailed magnetic anomaly map was proposed for this region, and the reasons for the differences between them and the current anomaly map were discussed. By controlling the physical properties of the rocks with the measurement results obtained, the magnetic changes for three different subzones proposed for the region were examined. For this purpose, six different lineament analysis methods, which are frequently used in the literature, were applied. First of all, these methods were applied on the model data and then they were used for the real data. By analyzing the obtained lineaments with Rose diagrams, dominant trends were determined and their possible causes were discussed. In order to compare the results of magnetic data, rose diagrams were created by analyzing three different data (digital elevation data, faults, satellite photo). When all the data were compiled, it was concluded that the general east-west directional lineaments were dominant for the region, and as a result, the region was deformed under a north-south oriented compressional regime.

Key Words: Air and surface magnetic, lineaments, Eastern Pontides

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Alp-Himalaya dağ (orogen) oluşum kuşağının yaklaşık uzanımı ve çalışma alanını gösterir harita. Kalın beyaz çizgiler dağ sıralarını, gri oklar ise levha hareketlerini temsil etmektedir	4
Şekil 2. Türkiye ve civarı basitleştirilmiş jeolojik birlikleri gösteren morfo-tektonik haritası (Görür vd., 1984; Okay vd., 2008’den değiştirilmiştir). IPKK: İç Pontid Kenet Kuşağı; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu; EAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu; EFZ: Ecemiş Fay Zonu; ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu; AKF: Aksu Fayı; TF: Tuz Gölü Fayı	5
Şekil 3. Çalışma alanının basitleştirilmiş jeolojik haritası (Akbaş vd., 2011’ den değiştirilmiştir).	8
Şekil 4. Çalışma alanının kuzeydoğu, kuzeybatı, güneydoğu ve güney batı bölgeleri için genelleştirilmiş stratigrafik kesiti. Referanslar şekil içerisinde mevcuttur.	9
Şekil 5. Aralarında L mesafesi bulunan artı ve eksi 2 kutuplu manyetik bir dipolün gösterimi (Lowrie, 2007).....	11
Şekil 6. Üzerinden i akımı geçen bir elektrik telinin (halka) etrafında oluşturacağı manyetik alanın yönü.	12
Şekil 7. Yer manyetik alanını temsil eden dipol alan yönleri ve coğrafik yönler ile farkı (Mouritsen, 2015).	13
Şekil 8. a) Kartezyen koordinat sistemi üzerinde coğrafik yönler ve buna karşılık, b) yer manyetik alan bileşenlerinin gösterimi (Lowrie, 2007’den düzenlenerek).	14
Şekil 9. Yerin dipol (hesaplanan) ve jeomanyetik (ölçülen) alan kutuplarının kuzey ve güney yarım küre üzerinde yaklaşık konumlarının gösterimi. Manyetik alanlar noktasal gösterimden daha çok zaman ile değişen bir bölgeye karşılık gelmektedir (URL-1, 2021).	15
Şekil 10. Bazı sedimanter ve mağmatik kayalara ait ortalama manyetik süseptibilite değerleri ve aralıkları (Lowrie, 2007’den değiştirilerek). .	16
Şekil 11. Jeofizik Elektromanyetik Sistem Şirketinin (GEM Sistem, Kanada) GSM-19T tipi proton manyetometresi	17
Şekil 12. Yer altında bulunan bir cisme ait model manyetik bir anomalinin kutba indirgmeden önce ve sonra görünümü (Blakely, 1995).....	21

Şekil 13. Alçak geçişli bir süzgecin dalga sayısı ortamı genlik yanıtı	22
Şekil 14. Yüksek geçişli bir süzgecin dalga sayısı ortamı genlik yanıtı.....	23
Şekil 15. Bant geçişli bir süzgeçnin dalga sayısı ortamı genlik yanıtı	23
Şekil 16. Trend analizi ile bölgesel bir gradyanın manyetik alandan silinmesi. Bölgesel alan doğrusal bir trendle yaklaşık olarak belirlenir (Keary vd., 2002).....	24
Şekil 17. Manyetik anomalileri geliştirmek için kullanılan temel metotlar (Jacques vd., 2014'ten değiştirilerek düzenlenmiştir)	25
Şekil 18. a) Afrika-Avrasya kıtaları merkezindeki Türkiye ve çalışma alanı. b) Türkiye'nin kuzeydoğusunda kalan çalışma alanının sınırları, c) Çalışma alanı sayısal yükseklik haritası (ASTER GDEM v2, Web-1: https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp).....	28
Şekil 19. a) Manyetik model çalışması için kullanılan 6 farklı prizmanın kuşbakışı görünümü. b) Prizmaların yatay ve düşey yöndeki pozisyonları (yatay ve düşey eksen uzunlukları kilometre) c) Modellerden üretilen toplam alan manyetik anomali haritası	32
Şekil 20. a) Şekil 19'daki prizmalara ait sentetik anomali verisine yüksek geçişli süzgeç uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	33
Şekil 21. a) Şekil 19'daki prizmalara ait sentetik anomali verisine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	34
Şekil 22. a) Şekil 19'daki prizmalara ait sentetik anomali verisine tilt açısının toplam yatay türevi uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	35
Şekil 23. a) Şekil 19'daki prizmalara ait sentetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	36

Şekil 24. a) Şekil 23a'daki prizmalara ait sentetik anomali verisinin birinci türevine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	37
Şekil 25. a) Şekil 23a'daki prizmalara ait sentetik anomali verisinin birinci türevine tilt açısının toplam yatay türevi uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	38
Şekil 26. Çalışma bölgesi için, EMAG-2v3 (Earth Magnetic Anomaly) global manyetik veri kaynağına ait toplam manyetik alan anomali haritası (Meyer, vd., 2017).	39
Şekil 27. Şekil 26'da verilen çalışma alanına ait manyetik verinin kutba indirgenme işlemi sonrasında elde edilen toplam alan manyetik anomali haritası.....	40
Şekil 28. Çalışma bölgesi için, a) Proton manyetometresi kullanılarak ölçülen toplam alan manyetik verilerine ait gridlenmiş manyetik anomali haritası b) 2021 yılına ait IGRF (International Geomagnetic Reference Fields) model (trend) manyetik anomali haritası c) Şekil 28a'daki verilen toplam manyetik alan anomali haritasından Şekil 27b'de verilen IGRF model (trend) verisinin çıkartılmasıyla elde edilen çalışma alanına ait toplam manyetik alan anomali haritası. d) Şekil 28c'deki verilen çalışma alanına ait toplam alan manyetik verisinin kutba (kuzey kutup) indirgenme işlemi sonrasında elde edilen manyetik anomali haritası	42
Şekil 29. a) Normalize edilmiş EMAG-2v3 global manyetik anomali haritası b) Proton manyetometresi ile ölçülen ve normalize edilmiş toplam manyetik anomali haritası c) İki anomalinin farkı.....	44
Şekil 30. a) Şekil 27'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine yüksek geçişli süzgeç uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	47
Şekil 31. a) Şekil 27'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	48

Şekil 32. a) Şekil 27'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine tilt açısının toplam yatay türevi uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	49
Şekil 33. a) Şekil 27'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	50
Şekil 34. a) Şekil 32a'daki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türevine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	51
Şekil 35. a) Şekil 32a'daki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türevine tilt açısının toplam yatay türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	52
Şekil 36. a) Şekil 28d'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine yüksek geçişli süzgeç uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	55
Şekil 37. a) Şekil 28d'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	56
Şekil 38. a) Şekil 28d'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine tilt açısının toplam yatay türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	57
Şekil 39. a) Şekil 28d'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için	

entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	58
Şekil 40. a) Şekil 28a'daki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türevine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	59
Şekil 41. a) Şekil 38a'daki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türevine tilt açısının toplam yatay türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir	60
Şekil 42. Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli (ASTER GDEM v2 uydu verilerinden) kullanılarak elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölgeye ait gül diyagramı sonuçları	62
Şekil 43. Çalışma alanına ait diri ve diğer fayları (Emre vd., 2013'den değiştirilerek) kullanılarak elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölgeye ait gül diyagramı sonuçları	64
Şekil 44. Landsat 8 OLI uydusundan çalışma alanı için elde edilen 30 metre çözünürlüğe sahip uydu görüntüsü üzerinden üç alt bölge için çizgisellikler ve gül diyagramı sonuçları	67
Şekil 45. Çalışma alanı genel jeolojik ve tektonik haritası üzerine araziden alınan manyetik süseptibilite ölçüm lokasyon ve değerlerinin gösterimi	68
Şekil 46. 50 km dalga boylu yüksek geçişli süzgeç ile süzgeçlenmiş manyetik anomali haritasından (EMAG-2) CET entropi yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları	74
Şekil 47. 50 km dalga boylu yüksek geçişli süzgeç ile süzgeçlenmiş manyetik anomali haritasından (EMAG-2) CET standart sapma yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları	74
Şekil 48. Düşey yönde birinci türevi alınmış manyetik anomali haritasından (EMAG-2) CET entropi yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları	75
Şekil 49. Düşey yönde birinci türevi alınmış manyetik anomali haritasından (EMAG-2) CET standart sapma yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları	75

Şekil 50. 50 km dalga boylu yüksek geçişli süzgeç ile süzgeçlenmiş manyetik anomali haritasından (bu çalışma ile) CET entropi yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları	76
Şekil 51. 50 km dalga boylu yüksek geçişli süzgeç ile süzgeçlenmiş manyetik anomali haritasından (bu çalışma ile) CET standart sapma yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları..	76
Şekil 52. Düşey yönde birinci türevi alınmış manyetik anomali haritasından (bu çalışma ile) CET standart entropi yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları	77
Şekil 53. Düşey yönde birinci türevi alınmış manyetik anomali haritasından (bu çalışma ile) CET standart sapma yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları	77



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Sayısal yükseklik ve uydu görüntüsü verilerinden otomatik çizgisellik çıkarımında kullanılan parametre değerleri.....	66
----------	---	----



SEMBOLLER DİZİNİ

AKF	: Aksu fayı
ATHR	: Açısal fark eşiği (Derece)
AS	: Analitik Sinyal
BZKK	: Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı
CET	: Centre for Exploration Targeting
D	: Deklinasyon açısı
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli
DTHR	: Bağlantı Mesafe Eşiği (Piksel)
E	: Entropi
EAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu;
EFZ	: Ecemiş Fay Zonu
f	: Frekans
F_m	: Manyetik kuvvet
$F(\Delta Tr)$	: Kutba dönüşüm işlemi yapılmış fonksiyon
$F(\Psi_r)$	: Kutba dönüştürme işlemi
FTHR	: Hat Uydurma Hata Eşiği (Piksel)
GTHR	: Kenar Gradyan Eşiği
H	: Manyetik alan şiddeti
I	: İnklınasyon açısı
IPKK	: İç Pontid Kenet Kuşağı
İAEKK	: İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı
k	: Dalga sayısı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
L	: Çubuk mıknatıs boyu

LTHR	: Eğri Uzunluğu Eşiği (Piksel)
M	: Manyetik moment
min(x)	: Veri grubu içindeki minimum değer
max(x)	: Veri grubu içindeki maksimum değer
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
n	: Normalize edilmiş veri
ÖDFZ	: Ölü Deniz Fay Zonu;
p	: Manyetik kutup
r	: İki kutup arasındaki uzaklık
RADI	: Süzgeç Yarıçapı (Piksel)
STD (σ)	: Standart Sapma
TF	: Tuz Gölü Fayı
TDR	: Tilt (Eğim) Açısı
THDR	: Toplam Yatay Türev
TDR_THDR	: Tilt Açısının Toplam Yatay Türevi
μ	: Manyetik geçirgenlik
θ_f	: Yermanyetik alanının faz açısı
θ_m	: Mıknatıslanmaya neden olan yapının faz açısı
xi	: Veri

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yer manyetik alanı; ilk farkedildiği dönemlerde (M.Ö. 8-3 yy) kâşiflerin rotalarını bulmalarında kılavuzluk etmiş ve yaklaşık son yüzyıllık süreçte (geliştirilen hassas ölçüm ekipmanları sayesinde) ise özellikle yer bilimciler için, yerkürenin daha iyi anlaşılabilmesi, mekanizmalarının açıklanabilmesi (levha tektoniği, yaşlandırma vb.) adına bilim dünyasına ışık tutmuş ve tutmaya devam etmektedir. Fiziksel olarak ölçülebilir, fakat birçok yönden algılanamayan (kokusuz, göz ile görünmez, vb) yerkürenin bu gizemli özelliği kendisini dış etmenlere karşı manyetik bir kalkan yaparak Dünya'nın var olması sürdürülebilirliği adına da hayati bir öneme sahiptir.

Levha tektoniği kuramı, dalma-batma zonları, kıtaların hareketi, yeni kabuk oluşumu, çarpışma ve kabuk kalınlaşması gibi yerkürenin önemli tektono-dinamik süreçlerinin işleyişi hakkında yerbilimcilere önemli bilgiler sunmaktadır. Levha hareketleri sonucunda okyanusal kabuğun yitimi ile nihai olarak kıta-kıta çarpışması gerçekleşir ve bu da yeryüzünde bir sıradağ kuşağı oluşturmaktadır. Günümüzde en önemli örneğini oluşturan Alp-Himalaya dağ kuşağı Hindistan'dan Avrupa'ya kadar uzanarak geçtikleri bölgelerde çeşitli jeolojik birliklerin sınırlarını oluşturmuşlardır (Şekil 1). Türkiye'nin tüm kuzey sınırını sınırlayan bu kuşak on binlerce km uzunluğunda ve Dünya'nın da sismik olarak ikinci aktif bölgesi olan Alp-Himalaya Dağ Kuşağının (orojen) bir parçasını oluşturmaktadır (Şekil 1 ve 2). Bu kuşak, Triyasdan (~250 milyon yıl önce) itibaren ayrılmaya başlayan Pangea'nın (süper-kıta) iki büyük parçası olan Lavrasya (kuzeydeki parça) ve Gondvana (güneydeki parça) kıtasal kabuğunun sınırını teşkil etmektedir. Literatürde genel kanı olarak, kuzeydeki Lavrasya plakası (günümüz Avrasya) sabit kabul edilerek daha güneydeki Gondvana (günümüz Afrika-Arap-Hindistan) kıtasının kuzeye doğru hareketi ve nihai olarakta aradaki okyanusal litosferin (Paleo/Neo-Tetis) yitimi ile birlikte kıta-kıta çarpışması neticesinde binlerce kilometre uzunluğunda ve sismik olarak da aktif olan Alp-Himalaya Dağ Kuşağı (orojen) oluşmuştur (Şekil 1). Neticede, günümüz bu dağ oluşum kuşağı iki büyük levhanın çarpışması ile şekillenmiş ve şekillenmeye de devam etmektedir.

Türkiye'nin jeolojisini de yine bu levha hareketlerinin ürettiği tektonizmaya bağlı olarak (yaklaşık kuzey-güney sıkıştırımlı rejim altında) yiten okyanusal litosfer (Tetis) ve nihai kıtasal çarpışma sonucunda farklı jeolojik birliklere ayrılarak mozaik andıran bir yapı oluşturmuştur. Bu birlikler aslında geride kalan kıtasal blokların parçalarıdır. Türkiye'yi, jeolojik olarak 3 ana blok ve bunların da yine kendi aralarında ayrılımları ile karmaşık bir tektonik yapı oluşturmaktadır (Ketin, 1966). En kuzeyde yaklaşık doğu-batı uzanımlı konumlanan Pontidler, jeolojik olarak üç farklı segmentten oluşmaktadır. (a) Batı Pontidler (İstranca Masifi, İstanbul-Zonguldak Bölgesi, Armutlu-Almacık Bölgesi ve Sakarya kıtası), (b) Orta Pontidler, ve (c) Doğu Pontidler. Pontidler, güneydeki Anatolid-Torid bloğu ile yine yaklaşık doğu-batı uzanımlı İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı (İAEKK) ile ayrılarak Neotetis okyanusunun kapanımıyla ilişkilendirilmektedir. Sınırlarımız içinde en güneyde ise yine Anatolid-Kırşehir Bloğu ile Arap-Afrika plakaları arasında Neotetisin en güncel kapanımı ile ilişkilendirilen Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı (BZKK) aradaki bu sınırı teşkil etmektedir (Şekil 2).

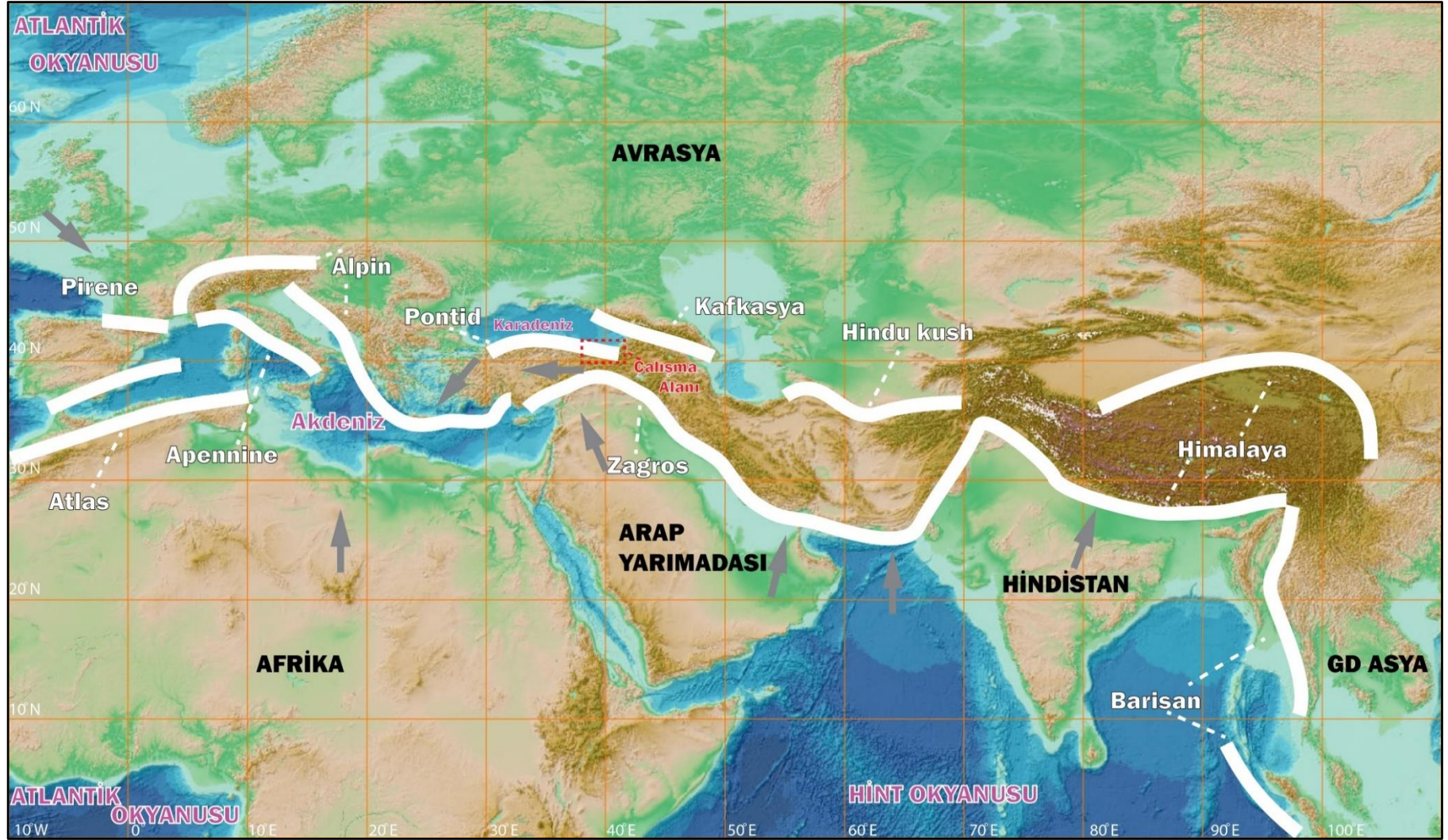
Manyetik çalışmalar bölgesel ölçekten lokal ölçeğe kadar çok çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Özellikle levha tektoniği kuramının açıklanmasında çok büyük yer tutan yer manyetik alanı ölçümleri okyanus ortası sırtlarından itibaren simetrik bir özellik sergilemektedir (Vine ve Matthews, 1963). Global ölçekteki katkıların yanı sıra hava, yer, denizel ölçümlerden elde edilmiş yer manyetik alan verileri yine kabuk modelleme çalışmalarında sıklıkla kullanılmıştır (Frey, 1982; Blakely vd., 1995; Achache vd., 1987; Ateş vd., 1999). Maden aramaları gibi daha orta ölçekli alanlar için gravite çalışmalarının yanında yer manyetik alanı verileri sıklıkla kullanılmıştır (McCafferty vd., 2016; Zhang vd., 2020). Ayrıca yeraltında gömülü nesnelerin bulunması, arkeolojik kalıntı araştırılması gibi daha sığ çalışmalar için de gelişen hassas ölçümler sayesinde (sezyum, rubidyum, potasyum gibi) manyetik yöntem ile son derece başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Gündoğdu vd., 2017; Ghezzi, A., 2019; Gürkan vd., 2021).

Çalışma alanı, Doğu Pontidleri kapsamakta ve çeşitli tektono-stratigrafik birimlerden meydana gelmiştir. Hatta bazı araştırmacılara göre bölge kendi içinde 3 alt zona (Kuzey, Orta ve Güney) ayrılmaktadır. Bölgenin tektoniğini açıklamak amaçlı jeofiziksel çalışmalar (Maden vd., 2009; Maden, 2013) sınırlı olmakta birlikte literatürde genellikle bölgenin çarpışma tektoniği ve evrimini açıklamak üzere kristalen kayaçlar ve sedimanter birimler üzerine çok sayıda yayın bulunmaktadır (Eyuboğlu vd., 2011, 2012). Yapılmış olan jeolojik

çalışmalara göre; temel birimler (metamorfik ve mağmatik) ve sedimanter örtü kayaçları ile temsil edilen Doğu Pontidler, karmaşık jeolojik süreçler sonunda günümüze kadar gelmiştir.

Yapılan bu çalışma ile bölgede ilk defa yer manyetik bir ölçüm yapılarak yüzeyden gözlenemeyen sığ ve derin yapıların devamlılıkları hakkında sonuçlar üretilmiştir. Bölgeden yer manyetik alan verisi toplanırken yüzey kayaç çeşitliliği de dikkate alınmıştır. Özellikle manyetik modelleme esnasında gerekli olan süseptibilite parametresini değişen kayaç özelliklerine bağlı olarak daha iyi tayin edebilmek için, portatif el süseptibilite ölçüm cihazı ile, hem de taşınabilir karotiyer alma gereçleri yardımı ile ölçüm noktalarındaki (kayaç farklılıklarının olduğu yerlerde) kayaçlardan 5-10 cm uzunluğuunda silindirik örnekler alınarak laboratuvarında ölçülmüş ve değişik litolojilere karşı süseptibilite değişim anomalileri de bölge için üretilmiştir.

Çalışmada, yer manyetik ölçüm setimizin haricinde, çeşitli data sağlayıcılar tarafından hava, yer, deniz manyetik ölçümlerinin birleştirilmesi ile elde edilmiş, deniz seviyesine göre 4 km yukarıda eşitlenmiş ve 2 dakika grid aralıklı veriler de kullanılmıştır (Meyer vd. 2017). Bu şekilde farklı kaynaklı iki veri setinin de kıyaslanması yapılmıştır.



Şekil 1. Alp-Himalaya dağ (orojen) oluşum kuşağının yaklaşık uzanımı ve çalışma alanını gösterir harita. Kalın beyaz çizgiler dağ sıralarını, gri oklar ise levha hareketlerini temsil etmektedir

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Yapılan çalışmanın üç ana amacı bulunmaktadır. i) Tektonik açıdan dalma-batma zonu ve kıtasal çarpışma süreci gibi önemli jeolojik sürecin sonunda günümüze evrilen Alp-Himalaya dağ kuşağının Türkiye'nin kuzey-doğu bölgesini temsil eden, literatürde Doğu Pontidler olarak isimlendiren bu alanda ilk kez yerden toplam manyetik ölçümleri gerçekleştirilerek sonuçların jeolojik olarak irdelenmesidir. Bu sayede bölge için ilk defa yerden toplam manyetik alan anomali haritası üretilmiştir. Doğu Pontidler'in tektono-stratigrafik çalışmalarında önerilen üç farklı zon bölgesi için yer manyetik verileri ile de farklılıkları test edilmiştir. ii) Yapılan çalışmanın ikinci ana amacı, yine çalışma alanını kapsayan, EMAG-2 elde edilen havadan toplam manyetik alan verileri ile yerden elde ettiğimiz verilerin karşılaştırmalı analizi yapmaktır. Ayrıca bölgeye ait sayısal yükseklik

verisi ve uydu fotoğraflarını da kullanarak çalışma alanındaki çizgisellik/sınırlar gibi yapıları ortaya çıkarmaktır. iii) Çalışmanın üçüncü ana amacı ise, yer manyetik ölçümlerinin gerçekleştirildiği ve süseptibilite ölçümü mümkün olan lokasyonlarda, farklı kayaçlar için portatif bir manyetik süseptibilite ölçer yardımıyla ölçümler gerçekleştirilerek, bölge için kayaç farklılıklarına karşı manyetik süseptibilite haritası elde etmektir.

MTA'nın Türkiye için mevcut havadan manyetik haritası literatürdeki birçok çalışmaya altlık oluşturmakta ve yapılan çalışmalarda bu veriler kullanılarak özellikle derin jeolojik yapılar ve çizgisellikler ile ilgili bilgiler üretilmektedir. Toplam manyetik anomali haritası incelendiğinde, Pontidler olarak isimlendirilen ve Türkiye'nin tüm kuzey sınırını kapsayan alanda yüksek ve pozitif genlikli bir zon bulunmaktadır. Doğu Pontidlerin batıya devamı niteliğindeki bu alan hem kara verisi hem de hava verisinin karşılaştırmalı analizleri sayesinde tektonik olarak değerlendirilecektir.

Yine literatürde tektonik olarak Doğu Pontidler üç farklı alt bölgeye ayrılmaktadır. Elde edilen yer manyetik anomali haritalarından bu ayrımın sınırları kontrol edilerek jeolojik olarak ayırtılan bu alanların varlığı jeofiziksel olarak da test edilmesi amaçlanmıştır. Yüzeyden elde edilecek yeni manyetik ölçüm sonuçları ile bu durum test edilerek, yüzeysel ve daha derin etkilerin karşılaştırması yapılabilecektir. Bu yüzeyden alınacak ölçüm sonuçları ile kayaçların fiziksel özellikleri denetlenerek, bölge için önerilen üç alt bölgesel zonlar arasındaki farklar denetlenecektir. Bu sayede arazi gözlemi ve belirli el örneklerinden elde edilen sonuçlara göre önerilen bu sınırlar yer manyetik yöntemler ile de test edilme imkânı bulacaktır. Böylelikle tezin önemli çıktılarından biri olan Pontidlerin tamamında hakim olan bu yüksek manyetik anomali değerlerine neden olan kaynak(lar) hakkında çıkarım yapılabilmesi amaçlanmıştır.

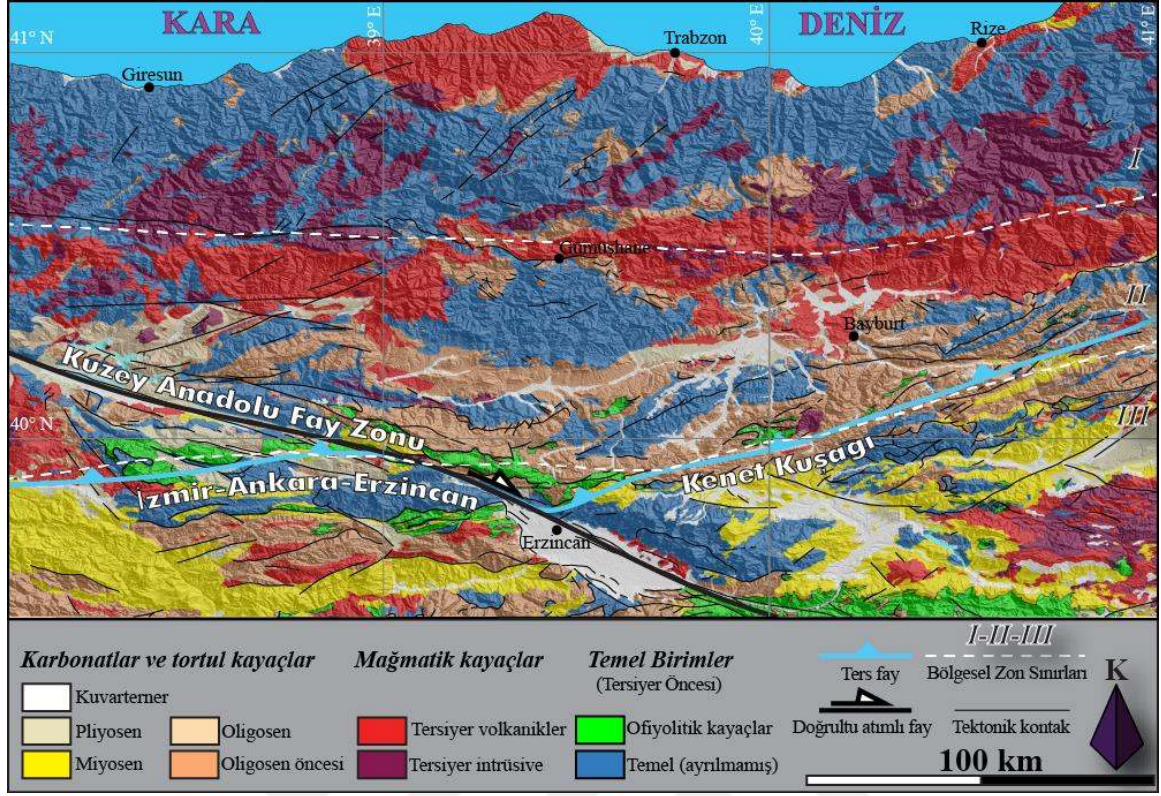
1.3. Bölgenin Genel Jeolojisi ve Tektoniği

Pontidler, 1200 km'yi aşan doğu-batı uzanımlı ve yaklaşık 200 km eninde bir zon olarak Türkiye'nin Kuzey sınırını oluşturmaktadır. Kuzeyinde Karadeniz ile güneyinde ise İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı ile sınırlandırılmaktadır. Bu zon kendi içerisinde tektonik ve stratigrafik farklılıklarından dolayı 3 farklı alt bölgeye (Kuzey, Eksenel ve Güney) ayrılmaktadır (Yılmaz vd., 1997). Neotetis okyanusunun Geç Kretase-Tersiyer döneminde devamlılık arz eden ve kuzeye doğru olan dalma-batma durumu göz önüne alındığında, çökelim mekanizması olarak bölgenin en kuzeyi yay-ardı havzalar ile temsil

edilirken, güney grup ise yay-içi ve önü havzalar ile temsil edilirler (Koçyiğit vd., 1988; Altınar vd., 1991; Rojay, 1995; Rojay ve Süzen, 1997; Okay vd., 2006; Espurt vd., 2014; Eyuboğlu vd., 2011, 2012, 2016).

Doğu Pontidler stratigrafik olarak; temelde Palazoik yaşlı metomorfik kayaçlar ile Mesozoik yaşlara kadar uzanan yaklaşık doğu-batı uzanımlı mağmatik bir zon ve yine bu zona paralel bir ofiyolit kuşağı kayaçları dalma-batma tektonik mekanizmaları ile ilişkilendirilmiş sedimanter kayaç topluluğu ile temsil edilmektedir (Yılmaz vd., 1997). Tektonik olarak oluşum mekanizmaları (güneye dalım, kuzeye dalım, jeolojik zaman içinde önce güneye sonra kuzeye dalım) hala tartışılmakta olup, genel kabul olarak bu kuşağın Lavrasyanın güney parçası olduğu ve kuzeye doğru dalan okyanusal litosferin yay arkası-genişlemesi ile Karadenizin açılarak, Pontid Kuşağının kuzeydeki Lavrasyadan ayrıldığı yönündedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Şahintürk, 1997; Hippolyte vd., 2017). Yine literatürde hem jeokimyasal hem de jeofiziksel çalışmaların sonuçlarına göre önemli miktarda bu modele karşıt görüşte bulunmaktadır (Bektaş vd., 1999; Eyuboğlu vd., 2011).

Önerilen tüm modellerin kendi aralarında dalma-batma jeodinamiğinin polarite farkından kaynaklı oluşum mekanizmaları için literatürde değişik görüşler olsa da, aslında Pontid dağ oluşum kuşağının bir mağmatik ada yayı şeklinde geliştiği konusunda ortak görüş hakimdir (Bektaş vd., 1999; Şahin vd., 2004; Topuz vd., 2005; Eyuboğlu vd., 2010). Dolayısıyla jeolojik olarak bölge, mağmatik/metamorfik kayaçlar (genelde temel konumunda) hakimiyetinde ve çok kısıtlı alanlarda ise sıkışmalı rejim altında gelişen bindirme tipinde havza sedimanları tarafından temsil edilmektedir.

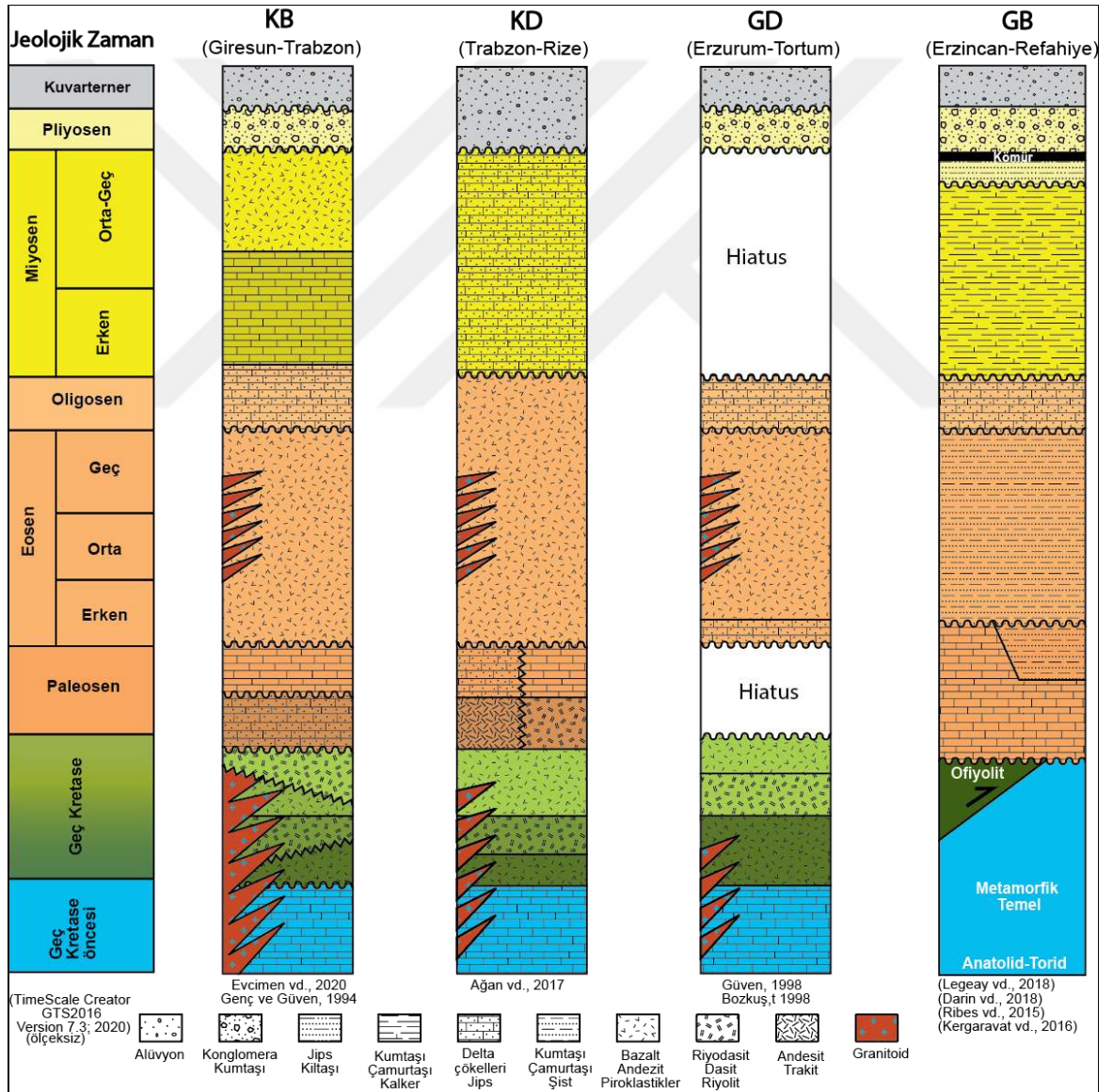


Şekil 3. Çalışma alanının basitleştirilmiş jeolojik haritası (Akbaş vd., 2011' den değiştirilmiştir).

Geç Kretaseden günümüze bölgedeki sedimanter birimler kısıtlı alanlarda yüzlek vermişler ve stratigrafik kalınlıkları yapılan arazi gözlemlerine göre maksimum 100-200 metrelere (Olur bölgesi hariç) kadar uzanabilmektedir (Hippolyte vd., 2017). Buna karşın Geç Kretase-Eosen volkanik ve volkanoklastik kayaçlar (kireçtaşları ile ardalanmalı) genellikle sokulum kayaçları tarafından kesilmiş şekilde stratigrafik olarak kalınlıkları 2 km'nin üzerinde oldukları belirtilmektedir (Okay ve Şahintürk, 1997).

Bölgedeki kayaç topluluklarının litolojik karakteristiklerine göre, Doğu Pontidler Kuzey, Güney ve Eksenel olmak üzere üç farklı zona ayrılmaktadır (Bektaş vd., 1995; Bektaş vd., 1999) (Şekil 3). Her bir zon kendi litolojik karakteristiklerinin yanı sıra tektonik olarak yaklaşık Doğu-Batı, Kuzeydoğu-Güneybatı ve Kuzeybatı-Güneydoğu uzanan faylar ile sınırlandırılmış bloklar olarak ayrılmaktadır (Bektaş ve Çapkınoğlu, 1997). Zon geçişlerini oluşturan bu faylar aynı zamanda sedimanter kayaç özelliklerinin ve kalınlıklarının ani olarak değiştiği sınırları da temsil etmektedir. Bu faylar yine benzer şekilde Kuzey zondaki Üst Kretase kaldera ve sokulum kayaçlarının sınırlarını ve Güney zondaki temel kayaçlar, metamorfik ve granitik kayaçlarını sınırlarını kontrol etmektedir

(Bektaş vd., 1999). Doğu Pontidlerin Kuzey Zonu genellikle Üst Kretase ve daha genç yaşlı volkanik kayalardan oluşmaktadır ve güney zona göre kıyasla yok denecek kadar az oranda granitik kayalar yüzlek vermektedir. Bu volkanik kayalar kireçtaşları-marn ardalanması tarafından örtülmektedir. Doğu Pontidlerin güney zonunda ise granitik ve metamorfik birimlerden oluşan temel kayalar ve üzerleri platform karbonatları (Berdiga formasyonu), ve fliş birimleri tarafından örtülmektedir. Doğu Pontidlerin aksenal zonunda ise Okyanusal kabuğu temsil edebilecek, gabro, peridotid, dioritik kayalar ve daha üst seviyelerde ise metamorfik, volkanik kayalardan oluşmaktadır.



Şekil 4. Çalışma alanının kuzeydoğu, kuzeybatı, güneydoğu ve güney batı bölgeleri için genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.

1.4. Manyetik Yöntem

1.4.1. Manyetik Yöntemde Temel Bilgiler

Manyetik yöntem Jeofiziğin en eski potansiyel alan yöntemlerinden birisi olup, yeryuvarının manyetik alanındaki değişimlerini (zamansal ve/veya mekânsal) inceler. Manyetik bir cismin (kütlenin) anomali verebilmesi için manyetik duyarlılığının (süseptibilite) çevresini saran kayalardan farklı olması gerekir. Manyetik prospeksiyon uygulamalarında genellikle yer manyetik alanın toplam veya onun düşey bileşeni ölçülmektedir. Bu yöntem, manyetik özelliği olan mineraller (magnetit, protin, ilmenit, hematit vb) veya bu mineralleri içeren mineralizasyon zonları ve manyetik kayaların aranmasında kullanılır. Petrol aramalarında diğer jeofizik prospeksiyon yöntemlerine yardımcı olmak amacı ile de kullanılmaktadır. Sedimanter birimlerin doğası gereği çevresine göre düşük manyetik özellik sergilemeleri nedeniyle, bu tür havzaların temel kayasını oluşturan plütonik veya metamorfik kayalar ile sınırlarının belirlenmesinde manyetik yöntemler kullanılabilir. Bu bilgiler havzanın jeolojik birimlerinin derine doğru ayırt edilmesinde önemli veriler sağlamaktadır. Ayrıca manyetik yöntemler fay zonlarının belirlenmesi, levha sınırları, deniz tabanı yeni okyanusal kabuğun gelişimi gibi çeşitli konularda da günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. Manyetik alanın temel ilkeleri, nokta manyetik kutup, nokta elektrik şarja ve nokta kütlelere benzerlik göstermektedir (Keçeli, 2012). Manyetik kuvvet F , Coulomb kanunu denklem 1'deki gibi ifade edilir:

$$F_m = \frac{1}{\mu} \frac{p_1 p_2}{r^2} \quad (1)$$

Burada p_1 ve p_2 iki manyetik kutubun şiddetidir. μ göreceli manyetik geçirgenlik, r iki kutup arasındaki uzaklıktır. F manyetik kuvvet saptanamadığından birim kutup üzerindeki manyetik kuvvet olarak tanımlanan manyetik alan şiddeti, H ölçülür.

Manyetik Alan Şiddeti: Bir kutbun herhangi bir noktada oluşturduğu manyetik alan şiddeti, kutbun o noktada bulunduğu farz edilen +1 şiddetindeki kutba uyguladığı itme veya çekme kuvvetinin büyüklüğüdür. Manyetik alan vektörü H ile gösterilirse;

$$H = \frac{p_1}{\mu r^2} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır. P_1 şiddetindeki kutbun P_2 şiddetindeki kutbun bulunduğu noktada oluşturacağı manyetik alan şiddeti ise;

$$H = \frac{F_m}{P_2} \quad (3)$$

şeklinde olur. SI birim sisteminde manyetik alan şiddeti birimi Tesla (T)'dir.

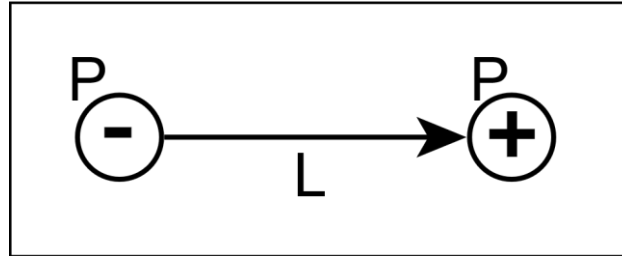
Manyetik Moment: -P ve +P şiddetinde kutupları olan ve L boya sahip çubuk mıknatıstaki manyetik moment;

$$M = LPr' \quad (4)$$

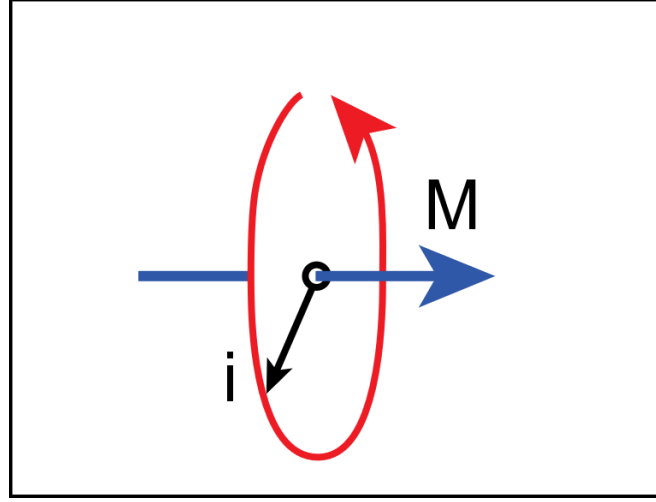
şeklinde tanımlanır. Burada r' birim vektördür ve yönü, -P'den +P'ye doğrudur (Şekil 5). Manyetik momentin birimi Amper metre (Am²)'dir. Bir çift manyetik kutuptan meydana gelen manyetik dipol, manyetik moment (+) P kutbu ile kutuplar arasındaki "L" uzaklığının çarpımıdır. Ayrıca, bir elektrik akımının telin etrafında bir manyetik alan oluşturduğu bilinmektedir (Şekil 6). Eğer teli bir halka şeklinde πr^2 alanı olacak şekilde bükürsek o zaman halkanın oluşturduğu manyetik moment;

$$M = \pi r^2 i \quad (5)$$

şeklinde tanımlanır.

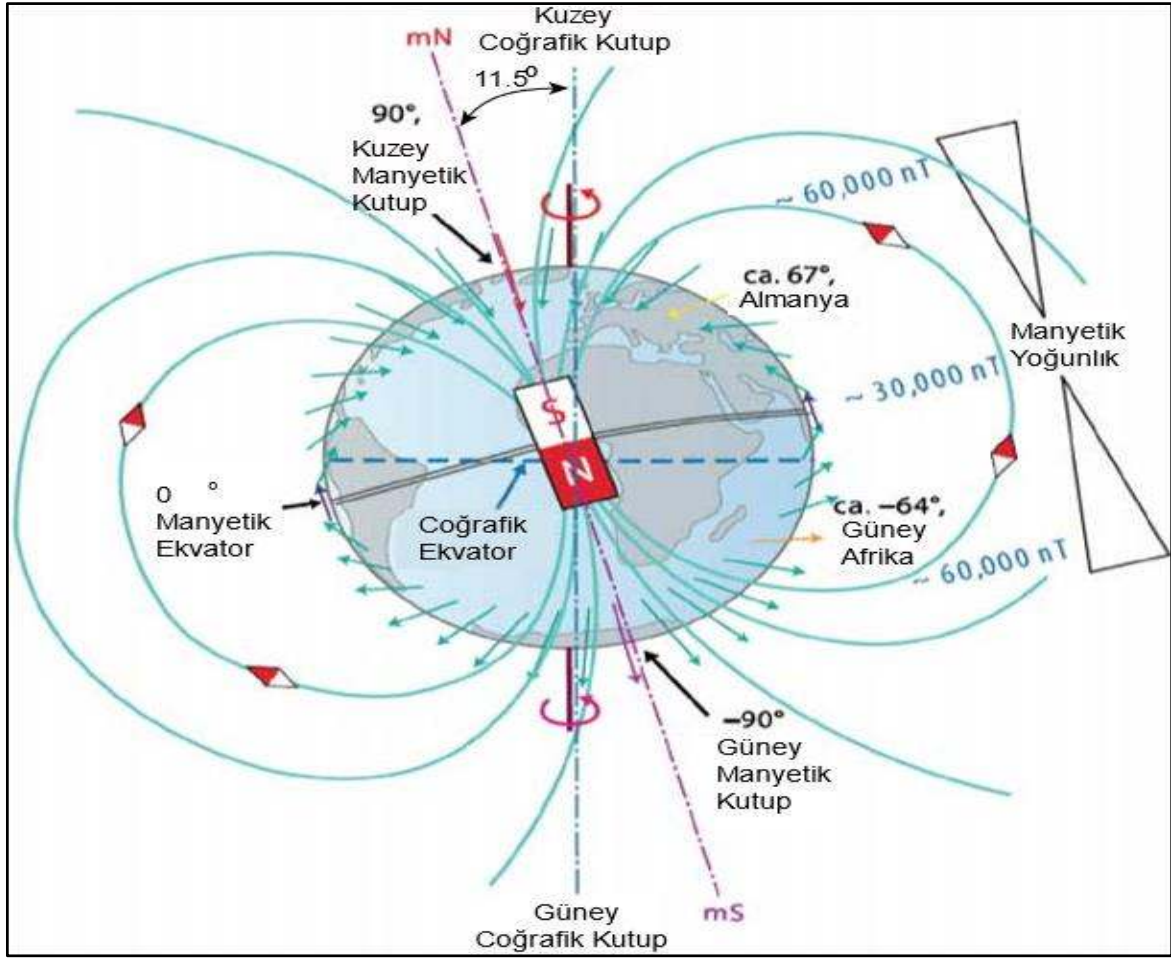


Şekil 5. Aralarında L mesafesi bulunan artı ve eksi 2 kutuplu manyetik bir dipolün gösterimi (Lowrie, 2007).



Şekil 6. Üzerinden i akımı geçen bir elektrik telinin (halka) etrafında oluşturacağı manyetik alanın yönü

Yer manyetik Alanın Kaynağı ve Bileşenleri: Yerin manyetik alanının kökeni için değişik zamanlarda değişik hipotezler/teoriler ileri sürülmüş ise de, bunlardan hiç birisi “Dinamo Teorisi” kadar tutarlı olmamıştır. Dinamo Teorisi, yerin sıvı ve metalik olan dış çekirdeğinin “kendi kendini işleten bir dinamo” gibi davranmakta olduğu fikrine dayanır. Bu teorinin fiziksel yönü ise, magnetohidrodinamik bir olay olarak açıklanmaktadır. Sıvı haldeki demir-nikel karışımından oluşmuş olan ve elektrik akımı için iyi bir iletken durumunda bulunan yerin dış çekirdeği içinde sürekli olarak meydana gelen termal konveksiyon hareketi elektrik akımını meydana getirmekte ve bu akım yerin asıl manyetik alanını oluşturmaktadır. Bu alan, ortamda daha önce var olduğu farz edilen başlangıç alanını kuvvetlendirmekte veya yenilemekte ve böylece sistem kendi-kendini besleyen bir dinamo gibi çalışmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda; Dünya'nın çekirdeğinden gelen kaynağa (iç kaynak) ek olarak, yerin manyetik alanına dış kaynak kökenli etkilerinde varlığı bilinmektedir. Manyetik alanın kaynağının çok büyük bir kısmı iç kaynaklı ($\sim 98\%$) iken geriye kalan kısım ise dış kaynaklıdır. Bu duruma göre yerin manyetik alanı, asıl manyetik, dış manyetik ve anomali alanı olarak ayrılabilir.

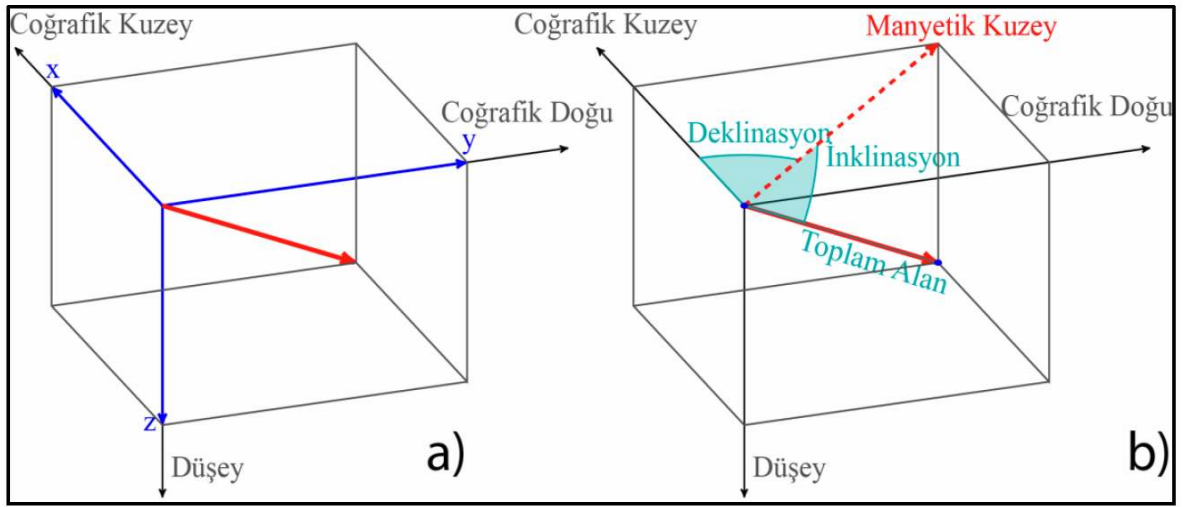


Şekil 7. Yer manyetik alanını temsil eden dipol alan yönleri ve coğrafik yönler ile farkı (Mouritsen, 2015).

Yerin asıl manyetik alanı sıvı özellikte olan dış çekirdekten kaynaklanmakta, dış manyetik alan atmosferdeki yüksek elektrik akımlarından kaynaklanmaktadır. Anomali alanı ise yerin dış kabuğundaki manyetik bozucu kütlelerden kaynaklanır (Ensari, 2012). Bu bozucu kütlelerden meydana gelen anomali alanının etkisi toplam alan içinde oldukça küçüktür. Bununla birlikte manyetik yöntemde asıl amaç bu anomali alanın etkisini ölçebilmektir.

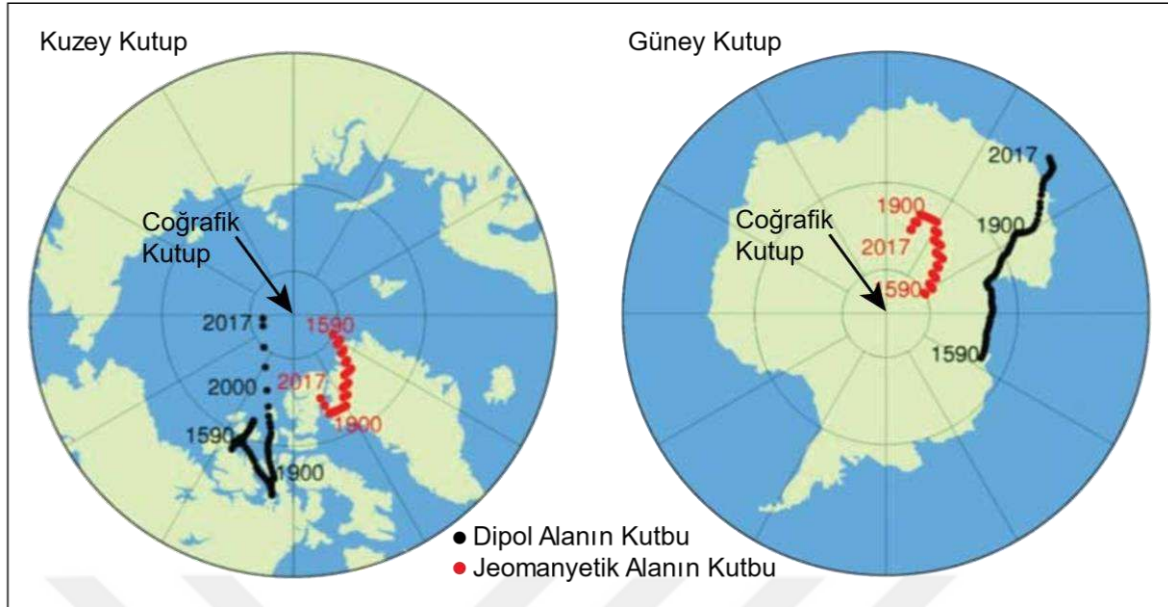
Yer manyetik alanı, yerin merkezinde bulunan ve yerin dönme eksenini ile yaklaşık çakışan bir manyetik dipol ile temsil edilebilir. Fakat gerçeğinde bu kadar basit olmayan bu alan, hassas ölçümler ve hesaplamalar sonucu yerin dönme eksenini ile tam olarak çakışık olmadığı ve günümüzde yaklaşık 11.5°'lik bir açı yaptığı bilinmektedir (Şekil 7). Dünya'nın manyetik alanı vektörel bir büyüklüktür. Dünya üzerinde herhangi bir yerdeki manyetik alan bu vektörün yönü ve şiddetiyle tanımlanır. Genellikle bu vektörün bileşenleri olan manyetik deklinasyon, **D**, yatay bileşen, **H** ve düşey bileşen, **Z**, ölçülür ve bu üç bileşenden manyetik

alanın diğer bütün bileşenleri hesaplanabilir. Manyetik alanı tanımlamak için yönü ve şiddeti ölçülmelidir. Yönü tanımlayan parametreler manyetik deklinasyon, D ve inklinasyon, I değerleridir. D ve I derece cinsinden hesaplanır. Toplam alanın (F) şiddetini ise yatay H , düşey Z , kuzey X , doğu Y bileşenleri tanımlar. Yerin manyetik alan şiddeti yaklaşık 30000 (ekvatorda)–60000 (kutup bölgelerinde) nT arasında değişir (Şekil 7). D açısı toplam alanın coğrafik kuzey ile yaptığı açıdır. D açısı coğrafik kuzeyin doğusunda ise pozitif, batısında ise negatif alınır. Manyetik inklinasyon ise yatay düzlemle toplam alan arasındaki açıdır (Şekil 8).



Şekil 8. a) Kartezyen koordinat sistemi üzerinde coğrafik yönler ve buna karşılık, b) yer manyetik alan bileşenlerinin gösterimi (Lowrie, 2007'den düzenlenerek).

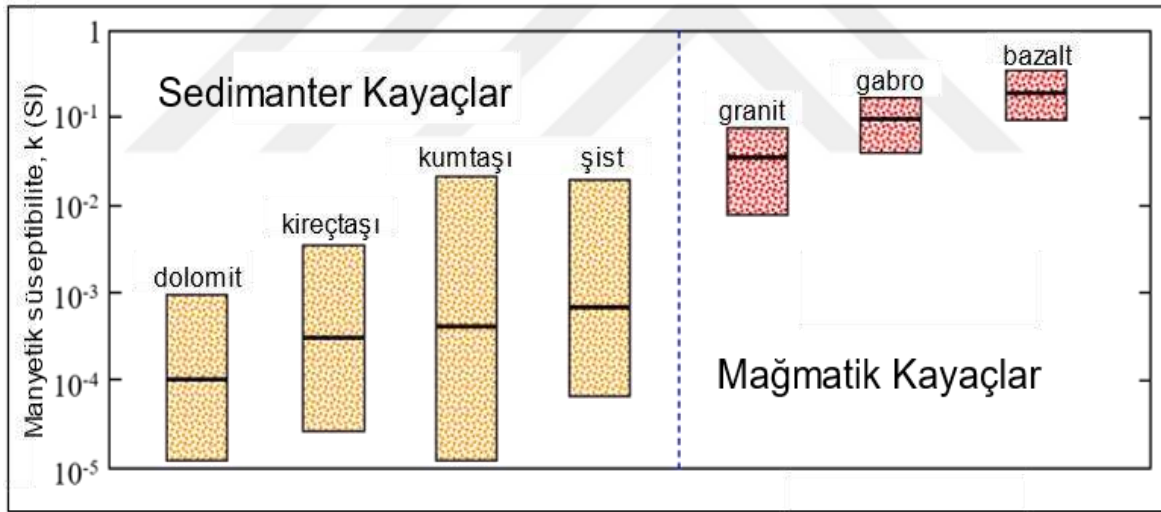
Yermanyetik Kutuplar: Yer manyetik kutuplar inklinasyon açısının 90 derece olduğu bölgelerdir. Ölçülen manyetik kutuplarla, hesaplanan kutuplar iki ayrı kavramdır. Ölçülen manyetik kutuplar arazide inklinasyonun dik ölçüldüğü alanlardır. Hesaplanan manyetik kutuplar ise bir manyetik alan modelinden inklinasyonun dik hesaplandığı bölgelerdir. Manyetik kutbu tam olarak belirlemek birçok açıdan zor bir iştir. I açısının 90 derece olduğu yer sabit değildir, çok geniş bir alanı kapsar, günlük değişimler ve manyetik fırtınalar nedeniyle yüzlerce kilometre yer değiştirebilir ve doğa koşulları açısından da ulaşması zor yerlerdedirler (Şekil 9) (URL-1).



Şekil 9. Yerin dipol (hesaplanan) ve yer manyetik (ölçülen) alan kutuplarının kuzey ve güney yarım küre üzerinde yaklaşık konumlarının gösterimi. Manyetik alanlar noktasal gösterimden daha çok zaman ile değişen bir bölgeye karşılık gelmektedir (URL-2, 2021).

Kayaçların Mıknatıslanması: Mıknatıslanma olayının ilk kez Çinliler tarafından manyetit mineralince yoğun olan kayaçların (lodestone) yön bulmada kullanılmasıyla ortaya çıkarıldığı düşünülmektedir (Ensari, 2012). Yer manyetik alanı uzun yıllardır düzenli olarak gözlenmektedir. Bu alandaki ilk bilimsel çalışmalar 1600 yılında William Gilbert tarafından “De Magnete” isimli eseriyle yayınlanmıştır. Gilbert bu eserinde pusula ibresinin yerin kuzey kutbuna doğru yönelmesi ile yerin kendisinin büyük bir mıknatıs gibi davrandığını ileri sürmüştür. Bir cismin manyetik oluşu, cismi oluşturan atomlar içindeki elektronların hareketinden ileri gelir. Elektronların hareketi iki çeşittir. Bunlardan birincisi çekirdek etrafındaki dolanım hareketi veya yörünge hareketidir; diğeri ise elektronların kendi eksenini etrafındaki dönme (spin) hareketidir. Elektronların bu hareketlerinden her biri bir manyetik alan meydana getirir. Manyetizmanın asıl nedeni budur. Bundan dolayı elektronlara bir çeşit mıknatıs diye bakılabilir ve onun bu mıknatıslığı, yörünge hareketinin manyetik momenti olarak da söylenebilir. Benzer şekilde spin hareketinin de bir manyetik momenti olacaktır. Bir atomun manyetik momenti, atomun yapısına katılan bütün elektronların yörünge ve spin hareketlerine ait manyetik momentlerin toplamıdır.

Kayaçların Manyetik Özellikleri: Ergimiş mağmanın soğuyarak katılaşması ile volkanik kayaçları meydana getirmesi sırasında, içindeki manyetik mineraller belirli bir sıcaklıkta o andaki yerin manyetik alanı yönünde mıknatıslanırlar. Benzer şekilde pişmiş toprak eşya soğurken içinde bulunan ferromanyetik parçalar, yine ortamdaki manyetik alanın yönünde mıknatıslanırlar. Böylece, arkeolojik veya jeolojik devirlere ait manyetik alanların özellikleri (yön ve şiddet) pişmiş toprak eşyada ve özellikle volkanik kayaçalarda tespit edilmiş olur. Mağmatik kayaçalara göre çok düşük manyetik süseptibilite özellikleri sergileseler de, sedimanter kayaçların da, günümüz hassas ölçüm tekniklerinin kullanılmasıyla içerisindeki eser miktarlarda bulunan manyetik özellikler ortaya çıkartılabilmektedir (Şekil 10). Bu eski yer manyetik alan kalıcı bir magnetizasyondur ve bütün ferromagnetik, ferrimagnetik ve antiferromagnetik maddelerde bu çeşit mıknatıslanmalar doğaldır. Temelde diamanyetizma, paramanyetizma, ferromanyetizma olmak üzere 3 farklı manyetizma tipi vardır.



Şekil 10. Bazı sedimanter ve mağmatik kayaçalara ait ortalama manyetik süseptibilite değerleri ve aralıkları (Lowrie, 2007'den değiştirilerek).

1.4.2. Yer manyetik Alanın Ölçülmesi ve Uygulanan Düzeltmeler

Yer manyetik alanının bileşenleri çeşitli şekillerde ölçülebilir. Genellikle, manyetik yöntemler karadan, denizden ve havadan ölçüm yapmayı mümkün kılmaktadır. Karada ve denizde yapılan ölçümler havadan yapılan ölçümlere göre daha küçük alanlarda gerçekleştirilmektedir. Bilinen en basit ölçüm tekniği, yatay düzlemde dönmesi için

dengelenmiş kalıcı olarak mıknatıslanmış bir iğneden oluşan bir mekanik cihaz olan pusulanın kullanımını içerir. Pusula iğnesinin salınımları ile manyetik yatay bileşenin büyüklüğünü ölçmekte mümkündür. Son yıllarda gelişen teknoloji ve hassas ölçüm ekipmanları sayesinde, manyetik alanın ölçülmesinde bu tür elektronik ölçüm cihazlarının daha uygun olduğu görülmüştür ve daha eski mekanik aletler yavaş yavaş değiştirilmiştir. Bu yeni hassas ölçüm cihazları manyetometreler olup genellikle mekanik olarak çalışmayan elektronik esaslı cihazlardır ve yer manyetik alan şiddetini veya bunun bileşenlerinin ölçülmesinde kullanılmaktadırlar.



Şekil 11. Jeofizik Elektromanyetik Sistem Şirketinin (GEM Sistem, Kanada) GSM-19T tipi proton manyetometresi

Genelde Proton ve Flux-gate olmak üzere iki tür manyetometre yaygın olarak kullanılmaktadır. Potasyum, overhauser, sezyum ve rubidyum buhar manyetometreleri gibi

daha yüksek hassasiyete sahip manyetometreler de son yıllarda yer manyetik alanının daha hassas olarak belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadırlar. Bu tez çalışmasında Proton manyetometresi kullanılmıştır (Şekil 11).

Proton manyetometreleri nükleer manyetik rezonans yöntemiyle çalışmakta olup, uçak yakıtı gibi bir sıvıda protonların manyetik (manyetik alana hassas) ve jiroskopik özelliklerinden yararlanmaktadır. Bu yöntemde protonların manyetik momentleri ilk önce bir harici bobin tarafından üretilen güçlü bir manyetik alan tarafından hizalanır. Manyetik alan daha sonra aniden kapanır ve protonlar kendilerini Dünya'nın alanıyla hizalamaya çalışırlar. Bununla birlikte, protonlar hem döndükleri hem de manyetize oldukları için, Dünya'nın alanı etrafında ikincisinin büyüklüğüne bağlı bir frekansla hareket ederler. Dış bobin, bu dönme tarafından indüklenen zayıf bir voltajı algılar. Döndürme süresi, 0.1 ile 1.0 nanotesla arasında bir duyarlılık sağlamak için yeterli doğrulukla elektronik olarak belirlenir.

Manyetik gözlemleri, Dünya'nın manyetik alanını farklı lokasyonlarda sürekli olarak ölçer ve kaydederler (manyetogram). Manyetogramlar mikrofilm üzerinde fotoğraflanır ve bilimsel veya pratik kullanım için mevcut oldukları veri merkezlerine gönderilir. Bu tür uygulamalar ile navigasyon ve ölçme için dünya manyetik haritalarının oluşturulması, maden ve petrol yatakları için hava, kara ve deniz araştırmalarında elde edilen verilerin düzeltilmesi ve Güneş'in Dünya ile etkileşimi ile ilgili bilimsel çalışmalar yapılabilmektedir. Manyetik ölçümler genellikle sabit gözlemlerinden uzak yerlerde yapılır. Bu tür ölçümler, genellikle Dünya'nın ana alanını daha iyi tanımlamak veya içindeki anormallikleri tespit etmek için tasarlanmış bir araştırmanın parçasıdır. Bu türdeki araştırmalar rutin olarak yaya, gemi ya da uçak ile gerçekleştirilmektedir. Yer yüzeyinde yapılan araştırmalarda çoğunlukla proton manyetometresi kullanılmaktadır.

Karada yapılan ölçümlerde genelde iki farklı ölçüm modu kullanılmaktadır. İlk olarak manyetik ölçümler yapılırken bir profil boyunca belirlenen ölçüm hatları üzerinde yapılacak çalışmanın ayrımlılığına göre belirli gözlem noktaları üzerinde manyetometre ile yapılan okumalara dayanmaktadır. Bu sistemde birkaç profilde ölçümler yapmak suretiyle alansal ölçümler alınmış olur. Bu ölçü modu daha büyük ve geniş hedeflerin aramasında, 30 metreden daha derin maden aramalarında tercih edilmektedir (Scintrex kullanım klavuzu). İkinci olarak ise walkmag yani sürekli modda ölçüm almaktır. Bu modda belirlenen ölçüm alanında belirli hatlar boyunca yürüyerek sürekli olarak ölçümler alınır ve ölçüm noktalarının koordinatları manyetik cihazla entegre bir GPS ile kayıt edilir. Çevresel uygulamalarda daha çok bu mod kullanılarak ölçümler alınmaktadır (Scintrex kullanım

klavuzu). Manyetometreler doğal olarak manyetik özelliğe sahip her türlü nesneden etkilenebileceği için ölçümler esnasında çevredeki manyetik özelliğe sahip nesnelerden (yüksek gerilim hatları, betonarme köprüler, beton veya demirden yapılmış direkler, üst/alt geçitler, tel örgüler gibi) mümkün olduğu kadar uzaklıkta ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Ayrıca sağlıklı ölçüm yapabilmek için ölçüm yapan kişinin üzerinde de herhangi bir metalik nesne (kemer, telefon, saat vb.) olmamalıdır. Yeni nesil cihazlar, ölçüm alırken alınan sinyallerin kalitesi hakkında da bilgi vermektedir. Bu nedenle pek çok durumda ölçüm yapılan alanda bozucu nesneler var ise cihazın ölçtüğü sinyalin kalitesinin düştüğü anlaşılabilmektedir. Ayrıca alınan ölçümlerin sağlıklı olması için aynı noktada tekrar ölçümleri (en az üç) yapılmaktadır. Karada yapılan ölçümlerde, araştırma sahasından uzakta bir baz noktası seçilir. Belirli zaman aralıklarında ya da belirli bir ölçü noktası sayısı sonrasında baz noktasına gidilip o anki zaman kaydedilerek ölçü alınır. Baz noktasındaki bu ölçü, manyetik alanın zaman içerisindeki değişimini ölçülerden gidermek için yapılır. Yer manyetik alan ölçümleri gerçekleştirilirken arazide sabit bir noktada ikinci bir manyetometre ile zamana karşı değişimler ölçülerek farklar belirlenir. Ayrıca yer manyetik alanı zamana karşı değişimlerin haricinde konumsal olarak da değişebilmektedir. Özellikle Türkiye için Kuzey-doğuya doğru manyetik alan değerlerinde artışlar belirgindir.

Manyetik ölçümler karada, denizde ve havada gerçekleştirilebilmekte olup özellikle karada yapılan ölçümlere zamansal (günlük değişimler) ve yersel olmak üzere iki türlü düzeltme uygulanmaktadır. Manyetik ölçümler özellikle yapısal jeolojiyi ve tektoniği belirlemek için yapılmakta ise manyetik alanın zamana bağlı değişimlerinin alınan ölçümlerden giderilmesi gerekmektedir. Zamana bağlı değişimler bazı durumlarda ölçülen değerlerin birkaç yüz nT ya kadar değişimine sebep olur. Manyetik ölçümlerin yapılacağı saha, bir manyetik gözlemevinden en çok 400-500 km uzakta ise manyetik alanın zamana bağlı değişimlerine ait düzeltme değerleri gözlemevi kayıtlarından alınabilir (Arslan vd., 2015). Eğer çalışma yapılan saha bu mesafelerden daha uzakta ise sahanın uygun bir noktası seçilerek baz istasyonu yerleştirilir. Baz istasyonunda eğer mümkün ise sürekli manyetik ölçümler yapılarak manyetik alanın zamana bağlı değişimleri kayıt edilir ve bu ölçümler düzeltme için kullanılır. Düzensiz değişimlerden olan manyetik fırtınaların olduğu zamanlarda, manyetik fırtınalar bitine kadar ölçümlere ara verilmesi gerekmektedir.

Gravite ölçümlerindeki enlem düzeltmesinin manyetik yöntemdeki karşılığı olan yersel düzeltmeler, enlem ve yükseklik düzeltmesidir. Enlem düzeltmesi için ölçülen verilerden herhangi bir manyetik referans alanın etkisi giderilir (Keçeli, 2012). Türkiye için;

Kuzeye ve Doğuya doğru gidildikçe yer manyetik alan şiddeti arttığından referans noktası çalışma alanının en batısı ve güneyi alınırsa düzeltme miktarları ölçülen değerden çıkarılır. Yer manyetik alanının düşey gradyanı hem ekvatorda hem de kutuplarda çok düşük seviyelerde olduğundan dolayı genelde manyetik ölçümlerde yükseklik düzeltmesi uygulanmaz.

1.4.3. Manyetik Verilere Uygulanan Temel Veri İşlem Yöntemleri

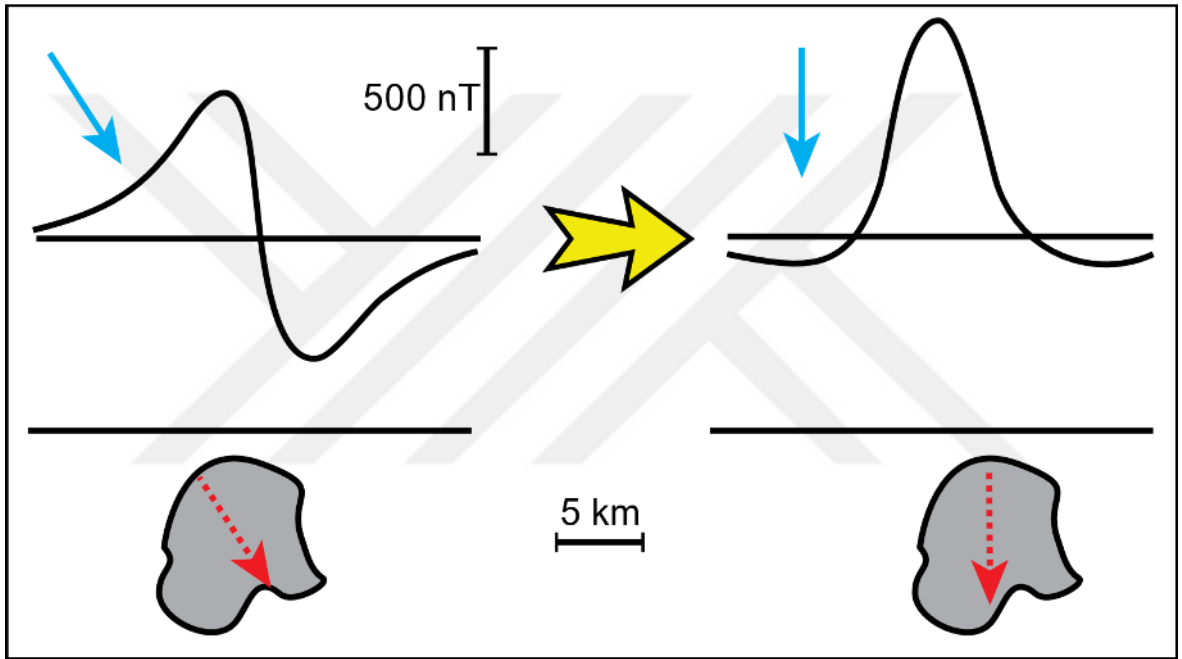
Doğal kaynaklı potansiyel alan yöntemlerinden biri olan manyetik yöntemde yer altında bulunan farklı manyetik süseptibilite özelliklerine sahip kütlelerin yeryüzünde meydana getirdiği yermanyetik alan değişimleri ölçülür. Yeryüzünde ölçülen değerlere bazı düzeltmeler (günlük değişimler gibi) uyguladıktan sonra elde edilen manyetik anomaliler derin ve sığ yapıların etkilerinin toplamından oluşur. Derin ve sığ yapıların ayrımı, derinliklerinin belirlenmesi ve bazı çizgisellik analizlerinin yapılması için çeşitli veri-işlem teknikleri geliştirilmiştir.

Kutba İndirgeme Yöntemi: Yer manyetik alanının vektörel özelliğinden dolayı ölçülen manyetik anomalilerin şeklinde meydana gelen bozukluğun giderilmesi için uygulanan bir işlemdir. Pozitif gravite anomalileri, yoğun kütleler üzerinde bulunurlar. Bununla birlikte manyetizasyon ve çevre alanının düşey olarak yönlenmediği durumlarda manyetik anomaliler için bu durum geçerli değildir. Bu durumun temel nedeni anomalilerin maksimumlarının cismin düşeyin de olmamasıdır. Kutba indirgeme işlemi manyetik verileri sanki kutupta ölçülmüş gibi yeniden düzenler. Aslında kutba indirgeme işleminde yapılan mevcut inklinasyon açısını 90° ve denklinasyon açısını 0° olarak yeniden hesaplanmasıdır. Kutba indirgeme işlemi sonucunda yeraltındaki nesnelerin oluşturduğu anomaliler cismin merkezi üzerinde ve simetrik bir şekilde yer alacağından dolayı manyetik verilerin yorumlanması da daha kolay olacaktır. Manyetik anomalinin mıknatıslanma yönü ve yer manyetik alanının yönü düşey yönlü olmadığı zaman, manyetik anomalinin mıknatıslanması m ve yer manyetik alanının mıknatıslanması f düşey yönlü olmadıkça, θ_m ve θ_f , manyetik anomalinin şeklini yatay olarak, hatta yönünü bozacak şekilde bir faz ekleyecektir (Blakely, 1995). Genelde mıknatıslanma ve yer manyetik alanı düşey yönlü değilse, düzgün olarak mıknatıslanmış bir kürenin mıknatıslanmasının simetrik dağılımı, simetrik bir anomaliden çok eğrilmiş bir anomali üretecektir (Şekil 12). Bu karmaşık durum Blakely (1995) tarafından önerilen 6 bağıntısı kullanılarak giderilebilmektedir.

$$F(\Delta Tr) = F(\Psi_r) F(\Delta T) \quad (6)$$

Burada, $F(\Delta Tr)$: Kutba indirgeme işlemi yapılmış fonksiyon, $F(\Psi_r)$:Kutba indirgeme işlecidir.

$F[\Psi_r] = \frac{1}{\theta_m \theta_f}$ θ_m mıknatıslanmaya neden olan yapının faz açısı ve θ_f ise yer manyetik alanının faz açısıdır.

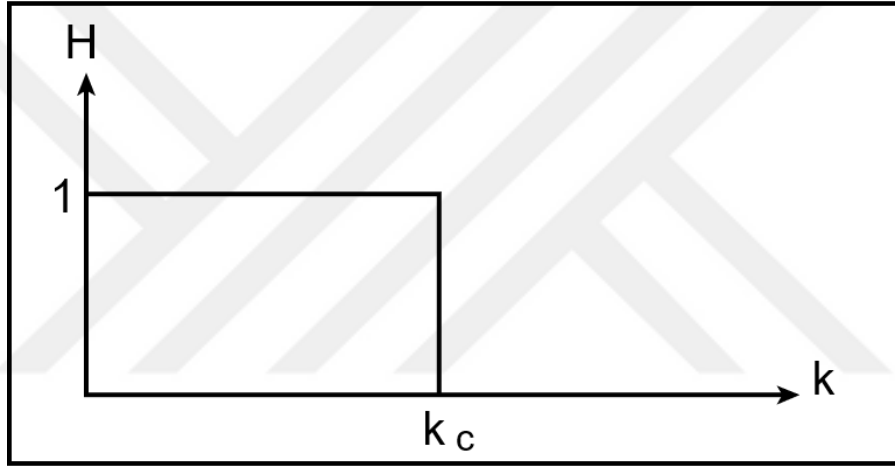


Şekil 12. Yer altında bulunan bir cisme ait model manyetik bir anomalinin kutba indirgmeden önce ve sonra görünümü (Blakely, 1995).

Süzgeçleme: Bilindiği üzere jeofizik yöntemlerden elde edilen verilerin hemen hepsi gürültünün farklı çeşitleri tarafından etkilenebilir. Bu gürültülerin bozucu etkileri veriler üzerinden atılmadığı müddetçe hem diğer veri-işlem adımlarını geçmek hem de yorumlamak için kaliteli jeofizik kesitler elde etmek mümkün olmayacaktır. Bu amaçla süzgeçleme sinyalin içermiş olduğu bilgi ve gürültünün birbirinden ayrılması için yapılmaktadır. Başka bir deyişle istenilen sinyal ile istenmeyen gürültüyü birbirinden ayırt etmek için süzgeçleme yapılır. Süzgeçler sinyallerdeki istenilen frekans bandında yer alan sinüzoidal bileşenlerin süzgeçten geçmesi, istenmeyen frekans bandından yer alan sinüzoidal bileşenlerin ise süzgeç tarafından sinyalden atılmasına dayanmaktadır. İdeal süzgeç yapıları frekans ortamında bir

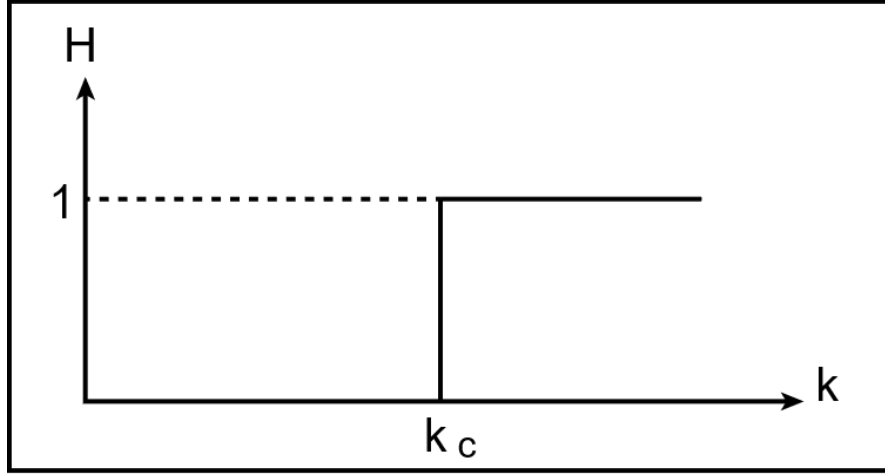
ve iki boyutlu olarak tasarlanır. Süzgeçleme işlemi frekans ortamında çarpma, zaman ortamında ise konvolüsyün işlemi ile gerçekleştirilir. Süzgeçler kesme ve geçirme frekanslarının seçimin göre sınıflara ayrılırlar. Temel olarak alçak geçişli, yüksek geçişli ve bant geçişli olarak tasarlanmaktadır.

Alçak Geçişli Süzgeçler: Alçak geçişli süzgeç ile düşük frekanslı sinyaller geçirilirken, kesme frekansından yüksek frekanslara sahip sinyaller atılır. Bu süzgeç ile istenmeyen yüksek frekanslı gürültüler veriden süzülür. $k=0$ 'dan $k=k_c$ 'ye kadar bütün dalga sayılarını geçiren ve k_c 'den büyük bütün dalga sayılarını sönümleyen süzgeçlerdir (Şekil 13). Alçak geçişli süzgeçde sığ değişimler süzülürken derin etkiler geçirilir.



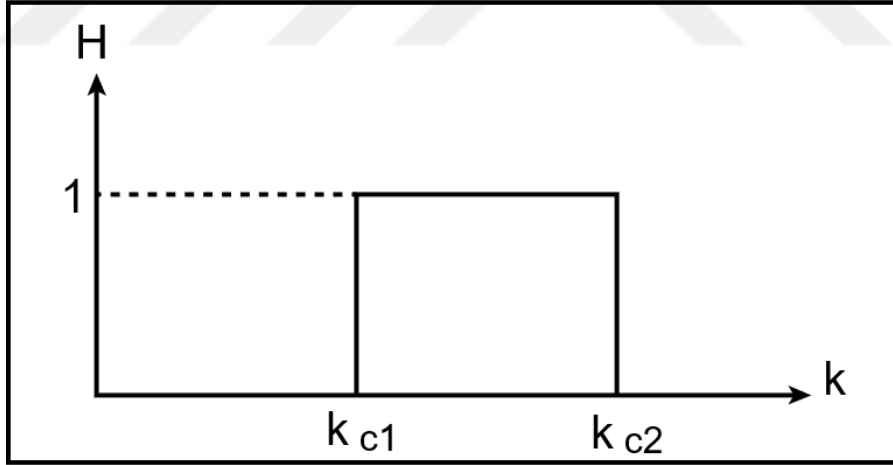
Şekil 13. Alçak geçişli bir süzgecin dalga sayısı ortamı genlik yanıtı

Yüksek Geçişli Süzgeçler: Yüksek geçişli süzgeç, aslında alçak geçişli süzgeçnin tersidir. Bu süzgeç kesme frekansında daha düşük frekansları atar. $0 \leq k \leq k_c$ aralığındaki dalga sayısını kesen ve $k > k_c$ aralığındaki dalga sayılarını geçiren süzgeçler yüksek geçişlidir (Şekil 14). Bu süzgeç türünde ise derin etkiler sinyalden atılır, sığ etkiler geçirilir.



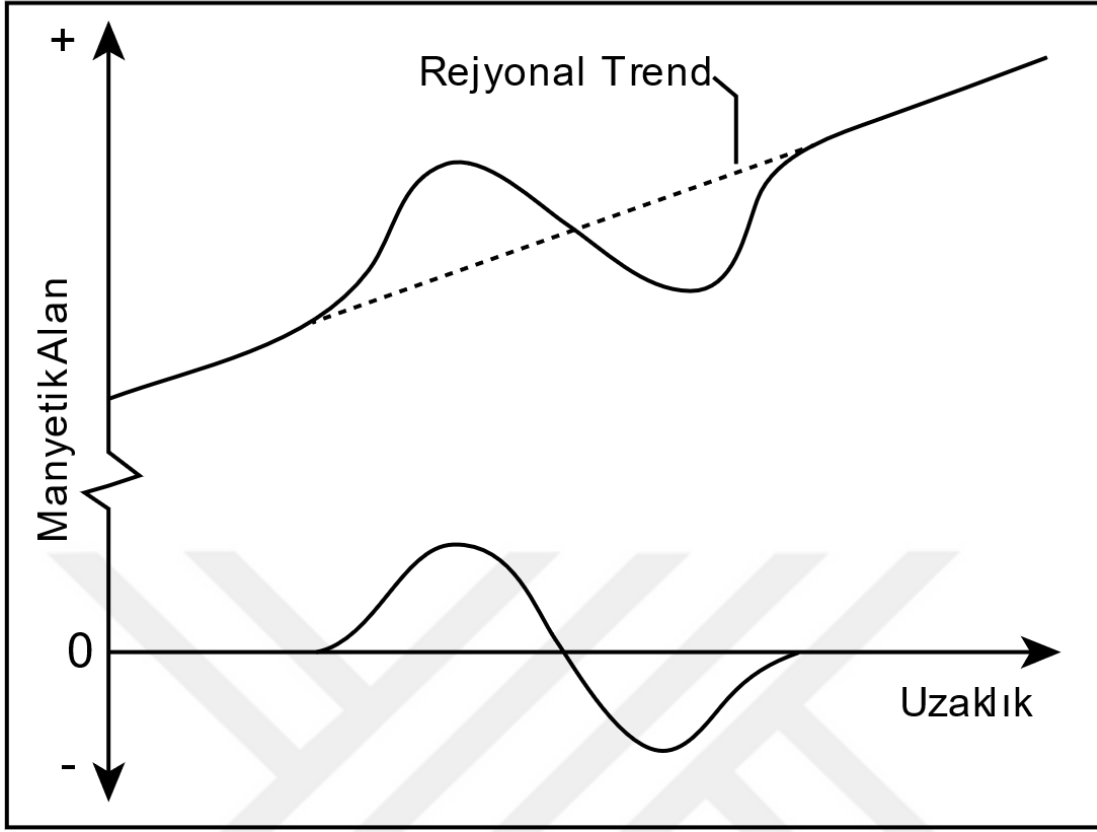
Şekil 14. Yüksek geçişli bir süzgecin dalga sayısı ortamı genlik yanıtı

Bant Geçişli Süzgeçler: Bant geçişli süzgeç, alçak ve yüksek geçişli süzgeçlerin bir kombinasyonu olarak düşünülebilir. Bu süzgeç belirli bir aralıktaki frekansları geçirip, tanımlanan aralığın dışında kalan frekansları süzer. Süzgeç k_{c1} ile k_{c2} arasında kalan tüm dalga sayılarını geçirir (Şekil 15).



Şekil 15. Bant geçişli bir süzgeçnin dalga sayısı ortamı genlik yanıtı

Trend Analizi: Nispeten küçük bir araştırma alanı üzerindeki bölgesel trendi kaldırmanın alternatif bir yöntemi, trend analizinin kullanılmasıdır. En küçük kareler kriteri kullanılarak gözlemlere bir trend çizgisi (profil verileri için) veya trend yüzeyi (alansal veriler için) yerleştirilir ve ardından yerel anormallikleri pozitif ve negatif rezidüeller olarak bırakmak için gözlemlenen verilerden çıkarılır (Şekil 16) (Kearey vd., 2002).



Şekil 16. Trend analizi ile bölgesel bir gradyanın manyetik alandan silinmesi. Bölgesel alan doğrusal bir trendle yaklaşık olarak belirlenir (Keary vd., 2002).

Yüzeyin tanımlanması ise uygun trendi gösteren polinom katsayılarının elde edilmesi ile yapılmaktadır. Trend analizi iki bağımsız değişken içeren farklı derecelerden polinomların sırasıyla harita verilerine uydurulmasından oluşmaktadır. Yapılan istatistiksel testler sonucunda veriye en iyi uyan polinomun temsil ettiği düzlem rejyonal trendi, trendden olan sapmalar ise rezidüelleri gösterir (Yüzgül 2010).

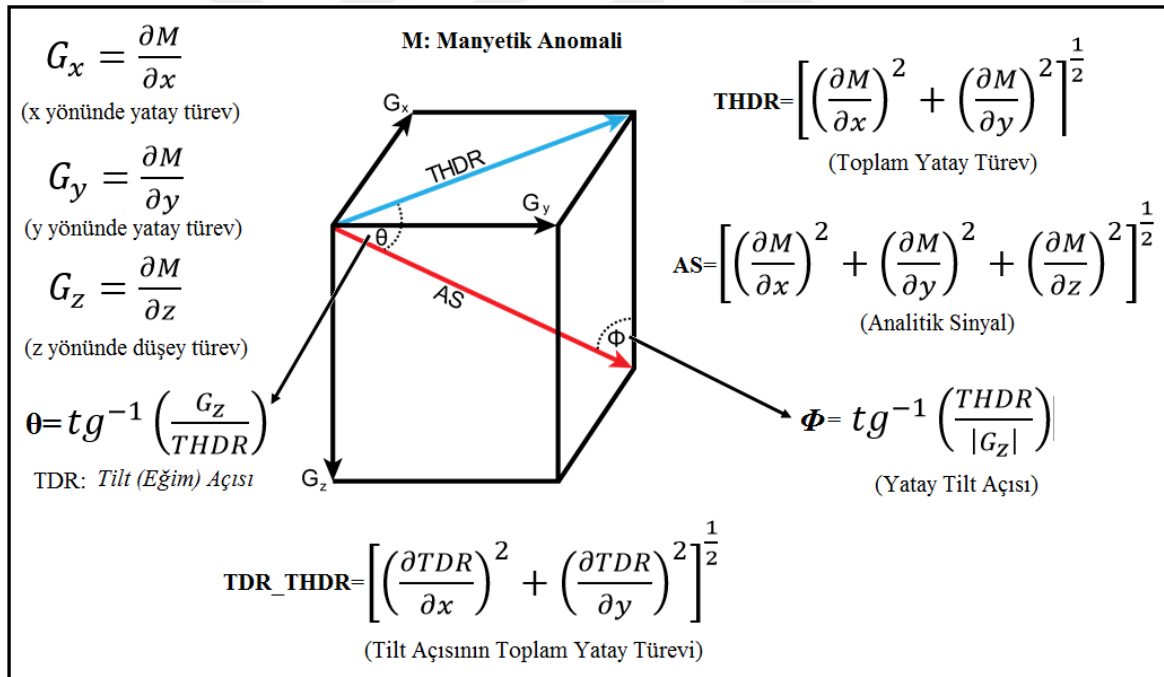
Sınır Analiz Teknikleri: Manyetik verilerden özellikle sınır analiz teknikleri ile mıknatıslanmış yapıların sınırlarını belirlemek yaygın bir uygulamadır. Yatay ve düşey türevler, manyetik verilerdeki ayrıntıları geliştirmek için rutin olarak kullanılır (Arısoy ve Dikmen, 2013). Bu tez çalışması kapsamında çalışılan bölgedeki çizgisellikleri ortaya çıkarmak için manyetik verilere bazı sınır analizi teknikleri uygulanmıştır. Bu teknikler aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Toplam Yatay Türev (THDR): THDR, fiziksel özelliklerin ani yanal değişikliklerini belirlemek ve kütle sınırlarını iyileştirmek için kullanılır. THDR, ilk yatay türevlerin x ve y

yönlerindeki kombinasyonlarının sonuç vektörüdür (Şekil 17) (Cordell ve Grauch, 1985). THDR nin en büyük genlik değeri anomali kaynağının sınırlarını verir.

Analitik Sinyal (AS): AS, manyetik alanın x, y ve z yönlerindeki türevleriyle ilgili bir fonksiyondur (Şekil 17) (Nabighian 1972; Roest vd., 1992). AS, genellikle manyetik inklınasyondan etkilenmeyen bir yöntem olarak kabul edilir. AS tekniği anomaliye sebep olan jeolojik yapılar üzerinde çan şeklinde anomaliler üretir ve kütle sınırlarında maksimum genlik verir.

Tilt (Eğim) Açısı (TDR): Eğim açısı, birinci düşey türevin arktanjanantının THDR'ye bölünmesi olarak tanımlanır (Şekil 17) (Miller ve Singh, 1994). Bu süzgeç, sinyal genliklerini eşitler ve dönüştürülen verilerin tepe noktalarını, kenarlar yerine kütlelerin merkezinde konumlandırır. Sonuç olarak, tilt açısı tekniği hem sığ hem de derin yapılardan daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 17. Manyetik anomalileri geliştirmek için kullanılan temel metotlar (Jacques vd., 2014'ten değiştirilerek düzenlenmiştir).

Tilt Açısının Toplam Yatay Türevi (TDR_THDR): Verduzco vd. (2004) kütlelerin kenarlarını maksimuma çıkarmak için TDR'nin THDR'sini uygulamıştır (Şekil 17). Yazarlara göre bu yöntemin avantajları, mıknatıslanma yönünden ve anomalilerin genliğinden bağımsız olmasıdır. Tilt açısının toplam yatay türevinin derin mıknatıslanmış

yapılar için daha detaylı sonuçlar ürettiği ve yapılar üzerinde keskin bir yanıt verdiği gözlenmiştir (Arisoy ve Dikmen, 2013).

CET (Centre for Exploration Targeting) Grid Görüntü Analiz Tekniği: Curtin Üniversitesinin Araştırma Hedefleme Merkezi'ndeki bir grup, manyetik ve gravite verisi ile süreksizlikleri bulmak, vektörleştirmek ve iyileştirmek için CET Grid görüntüleme analiz tekniğini geliştirmiştir (Trepil vd., 2021). Holden vd. (2012) tarafından geliştirilen teknik, doku analizi ve iki taraflı simetrik özellik tespitin bir kombinasyonunu kullanarak süreksizlikleri tanımlar. CET grid analizi, doku analizi, çizgisellik tespiti, çizgisellikleri vektörleştirme ve yapısal karmaşıklıkların belirlenmesi için kullanılan otomatik bir araçtır. CET Grid analizi tekniği, doku analizi, faz analizi ve yapı tespiti için araçlar içerir. Bunlar, grid dokusu analizi, çizgisellik tespiti, sınır tespiti ve eşik tespiti için yararlı olan çok yönlü algoritmalarıdır. Doku analizi, her bir görüntü konumunun yerel komşuluğunu karakterize eder. Doku analizi yapılırken Standart sapma ve Entropi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılabilir. Standart sapma (STD), gri tonlamalı piksel yoğunluklarının yayılmasını temsil eder. Böylece, süreksizlik bölgeleri yüksek standart sapma değerleri sergileyecektir. Alternatif olarak, bir entropi işleci de yerel manyetik anormallikleri artırmak için etkili olduğu bulunmuştur. Ortalama değeri μ olan N hücre içeren bir pencere için, x_i hücre değerlerinin standart sapması (σ) aşağıdaki gibi verilir:

$$\text{Standart Sapma: } \sigma = \sqrt{\left[\frac{1}{N} \sum (x_i - \mu)^2 \right]} \quad (7)$$

$$\text{Entropi: } E = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (8)$$

Entropi de ise p olasılıktır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

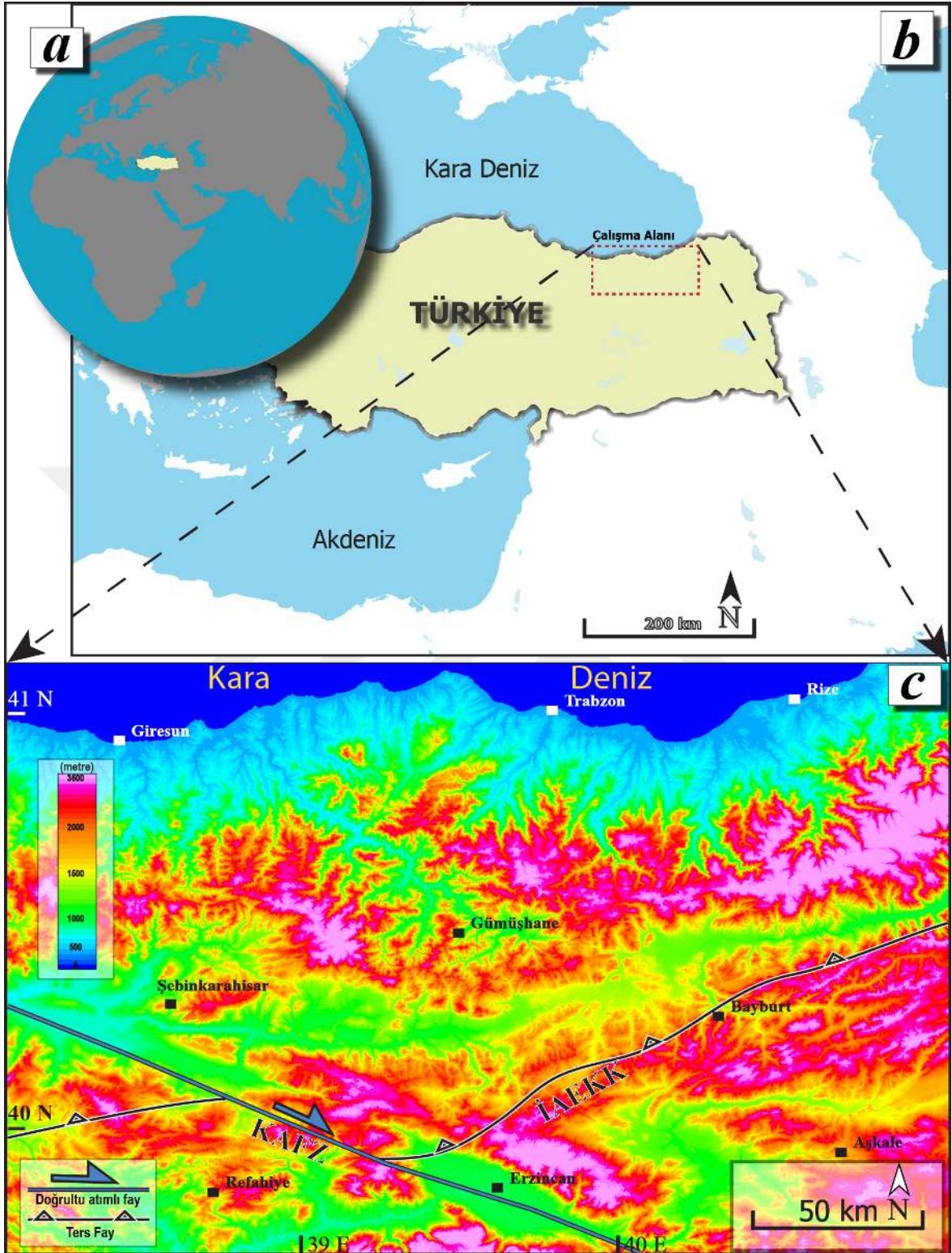
2.1. Çalışma Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı; coğrafik olarak Türkiye'nin kuzey-doğu bölgesinde, 38^0 - 41^0 doğu boylamları ve 39.5^0 - 41.2^0 kuzey enlemleri ile sınırlandırılmıştır (Şekil 18). Yaklaşık 45000 km² lik bir alanı kaplayan bölge, literatürde Pontidler olarak isimlendirilen tektonik birliğini temsil etmektedir. Bölge kuzeyde Karadeniz ile güneyde ise yaklaşık olarak Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı (İAEKK) ile sınırlandırılmaktadır.

Kıyıya paralel yaklaşık doğu-batı uzanımlı Doğu Karadeniz dağları 3500 metreyi aşan yükseklikleri ile topografik olarak alanı güney ve kuzey olmak üzere iki bölgeye ayıran bir bariyer görevi görmektedir. Denizden itibaren ani yükseklik artışları ve yaklaşık kuzey-güney yönlü derin vadiler ile aşındırılmış bu dağ kuşağı yaklaşık 40.5^0 enleminden itibaren batıda yüksekliklerini sabitleyerek KAFZ'nin etkisi ile yerini görece geniş düzlük alanlara bırakmıştır.

Çalışma alanının doğusunda ise, kıyı bölgelerdeki Doğu Karadeniz Dağları içerilere (güneye) doğru devam ederek KAFZ ve İAEKK'nın şekillendirdiği tektonizmaya bağlı olarak yaklaşık çapraz kuzeydoğu-güneybatı ve güneybatı-kuzeydoğu uzanımlı vadiler ile sınırlandırılmıştır. Kuzeyde ve doğudaki bu yüksek dağ sıralarının haricinde güney alanları yüksekliği 1000 metreyi bulan bir plato oluşturmaktadır.

Kuzeydeki bu engebeli ve denizden ani olarak yükselen dağ silsileleri bir bariyer görevi görerek kuzey ile güneyi tamamen birbirinden farklı iki bitki örtüsü ile donatmıştır. Kuzey bölgeler, yaklaşık 1800 metrelerce kadar yoğun bir bitki örtü hâkimiyetinde olması nedeniyle, jeolojik açıdan sınırlı mostralara gözlenmesine neden olmaktadır. Bunun aksine güneye doğru daha kurak bir iklim ve yüksek plato hâkimiyeti, bölgedeki akarsular etrafında bitki örtüsünü sınırlı kılmış ve dolayısıyla geriye kalan açık alanlarda jeolojik açıdan geniş yüzleklerin gözlenmesine vesile olmaktadır.



Şekil 18. a) Afrika-Avrasya kıtaları merkezindeki Türkiye ve çalışma alanı. b) Türkiye'nin kuzeydoğusunda kalan çalışma alanının sınırları, c) Çalışma alanı sayısal yükseklik haritası (ASTER GDEM v2, Web-1: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>)

2.2. Yapay ve Gerçek Manyetik Veriler Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Çalışma alanı için gerçek manyetik veriler üzerinde analizler yapılmadan önce uygulanacak olan tekniklerin test edilmesi amacı ile öncelikle farklı derinlik ve geometriye sahip yapay modeller üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapay modeller için; 1) yüksek geçişli süzgeçleme, 2) Tilt Açısı (TDR), 3) Tilt açısının toplam yatay türevi (TDR_THDR), 4) Düşey yönde 1. türev ve 5. ve 6. yöntemler olarak sırasıyla düşey yöndeki 1. türev anomali haritasının, 5) Tilt açısı ve 6) Tilt açısının toplam yatay türevleri hesaplanarak farklı anomali haritaları elde edilmiştir. Altı farklı yöntem sonucunda elde edilen bu anomali haritaları ikinci aşama olarak nicel ve nitel yönden analiz edilmiş, yöntemlerin kendi aralarında bir kıyaslanması da yapılmıştır. Böylelikle yeraltı geometrileri ve pozisyonları bilinen model kütlelerinin hangi yöntem veya yöntemler ile daha iyi ayırt edilebildiği irdelenmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmaların ikinci kısmını ise gerçek manyetik veriler üzerinde yapılan çeşitli düzeltmeler ve analizler oluşturmaktadır. Bunun için iki farklı manyetik veri kaynağı kullanılmıştır. İlk veri kaynağı olarak global ölçekte hava, yer ve deniz manyetik ölçümlerinin birleştirilerek oluşturulan EMAG-2 3.versiyon (Earth Magnetic Anomaly Grid, 2-arc-minute resolution) olarak isimlendirilen ve Amerikan NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi, Amerika Birleşik Devletleri) kuruluşu tarafından sağlanan açık kaynak veriler kullanılmıştır. İkinci veri kaynağı olarak; çalışma alanında GSM-19T (GEM Sistem, Kanada) tipi proton manyetometresi (Şekil 11) kullanarak toplanan toplam manyetik alan ölçümleri kullanılmıştır. Bunun için araziden toplamda 435 noktadan yer manyetik alanının toplam bileşen ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 28a).

Farklı kaynaklardan elde edilen bu ham verilere öncelikli olarak çeşitli düzeltmeler (kutba indirgeme, trend, süzgeçleme vb.) uygulanmıştır. Tüm bu veri-işlem aşamalarından sonra nokta veriler Kriging gridleme metodu kullanılarak gridlenmiş ve manyetik anomali haritaları üretilmiştir. İkinci aşama olarak; gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra bu iki veri kaynağından elde edilen manyetik anomali haritaları model verilerine uygulanan 6 farklı yöntem ile analiz edilmiştir. Çalışma alanı için üretilen bu manyetik anomali haritaları daha sonra olası yer altı kütle sınırlarının tespiti, litolojik değişimlerin belirlenmesi, tektonik hatların ortaya çıkartılması gibi amaçlar için nicel ve nitel yönden irdelenmiştir.

2.2.1. Yapay Verinin Üretilmesi ve Sınır/Çizgisellik Analizi

Gerçek manyetik veriler üzerinde çalışmalara başlamadan önce kullanılacak yöntemlerin CET analizi aşamasında başarısını ölçmek /test etmek amacı ile yatay ve düşey konumları ve geometrileri bilinen 6 farklı kütle (prizma) için sabit bir süseptibilite değerine (0.1 SI,) karşı toplam alan manyetik anomali haritası Matlab tabanlı POTENSOFIT programı (Arısoy ve Dikmen, 2011) kullanılarak üretilmiştir (Şekil 19). Şekil 19’da 6 farklı modelin geometri/pozisyonları gösterilerek, üretmiş oldukları toplam alan manyetik anomali haritası Kriging gridleme yöntemi ile çizdirilmiştir. Daha sonra üretilen bu anomali haritası, literatürde sınır/çizgisellik analizleri için yaygın olarak kullanılan 6 farklı metot ile analiz edilerek, kütlelerin bilinen geometri ve pozisyonları için çözüm yetenekleri irdelenmiştir. Analizler için Oasis Montaj 8.4 versiyonunda CET Grid Analizi modülü kullanılmıştır. Bu modül anomali haritasının dokusal değişikliklerini iki farklı yöntem ile belirlemeye çalışmaktadır. Entropi ve standart sapma yöntemleri ile anomali haritaları üzerinde sınırlar/çizgisellikler belirlenerek sayısal sonuçları 6 farklı metot için elde edilmiştir.

İlk yöntem olarak klasik süzgeçleme tekniği uygulanmıştır. Bunu için modellerin kütle sınırlarını ve yeryüzündeki iz düşüm pozisyonlarını daha belirgin hale getirmek için anomali haritası dalga sayısı 1/10 km lik bir yüksek geçişli süzgeçten geçirilmiştir. Kütlelerin minimum eksen uzunluğu yaklaşık 8-10 km olduğu için süzgecin dalga sayısı da buna uygun ($k = \sim 0.6$) olarak seçilmiştir. Süzgeçlenmiş anomali haritası ve uygulanan çizgisellik analizlerinin sonuçları Şekil 20’de verilmektedir. Sonuçlar irdelendiğinde göreceli sığ yapıların sınırları CET entropi ve standart sapma yöntemleri ile oldukça başarılı olarak belirlenebildiği görülmektedir. Fakat görece daha derin yapılarda CET entropi yönteminde sınırlarda bir saçılma meydana gelmiş buna karşın CET standart sapma yönteminde kütle sınırları hala açık bir şekilde görülmektedir.

İkinci yöntem olarak model anomali haritasının tilt (eğim) açısı (TDR) dönüşümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 21a). Daha sonra bu tilt açısı anomali haritası üzerinde yine model sınırlarının belirlenmesi amacı ile CET analizi yapılmıştır. Sınırların ortaya çıkartılması için entropi ve standart sapma yöntemlerinden elde edilen anomali haritaları karşılaştırmalı olarak Şekil 21’de verilmiştir. İki yöntemin (entropi ve standart sapma) kendi aralarındaki karşılaştırılmasında standart sapma yöntemi ile sınırların daha belirlenebilir olduğu görülmektedir. Burada yine derinliği az olan yapılar daha belirgin ve tutarlı olarak saptanabilmiştir (Şekil 21c ve e). Entropi yöntemi sığ yapılar için daha iyi sonuçlar verse de

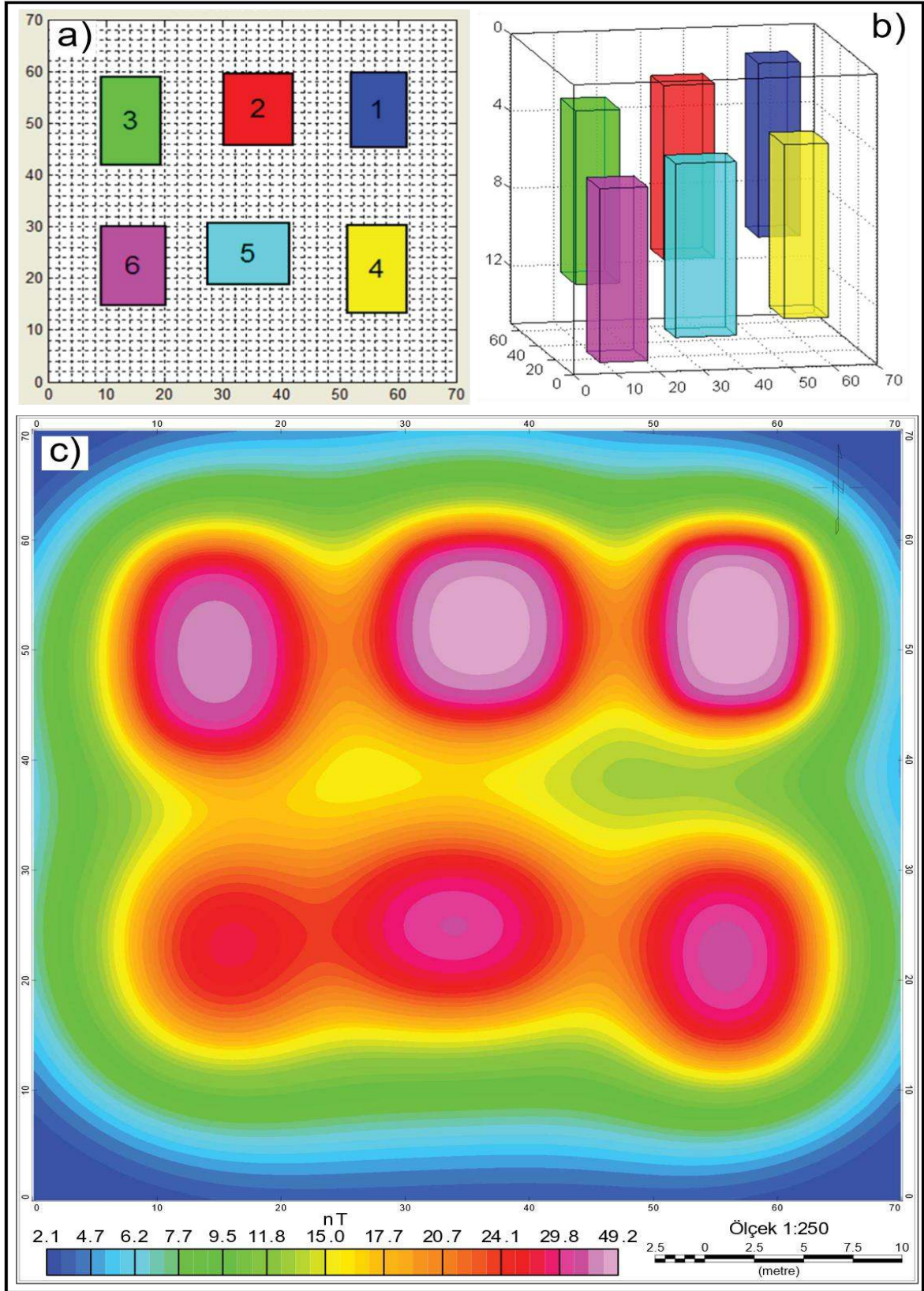
genel olarak sığ ve derin yapıların belirlenmesinde sınırlarda saçılmalar meydana getirmiştir. Ayrıca her iki yöntemde de genel olarak anomali haritasının dış sınırları civarında modellerle ilişkisi olmayan tamamen haritanın sınırlarından kaynaklı yapay veriler görülmeye başlanmıştır (Şekil 21 d ve e).

Üçüncü yöntem olarak model anomali verisine tilt açısının toplam yatay türevi (TDR_THDR) uygulanmıştır (Şekil 22a). CET analizi ile elde edilen 2 farklı yöntem (entropi ve standart sapma) sonucunda modellerin iki yöntemde de yaklaşık yerleri/sınırları belirlenebilmektedir. İki yöntemi kendi arasında kıyaslırsak, standart sapma metodunun bu sınırların belirlenmesinde daha başarılı olduğu görülmektedir (Şekil 22e). Sınırlar kabaca belirgin olmasına rağmen prizma şekilli modeller daha oval yapıya dönüşmüştür. Entropi yöntemi kadar olmasa da standart sapma yönteminde de sınır etkilerinden kaynaklı yapay veriler görülmektedir (Şekil 22e).

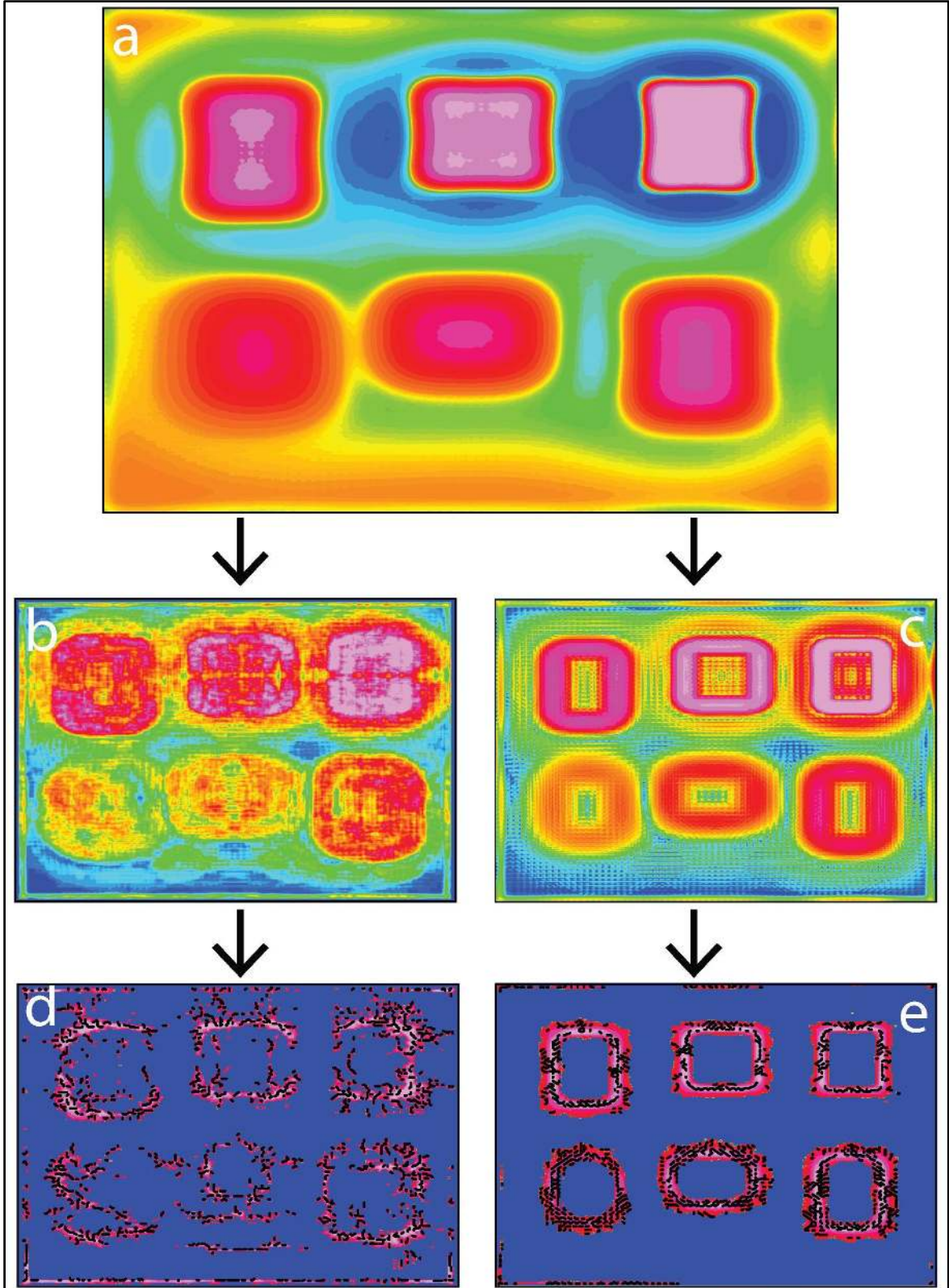
Dördüncü yöntem olarak yine veri işlem analizlerinde sıklıkla kullanılan türev (düşey) yöntemi uygulanmıştır (Şekil 23a). CET analizi sonucunda iki yöntem ile de model sınırları belirlenebilmekte ve standart sapma yöntemi daha başarılı sonuçlar üretmektedir (Şekil 23). Yine entropi yönteminde sınır etkisi kaynaklı yapay veriler anomali haritasında daha belirgindir.

Beşinci yöntem olarak; model anomali verisinin düşey yönde birinci türevine tilt açısı (TDR) uygulanmıştır (Şekil 24a). CET analizi ile elde edilen 2 farklı yöntem (entropi ve standart sapma) sonucunda modellerin görece olarak en iyi standart sapma yöntemi ile belirlenebildiği görülmüştür (Şekil 24e). Entropi yönteminde sığ kütleler belli belirsiz kestirilebilmekle beraber özellikle sınır etkisi nedeniyle yapay veriler model sonuçlarını bastırarak model sınırlarını belirsizleştirmiştir (Şekil 24b ve d). Standart sapma yönteminde bu yapay etkiler çok daha az olmasına rağmen model sınırlarını birleştirerek, kütlelerin kendi içinde ayrımının yapılmasını zorlaştırmıştır (Şekil 24e).

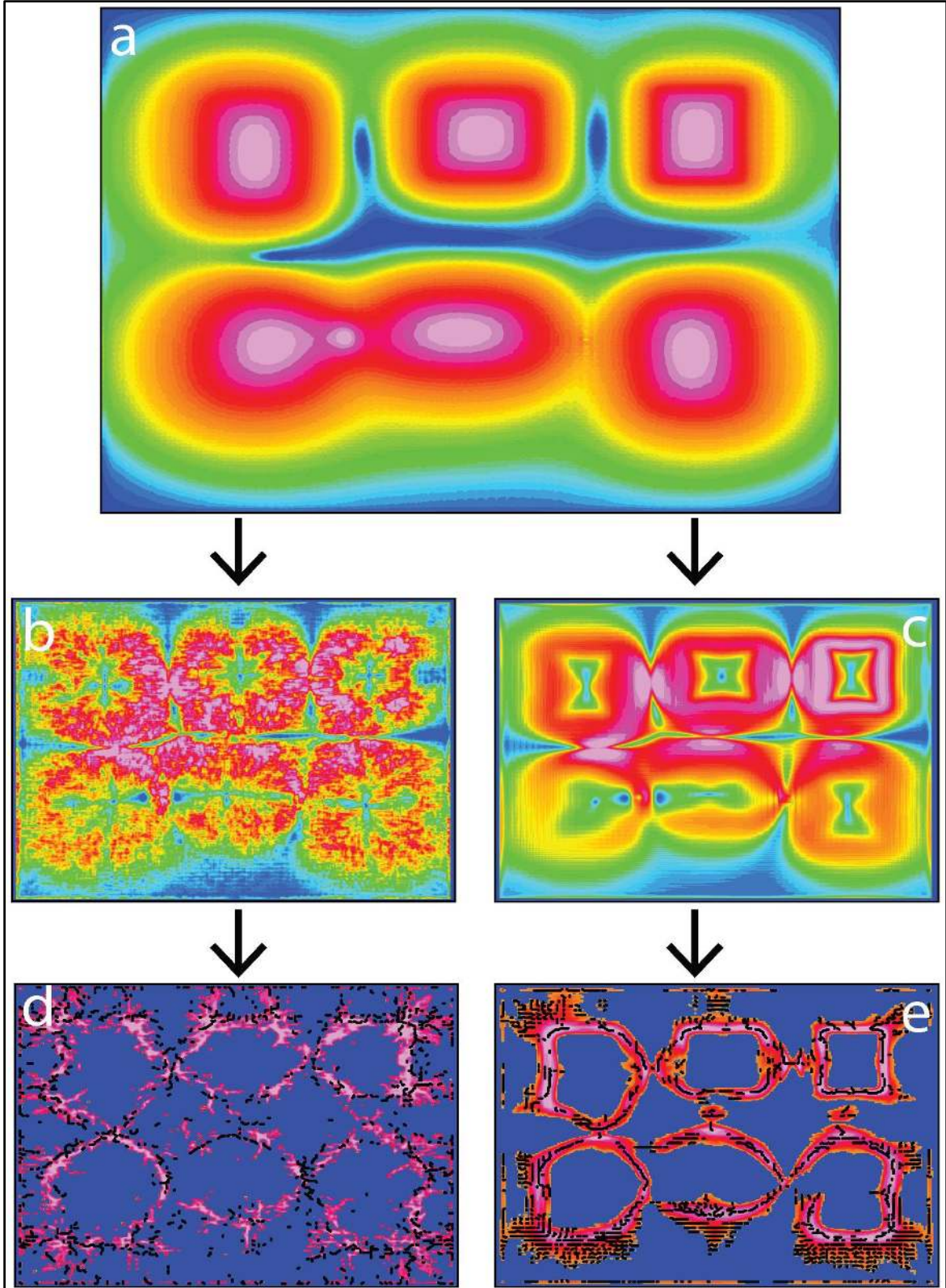
Son yöntemde; birinci türev verisine tilt açısının toplam yatay türevi uygulanmıştır (Şekil 25a). CET analizi sonucunda standart sapma yöntemi ile görece olarak model geometrileri daha iyi kestirilebilmesine rağmen, genel olarak iki yöntem ile de yapay etkiler baskın haldedir ve model sınırları/ayrımlılıkları çok belirgin değildir (Şekil 25).



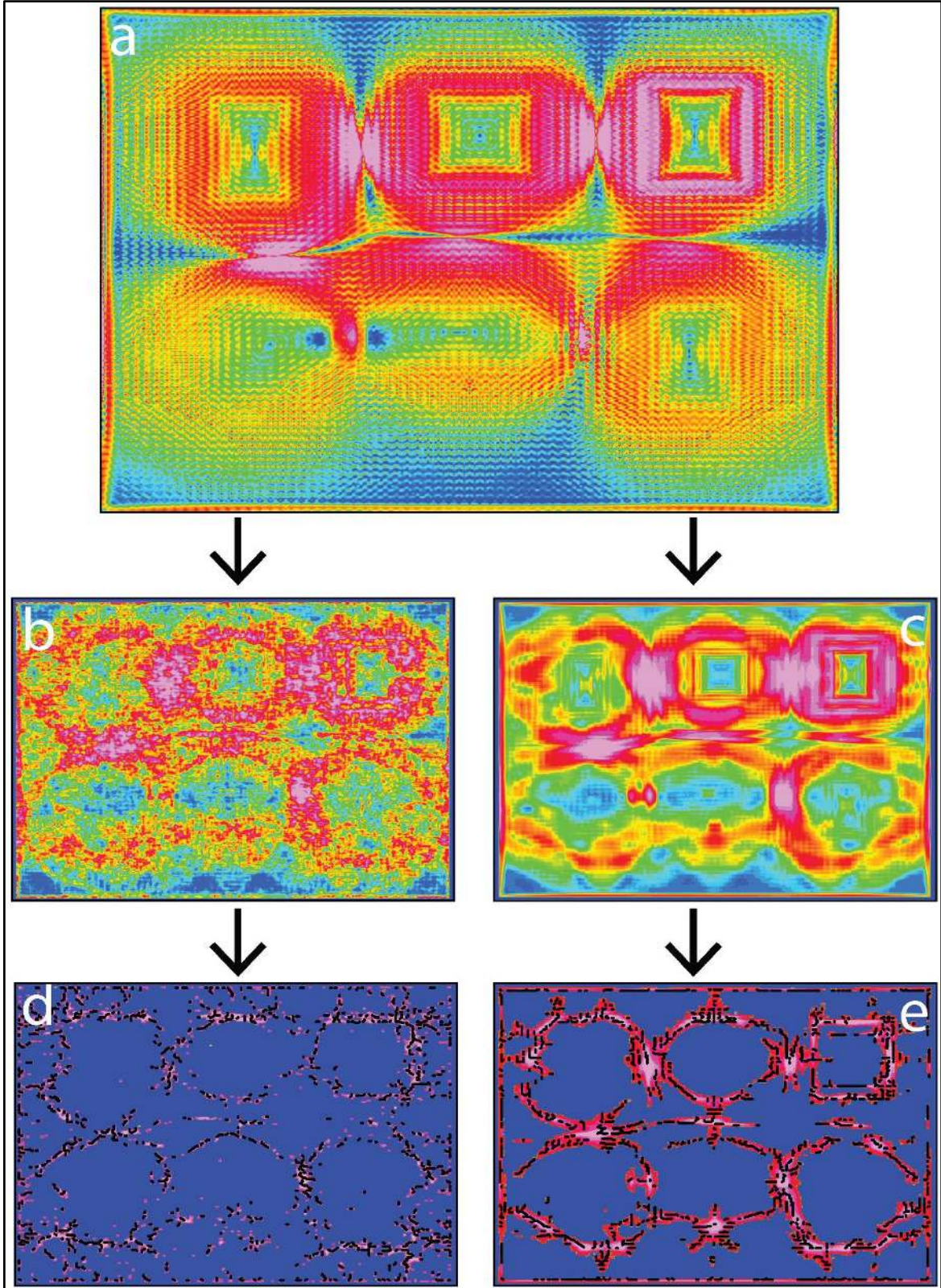
Şekil 19. a) Manyetik model çalışması için kullanılan 6 farklı prizmanın kuşbakışı görünümü. b) Prizmaların yatay ve düşey yöndeki pozisyonları (yatay ve düşey eksen uzunlukları kilometre) c) Modellerden üretilen toplam alan manyetik anomali haritası



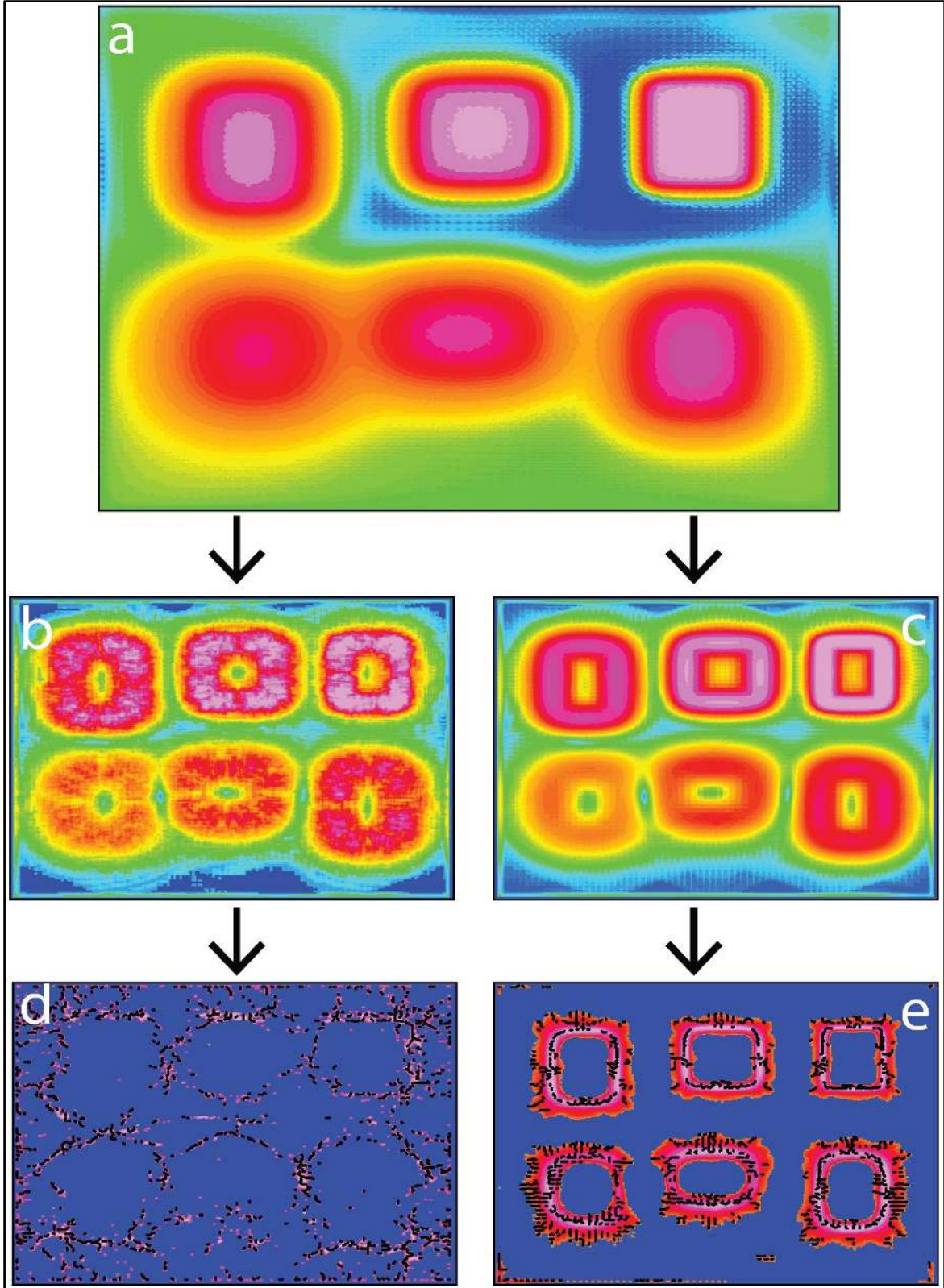
Şekil 20. a) Şekil 19'daki prizmalara ait sentetik anomali verisine yüksek geçişli süzgeç uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



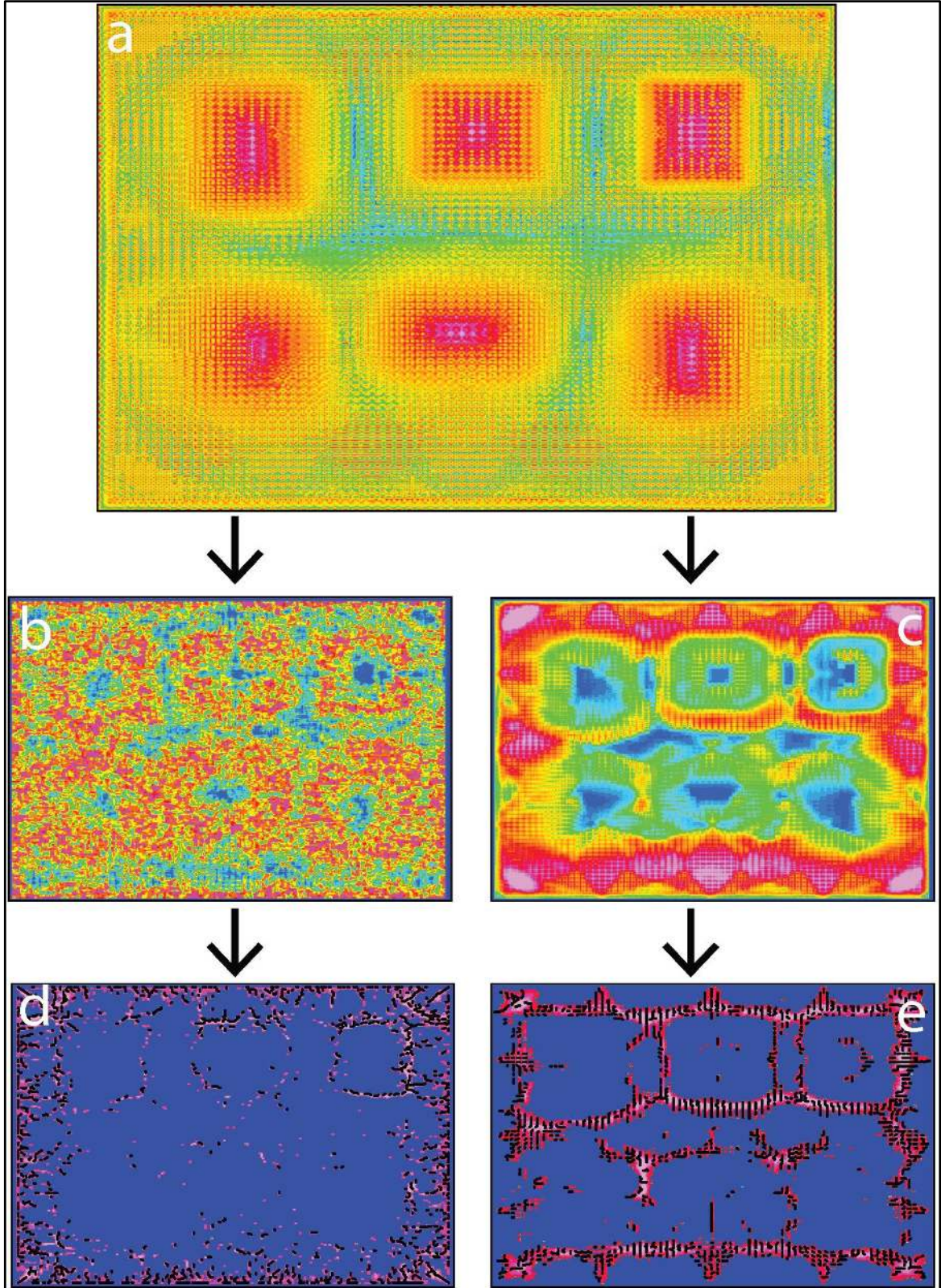
Şekil 21. a) Şekil 19'daki prizmalara ait sentetik anomali verisine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



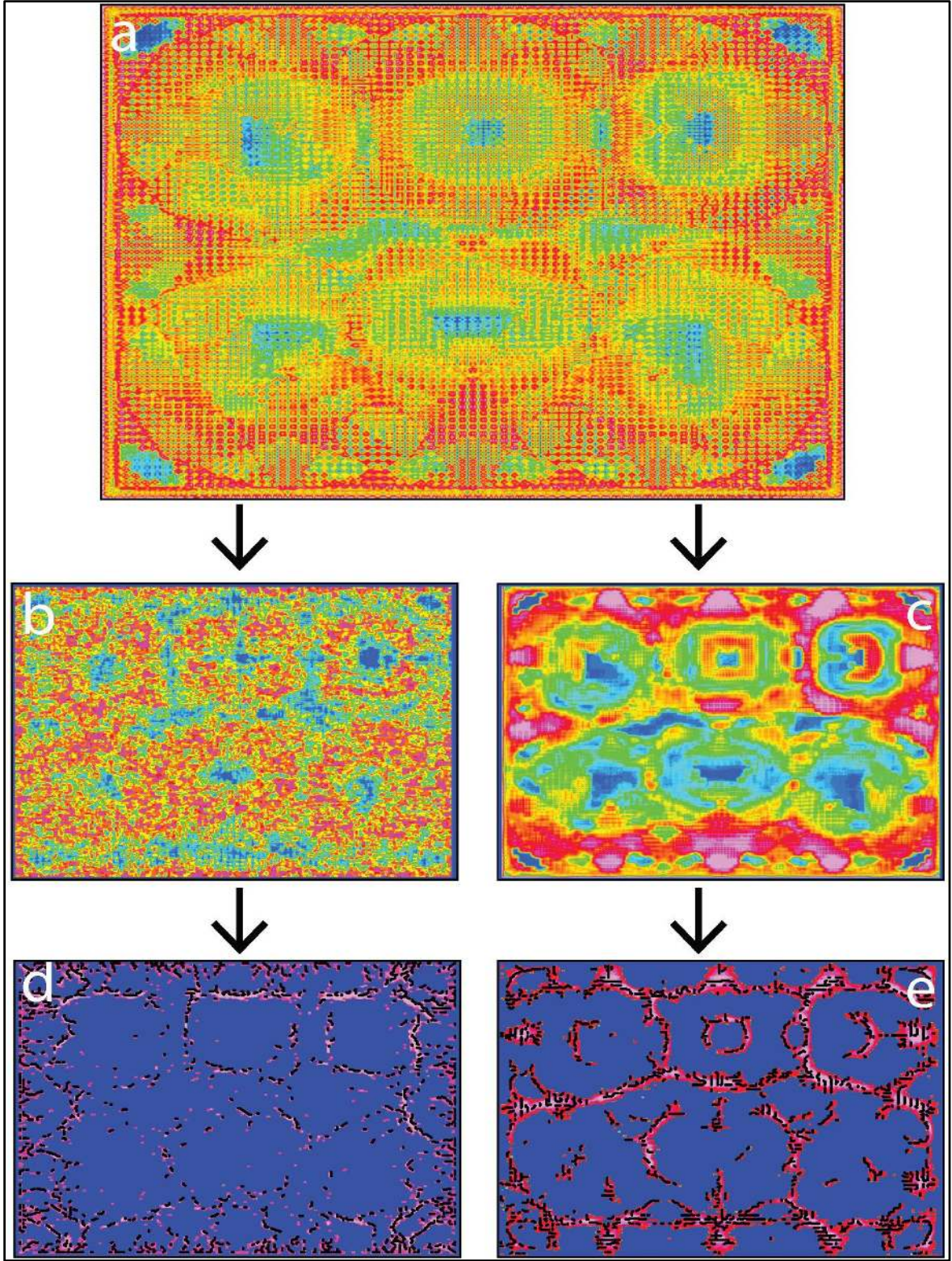
Şekil 22. a) Şekil 19'daki prizmalara ait sentetik anomali verisine tilt açısının toplam yatay türevi uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



Şekil 23. a) Şekil 19'daki prizmalara ait sentetik anomali verisinin düşey yönündeki birinci türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



Şekil 24. a) Şekil 23a'daki prizmalara ait sentetik anomali verisinin birinci türevine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir

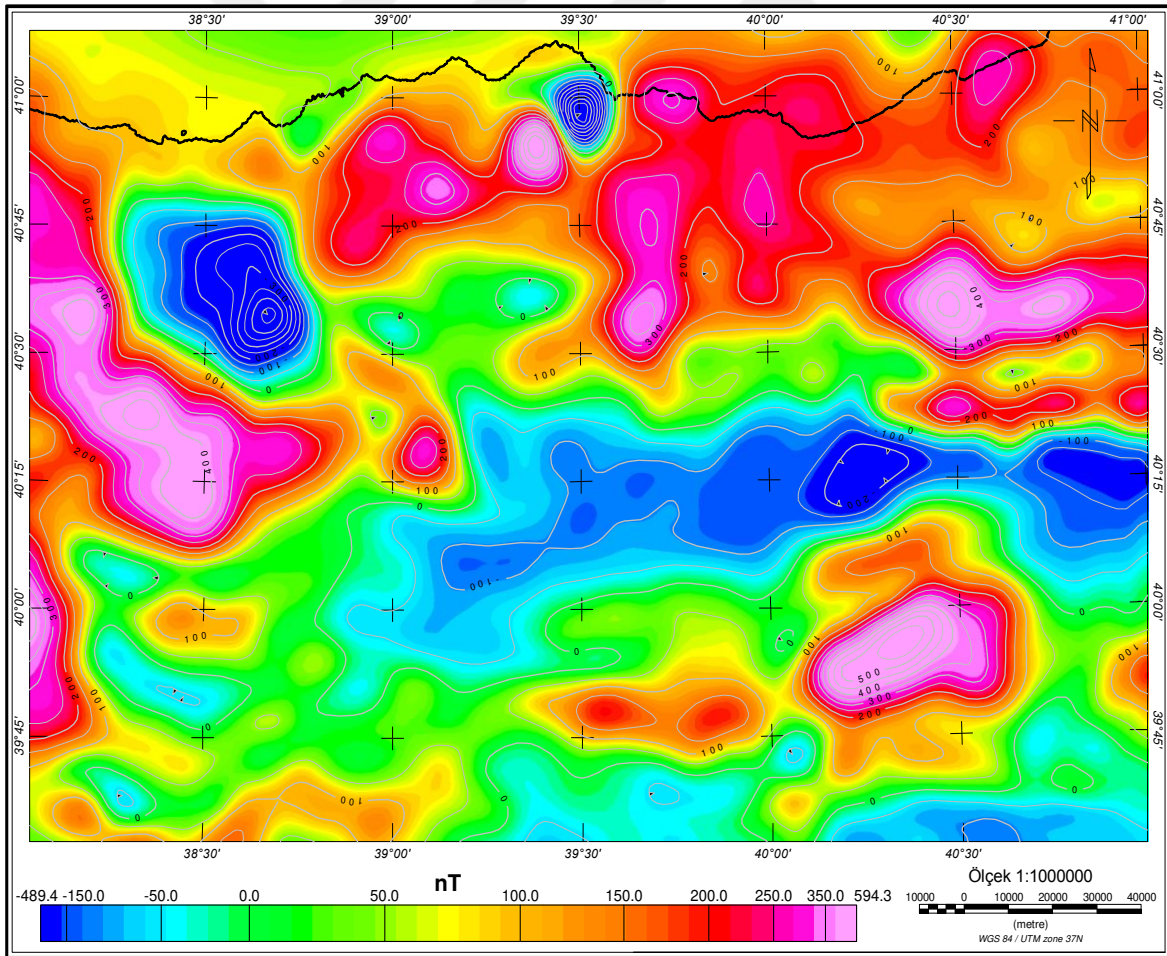


Şekil 25. a) Şekil 23a'daki prizmalara ait sentetik anomali verisinin birinci türevine tilt açısının toplam yatay türevi uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi sonucu c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi sonucu d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir

2.2.2. Gerçek Manyetik Verilerin Elde Edilmesi ve Değerlendirilmesi

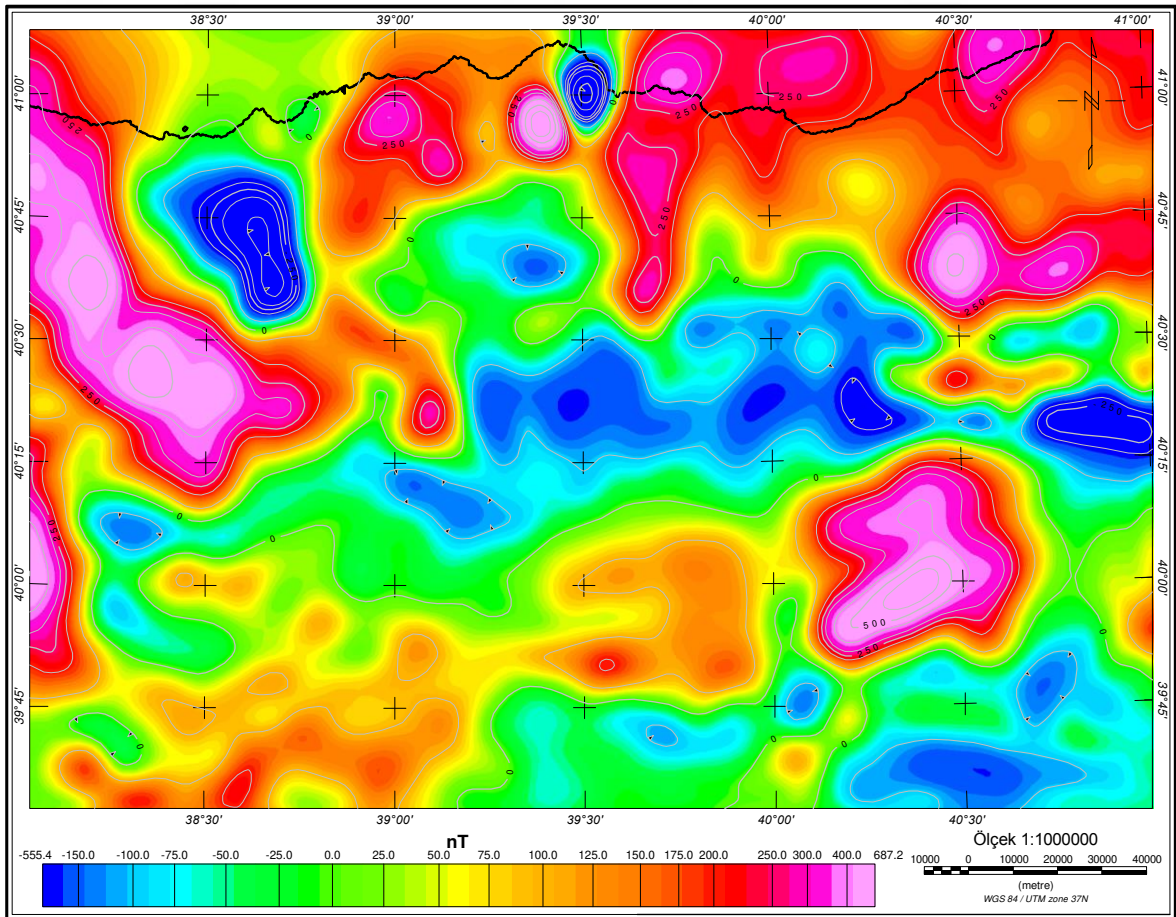
Çalışma alanı için yer manyetik alanının toplam bileşen verisi iki farklı kaynaktan elde edilmiştir. Bu manyetik verilerden üretilen anomali haritaları, yine benzer bir şekilde yapay modeller üzerinde yapılan yöntemler ile analiz edilmiştir.

Bu analizlerden önce standart bir manyetik prospeksiyon çalışmasında uygulanan rutin düzeltmeler her iki veri kaynağı içinde uygulanarak bölge için standart anomali haritaları oluşturulmuştur. Bu sayede, iki farklı kaynağın doğası gereği aralarındaki ölçüm yüksekliğinden kaynaklı farklar giderilerek, manyetik veriler hem kendi aralarında kıyaslanabilir hale getirilmiş, hem de sonraki aşamalarda uygulanacak CET analizi ve diğer yöntemler için standart düzeltilmiş manyetik anomali haritaları (sadece yeraltındaki yapıların etkilerini içeren) elde edilmiş olacaktır.



Şekil 26. Çalışma bölgesi için, EMAG-2v3 (Earth Magnetic Anomaly) global manyetik veri kaynağına ait toplam manyetik alan anomali haritası (Meyer vd., 2017).

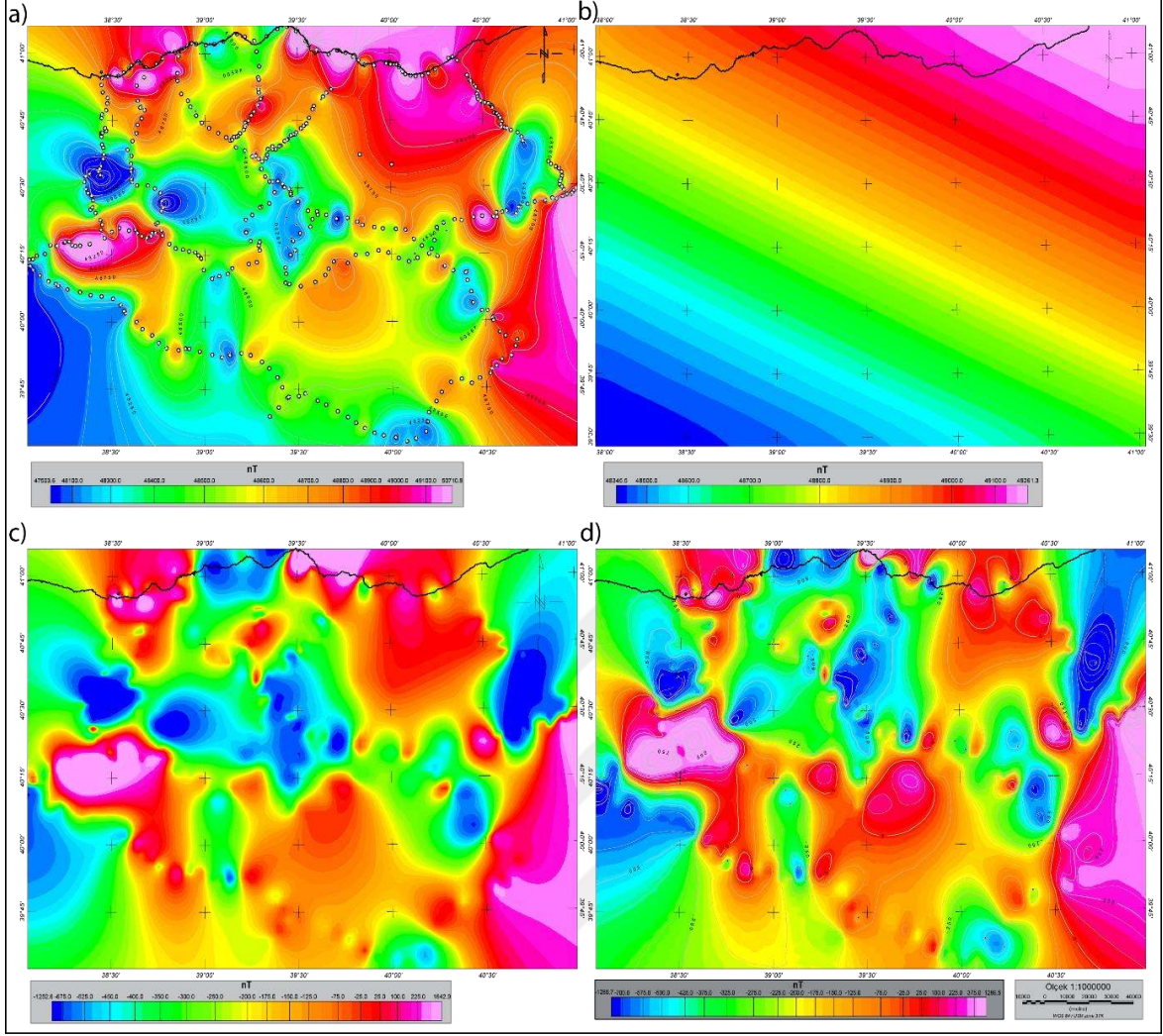
EMAG-2 veri kaynağından elde edilen ham veri, Kriging gridleme yöntemi kullanılarak toplam alan manyetik anomali haritası oluşturulmuştur (Şekil 26). Hava manyetik verilerin alındığı kaynaktaki açıklamaya göre; tüm veriler deniz seviyesinden 4 kilometre yüksekliğe göre sabitlenmiştir. Veriler halihazırda sadece yerin kabuksal değişimlerine duyarlı oldukları için trend analizi ikinci kez uygulanmamıştır. Sadece manyetik düzeltme olarak kutba indirgeme işlemi uygulanmıştır. Kutba indirgeme işleminde; manyetik verinin derlendiği çalışma sahası için inklinasyon ve denklinasyon değerleri sırasıyla 59^0 ve 4.5^0 olarak alınmıştır. Çalışma alanı için Kutba indirgenmiş toplam alan manyetik anomali haritası Şekil 27’de verilmektedir.



Şekil 27. Şekil 26’da verilen çalışma alanına ait manyetik verinin kutba indirgenme işlemi sonrasında elde edilen toplam alan manyetik anomali haritası

Gerçek verilerin ikinci kaynağını ise 2020 yılı Eylül-Ekim ayları arasında çalışma bölgesinde toplamda 435 noktadan toplanan manyetik veriler oluşturmaktadır. Araziden toplanan ham manyetik verilere ilk düzeltme olarak ölçüm alınan zaman dilimindeki günlük

değişimlerin giderilmesi işlemidir. Bu amaçla çalışma alanına yakın sayılacak bir bölgeye baz istasyonu kurularak günlük değişimler ölçülmüştür. Baz istasyonunda yine GSM19T proton manyetometresi kullanılmıştır. Baz istasyonu Malatya-Adıyaman arasında kalan bir bölgede başka bir amaçla yapılan bir çalışma kapsamında kurulmuş ve gün boyu sürekli olarak ölçümler alınmıştır. Baz istasyonunda alınan ölçümler incelendiğinde yer manyetik alanından önemli bir değişikliğin olmadığı gözlenmemiştir. Böylece çalışma alanında alınan ölçümlerde günlük değişimlerinin giderilmesine gerek olmamıştır. Bir önceki veri kaynağından farklı olarak yer manyetik alanını toplam vektörü ölçüldüğü için bu verilerden ölçüm aldığımız döneme ait yer manyetik dipol alanının etkisinin çıkartılması gerekmektedir. Ancak bu sayede yerin kabuksal bölümünün manyetik değişimleri elde edilmiş olacaktır. Bu işlem için öncelikle IGRF (International Geomagnetic Reference Fields) model verileri çalışma bölgesi için oluşturulmuştur (Şekil 28b). Daha sonra araziden ölçülen ham veriden bu model verisi (trend) çıkartılmıştır (Şekil 28c). En son olarak EMAG-2 verisi için uygulanan kutba indirgeme işlemi aynı inklinasyon ve denklinasyon değerleri kullanılarak kendi ölçüm aldığımız ve trend etkisi çıkartılmış veriye uygulanmıştır. Veri, Kriging yöntemi ile gridlenerek çalışma sahası için nihai toplam manyetik anomali haritası elde edilmiştir. (Şekil 28d).



Şekil 28. Çalışma bölgesi için, a) Proton manyetometresi kullanılarak ölçülen toplam alan manyetik verilerine ait gridlenmiş manyetik anomali haritası b) 2021 yılına ait IGRF (International Geomagnetic Reference Fields) model (trend) manyetik anomali haritası c) Şekil 28a'daki verilen toplam manyetik alan anomali haritasından Şekil 28b'de verilen IGRF model (trend) verisinin çıkartılmasıyla elde edilen çalışma alanına ait toplam manyetik alan anomali haritası. d) Şekil 28c'deki verilen çalışma alanına ait toplam alan manyetik verisinin kutba (kuzey kutup) indirgenme işlemi sonrasında elde edilen manyetik anomali haritası

Aynı yöntem ile elde edilmiş, aynı fiziksel değişimi ölçen ancak farklı ölçeğe (ölçü birimine) sahip verileri anlamlı bir şekilde karşılaştırabilmek için, bu veriler normalize edilerek aynı ölçeğe getirilir. Normalleştirmenin temel amacı her veri noktasının aynı ölçeğe sahip olmasını sağlamaktır. Literatürde ondalık, Z-score, sigmoid, min-max normalizasyonu gibi farklı türlerde ve farklı eşitlikleri kullanan normalizasyon teknikleri mevcuttur. Bu tez çalışmasında hava ve kara manyetik verilerini aynı standartlara getirmek

ve aralarındaki farkı doğrusal olarak ortaya koyabilmek için min-max normalizasyon tekniği kullanılmıştır. Min-max normalleştirme, veri normalleştirmesinin en yaygın olanlarından biridir. Min-Max normalizasyon ile veriye lineer bir dönüşüm uygulanır ve tüm veriler 0-1 aralığına getirilir. Bu yöntemde denklem (9) kullanılır ve veri grubu içindeki tüm değerler maksimum ve minimum değerlere göre normalize edilir (Han vd., 2012).

Min-max normalleştirme, orijinal veri değerleri arasındaki ilişkileri korur.

$$n = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (9)$$

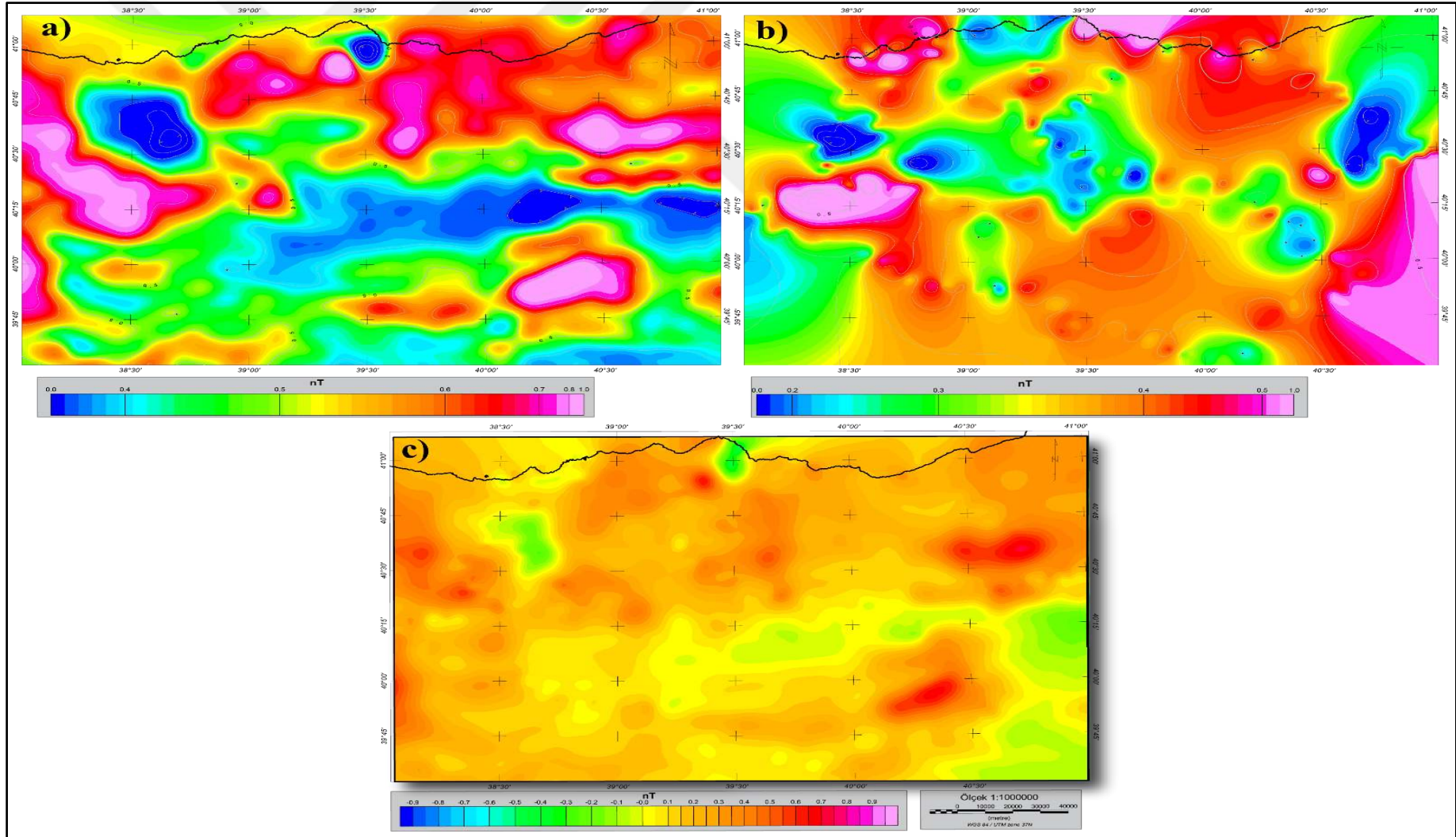
n : normalize edilmiş veri

x_i = veri

$\min(x)$ = Veri grubu içindeki minimum değer.

$\max(x)$ = Veri grubu içindeki maksimum değer.

Yapay modeller üzerinde yapılan sınır/çizgisellik ayrımı analizi yapılmadan önce gerçek veriler üzerinde iki farklı veri kaynağının kıyaslaması yapılmıştır. Bunun için EMAG-2 ve araziden ölçülen düzeltilmiş manyetik anomali verilerine normalizasyon işlemi uygulanmıştır (Şekil 29a ve b). Nitelik olarak incelendiğinde iki veri setine ait anomali haritalarında büyük benzerlikler göze çarpmaktadır. Normalize edilmiş EMAG-2 ve kendi ölçümlerimizden elde edilen manyetik anomali haritalarının farkından bu benzerlikler daha iyi analiz edilebilmektedir. Normalize edilmiş fark manyetik anomali haritasına göre belirli bölgeler haricinde genellikle % 80 oranında benzerlikler görülmektedir (Şekil 29c). Farklılık gösteren bölgeler (örneğin çalışma sahasının güneydoğu kısmı) genellikle çalışma sahasının dış sınırlarına denk gelmekte ve bu alanlarda genelde çok az ölçüm noktamızın olması farkın olası en büyük kaynağını oluşturmaktadır (Şekil 29c).



Şekil 29. a) Normalize edilmiş EMAG-2v3 global manyetik anomali haritası b) Proton manyetometresi ile ölçülen ve normalize edilmiş toplam manyetik anomali haritası c) İki anomalinin farkı

2.2.2.1. EMAG-2 Global Manyetik Anomali Verilerinden Çizgisellik Analizi

Yapay veriler üzerinde yapılan altı farklı analiz yöntemi burada ilk olarak gerekli düzeltmeleri yapılmış (Şekil 27) EMAG-2 toplam alan manyetik anomali verisi üzerinde uygulanmıştır. Tüm bu analizler için yine 8.4 versiyonunda CET Grid Analizi modülü kullanılarak entropi ve standart sapma yöntemlerine göre sınırlar/çizgisellikler belirlenmeye çalışılmıştır. Öncelikli bu altı farklı analiz için kullanılan entropi ve standart sapma sonuçları kendi içerisinde karşılaştırılmış ve son olarak bu farklı analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. İlk analiz tekniği olarak yüksek geçişli süzgeçleme tekniği uygulanmıştır. Bunu için araştırmanın amaçlarından biri olan daha sık yapıların sınırlarının ortaya çıkartılabilmesi için kutba indirilmiş manyetik anomali verisine ($k = \sim 0.13$) yüksek geçişli süzgeç uygulanmıştır. Çalışma sahası için çok derin yapıların etkilerinden kurtulmak için farklı dalga sayılı yüksek geçişli süzgeçler uygulanmıştır. Sonuç olarak, görsel analiz yolu ile jeolojik açıdan modellenabilir kütle etkilerini barındırdığı düşünülen ($k = \sim 0.13$) yüksek geçişli süzgeç uygulanmıştır. Süzgeçlenmiş toplam alan manyetik anomali haritası ve uygulanan çizgisellik analiz sonuçları Şekil 30'da verilmektedir. Sonuçlar irdelendiğinde göreceli sık yapıların sınırlarının CET entropi ve standart sapma yöntemleri ile tutarlı, oldukça benzer şekilde elde edildiği görülmektedir. Çalışma bölgesi için benzer sınırlar/çizgisellikler elde edilmesine rağmen özellikle çalışma alanının dış sınırına yakın bölgelerde bazı farklılaşmalarda belirgindir. Sonuç olarak süzgeçlenmiş manyetik anomali verisi üzerinde yapılan CET çizgisellik analizlerinden tutarlı, içeriğinde çok fazla yapay etkilerin olmadığı sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 30d ve e).

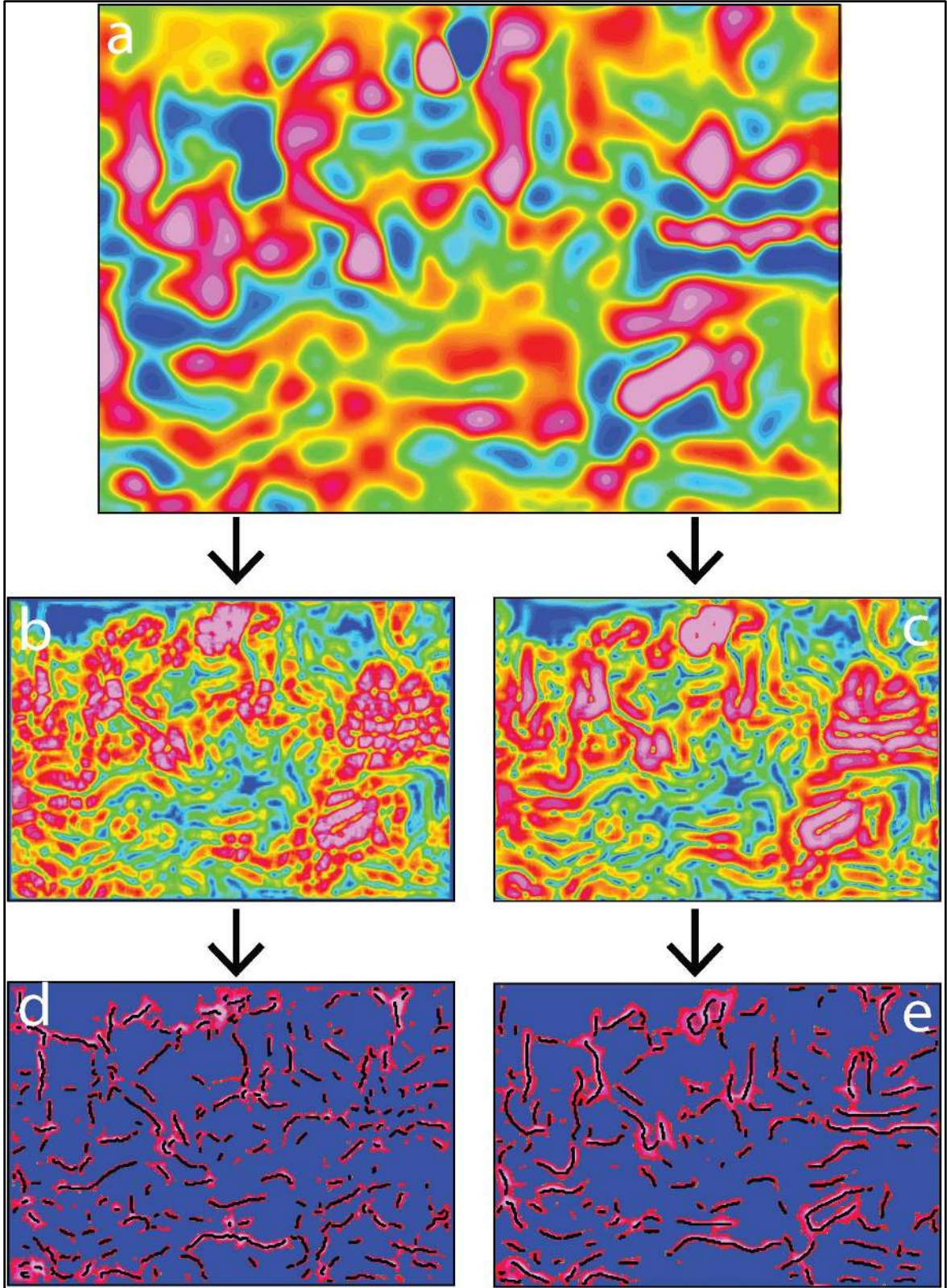
İkinci yöntem olarak kutba indirilmiş EMAG-2 verisinin tilt (eğim) açısı (TDR) dönüşümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 31a). Daha sonra bu tilt açısı hesaplanmış veri içindeki sınırların/çizgiselliklerin belirlenmesi amacı ile CET analizi yapılmıştır. Sınırların ortaya çıkartılması için entropi ve standart sapma yöntemlerinden elde edilen anomali haritaları da karşılaştırmalı olarak Şekil 31'de verilmiştir. İki yöntemin (entropi ve standart sapma) karşılaştırılmasında standart sapma yöntemi ile çizgisellikler görece daha uzun ve yapay sınır etkileri görece daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 31e). Entropi yönteminde çok fazla görece kısa çizgisellikler elde edilmiş ve çalışma alanının sınırlarına doğru belirgin yapay etkiler daha baskın hale gelmektedir (Şekil 31d). Standart sapma yöntemi görece daha iyi sonuçlar verse de genel olarak her iki yöntemden elde edilen çizgisellikler oldukça kısa,

devamlılıkları çok belirgin değildir. Bu hali ile bu çizgilerin olası kütle sınırları ya da fay gibi tektonik çizgiselliklerle ilişkilendirilmesi güçleşmektedir (Şekil 31d ve e).

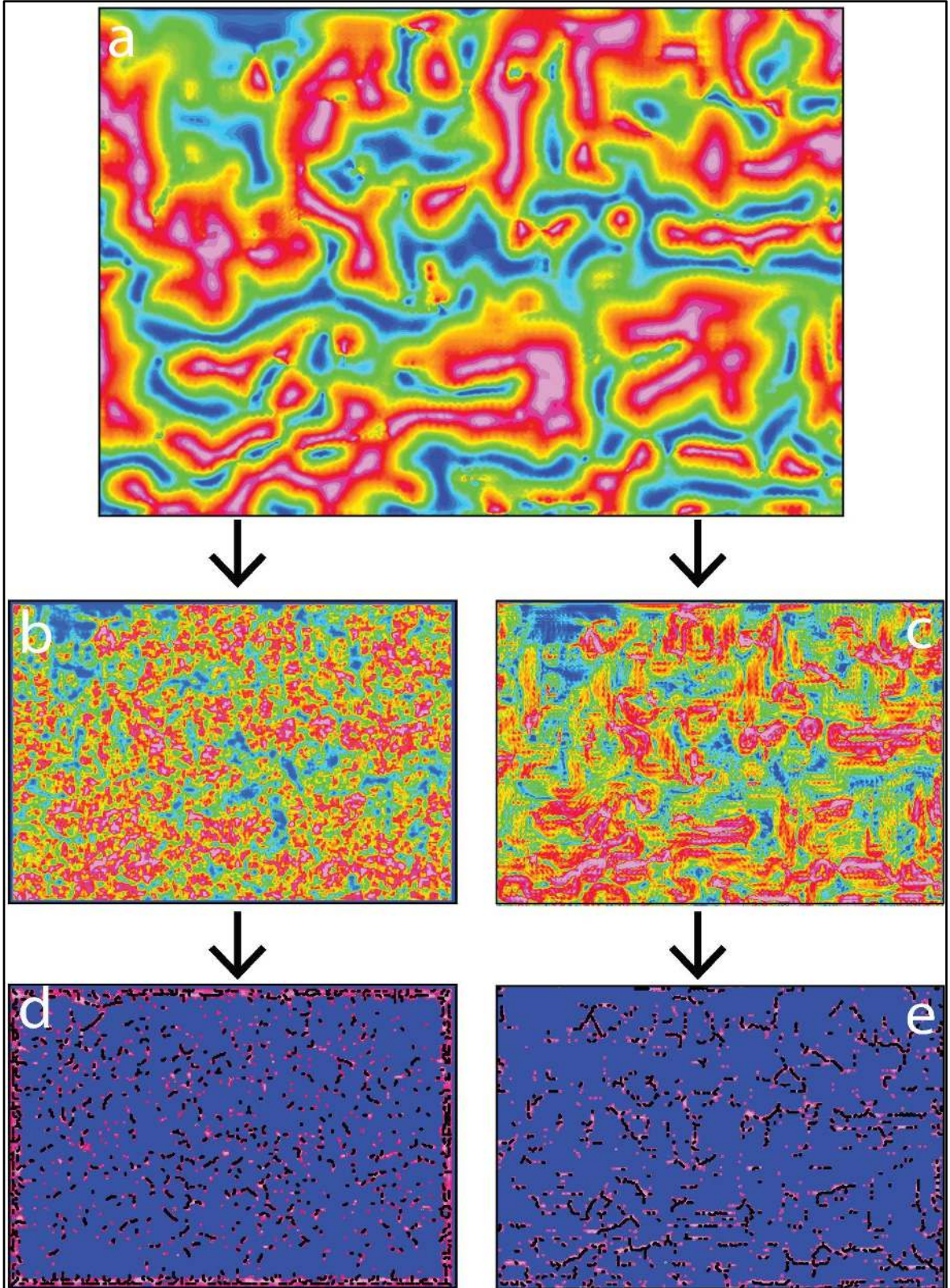
Üçüncü yöntem olarak EMAG-2 verisine tilt açısının toplam yatay türevi (TDR_THDR) uygulanmıştır (Şekil 32a). CET analizi ile elde edilen iki farklı yöntem (entropi ve standart sapma) sonucunda yine tilt açısı yönteminden elde edilen sonuçlara benzer şekilde çok sayıda çizgisellikler (görece kısa boylu) elde edilmiştir (Şekil 32b, c). Standart sapma yönteminin çizgi boyları ve devamlılıkları daha belirgin olmasına rağmen entropi yöntemi hem kısa çizgisellikler hem de alanın sınırlarında yapay etkilerin baskın olması sonucunda, elde edilen CET analizi sonuçlarının jeolojik olarak yorumlanması zorlaşmaktadır (Şekil 32d ve e).

EMAG-2 verisi için dördüncü yöntem olarak Şekil 27 deki verinin düşey yöndeki türevi alınmıştır (Şekil 33a). Yapılan CET analizi sonucunda iki yöntem ile de tutarlı benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 33b-e). Şekil 30'daki yüksek geçişli süzgeçten geçirilen veriden elde edilen sonuçlar gibi görece uzun boylu, takip edilebilir çizgisellikler elde edilmiştir. Sonuçlar içinde (sınırlar/çizgisellikler) diğer yöntemlerin bazılarında baskın halde bulunan yapay sınır etkileri gözlemlenmemiştir. Elde edilen bu sonuçlar bölgenin jeolojik yapısı ve tektonik deformasyon etkilerinin ortaya koyulmasında yararlı bilgiler içerme potansiyeline sahiptir.

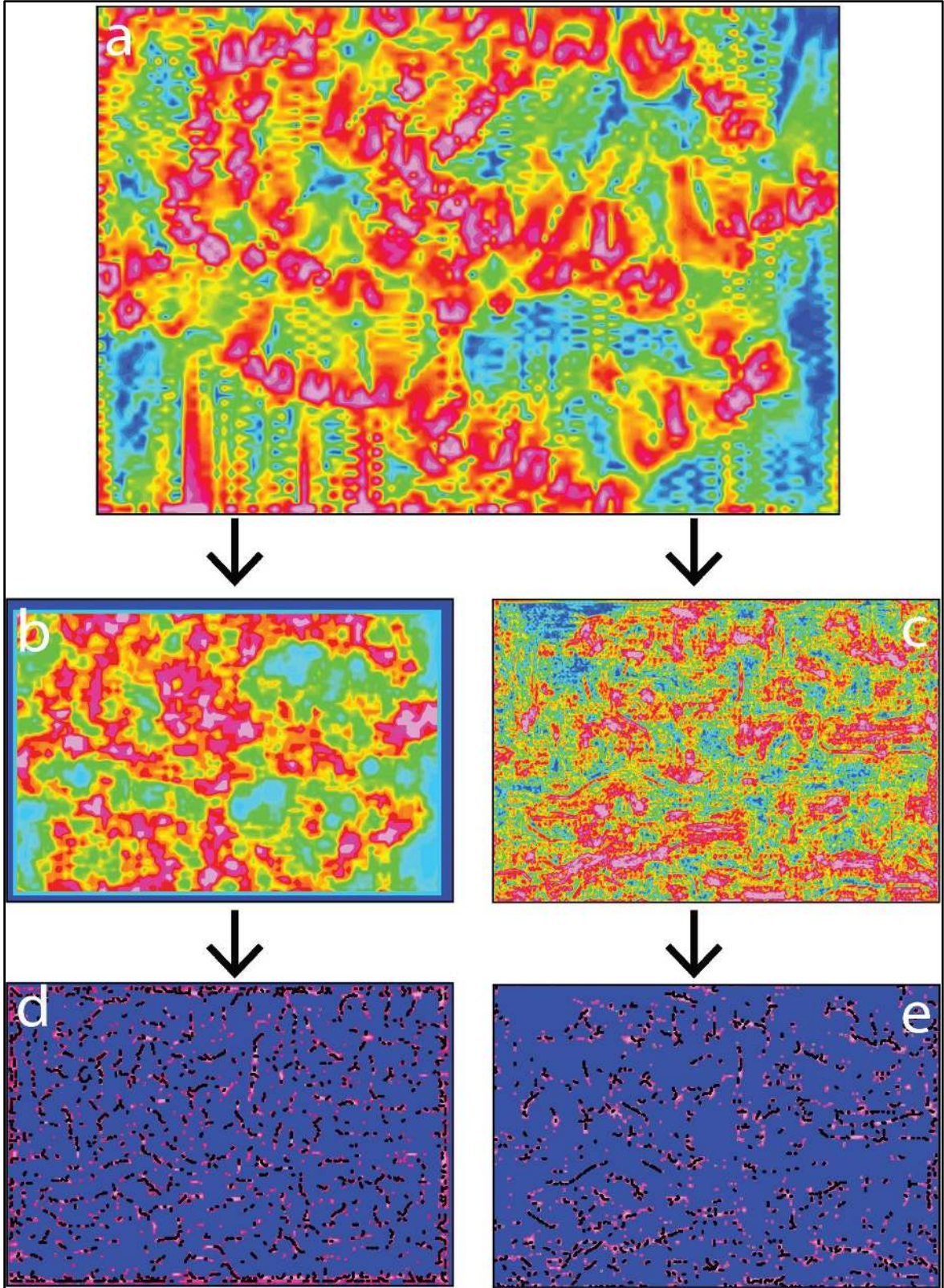
Beşinci yöntem olarak; kutba indirgenmiş EMAG-2 anomali verisinin düşey yönde birinci türevine tilt açısı (TDR) uygulanmıştır (Şekil 34a). CET analizi ile elde edilen 2 farklı yöntem (entropi ve standart sapma) sonucunda modellerin görece olarak standart sapma yöntemi ile daha tutarlı bir şekilde çizgiselliklerin belirlenebildiği görülmüştür (Şekil 34b-e). Entropi yönteminde diğer yöntemlerde karşılaşılan bir problem olan çok sayıda kısa çizgiselliklerin yoğun olduğu ve buna ek olarak özellikle sınır etkisi nedeniyle yapay veriler CET analizi sonuçlarını bastırarak jeolojik açıdan yorumlanması güç yapay etkiler üretmiştir (Şekil 34b ve d). Standart sapma yönteminde bu yapay etkiler çok daha az olmasına rağmen birinci türev ve süzgeçlemeden sonra elde edilen sonuçlar kadar belirgin takip edilebilir çizgisellikler üretilmemiştir (Şekil 34e). Son yöntemde; EMAG-2 verisinin birinci türev verisine tilt açısının toplam yatay türevi uygulanmıştır (Şekil 35a). CET analizi sonuçları incelendiğinde beşinci yöntem ile elde edilen sonuçlara benzer çizgisellikler elde edilmiştir. Yine standart sapma yöntemi ile görece jeolojik açıdan yorumlanabilir sonuçlar üretilmiştir (Şekil 35 c ve e). Entropi yönteminde de benzer olarak çalışma alanının dışına doğru sınır etkilerinden kaynaklı yapay çizgisellikler baskındır (Şekil 35b ve d).



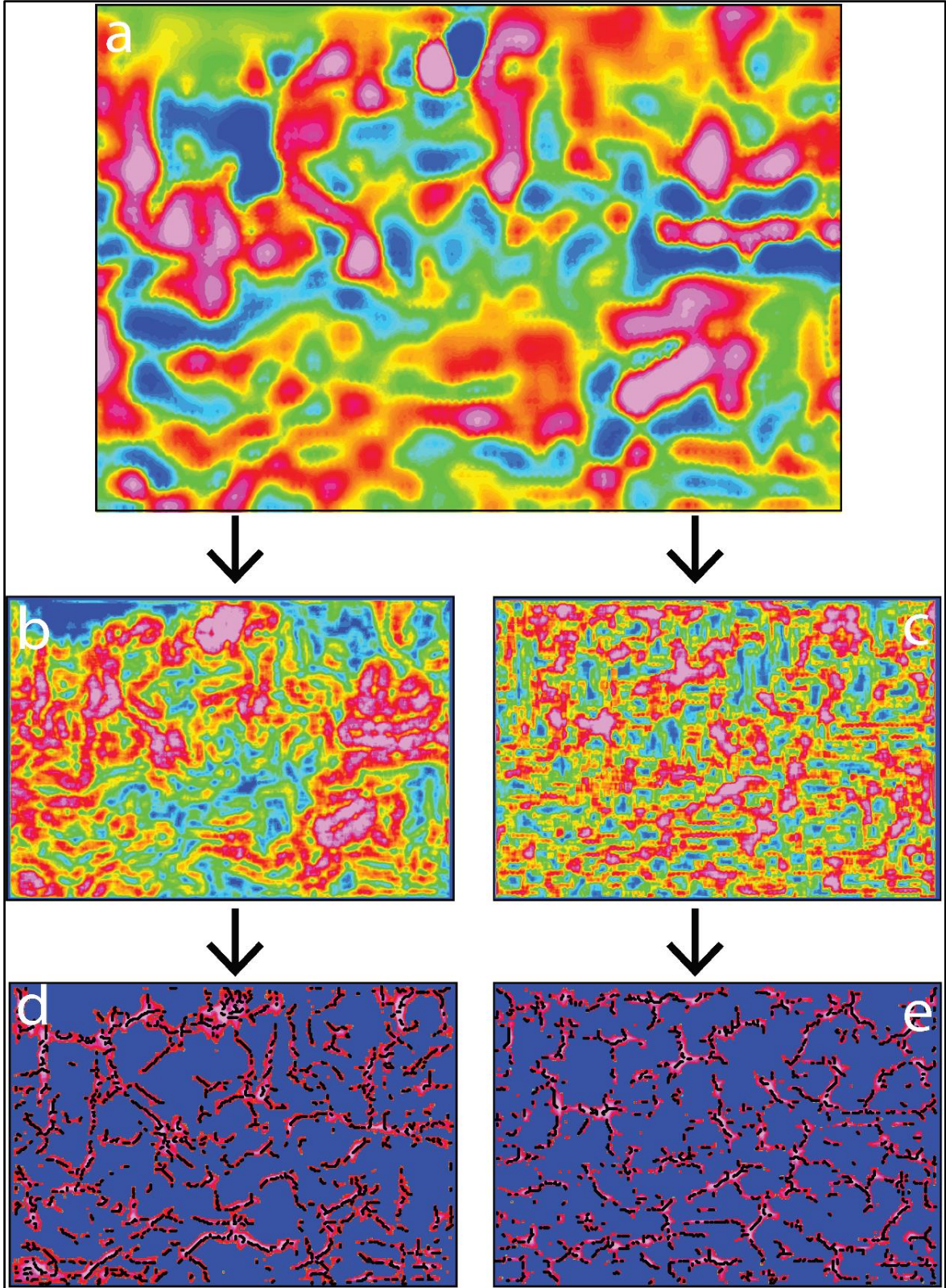
Şekil 30. a) Şekil 27'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine yüksek geçişli süzgeç uygulanması b) CET sınır ayırımı için entropi analizi c) CET sınır ayırımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik sonucu e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



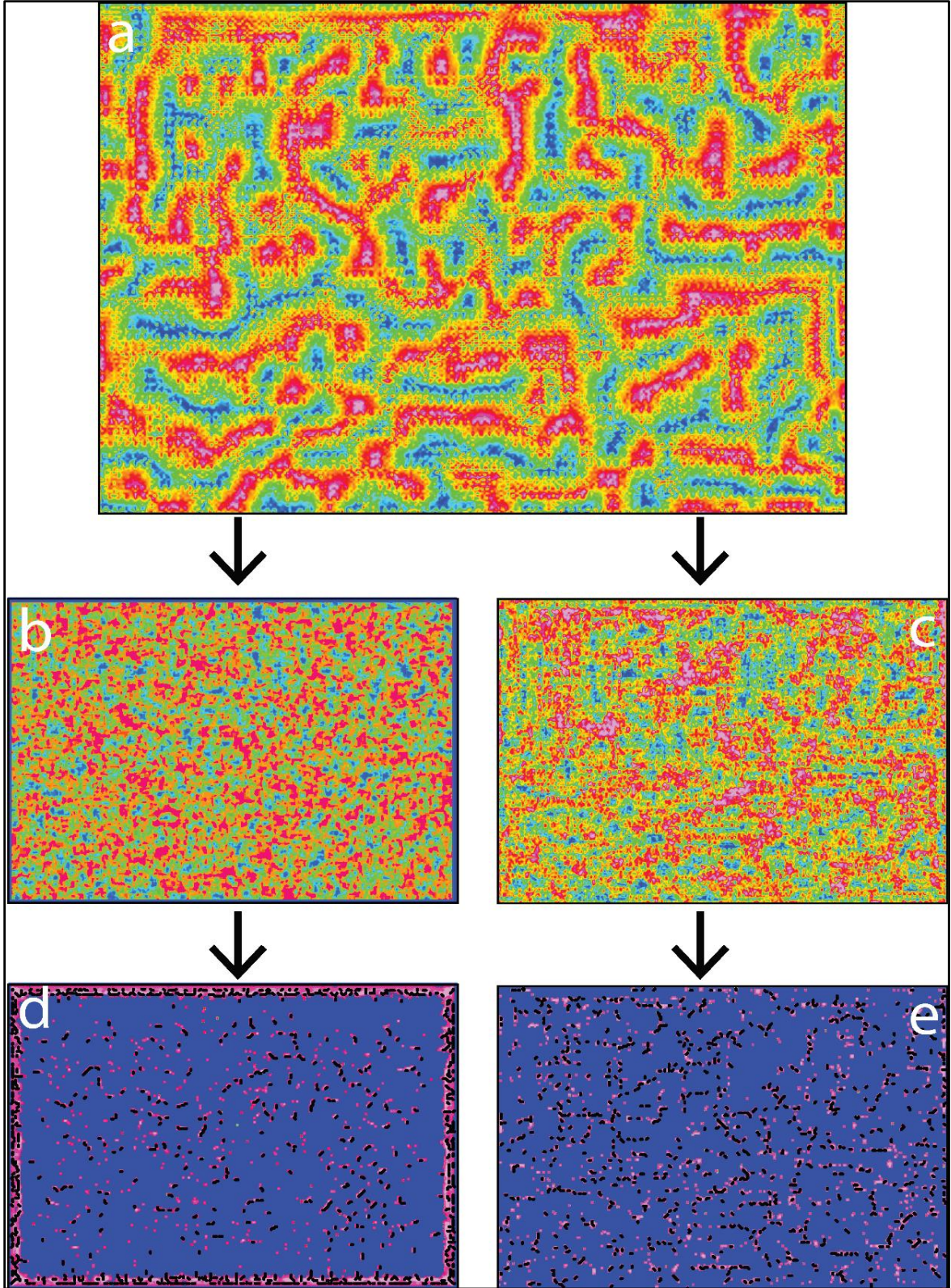
Şekil 31. a) Şekil 27'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



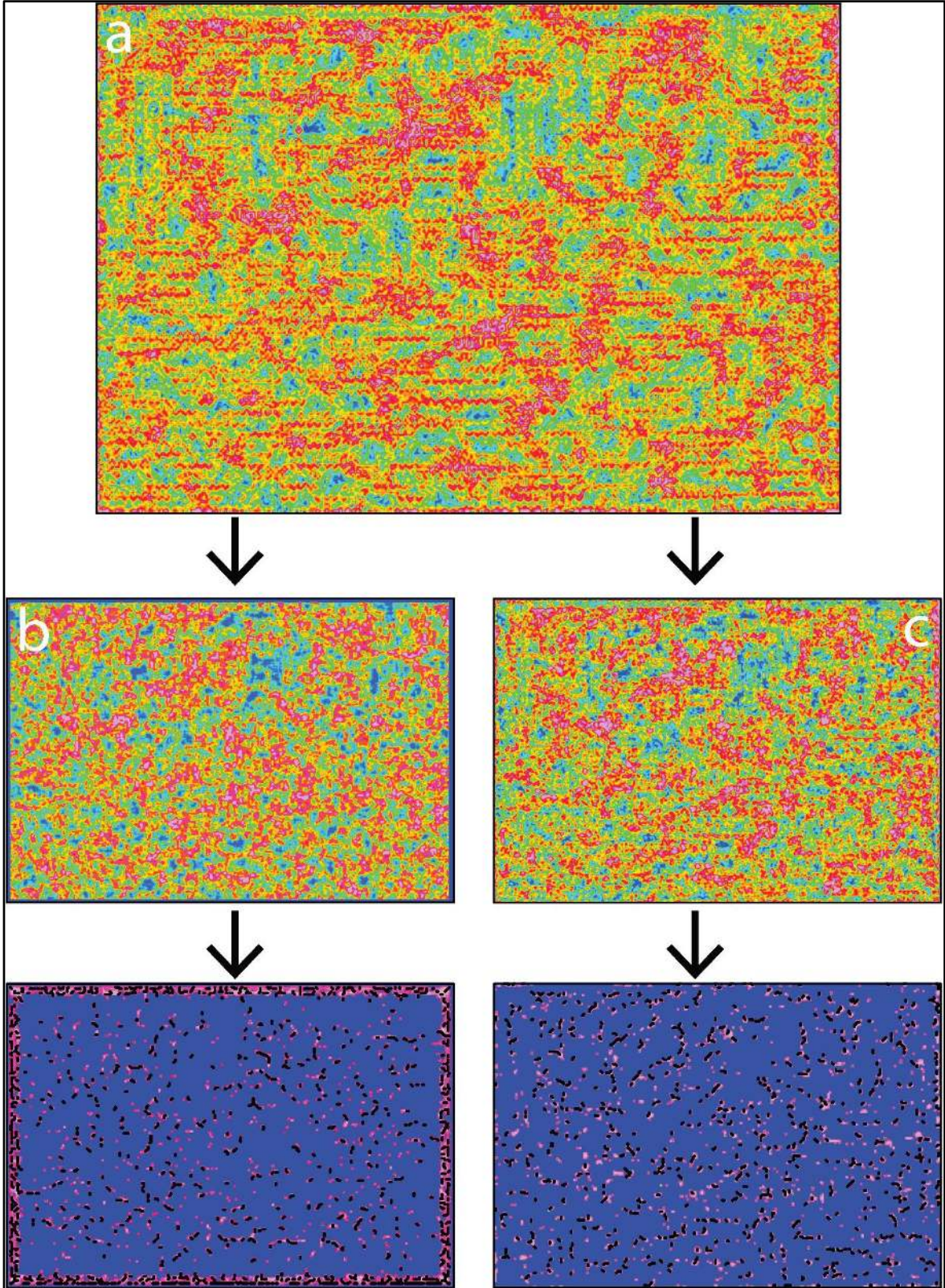
Şekil 32. a) Şekil 27'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine tilt açısının toplam yatay türevi uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



Şekil 33. a) Şekil 27'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



Şekil 34. a) Şekil 33a'daki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türevine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



Şekil 35. a) Şekil 33a'daki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türevine tilt açısının toplam yatay türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir

2.2.2.2. Ölçülen Toplam Alan Manyetik Verilerinden Çizgisellik Analizi

Gerçek veriler üzerinde yapılan çalışmaların ikinci kaynağını araziden ölçülen toplam manyetik anomali verileri oluşturmaktadır. Sınır/çizgisellik analizlerine başlamadan önce yine EMAG-2 veri kaynağında yapılabenzer düzeltme işlemleri uygulanmıştır. Sırasıyla trend ve kutba indirgeme işlemlerini kapsayan bu düzeltmeler Şekil 28’de verilmiştir. Şekil 28d’de verilen manyetik verinin bu son haline yine EMAG-2 ’de ve yapay veriler üzerinde de uygulanmış altı farklı yöntem ve CET analizleri yapılarak sonuçları Şekil 35-40 arasında verilmiştir. Burada öncelikle yöntemler için uygulanan iki farklı yaklaşımın (entropi ve standart sapma) çözüm kaliteleri kıyaslanmış ve sonrasında yöntemlerin sonuçları birlikte irdelenmiştir.

İlk olarak düzeltilmiş veriye standart bir uygulama olan yüksek geçişli bir süzgeç ($k \sim 0.13$) uygulanmıştır. Bu sayede sığ yapıların ve sınır/çizgisellik gibi yüksek frekanslı olayların tanımlanabilmesi amaçlanmıştır. Şekil 36a da düzeltilmiş manyetik anomali verisine (Şekil 28d) yüksek geçişli süzgeç uygulaması sonucu verilmektedir. Yapılan CET analizi için her iki yöntem (entropi ve standart sapma) yaklaşık benzer çizgisellikler üretmişlerdir (Şekil 36 b ve c). Entropi yönteminde elde edilen sonuçlarda daha fazla sayıda çizgiselliğin bulunduğu açıktır ve standart sapma yöntemi ile de bu çizgiselliklerin çoğu ortaya çıkartılmıştır (Şekil 36d ve e). Sonuçlar içinde çalışma alanının sınırlarından kaynaklı yapay etkiler oluşmamıştır. Çizgi uzunlukları ve devamlılıkları bölge için yapılacak jeolojik yorumları kolaylaştırmaktadır.

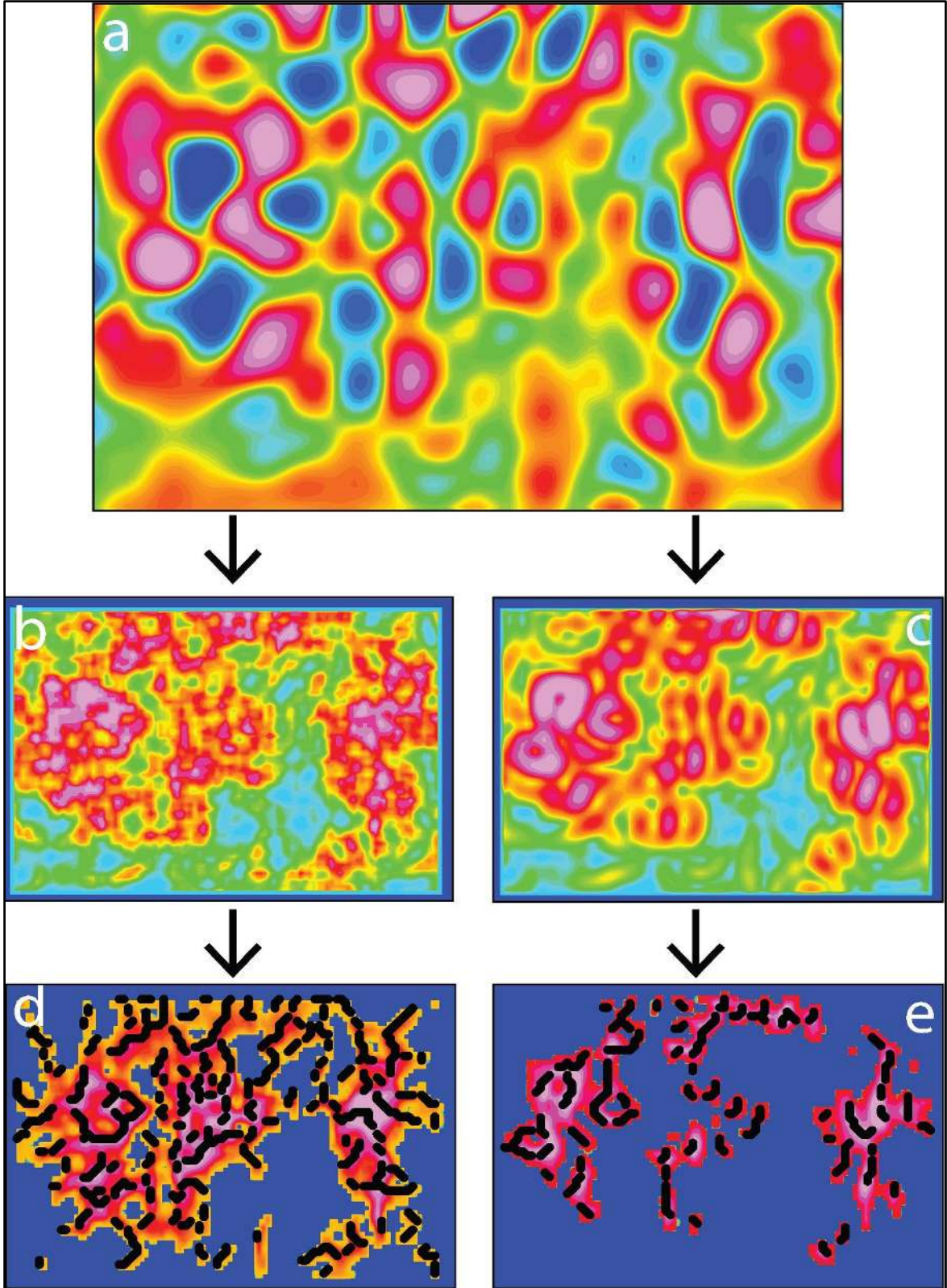
Düzeltilmiş ölçüm verilerine ikinci yöntem olarak tilt açısı (TDR) dönüşümü uygulanmıştır (Şekil 37a). Tilt açısı uygulanan veriye yapılan CET analizi sonuçları Şekil 37b-e’de verilmektedir. Yine entropi yönteminde standart sapma yöntemine göre daha fazla çizgisellikler elde edilmiştir. Çizgi sayıları fazla olmasına rağmen çizgiselliklerin görece olarak uzun ve devamlılıklarının olması jeolojik açıdan açıklanabilir sonuçlar üretildiğini göstermektedir (Şekil 37d ve e). Bir önceki yöntemde uygulanan yüksek geçişli süzgeçleme sonuçlarına benzer çizgisellik trendleri tilt açısı yöntemi ile elde edilen sonuçlarla da elde edilmiştir. Sonuçlar içinde sınır etkisinden kaynaklı yapay veriler belirgin değildir.

Üçüncü yöntem olarak ölçüm verisine tilt açısının toplam yatay türevi (TDR_THDR) uygulanmıştır (Şekil 38a). CET analizi ile elde edilen iki farklı yöntem (entropi ve standart sapma) sonucunda yine tilt açısı yönteminden elde edilen sonuçlara (Şekil 36d ve e) benzer şekilde çok sayıda çizgisellikler elde edilmiştir. İki yöntem kıyaslandığında görece olarak

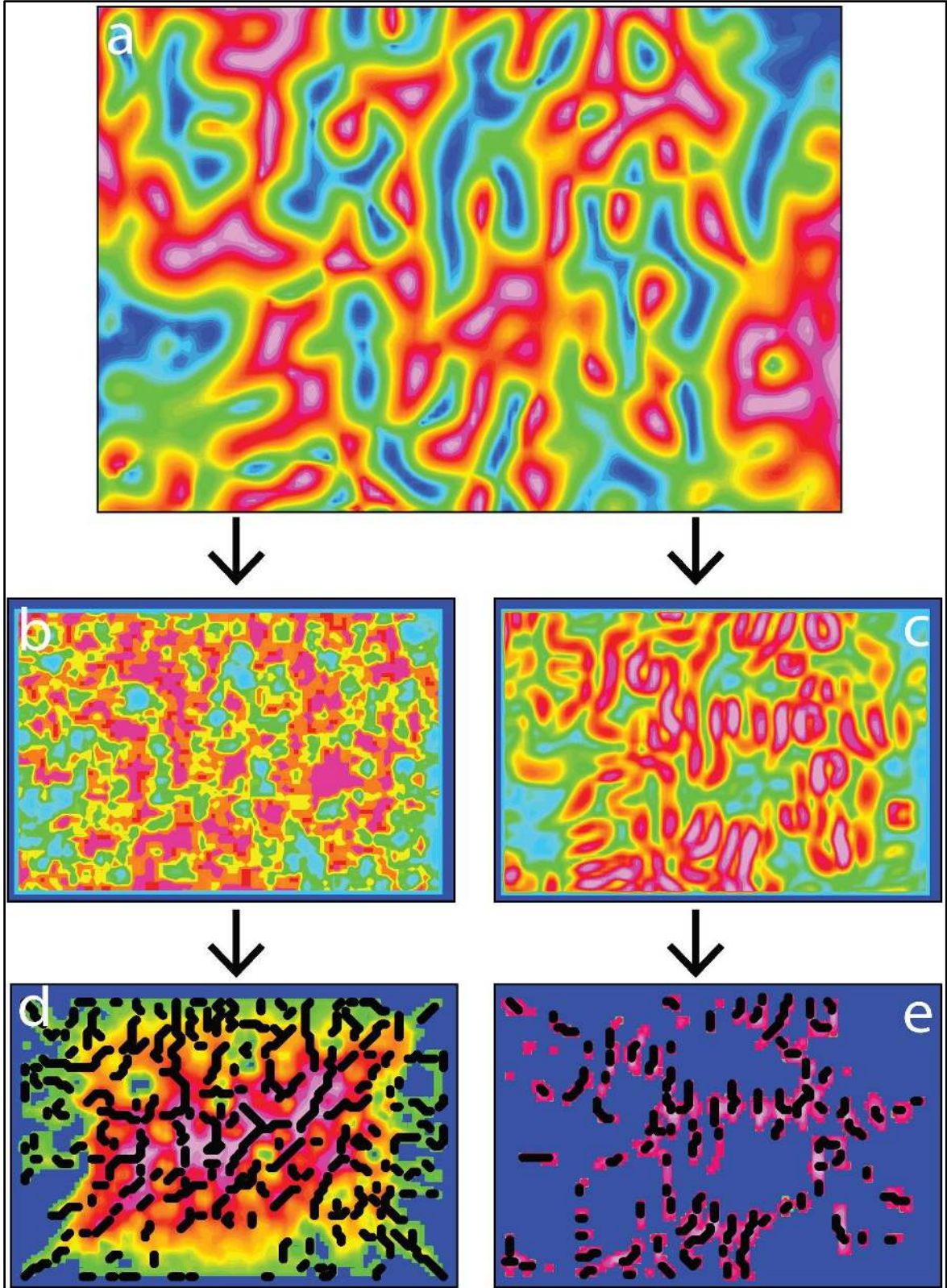
standart sapma metodunun çizgiselliklerin jeolojik açıdan belirlenmesinde daha başarılı olduğu görülmektedir (Şekil 38e). Standart sapma yönteminde çizgi boyları ve devamlılıkları daha belirgindir fakat entropi yönteminde kısa çizgisellikler daha baskın olması nedeniyle CET analizi sonuçlarının jeolojik olarak yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. (Şekil 38d ve e).

Dördüncü yöntem olarak, düzeltilmiş manyetik verinin birinci düşey türevine CET analizi uygulanmıştır (Şekil 39). Yapılan CET analizi sonucunda iki yöntem (entropi yönteminde daha fazla sayıda çizgisellikler elde edilmiştir) ile de tutarlı ve benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 39b-e). Her iki sonuç grafiklerinde de çalışma alanının sınırlarından kaynaklı etkiler gözlemlenmemiştir. Özellikle buradan elde edilen sonuçlar ile yüksek geçişli süzgeçlemeden elde edilen sonuçların benzerlikleri CET analizlerinin doğruluğu ve sonucunda yapılacak jeolojik yorumlamalar için önemli bir gösterge olacaktır.

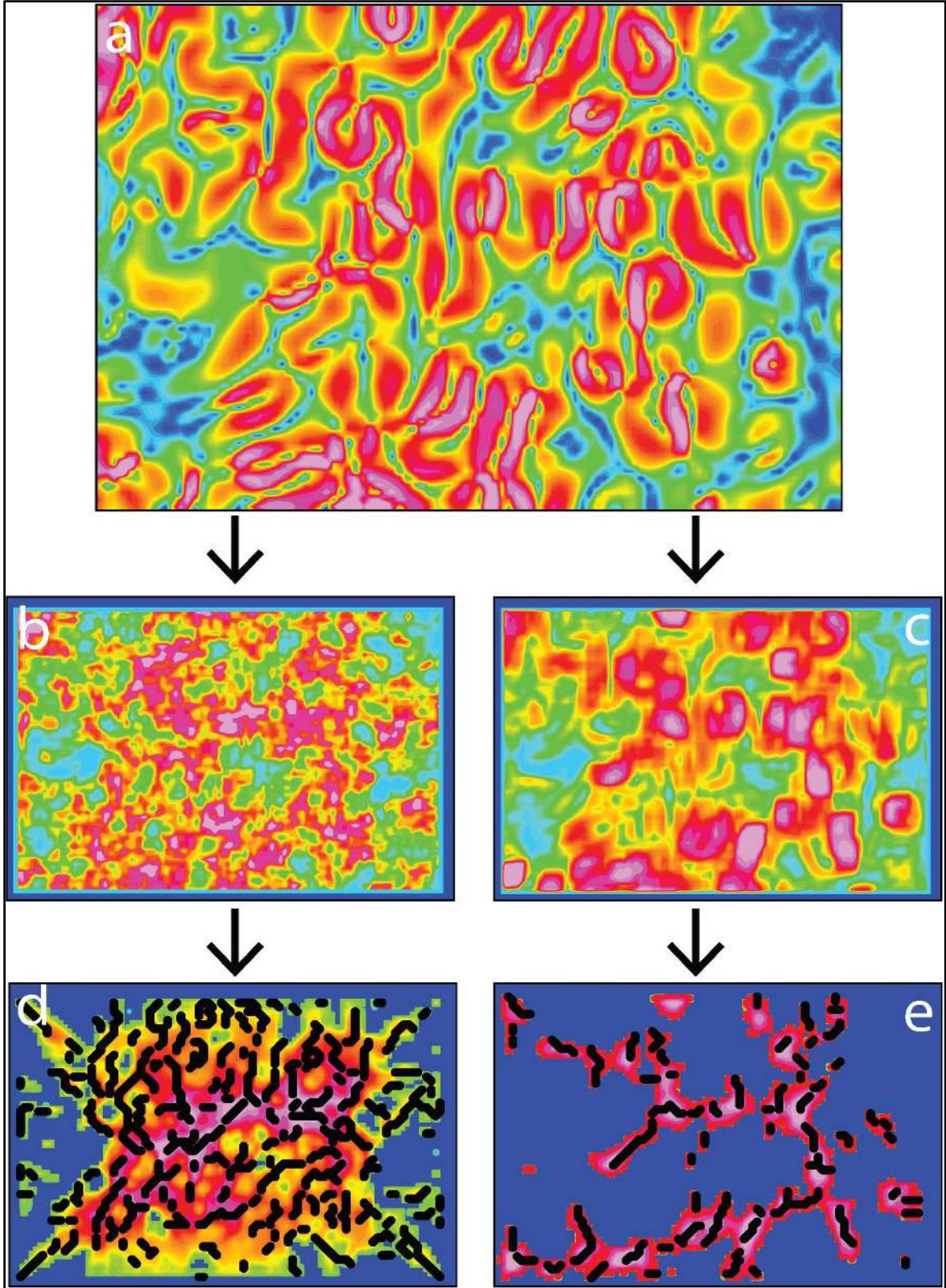
Beşinci yöntem olarak; kutba indirgenmiş ölçüm verisinin düşey yönde birinci türevine tilt açısı (TDR) uygulanmıştır (Şekil 40a). CET analizi ile elde edilen 2 farklı yöntem (entropi ve standart sapma) sonucunda modellerin görece olarak standart sapma yöntemi ile bir önceki modellerden elde edilen sonuçlar kıyaslandığında daha tutarlı bir şekilde çizgiselliklerin belirlenebildiği görülmüştür (Şekil 40e). Entropi yönteminde diğer yöntemlerde karşılaşılan bir problem olan çok sayıda kısa çizgiselliklerin yoğun olduğu ve buna ek olarak özellikle sınır etkisi nedeniyle yapay veriler CET analizi sonuçlarını bastırarak jeolojik açıdan yorumlanması güç etkiler üretmiştir (Şekil 40b-d). Standart sapma yönteminde bu yapay etkiler çok daha az olmasına rağmen birinci türev ve süzgeçlemeden sonra elde edilen sonuçlar kadar belirgin takip edilebilir çizgisellikler üretilmemiştir (Şekil 40e). En son olarak yine kutba indirgenmiş ölçüm verisinin düşey yönde birinci türevine tilt açısının toplam yatay türevi uygulanmıştır (Şekil 41). Yapılan CET analizi sonucunda özellikle standart sapma yöntemi ile çıkarılan çizgisellikler tilt açısından elde edilen sonuçlar ile büyük farklılıklar göstermektedir (Şekil 41d ve e). Özellikle beşinci yöntem ve buradan elde edilen entropi sonuçları benzerlikler göstermesine rağmen standart sapma analizi sonuçlarında farklılıklar belirgindir. Standart sapma yöntemi, bu son veri seti için daha belirgin, görece uzun hatlar üreterek jeolojik manada yorumlanabilir sonuçları işaret etmektedir (Şekil 41e). Entropi uygulama sonuçlarında sınır etkilerinin ürettiği yapaylıklar göze çarpmasına rağmen bu durum standart sapma uygulamasında belirgin değildir.



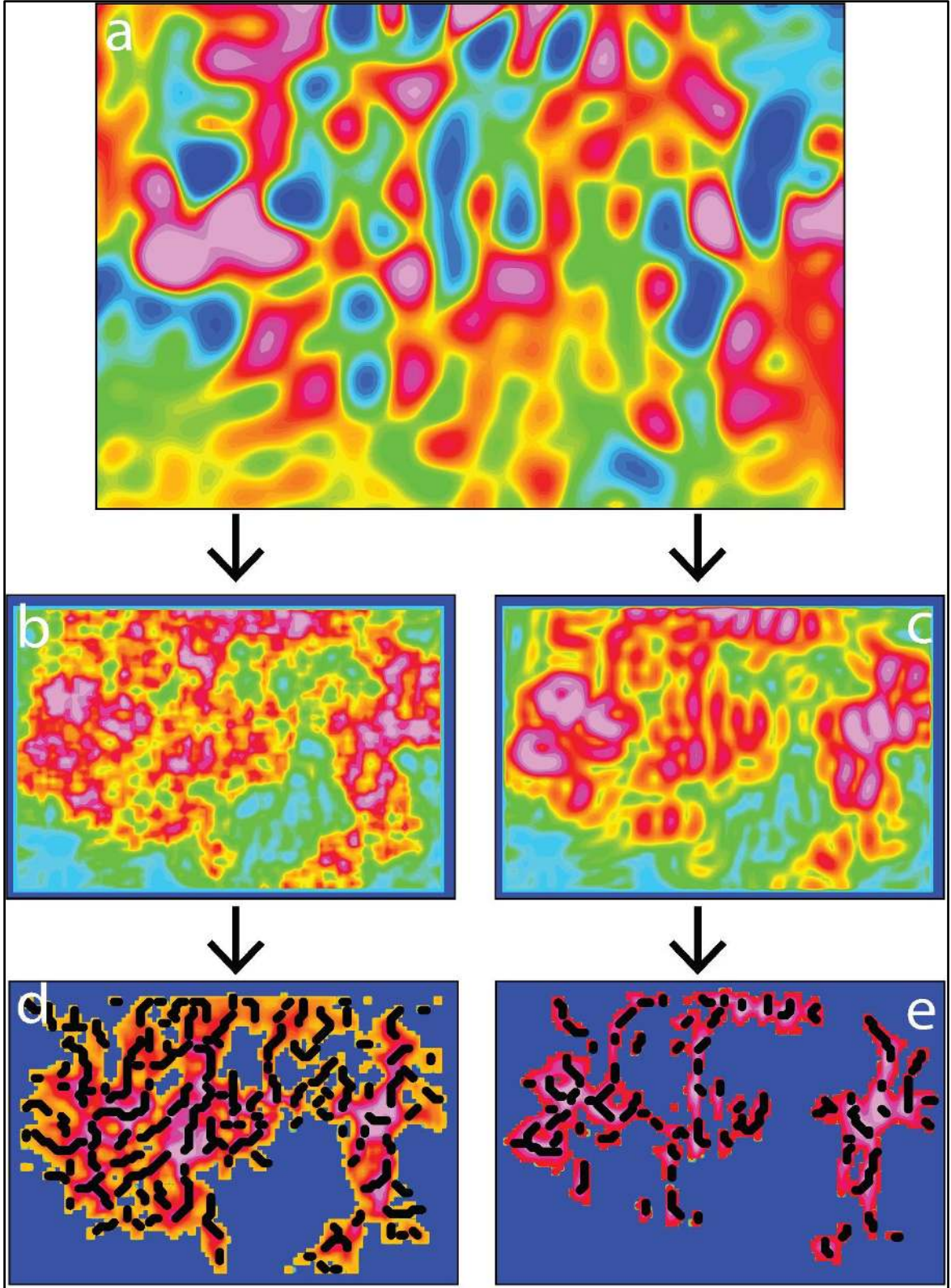
Şekil 36. a) Şekil 28d'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine yüksek geçişli süzgeç uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



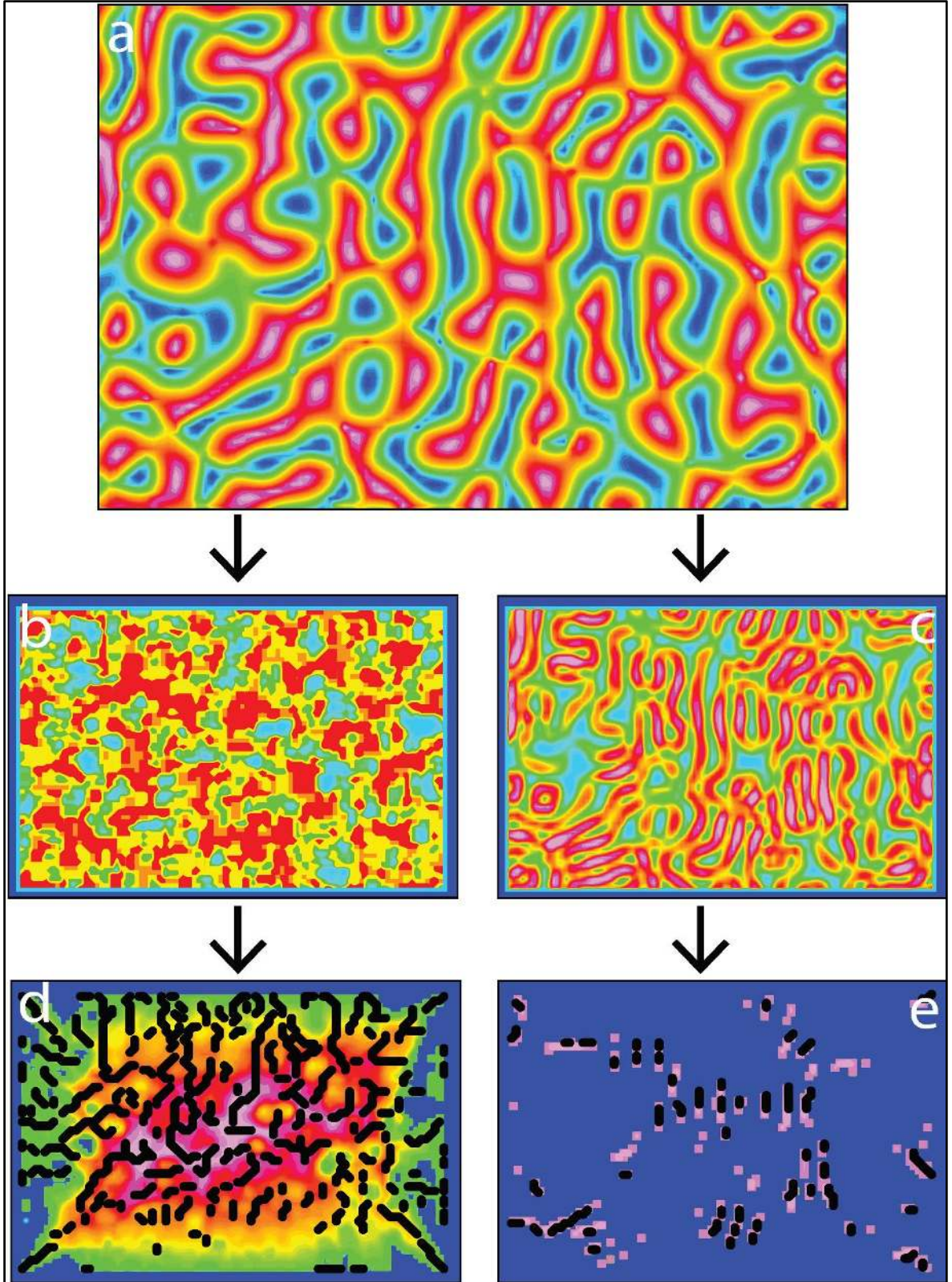
Şekil 37. a) Şekil 28d'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



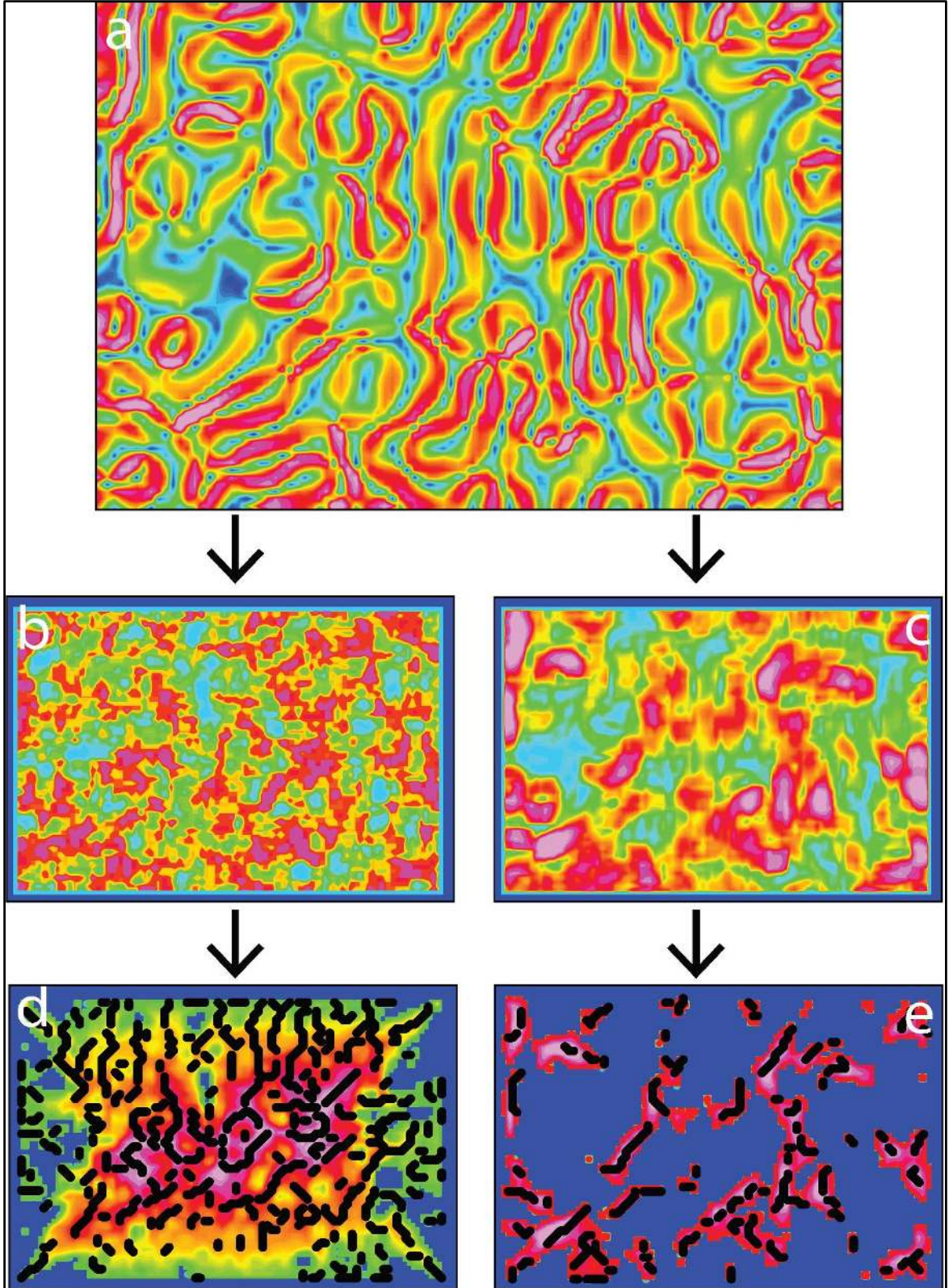
Şekil 38. a) Şekil 28d'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisine tilt açısının toplam yatay türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



Şekil 39. a) Şekil 28d'deki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



Şekil 40. a) Şekil 39a'daki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türevine tilt açısı uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir



Şekil 41. a) Şekil 39a'daki kutba indirgenmiş toplam manyetik anomali verisinin düşey yöndeki birinci türevine tilt açısının toplam yatay türev uygulanması b) CET sınır ayrımı için entropi analizi c) CET sınır ayrımı için standart sapma analizi d) entropi analizinden elde edilen çizgisellik e) standart sapma analizinden elde edilen çizgisellik sonuçları. Sınırlandırılmış alanlar siyah çizgilerle belirtilmiştir

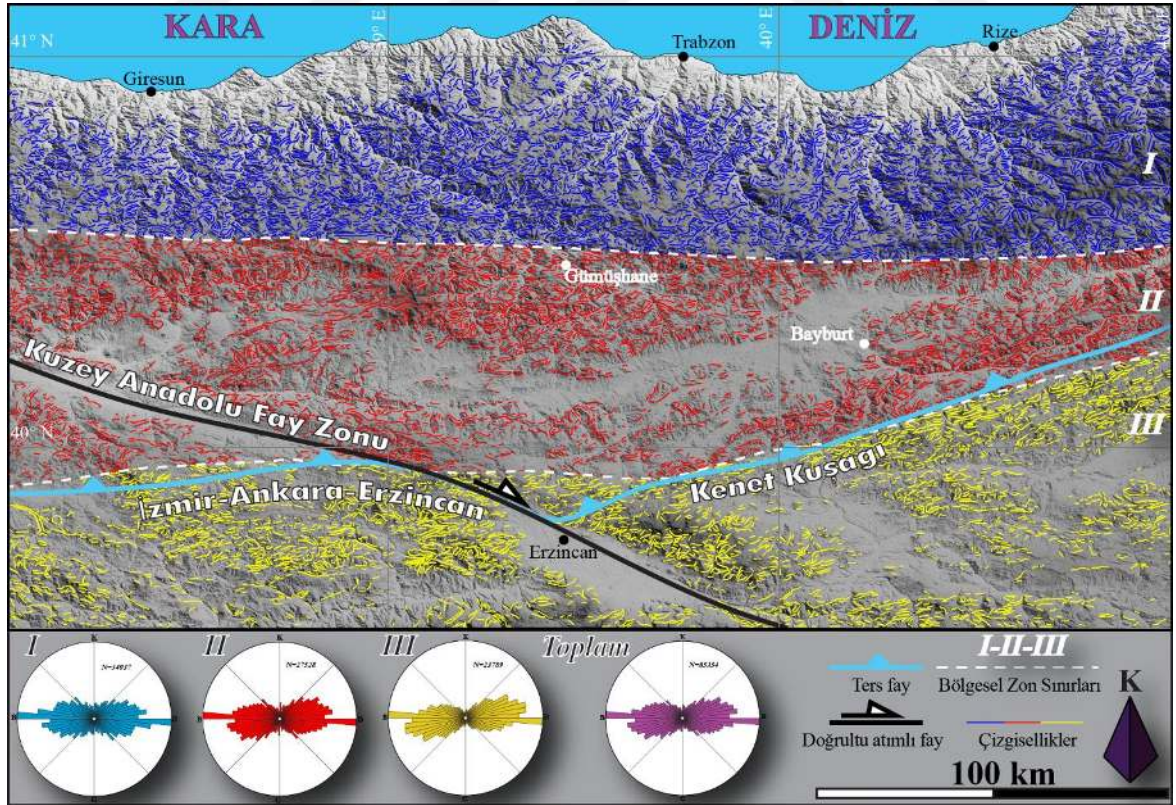
2.3. Çalışma Alanının Tektono-Morfolojik Yapısı ve Çizgisellik Analizi

Yerküre üzerinde tektonik deformasyonlara bağlı gelişen ve yer yüzeyini bir hat boyunca keserek doğrusal (düz veya kavisli) hatlar şeklinde gelişerek bölgenin jeodinamik süreçleri hakkında çıkarım yapmak için kullanılan ve bir çeşit istatistiksel yaklaşımı içeren çalışmalar bütünü genel olarak çizgisellik analizi (lineament analyses) olarak isimlendirilmektedir. Bu tür çizgiselliğe neden olabilecek önemli bir etmen ve hedef olan tektonik deformasyon sonucunda ve erozyon gibi doğal kaynaklı etmenler olmasına rağmen, bu analizlerde dikkat edilmesi gereken ve veriyi etkileyebilecek insan etkili doğal olmayan çizgisellik kaynaklarına da (kara ve demiryolları, yüksek gerilim hatları, vb) analiz sırasında dikkat edilmesi gereklidir. Çizgisellikler, yeraltı yapılarını veya fay gibi yapısal zayıflıkları analiz etmemizi sağlayan önemli bir istatistiksel yaklaşımdır ve genellikle yüksek çözünürlüklü sayısal görüntülerin (sayısal yükseklik verileri veya uydu görüntüleri gibi) görsel analizi ile ortaya çıkarılır. Uzaktan algılama uygulaması sınıfına giren bu analizler ile yapısal süreksizlikler otomatik veya el yardımıyla belirlenebilir. Bu tez çalışmasında seçilen çalışma alanına ait 3 farklı veri kaynağı; a) sayısal yükseklik verisi (ASTER GDEM v2), b) MTA fay veri tabanı, c) Uydu görüntüleri (Landsat 8 OLI) kullanılmıştır.

2.3.1. Bölgenin Sayısal Yükseklik Modeli ve Tektonik Çıkarımlar

Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli (DEM, Digital Elevation Model) ASTER GDEM v2 (Web-1) uydu verileri kullanılarak çizdirilmiştir. Hâlihazırda gridlenmiş veri için yaklaşık uzaysal çözünürlük 1 arc-saniye ve metrik sistemde ise de yaklaşık 30 metrelik bir çözünürlüğe karşılık gelmektedir (Şekil 42). Sayısal yükseklik haritası nitelik yönünden incelendiğinde öncelikle tüm kuzey sınırı boyunca deniz kıyısından itibaren hızlı bir yükseklik artımı göze çarpmaktadır. Yaklaşık doğu batı uzanımlı 2000-2500 metrelere ulaşan bu hızlı yükselim bölgesinin ardından daha iç bölgeler (güney) incelendiğinde, ortalama 1000 metre yükseklikte bu farklar azalarak yerini düzlük alanlara bırakmaktadır. Bu düzlük alanlar da yine güneyde ve özellikle güney-doğu bölgelerde 3000 metreleri aşan yükselti alanları (yaklaşık doğu-kuzeydoğu doğrultulu) ile sınırlandırılmıştır. Sayısal yükseklik haritasının nitel yönden bir analizi sonucunda, bölge için yaklaşık doğu-batı uzanımlı iki büyük yükseklik trendlerinin hakim olduğu belirgindir. Ayrıca bölgeyi kuzeybatı-güneydoğu yönünde boydan boya kesen KAFZ'da önemli ve aktif bir tektonik

deformasyon zonu olarak, geçtiği ~1000 metre yüksekliklerdeki plato alanlarının sınırlarını kontrol etmektedir. Sayısal yükseklik haritasının nitel yönden ilk analizinin ardından daha detaylı ve bağımsız metotlar ile de nicelik yönünden bir analizi yapılmıştır. Bunun için çalışma alanını kapsayan ve yukarıda belirtilen veri kaynağından elde edilen yükseklik verisi, Geomatica versiyon 2222, SP1 kullanılarak yükseltelerin değişimlerinden yararlanılarak analizi yapılmıştır. Genel olarak çizgisellik (lineament) analizi olarak adlandıracağımız bu işlemin ardından bölgedeki yükseklik değişim trendleri, uzanımları sayısal bilgi olarak elde edilmiştir. Aşağıda Tablo 1 de verilen değerler kullanılarak yükseklik değişimi ya da benzerlikleri otomatik olarak hesaplatılmıştır. Çalışma alanı, literatürde önerilen şekli ve Bölüm 1.1’de açıklanan nedenlerden dolayı 3 zona ayrılmıştır. Bölgenin tektonik evriminden kaynaklanan bu ayrım yine tektonik açıdan Kuzey Zon, Eksenel Zon ve Güney Zon olarak isimlendirilmiş ve bu çalışma içinde bu şekilde kullanılmıştır. Literatürdeki bu ayrım sınırları dikkate alınarak aşağıda Şekil 42’de sayısal yükseklik haritasından elde edilen çizgisellik sonuçları da 3 farklı bölge için yine 3 farklı renklendirme ile verilmiştir.



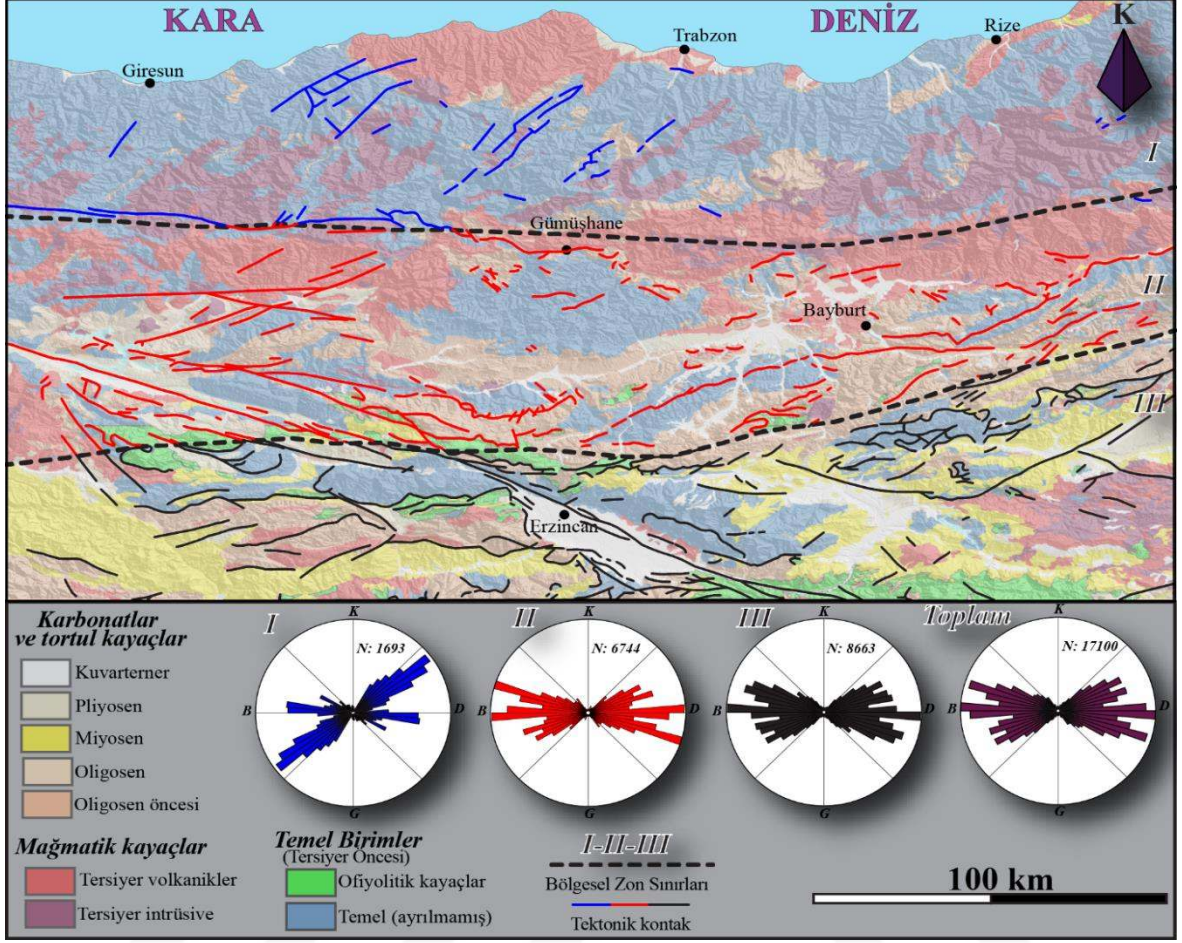
Şekil 42. Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli (ASTER GDEM v2 uydu verilerinden) kullanılarak elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölgeye ait gül diyagramı sonuçları

Mavi çizgisellikler Kuzey Zon'a, kırmızı çizgisellikler Eksenel Zon'a ve sarı çizgisellikler ise Güney Zon'a karşılık gelen sonuçları göstermektedir. Sayısal yükseklik haritası üzerinde yapılan otomatik çizgisellik analizi sonucunda elde edilen verilerin veri boyları (çizgi boyu) ve uzanımlarının (doğrultuları) dağılımları Şekil 42'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara standardizasyon kazandırmak için farklı uzunluk ve yönelimli hatlar (kırımlar) 250 metre uzunlukta eşit aralıklı olarak bölümlenmiştir. Bu şekilde kırırımlanmalardan kaynaklanan farklı doğrultulardaki çizgisellikler gruplara ayrılarak bu şekilde düzgün bir ağırlıklandırılması sağlanmıştır. Örneğin, 5 km ve 1 km uzunluklu iki farklı çizgi için normalde 1'er adet azimut değeri hesaplatılacaktı. Fakat 5 km uzunluğundaki bir çizgi, 1 km uzunluğundaki çizginin 5 katı olacağı fakat sayısallaştırma sırasında ikisi içinde aynı ağırlık değeri girileceği için doğru olmayan bir analiz sonucu doğuracaktır.

Farklı uzunluklu verilerin katkısını ve kırırımsal trendleri daha belirginleştirmek amacıyla tüm veri 250 metre uzunluklu olarak bölümlenmiştir. Bu şekilde tüm veriye belirli bir standardizasyon kazandırılarak eşit ağırlıklı ve doğrultuların daha hassas elde edilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde Kuzey Zonu için toplam 34037 adet çizgiselliğin doğrultu değeri gül diagramı (Rose diagram) yardımı ile çizdirilerek zon içindeki ana trend ve ikincil trendlerin yönelimleri belirlenmiştir. Şekil 42'de Kuzey Zon için elde edilen veriye göre ana doğrultu yönü Doğu-Batı olarak elde edilmiştir. İkincil doğrultu yönleri de yine benzer şekilde yaklaşık doğu-batı olarak bulunmuştur. Eksenel (27528) ve Güney (23789) Zonlar içinde yine benzer doğrultu yönelim trendleri (D-B) olarak bulunmuştur. Üç bölgenin toplam çizgisellik yönelim analizinde 85354 veriye göre yaklaşık doğu-batı doğrultulu olarak elde edilmiştir (Şekil 42).

2.3.2. Tektonik Verilere Göre Çizgisellik Analizi

İkinci bağımsız veri kaynağı olarak literatürde bölge için önerilmiş olan tektonik deformasyonlar ile doğrudan ilgili olan fayların doğrultuları yani çizgisellik analizi yapılmıştır. Bunun için literatürdeki bir çok kaynak araştırılmış ve nihai olarak Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'nın online veri sağlama platformu olan 'Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü' (Web-2) en güncel ve güvenilir kaynak olarak ele alınmış ve önerilmiş olan faylar (diri faylar da dahil) sayısallaştırılarak çizgisellik analizi için kullanılmıştır (Şekil 43).



Şekil 43. Çalışma alanına ait diri ve diğer fayları (Emre vd., 2013'den değiştirilerek) kullanılarak elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölgeye ait gül diyagramı sonuçları

Çalışma bölgesi yukarıda sayısal yükseklik haritasına benzer olarak 3 alt bölgeye ayrılmıştır. Benzer şekilde sayısallaştırılan fay hatları 250 metre uzunluklu segmentlere ayrılarak homojen bir ağırlıklandırma yapılması sağlanmıştır. Elde edilen segmentlere ait doğrultuların kuzey ile yaptığı açı değerleri ölçülerek ana ve tali trendlerin gösterimi için gül diyagramlarından yararlanılmıştır. Kuzey Zon için mavi renk ile belirtilen toplam 16792 fay segmenti hesaplanmıştır. Gül diyagramı sonucuna göre kuzeydoğu-güneybatı yönünde ana trend ve yaklaşık doğu-batı yönünde ikincil fay trendi göze çarpmaktadır (Şekil 43). Kuzey Zon üzerinde Eksenel ve Güney Zon'a göre daha sınırlı sayıda fay hatları mevcuttur. Bu yüzden bu zon için göreceli örnekleme azlığının olduğu da yorumlama aşamasında dikkat edilmesi gereken önemli bir unsurdur.

Eksenel ve Güney zonlar üzerinde KAFZ'nin varlığı nedeniyle belirgin bir fay artışı bulunmaktadır. Eksenel Zon için toplam 6744 fay segmenti (kırmızı renkli hatlar) hesaplatılarak yaklaşık doğu-batı yönünde ana fay trendi ve buna ek olarak yine batı

kuzeybatı-doğu güneydoğu yönünde KAFZ’inde katkısıyla ikincil fay trendi gül diyagramı üzerinde açıkça göze çarpmaktadır. Güney Zon toplamda 8663 fay segmenti ile sayıca en fazla örnekleme sayısına sahip alandır. Siyah renk ile gösterilen bu fay hatlarından elde edilen gül diyagramına göre Aksaiyal Zon’a benzer bir sonuç elde edilmiştir. Ana fay trendi olarak yaklaşık doğu-batı yönünde uzanım göze çarparken, KAFZ’nin etkisi ile batı kuzeybatı-doğu güneydoğu yönünde ve buna eşlenik (conjugate) batı güneybatı-doğu kuzeydoğu yönünde ikincil fay trendleri de bölgede hakimdir (Şekil 43). Bölgedeki tüm fay segmentlerinin (17100 adet) bir arada hesaplatılması ile gül diyagramı üzerinde doğu-batı uzanımlı ana fay trendleri ve tali olarak ise doğu ve batı yönlerinden yaklaşık 10-20 derece sapmış ikincil fay trendleri de belirgin alt gruplar oluşturmaktadır (Şekil 43).

2.3.3. Uydu Görüntüsü Verilerine Göre Çizgisellik Analizi

Çalışma alanına ait Landsat 8 OLI uydusundan elde edilen 30 metre çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri çizgisellik analizinde kullanılmıştır. Landsat 8 OLI uydusu 9 farklı spektral banda sahiptir. Literatür çalışmalarında genelde çizgisellik analizinde 5 ve 7’ci bantlar kullanılmıştır (Javhar vd., 2019). Bu tez kapsamında farklı bantlar denenerek analizler yapılmış olup, bant 7 literatürde jeolojik özelliklerin (kayaç türü, sınırları vb) ortaya çıkartılmasında daha kullanışlı (spektral aralığı 2.11 – 2.29 μm) olduğu için bu bant çizgisellik analizi için seçilmiştir (Nait Amara vd., 2019; He vd., 2020).

Çizgisellikler, PCI Geomatica programının Line modülü kullanılarak süzgeçlenmiş görüntülerden otomatik olarak çıkartılmıştır. Otomatik çıkarım belirli bir algoritmaya dayandığı ve uygun parametreler seçilerek çizgisellik çıkarımı yapıldığında, elle belirlenen yöntemlerle saptanmış çizgisellikler ile karşılaştırıldığında yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur (Hung vd., 2005). Çizgiselliklerin çıkarımında genelde Hough dönüşümü, Haar dönüşümü ve Segment izleme olmak üzere farklı algoritmalar kullanılmaktadır (Koçal, 2004). Bu çalışmada kullanılan Geomatica programının kullandığı algoritma Segment izleme algoritmasıyla benzer bir mantığa sahiptir (Sarp, 2005). Otomatik olarak çizgisellik çıkarımı kenar belirleme, eşik değeri belirleme ve çizgi çıkarımı olmak üzere 3 ana aşamada ve Tablo 1 de verilen altı alt parametre seçimi üzerinden gerçekleştirilmiştir (URL-3, 2021).

İlk aşamada bu tür görüntüler ve analizleri için standart olarak uygulanan algoritma ve süzgeçlemeler yapılmıştır. Kenar görüntüsü oluşturmak için Canny kenar belirleme

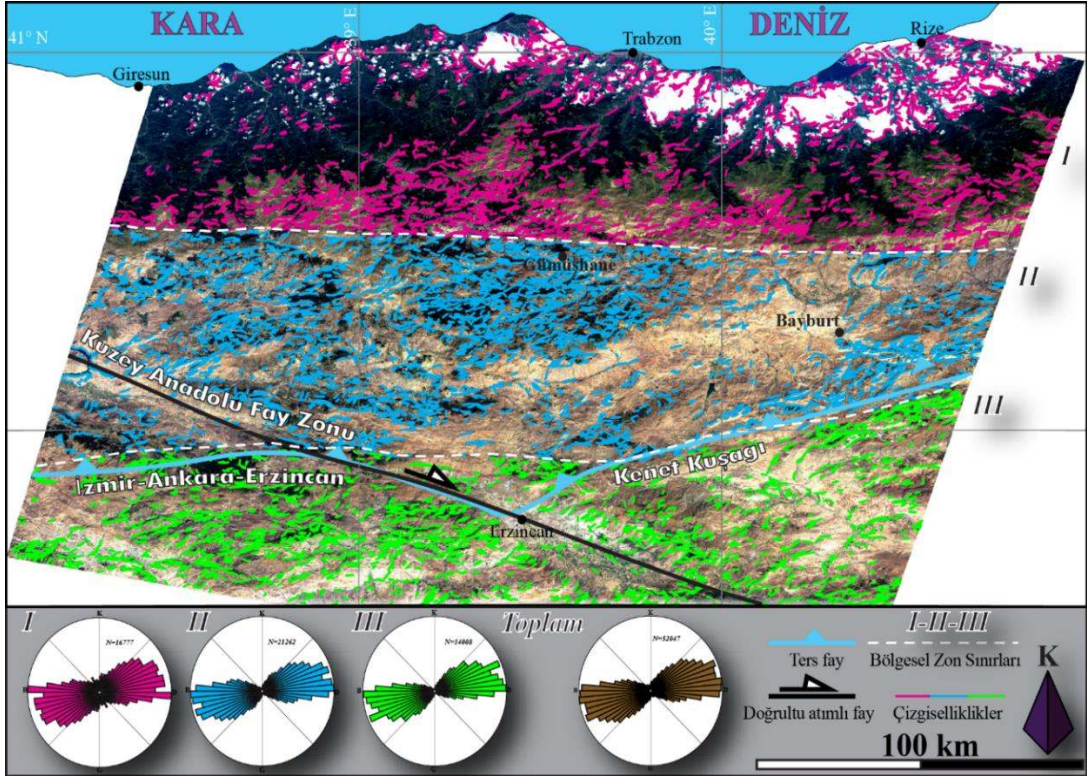
algoritması uygulanmıştır. Bunun için RADI parametresi tarafından sağlanan bir Gauss süzgeci ile girdi görüntüsü süzgeçlenmiştir. Süzgeçlenmiş görüntü üzerinden gradyan belirlenmiş ve hücre değerleri hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise ikili bir görüntü elde etmek için eşikleme işleme GTHR parametresi yardımıyla görüntüye uygulanmıştır. Bu işlem süzgeçlenmiş görüntü içindeki objeleri görüntü arka planından ayırmak için gerçekleştirilir. Son aşamada ise ikili kenar görüntüsünden çizgisellikler çıkarılır. Bu adım birkaç alt adımdan oluşmaktadır. İlk olarak piksel genişliğinde temel eğrileri oluşturmak için bir inceltme algoritması uygulanır. Ardından, görüntüden her eğri için piksel dizisi çıkarılır. LTHR parametresinin değerinden daha az sayıda piksele sahip herhangi bir eğri, sonraki işlemlerden çıkarılır. Çıkarılan bir piksel eğrisi, çizgi parçaları ona uydurularak vektör formuna dönüştürülür. Ortaya çıkan çoklu çizgi, maksimum uydurma hatasının (ikisi arasındaki mesafe) FTHR parametresi tarafından belirlendiği orijinal piksel eğrisinin yaklaşık bir değeridir. Son olarak, algoritma aşağıdaki kriterleri karşılayan çoklu çizgi çiftlerini birbirine bağlar:

- 1) İki çoklu çizginin iki uç bölümü birbirine bakar ve benzer yönelime sahiptir [iki bölüm arasındaki açı ATHR (çoklu çizgilerin birbirleriyle açısal değer farkını tanımlar) tarafından belirtilen değerden daha azdır]]
- 2) İki uç segment birbirine yakındır (uç noktalar arasındaki mesafe DTHR (Çoklu çizgilerin birbirleriyle mesafe (piksel cinsinden) farkını tanımlar) değerinden daha azdır).

Tablo 1. Sayısal yükseklik ve uydu görüntüsü verilerinden otomatik çizgisellik çıkarımında kullanılan parametre değerleri

Parametreler	Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)	Landsat 8 OLI Uydu Görüntüsü (Bant 7)
RADI (Süzgeç yarıçapı) (Piksel)	12	10
GTHR (Kenar Gradyan eşiği)	20	100
LTHR (Eğri uzunluğu eşiği) (Piksel)	20	30
FTHR (Hat uydurma hata eşiği) (Piksel)	3	3
ATHR (Açısal fark eşiği) (Derece)	30	30
DTHR (Bağlantı mesafe eşiği) (Piksel)	20	20

Çalışma bölgesi için Landsat 8 OLI uydu görüntüsü verisinden elde edilen çizgisellikler yine 3 alt zona göre sınıflandırılarak analizleri yapılmıştır (Şekil 44). Yine bir önceki veri kaynaklarında yapıldığı şekli ile elde edilen çizgiselliklerin ağırlıklandırmasında bir standardizasyon elde etmek için 250 metre uzunluklu segmentlere ayrılmıştır. Kuzey Zon'da bant 7'nin kullanılması ile toplamda 26777 adet çizgisellik segmenti analiz edilmiştir.

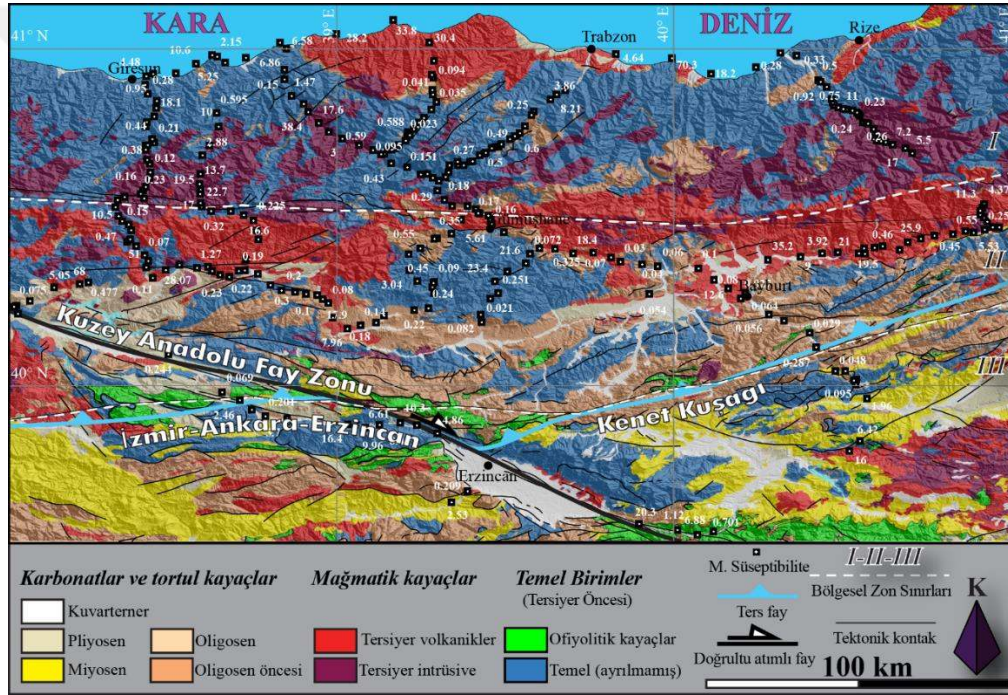


Şekil 44. Landsat 8 OLI uydusundan çalışma alanı için elde edilen 30 metre çözünürlüğe sahip uydu görüntüsü üzerinden üç alt bölge için çizgisellikler ve gül diyagramı sonuçları

Çizgiselliklerin uzanımlarını belirlemek amacı ile yerbilimciler tarafından sıklıkla kullanılan Gül diyagramı, burada da sonuçların görselleştirilmesi için kullanılmıştır. Gül diyagramları, vektör verilerinin frekansının ortak bir orijine sahip belirli azimut sınıflarında sunulduğu dairesel histogramlardır. Ortak bir histogramda olduğu gibi, her dairesel sektörün alanı, içerdiği verilerin sıklığı veya yoğunluğu ile orantılı olmalıdır (Nemec 1988). Elde edilen çizgiselliklerin yönelimlerine bakıldığında; ana yönelimin doğu-batı yönünde olduğu görülmekte, ayrıca doğu kuzeydoğu-batı güneybatı yönünde de ikincil bir çizgisellik kümelenmesi belirgindir (Şekil 44). İkincil zon olan Eksenel Zonda'da toplam 21262

çizgisellik segmenti analiz edilmiş ve gül diyagramında yine Kuzey Zon'a çok benzer bir trend elde edilmiştir. Bu zon içinde; ana yönelimin olarak doğu-batı doğrultulu bir trend ve ayrıca doğu kuzeydoğu-batı güneybatı yönünde de ikincil bir çizgisellik alt grubu gözlenmiştir. Güney Zonda da, Kuzey ve Eksenel zonlar da olduğu gibi yaklaşık doğu-batı yönlü ana çizgisellik trendi ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu ikincil çizgisellik trendi toplam 14008 çizgisellik segmenti kullanılarak ortaya çıkartılmıştır.

Bu üç zonun birleştirilmesi ile toplamda 52047 çizgisellik segmenti analiz edilerek elde edilen gül diyagramı sonucunda da doğu-batı yönler hakim yön ve kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı hatlar ise ikincil çizgisellik trendi olarak elde edilmiştir (Şekil 44).



Şekil 45. Çalışma alanı genel jeolojik ve tektonik haritası üzerine araziden alınan manyetik süseptibilite ölçüm lokasyon ve değerlerinin gösterimi

Şekil 45'te araziden 288 noktadan alınan manyetik süseptibilite ölçüm değerleri ve dağılımları verilmektedir. Ölçüm değerleri minimum 0.019 SI ile 102 SI arasında değişmekte ve ortalama değer ise 30 SI olarak hesaplanmıştır. Bölgenin kayaç türleri de dikkate alındığında; manyetik süseptibilitedeki görece yüksek değerler (20 SI ve üstü) mağmatik kayaların yoğun olduğu bölgelerde ölçülmüştür. Görece düşük süseptibilite değerlerine (20 SI ve altı) ise çalışma alanının iç kısımlarında genellikle sedimanter kayaların yoğun olarak yüzlek verdiği bölgelerde rastlanmıştır (Şekil 45).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Doğu Pontidlerde alınan gerçek manyetik veriler üzerinde değerlendirmeler yapılmadan önce amacımıza yönelik olarak yapay modeller için uygulanacak analiz yöntemlerinin çözüm kaliteleri araştırılmıştır. Bunun için uygulanacak 6 yöntem farklı derinlik ve geometrilere sahip 6 farklı model için test edilmiştir (Şekil 19). Genel olarak 6 yöntemde belli oranlarda model sınırlarını (özellikle sığ objeler için) belirleme konusunda başarılı sonuçlar üretmişlerdir (Şekiller 20-25). Bu 6 farklı yöntem için uygulanan CET analizi de kendi içinde iki farklı şekilde (entropi ve standart sapma yöntemi ile) incelenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, kullanılan yönteme bağlı olarak model sınırlarının belirlenmesinde entropi ya da standart sapma algoritmaları farklılıklar göstermektedir. Fakat iki algoritma kıyaslandığında, genellikle entropi sonuçlarında harita sınırlarının etkisinden kaynaklı yapay çizgisellikler bariz olarak gözlenmesine karşın standart sapma yönteminden elde edilen sonuçlarda bu sınır etkisinden kaynaklı yapay çizgisellikler yok denecek kadar azdır. Sonuç olarak 6 yöntem ve CET analiz için 2 algoritma beraberce kıyaslandığında; iki yöntem ön plana çıkmaktadır. Yüksek geçişli süzgeçleme ve düşey yönde birinci türev metotları diğer 4 yönteme göre kütle sınırlarının belirlenmesinde daha başarılı sonuçlar üretmiştir (Şekiller 20 ve 23). CET analiz metotları olarak standart sapma ve entropi yöntemlerinin ikisi de sığ objelerin sınırlarını belirlemede başarılı sonuçlar vermesine rağmen, standart sapma yöntemi hem sığ hem de görece derin yapıların belirlenmesinde daha başarılı sonuçlar vermektedir. Elde edilen bu sonuçlara göre, gerçek veriler için 6 yöntem içinden sadece yüksek geçişli süzgeçleme ve düşey yönde birinci türev yöntemlerinden elde edilmiş çizgisellikler için gül diyagramları çizdirilmiştir.

Gerçek veriler üzerinde çizgisellik analizlerine geçmeden önce, çalışma bölgesi içindeki jeolojik birlikler, tektonik yapılar ile manyetik anomali haritaları arasındaki ilişkiler niceliksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanı için kullanılan düzeltilmiş gerçek (hava ve yer manyetik verileri) manyetik anomali haritaları Şekil 27 ve 28’de verilmiştir. Haritalar niteliksel olarak incelendiğinde; hava manyetik anomali haritasında (EMAG-2) yaklaşık doğu-batı uzanımlı yüksek ve düşük zonlar göze çarpmaktadır. Genel olarak en yüksek genlik değerleri alanın kuzey-kuzey batı bölümün de yoğunlaşmaktadır. Bu zondan itibaren güneye doğru yaklaşık olarak alanın iç kesimlerinde düşük genlikli manyetik bölgeler gözlemlenmektedir. Bu düşük genlikli zonun güneyine doğru yaklaşık kuzeydoğu-güneybatı

uzanımlı ikinci bir yüksek genlikli bölge belirgindir. Çalışma alanının en güneyde ise yine kısmi olarak düşük genlikli manyetik anomaliler hakim olmaktadır (Şekil 27).

Yer manyetik anomali haritasına (bu çalışma ile) bakıldığında hava manyetik anomali haritasına göre bazı lokal değişimler gözlemlenmesine rağmen genel hatları ile yüksek ve düşük manyetik genlikli bölgeler örtüşmektedir. Yer manyetik anomali haritası nitel olarak değerlendirildiğinde; yine çalışma alanının kuzey bölgesinde yaklaşık doğu-batı uzanımlı yüksek genlikli manyetik alanlar belirgindir. Alanın güneyine doğru gidildiğinde yaklaşık kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı düşük genlikli manyetik zon ve bu zonun devamında yine kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı ikinci bir yüksek genlikli manyetik anomali alanı göze çarpmaktadır. Hava manyetik anomali haritasına benzer bir şekilde yine çalışma alanının en güneyinde kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı düşük manyetik genlikli bir alan belirgindir (Şekil 28). Bu zon değişimleri literatürde bölgenin jeolojik evrimi için önerilen üç farklı zon ile (kuzey, güney ve eksnel) yaklaşık olarak örtüşmektedir. İki veri kaynağından elde edilen bölgenin manyetik anomali haritalarında da bu durum belirgindir.

İki bağımsız manyetik veri kaynağından elde edilen anomali haritaları genel hatları ile benzerlikler göstermesine rağmen bazı lokal alanlarda farklılıklar da gözlemlenmiştir. Bu farkları ve benzerlikleri daha belirgin hale getirmek için, iki kaynak verisi normalize edilerek aralarındaki farklar elde edilmiştir (Şekil 29). Bu farklar haritalandığında çalışma alanının yaklaşık genelinde (%70-80) benzerliklerin %80 ve üzerinde olduğu görülmektedir. Sadece çalışma alanının güneydoğu kenarı ve kuzey, kuzey batı bölgelerinde de farkların belirgin olduğu lokal alanlar mevcuttur. Buradaki farklarda lokal olmakla beraber %80 ve üstünde farklılaşmalar ortaya çıkartılmıştır. Çalışma alanının genellikle sınırlarında belirgin olan bu farklılıklar genellikle yer manyetik verilerin toplanmasında ölçüm noktalarının eksikliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İç kısımlardaki görece küçük alanlarda gözlemlenen farklılıklar ise yer manyetik ölçümlerin, hava manyetik verisine göre lokal değişimleri daha iyi temsil ettiği düşünüldüğünden, hava manyetik verilerinde yüksek frekanslı olayların sönümlenerek, bunun aksine yer manyetik verilerinde gerçekte olan yerin sığ değişimlerini işaret eden farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 29).

Çalışma alanı için kullanılan manyetik anomali haritalarının nitelik yönünden değerlendirilmesinden sonra, literatürde sıklıkla kullanılan algoritmalar/yöntemler uygulanarak manyetik verilerin nicelik yönünden bir analizi de yapılmıştır. Sonuçlar yapay veriler içinde uygulanan 6 ana yöntem ve CET analizi için ise 2 farklı algoritma seçenekleri ile elde edilmiştir.

Hava manyetik anomali verilerine ilk olarak yüksek frekanslı ($k = \sim 0.13$) süzgeç uygulanmış ve CET analizi (entropi ve standart sapma) sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 30'ta verilmektedir. CET entropi ve standart sapma analizi sonuçlarında benzer çizgisellik trendleri ortaya çıkartılmıştır. Yaklaşık doğu batı uzanımlı bu trendler bölgede yaklaşık homojen bir dağılım göstermekte, çalışma alanının sınırlarından kaynaklı yapaylıklar belirgin değildir. Bu sonuçların aksine tilt açısı verisi üzerinden elde edilen CET analizi verileri görece kısa uzunlukta çok sayıda çizgi üretmiş özellikle entropi yönteminde sınırlardaki yapay çizgisellikler belirgindir (Şekil 31). Benzer problem tilt açısının toplam türev verisi üzerinden elde edilen CET analizi sonuçlarında da görülmektedir. Yine görece kısa uzunluklu çok sayıda çizgiler ve sınırlarda belirgin yapaylıklar dikkati çekmektedir. Düşey yönde birinci türev verisinden elde edilen CET analizi sonuçları ile yüksek geçişli süzgeç yönteminden elde edilen sonuçlarda büyük benzerlikler gözlemlenmiştir (Şekil 30 ve 33). Düşey yöndeki birinci türev verisinden görece daha fazla çizgisellikler elde edilmesine rağmen, çizgiselliklerin genel trendleri büyük oranda örtüşmektedir. Son iki yöntem olan düşey yönde birinci türevin tilt açısı ve tilt açısının toplam yatay türevi verilerinden elde edilen CET analizlerinde irili ufaklı çok sayıda çizgisellikler üretilmiştir. Özellikle sınırlardaki belirgin bu çizgisellik zonları algoritmadan kaynaklı yapay sonuçlar olarak ele alınmıştır. Bu yüzden, içinde yapay kaynaklı verilerin bulunduğu belirgin olan sonuçlar bölgenin tektoniğinin değerlendirilmesinde kullanılmamıştır.

Yer manyetik anomali verilerine ilk olarak yine yüksek frekanslı ($k = \sim 0.13$) süzgeç uygulanmış ve CET analizi (entropi ve standart sapma) sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 36'da verilmektedir. CET analiz sonucunda elde edilen çizgiselliklerde benzerlikler olmasına rağmen entropi yöntemi ile çok daha fazla çizgisellik elde edilmiştir. Çizgiselliklerin genel trendi yaklaşık kuzeydoğu-güneybatı yönünde belirgin ve bazı ara bölgelerde hiç bir çizgisellik elde edilememiştir (Şekil 36e). Tilt açısı yönteminde de benzer durumlar gözlemlenmektedir. Yine Entropi sonuçları standart sapma sonuçlarına göre daha fazla çizgisellik üretmiştir. Buna karşın, entropi sonuçlarında çalışma alanının sınırlarından kaynaklı yapay çizgiselliklerde gözlemlenmiştir. Standart sapma sonuçlarında yine bazı bölgelerde hiçbir çizgisellik belirlenememiştir (Şekil 37e). Tilt açısının toplam yatay türevinden de bir önceki metoda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Entropi sonuçlarında yine dış sınırların etkisinden kaynaklı yapay veriler belirgindir. Düşey yöndeki birinci türev sonuçları ile yüksek geçişli süzgeçleme sonuçları büyük benzerlikler sergilemektedir. Çalışma alanı için kuzeydoğu-güney batı uzanımlı çizgisellik trendleri belirgindir. Hava

manyetik verisinin düşey yöndeki birinci türevine uygulanan tilt açısı ve tilt açısının toplam türevi metotlarında CET analizinin entropi sonuçlarında standart sapma sonuçlarına göre aşırı bir çizgisellik elde edilmiştir. Özellikle sınırlardaki belirgin çizgisellikler, entropi sonuçlarında yapay veriler olduğuna dair şüpheler uyandırmaktadır. Bu yüzden hava ve yer manyetik verileri üzerinde çizgiselliklerin trendlerini belirlemek için sadece yüksek geçişli süzgeçleme ve düşey yönde birinci türev sonuçları değerlendirilmiştir. Buradan elde edilen çizgisellik sonuçları ile diğer kaynaklardan (sayısal yükseklik, uydu fotoğrafı, tektonik) elde edilen çizgisellik sonuçları gül diyagramı yardımı ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Literatürde özellikle sığ yapıların ortaya çıkartılmasında çözünürlüğü yüksek sayısal yükseklik haritaları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada da manyetik verilerden elde edilen çizgisellik analizi sonuçlarını karşılaştırmak için, bu tür iyi bilinen çizgisellik analizi sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Şekil 42’de bölgenin 30 metre çözünürlüklü sayısal yükseklik modelinden elde edilen çizgisellik sonuçları gösterilmiştir. Literatürde bölge için önerilen üç alt zona göre bu sonuçlar bölümlenmiş ve her bir zon için analizler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Daha sonra tüm sonuçlar tek bir gül diyagramı üzerinde çizdirilmiştir (Şekil 42). Bundan sonraki diğer çizgisellik analizleri içinde benzer bir yol izlenmiştir. Üç alt bölge için elde edilen çizgiselliklerde yaklaşık doğu-batı yönlü ana trend sonuçları göze çarpmaktadır. Fakat burada özellikle bölgenin kuzeybatı bölümünden geçen Kuzey Anadolu Fay Zonuna ait bir trend çizgisellik analizi sonucunda elde edilememiştir. Özellikle bu fay zonunun geçtiği bölgelerde yükseklik haritasında da kısmi düzlükler hakimdir. Bu sonuç fay zonunun aslında doğrultu atımlı olmasından kaynaklıdır ve çek ayır havza sistemine göre düzlüklerin beklenmesi normaldir. Aksine fay zonunun sınırlarında ana kaya kontağında ise çizgiselliklerin gözlemlenmesi gerekir ki bu da elde edilen sonuçlarda açıkça görülmektedir (Şekil 43). Sonuç olarak sayısal yükseklik verisinden elde edilen çizgisellik sonuçları derin fay ya da yapıların sınırlarından daha ziyade sığ, morfolojik değişimleri açığa çıkarmaktadır. Bu sınırlar gevrek deformasyondan daha çok deformasyonun daha öncül fazı olan bölgesel sünek deformasyonu ya da erezyondan kaynaklı topografya değişimlerini işaret ettiği yönünde değerlendirilmektedir.

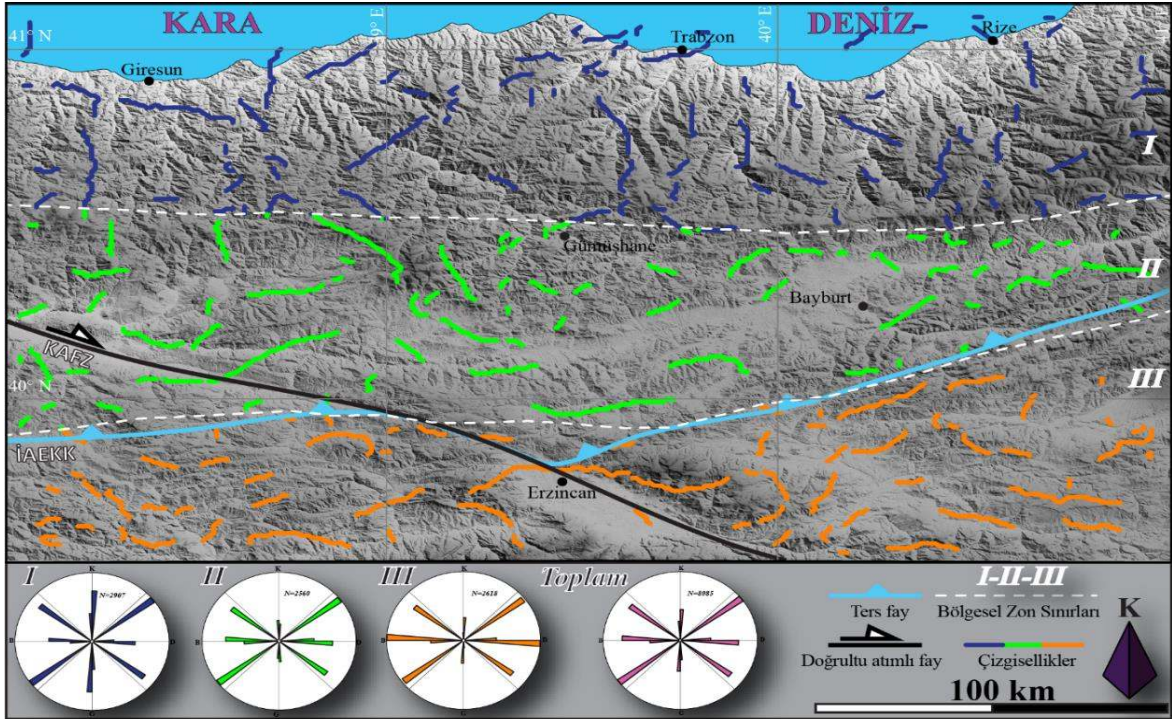
Bölgenin deformasyonunu ortaya koymak amaçlı literatürden elde edilen fay sınırları da yine farklı kaynaklı çizgisellik analiz sonuçlarının karşılaştırılması için ayrıca üç alt bölge için olası fark ve benzerliklerinin kıyaslanması amacıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen çizgisellik analizi sonuçları, sayısal yükseklik verisinden elde edilen sonuçlar ile büyük

benzerlikler göstermektedir. Üç alt bölge içinde (kuzey bölgesi daha çok kuzeydoğu-güneybatı yönelimli) yaklaşık doğu-batı yönelimli çizgisellikler gül diyagramları üzerinden görülebilmektedir (Şekil 43). Buradan da sonuç olarak yaklaşık üç bölge içinde benzer tektonik deformasyon stiline (yaklaşık kuzey-güney sıkıştırımlı) hakim olduğu değerlendirilmektedir.

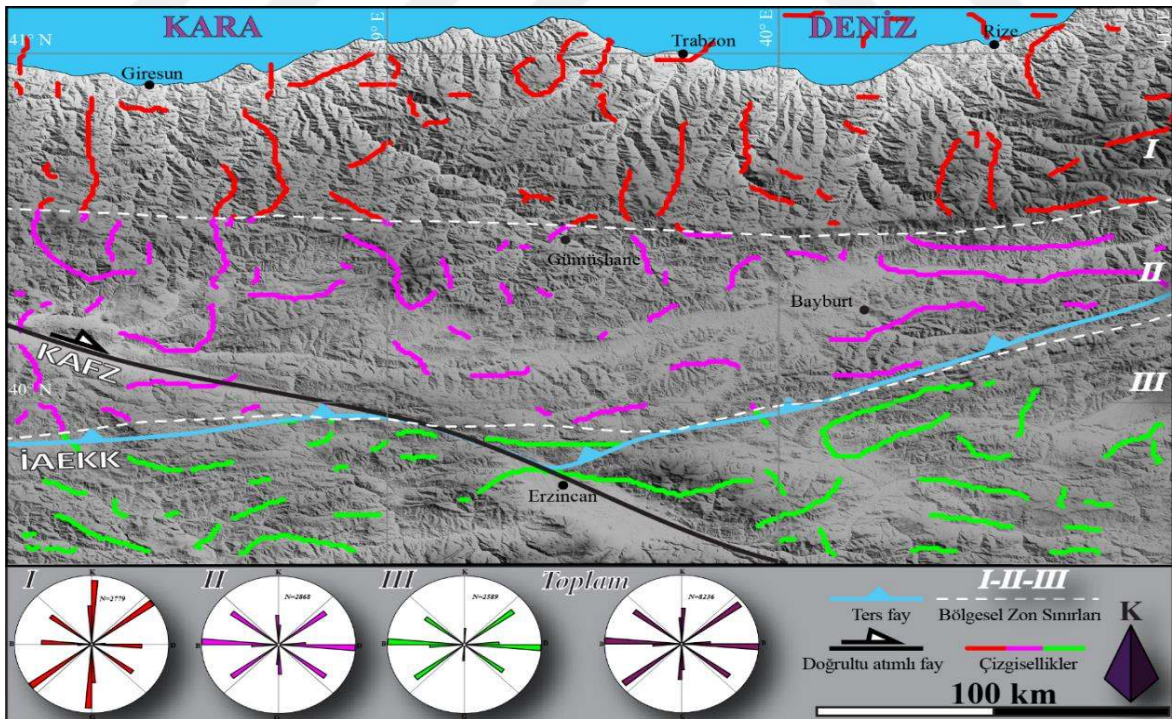
Çizgisellik analizleri için üçüncü bağımsız veri kaynağı olarak uydu görüntüsü verisi değerlendirilmiştir. İlk iki yöntemle benzer sonuçlar yine bu analiz sonucunda da görülmektedir. Her üç bölge için de yaklaşık doğu-batı uzanımlı çizgisellikler hakimdir (Şekil 44). Sonuç olarak bölgeden elde edilen üç farklı veri kaynağına göre, çizgisellikler genel olarak doğu-batı yönelimli olarak bulunmuş ve buna sebep olacak tektonik deformasyon stiline kuzey-güney yönlü sıkıştırımlı bir rejim altında olabileceği düşünülmüştür.

Gerçek manyetik verilerin, model çalışmalarından elde edilen sonuçlara bağlı kalarak sadece 2 yöntem (yüksek geçişli süzgeçleme ve düşey yönde birinci türev) kullanılarak çizgisellik analizleri yapılmıştır. Hava manyetik verilerinin yüksek geçişli süzgeçleme sonucundan elde edilen CET entropi ve standart sapma sonuçlarına göre bölge için kuzeybatı-güneydoğu ve kuzeydoğu-güneybatı konjuge çizgisellik trendleri elde edilmiştir (Şekiller 46 ve 47). Düşey yönde birinci türev verilerinden elde edilen çizgiselliklere bakıldığında yine benzer sonuçlar yani GB-KD ve KB-GD ana yönlerinde çizgisellikler daha hakimdir (Şekiller 48 ve 49). Yer manyetik anomali verilerinden elde edilen çizgisellikler görece daha az sayıdadır. Bunun nedeni olarak yer manyetik alan ölçüm noktalarının bölgenin tümüne homojen olarak yayılamamış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu şekilde örnek noktalarından uzak alanlarda gridlemeden dolayı dalga boyu yüksek anomaliler hakim olmaktadır.

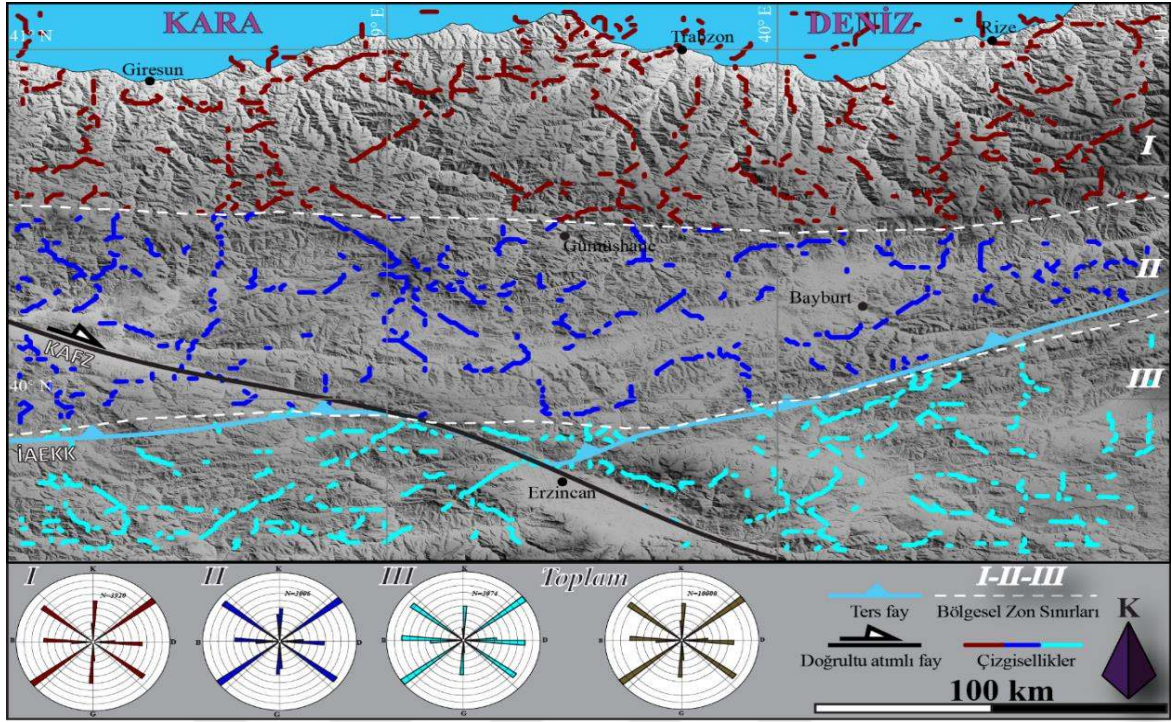
Görece çizgisellikler az olmasına rağmen gül diyagramlarında yine hava manyetik verilerine benzer çizgisellik sonuçları elde edilmiştir. Yüksek geçişli süzgeçlenmiş yer manyetik anomali haritasından KD-GB ve KB-GD uzanımlı çizgisellikler CET entropi ve standart sapma sonuçlarından açıkça görülmektedir (Şekiller 50 ve 51). Düşey yönde birinci türev verilerine uygulanan CET çizgisellik analizleri de genel olarak konjuge KD-GB ve KB-GD ana hakim yönler olmakla birlikte ilk kez diğer tüm sonuçlardan farklı olarak kuzey-güney yönlü çizgisellikler de elde edilmiştir (Şekiller 52 ve 53). Şaşırtıcı olan bu kuzey-güney yönlü çizgisellik trendlerinin arazi ölçüm güzergâhlarının genelde yaklaşık kuzey-güney olmasının bir nedeni olarak değerlendirilmektedir.



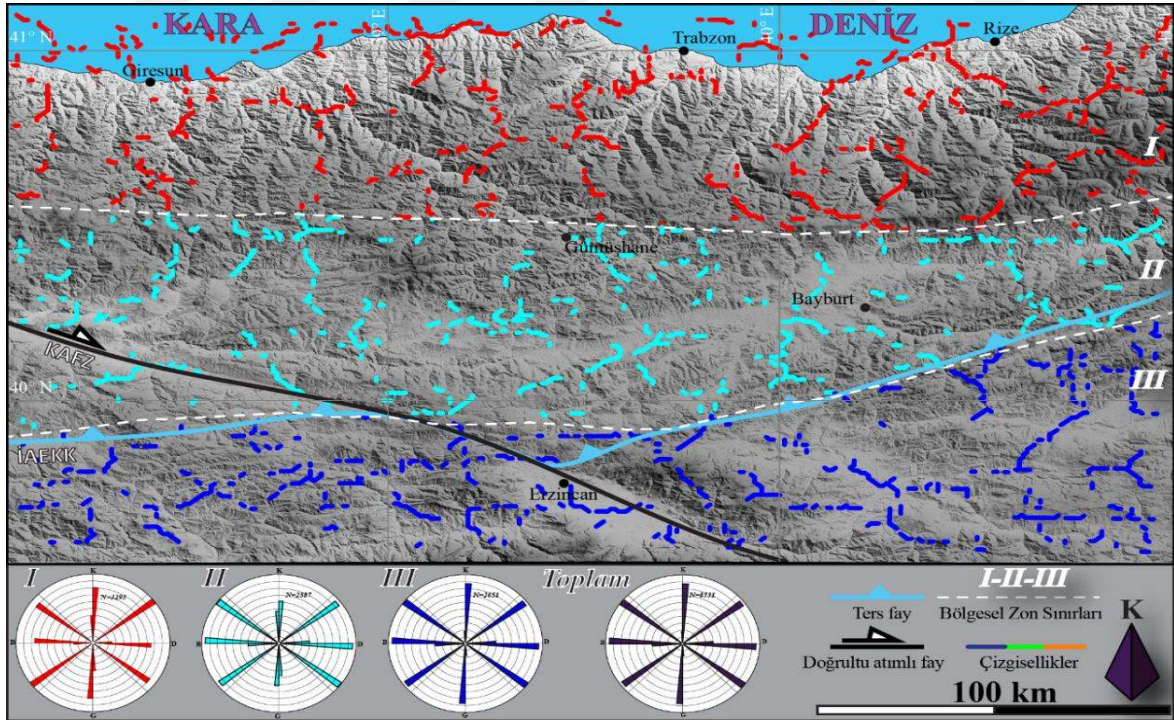
Şekil 46. 50 km dalga boylu yüksek geçişli süzgeç ile süzgeçlenmiş manyetik anomali haritasından (EMAG-2) CET entropi yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları



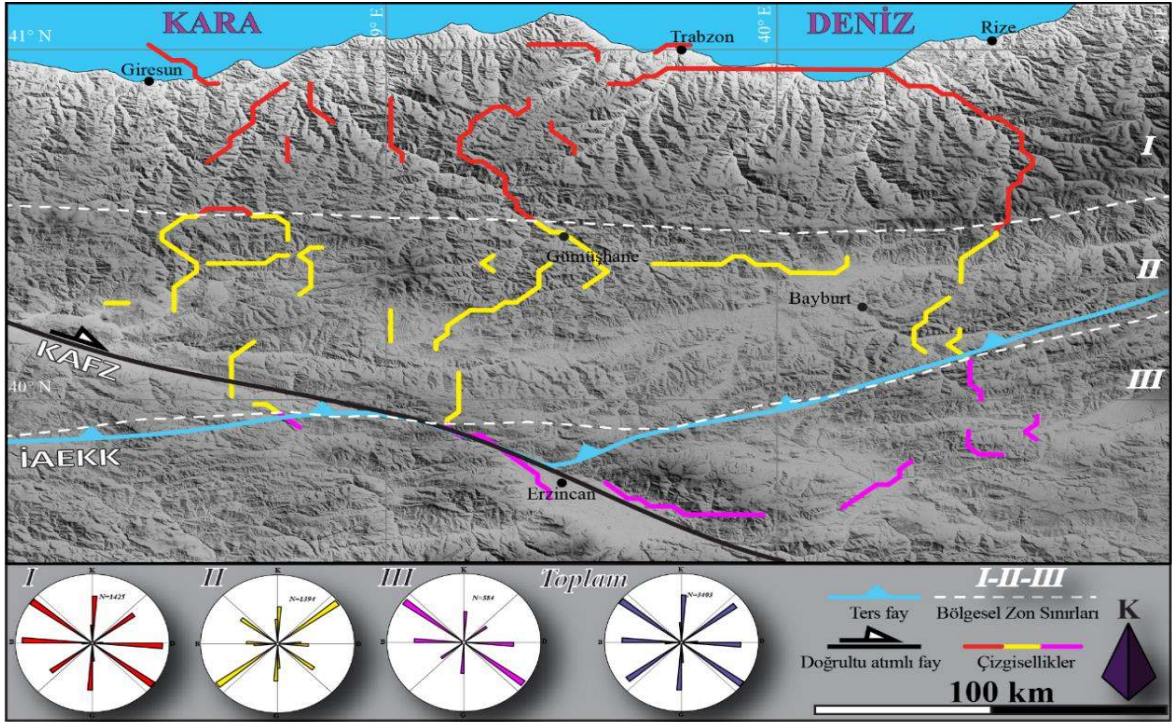
Şekil 47. 50 km dalga boylu yüksek geçişli süzgeç ile süzgeçlenmiş manyetik anomali haritasından (EMAG-2) CET standart sapma yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları



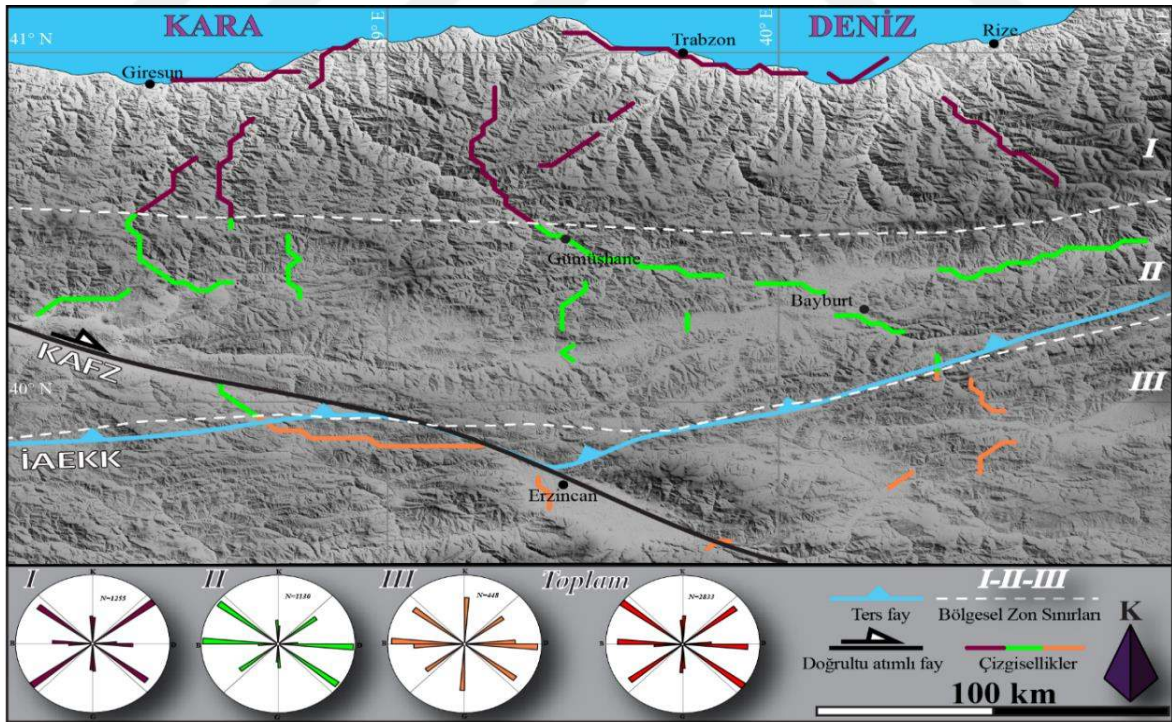
Şekil 48. Düşey yönde birinci türevi alınmış manyetik anomali haritasından (EMAG-2) CET entropi yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları



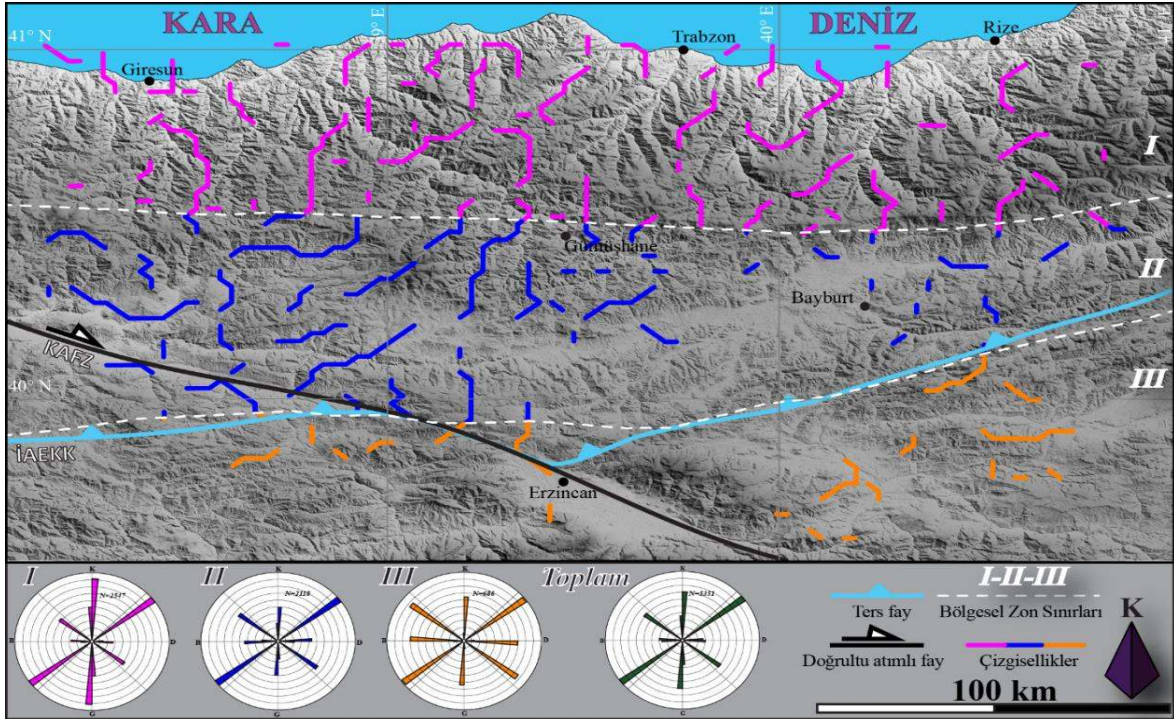
Şekil 49. Düşey yönde birinci türevi alınmış manyetik anomali haritasından (EMAG-2) CET standart sapma yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları



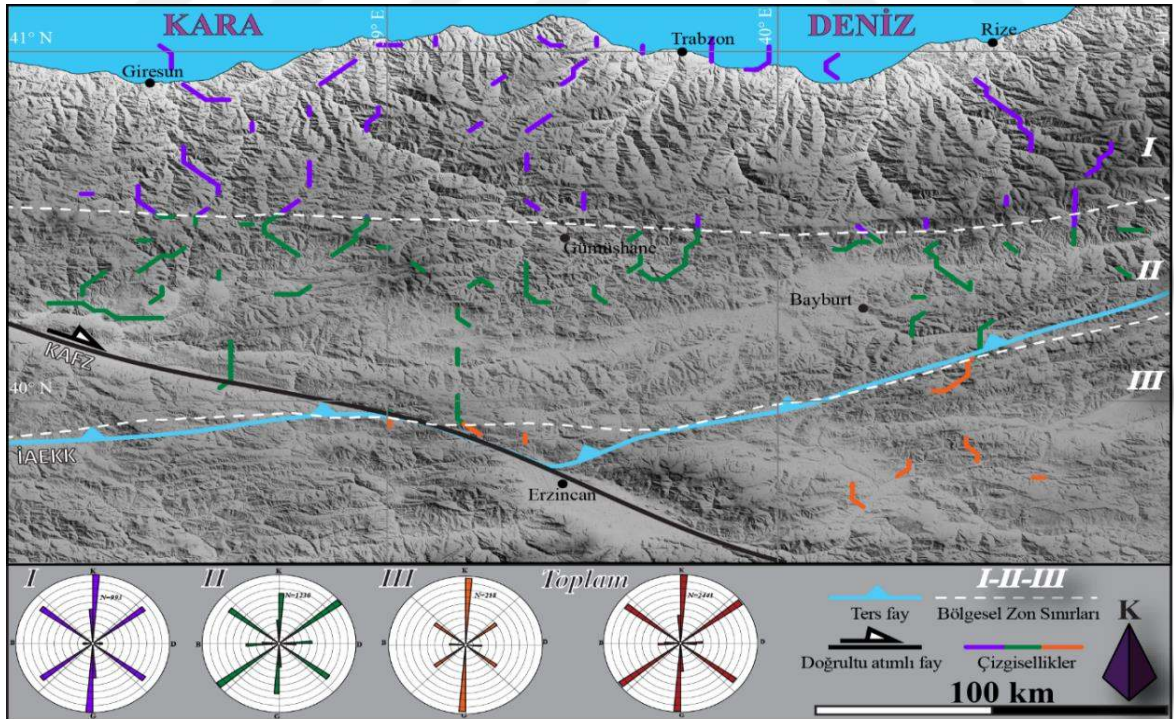
Şekil 50. 50 km dalga boylu yüksek geçişli süzgeç ile süzgeçlenmiş manyetik anomali haritasından (bu çalışma ile) CET entropi yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları



Şekil 51. 50 km dalga boylu yüksek geçişli süzgeç ile süzgeçlenmiş manyetik anomali haritasından (bu çalışma ile) CET standart sapma yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları



Şekil 52. Düşey yönde birinci türevi alınmış manyetik anomali haritasından (bu çalışma ile) CET standart entropi yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları



Şekil 53. Düşey yönde birinci türevi alınmış manyetik anomali haritasından (bu çalışma ile) CET standart sapma yöntemi ile elde edilen çizgisellikler ve üç alt bölge için gül diyagramı sonuçları

4. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında yapılan model çalışmaları ve Doğu Karadeniz Bölgesini kapsayan gerçek hava ve yer manyetik verilerin analizi sonucunda aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlar çıkartılmıştır. Ayrıca yine Doğu Karadeniz Bölgesini kapsayan sayısal yükseklik verilerinden, uydu görüntüsü ve literatürden alınan fay bilgileri de analiz edilerek, bölgenin tektonik deformasyon stilleri ve manyetik veriler ile ilişkilendirilen sonuçlarda yine maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- 1- Kütle, tektonik ya da tabaka sınırlarının araştırılması literatürde sıklıkla kullanılan 6 farklı yöntem hem model verisine hem de gerçek veriler üzerine uygulanmıştır.
- 2- Model çalışmalarında kullanılan 6 farklı yöntem için yüksek geçişli süzgeçleme ve düşey yönde birinci türev sonuçları kütle sınırlarının belirlenmesinde daha başarılı sonuçlar üretmişlerdir.
- 3- Model çalışmalarında kütle sınırlarının belirlenmesinde CET analizinde entropi yönteminin bazı durumlarda yapay etkiler ortaya çıkardığını buna karşın standart sapma yönteminde kütle sınırlarının daha belirgin ve sonuçlarda yapay verilerin etkisi de daha az olarak elde edilmiştir.
- 4- Gerçek manyetik veriler için iki farklı veri kaynağı (hava ve yer) kullanılmıştır. Gerçek manyetik veriler için yapay model sonuçlarında daha başarılı olan 2 yöntemden (yüksek geçişli süzgeçleme ve düşey yönde birinci türev) elde edilen çizgiselliklerden gül diyagramları elde edilmiştir.
- 5- Gerçek veriler üzerinde de yapılan CET analizinde entropi yönteminin yapay etkiler (sınır) ürettiği fakat standart sapma yönteminde bu tür etkilerin belirgin olmadığı görülmüştür.
- 6- Yer manyetik anomali haritası; arazi ölçümlerinin sınırlı olmasından kaynaklı hava manyetik anomali haritasına göre daha düşük frekanslı veriler içermektedir.
- 7- Yer manyetik anomali verisinde ölçüm hatlarının yarattığı kısmi yüksek frekanslı etkiler hakimdir ve CET analizi yapılmadan önce veri ilk olarak 20 km alçak geçişli süzgeç ile süzgeçlenmiştir.
- 8- Bölge için manyetik verilerden elde edilen çizgisellik analizi sonuçlarında genellikle KD-GB ve KB-GD doğrultulu veriler daha baskındır.

- 9- Manyetik verilerden elde edilen çizgisellik analizi sonuçlarında bölgenin güney batısından geçen KAFZ belirgin değildir.
- 10- Manyetik verilerden elde edilen çizgisellik analizi sonuçları tektonik sınırlardan daha ziyade kütle sınırları, formasyon sınırları gibi litolojik farkların çıkartılabildiği sonucuna varılmıştır.
- 11- Bölgenin sayısal yükseklik verisi, uydu fotoğrafı ve literatür fay hatları çizgisellik yönünden analiz edildiğinde; genel olarak doğu-batı doğrultulu hatların hakim olduğu bulunmuştur.
- 12- Yaklaşık D-B yönlü hakim çizgiselliklerden bölgenin K-G yönlü bir sıkıştırmalı bir tektonik rejim altında deforme olduğu sonucuna varılmıştır.
- 13- Literatürde bölge için önerilen üç alt zon için çizgisellik analizlerinde bir fark belirlenememiştir.
- 14- Doğu Pontidler için önerilen bu alt bölgeler farklı litolojik yapılarına göre yaklaşık doğu-batı yönlü olarak ayrılmış, çizgisellik analizi sonuçlarında benzerliklerin bulunmasıyla da tektonik olarak benzer bir (K-G sıkıştırmalı) deformasyona maruz kaldıkları sonucuna varılmıştır.
- 15- Manyetik anomali haritalarında yüksek genlikli bölgeler genel olarak süseptibilitesi yüksek kayaç gruplarında (mağmatik) yüzlek vermektedir. Düşük genlikli manyetik anomali bölgelerin de genellikle sedimanter kayaçlar yoğun olarak yüzlek vermektedir.
- 16- Tektono-morfolojik analizler ve manyetik verilerden elde edilen sık çizgiselliklerin kabuksal ölçekte devamlılıklarını elde etmek amacıyla bölgede özellikle K-G yönünde 2 ve 3 boyutlu modellemelerinin yapılması ile önemli bilgiler açığa çıkarabilir. Özellikle üretilecek kabuksal modellemelerin yardımıyla literatürde bölgenin dalma-batma tektoniği üzerinde süregelen tartışmaya da yeni bir yaklaşım ve veriler ışığı altında önemli katkılar sunacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Achache, J., Abtout, A. and Le Mouél, J., L., 1987. The downward continuation of Magsat crustal anomaly field over Southeast Asia, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 92, B11, 11584-11596.
- Ağan, A., Altınbaş, A., F., Eroğlu, C., İ., Hamzaçebi, S., Aydın, Ü. ve Çetiner, L., 2017. Trabzon-Rize (Doğu Karadeniz Bölgesi) metalik maden aramaları, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 23, 53-65.
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ., H., Hakyemez, H., Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M., F., Yurtsever, A. vd., 2011. Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, Türkiye.
- Altiner, D., Koçyiğit, A., Farinacci, A., Nicosia, U. and Conti, M., A., 1991. Jurassic, Lower Cretaceous stratigraphy and paleogeographic evolution of the southern part of north-western Anatolia, Geologica Romana, 28, 13-80.
- Arısoy, M., Ö. and Dikmen, Ü., 2011. Potensoft: MATLAB-based Software for potential field data processing, modelling and mapping, Computer Geoscience, 37, 935-942.
- Arısoy, M., Ö. and Dikmen, Ü., 2013. Edge Detection of Magnetic Sources Using Enhanced Total Horizontal Derivative of the Tilt Angle, Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University, 34, 1, 73-82.
- Arslan, M., S., Genç, T., İşseven, T., Akşahin, B., B., Özel, A., O., Karabulut, S. ve Tunçer, M., K., 2015. Tekirdağ Bölgesinde Çoklu Jeofizik Yöntemi Kullanılarak Yeraltı Yapısının Belirlenmesi ve Deprem Zararlarının Azaltılması Çalışması, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim, DEÜ, İzmir.
- Ates, A., Kearey, P. and Tufan, S., 1999. New gravity and magnetic anomaly maps of Turkey, Geophysical Journal International, 136, 2, 499-502.
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taslı, K., Akdağ, K. and Özgür, S., 1995. Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): the formation of carbonates breccias and turbidites as evidences of a drowned platform, Geologia, 57, 1-2, 233-244.
- Bektaş, O. and Çapkinoğlu, Ş., 1997. Neptunian dikes and block tectonics in the eastern Pontide magmatic arc, NE Turkey: Implications for the kinematics of the Mesozoic basins, Geosound, 30, 451-461.
- Bektaş, O., Şen, C., Atıcı, Y. and Köprübaşı, N., 1999. Migration of the Upper Cretaceous subduction-related volcanism toward the back-arc basin of the eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey), Geological Journal, 34, 95-106.

- Blakely, R.J., 1995. Potential theory in gravity and magnetic applications, Cambridge University Press.
- Bozkuş, C., 1998. Kuzeydoğu Anadolu'da (Oltu-Narman arası) Pontid/Anatolid kenet kuşağının stratigrafisi ve yapısal evrimi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4, 1-2, 487-499.
- Cordell, L. and Grauch, V., J., S., 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New México. In: Hinze W.J. (ed.). The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomalies Maps, Tulsa, Oklahoma, Society of Exploration Geophysics, 181-197.
- Darin, M., H., Umhoefer, P., J. and Thomson, S., N., 2018. Rapid late Eocene exhumation of the Sivas Basin (Central Anatolia) driven by initial Arabia- Eurasia collision, Tectonics, 37,10, 3805-3833.
- Emre, Ö., Duman, T.,Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1.
- Ensari, R., 2012. İzmit Körfezi Kuzeyindeki Manyetik Anomali Verilerinden Tilt Açısı ve Ayırık Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Çizgiselliklerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi , Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Espurt, N., Hippolyte, J., C., Kaymakci, N. and Sangu, E., 2014. Lithospheric structural control on inversion of the southern margin of the Black Sea Basin, Central Pontides, Turkey, Lithosphere, 6,1, 26-34.
- Evcimen, Ö., Tunçdemir, V., Tok, T., Metin, Y., 2020. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nin jeolojisi (Ordu-Giresun), MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 29, 101-113.
- Eyuboglu, Y., Dilek, Y., Bozkurt, E., Bektas, O., Rojay, B. and Sen, C., 2010. Structure and geochemistry of an Alaskan-type ultramafic-mafic complex in the eastern Pontides, NE Turkey, Gondwana Research, 18,1, 230-252.
- Eyuboglu, Y., Santosh, M., Bektas, O. and Ayhan, S., 2011. Arc magmatism as a window to plate kinematics and subduction polarity: example from the eastern Pontides belt, NE Turkey, Geosci. Front., 2, 49-56.
- Eyuboglu, Y., Santosh, M., Yi, K., Bektaş, O. and Kwon, S., 2012. Discovery of Miocene adakitic dacite from the Eastern Pontides Belt (NE Turkey) and a revised geodynamic model for the late Cenozoic evolution of the Eastern Mediterranean region, Lithos, 146, 218-232.
- Eyuboglu, Y., Dudas, F., O., Santosh, M., Zhu, D., C., Yi, K., Chatterjee, N., Jeong, Y., J., Akaryalı, E. and Liu, Z., 2016. Cenozoic forearc gabbros from the northern zone of the eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey: Implications for slab window magmatism and convergent margin tectonics, Gondwana Research, 33, 160-189.

- Frey, H., 1982. Magsat scalar anomaly distribution: The global perspective, Geophysical research letters, 9,4, 277-280.
- Genç, S. ve Güven H., 1994. Doğu Pontidler'de volkanizma ve jeotektonik gelişim, Yomra (Trabzon) - Keşap (Giresun) - Kelkit (Gümüşhane) yöresi, KD Türkiye, Türkiye Jeoloji Bülteni, C3791-12.
- Ghezzi, A., Schettino, A., Tassi, L. and Pierantoni, P., P., 2019. Magnetic modelling and error assessment in archaeological geophysics: The case study of Urbs Salvia, central Italy, Ann. Geophys, 61, 1-40.
- Görür, N., Oktay, F., Y., Seymen, I. and 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, 17,1, 467-482.
- Gündoğdu, N., Y., Candansayar, M., E. and Genç, E., 2017. Rescue archaeology application: Investigation of Kuriki mound archaeological area (Batman, SE Turkey) by using direct current resistivity and magnetic methods, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 22,2, 177-189.
- Gürkan, S., Karapınar, M. and Doğan, S., 2021. Mobile system: detecting buried objects by magnetic anomaly method, Journal of Applied Remote Sensing, 15,1, 017502.
- Güven, İ., H., 1998. Türkiye jeoloji haritaları : Tortum- D 31 paftası, Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü., No:60.
- Han, J., Kamber, M., Pei, J., 2012. Data Mining: Concepts and Techniques, 3rd Ed., Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- He, P., Cheng, X. and Mao, Z., 2020. An Integrated Approach for Extraction of Carbonate Rocks Based on Landsat OLI Data: a Case Study around Stone Forest, Southwest China—Upgrading for Land-use Planning Purposes, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 960, 042105.
- Hippolyte, J., C., Müller, C., Sangu, E. and Kaymakci, N., 2017. Stratigraphic comparisons along the Pontides (Turkey) based on new nannoplankton age determinations in the Eastern Pontides: geodynamic implications, Geological Society, London, Special Publications, 428,1, 323-358.
- Holden, E., J., Wong, J., C., Kovesi., P., Wedge, D., Dentith, M., and Bagas, L., 2012. Identifying regions of structural complexity in regional aeromagnetic data for gold exploration: An image analysis approach, Ore Geology Reviews, 46, 47-59.
- Hung, L., Q., Batelaan, O. and De Smedt, F., 2005. Lineament extraction and analysis, comparison of Landsat ETM and Aster imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment. Vietnam, Proc. of SPIE, 5983, 59830T, 1-12.
- Jacques, P., D., Machado, R., Oliveira, R., G., Ferreira, F., J., F., Castro, L., G. and Nummer, A., L., 2014. Correlation of lineaments (magnetic and topographic) and Phanerozoic

- brittle structures with Precambrian shear zones from the basement of the Paraná Basin, Santa Catarina State, Brazil, Brazilian Journal of Geology, 44,1, 39-54.
- Javhar, A., Chen, X., Bao, A., Jamshed, A., Yunus, M., Jovid, A. and Latipa, T., 2019. Comparison of Multi-Resolution Optical Landsat-8, Sentinel-2 and Radar Sentinel-1 Data for Automatic Lineament Extraction: A Case Study of Alichur Area, SE Pamir, Remote Sensing, 11, 778.
- Kergaravat, C., Ribes, C., Legeay, E., Callot, J., P., Kavak, K., S. and Ringenbach, J., C., 2016. Minibasins and salt canopy in foreland fold- and- thrust belts: The central Sivas Basin, Turkey, Tectonics, 35,6, 342-1366.
- Kearey, P., Brooks, M. and Hill, I., 2002. An Introduction to Geophysical Exploration, 3. Ed., UK: Blackwell Publishing Company, 155-180.
- Keçeli, A., 2012. Uygulamalı Jeofizik, TMMOB JFMO Eğitim Yayınları, 18.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri, MTA dergisi, 66, 20.
- Koçal, A., 2004. Methodology for Detection and Evaluation of Lineaments from Satellite Imagery, Msc Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Koçyigit, A., Özkan, S. and Rojay, B., 1988. Examples from the forearc basin remnants at the active margin of northern Neo-Tethys: development and emplacement ages of the Anatolian Nappes, Turkey, METU Journal of Pure and Applied Sciences, 21,183-210.
- Legeay, E., Pichat, A., Kergaravat, C., Ribes, C., Callot, J., P., Ringenbach, J., C., Bonnel, C., Hoareau, G., Poisson, A., Mohn, G. and Crumeyrolle, P., 2019. Geology of the Central Sivas Basin (Turkey), Journal of Maps, 15,2, 406-417.
- Lowrie, W., 2007. Fundamentals of Geophysics, Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK.
- Maden, N., Gelisli, K., Eyuboglu, Y. and Bektas, O., 2009. Determination of tectonic and crustal structure of the eastern Pontide orogenic belt (NE Turkey) using gravity and magnetic data, Pure and Applied Geophysics, 166,12, 1987-2006.
- Maden, N., 2013. Geothermal structure of the eastern Black Sea basin and the eastern Pontides orogenic belt: Implications for subduction polarity of Tethys oceanic lithosphere, Geoscience Frontiers, 4,4, 389-398.
- McCafferty, A., E., Phillips, J., D. and Driscoll, R., L., 2016. Magnetic and gravity gradiometry framework for mesoproterozoic iron oxide-apatite and iron oxide-copper-gold deposits, southeast Missouri, Economic Geology, 111,8, 1859-1882.

- Meyer, B., Chulliat, A. and Saltus, R., 2017. Derivation and error analysis of the earth magnetic anomaly grid at 2 arc min resolution version 3 (EMAG2v3), Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 18,12, 4522-4537.
- Miller, H., G. and Singh, V., 1994. Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources, Journal of Applied Geophysics, 32, 213-217.
- Mouritsen, H., 2015. Magnetoreception in Birds and Its Use for Long-Distance Migration. In Sturkie's Avian Physiology: Sixth Edition (pp. 113–133). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407160-5.00008-7>.
- 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.
- Nait Amara, B., Aissa, D., E., Maouche, S., Braham, M., Machane, D. and Guessoum, N., 2019. Hydrothermal alteration mapping and structural features in the Guelma basin (Northeastern Algeria): contribution of Landsat-8 data, Arabian Journal of Geoscience, 12, 94.
- Nemec, W., 1988. The shape of the rose. Sed Geol 59,1–2, 149–152.
- Okay, A., I. and Sahinturk, O., 1997. AAPG Memoir 68: Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, Chapter 15: Geology of the Eastern Pontides.
- Okay, A., I., Satir, M. and Siebel, W., 2006. Pre-Alpide Palaeozoic and Mesozoic orogenic events in the Eastern Mediterranean region, Geological Society, London, Memoirs, 32,1, 389-405.
- Okay, A., I., Bozkurt, E., Satir, M., Yiğitbaş, E., Crowley, Q., G. and Shang, C., K., 2008. Defining the southern margin of Avalonia in the Pontides: geochronological data from the Late Proterozoic and Ordovician granitoids from NW Turkey, Tectonophysics, 461, 1-4, 252-264.
- Ribes, C., Kergaravat, C., Bonnel, C., Crumeyrolle, P., Callot, J., P., Poisson, A., Temiz, H. and Ringenbach, J., C., 2015. Fluvial sedimentation in a salt- controlled mini- basin: stratal patterns and facies assemblages, Sivas Basin, Turkey, Sedimentology, 62,6, 1513-1545.
- Roest, W., R., J., Verhoef, J., Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, Geophysics, 57, 116-125.
- Rojay, B., 1995. Post-Triassic evolution of central Pontides; evidence from Amasya region, northern Anatolia, Geologica Romana, 31, 329-350.
- Rojay, B. and Süzen, L., 1997. Tectonostratigraphic evolution of the Cretaceous dynamic basins on accretionary ophiolitic melange prism, SW of Ankara Region, Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin, 9, 1-12.

- Sahin, S., Y., Güngör, Y. and Boztug, D., 2004. Comparative petrogenetic investigation of composite Kaçkar Batholith granitoids in Eastern Pontide magmatic arc-Northern Turkey, Earth, planets and space, 56,4, 429-446.
- Sarp, G., 2005. Lineament Analysis from Satellite Images, North-West of Ankara, Msc Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Scintrex Manual. Magnetic Applications Guide, Smartmag, Envi-mag, Walkmag and Envimap are Trademarks of Scintrex Limited.
- Şengör, A., C. and Yilmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, Tectonophysics, 75, 3-4, 181-241.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W., H., Siebel, W., Satır, M. and Dokuz, A., 2005. Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycık granodiorite (Eastern Pontides, Turkey), Contributions to Mineralogy and Petrology, 150,4, 441-455.
- Trepil, F., Kahoul, S., Uyimwen, O., A., Eshanibli, A., İsmail, N., A. and Ghanoush, H., 2021. Delineation of Structure Elements and the Basement Depth at the Jifara Plain NW Libya Using Integration Application of Potential Field Dataset, Acta Geodynamica et Geomaterialia, 18,1,201, 83–90.
- URL-1, <https://www.alanmuhendislik.com/>. 12.02.2021.
- URL-2, https://favpng.com/png_view/magnetic-north-pole-north-magnetic-pole-earth-south-magnetic-pole-arctic-ocean-north-pole-png/hZbi18Mf. 12.04.2021.
- URL-3, <https://catalyst.earth/catalyst-system-files/help/>. 12.04.2021.
- Verduzco, B., Fairhead, C., Green, C. and Mackenzie, C., 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping, The Leading Edge, 23, 116-119.
- Vine, F., J. and Matthews, D., H., 1963. Magnetic anomalies over oceanic ridges, Nature, 199, 947-949.
- Yilmaz, Y., Tuysuz, O., Yigitbas, E., Genc, S., C. and Sengor, A., M., C., 1997. AAPG Memoir 68: Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. Chapter 11: Geology and Tectonic Evolution of the Pontides.
- Yüzgöl, S., 2010. Eskişehir Grabeni'nin Potansiyel Alan Verileri (Gravite ve Manyetik) ile Araştırılması ve Yorumu, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Zhang, J., Zeng, Z., Zhao, X., Li, J., Zhou, Y. and Gong, M., 2020. Deep mineral exploration of the Jinchuan Cu–Ni sulfide deposit based on aeromagnetic, gravity, and CSAMT methods, Minerals, 10,2,168.

ÖZGEÇMİŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne kayıt yaptırmaya hak kazanmıştır. Mezun olduktan sonra Ankara'da özel olarak çeşitli sektörlerde çalıştıktan sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde B Sınıfı İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Belgesini almak üzere Yüksek Lisans Eğitimi'ne başlamıştır. B Sınıfı uzmanlık belgesini almıştır. Yine aynı üniversitede Jeofizik Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Eğitimine halen devam etmektedir. Evli ve 1 çocuk annesidir.

