

TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2019 Cilt 62 Sayı 2
April 2019 Volume 62 Issue 2

ISSN 1016-9164



TMMOB JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

TMMOB
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

YÖNETİM KURULU / EXECUTIVE BOARD

Hüseyin ALAN	Başkan / President
Yüksel METİN	İkinci Başkan / Vice President
Faruk İLGÜN	Yazman / Secretary
D. Malik BAKIR	Sayman / Treasurer
M. Emre KIBRIS	Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities
Gonca ŞAHİN	Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs
Buket YARARBAŞ ECEMİŞ	Yayın Üyesi / Member of Publication

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ
Geological Bulletin of Turkey

Yayın Kurulu / Publication Board

Editörler / Editors

Prof. Dr. Erdinç YİĞİTBAŞ
eyigitbas@comu.edu.tr
Prof. Dr. Orhan TATAR
orhantatar@cumhuriyet.edu.tr

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Dr. Mustafa AVCIOĞLU
m_avcioglu@comu.edu.tr
Doç. Dr. B. Levent MESCİ
mesci@cumhuriyet.edu.tr

İngilizce Editörü / English Editor
Margaret SÖNMEZ

Editör Kurulu / Editorial Board

AKGÜN Funda (İzmir, Türkiye)	ÖZKUL Mehmet (Denizli, Türkiye)
AKSOY Ercan (Elazığ, Türkiye)	ÖZMEN Bülent (Ankara, Türkiye)
ALDANMAZ Ercan (Kocaeli, Türkiye)	PARLAK Osman (Adana, Türkiye)
ALTUNEL Erhan (Eskişehir, Türkiye)	PAVLIDES Spyros (Selanik, Yunanistan)
BABA Alper (İzmir, Türkiye)	PIPER John D.A. (Liverpool, İngiltere)
BATI Zühtü (Ankara, Türkiye)	PIPIK Radovan Kyska (B. Bystrica, Slovakya)
BOZKURT Erdin (Ankara, Türkiye)	POLAT Ali (Windsor, Ontario, Kanada)
CAPUTO Ricardo (Ferrara, İtalya)	ROBERTSON Alastair (Edinburgh, İngiltere)
DEMİREL İsmail Hakkı (Ankara, Türkiye)	ROJAY Bora (Ankara, Türkiye)
EKMEKÇİ Mehmet (Ankara, Türkiye)	SAN Bekir Taner (Antalya, Türkiye)
EYÜBOĞLU Yener (Trabzon, Türkiye)	SARI Erol (İstanbul, Türkiye)
GENÇ Yurdal (Ankara, Türkiye)	SEYİTOĞLU Gürol (Ankara, Türkiye)
GÜL Murat (Muğla, Türkiye)	SÖZBİLİR Hasan (İzmir, Türkiye)
GÜLEÇ Nilgün (Ankara, Türkiye)	ŞENGÜLER İlker (Ankara, Türkiye)
GÜLER Cüneyt (Mersin, Türkiye)	TEKİN Uğur Kağan (Ankara, Türkiye)
GÜRİSOY Halil (Sivas, Türkiye)	TEMEL Abidin (Ankara, Türkiye)
HATİPOĞLU Murat (İzmir, Türkiye)	TOPUZ Gültekin (İstanbul, Türkiye)
HELVACI Cahit (İzmir, Türkiye)	TÜYSÜZ Okan (İstanbul, Türkiye)
JOLIVET Laurent (Orleans, Fransa)	ÜNLÜ Taner (Ankara, Türkiye)
KARAYİĞİT Ali İhsan (Ankara, Türkiye)	ÜNLÜGENÇ Ulvi Can (Adana, Türkiye)
KAZANCI Nizamettin (Ankara, Türkiye)	VASELLI Orlando (Floransa, İtalya)
KUSKY Timothy (Wuhan, Çin)	YAĞBASAN Özlem (Ankara, Türkiye)
KUŞÇU İlkay (Muğla, Türkiye)	YALÇIN Hüseyin (Sivas, Türkiye)
MESCİ B. Levent (Sivas, Türkiye)	YALÇIN Gürhan (Antalya, Türkiye)
NAZİK Atike (Adana, Türkiye)	YALTIRAK Cenk (İstanbul)
ÖBERHANŞLI Roland (Potsdam, Almanya)	YAVUZ Fuat (İstanbul, Türkiye)
OKAY Aral (İstanbul, Türkiye)	YILMAZ İsmail Ömer (Ankara, Türkiye)
ÖZCAN Ercan (İstanbul, Türkiye)	YUSUFOĞLU Halil (Ankara, Türkiye)
ÖZDEMİR Yavuz (Van, Türkiye)	ZAGORCHEV Ivan (Sofya, Bulgaristan)
ÖZDEN Süha (Çanakkale, Türkiye)	

Yazışma Adresi

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
PK. 464 Yenışehir, 06410 Ankara
Tel: (0312) 434 36 01
Faks: (0312) 434 23 88
E-Posta: jmo@jmo.org.tr
URL: www.jmo.org.tr

Yayın Türü	: Yaygın Süreli Yayın
Yayının Şekli	: 4 Aylık Türkçe - İngilizce
Yayın Sahibi	: TMMOB JMO Adına Hüseyin ALAN
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü	: Hüseyin ALAN
Yayının İdari Adresi	: Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe / Ankara Tel: 0 312 432 30 85 Faks: 0 312 434 23 88
Baskı (Printed by)	: ERS Matbaacılık Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı No: 87/7 İskitler / Ankara Tel: 0 312 384 54 88
Baskı Tarihi	: Temmuz 2019
Baskı Adedi	: 500

Corresponding Address

UCTEA Chamber of Geological Engineers of Turkey
PO Box 464 Yenışehir, TR-06410 Ankara
Phone: +90 312 434 36 01
Fax: +90 312 434 23 88
E-Mail: jmo@jmo.org.tr
URL: www.jmo.org.tr

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2019 Cilt 62 Sayı 2
April 2019 Volume 62 Issue 2

ISSN 1016-9164

İÇİNDEKİLER CONTENTS

Mustafa Sarıbudak

Amerika, Orta Teksas'ta Yer Alan Edwards Akiferi'nde Karstik Yapıların ve Fay Karakterizasyonunun Bütünleşik Jeofizik Yöntemler Kullanılarak Araştırılması
Locating Karstic Features and Fault Characterization Using Integrated Geophysical Methods in the Edwards Aquifer, Central Texas, USA 113

Murat Özkaptan

Orta Anadolu (Ankara ve civarı) Havzalarının Gravite & Manyetik Yöntemler ile Modellenmesi
Modeling of Central Anatolian (Ankara and vicinity) Basins with Gravity and Magnetic Methods..... 141

Orhan Tatar, Fikret Koçbulut, Ali Polat, Mehmet Demirel

02.03.2017 ve 24.04.2018 Samsat (Adıyaman) Depremleri ve Bölgesel Sismotektonik İçindeki Önemi
02.03.2017 and 24.04.2018 Samsat (Adıyaman) Earthquakes and Their Importance in Regional Seismotectonics 167

Ayfer Özdemir

Mollaresul Formasyonunun (Haymana-Ankara) Petrol Hazne Kaya Özellikleri
Petroleum Reservoir Properties of Mollaresul Formation (Haymana-Ankara) 181

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,
Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts ve
ULAKBİM TR Dizin Veri Tabanlarında yer almaktadır.

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:

*Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,
Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts and ULAKBİM TR Dizin Databases.*

TÜRKİYE JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey



Amerika, Orta Teksas'ta Yer Alan Edwards Akiferi'nde Karstik Yapıların ve Fay Karakterizasyonunun Bütünleşik Jeofizik Yöntemler Kullanılarak Araştırılması
Locating Karstic Features and Fault Characterization Using Integrated Geophysical Methods in the Edwards Aquifer, Central Texas, USA

Mustafa Sarıbudak 

Environmental Geophysics Associates, 2000 Cullen Ave. Austin, TX78753 Texas, USA

Geliş/Received : 09.01.2019 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 22.02.2019 • Kabul/Accepted : 01.03.2019 • Baskı/Printed : 15.04.2019
Araştırma Makalesi/Research Article *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

Öz: Teksas'ın merkezinde yer alan Edwards akiferi üzerinde yapılan hidrojeolojik araştırmalarda kullanılan jeofizik yöntemler önemli bir bileşen olmuştur. Jeolojik yapıyı ve stratigrafiyi haritalamak, gömülü obrukların ve mağaraların yerlerini tespit etmek için çeşitli elektrik ve elektromanyetik yöntemler kullanılmıştır. Jeofizik yöntemler ayrıca Balcones Fay Zonu'nda (BFZ) yer alan fayları ve kırıkları tanımlayabilmek için de kullanılmıştır. Austin bölgesindeki Edwards akiferi boyunca altı ayrı sahada yürütülen çalışmalar, gömülü mağaraların ve obrukların konumları ile bölgedeki fay karakterizasyonlarının iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) öz direnç ve doğal potansiyel (SP) yöntemlerinin bütünleşik kullanımı ile en iyi şekilde belirlenebileceğini göstermiştir. Yer radarı, indüksiyon polarizasyon ve sismik kırılma tomografisi gibi ilave jeofizik yöntemler kullanılarak da faylar ve karstik yapılar belirlenebilir. Bununla birlikte, yöntemlerin başarılı bir şekilde uygulanmasının bölgeye özgü olduğu belirtilmelidir; farklı bölgelerde yapılan çalışmalarda karstik yapıların araştırılmasında farklı jeofizik yöntemler farklı cevaplar verebilir ve farklı birincil jeofizik yöntemler tercih edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Edwards akiferi, faylar, jeofizik, mağaralar, obruklar, Texas.

Abstract: *Geophysical methods have been an important component of effective hydrogeologic investigations over the Edwards aquifer in central Texas. A variety of electrical and electromagnetic methods have been used to map stratigraphy and geologic structure and to locate buried sinkholes and caves. Geophysical methods can also characterize faults and fractures in the Balcones Fault Zone (BFZ). Six exemplary case studies across the Edwards aquifer in the Austin area show that the location of buried caves and sinkholes, and fault characterization are best accomplished by using a combination of 2-D and 3-D resistivity imaging and self-potential methods. Additional geophysical methods, such as ground penetrating radar, induced polarization, and seismic refraction tomography can be also used to characterize faults and karstic features. It is noted, however, that successful application of the methods is site dependent; applications in other karstic regions could respond differently to different geophysical methods and select different primary geophysical methods.*

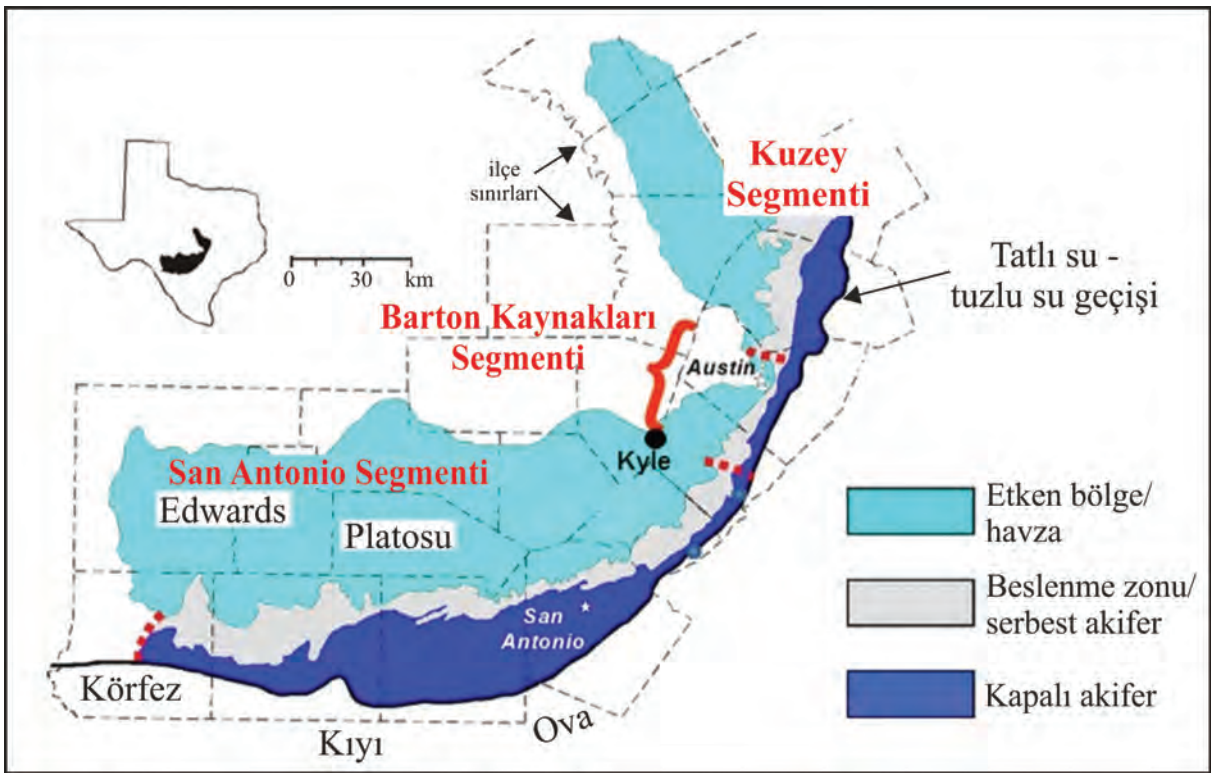
Keywords: *Caves, Edwards aquifer, faults, geophysics, sinkholes, Texas.*

GİRİŞ

Merkez-güney Teksas'taki Balcones Fay Zonu'nda (BFZ) bulunan karstik Edwards akiferi 90-210 m kalınlığında petek yapılı, gözenekli, su taşıyan bir formasyondur. Edwards Grubu ve diğer ilişkili kireçtaşlarını içerir ve üç segmentten oluşmaktadır: 1) Edwards akiferi'nin San Antonio Segmenti, batıdan kuzeydoğudaki Kyle yakınlarına kadar 225 km uzunluğunda kavis biçiminde bir eğri boyunca uzanmaktadır ve genişliği 8 ile 64 km arasında değişmektedir; 2) Barton Kaynakları Segmenti Kyle'dan güney Austin'e kadar uzanmaktadır; 3) Kuzey Segmenti ise Austin'in kuzeyine uzanmaktadır (Şekil 1).

Edwards akiferi'nin yapısal sistemi, akiferi ve ilişkili unsurları üç segment boyunca kuzeybatıdan güneydoğuya doğru uzatan ve boşaltan kademeli (en echelon) normal bir fay dizisi olan Balcones Fay Zonu (BFZ) tarafından kontrol edilmektedir (Small vd., 1996; Ferrill vd., 2005; Ferrill ve Morris., 2008). BFZ, San Antonio şehri de dahil olmak üzere güney-orta Teksas bölgesi için başlıca su kaynakları olan karstik Edwards ve Trinity akiferlerini içerir. Trinity akiferi, BFZ boyunca Edwards akiferinin altında bulunmaktadır.

Karst akiferleri, hızlı ve sıklıkla türbülanslı su akışına izin veren, kimyasal çözünme ile oluşmuş iletim hatları ve mağara yapılarından oluşan bir



Şekil 1. Edwards akiferi'nin üç farklı segmenti arasında bulunan jeofiziksel yerlerin lokasyonları (Musgrove ve Banner, 2004'ten alınmış ve değiştirilmiştir). Austin şehri, Barton Kaynakları ve Kuzey segmenti arasında bulunmaktadır.

Figure 1. Location of geophysical sites across the three segments of Edwards aquifer (taken and modified from Musgrove and Banner, 2004). Note that the city of Austin is located between the Barton Springs and Northern Segments.

ağ ile karakterize edilirler. Mağaralar, obruklar ve kaynaklar gibi karst yapılarının, kuyu ve hendek açma gibi geleneksel girişimsel yöntemlerle doğru bir şekilde karakterize edilmesi zordur. Bu nedenle, karstik yapılar yeraltı suyu, çevre sorunları, zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliği açısından nitelendirilebilecek en zorlu yapılardan biridir. Jeofizik yöntemler, bu yapıların araştırılmasında bilgi sağladığı gibi, sondajlara ve karmaşık karstik yapıların detaylı araştırmalarına da rehberlik etmektedir.

Bütünleşik jeofizik yöntemler, genellikle araştırmanın amaçlarına uygun veri setleri sağlamak için sıklıkla kullanılmaktadır. Jeofiziksel bilgi, yeraltındaki mağaraların ve obrukların yerlerini saptamak, karstik oluşumlar üzerinde yapılması planlanan yapılar için tehlikeleri önceden belirlemek, yeraltı suyu kaynaklarını araştırmak ve jeolojik yapıyı karakterize etmek için kullanılabilir. Böylece jeofizik veriler, hidrojeolojik bilgi boşluklarını büyük ölçüde azaltabilir ve karstik akış sistemlerini anlamamızı kolaylaştırır.

ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı, yaklaşık 2243 km² alanında, Teksas'ın kuzeyindeki Bexar ve Comal ilçelerinde yer alan Edwards ve Trinity akiferleri'nin ve üzerini örten birimlerin (Washita, Eagle Ford, Austin ve Taylor Grupları) mostralarının içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanındaki kayalar, sedimanter ve Erken Kretase dönemi yaşından Geç Kretase dönemi yaşları aralığındadır. Miyosen

yaşlı Balcones fay zonu (BFZ), çalışma alanındaki birincil yapısal unsurdur. Bu fay zonu, güney-orta Teksas'ta genellikle güneybatıdan kuzeydoğuya eğilim gösteren genişlemeli bir fay sistemidir. Faylar normal düşey bileşenli, kademeli (en echelon) bir yapıya sahiptir ve çoğunlukla güneydoğuya düşmüş bloklar şeklindedir.

Erken Kretase yaşlı Edwards Grubu kayaları, iki transgresyon hareketi sırasında, gel-git olayının yarattığı düz bir sahada açık denizde birikmişlerdir. Edwards Grubu, Kainer ve Person formasyonlarından oluşur. Erken Kretase yaşın bitimine yakın yaşanan tektonik yükselme, günlenme süreci ve erozyonun ardından, günümüzdeki merkez- güney Teksas bölgesi Geç Kretase döneminde Washita Grubu'nun George- town Formasyonu'nun biriktirilmesiyle sonuçlanan denizsel transgresyon nedeniyle yeniden su altında kalmıştır. Trinity Grubu'nun üzerinde yer alan Erken Kretase yaşlı Edwards Grubu; çamurtaşı-bağlamtaşı, dolomitik kireçtaşı, arjilli kireçtaşı, evaporit, şeyl ve çörtten oluşmaktadır. Kainer Formasyonu (alttan üste doğru), bazal boğumlar, dolomitik, Kirschberg Evaporiti ve danetaşı üyelerine bölünmüştür. Person formasyonu ise (alttan üste doğru), bölgesel yoğun, ayrıştırılmış, çökmüş (bölünmemiş), döngüsel ve denizel (bölünmemiş) üyelere (Clark vd., 2016) bölünmüştür. Karstik yapıların çoğu (mağaralar ve obruklar) Edwards Akiferi'nin Kainer ve Person formasyonlarında meydana gelmiştir. Üst Glen Rose Formasyonu ve Eagle Ford Grubu, Buda Kireçtaşı ve Del Rio Kili, genellikle Edwards Akiferi'nin alt ve üst sınırlama birimleri olarak kabul edilmektedir (Şekil 2).

Stratigrafi

Üst Kretase	Eagle Ford Grubu		Sınırlanmamış birimler	
	Buda Kireçtaşı			
Del Rio Kili				
Alt Kretase	Georgetown Fm.		Edwards Akiferi	
	Edwards Grup	Person Fm.		Edwards Akiferi
		Periyodik & Denizel Üye		
		Sızdıran Üye		
		Çökmüş Üye		
		Bölgesel yoğun Üye		
	Trinity Grup	Danetaşı Üye		Edwards Akiferi
		Kainer Fm.		
		Kirschberg Üye		
		Dolomitik Üye		
Üst Glen Rose		Üst Trinity		
Alt Glen Rose	Sınırlanmamış birim			
Hensel				
Cow Creek				
Hammett	Sınırlanmamış birim			

Şekil 2. Çalışma alanındaki Alt ve Üst Kretase yaşlı oluşumların stratigrafik sütunu, Edwards'ın ve altta bulunan Trinity Gruplarının hidrostratigrafik üyelerini göstermektedir (Rose, 1972, Small vd., 1996). Üst Glen Rose Formasyonu kısmen bir akıtar olarak yorumlanmaktadır (Wong vd., 2014).

Figure 2. The stratigraphic column of the Lower and Upper Cretaceous formations within the study area illustrating hydrostratigraphic members of the Edwards and underlying Trinity Group (Rose, 1972, Small vd., 1996). Note that the Upper Glen Rose Formation is partly interpreted as an aquitard (Wong vd., 2014).

YÜZEY JEOFİZİĞİ YÖNTEMLERİ

Jeofizik yöntemler yeraltını keşfetmek için kullanılan güçlü araçlardır. Uygulamalar arasında hidrolojik ve hidrojeolojik karakterizasyon, boşlukların ve karstik yapıların yerlerinin belirlenmesi, toprak karakterizasyonu ve kirlilik değerlendirmesi bulunur. Çok kanallı yüzey dalgası analizi yöntemi ile birlikte sismik kırılma gibi teknolojiler son on yılda artarak kullanılmalarına rağmen, iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) özdirenç kesiti, doğal potansiyel (SP), yer iletkenlik (EM-31 ve 34), gravite ve manyetik yöntemler daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Mevcut teknikler, birkaç metreden kilometreye kadar farklı derinliklerde penetrasyon ve çözünürlük özellikleri sunarlar. Bu sebeple, yeraltının farklı fiziksel özelliklerin analizi için birden çok jeofizik yöntem bütünlük olarak kullanılmaktadır (Çizelge 1).

Jeofizik yöntemleri, Teksas'ın merkezinde yer alan Edwards akiferi'nin hidrojeolojik incelemesinde etkili bir bileşeni olmuştur. Başlıca ana akifer sistemlerinde stratigrafyi, jeolojik birimleri ve su tablasının derinliğini haritalamak için elektrik ve elektromanyetik yöntemlerin bütünlük olarak kullanılmıştır (Fitterman ve Stewart, 1986; Connor ve Sandberg, 2001). Jeofizik yöntemler aynı zamanda karst yapılarının (mağaralar, boşluklar, kırıklar ve faylar) konumlarını belirlemek için de kullanılmıştır (Gary, vd., 2013; Shah, vd., 2008; Smith, vd., 2005; Blome, vd., 2008; Saribudak, 2011; Saribudak, vd., 2012a; Saribudak, vd., 2012b; Saribudak, vd., 2013; Saribudak, 2015; Saribudak, 2016; Saribudak ve Hauwert, 2017).

Çizelge 1. Karstik özellikler ve fayların karakterize edilmesinde kullanılan geleneksel jeofizik yöntemler.

Table 1. Traditional geophysical methods used in characterizing karstic features and faults.

Yöntem	Ölçülen parametre
Özdirenç	Yeraltına iletilen elektrik akımına karşılık oluşan potansiyel fark
Doğal Gerilim	Yeryüzündeki doğal akımlardan kaynaklanan elektrik potansiyelleri
Yer Radarı	Yansıyan EM enerjisinin varış zamanı ve genliği
İletkenlik	Yeraltındaki iletkenler nedeniyle indüklenen manyetik alanlar
Gravite	Yerçekimi ivmesinin düşey bileşeni
Manyetik	Dünya'nın manyetik alanının büyüklüğü ve/ veya gradyanı
IP	Yeraltına iletilen akımın kesilmesi ile elektrik potansiyelinde düşüş
Sismik	Kırılan elastik enerjinin genliği ve varış zamanı

Bu çalışmada, Edwards kiferi'ndeki 6 araştırma sahasına ait sonuçlar sunulmuştur. Araştırmalar sahalari Austin bölgesindedir ve Balcones Fay Zonu'nun (BFZ) içinde bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, bütünleşik jeofizik yöntemlerin genel olarak Edwards akiferi'nin hidrostratigrafisi ve özellikle BFZ içindeki karstik yapılar, faylar ve kırıklı yapılar ile ilgili nasıl önemli bilgiler sağlayabileceğini göstermektir.

Türkiye'de ise karstik oluşumların araştırılmasına yönelik yapılmış olan çalışmalara örnek olarak Balkaya vd.,'nin (2012) Ayvacık Düdeni civarındaki çalışmaları verilebilir. Bu çalışmada karstik boşlukların araştırılmasında manyetik ve 2B düşey elektrik sondajı (DES) yöntemleri kullanılarak kireçtaşı-mağara sisteminin dokanak yüzeyi saptanmış ve yüksek öz direnç anomalisi veren karstik boşluk belirtisi elde edilmiştir. Bir başka çalışma örneği ise Uçar ve Aktürk'ün (2015) Antalya Masa Dağı bölgesindeki yeraltı boşluklarını tespiti için yapmış olduğu 2B elektrik öz direnç ölçümleridir.

Bu çalışmada, doğal potansiyel (SP), öz direnç tomografi, sismik kırılma tomografi, indüklem polarizasyon (IP) ve yeraltı radarı yöntemi (GPR) kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlere ait kısa bilgilendirmeler aşağıda verilmiştir.

Self Potential (SP)

Doğal gerilim (SP), yeryüzünde ölçüm noktasının yakınında elektrik potansiyellerinin bulunmasına neden olan jeolojik, jeokimyasal ve hidrolojik etkileşimlerden kaynaklanan ve doğal olarak ortaya çıkan elektrik potansiyelidir (Lange ve Kilty, 1991, Lange, 1999, Vichabian ve Morgan, 2002, Revil ve Jardani, 2013).

SP yöntemi pasif, müdahalesiz ve elektrik akımı uygulaması gerektirmez. Doğrudan temas halinde olan farklı konsantrasyonlardaki iki elektrolitik çözelti ve yer altı suyunun gözenekli maddelerden akmasıyla (akış potansiyeli) birkaç millivoltluk sıra halinde küçük potansiyeller üretilir. Yavaş yavaş değişen doğru akımlar (D.C.), mağaralar ve obruklar gibi karstik özelliklerin belirlenmesine yardımcı olan geçirimli malzemeler içinde yeraltı suyu akışı nedeniyle doğal potansiyellerin yüzey dağılımına yol açar (Saribudak, 2016, Saribudak ve Hauwert, 2017).

Bir doğal potansiyel yöntemi, bir çift elektrot ile birlikte bir baz istasyonunun kullanılmasını içerir. Baz istasyonu, bir makara üzerindeki gezici istasyonuna bağlanmıştır. Voltmetrenin doğruluğu 0.1 mV değerinde kaydedilmiştir. İstasyon veri noktaları SP profillerinde dolu daireler şeklinde gösterilmektedir.

Elektrik Özdirenç Tomografi Yöntemi

2B özdirenç yöntemi, zemine iki akım elektrodu boyunca sabit bir akım uygulayarak ortaya çıkan gerilim farklarını iki potansiyel elektrotta ölçülmesi ile yeraltını inceler. Elde edilen görünür özdirenç değeri, ölçülen özdirençin ve seçilen bir elektrot dizilimi için uygulanan geometrik düzeltmenin bir ürünüdür. Özdirenç değerleri (ohm-m), ortamdaki su veya nem varlığı, malzemedeki gözenek boşluğu miktarı, dağılımı ve sıcaklık gibi değişkenlerden yüksek oranda etkilenir (Rucker ve Glaser, 2015). Arazi ölçümleri sırasında The Advanced Geosciences, Inc. (AGI) şirketine ait SuperSting R1 cihazı ile dipol-dipol dizilim kullanılarak ölçüm alınmıştır. 2B/3B elektrik özdirenç kesitleri Advance Geoscience's EarthImager 2D/3D yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Veri toplama aşamasından önce her bir profil için kontak direnci testi yapılmıştır. Kontak direnci testi, elektrotlar ile yer yüzeyi temasının sorunlu olup olmadığını kontrol etmek için yere gönderilen akımın her bir elektrot için test edilmesidir. Yüksek veya çok değişken elektrot temas direnci değerleri nedeniyle düşük veri kalitesi veya veride anormal değerler elde edilebilir. Bu nedenle kontak direnci testinden önce ölçüm profilleri boyunca her bir elektrotta tuzlu su çözeltisi eklenerek kontak direnci etkisi azaltılmıştır.

AGI EarthImager 2D programı özdirenç verilerinden 2B ters çözüm modellemesi için kullanılan bir programdır (EarthImager 2D Manual, 2002-2014). Bu program ile arazide toplanan verilere ters çözüm yöntemi uygulanarak 2B elektrik özdirenç kesiti elde edilmiştir.

Sismik Kırılma Tomografi Yöntemi

Sismik kırılma yöntemi, yanal ve düşey yöndeki sismik hız ve / veya katman kalınlığı değişikliklerini tanımlar ve tabakalı bir jeolojik sahada en iyi sonucu verir. Sismik Kırılma

yöntemi için en önemli olanı, sismik dalgaların içinde yayılma hızı en yüksek olan P dalgası enerjisidir (Chen ve Zelt, 2016). Bir P dalgası yeryüzünde ilerledikçe, geçtiği her parçacığı, bir dizi sıkıştırma ve genişletme hareketiyle yayılma yönüne paralel yönde hareket ettirir (Parasnis, 1996). Kırılma yöntemi, yalnızca hızı derinlikle artan katmanları görmektedir.

Arazi çalışmasında veriler Geometrics Geode cihazı kullanılarak 3 metre jeofon aralığı ile dizilmiş 24 adet jeofon ile toplanmıştır. Sismik enerji kaynağı olarak 6.5 kilogram ağırlığında bir balyoz kullanılmıştır. Profil boyunca farklı ofset mesafelerinde toplam 11 adet atış yapılmıştır. Sinyal/gürültü oranını arttırmak amacıyla her ofset noktasında 5 vuruş yapılarak veri toplanmıştır. Sismik kırılma veri işlemi için Intelligent Resources, Inc. tarafından sağlanan Rayfract yazılımı içindeki ışın-izleme algoritması kullanılmıştır ve Golden Surfer programı ile sismik kırılma tomografi kesiti çizilmiştir.

Yeraltı Radarı Yöntemi (GPR)

Yeraltı Radarı Yöntemi'nde (GPR) 400 megahertz (MHz) anten kullanılarak 3 metre araştırma derinliğine kadar veri toplanmıştır. GPR, 1 ile 1000-megahertz (MHz) frekans aralığındaki radyo dalgalarını kullanan tekniklere verilen genel isimdir. Bu yöntem, yüzeye yakın jeolojiyi ve insan-yapımı birimleri haritalamak için kullanılır (örneğin, Freeland, 2015; Freeland vd., 2016; Lachlab vd., 2015).

GPR sistemi, verici ve alıcı antenlerinden ve renkli bir ekran ünitesinden oluşur. Radyo dalgalarının derinlik penetrasyonu yerin iletkenliğine ve seçilen antenin özelliklerine bağlı olarak değişir. Frekans yükseldikçe ve kullanılan anten küçüldükçe arama derinliği sığlaşmaktadır. Yeraltındaki malzemesinin elektrik iletkenliği, radar sinyallerinin derinlik penetrasyonunu belirler. Topraklarda ve gözenekli kayalarda

elektriksel iletkenlik, su içeriği, kil içeriği ve gözenekli suyun iletkenliği ile yönetilir (Rucker ve Ferre, 2004). Arazide toplanan GPR verilerinin işlenmesi için Jeofizik Araştırma Sistemi A.Ş.' ait (GSSI) Radan 7 yazılımı kullanılmıştır. GPR verisine temel gürültüleri kaldırmak için sadece background removal filtre uygulanmıştır.

İndüklem Polarizasyonu (IP)

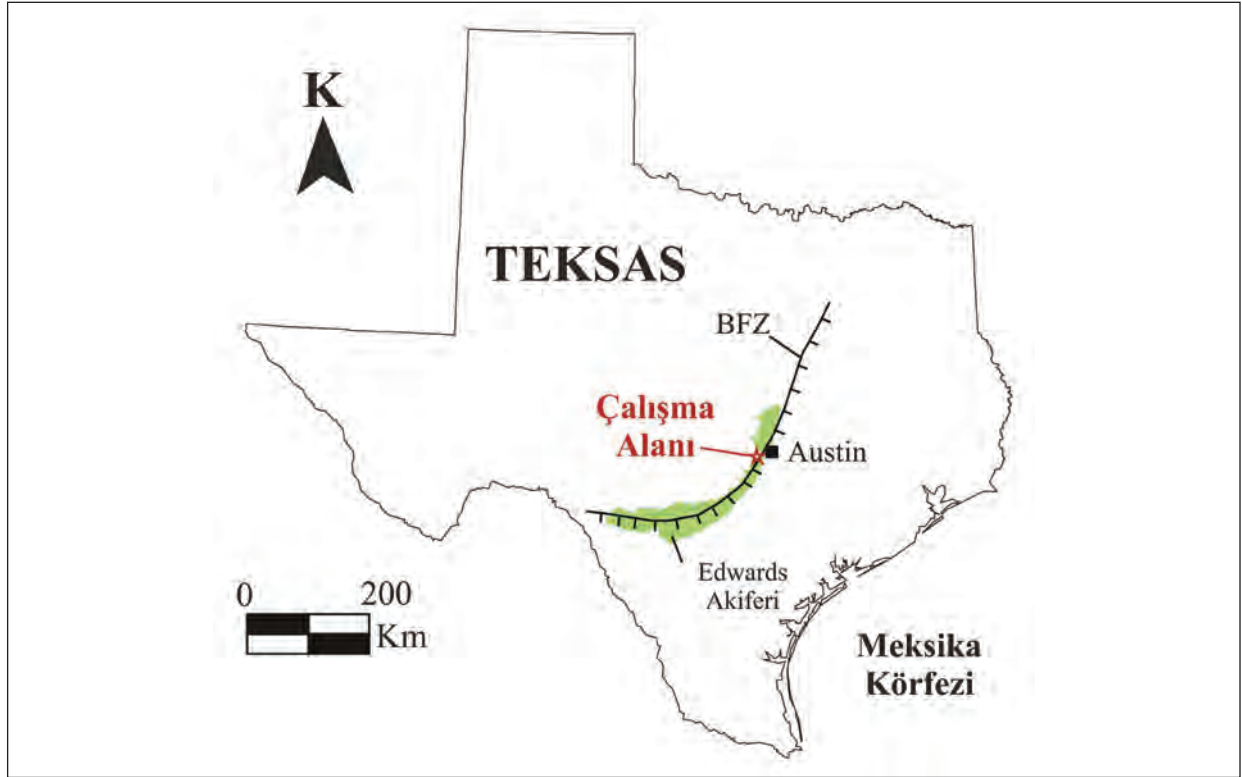
Zamanın bir fonksiyonu olarak azalan potansiyel farkının ölçülmesi, zaman ortamında İndüklem Polarizasyonu (IP) yöntemi olarak bilinmektedir.

Bu yöntemde yere uygulanan akımın kesilmesinden sonra yerden alınan gerilimin hemen sıfır olmadığı, ancak belli bir değerden itibaren sıfır değerine ulaştığı izlenir. İndüklem polarizasyonu metodu cevher araştırmalarında

yaygın olarak kullanılmaktadır (Parasnis, 1996). Bu yöntemin jeoteknik ve mühendislik uygulamalarında kullanımı sınırlıdır ve temel olarak yeraltı suyu araştırmalarında kullanılır. Arazide öz direnç ölçümlerinin alındığı sırada aynı zamanda IP verisi de toplanmıştır. IP ölçümlerinde kullanılan birim milisaniye cinsindedir.

ÖRNEK SAHA ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada sunulan altı araştırma sahası; jeofizik yöntemlerin, fayların ve karstik özelliklerin (mağaralar ve obruklar) yerlerinin belirlenmesinde ve BFZ tarafından sınırlanan Edwards akiferi'nin stratigrafi haritasının ve jeolojik yapısının oluşturulmasında etkili bir şekilde kullanılacaklarını göstermeyi amaçlamaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Teksas'ın merkezinde yer alan Edwards akiferi ve Balcones Fay Zonu'nu (BFZ) gösteren harita.

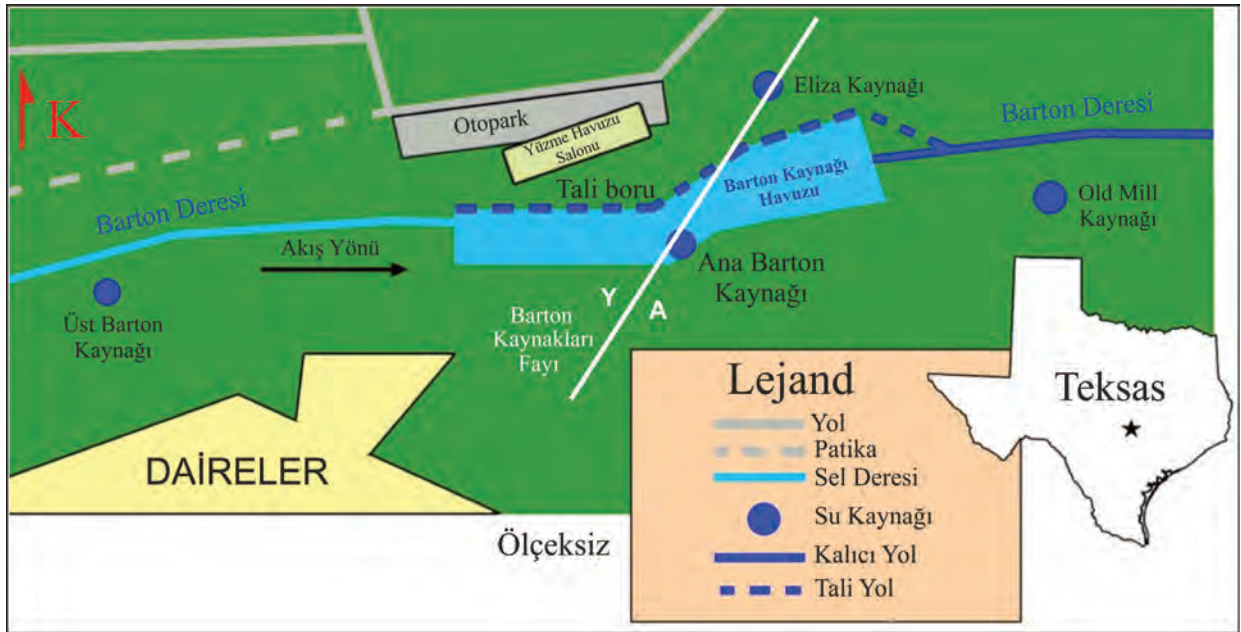
Figure 3. Map showing the Edwards aquifer and Balcones Fault Zone (BFZ) in central Texas.

1. Araştırma Sahası: Ana Barton Su Kaynağı'ndaki Barton Kaynak Havuzu İletim Hattı

Barton Kaynak Havuzu, eğlence amaçlı kullanılan ve çevresindeki doğal su kaynaklardan beslenen bir açık yüzme havuzudur. Bu havuz Austin, Teksas'taki Zilker Park'ında yer almaktadır. Havuz, Barton deresindeki kanal içerisinde bulunmaktadır ve Teksas'taki dördüncü büyük kaynak olan Ana Barton su kaynağından gelen suyu kullanmaktadır (Şekil 4).

Ana Barton su kaynağı, Teksas Austin Zilker Parkı'ndaki Edwards akiferi'nin önemli bir boşaltma alanı olarak yer almaktadır.

Barton Kaynakları en az dört su kaynağından oluşmaktadır. Ana Barton su kaynağı dışında fayların batısındaki havuzun zemininde yer alan, birçok çatlaklar ve çakıllarla dolu çözelti oyukları ve bir mağara boyunca birçok çıkış noktalarından gelen malzemeler Barton Kaynakları havuzuna akarlar (Hauwert, 2009). Ana Barton su kaynağı bölgesinin yüzey jeolojisi, Edwards akifer birimlerini (bölgesel yoğun ve sızdıran çökmüş üyeler) ve Georgetown Formasyonunu içerir (Hauwert, 2009). Barton Kaynakları Fayı, Edwards Grubu birimleri ile Georgetown Formasyonuna ait birimleri yan yana koymaktadır. Barton Kaynak havuzunun havadan görüntüsü ve şematik jeolojik kesiti (Young, 1974) Şekil 5'de verilmektedir.



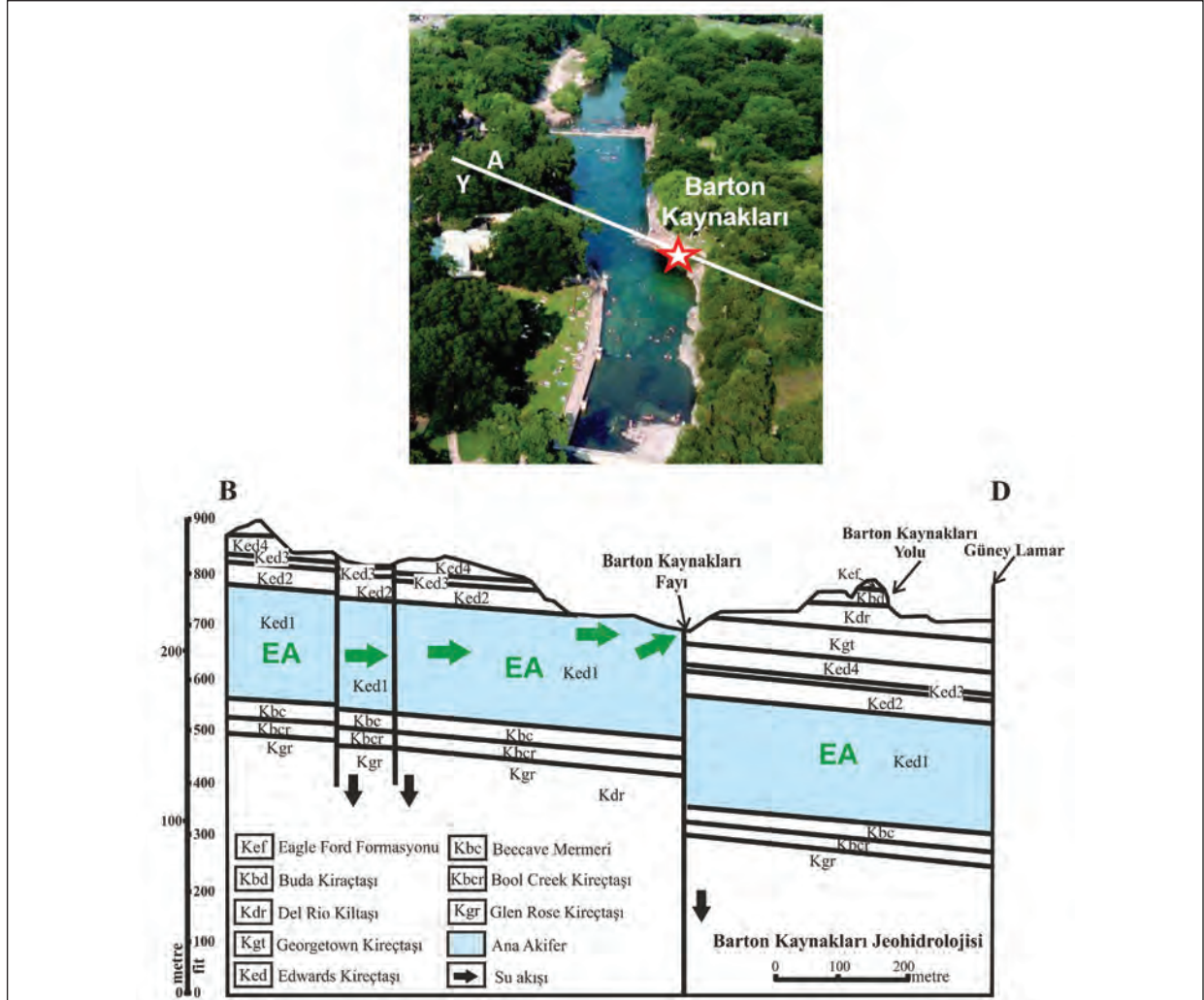
Şekil 4. Barton Kaynağı yüzme havuzunun şematik haritası. Barton Deresi'nin yüzey suyu yeraltı borusu yardımıyla kuzeye yönlendirilmiştir. Ana Barton Kaynağı'ndan gelen bu yeraltı suyu yüzme havuzuna doğrudan boşalmaktadır. Barton Kaynakları Fayı, Ana Barton Kaynağı'nı kuzeydoğu-güneybatı yönünde kesmektedir. Eliza ve Old Mill Kaynakları'nda da jeofizik çalışmalar yapılmış ve sonuçlar Saribudak vd., 2013'de yayınlanmıştır.

Figure 4. Schematic map of the Barton Springs Swimming pool. Note that the surface water of Barton Creek was diverted via an underground pipe to the north. The groundwater from the Main Barton Springs discharges into the swimming pool. Note that the Barton Springs fault crosses the Main Barton Springs in the northeast-southwest direction. Geophysical studies were also conducted on Eliza and Old Mill Springs and results were published in Saribudak vd., 2013.

Austin, Teksas'taki Barton Kaynak havuzu civarında birçok jeofiziksel araştırma yapılmıştır (Saribudak vd., 2013; Saribudak ve Hauwert, 2017).

Zilker Parkı yüzme havuzunun güney çit sınırı boyunca doğu-batı uzanımlı profil boyunca

elektrik öz direnç (2B ve 3B), doğal potansiyel (SP), indüksiyon polarizasyon (IP) ve tomografik sismik kırılma çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). Yüzme havuzunda yaşayan nesli tükenmekte olan Semender türlerinin etkilenmemesi için doğal potansiyel (SP) verileri yüzme havuzunun yakın çevresinde toplanmıştır (Şekil 6, S1 profili).



Şekil 5. (a) Barton Kaynak havuzunun havadan görüntüsü ve (b) Edwards akiferi (EA) içindeki yer altı suyunun (yeşil oklar) batıya doğru akışının Barton Kaynakları Fayı ile sonlandırılıncaya kadar nasıl aktığını gösteren şematik jeolojik kesit (Prof. Dr. Keith Young'ın izni ile, 1974).

Figure 5. An aerial view of the Barton Springs pool (a) and the schematic geological cross-section suggesting how groundwater flows (green arrows) within the Edwards Aquifer (EA) from the west direction until its flow is terminated by the Barton Springs fault (Courtesy of Prof. Dr. Young, 1974).

SP verilerine ait sonuçlar Şekil 7’de verilmiştir. Güney yakasındaki SP verilerinde, düşük SP anomalisi (A1) 60 m istasyonunda görülmektedir. Bu anomali, Barton Kaynakları Fayı’nın havuzdan geçtiği yere karşılık gelmektedir (Şekil 7). Bu anomalinin kaynağı bir mağara olarak yorumlanabilir. SP verileri, 75 ve 120 m istasyonları arasında yüksek SP anomalisini (A2) işaret etmektedir.

Karşılaşılan bu önemli SP anomalisi varlığı bize Zilker Parkı’nın güneyinde, havuzun disinda birden fazla jeofizik yöntemin (özdirenç, IP, sismik kırılma tomografisi) uygulanması gerektiğini göstermektedir (Şekil 8).

Çalışma alanında yapılan özdirenç ölçümlerinden elde edilen özdirenç kesit (Şekil 8a), yaklaşık 10 m’lik derinlikte önemli bir düşük özdirenç anomalisini (mavi renk) göstermektedir.

Profil üzerinde Zilker Parkı’nın güney kapı girişi referans olarak belirtilmiştir. Anomali 10 m genişliğe sahiptir ve doğuya doğru bir dalma olduğu görülmektedir.

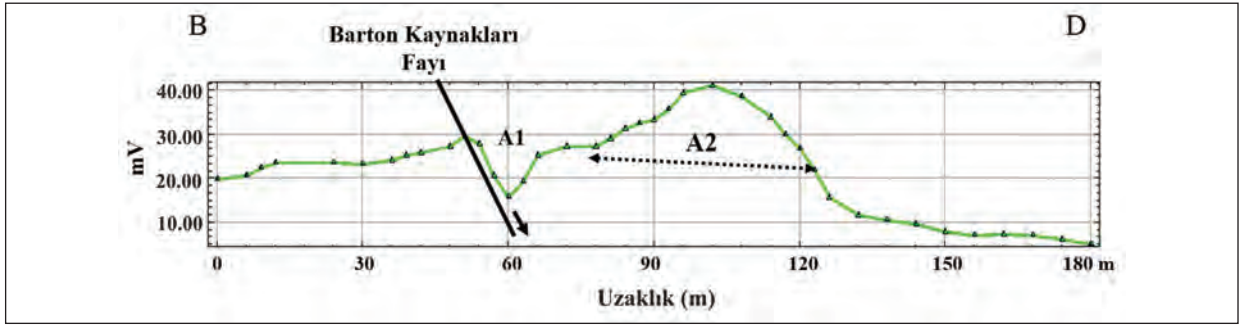
Düşük özdirenç anomalisinin su ve/veya bir karst yapısı içindeki kil varlığının birleşiminden kaynaklandığı yorumlanmaktadır. Aynı profil üzerinde alınan IP ölçümlerinden elde edilen kesitte (Şekil 8b) yüksek anomali değerleri düşük özdirenç anomalisinin görüldüğü lokasyonda (kırmızı renk) bulunmaktadır. IP profilinde gözlenen anomalinin kil oluşumları ve/veya sülfat partikülleri gibi mineralleşmelerden kaynaklandığı yorumu yapılabilir.

Bu anomalinin lokasyonu, Ana Barton su kaynağı’nın havuza boşaldığı yere daha yakındır. Dolayısıyla, bu SP anomalisinin kaynağı yer altı suyunun havuza boşalmasıyla ilişkili olabilir.



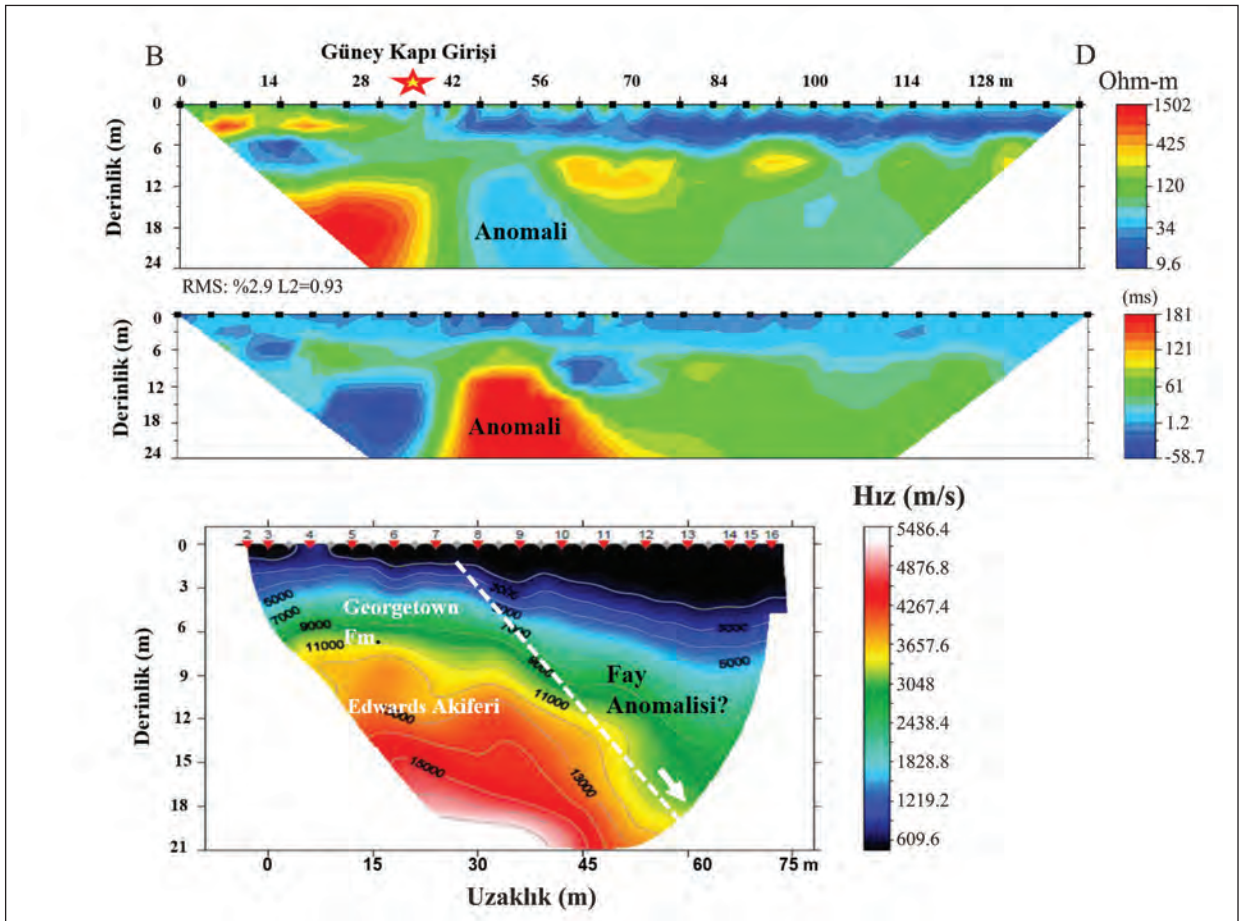
Şekil 6. Barton Yüzme havuzunun güneyindeki özdirenç, SP, IP ve sismik kırılma çalışmalarının lokasyonlarını gösteren havadan bir harita. Bu çalışmada sadece özdirenç profili R1” tartışılmıştır. R2 ile R5 arasındaki özdirenç profillerine ait sonuçlar Saribudak vd., 2013 ve Saribudak ve Hauwert, 2017’de yer almaktadır.

Figure 6. An aerial map showing locations of resistivity, SP, IP and seismic refraction surveys in the south part of the Barton Swimming pool. Only the resistivity profile R1” discussed in this paper. Resistivity profiles R2 through R5 can be accessed from Saribudak vd., 2013, and Saribudak and Hauwert, 2017.



Şekil 7. Yüzme havuzunun güney kıyısındaki S1 profili boyunca elde edilen SP verileri.

Figure 7. The SP data along profile S1 along the southern bank of the swimming pool.



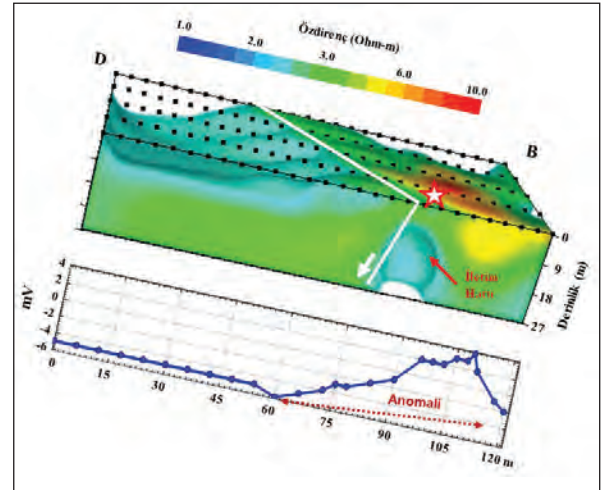
Şekil 8. Barton Kanağı'nda (a) elektrik Özdirenç, (b) IP ve (c) sismik kırılma çalışmalarından elde edilen sonuçlar. Kesitlerde gözlenen düşük özdirenç, yüksek IP ve olası fay yapısı dikkat çekmektedir. Fayın yönü Barton Kaynağı Fayı ile oblik açıyla kesişmektedir.

Figure 8. Results from the (a) electrical resistivity, (b) IP, and (c) seismic refraction surveys at Barton Springs. Note the low resistivity, high IP and a fault-like anomaly along the profiles. The trend of the fault intersects obliquely with the Barton Springs fault.

Sismik kırılma kesiti ise jeolojik birimleri (Edwards akifer birimleri ve Georgetown Formasyonu) tanımlamakla birlikte, olası fay anomalisini de göstermektedir (Şekil 8c). Bu fay anomalisi daha önce çalışma alanında yapılmış olan iletkenlik (EM31) ve GPR ölçümlerinde de gözlenmiştir (bkz. Saribudak vd., 2013 ve Saribudak ve Hauwert, 2017). Bu araştırmalardan elde edilen önemli sonuçlardan biri de, tüm profillerde gözlenen ortak bir anomalinin varlığı olmuştur. Anomalilerin gözlendiği lokasyon ile Ana Barton Su Kaynağı'nın deşarj lokasyonu birbirleriyle ilişkilidir.

R1 profili dışında, bu profile paralel D-B uzanımlı dört hat üzerinde de özdirenç ölçümleri alınmıştır. Bu yayında bu hatlara ait sonuçlar verilmemiştir ancak Saribudak ve Hauwert, 2017'de detaylıca tartışılmıştır. Ancak burada, R1 özdirenç profili ve daha önce yayınlanmış diğer dört adet D-B uzanımlı özdirenç profili kullanılarak 3B özdirenç blok diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 9a). R1 profili boyunca toplanan SP profili ise Şekil 9b'de verilmektedir. Üç boyutlu yapma-kesit üzerinde yüksek SP anomalisinin görüldüğü sınırlarda belirgin düşük bir özdirenç zonu dikkat çekmektedir.

Özetle, tüm jeofizik verilerin sonuçları, bölgedeki bir iletim hattının varlığına ait anomaliyi ve yüzme havuzu güney kapı girişinin yakınında yer alan ve Ana Barton su kaynağı'nın Barton Kaynağı Yüzme havuzuna aktığı yerle yaklaşık olarak aynı hizada yer alan yeni keşfedilmiş bir fayı göstermektedir (Şekil 9). Ana Barton su kaynağı'na yeraltı suyu akış yönü jeofizik anomalilerin olduğu lokasyonları takip etmekte ve yüzme havuzuna deşarj olmaktadır.



Şekil 9. (a) Üç boyutlu (3B) özdirenç yapma-kesiti ve (b) SP profili Zilker Park'ın güneyinde bir iletim hattı ve olası fay anomalisinin olduğunu göstermektedir. Kırmızı yıldız sembolü, havuzun güney kapı girişinin yaklaşık olarak konumunu göstermektedir. Şekillerin yönü, anomalilerle uyumlu olması adına batı-doğu'dan ve doğu-batı'ya çevrilmiştir.

Figure 9. (a) A pseudo 3-D resistivity block and (b) the SP data indicating a conduit- and fault-like anomaly in the south of the Zilker Park. The red star symbol shows the approximate location of the south gate entrance to the pool. Note that the direction of the figures was switched from the west-to-east to the east-to-west for proper illustration of the anomalies.

2. Araştırma Sahası: McNeil Mağarası

Austin Şehri Havza Koruma Dairesi, Martin Tepesi İletim Hattı'nın (MHTM) tasarımı ve inşaat projesi için Edwards akiferi'nin kuzey segmenti üzerindeki deşarj alanında hidrojeolojik bir araştırma yaptırmıştır. Bu deşarj alanında, birden çok karstik yapıya rastlanmıştır; McNeil Lisesi kuzeyinde obruk/mağara yapısı, doğusunda McNeil Yarasa Mağarası, batısında ise iki Weldon ve No Rent Mağarası bulunmaktadır. Bölgede farklı jeofizik yöntemler (elektrik özdirenç, SP, GPR, manyetik ve yer iletkenlik) kullanılarak araştırma yapılmıştır (Saribudak, 2015). Burada Martin Tepesi İletim Hattı (MHTM) ve Weldon Mağarası civarında yapılmış olan özdirenç ve SP ölçümlerinin sonuçları tartışılacaktır.



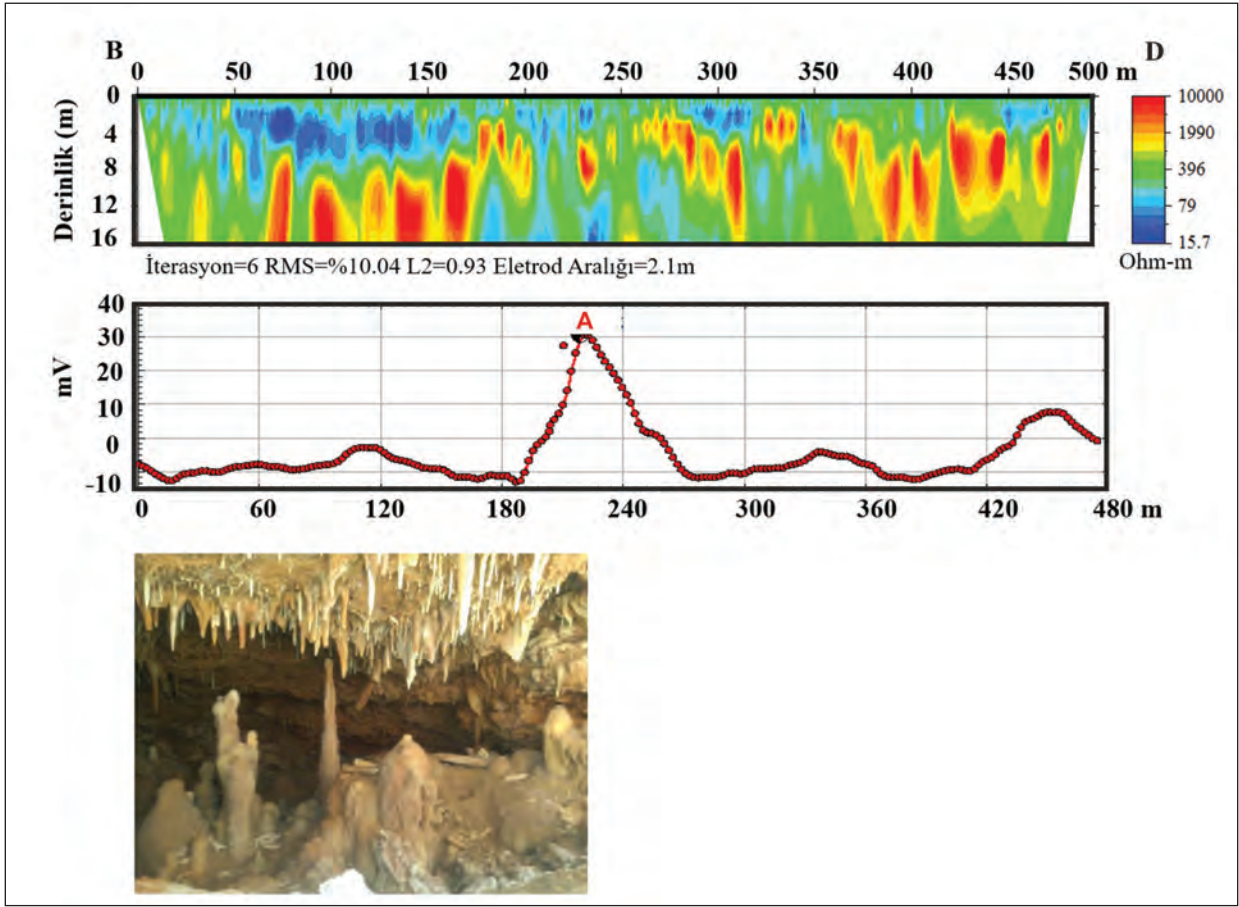
Şekil 10. McNeil Yolu boyunca alınan jeofizik profil (özdirenç ve SP) için yer bulduru haritası.

Figure 10. Site map indicating the location of geophysical profile (resistivity and SP) along McNeil Drive.

Weldon mağarası çalışma alanının KB sınırında yer almaktadır. Çalışma alanının batısında alınan özdirenç ve SP ölçümlerine ait kesitler Şekil 11'de verilmiş. Özdirenç kesiti, profil boyunca düşük özdirençli bir katman altında ondülasyonlu bir yapıya sahip yüksek dirençli bir katmanın varlığını göstermektedir. Profil boyunca çarpıcı bir özdirenç anomalisi gözlenmemektedir (Şekil 11a). Ancak SP kesiti incelendiğinde (Şekil 11b) yatay genişliği 60 metre olan ve 30 mV'luk potansiyel değerine ulaşan belirgin bir SP anomali (A) görülmektedir.

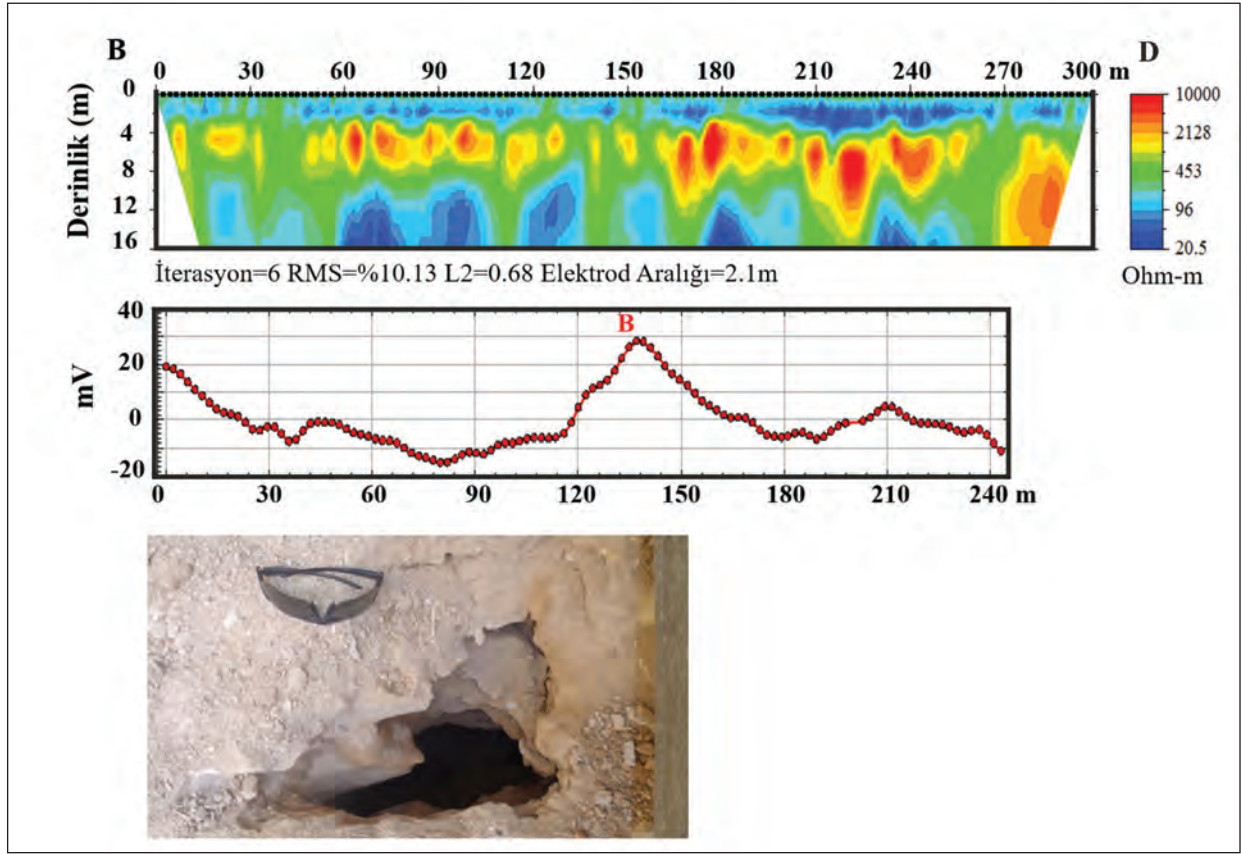
McNeil Lisesi'nin doğusunda alınan özdirenç ve SP ölçümlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 12'de verilmektedir. Özdirenç kesiti incelendiğinde bölgede karstik bir yapının

varlığından söz edilemez (Şekil 12a). Ancak Şekil 12b'de verilen SP kesiti üzerinde profil üzerinde 121 ve 168 m istasyonlar arasında kalan ve "B" harfi ile işaretlenmiş alanda büyüklüğü yaklaşık 40 mV'a ulaşan belirgin bir SP anomalisi görülmektedir. Anomalinin görüldüğü lokasyonda bulunan mağaranın girişine ait resim Şekil 12c'de verilmiştir. Ayrıca, bu mağaraların varlığı 2014 yılının yaz ve sonbahar aylarında bölgede yapılan inşaat faaliyetleri sırasında da ortaya konmuştur. Bölgede çalışan iş makineleri 6 m derinliğe kadar kazı yaparak su iletim hattına ulaşmışlardır. Bu kazılar esnasında, SP kesitlerinde "A" ve "B" olarak etiketlenen alanlarda 5 metre derinlikte iki adet mağaraya ulaşmışlardır Her iki mağara, Edwards akiferinin Kainer Formasyonu içinde gelişmiştir (bkz. Şekil 2).



Şekil 11. (a) McNeil yolu üzerindeki jeofizik profile ait öz direnç ve (b) SP kesitleri. (c)'de ise "A" ile etiketlenmiş SP anomalisinin gözlemlendiği lokasyonda bulunan mağaranın resmi verilmiştir.

Figure 11. Resistivity (a), SP (b) data along the McNeil Drive. (c) shows the picture of the cave discovered beneath the SP anomaly labeled with "A".



Şekil 12. (a) McNeil yolu üzerindeki jeofizik profile ait özdirenç ve (b) SP kesitleri. (c)'de ise "B" ile etiketlenmiş SP anomalisinin gözlemlendiği lokasyondaki mağaranın resmi verilmiştir.

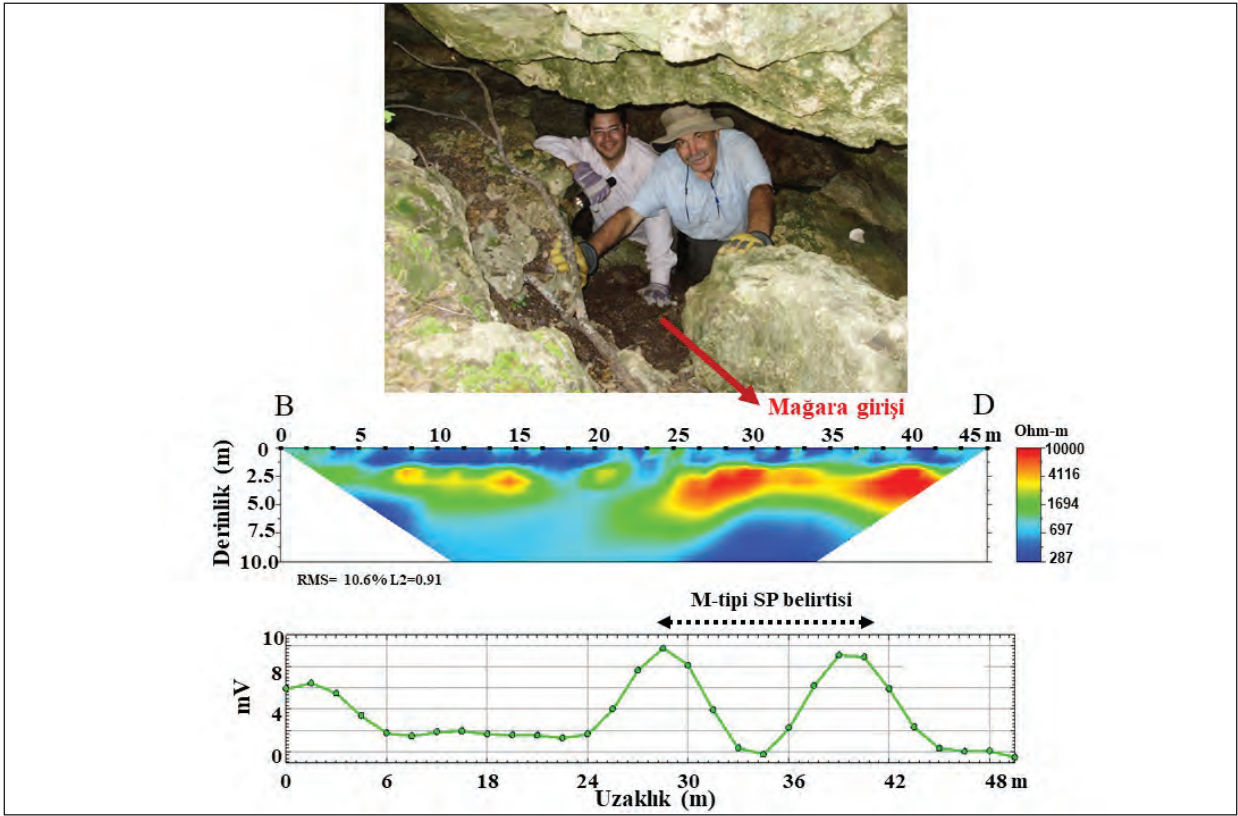
Figure 12. (a) Resistivity, (b) SP data along the McNeil Drive. (c) shows the picture of the cave discovered beneath the SP anomaly labeled with "B".

3. Araştırma Sahası: McNeil Yolu üzerindeki Weldon Mağarası

McNeil yolu yakınındaki mağaralardan biri olan Weldon mağarası, içinde nesli tükenmekte olan türleri barındıran bir mağaradır (konum için bkz. Şekil 12). Bu alanda mağaralar, Grainstone Formasyonu ile bu formasyonun altında bulunan Edwards aquiferi'nin Kirschberg üyelerine ait birimlerinden oluşmuştur (Hauwert, 2010). Mağara bir girişle başlar ve birçok yönde ilerlemiş hava-dolu odalardan oluşur.

Bu bölgede alınan özdirenç ölçüleri, mağara girişinin altındaki alanda düşük ve yüksek özdirenç geçişi gözlenmektedir. Kırmızı renk ile gösterilen yüksek özdirenç değerleri, mağara girişinin batı ve doğu tarafına dalgalı bir geometri gösterir (Şekil 13b).

SP verileri de ayrıca bir mağara sistemini temsil eden M-tipi bir SP anomali gösterir. Weldon mağarasının haritası, 2010 yılında Hauwert tarafından çizilmiştir ve sonuçlar jeofizik verilerle uyum içerisindedir.



Şekil 13. (a) Weldon mağarası girişini gösteren resim, (b) özdirenç ve (c) SP kesiti.

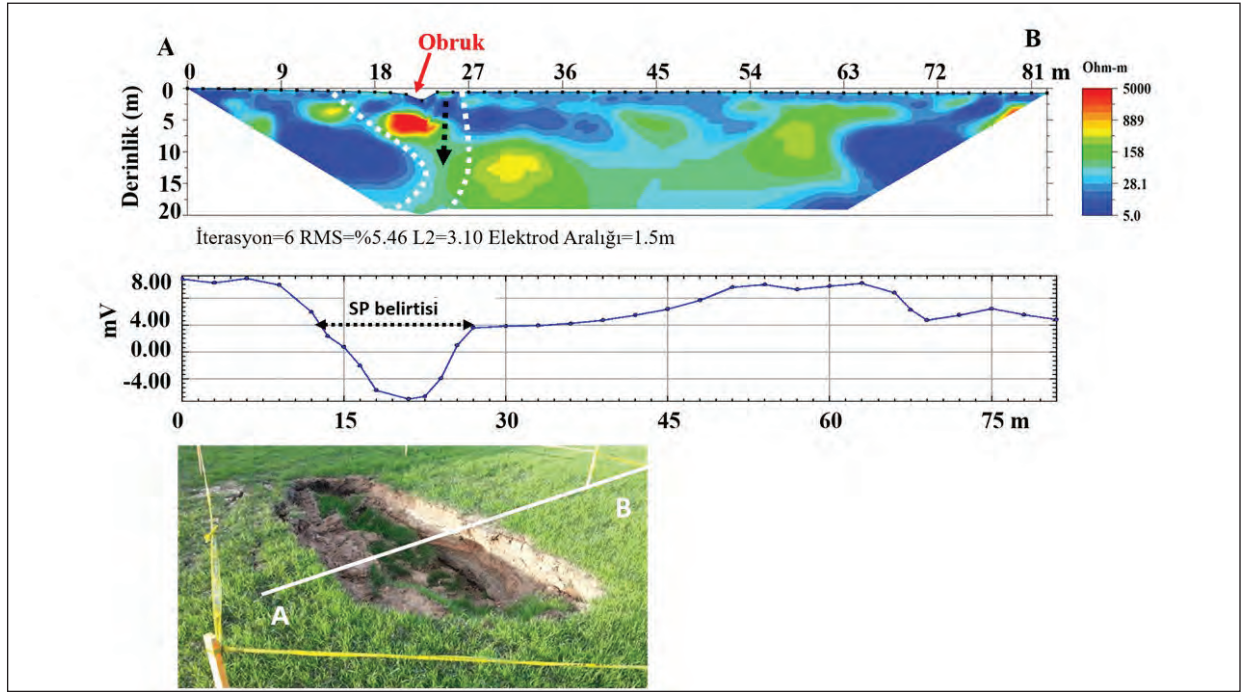
Figure 13. (a) A picture showing the entrance of Weldon cave, (b) resistivity data, and (c) SP data .

4. Araştırma Sahası: Austin'deki Çökme Obruğu

Yakın zamanda güney Austin bölgesinde meydana gelen çökme obruğunun yatay ve düşey yöndeki uzanımını tayin etmek için özdirenç ve SP ölçümleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlar (özdirenç ve SP) ile obruğa ait bir fotoğraf Şekil 14'de verilmiştir.

Özdirenç ölçümleri için seçilen profil, eğimli bir topoğrafyaya sahiptir. Bu nedenle, EarthImager 2D yazılımı kullanılarak, topografik araştırma sonucundan elde edilen düzeltme değerleri özdirenç ölçüm istasyonlarına

atanmıştır. Yükseklik düzeltmesi yapılan özdirenç verileri obruğun olduğu lokasyonda yüksek ve düşük özdirenç geçişi sergiler (Şekil 14a). Bu anomaliler bölgede bir karstik yapının varlığını işaret etmektedir. Doğal potansiyel verisi (SP), obruk yapılarından beklendiği gibi belirgin bir negatif anomali göstermektedir. Yüzeyle görünen obruğun en derin kısmında en düşük SP genliği (-8mV) gözlenmiştir. SP anomalisi profilin 14 m ile 27 arasında gözlenmektedir ve anomaliye neden olan kaynağın büyük bir olasılıkla yeraltında düşey yönde sızan sudan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 14. Obruk üzerinde alınan öz direnç (a) ve SP (b) ölçümlerine ait kesitler. Obrukun lokasyonu öz direnç profili üzerinde verilmektedir. Yüksek ve düşük öz direnç anomalilerinin birleştiği alanda belirgin bir SP anomali görülmektedir. Öz direnç kesitinde verilen kesikli siyah ok, obrukun altındaki toprağın kayabileceği doğrultuyu ifade etmektedir. (c) de ise obrukun fotoğrafı ve ölçüm alınan AB profili gösterilmektedir.

Figure 14. Sections of resistivity (a) and SP (b) measurements taken on the sinkhole. The location of the sinkhole is given on the resistivity profile. A significant SP anomaly is observed in the area where high and low resistivity anomalies meet. The dashed black arrow given in the resistivity section refers to the direction under which the soil below the sinkhole can slip. In (c) the photograph of the sinkhole and the location of the AB profile are shown.

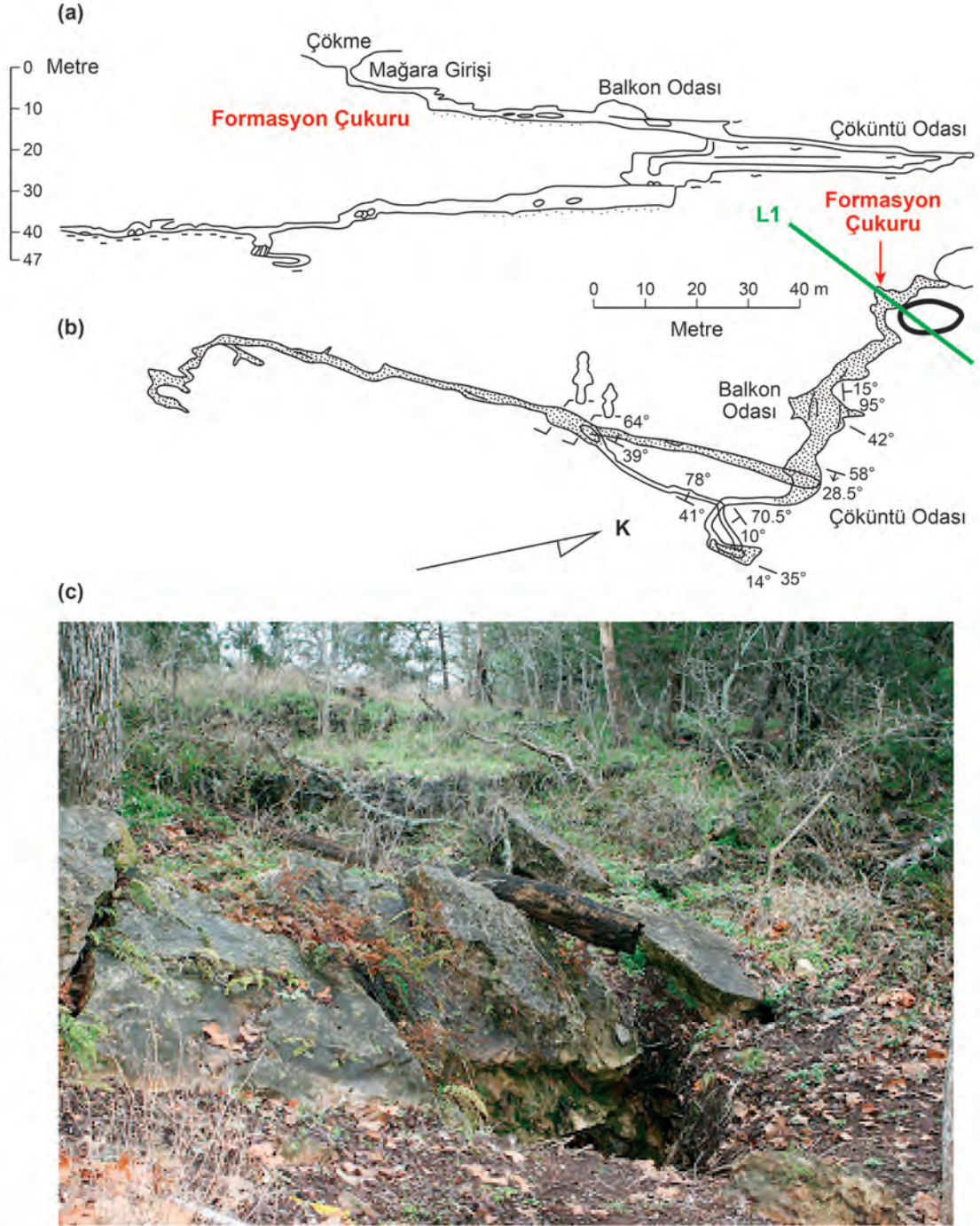
5. Araştırma Sahası: Flint Sırtı Mağarası

Travis bölgesinde bulunan Flint Sırtı mağarası, Austin'deki bilinen en büyük mağara sistemlerinden biridir. Bölgedeki en önemli yeraltı suyu beslenme kaynağı olan bu mağara 28 hektarlık bir drenaj havzasını boşaltmaktadır. Her yıl, Flint Sırtı mağarasından yaklaşık 217 milyon litre su Edwards akiferini beslemektedir (Elliott, 1997).

Austin'deki Lower Colorado Nehir İdaresi'ne ait iletim hattında jeofizik çalışmalar yapıldığı sırada Flint Sırtı Mağarası'nda da elektrik öz direnç ve doğal potansiyel (SP)

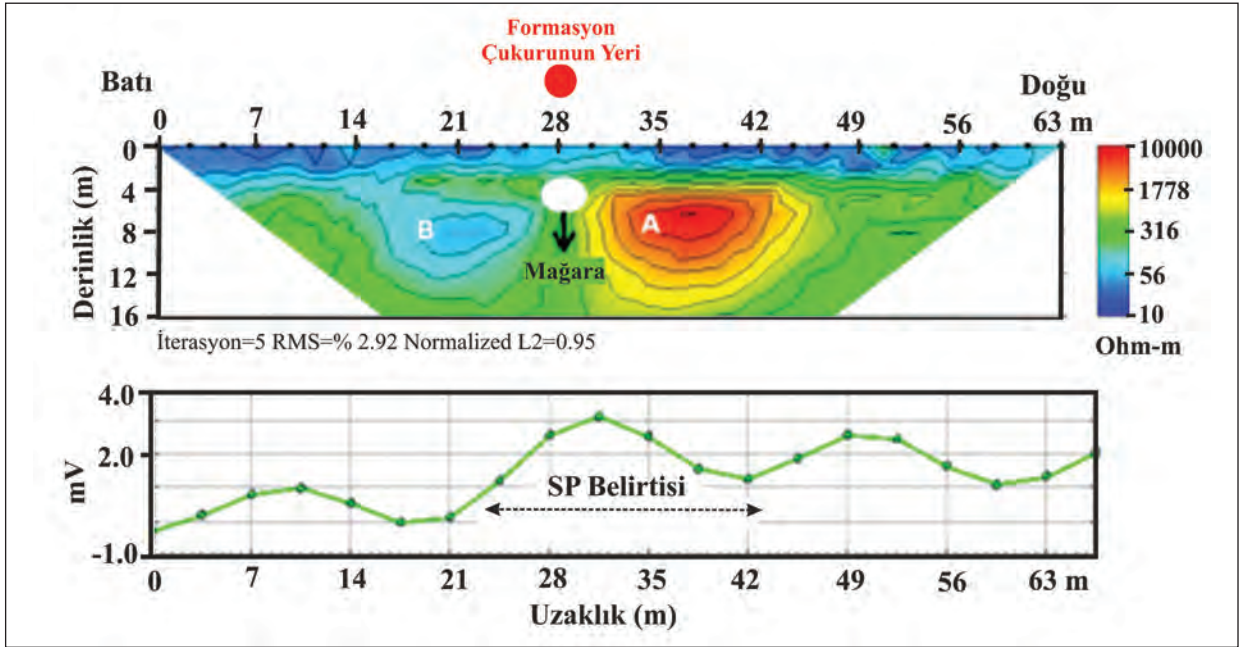
ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mağara, Kainer Formasyonu'nun Kirschberg ve Dolomitik birimlerinden oluşmaktadır (bkz. Şekil 2). Mağaranın derinlik kesiti ve harita görünümü sırasıyla Şekil 15a ve b'de verilmektedir. Mağara girişindeki obruk yapısını (Şekil 15c) farklı yönlere uzanmış birçok oda izlemektedir (Veni, 2000).

Mağaradaki lokasyonların bir kısmı yeryüzünde referans noktası olarak işaretlenmiştir. Bu noktalardan biri olan "Formasyon Çukuru", yüzeyin 3 metre altında meydana gelmiştir ve dar bir oda şeklinde gelişmiştir (bkz. Şekil 15a ve b).



Şekil 15. (a) Flint Sırtı Mağarası'nın derinlik kesiti ve (b) harita görünümü (Jenkins vd., 1999'dan uyarlanmıştır). L1 etiketli yeşil çizgi öz direnç ve doğal potansiyel ölçümlerinin alındığı profili göstermektedir. (c) Flint Sırtı Mağarası'nın girişine ait bir fotoğraf.

Figure 15. (a) Site map showing the depth and (b) map view of Flint Ridge Cave (modified from (Jenkins vd., 1999). Green line with denotation L1 shows the location of the resistivity and SP surveys. (c) Picture of Flint Ridge cave entrance.



Şekil 16. (a) L1 profili boyunca alınan öz direnç ölçümlerinden elde edilen kesit. Formasyon Çukuru'nun lokasyonu kırmızı, mağaranın lokasyonu ise beyaz dolgulu daire ile temsil edilmiştir. (b) L1 profili boyunca elde edilen SP değerleri. En yüksek SP potansiyel değerinin gözlemlendiği lokasyon ile mağaranın lokasyonu iyi bir korelasyon göstermektedir.

Figure 16. (a) Resistivity section along the L1 profile. Location of the Formation Pit and the cave are shown with a red-filled and white-filled circles, respectively. (b) SP section along the L1 profile. A high SP anomaly correlates well with the location of the cave.

Şekil 16a'daki öz direnç kesiti incelendiğinde, profil boyunca yüksek öz direnç ve düşük direnç değerlerine sahip lokasyonlar görülmektedir. Referans noktası olarak seçilen Formasyon Çukuru'nun konumu öz direnç kesitinde kırmızı daire, Formasyon Çukuru'nun 3 metre altında yer alan mağaranın lokasyonu ise beyaz renkli daire şeklinde işaretlenmiştir (bkz. Şekil 16a). Mağaranın bulunduğu lokasyondaki öz direnç değerleri orta seviyelerdedir (yaklaşık 300 Ohm.m) ve batısındaki düşük öz direnç değerine sahip zon (50-100 Ohm.m arasında) ile doğusundaki yüksek öz dirençli zonun (2000-10000 Ohm.m arasında) kesişim noktasında yer almaktadır. Bu tip bir öz direnç anomalisi bir kırık veya fay zonundan kaynaklanabilir. Burada Flint Sırtı Mağarası'nın bu bölümünün havayla dolu olduğunu ve Formasyon Çukuru'nun olduğu bölgede gözlenen

orta seviyeli öz direnç değerlerinin tamamen hava ile dolu boşluklardaki öz direnç değeri kadar yüksek olmadığını belirtmek gerekir. Bunun nedeni ise mağarada bulunan kil ve kum gibi ıslak sedimentler olabilir. L1 profili boyunca toplanan SP verileri, Şekil 16b'de verilmiştir. En yüksek potansiyel değeri (3 mV) Formasyon Çukuru'nun bulunduğu lokasyon ile uyum göstermektedir.

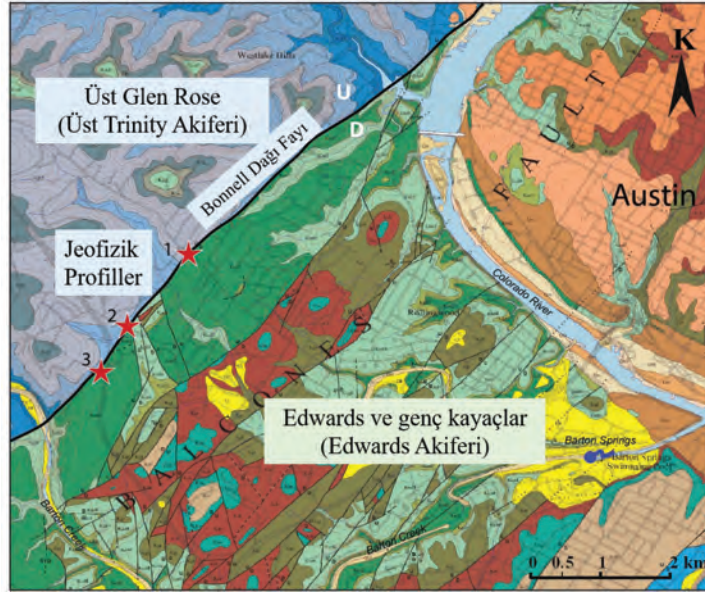
6. Araştırma Sahası: Bonnell Dağı Fayı

Bu araştırma sahasındaki jeofizik çalışmalar Bonnell Dağı Fayı boyunca orta Texas'daki Balcones Fay Zonu'nun (BFZ) içerisinde kalan 3 profil boyunca yürütülmüştür. Ancak burada sadece Şekil 17'deki 3 numaralı çalışma sahasına ait sonuçlar tartışılacaktır. Bonnell Dağı Fayı normal bir fay olup yüzlerce metrelik atıma sahiptir. Bu

fay, Trinity ve Edwards akiferleri arasındaki sınırı oluşturmaktadır. Yeryüzüne yakın kesimlerde bu fay, kireçtaşı ve marn-kireçtaşı ara katmanlarından oluşan Üst Glen Rose Formasyonu ile doğu kesimde bulunan çoğunlukla kireçtaşıdan oluşan Edwards Gurubu kayaçları yan yana getirmektedir (Şekil 17).

bir oyuk şeklinde bir karstik yapı neden olduğu düşünülmektedir.

Jeolojik verilerden yol çıkılarak, Bonnell Dağı Fayı'nın lokasyonu elde edilen öz direnç kesiti üzerinde gösterilmiştir. Ancak Bonnell Dağı Fayı'nın bulunduğu lokasyonda öz direnç kesitinde



Şekil 17. Bonnell Dağı Fayının jeoloji haritası (Garner vd., 1976) ile jeofizik çalışmaların yapıldığı profiller (kırmızı yıldız). Bu makalede 3. profile ait sonuçlar tartışılmıştır.

Figure 17. Geological map (modified from Garner vd., 1976) showing the Mt. Bonnell Fault and locations of the geophysical transects of #1, 2 and 3. Only the transect #3 is discussed in this paper.

Bonnell Dağı fayının Güney Austin'deki 360 Otoyol'u ile kesiştiği bölgede yer alan Height Drive yolu üzerinde elektrik öz direnç, doğal potansiyel ve GPR verisi toplanmıştır (Bkz. Şekil 17, 3 numaralı yıldız). Öz direnç ve doğal potansiyel ölçümleri çim kaplı bir toprak üzerinde, GPR verisi ise öz direnç ve doğal potansiyel ölçümlerinin alındığı profilin yanında asfalt kaplı zemin üzerinde toplanmıştır (Şekil 18). Profil üzerinde 80. ve 95. istasyonlar arasında yüksek ve düşük öz direnç geçişinin olduğu bir anomali gözlenmiştir. Anomaliye neden olan kaynak bilinmemektedir ancak bu anomaliye kil dolu

fay benzeri bir anomali görülmemektedir (Şekil 19a). Bu gözlem, Glen Rose biriminin yukarı doğru ötelenmiş kısmındaki öz direnç değerleri ile yüzeye yakın derinliklerde bulunan Edwards akiferi birimlerinin benzer öz direnç değerlerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. SP kesiti ise fayın olduğu lokasyonda yüksek anomali değerleri göstermektedir (Şekil 19b). Ayrıca öz direnç anomalisinin gözlemlendiği noktada da yüksek bir SP anomalisi gözlenmektedir ancak bu anomali SP fay anomalisinin baskın etkisi nedeniyle çok belirgin değildir.

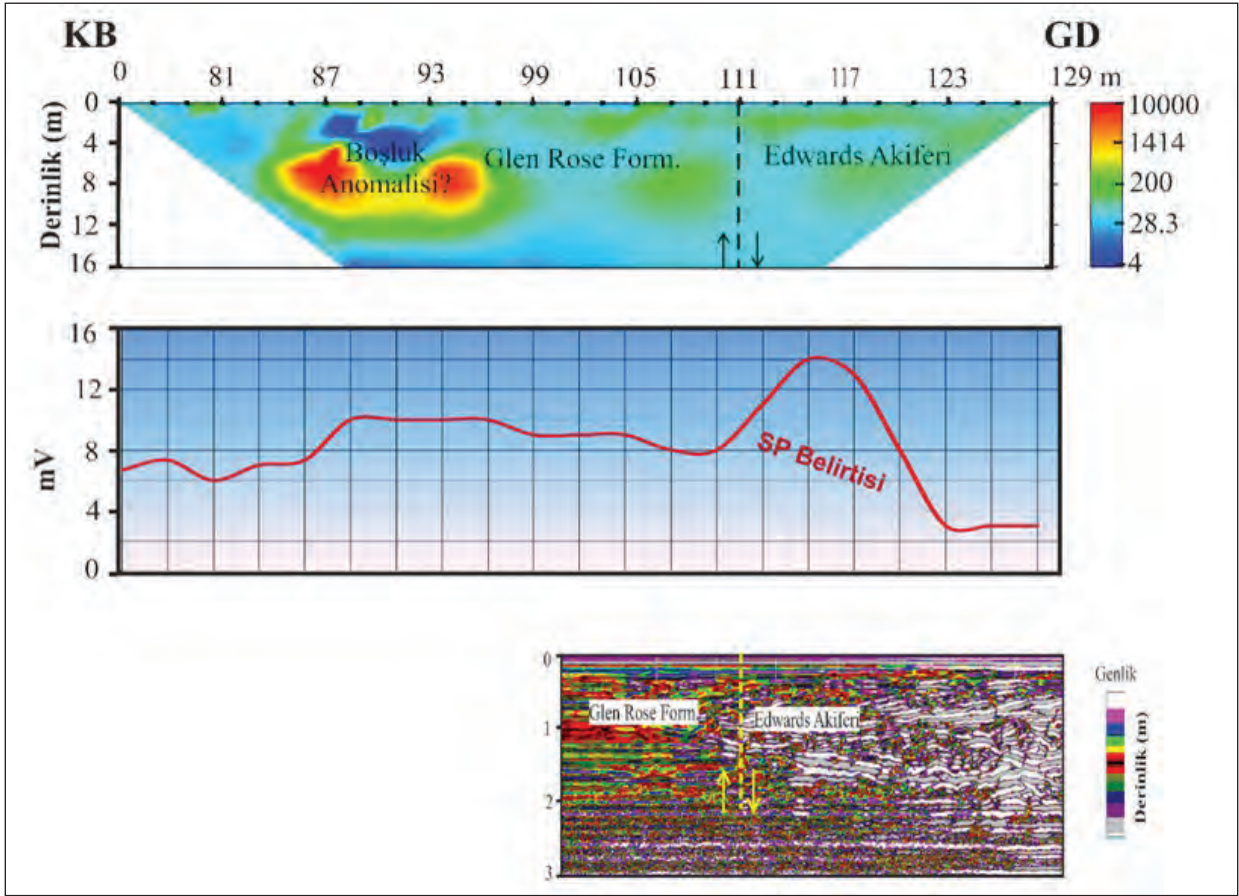


Şekil 18. Height Drive yolu üzerindeki Bonnell Dağı Fayının ve jeofizik ölçümlerin alındığı profilleri gösteren harita.

Figure 18. Map showing locations of geophysical profiles and the Mt. Bonnell fault at Height Drive.

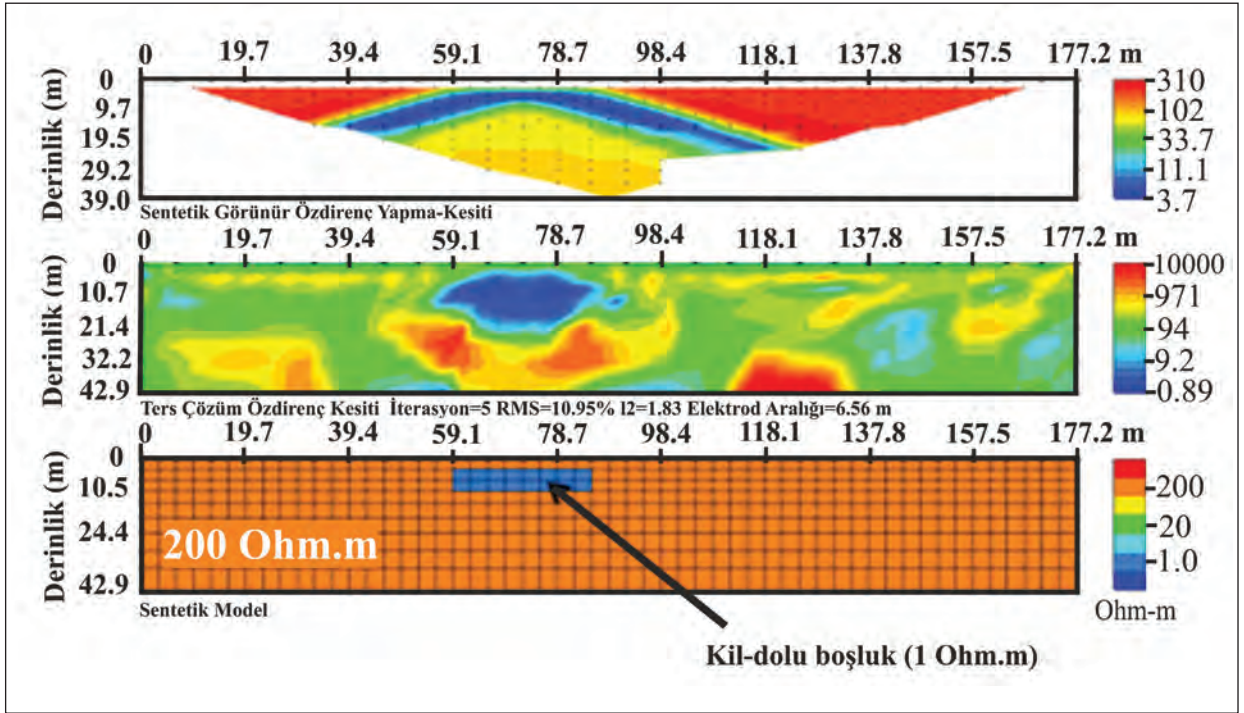
GPR verisi incelendiğinde (Şekil 19c) Bonnell Dağı fayı üzerinde belirgin bir genlik kontrastı görülmektedir. Jeolojik haritalarda verilen fayın lokasyonu, GPR kesitinde gözlenen genlik kontrastı ve SP verisinde gözlenen yüksek anomali değerleri ile uyum göstermektedir. Glen Rose Formasyonu (düşük genlikleri temsil eden mavi, yeşil, sarı ve kahverengi renkler) ile Edwards Akiferi birimleri (yüksek genlikleri temsil eden beyaz ve gri renkler) yan yana bulunmaktadır. Özetle, bu çalışmada yapılmış olan jeofiziksel çalışmalar Glen Rose (Üst Trinity) ve Edwards akiferi birimleri arasında kalan bölgede olası karst yapısının varlığını ve Bonnell Dağı

Fayı'nın lokasyonunu destekler niteliktedir. Şekil 19a'daki özdirenç kesitinde gözlenen mağara benzeri anomali, Earth Resistivity Imager yazılımı kullanılarak modellenmiştir (Şekil 20). Kil- dolu boşluk içeren bir model ve onu çevreleyen 200 Ohm-m dirençli bir tabaka için elde edilen özdirenç anomali (Şekil 20b), Şekil 19a'da gözlenen anomali ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca arazi gözlemleri sırasında boşluk anomalisinin bulunduğu lokasyonun üzerinde yer alan mermer bloğunda (Şekil 21) belirgin bir deformasyon gözlenmiştir. Bu deformasyonun yeryüzüne yakın bir noktada bulunan boşluk sistemindeki çökme etkisiyle oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 19. Bonnell Dağı Fayı boyunca alınan (a) öz direnç, (b) SP ve (c) GPR verisi. GPR kesitindeki yatay ölçek, öz direnç ve SP kesitlerine ait yatay ölçekten farklıdır.

Figure 19. Resistivity (a), SP (b) and (c) GPR data across the Mt. Bonnell fault. Note that the horizontal scale of the GPR data is different than both the resistivity and SP profiles.



Şekil 20. (a) Sentetik görünür öz direnç yapma-kesiti, (b) ters çözüm ile elde edilen öz direnç kesiti ve (c) kil- dolu boşluğu temsil eden sentetik model.

Figure 20. (a) Synthetic apparent resistivity pseudosection (b) inverted resistivity section and (c) a clay-filled void model.



Şekil 21. Height Drive bölgesinin girişinde ve boşluk yapısının üzerinde yer alan mermer bloğunda gözlenen deformasyon.

Figure 21. Marble displays at the entrance of the Height Drive neighborhood showing significant deformation where the cave anomaly is detected.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan görüleceği üzere, 2B öz direnç ölçümleri ile yeraltındaki karstik yapıların lokasyonlarının saptanması her zaman mümkün olmamaktadır ancak bu yöntem ile yüzeye yakın jeolojik birimler ve yapılar hakkında önemli bilgiler sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, 2B ve 3B öz direnç ölçümlerinin birlikte değerlendirilmesi bu yapıların daha doğru bir şekilde saptanması sağlamaktadır. Öte yandan, SP ölçümleri karstik yapıların konumunu belirlemede oldukça başarılıdır. Bu nedenle, yorumlamadaki belirsizliği azaltmak için öz direnç yöntemi ile birlikte SP yöntemi de kullanılmalıdır.

Edwards ve Trinity akiferlerinin olduğu bölgede yer alan gömülü obrukların, boşlukların ve boru hatlarının bulunmasında yüzey jeofizik yöntemleri son 15 yıldır kapsamlı ve başarılı bir

şekilde kullanılmaktadır. Bölgede yapılan diğer çalışmalar fayların ve kırıkların tanımlanması ve karakterizasyonu, hidrostratigrafi ve anakaya topografyasının araştırılmasını içerir. Bu başarının anahtarlarından biri, araştırmalarda iki veya daha çok jeofizik yöntemin bütünlük kullanımından elde edilen sonuçların kapsamlı jeolojik bilgiler ile birlikte yorumlanmasıdır. Her ne kadar farklı karstik bölgelerde, farklı yüzey jeofizik yöntemlerini daha iyi sonuç verebilecek olsa da bu çalışmanın sonuçları Orta Texas'taki Edwards ve Trinity akiferlerinin bulunduğu bölgede karstik yapıların saptanmasında öz direnç ve doğal potansiyel (SP) yöntemlerinin birincil jeofizik yöntemler olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Hali hazırda, karstik yapıların araştırılmasında kullanılmakta olan jeofizik yöntemler öz direnç (2B ve 3B), doğal potansiyel (SP), yer radarı (GPR), gravimetri, manyetik, elektromanyetik ve sismik yöntemlerdir (kırılma, yansıma ve MASW). Bu jeofizik yöntemler kullanarak yeni oluşmakta olan obruklar, ana kaya oyukları, kaya tepeleri ve diğer karst yapıları saptanabilmektedir. Ancak jeolojik faktörlere ve yeraltındaki yapının büyüklüğüne, şekline ve yönelimine bağlı olarak yöntemlerin nüfuz derinliği ve çözünürlük sınırları değişmektedir. Buna ek olarak, gravite ve sismik gibi bazı yöntemler daha uzun ölçüm süreleri nedeniyle maliyet açısından kısıtlayıcı olabilmektedirler.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın makale formatına dönüşmesinde yardımcı olan Öğr. Gör. Karolin Fırtana-Elcömert ve Yük. Müh. N. Gözde Okut-Toksoy'a teşekkür ederim. Makaleye hakem olarak önemli katkılar sunan Yunus Levent Ekinci ve Cahit Çağlar Yalçın'er'e teşekkür ederim.

EXTENDED SUMMARY

Geophysical methods are powerful tools to explore the subsurface. The geophysical information can be used to locate caves and sinkholes in the subsurface, quantify hazard estimates for structures being planned over karstic landscapes, explore groundwater resources, and characterize geologic structure. Currently, several geophysical methods exist to locate karstic features. These geophysical methods are resistivity (2D and 3D), self-potential (SP), ground penetrating radar (GPR), gravimetry, magnetics, electromagnetics, and seismic [refraction, reflection and multiple analysis of seismic waves (MASW)] Detecting incipient sinkholes, bedrock cavities, rock pinnacles, and other karst-related features using these geophysical methods has been proven over the years. But each method has limitations in depth and resolution accuracy based on geological factors and void size, shape, and orientation. In addition, some methods, such as gravity, and seismic, take longer and they may be cost-inhibitive.

The motivation of this paper is to show how integrated geophysical methods could provide significant information on locating karstic features and fault characterization in the Edwards aquifer, Central Texas, USA. The karstic Edwards aquifer in the Balcones Fault Zone (BFZ) in southcentral Texas is a 90-210-m thick a porous, honey-combed, water-bearing formation. The structural framework of the Edwards Aquifer is controlled by the BFZ, an echelon array of normal faults that has extended and dropped the aquifer and associated strata from northwest to the southeast across the three segments (Small vd., 1996; Ferrill and Morris., 2005). The BFZ includes the karstic Edwards and Trinity aquifers, which are primary sources of water for south-central Texas communities, including the city of San Antonio. Six case studies presented here demonstrate that geophysical methods can be used effectively to locate faults, karstic features

(caves and sinkholes), map stratigraphy and geologic structure of the Edwards Aquifer, which is bounded by the BFZ.

The first survey area was the Barton Spring Pool Conduit located on the grounds of Zilker Park in Austin, Texas. The pool exists within the channel of Barton Creek and utilizes water from Main Barton Spring, the fourth largest spring in Texas at Main Barton Springs. The Main Barton Springs and several outlets along a cave, several fissures, and gravel-filled solution cavities on the floor of the pool west of the fault discharge into the Barton Springs pool (Hauwert, 2009). The surface geology of the Main Barton Springs area includes Edwards Aquifer units (regional dense and leached collapsed members) and the Georgetown Formation (Hauwert, 2009). Multiple geophysical surveys were conducted in the vicinity of the Barton Spring Pool in Austin, Texas (Saribudak vd., 2013; Saribudak and Hauwert, 2017). Electrical resistivity (2D and 3D), self-potential, induced polarization (IP) and tomographic seismic refraction surveys were conducted on an east-west transect along the southern fence-boundary of the swimming pool at Zilker Park (see site map of Figure 6 for location). The SP data on the south bank indicate a low SP anomaly (A1) at station 60 m. This anomaly corresponds to where the Barton Springs Fault crosses the pool (Fig. 7). The source for this anomaly could be a cave. The SP data indicates a significant high SP anomaly (A2) between stations 75 and 120 m. The location of this anomaly is closer where the Main Barton Springs discharges into the pool. Thus the source for this SP anomaly could be related to the discharging groundwater into the pool. The resistivity data (Figure 8a) indicates a significant low resistivity anomaly (blue in color) at a depth of about 10 m). The anomaly has a width of 10 m and appears to dip to the east. The low resistivity anomaly is interpreted to be caused by combination of water and/or presence of clay associated with a karst conduit. The IP data illustrates a high IP

anomaly (red in color) at the same location as the low resistivity anomaly (Figure 8b). The source of the IP anomaly could be due to clay formations and/or mineralization such as sulphide particles. The seismic refraction data not only define the geological units (Edwards aquifer units and Georgetown Formation), but also displays a fault-like anomaly (Figure 8c). 3-D resistivity block diagram was constructed using the resistivity profile L1 and other previously published four east-west resistivity profiles and is shown in Figure 9a. A SP profile, which was surveyed along profile L1 is also shown in Figure 9b. 3-D diagram indicates a well-defined low resistivity zone where the high SP anomaly is located. In summary, results of all geophysical data suggests a presence of a conduit anomaly and a newly discovered fault near the south gate entrance to the swimming pool, which is approximately aligned where Main Barton Springs discharges to the Barton Springs Swimming pool.

The second survey area was the McNeil Caves. Several karst features were identified by the City of Austin in the vicinity of the Recharge Zone. These features include a sinkhole/cave opening located behind McNeil High School; the McNeil Bat Cave, located on the east side of the high school; and two other caves (Weldon Cave, No Rent Cave) located west of the high school. Multiple geophysical surveys (electrical resistivity, SP, GPR, magnetic, and ground conductivity) were performed across the site (Saribudak, 2015). In this paper, however, only resistivity and SP results are discussed for the MHTM project and Weldon Cave (see Figure 10 for location). The resistivity data indicate a high resistive layer undulating under a low resistive layer along the profile. The SP data (Figure 11b) displays a significant high anomaly, shown with a red font letter A, with a horizontal coverage of 60 meter and a magnitude of 50 mV. The SP data (Figure 12b) clearly displays a major anomaly between the stations 121 m and 168 m, and is denoted with the letter B. The maximum magnitude

of this SP anomaly is about 40 mV from the east side of the study area.

The third geophysical survey was conducted at the Weldon Cave located on the McNeil Drive. The cave starts with an entrance and trends in multiple directions with several air-filled rooms. The resistivity data indicates a combination of low and high resistivity values beneath the cave entrance. High resistivity values, red in color, show an undulating geometry to the west and east side of the entrance of the cave (Figure 13b). The SP data also show a M-type SP anomaly indicating a cave system.

The fourth survey area was Sinkhole Collapse in Austin. Resistivity and SP surveys along across a sinkhole that recently occurred in the south Austin area was performed. The resistivity data was corrected for topography and indicates a combination of high and low resistivity anomalies beneath the sinkhole area (Figure 14a). These anomalies appear to be karstic in origin. The self-potential data (SP) shows a significant negative anomaly, as expected from sinkholes.

The fifth survey area was the Flint Ridge Cave. It is one of the largest known cave systems in Travis County, Austin and also one of the most important recharge features in the county. Resistivity and SP surveys were conducted at Flint Ridge Cave. Resistivity data show high resistivity and low resistivity anomalies along the profile. The cave location is indicated by medium resistivity values (green in color) and appears to be intersected by low resistivity (blue in color) in the west and high resistivity values (red in color) in the east (Figure 16a). This type of resistivity anomaly could be caused by a fracture or fault. The SP data collected along the profile L1 is given in Figure 16b. The highest SP value of 3 mV correlates well with the location of the Formation Pit and the fracture-like resistivity anomaly across the profile.

The last geophysical surveys were conducted at three locations across the Mount Bonnell fault

in the BFZ of central Texas, however, only one transect (#3) is discussed in this paper (Figure 17). The Mount Bonnell fault is a normal fault with hundreds of meters of throw. It forms the primary boundary between the Trinity and Edwards aquifers. Electrical resistivity, SP and GPR data were collected at the Height Drive transect where the Mount Bonnell fault crosses Highway 360 in South Austin. Resistivity and SP surveys were conducted on a grassy ground whereas the GPR survey was conducted on the asphalt next to the resistivity and SP transects (Figure 18). The resistivity data indicate a significant anomaly consisting of high-and-low resistivity between stations 80 and 95 m. The source for this anomaly is not known, but could be a karst feature such as a clay-filled cave (Figure 19a). The SP data show a significant high anomaly at the known fault location (Figure 19b). The GPR data (Figure 19c) show a significant amplitude contrast across the Mt. Bonnell fault. The fault location defined by the GPR data correlates well with the SP data, and geologic mapping of the fault. The Glen Rose Formation (low amplitudes indicated by blue, green, yellow, and brown colors) is juxtaposed with Edwards Aquifer units (high amplitudes of white and gray colors). In summary, geophysical results corroborated the suspected karstic feature in the Glen Rose (Upper Trinity) and Edwards aquifer units and the mapped location of the Mount Bonnell fault. We observed significant deformation over the marble wall displays, which were approximately located where the cave anomaly (resistivity) was located (Figure 20). This is probably due to the settling effect of the cave system in the near-surface.

As a result, it appears that primary geophysical methods for detecting karstic features have been the combination of resistivity imaging and the SP methods in central Texas, although different karstic regions might respond better to disparate surface geophysical methods than the Edwards/Trinity aquifers.

ORCID

Mustafa Sarıbudak  <http://orcid.org/0000-0001-5351-5444>

DEĞİNİLEN BELGELER

- Balkaya, Ç., Göktürkler, G., Erhan, Z., Ekinci, Y. L., 2012. Exploration for a cave by magnetic and electrical resistivity surveys: Ayvacık Sinkhole example, Bozdağ İzmir (Western Turkey). *Geophysics*, 77 (3), 135-146.
- Blome, C.D., Smith, B.D., Smith, D.V., Faith, J R., Hunt, A.G., Moore, D.W. , Miggins, D.P., Ozuna, G.B. and Landis, G.P., 2008. Multidisciplinary Studies of the Edwards Aquifer and Adjacent Trinity Aquifer of South-Central Texas, Search and Discovery Article #80018. Adapted from oral presentation at AAPG Annual Convention, San Antonio, TX, April 20-23, 2008 (<http://pubs.usgs.gov/fs/2006/3145>).
- Chen, J. and Zelt, C. A., 2016. Application of Frequency-dependent Traveltime Tomography and Full Waveform Inversion to Realistic Near-surface Seismic Refraction Data. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 21:1-12.
- Clark, A.K., Golab, J.A. and Morris, R.R., 2016. Geologic Framework and Hydrostratigraphy of the Edwards and Trinity Aquifers within Northern Bexar and Comal Counties, Texas. USGS Scientific Investigations Map 3366.
- Connor, C.B. and Sandberg, S.K., 2001. Application of Integrated Geophysical Techniques to Characterize the Edwards Aquifer, Texas, STGS Bulletin, March issue, p. 11-25.
- Elliott, W. R., 1997. The caves of the Balcones Canyonlands Conservation Plan, Travis County, Texas, Unpublished report to Travis County, 156 p.
- EarthImager 2D Manual, 2002-2014. Resistivity and IP Inversion Software, Version 2.4.2., by Advanced Geosciences, Inc.
- Ferrill, D. A., Morris, A. P. and Waiting, D. J., 2005. Structure of the Balcones Fault System and Architecture of the Edwards and Trinity Aquifers, South-Central, Texas. A field trip guide for the South-Central Geological Society of America Meeting.
- Ferrill, D.A. and Morris, A.P., 2008. Fault zone deformation controlled by carbonate mechanical stratigraphy, Balcones Fault System, Texas, *AAPG Bulletin*, 92, 359-380.
- Fitterman, D.V. and Stewart, M.T., 1986. Transient electromagnetic sounding for groundwater, *Geophysics*, v. 51, p. 995-1005.
- Freeland, R. S., 2015. Imaging the Lateral Roots of the Orange Tree using Three-dimensional GPR. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 20:235-244.
- Freeland, R. S., Allred, B. J., Martinez, L. R., Gamble, D. L., Jones, B. R. and McCoy, E. L., 2016. Performance of Hybrid and Single-frequency Impulse GPR Antennas on USGA Sporting Greens. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 21:57-65.
- Garner, L. E., Young, K. P., Rodda, P. U., Dawe, G. L. and Rogers, M. A., 1974. Geologic map of the Austin area, Texas, in Garner: an aid to urban planning, The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, scale 1:65,500.
- Gary, M.O., Rucker, D.F., Smith, B.D., Smith, D.V. and Befus, K., 2013. Geophysical investigations of Edwards-Trinity Aquifer System at Multiple Scales: Interpreting Airborne and Direct-Current Resistivity in Karst, 13th Sinkhole Conference, NCKRI Symposium, 2,195-206.
- Hauwert, N. M., 2009. Groundwater flow and recharge within the Barton Springs Segment of the Edwards Aquifer, Southern Travis and northern Hays Counties, Texas. A Ph.D. Dissertation; The University of Texas at Austin.
- Hauwert, N. M., 2010. Hydrogeologic Study of Fossil Garden, No Rent, Weldon, and McNeil Bat Caves. City of Austin short report SR-11-21. 81 p.
- Lachhab, A., Booterbaugh, A. and Beren, M., 2015. Bathymetry and Sediment Accumulation of Walker Lake, PA Using Two GPR Antennas in a New Integrated Method. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 20:245-255.
- Lange, A. L., 1999. Geophysical studies at Kartchner Caverns State Park, Arizona, *Journal of Cave and Karst Studies*, 61:68-72.
- Lange, A. L. and Kilty, K. T., 1991. Natural potential responses of karst systems at the ground

- surface. Proceedings of the third Conference on Geohydrology, Ecology and Monitoring and Management of Ground water in karst terranes: National Groundwater Association, 179-196.
- Musgrove, M. and Banner, J. L., 2004. Controls on the spatial and temporal variability of vadose dripwater geochemistry: Edwards Aquifer, central Texas, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(5):1007–1020.
- Parasnis, D.S., 1996. Principles of Applied Geophysics, Springer, 5th Edition.
- Revil, A. and Jardani, A., 2013. The Self-Potential Method: Theory and Applications in Environmental Geosciences, Cambridge University Press.
- Rose, P. R., 1972. Edwards group, surface and subsurface, Central Texas; Report of Investigations 74, Bureau of Economic Geology: Austin, Texas.
- Rucker, D. F. and Ferré, T. P. A., 2004. Automated Water Content Reconstruction of Zero-Offset Borehole Ground Penetrating Radar Data Using Simulated Annealing. *Journal of Hydrology*, 309 (1-4):1-16.
- Rucker, D. F. and Glaser, D. R., 2015. Standard, Random and Optimum Array Conversions from Two-pole Resistance Data. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 20(3):207-217.
- Saribudak, M., 2011. Urban geophysics: Geophysical signature of Mt. Bonnell Fault and its karstic features in Austin, Texas, *Houston Geological Society Bulletin*, October issue, p.49-54.
- Saribudak, M., Hawkins, A. and Stoker, K., 2012a. Geophysical signature of Haby Crossing Fault and its implication on the Edwards Recharge Zone, Medina County, Texas: *Houston Geophysical Society*, 2:9-14.
- Saribudak, M., Hunt, S. and Smith, B., 2012b. Resistivity imaging and natural potential applications to the Antioch Fault Zone in the Onion Creek / Barton Springs segment of the Edwards Aquifer, Buda, Texas: *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, 62:411–421.
- Saribudak, M., Hauwert, N. and Hawkins, A., 2013. Geophysical signatures of Barton Springs (Parthenia, Zenobia and Eliza) of the Edwards Aquifer, Austin, Texas, Sinkhole Conference 14 proceedings, Carbonite and Evaporites, Springer, ISSN 0891-2556.
- Saribudak, M., 2016. Geophysical mapping of Mount Bonnell fault of Balcones Fault zone and its implications on Trinity-Edwards Aquifer interconnection, central Texas, USA, *The Leading Edge*, p. 936-941.
- Saribudak, M. and Hauwert, N.W., 2017. Integrated geophysical investigations of Main Barton Springs, Austin, Texas, USA, *Journal of Applied Geophysics*, 138, 114–126.
- Shah, S.D., Smith, B.D., Clark, A.K. and Payne, J.D., 2008. An Integrated Hydrogeologic and Geophysical Investigation to Characterize the Hydrostratigraphy of the Edwards Aquifer in an Area of Northeastern Bexar County, Texas, USGS Scientific Investigations Report, 2008-5181.
- Small, T. A., Hanson, J. A. and Hauwert, N. M., 1996. Geologic framework and hydrogeologic characteristics of the Edwards Aquifer outcrop (Barton Springs Segment), northeastern Hays and southwestern Travis Counties, Texas: U.S. Geological Survey Water Resources Investigations 96-4306, 15 p. Prepared in cooperation with the BS/EACD and TWDB.
- Smith, B. D., Cain, M.J., Clark, A.K., Moore, D.W., Faith J.R., and Hill. P.L., 2005. Helicopter electromagnetic and magnetic survey data and maps, northern Bexar County: U.S. Geological Survey Open-file Report 2005–1158.
- Uçar, F. ve Aktürk Ö., 2015. İki Boyutlu Elektrik Özdirenç Görüntüleme Yöntemi Kullanılarak Karstik Boşlukların Belirlenmesi, 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 6-10 Nisan 2015, 222-223.
- Veni, G., 2000. Hydrogeologic assessment of Flint Ridge Cave, Travis County, Texas. Report for the City of Austin, George Veni and Associates, San Antonio, Texas, 56 p.
- Vichabian, Y. and Morgan, F. D., 2002. Self potentials in cave detection: *The Leading Edge*, 23, 866–871.
- Wong, C, J.B. Kromann, B. Hunt, B. Smith and Banner, J., 2014. Investigating groundwater flow between Edwards and Trinity Aquifers in central Texas. *Groundwater*, 52, 624-639.



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

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

Murat Özkaptan* 

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

Geliş/Received : 14.12.2018 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 18.02.2019 • Kabul/Accepted : 25.02.2019 • Baskı/Printed : 15.04.2019
Araştırma Makalesi/Research Article *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

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

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

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

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

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

GİRİŞ

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

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

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

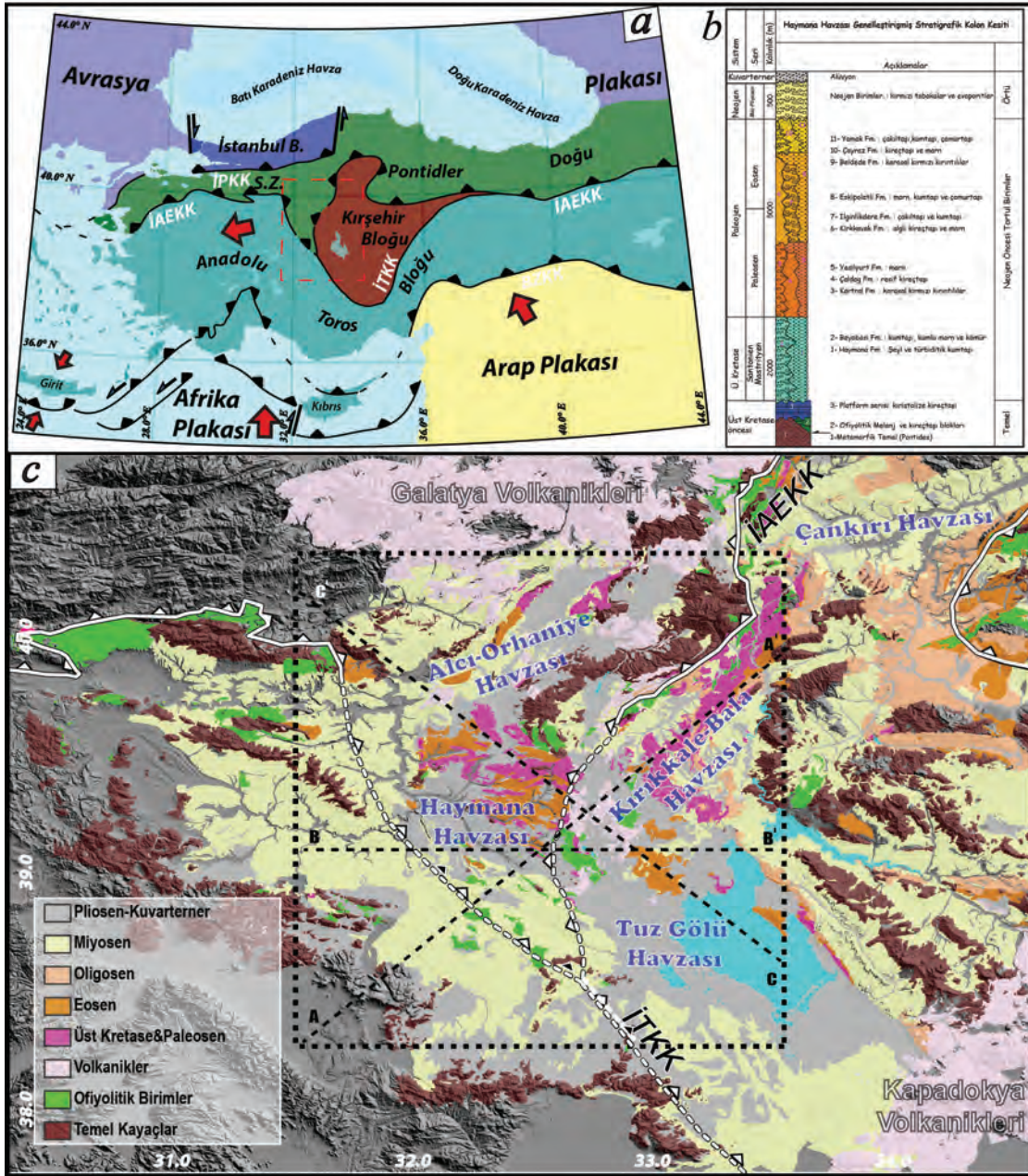
süreçler boyunca tortul biriktirmiş 4 havzanın hem yüzlek vermiş birimlerinin hem de derin devamlıklarının bütünleşik olarak irdelenmesi yerelden bölgeye kadar önemli tektonik bulgular ortaya koyacaktır.

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

BÖLGENİN GENEL TEKTONİK EVRİMİ

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

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



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

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

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

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

Haymana Havzası

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

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

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

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

Kırıkkale-Bala Havzası

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

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

Tuzgölü Havzası

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

Alcı-Orhaniye Havzası

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

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

METODOLOJİ

Gravite ve Manyetik Veri Analizi

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

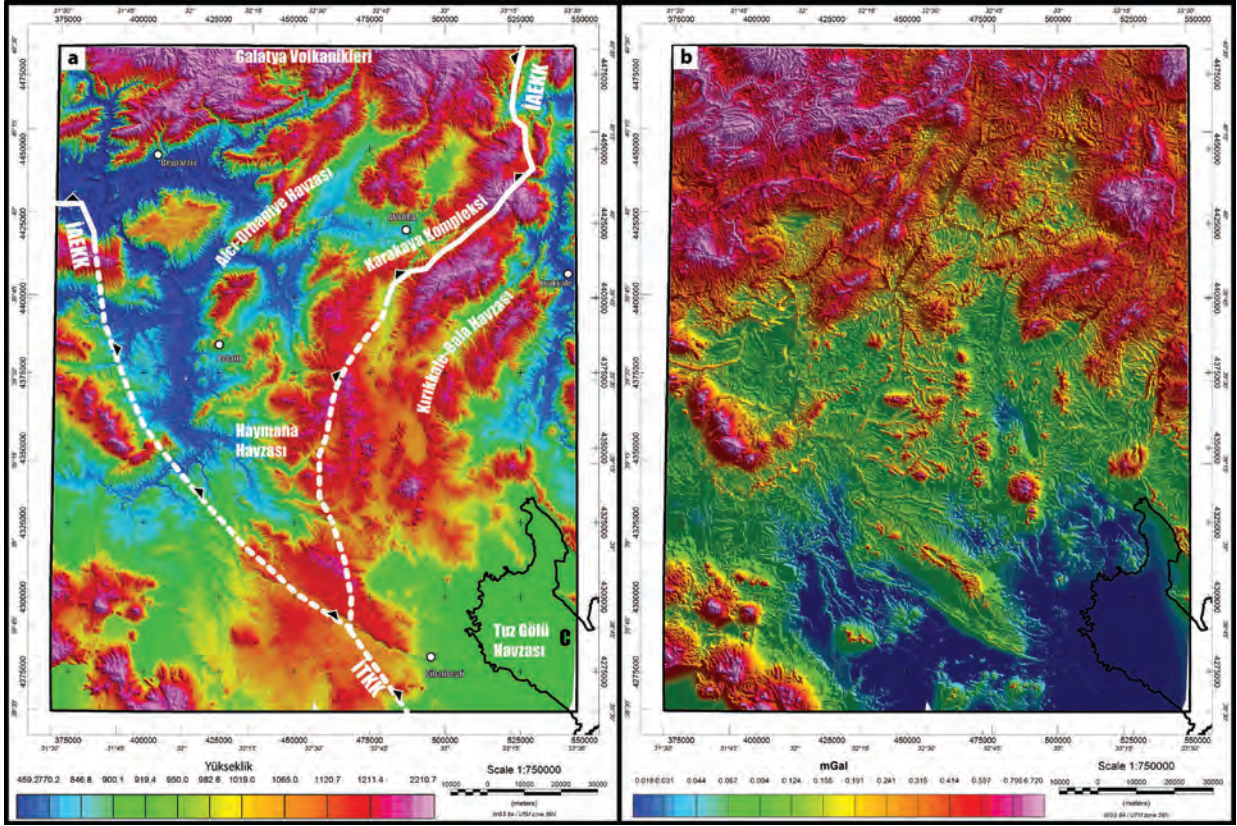
Manyetik yöntemin kullanılabilmesi için bölgede yeterli bir manyetik mineral kontrastının olması gereklidir. Buna karşın, yaygın olarak bulunan çoğu kayaç türü içeriğince çok az manyetik özellik barındırmaktadır (Tablo 1). Kayaç birimlerinin manyetik özellik göstermeleri, manyetit, pirit, protin, ilmenit,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

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

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

Gravite ve manyetik veri analizleri ve filtreleme

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



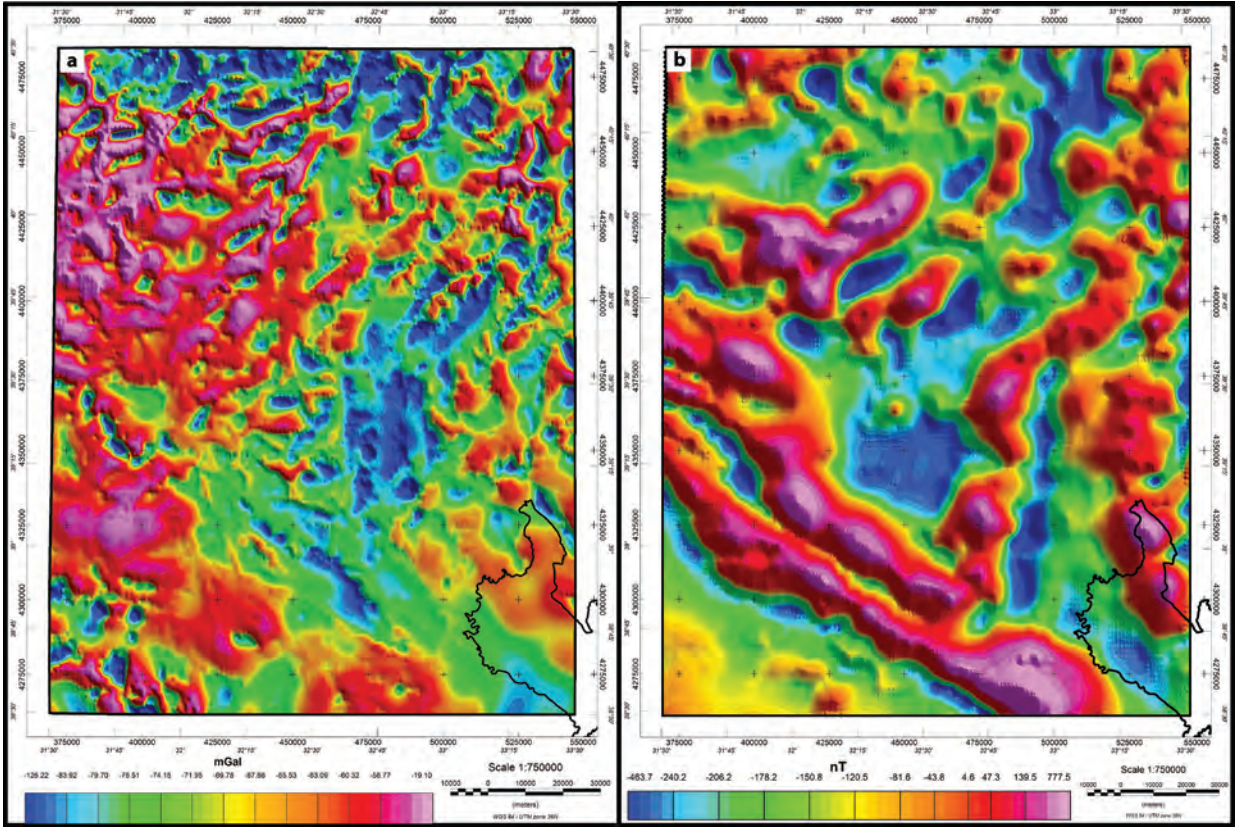
Şekil 2. a) Şekil 1c’de gösterilen siyah dörtgen alana ait dijital yükseklik haritası. b) Gravite düzeltmesinde kullanılmış olan topoğrafik etki (terrain) haritası.

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

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

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

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

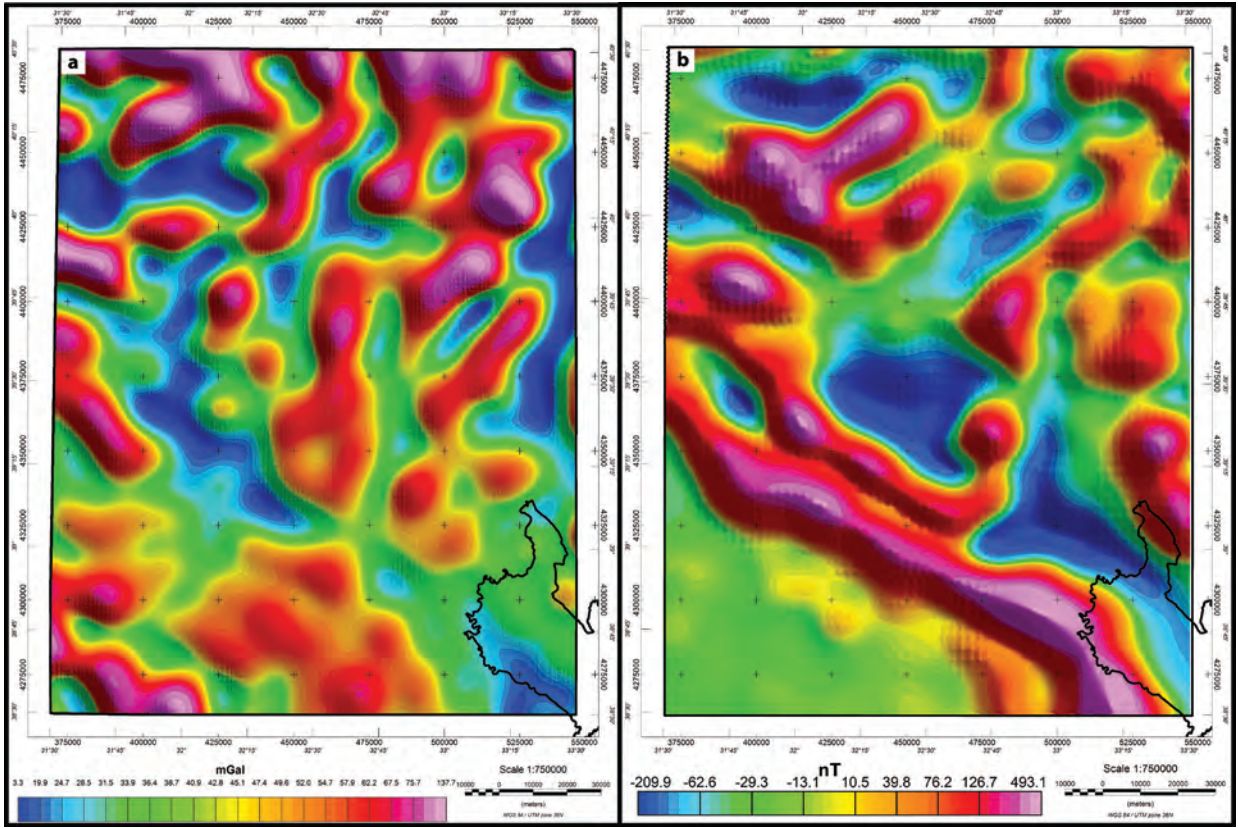


Şekil 3. a) Çalışma alanının serbest hava gravite anomali haritası. b) Manyetik anomali haritası (düzeltilmemiş).

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gravite ve Manyetik anomaliler ve 2B analizleri

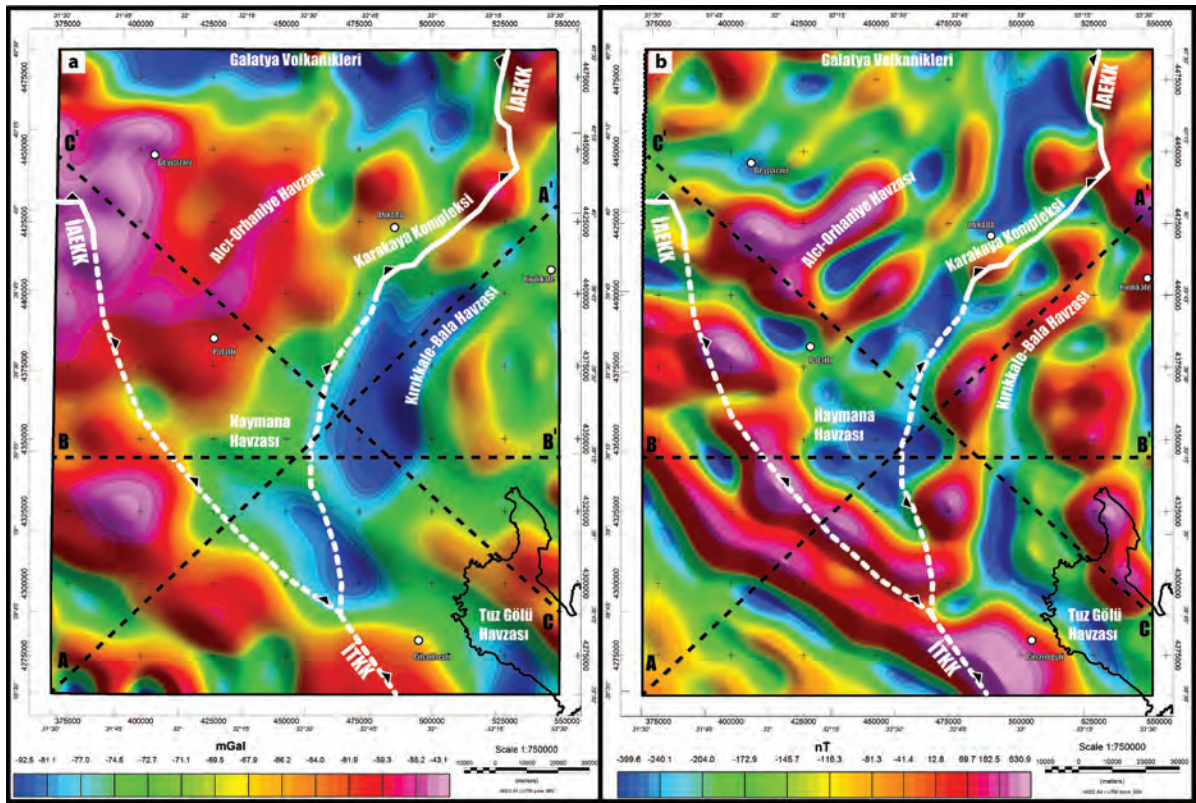
Yukarıda verilmiş olan gravite ve manyetik düzeltmelerin ve uygulanan filtreleme stratejisinden sonra bölgenin Bouguer gravite ve manyetik anomali haritaları, filtreleme aşamasından önce, derin-sığ, küçük ya da büyük ölçekli jeolojik yapıların etkilerini bir arada barındırmaktadır (Şekil 4). Yapılacak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

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

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

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

Şekil 5



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

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

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

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

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

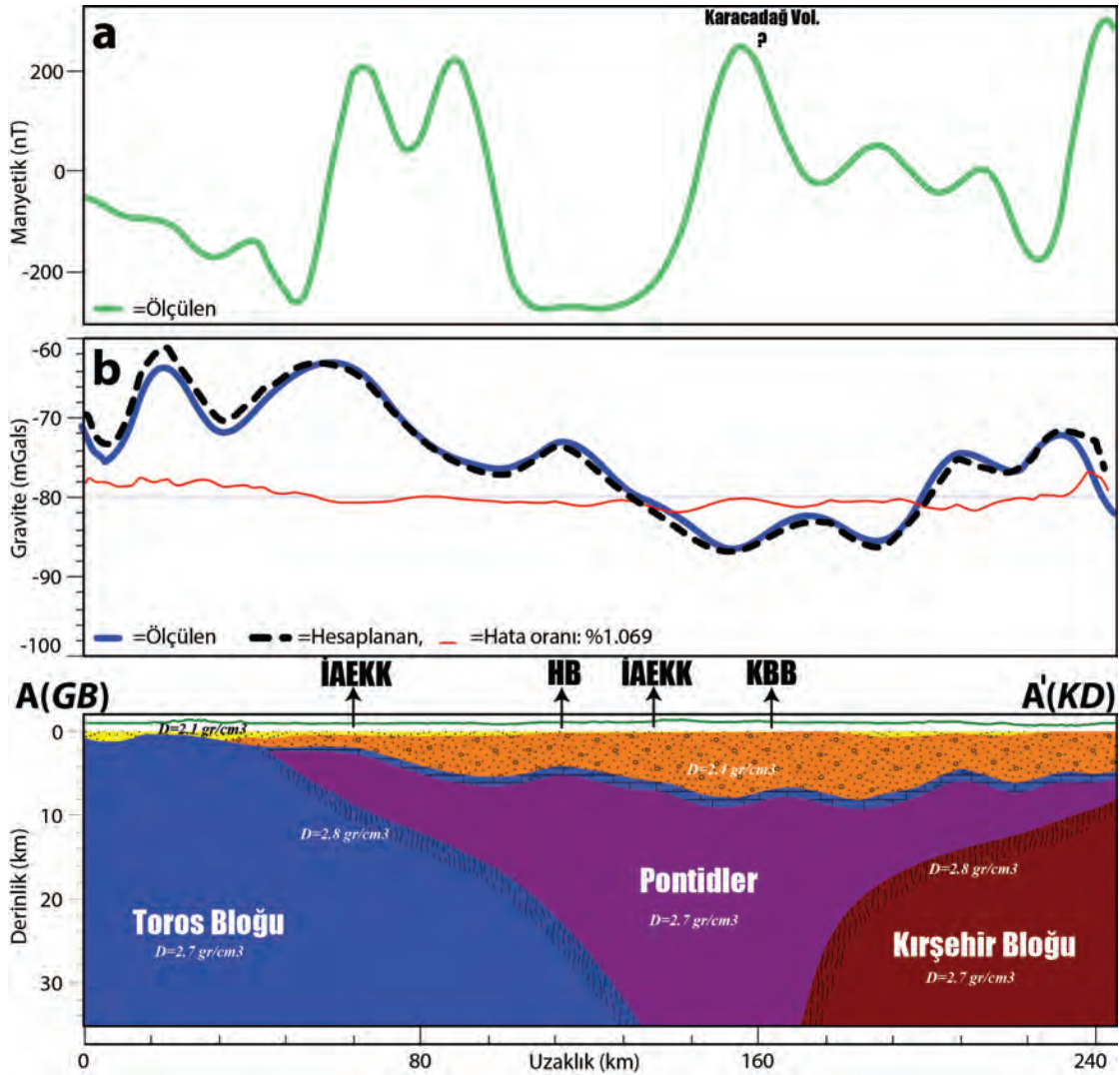
2.5B Gravite Modelleme

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

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

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

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



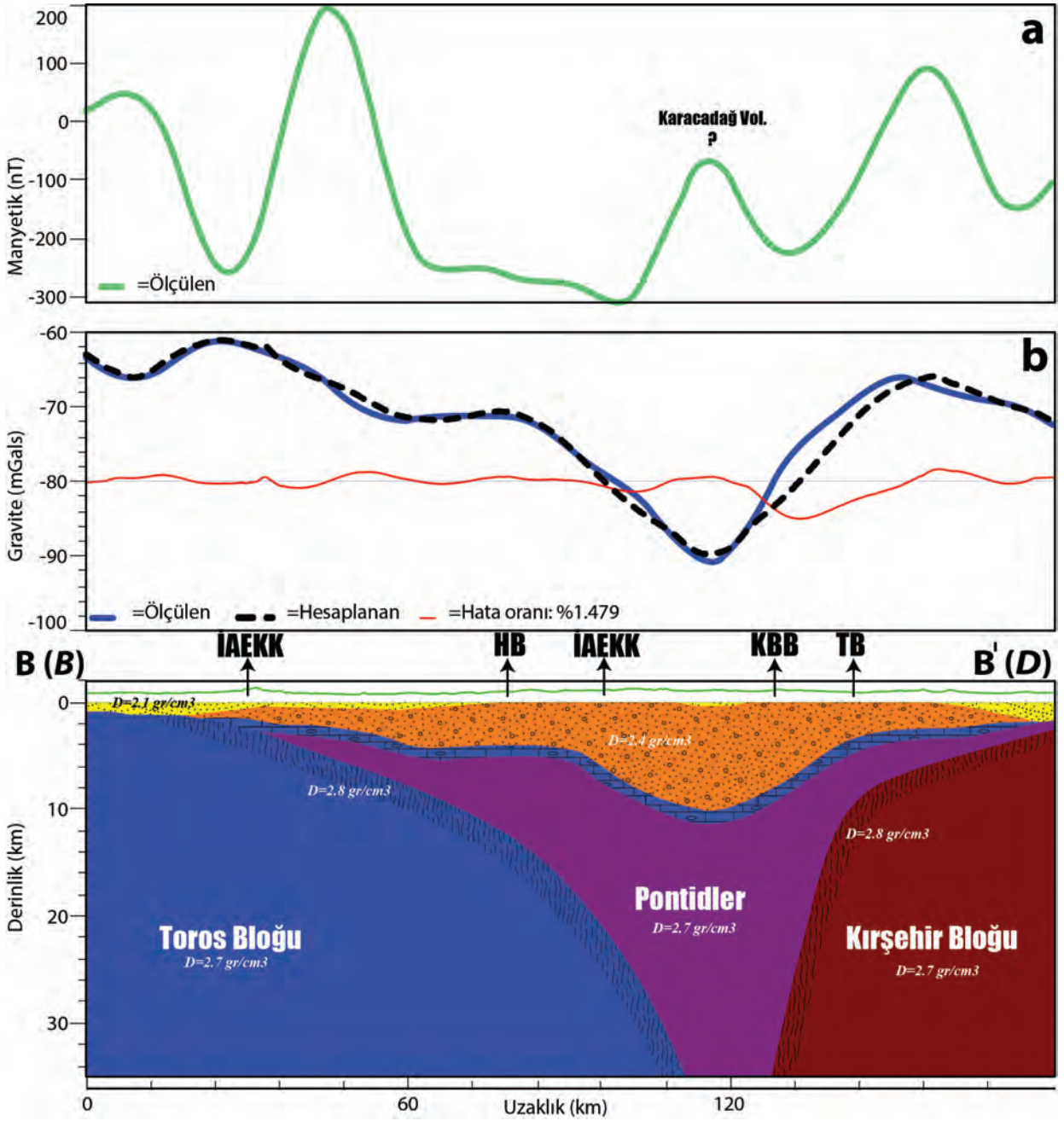
Şekil 6. A-A' kesitine ait manyetik (a) gravite (b) anomalileri ve gravite verisine göre oluşturulan 2.5B'lu yeraltı modeli. İAEKK: İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı, HB: Haymana Havzası, KBB: Kırıkkale-Bala Havzası.

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

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

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

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



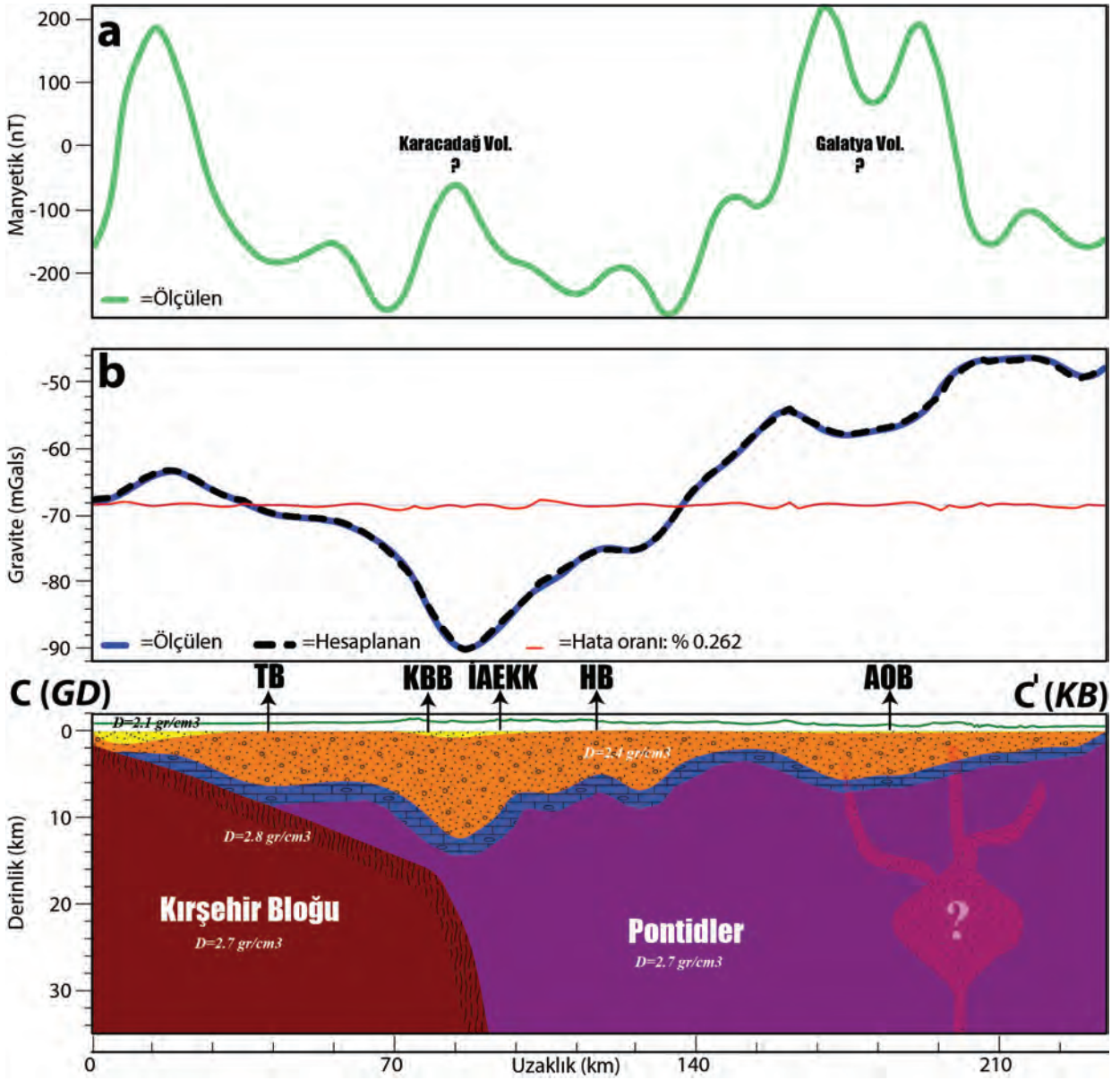
Şekil 7. B-B' kesitine ait manyetik (a), gravite (b) anomalileri ve gravite verisine göre oluşturulan 2.5B'lu yeraltı modeli. İAEKK: İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı, HB: Haymana Havzası, KBB: Kırıkkale-Bala Havzası, TB: Tuzgözü Havzası.

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

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

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

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



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

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

KATKI BELİRTME

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

EXTENDED SUMMARY

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ORCID

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

DEĞİNİLEN BELGELER

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

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

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



**02.03.2017 ve 24.04.2018 Samsat (Adıyaman) Depremleri ve
Bölgesel Sismotektonik İçindeki Önemi**
*02.03.2017 and 24.04.2018 Samsat (Adıyaman) Earthquakes and Their Importance in Regional
Seismotectonics*

Orhan Tatar¹ , Fikret Koçbulut¹ , Ali Polat², Mehmet Demirel¹ 

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

² Sivas İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 58040 Sivas

Geliş/Received : 28.03.2019 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 25.04.2019 • Kabul/Accepted : 29.04.2019 • Baskı/Printed : 08.05.2019

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Bu çalışmada, 2 Mart 2017 tarihinde saat 14.06'da Adıyaman ili Samsat ilçesine 2.5 km uzaklıkta, yerin yaklaşık 10 km derinliğinde meydana gelen 5.5 Mw büyüklüğündeki depremin bölgede yüzey deformasyonları oluşturup oluşturmadığı, Yapay Açıklık Radar İnterferometrisi (InSAR) yöntemi ve arazi gözlemleriyle incelenmiştir. Deprem öncesi ve deprem sonrasına ait Sentinel-1A uydusunun iki yapay açıklık radarı (SAR) görüntüsü analiz edilerek oluşturulan interferogramdan deformasyon belirlenmeye çalışılmıştır. Interferogramın değerlendirilmesi sonucunda bölgede uydu bakış yönünde (LoS) yaklaşık 2.5 cm civarında bir yüzey deformasyonunun meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu deformasyon daha çok Samsat ilçesi yakın kuzeydoğusunda yoğunlaşmıştır. Bölgede depremin hemen sonrasında yapılan ayrıntılı saha incelemeleri sonucunda ise herhangi bir yüzey kırığının oluşmadığı, buna karşın bazı alanlarda yersel çatlaklar şeklinde yüzey deformasyonlarının geliştiği saptanmıştır. Depremin, Samsat İlçesinin yaklaşık 5 km kuzeyinden geçen ve TPAO tarafından Samsat Fayı olarak adlandırılan fay üzerinde geliştiği anlaşılmaktadır. Ana şok sonrası bölgede meydana gelen 400'ü aşkın artçı sarsıntının kabaca K40-50B gidişli bir çizgisellik üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Sahada yapılan gözlemlerde de hasar dağılımının özellikle bu hat boyunca geliştiği dikkat çekicidir.

Anahtar Kelimeler: Adıyaman, aktif fay, Samsat depremi, yüzey deformasyonu.

Abstract: In this study, Synthetic Aperture Radar Interferometry (InSAR) method is used together with field observations to determine whether surface deformations occur in the region after the 5.5 Mw (AFAD) Samsat Earthquake occurred at a distance of 2.5 km from the Samsat district of Adıyaman province on 2 March 2017. We attempted to determine the deformation of the interferogram created by analyzing two Synthetic Aperture Radar (SAR) images of the Sentinel-1A fit before and after the earthquake. As a result of the evaluation of the interferogram, a surface deformation of about 2.5 cm in the satellite view direction/Line of Sight (LoS) was observed in the region. This deformation is mostly concentrated in the northeast of Samsat town. As a result of the detailed field investigations made immediately after the earthquake in the region, no surface rupture occurred but surface deformations in the form of local and discontinuous fissures developed in some areas. It is understood that the Earthquake developed on a fault passing through about 5 Km North of Samsat and named as Samsat Fault by TPAO. It appears that more than 400 aftershocks following the main shock in the region concentrate roughly on a N40-50W lineament. It is noteworthy that in the observations made in the field, the distribution of the damage has also developed along this line in particular.

Keywords: Adıyaman, active fault, Samsat earthquake, surface deformation.

GİRİŞ

2 Mart 2017 tarihinde yerel saat ile 14.07'de AFAD verilerine göre merkez üssü Adıyaman iline bağlı Samsat ilçesi Uzuntepe Köyü olan Mw:5.5 büyüklüğünde bir deprem olmuştur. Bu deprem sonrasında 30 civarında vatandaş yaralanmış, Samsat ilçe merkezi ve civar köylerde hasar meydana gelmiştir. Bu depremden bir yılı aşkın bir süre sonra 24 Nisan 2018 tarihinde yerel saatle 03.34'de yine aynı bölgede bu kez merkez üssü Kırmacık Köyü olan Mw:5.3 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Deprem sonucunda 35 kişi hafif yaralanmış, 2 bina yıkılmış, bazı köylerdeki binalarda hafif ve orta boyutta hasar oluşmuştur. Depremler başta Adıyaman kent merkezi ve ilçeleri olmak üzere Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da birçok yerleşim yerinde hissedilmiştir. Her iki deprem sonrasında bölgede çok sayıda artçı sarsıntılar meydana gelmiştir. 2 Mart 2017 tarihinde meydana gelen deprem sonrasında bölgede yapılan saha çalışmaları sonucunda yer yer yüzeyde çatlakların oluştuğu ancak her iki deprem sonucunda bir yüzey faylanması gerçekleşmediği gözlenmiştir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Fırat Nehri kıyısında bulunan Samsat İlçesi yörede tarihi en eskiye dayanan yerleşim yerlerinden birisidir. Kâhta Çayı ile Göksu Çayları arasındaki düzlüğün Fırat Nehri kıyısındaki en geniş kesiminde yer alan Samsat, Adıyaman'ın 1954 yılında il merkezi olması nedeniyle, ilçeye dönüşerek Adıyaman'a bağlanmıştır. Eski Samsat olarak adlandırılan bu yerleşim yeri 1987 yılında Atatürk Barajı sularının yükselmesiyle birlikte sular altında kalmış ve ilçe 1988 tarihinde tamamen boşaltılarak bugünkü yerine taşınmıştır (Bakırcı 1997).

SAMSAT VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

İnceleme alanı en geniş anlamda Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi (DASB) içinde yer almaktadır. En güneydeki bölgeyi Bitlis Bindirme Kuşağı

oluşturur. Bu kuşak, Arap plakası ile Avrasya plakası arasında yer alan Neotetis'in güney kolunun Serravaliyen sonunda kapanması sonucu meydana gelmiştir. Bitlis Bindirme Kuşağı, Kahramanmaraş ile Yüksekova arasında, güneye yönelmiş ters faylardan meydana gelir. Bu zon, 1500 km uzunlukta olup 60 km genişlikte bir bölgeyi oluşturur (Perinçek 1978; Yılmaz vd. 1992; Gülkan vd. 1993). Şengör ve Yılmaz (1981) bu kuşağı Bitlis Yitim Zonu olarak adlandırmış ve bu zonun Orta Miyosen-Üst Miyosen (Langiyen-Serravaliyen) boyunca Arap ve Avrasya Plakalarının birbirlerinin altına dalması sonucunda oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu zon boyunca oluşan dalma-batma hareketi bölgenin topoğrafik olarak yükselmesi ve dağ oluşumuna sebep olmuştur. Bu zon güncel olarak aktivitesini devam ettirmektedir. Bunun sonucu olarak Doğu Anadolu Bölgesi sıkışmaya devam etmekte, farklı alanlarda oluşan aktif bindirme fayları boyunca değişik büyüklükte depremler meydana gelmektedir. 1975 Lice ve 2011 Van Depremleri bindirme faylarından kaynaklanan depremlere en iyi örneklerdir (Gökçe vd. 2014).

Torid Tektonik Birliği içerisinde yer alan ve Türkiye'nin önemli tektonik yapılarından olan Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı ve Doğu Anadolu Fay Sistemi gibi iki önemli unsuru içerisinde bulunduran Adıyaman ve yakın çevresi çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Türkiye'nin önemli petrol sahalarının yörede veya yakın çevresinde bulunması, bölge jeolojisinin önemini daha da arttırmıştır.

İnceleme alanı, Güney Doğu Anadolu Bindirme Kuşağı ile Toros Orojenik Kuşağı sınırında bulunmaktadır (Ketin, 1966). Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı, kuzeyde Toros, güneyde ise Arap platformları ile sınırlanan Neotetis'in güney kolunun Geç Kretase-Miyosen zaman aralığında kapanması sırasındaki jeolojik olaylar sonucunda gelişmiştir. Bu kuşağın evrimi, özellikle napların Geç Kretase Miyosen zaman aralığında göreceli olarak güneye, Arap levhasına

doğru hareketini içermektedir (Yılmaz, 1993; Yılmaz vd. 1993). Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı yaklaşık D-B uzanımlı ve birbirlerinden kuzeye eğimli ana bindirme düzlemleri ile ayrılan üç farklı tektonik birlikten oluşmaktadır. Bu tektonik birlikler kuzeyden güneye doğru Nap zonu, Yığılım Prizması ve Arap platformu'dur. Kretase ile Miyosen sonunda oluşan ve bölgeye allokon birimlerin yerleşmesini sağlayan yoğun tektonik faaliyet, aynı dönemde denizel çökel gelişimine ve çanakların kapanmasına neden olmuştur. Allokon birimler, çekim kaymaları ve sürüklenme örtüleri olarak Üst Miyosen sonunda bugünkü konumlarını kazanmışlardır (Yılmaz, 1990 ve 1993; Yılmaz vd. 1993).

SAMSAT (ADİYAMAN) VE CİVARININ SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLERİ

Samsat İlçesi ve bağlı olduğu Adıyaman ve çevresi Arabistan ve Arap levhalarının çarpışması sonucu oluşan ve halen aktivitesini sürdüren Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu ile sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu arasında bulunan ve bindirme tektoniğinin en iyi gözlemlendiği alanlardan birisidir. Bindirme ve sol yanal doğrultu atımlı fay sistemlerinin yanı sıra Samsat İlçesi güneyinde yer alan Bozova Fayı Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritası'nda (Duman vd. 2012, 2013) Kuvaterner Fayı olarak nitelendirilmiştir. Bu fay Türkiye Sismotektonik Haritası'nda 50 km uzunlukta, ters bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı fay şeklinde tanımlanmıştır (Duman vd. 2017).

Doğu-Güneydoğu Anadolu Bölgesi, dünyanın önemli deprem kuşaklarından olan Alp-Himalaya orojenik kuşağı içindeki Bitlis Kenet Zonu ön cephesinde yer alır. Bu kenet kuşağı Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu olarak bilinir. Siirt-Hakkâri-Cizre arasında bindirme zonunun genişliği K-G yönünde 100 km'den fazladır. Bu alanda zon içinde birbirine koşut çok sayıda bindirme fayı, kıvrım ve sağ yönlü doğrultu atımlı diri faylar bulunur. Adıyaman ve çevresinin ana

tekttonik yapılarını gösterir sismotektonik harita Şekil 1 ve 2'de verilmiştir.

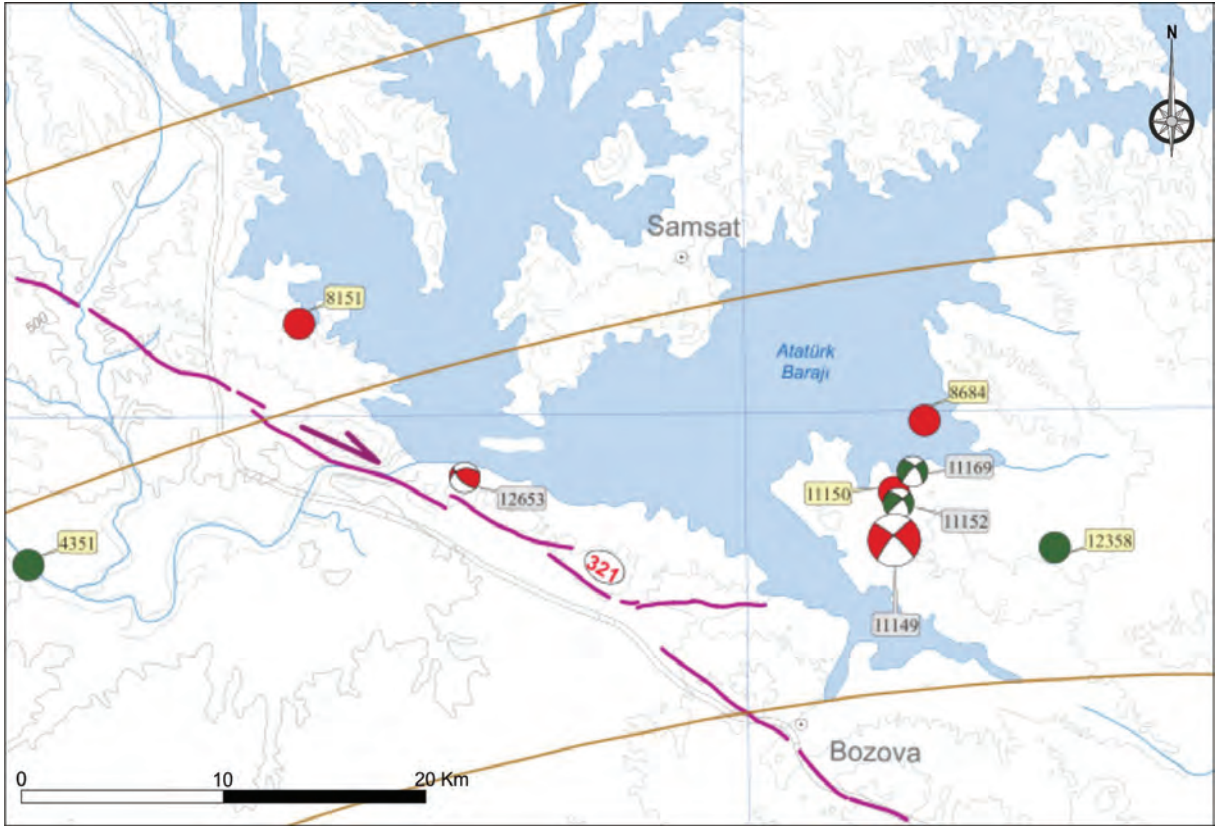
Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı Hakkari'den Kahramanmaraş civarına kadar devam eden ve orada Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile kesilen bir bindirme fayıdır. Kesilme yerinde bindirmenin 25 km. lik bir atımı vardır. Çalışma alanı ve yakın civarı en geniş anlamda Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi içinde yer almaktadır. Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi içinde kuzeyden güneye doğru, Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Karlıova'nın doğusunda yer alan sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı fayları ile Bitlis Bindirme Kuşağı bulunur. İnceleme alanının da içinde yer aldığı en güneydeki bölgeyi Bitlis Bindirme Kuşağı oluşturur. Samsat ilçesi ve civarında bulunan en önemli deprem kaynakları Doğu Anadolu Fay Zonu'na ait Pütürge ve Erkenek segmentleri, Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu'na ait Gerger segmenti ile güneyinde bulunan Bozova Fayıdır (Herece 2008; Duman vd. 2013, Şekil 1 ve 2).

Bölgede tarihsel ve aletsel dönemde depremler meydana gelmiştir. Bölgedeki depremler iki ana kaynaktan oluşmaktadır. Samsat ilçesi kuzey-kuzeybatısında bulunan Doğu Anadolu Fay Zonu ile Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu üzerinde tarihsel dönemlerde yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Tarihsel dönemde MÖ 1800-MS 1900 yılları arasında Adıyaman'da herhangi bir tarihsel deprem bulunmamakla beraber, yakınında bulunan Kahramanmaraş, Elazığ, Malatya gibi illerde yıkıcı depremler meydana gelmiştir (İmamoğlu ve Çetin 2007). Doğu Anadolu Fay Zonu'na ait Pütürge ve Erkenek segmentleri Samsat ilçesinin kuş uçuşu 50-60 km kuzey-kuzeydoğusundan geçmektedir. İki segment arasında ise Yarpuzlu sıkıştırma bükümü yer almaktadır (Duman vd. 2013). Yörenin tarihsel deprem etkinliğine bakıldığında, 6.7 büyüklüğündeki 1875 ve 6.8 büyüklüğündeki 1905 depremlerinin Pütürge segmenti üzerinde geliştiği düşünülmektedir (Ambraseys 1988). Erkenek segmenti üzerinde

ise yüzey faylanması oluşturan en son deprem 7.2 büyüklüğünde, 1893 yılında meydana gelmiştir (Ambraseys, 1988, Ambraseys ve Jackson 1998). Aletsel dönemde ise Samsat ilçesine en yakın deprem, Adıyaman kuzeyinde Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde 1964 yılında meydana gelen $M=6.0$ büyüklüğündeki Aksu-Sincik depremdir. Bu depremin dışında 1981 ve 2010 yıllarında Gerger ilçesinde $M=5.0$ ve $M=4.7$ büyüklüklerinde depremler meydana gelmiştir. Sbeinati vd. (2005) tarafından hazırlanan ve Suriye’de 1365 BC ve 1900 AD arasında meydana gelen yıkıcı depremlerin incelendiği çalışmada 1114 yılı Kasım ayında Samsat, Urfa ve Harran’ı etkileyen 9 şiddetinde bir depremden söz edilmektedir. Aletsel büyüklüğü 7.7’ye karşılık gelen ve yerin 40 km derinliğinde oluşan bu depremin merkez üssü Kahramanmaraş civarına karşılık gelmektedir. Deprem sonucunda Harran kalesinin yarısının yıkıldığı, 10.000 insanın yaşamını yitirdiği, heyelanların olduğu, Samsat’ın yerle bir olduğu ve birçok insanın yıkıntılar altında can verdiği belirtilmektedir. Ancak depremin dış merkezinin Sbeinati vd. (2005)’de verilen koordinatlarının Kahramanmaraş güneybatısında bir noktaya düşmesi bu depremin olasılıkla Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde meydana geldiğine işaret etmektedir.

2017 yılında yayımlanan Türkiye Sismotektonik Haritası’nda (Duman vd. 2017) ise Samsat İlçesi güneydoğusunda aletsel dönemde meydana gelen 6 ayrı deprem aktivitesi gösterilmiştir. Bu depremler 24.09.1999 ve 12.02.2012 yılları arasında meydana gelmiş olup büyüklükleri 4.1 ile 5.0 arasında değişmektedir. 2008 yılında meydana gelen 3 depremin ise odak mekanizması çözümleri sağ yanal doğrultu atımlı faylanmayı işaret etmektedir. Güneyde kalan Bozova fayı üzerinde ve yakınında ise aletsel dönemde oluşmuş 3 ayrı deprem aktivitesi bulunmaktadır. Bu depremlerin büyüklüğü 4.1-4.5

arasında olup, odak mekanizması çözümü yapılan 01.12.2012 tarihindeki 4.1 büyüklüğündeki deprem ters bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı mekanizma sunmaktadır. Dünyanın üçüncü en büyük barajı olan Atatürk Barajı’nda rezervuardaki değişen su seviyelerinin depremleri tetiklediği öne sürülmektedir (Eyidoğan vd. 2010; Eyidoğan ve Geçgel 2010). Baraj gölü 1992 yılında su tutmaya başlamış, 1994 Mart ayında 530 m. Seviyesine ulaşmıştır. Eyidoğan vd. (2010), özellikle 1994 yılında, baraj gölü tam kapasiteye ulaştığı zaman, küçük büyüklükteki depremlerin sıklıkla oluşmaya başladığını belirtmiştir. Yazarlar, 2007 ve 2008 yaz ayları boyunca, barajdaki su seviyesinin yetersiz yağış nedeniyle önemli ölçüde azaldığını ve bu hızlı su seviye düşüklüğünün bölgedeki gerilimi değiştirdiğini ve 5.0 büyüklüğündeki depremin enerjinin serbest kalması sonucu oluştuğunu öne sürmüşlerdir. Atatürk Baraj Gölü havzasında meydana gelen 21.02.2008 ($M_w:3.5$) ve 03.09.2008 ($M_w:5.0$) depremlerinin su seviyesinde oluşan salınım ve azalmalardan kaynaklandığını belirten yazarlar, baraj gölünde 01.01.2007 ve 01.12.2009 yılları arasındaki su seviyesi değişimlerini incelemişlerdir. Eyidoğan ve Geçgel (2010), baraj gölünde 3.5 yıllık bir duraylı su seviyesinden sonra, ikinci büyük su azalma sürecinin 2007 Haziranında başladığını ve küçük bazı salınlara rağmen 2009 yılı Aralık ayına kadar sürdüğünü belirtmişlerdir. Bu dönem içerisinde iki azalma dönemi vardır. Bu azalma dönemlerinde biri $M_l:3.8$, diğeri $M_l:5.2$ büyüklüğünde dikkat çekici iki adet deprem tetiklenmiştir. 5.2 büyüklüğündeki deprem birçok küçük artçı sarsıntı yanı sıra büyüklükleri 4 olan iki ayrı artçı şok yaratmıştır. Baraj gölü yakınında olan bu depremlerin hepsi sığ derinliklerde meydana gelmiş ve çok az bir normal faylanma bileşeni olan sağ yanal doğrultu atımlı faylanma mekanizmasına sahiptir. Deprem aktivitesi ortalama 7 km derinlikte olmuştur.



Şekil 1. Samsat ve civarında meydana gelen ve odak mekanizması çözümü yapılan depremlerin Türkiye Sismotektonik Haritası'ndaki görünümü (Duman vd. 2017).

Figure 1. The earthquakes with focal mechanism solutions occurred in and around Samsat shown in Seismotectonics Map of Turkey (Duman et al. 2017).

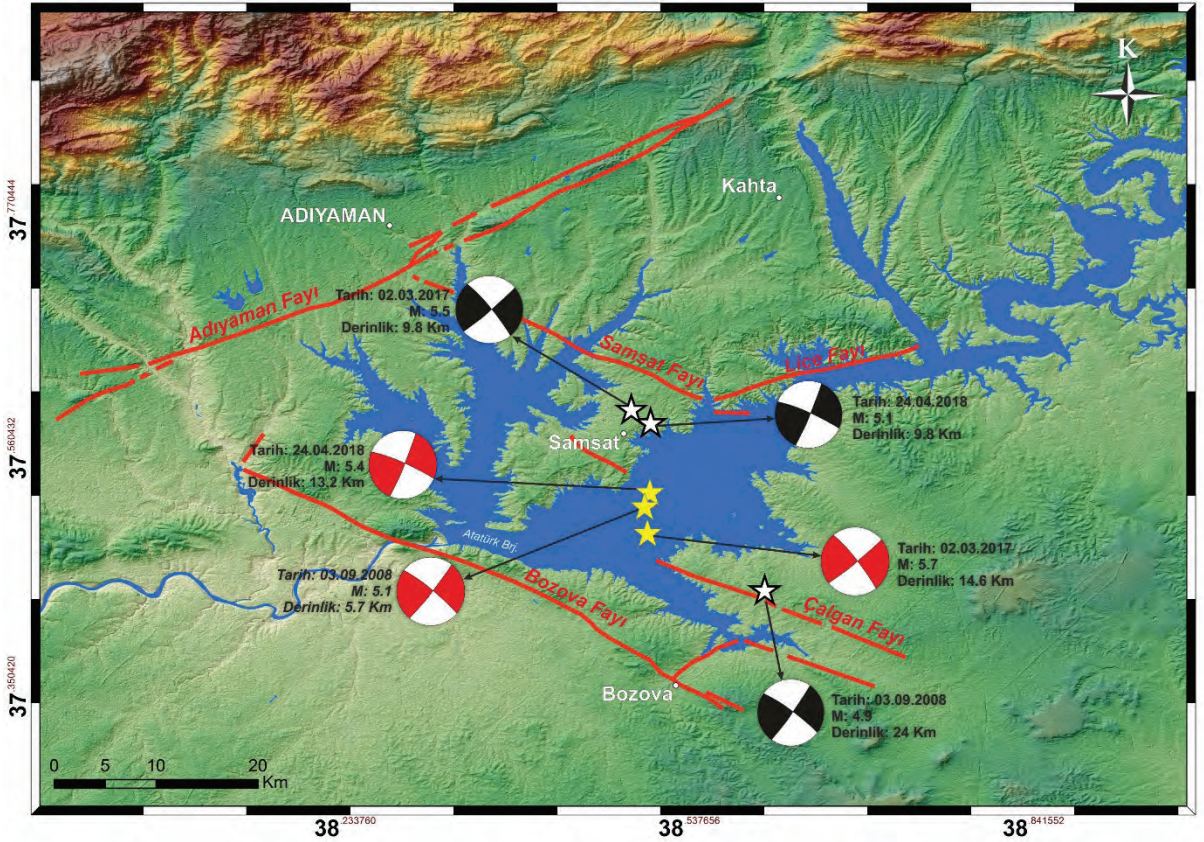
2 Mart 2017 ve 24 Nisan 2018 Samsat Depremleri

02.03.2017 tarihinde meydana gelen $M_w=5.5$ büyüklüğündeki depremin merkez üssüne en yakın yerleşim yeri Samsat ilçesi kuzeyinde bulunan Uzuntepe köyüdür. Yaklaşık 11 saniye süren depremin odak derinliği ise 9.76 Km'dir. Depremin hemen sonrasında büyüklüğü 4.4'e kadar ulaşan birçok artçı deprem meydana gelmiş ve bu sarsıntılar uzun süre devam etmiştir. AFAD Deprem Dairesi tarafından yapılan odak mekanizması çözümü depremin sağ yanal doğrultu atımlı bir fay üzerinde oluştuğunu göstermektedir (Şekil 2). 2017 yılında meydana gelen depremden yaklaşık 14 ay sonra 24 Nisan 2018 tarihinde meydana gelen $M_w=5.1$ büyüklüğündeki depremin

odak derinliği ise 13 km civarında olup sığ odaklı bir depremdir. Depremin merkez üssü Samsat ilçesinin güneyinde bulunan Kırmacık köyüne düşmektedir. Bu deprem sonrasında da büyüklüğü 3.6'ya kadar ulaşan çok sayıda artçı sarsıntı kaydedilmiştir. USGS, AFAD Deprem Dairesi ve B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü gibi farklı kurumlar tarafından yapılan depremin odak mekanizması çözümü kuzeydoğuya eğimli, bir miktar ters bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı faylanma mekanizmasını göstermektedir (Şekil 2, Tablo 1). 2 Mart 2017 ve 24 Nisan 2018 tarihlerinde meydana gelen depremlerin fay düzlemi çözümleri karşılaştırıldığında bir miktar farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. 2 Mart 2017 depremi sağ yanal doğrultu atımlı bir

faylanma mekanizması gösterirken, 24 Nisan 2018 depremi ise ters bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı faylanmayı işaret etmektedir. Her iki depremin merkez üsleri karşılaştırıldığında, 2017 depreminin merkez üssünün Samsat kuzeyine, 2018 depreminin ise Samsat güneyine düştüğü görülmektedir. Artçı sarsıntılarının dağılımı her iki deprem için kabaca KB-GD gidişli bir çizgisellik üzerinde yoğunlaşmayı göstermektedir (Şekil 3). MTA tarafından yayımlanan Yenilenmiş Türkiye

Diri Fay Haritası'nda Samsat İlçesi güneyinde yer alan ve Atatürk Baraj Gölünün güneybatı kenarını sınırlayan K50°B genel gidişli, yaklaşık 50 Km uzunluğundaki fay Bozova Fayı olarak adlandırılmıştır. Bu fay ters bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı bir Kuvaterner fayı şeklinde tanımlanmıştır (Duman vd. 2012). Buna karşın Samsat yakınında MTA tarafından yenilenmiş Diri Fay Haritası Suruç paftasında tanımlanmış diri fay bulunmamaktadır.



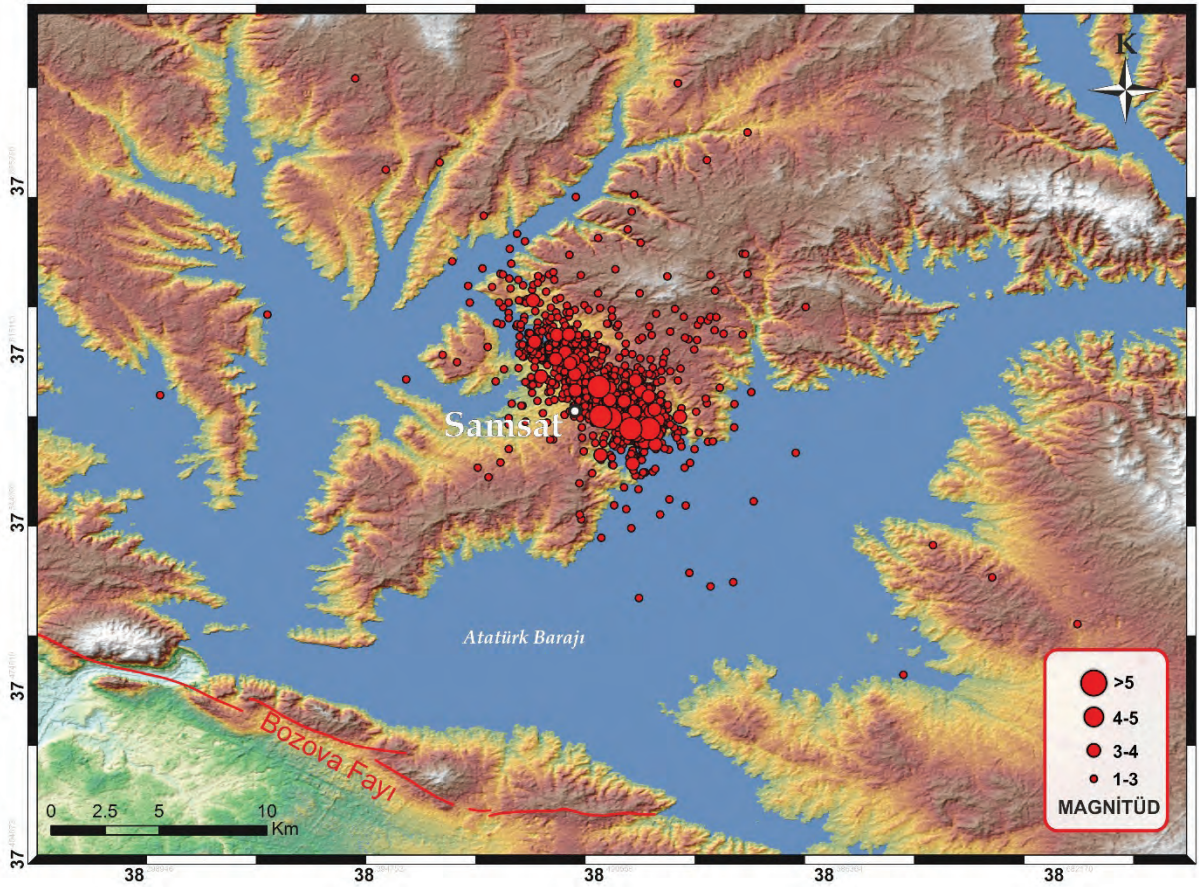
Şekil 2. Adıyaman civarının sismotektonik haritası ve 2 Mart 2017 ve 24 Nisan 2018 Samsat Depremlerine ait odak mekanizması çözümleri (Odak mekanizması çözümleri AFAD Deprem Dairesi ve B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınmıştır. Siyah-beyaz odak çözümleri AFAD, kırmızı-beyaz odak çözümleri B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne aittir.

Figure 2. The sismotectonic map of the Adıyaman region and the focal mechanism solutions of the Samsat Earthquakes (March 2, 2017 and April 24, 2018) were taken from the AFAD Earthquake Department (black) and Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (red).

Tablo 1. 2 Mart 2017 ve 24 Nisan 2018 Samsat depremlerine ait sismik parametreler.

Table 1. Seismic parameters of 2 March 2017 and 24 April 2018 Samsat earthquakes.

Tarih	Saat	Enlem (D)	Boylam (K)	Derinlik (Km)	Büyüklik (Mw)	Kaynak
02.03.2017	14.07	37.5955	38.4866	9.76	5.5	AFAD
02.03.2017	14.07	37.4860	38.5010	14.6	5.7	Kandilli
02.03.2017	14.07	37.616	38.431	10.0	5.6	USGS
24.04.2018	03.34	37.5836	38.5036	9.79	5.1	AFAD
24.04.2018	03.34	37.5092	38.5033	14.7	5.3	Kandilli
24.04.2018	03.34	37.596	38.514	10.0	5.2	USGS



Şekil 3. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Ulusal Deprem Merkezi (UDİM)'nden alınan 2 Mart 2017 ve 24 Nisan 2018 Samsat Depremleri ve artçı sarsıntılarını gösterir sayısal yükselti modeli.

Figure 3. Main and aftershock distribution of 2 March 2017 and 24 April 2018 Samsat earthquakes from Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, National Earthquake Research Center (UDIM).

2 Mart 2017 depreminden sonra bölgede yapılan saha çalışmalarında yıkımın Samsat ilçe merkezinin yanısıra, kuzeyinde yer alan Uzuntepe, Akdamar, Taşkuyu ve Tepeönü köylerinde yoğunlaştığı gözlenmiştir (Şekil 4). Deprem sonucunda herhangi bir yüzey faylanması gelişmemiştir. Ancak bazı alanlarda yer yer sistematik şekilde gelişmiş çatlakların

varlığı dikkat çekmiştir. Bu çatlakların genel doğrultusu $K40-50^{\circ}B$ olarak ölçülmüştür. Deprem sonrası Akdamar ve Taşkuyu Köylerinde yapılan incelemelerde hasarın belli bir hat boyunca yoğunlaştığı gözlenmiştir. Akdamar Köyünde bir bahçe duvarında yaklaşık $K50B$ gidişli sağ yanal doğrultu atımlı deformasyon izi belirgin şekilde izlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. 2 Mart 2017 depreminden sonra Samsat kuzeyinde Akdamar ve Taşkuyu köylerinde oluşan yapısal hasarlar.
Figure 4. Structural damages in Akdamar and Taşkuyu villages located in north of Samsat after 2 March 2017 earthquake.

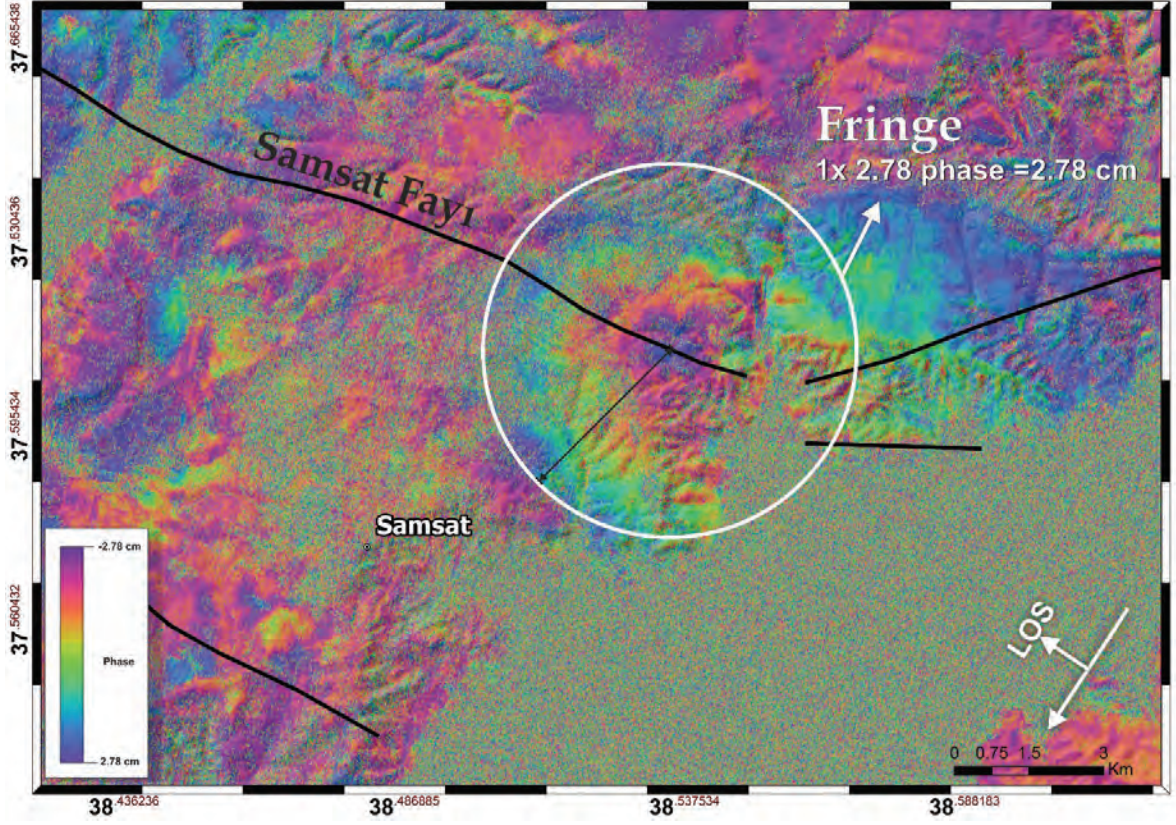


Şekil 5. 2 Mart 2017 depremi sonrası (a) Akdamar köyünde gözlenen sağ yanal doğrultu atımlı faylanmayı işaret eden çizgisellik, (b) Samsat ilçe merkezi ve (c) Taşkuyu köyünde gözlenen yüzey çatlakları.

Figure 5. (A) Lineament indicating right lateral strike-slip faulting observed in Akdamar village, surface cracks observed in (b) Samsat district center and (c) Taşkuyu village.

2 Mart 2017 tarihinde meydana gelen depremin bölgede yüzey deformasyonları oluşturup oluşturmadığı, Yapay Açıklık Radar İnterferometrisi (InSAR) yöntemiyle de incelenmiştir. InSAR yöntemi, yapay açıklık radarı (SAR) görüntüleri yardımı ile yeryüzünde meydana gelen deformasyonların oluşturduğu faz farklarını belirleyen yöntemdir. Bu amaçla, 2 Mart 2017 depremi sonrasında, inceleme alanı ve yakın çevresini içine alan Sentinel-1A radar görüntüleri analiz edilmiştir. Bu görüntülerin analiz edilmesi ile oluşturulan interferogram incelendiğinde, Samsat İlçe merkezinin kuzeydoğusunda faz

değişimi (fringe) izlenmektedir. Şekil 6'da gösterilen interferogram 2 Mart 2017 Samsat depreminin deprem sonrasına ait (co-seismic) yüzey deformasyonunu gösteren Sentinel-1A interferogramıdır. Faz farkından oluşan saçakların genel dağılımına bakıldığında, en içteki ve en dıştaki halka tek bir faza eşittir. Oluşan deformasyon saçak sayısı ile fazın çarpımına eşitti. Bu da bize uydu bakış yönünde (LOS) 2.78 cm'lik bir deformasyonun varlığını göstermektedir. Bu deformasyonların daha çok Samsat ilçesi yakın kuzeydoğusunda yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 6. 2 Mart 2017 Samsat depreminin deprem sonrası (co-seismic) yüzey deformasyonunu gösteren Sentinel-1A interferogramı.

Figure 6. Sentinel-1A interferogram showing the co-seismic surface deformation of March 2, 2017 Samsat earthquake.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Seyitoğlu vd. (2017) Güneydoğu Türkiye, Kuzey Suriye ve Irak'ın neotektoniğini konu alan çalışmalarında Güneydoğu Anadolu Kaması'nın içyapısı, bölgedeki kör bindirmeler ve bunların güncel depremlerle ilişkisini ortaya koymuşlardır. Yazarlar, Türkiye'nin mevcut aktif fay haritasının (Emre vd. 2013), özellikle güneydoğu Türkiye tüm sismik olaylarla ilişkiyi açıklamadığını ifade etmektedir. Aktif fayların çoğu doğrultu atım özelliğine sahiptir ve Türkiye'nin doğusunda örneğin Çaldıran, Varto, Bingöl'de meydana gelen büyük depremlerden sonra varlığı ortaya konmuştur. Aktif bindirme fay hatları, Bitlis Kenet Kuşağı hariç, MTA diri fay haritasında

nadiren gösterilmiş ve sınırlı tanımlama büyük olasılıkla bindirmeye ilgili büyük depremlerden kaynaklanmış olan Van ve Cizre Faylarıdır. Örneğin 1975.09.06 Lice depremi (Ms: 6.7) Bitlis Kenet Kuşağı ile ilişkilendirilmiştir (Arpat, 1977; Jackson ve McKenzie, 1984). Van Fay Zonu ise, 23.10.2011 Van depreminden (Mw: 7.1) sonra (Zahrandik ve Sokos, 2011) tanınmış haritalanmıştır. Bu da bize, Türkiye'nin doğu / güneydoğusundaki kör bindirmelerin önemli sismik kaynaklar olduğunu ve bunların ayrıntılı araştırılması gerektiğini göstermiştir (Seyitoğlu vd. 2017). Benzer şekilde 2017 ve 2018 Samsat Depremlerine kaynaklık ettiği düşünülen K40-50°B gidişli fay da Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritası'nda bulunmamakla birlikte,

TPAO tarafından bölgede yapılan çalışmalarda Samsat Fayı olarak adlandırılmış ancak fayın aktivitesi ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmemiştir. Samsat güneyinde bulunan ve Türkiye Diri Fay Haritası'nda Kuvaterner yaşlı Bozova Fayı olarak tanımlanan fay ters bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı bir fay özelliğindedir. 2 Mart 2017 ve 24 Nisan 2018 depremlerine kaynaklık ettiği düşünülen Samsat Fayının ise sağ yanal doğrultu atımlı özellikte olduğu düşünülmektedir. Gerek deprem sonrası sahada yapılan gözlemler ve gerekse her iki depremin odak mekanizması çözümleri bunu doğrulamaktadır.

Samsat ve civarındaki deprem aktivitesine Eyidoğan vd. 2010 farklı bir yaklaşımda bulunmuş ve Atatürk Barajı ve Hidroelektrik Santrali göl alanı içinde 3 Eylül 2008 tarihinde meydana gelen $M_I=5.2$ büyüklüğündeki depremin ve sonrasında oluşan $M_I=4.6$ ve $M_I=4.0$ büyüklüğündeki iki artçı sarsıntının mekanizma özelliklerini incelemişlerdir. Yazarlar, 3 Eylül 2008 depreminin barajın su yükündeki değişimler tarafından tetiklendiğini ve Bozova fayı ile ilişkisinin olmadığını, baraj su seviyesinin radikal değişimlerinin sürmesi durumunda orta büyüklükteki depremlerin olabileceğini vurgulamışlardır. Eyidoğan ve Geçgel (2010) ise 1992-2009 yılları arasında Atatürk Barajındaki su değişimlerini inceleyerek bunun tetiklenmiş depremsellik ilişkisini tartışmışlardır. Elde ettikleri veriler, depremsellik dağılımı ve fay düzlemi çözümleri, tetiklenmiş depremselliğin üst kabukta ve KB-GD yönlü sağ-yanal doğrultu atım niteliğindeki faylanmalarla ilişkili olduğunu işaret etmektedir. Buna karşın 2 Mart 2017 ve 24 Nisan 2018 Samsat Depremlerinin oluşum mekanizması, sonrasında meydana gelen çok sayıda artçı deprem aktivitesi ve bu artçı sarsıntılarının belli bir hat boyunca dizilim göstermesi, bu depremlerin Atatürk Barajı ve HES su alanındaki ani değişimlerle doğrudan ilişkisinin olmadığını ve bu depremlerin bölgedeki K40-50°B gidişli Samsat Fayı ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma 2 Mart 2017 tarihinde meydana gelen deprem sonrasında, AFAD Sivas İl Müdürlüğü'nün sağladığı lojistik destekle gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı İl Müdürü Nazif Ekinçi'ye teşekkür ederiz.

EXTENDED SUMMARY

According to AFAD data at 14.07 local time on March 2, 2017, M_w : 5.5 magnitude earthquake occurred in Uzuntepe Village of Samsat district of Adıyaman province. Around 30 people were injured after this earthquake and damage occurred in Samsat district center and surrounding villages. After more than a year, the earthquake occurred on April 24, 2018 at 03.34 local time in the same region. As a result of the earthquake, 35 people were slightly injured, 2 buildings were demolished and some buildings were damaged in light and medium size. Located in Southeastern Anatolia Region on the banks of the Euphrates River, Samsat is one of the oldest settlements in the region. Samsat, which is located in the widest part of the plain between Kâhta and Göksu Creeks on the banks of the Euphrates, was transformed into Adıyaman, due to the fact that Adıyaman was a provincial center in 1954. This settlement, formerly called Samsat, was flooded in 1987 with the rise of the Atatürk Dam and the district was completely evacuated and moved to its present location in 1988 (Bakırcı 1997). It is one of the areas where the thrust tectonics is located between the Southeast Anatolian Thrust Zone and the left lateral strike-slip East Anatolian Fault Zone. Thrusting and left-lateral strike-slip fault systems as well as Bozova Fault located in the south of Samsat District shown on the updated Active Fault Map of Turkey (Duman et al. 2012). Bozova fault is described as the Quaternary Fault extending for about 50 km long, and as a right lateral strike slip fault with a reverse component on the seismotectonics map of Turkey (Duman et al. 2017).

Earthquakes occurred in historical and instrumental periods in the region. Earthquakes in the region consist of two main sources. Destructive earthquakes occurred in the historical periods on the East Anatolian Fault Zone in the north-northwest of Samsat and the Southeast Anatolia Thrust Zone. While there were no historical earthquakes in Adıyaman between 1800 and 1900 BC, devastating earthquakes occurred in provinces such as Kahramanmaraş, Elazığ and Malatya. Eyidoğan and Geçgel (2010) suggested that changes in the water level in the Atatürk Dam caused the triggered earthquake activity in the region. The authors stated that the earthquakes occurred in the Atatürk Dam Lake basin between 21.02.2008 (Mw:3.5) and 03.09.2008 (Mw:5.0) were caused by the oscillations and decreases in the water level.

The closest settlement to the epicenter of Mw:5.5 magnitude earthquake occurred on 02.03.2017 is Uzuntepe village located in the north of Samsat district. The focal depth of the earthquake lasting about 11 seconds is 9.76 Km. Immediately after the earthquake, many aftershocks with magnitude up to 4.4 occurred and these shocks continued for a long time. The focal mechanism solution made by the AFAD Earthquake Department shows that the earthquake is formed on a right lateral strike-slip fault. Approximately 14 months after the earthquake in 2017, Mw = 5.1 magnitude earthquake occurred on April 24, 2018 and the focal depth of the earthquake is around 13 km. The epicenter of the earthquake falls to the village of Kirmacık, south of the Samsat district. After this earthquake, a large number of aftershocks were recorded, reaching a size of 3.6. The focal mechanism solution of the earthquake by the Kandilli Observatory and the Earthquake Research Institute shows a slightly biased right lateral strike-slip faulting mechanism dipping to the northeast. It is understood that the earthquakes occurred on March 2, 2017 and April 24, 2018 were

slightly different when the fault plane solutions were compared. The earthquake on 2 March 2017 shows a right lateral strike-slip faulting mechanism, while the 24 April 2018 earthquake indicates right-lateral strike-slip faulting with a slightly reverse component. When the epicenters of both earthquakes were compared, it is seen that the epicenter of the 2017 earthquake fell to the north of Samsat and the 2018 earthquake fell to the south of Samsat. The distribution of aftershocks shows the concentration of roughly NW-SE lineament for both earthquakes. After the 2 March 2017 earthquake, it was observed that the damage was concentrated in the villages of Uzuntepe, Akdamar, Taşkuyu and Tepeönü to the north of the Samsat district center. No surface faulting occurred as a result of the earthquake. However, the presence of systematically developed surface cracks in some areas has attracted attention. The general direction of these cracks was measured as N40-50W.

Synthetic Aperture Radar Interferometry (InSAR) method was used to determine the possible surface deformation of the earthquake occurred on March 2, 2017. For this purpose, after the earthquake of March 2, 2017, Sentinel-1A radar images were taken into consideration. When the interferogram generated by analyzing these images is examined, it is observed that the fringe of the northeast of Samsat District is observed. N40-50W trending fault which utilizes the earthquakes in 2017 and 2018 faults is not shown in updated Active Fault Map of Turkey, but the studies conducted in the region by TPAO has called Samsat fault but no more detailed information about the fault activity.

ORCID

Orhan Tatar  <https://orcid.org/0000-0001-9579-1607>

Fikret Koçbulut  <https://orcid.org/0000-0003-3578-029X>

Mehmet Demirel  <https://orcid.org/0000-0002-4065-2420>

DEĞİNİLEN BELGELER

- Ambraseys, N.N. (1988). Engineering seismology. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 17, 1-105.
- Ambraseys, N.N. ve Jackson, J.A. (1998). Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 133, 390-406.
- Arpat, E. (1977). 1975 Lice Depremi. *Yeryuvarı ve İnsan*. S. 15-27.
- Bakırcı, M. (1997). Türkiye’de yer değiştiren şehirlere yeni bir örnek: Samsat. *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı 32, s.365-391.
- Duman, T.Y., Emre, Ö., Özalp, S., Olgun, Ş. ve Elmacı, H. (2012). 1:250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Şanlıurfa (NJ 37-10) ve Suruç (NJ 37-14) Paftaları. Seri No 43, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Duman, T.Y. ve Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society of London, Special Publications No 372*. In: Robertson, A.H.F., Parlak, O. ve Ünlügenç, U.C. (eds) *Geological Development of Anatolia and the Easternmost Mediterranean Region*.
- Duman, T.Y., Emre, Ö., Özalp, S., Çan, T., Olgun, Ş., Elmacı, H. ve Şaroğlu, F. (2017). Türkiye ve Yakın Çevresindeki Diri Faylar ve Özellikleri. *Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı*, (Ed. T.Y. Duman). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-34, 12 s. Ankara-Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Elmacı, H., Özalp, S. ve Olgun, Ş. (2012). 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Malatya (NJ 37-6) Paftası, Seri No: 45, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Eyidoğan, H. ve Geçgel, V. 2010. Atatürk Barajı Su Düzeyi ve Tetiklenmiş Depremsellik İlişkileri. 1992-2009. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 14. Çalıştay, Bildiri Özleri Kitapçığı*, s.31, Adıyaman Üniversitesi.
- Eyidoğan, H., Geçgel, V. ve Pabuçcu, Z. (2010). 3 Eylül 2008 Atatürk Barajı Depremi: Tetiklenmiş Depremsellik ve Bozova Fayı. *Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitapçığı*
- Gökçe, O., Tüfekçi, M.K. ve Gürboğa, Ş. (2014). *Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi ve Fay Sakınım Bantlarının Oluşturulması. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Yayınları*, 387 s., Ankara.
- Gülkan, P. Yüçemen, M.S., Başöz, N. Koçyiğit, A. ve Doyuran, V. (1993). *En Son Verilere Göre Hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Rapor No. 93-01, Ocak.
- Herece, E. (2008). *Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası*. General Directorate of Mineral Research and Exploration. Special Publications, Ankara, Serial Number, 13, 359.
- İmamoğlu, M. Ş. ve Çetin, E. (2007). Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve yakın yöresinin depremselliği. *D.Ü. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, 9, 93-103.
- Jackson, J. and McKenzie, D. (1984). Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophys J R Astr Soc Lond* 77: 185-264.
- Ketin, İ. (1966). Anadolu’nun tektonik birlikleri. *Maden Tetkik Arama Ens. Dergisi*, 66, 20-34.
- Perinçek, D. (1978). Çelikhhan-Sincik-Koçali (Adıyaman İli) alanının jeolojik incelenmesi ve petrol olanaklarının araştırılması. *İÜFF Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, Doktora tezi*, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1250, 212 s., Ankara.
- Sbeinati, M.R., Darawcheh, R. ve Mouty, M. (2005). The historical earthquakes of Syria: an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D. *Annals of Geophysics*, Vol. 48, N 3, pp. 347-435.
- Seyitoğlu, G., Esat, K. ve Kaypak, B. 2017. The neotectonics of southeast Turkey, northern Syria and Iraq: the internal structure of the Southeast Anatolian Wedge and its relationship with recent earthquakes. *Turkish J Earth Sci*, 26: 105-126.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181-241.
- Yıldırım, N. (2012). Havza-Kuşak madenciliği kapsamında keşfedilen Güneydoğu Anadolu Kıbrıs tipi VMS metalojenik kuşağı: Koçali

Karmaşığı, Adıyaman Bölgesi, Türkiye. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, Sayı 14, s.47-55.

Yılmaz, Y. (1990). Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia formed under a compressional regime: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44 (1-2), 69-87.

Yılmaz, Y. (1993). New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 105.

Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., Yıldırım, M. ve Genç, Ş.C. (1992). Güneydoğu Anadolu metamorfik masiflerinin kökeni. Türkiye 9. Petrol Kongresi Bildirileri, 296-306, Ankara.

Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E. ve Genç, Ş.C. (1993). Ophiolitic and metamorphic assemblages of southeast Anatolia and their significance in the geological evolution of the orogenic belt. *Tectonics*, 12, p. 1280–1297.

Zahradnik, J. and Sokos, E. (2011). Multiple-point source solution of the Mw 7.2 Van earthquake, October 23, 2011, Eastern Turkey. Report submitted to EMSC on November 1, 2011.



Mollaresul Formasyonunun (Haymana-Ankara) Petrol Hazne Kaya Özellikleri
Petroleum Reservoir Properties of Mollaresul Formation (Haymana-Ankara)

Ayfer Özdemir

*Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü,
Alparslan Türkeş Cad. No:71 Söğütözü/Ankara*

Geliş/Received : 26.01.2019 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 15.05.2019 • Kabul/Accepted : 17.05.2019 • Baskı/Printed : 21.05.2019

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Petrol araştırma ve üretimi için rezervuar kalitesi hakkında detaylı araştırma yapmak, petrol arama ve değerlendirme çalışmalarının maliyetinin oldukça yüksek olması nedeniyle, maliyeti düşürmek için oldukça önemlidir. Bu çalışmanın amacı, Haymana-Polatlı havzası içerisinde yer alan Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarından oluşan Mollaresul formasyonunun petrol hazne kaya kalitesini belirlemektir. Kireçtaşlarının rezervuar kalitesi, standart arazi çalışmaları ve laboratuvar analizleri yapılarak, gözeneklilik-geçirgenlik analizleri ve petrografik incelemeler yardımıyla ortaya konulmuştur. Arazi çalışmalarında formasyonun masif ve tabakalı olduğu düzeyler gözlenmiştir. İncelenen birim sıg denizel bir ortamdan gittikçe derinleşen deniz ortamında çökelmiştir. Gözeneklilik-geçirimlilik analizlerine göre birim %30 ile %45 arasında gözeneklilik, 5.2 ve 7.7 md arasında değişen geçirimlilik değerlerine sahiptir. Formasyonun; tabakalı, bol çatlaklı ve erime boşluklu olması birimde iyi bir gözeneklilik oluşturmuştur. Ancak, gözenekliliği büyük ölçüde artıran formasyondaki kırık ve çatlakların ikincil kalsit, demirli (Fe) ve manganlı (Mn) çimento ile dolması nedeniyle geçirgenlik değerleri gözeneklilik kadar yüksek değildir. Sonuç olarak, arazi ve laboratuvar çalışmalarına göre Mollaresul formasyonu orta dereceli hazne kaya niteliği göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Haymana, kireçtaşı, Mollaresul, petrol, rezervuar

Abstract: Detailed research on the quality of the reservoir for oil research and production is very important to reduce costs because of the high cost of oil exploration and evaluation. The aim of this study is to determine petroleum reservoir rock quality of the Mollaresul formation which is composed of Jurassic-Lower Cretaceous aged limestones within the Haymana-Polatlı basin. The reservoir quality of the limestones was determined by standard field studies and laboratory analyzes, porosity-permeability analyzes and petrographic studies. In the field studies, the formation is observed as massive and stratified, and it is deposited from a shallow to deeper marine environment. According to porosity-permeability analyses, the porosity values of the formation are between 30% and 45%, and the permeability values are between 5.2 and 7.7 md. Layered, abundant cracked and karstic cavities of the formation formed a good porosity in the formation. Although fractures and cracks in the formation greatly increased porosity, secondary calcite, ferrous (Fe) and manganese (Mn) cement filling the fractures and cracks did not make the permeability as high as the porosity. In conclusion, according to the field and laboratory studies, Mollaresul formation shows a moderate reservoir rock quality.

Keywords: Haymana, limestone, Mollaresul, petroleum, reservoir

GİRİŞ

Çalışma alanı, Haymana-Polatlı havzası içinde Yenimehmetli ve İkizce mahalleri arasında Çayraz köyünün güneyi ile Haymana ilçesi arasında yer almaktadır (Şekil 1). Haymana-Polatlı havzasında mostra veren bitümlü kumtaşları pek çok araştırmacı tarafından stratigrafik ve sedimantolojik olarak incelenerek, havza evrimini anlamak ve petrol potansiyelini ortaya koymak amaçlı araştırma ve incelemelerde bulunulmuştur (Rigo de Righi ve Cortesini, 1960; Turkish Gulf Oil, 1961; Yüksel, 1970; Akarsu, 1971; Norman, 1972; Uğurtaş, 1975; Arıkan, 1975; Sirel, 1975; Gökçen, 1976; Ünalın vd., 1976; Turgut, 1978; Görür ve Derman, 1978; Derman, 1980; Toker, 1979 a,b; Görür, 1981; Şengör ve Yılmaz, 1981; Ünalın ve Yüksel, 1985; Capraru, 1991; Demirel ve Şahbaz, 1994; Sonel vd., 1996; Ayyıldız ve Sonel, 2000; Aydemir, 2011; Ayyıldız ve Ergene, 2016; Okay ve Altınel, 2016). Haymana-Tuzgölü ve Bala yörelerinde Üst Kretase-Eosen yaş aralığında yaklaşık 10 000 metre kalınlığındaki birimler Haymana, alglı kireçtaşı, Küredağ, Çayraz ve Bala formasyonları adı altında Arıkan (1975) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada, Üst Kretase ve daha yaşlı birimler ana kaya, Paleosen karbonatları ile Eosen ve Oligosen kumtaşları ise hazne kaya olarak yorumlanmıştır. Sonel vd. (1996) tarafından Tuzgölü Havzası'nda petrol arama amaçlı yapılan çalışmada Haymana, Bala ve Tuzgölü bölgeleri olarak değerlendirilen havzaların bir olduğu ileri sürülmüş ve her üç bölgede yüzeyleyen birimlerde karşılaştırma ve değerlendirme yeniden yapılmıştır. Havza Haymana-Polatlı, Bala-Kırıkkale, Ş.Koçhisar-Aksaray olarak alt bölümlere ayrılarak incelenmiştir. Söz konusu çalışmada; Haymana-Polatlı bölgesinde yaşlıdan gence doğru Haymana, Kartal, Çaldağ, Kırkkavak, Eskipolatlı, Çayraz ve Cihanbeyli formasyonlarının bulunduğu belirtilmiştir. Kırkkavak ve Kartal formasyonlarının şeyl birimlerinin petrol kaynak kaya (Ayyıldız ve Sonel, 2000), Eskipolatlı ve

Haymana formasyonlarının türbiditik kumtaşları ise petrol hazne kaya özelliğindedir (Görür ve Derman, 1978). Haymana ve Karapınar yaylası formasyonları hazne ve kaynak kaya özellikleri göstermesine rağmen Çaldağ formasyonu hazne kaya olarak önem arz etmemektedir (Sonel vd., 1999; Ayyıldız ve Ergene, 2016). Tuz Gölü Havzası Kuzeyi'nde Haymana Formasyonu'nun organik madde miktarının Haymana-Polatlı bölgelerinde KKD'dan GGB'ya doğru azaldığı, Bala-Kırıkkale arasında ise KKD'dan GGB'ya doğru arttığı, organik madde türünün hemen hemen her yerde Tip III kerojenden oluştuğu, olgunlaşmanın petrol-erken gaz zonunda olduğu Acar (2000) tarafından belirtilmiştir. Haymana Polatlı havzasında en aktif volkanik faaliyetler Neojen döneminde gelişmiştir. Bölge tektonik yapısını sıkışma rejimi altında kazanmıştır. Bunun sonucunda bölgede hakim olarak kıvrımlar, normal faylar ve ters faylar (bindirmeler ve büyük açılı ters faylar) gelişmiştir (Sonel vd., 1996). İnceleme alanındaki ters fay Dereköy bindirmesidir. Çalışma alanındaki antiklinal Haymana antiklinalidir

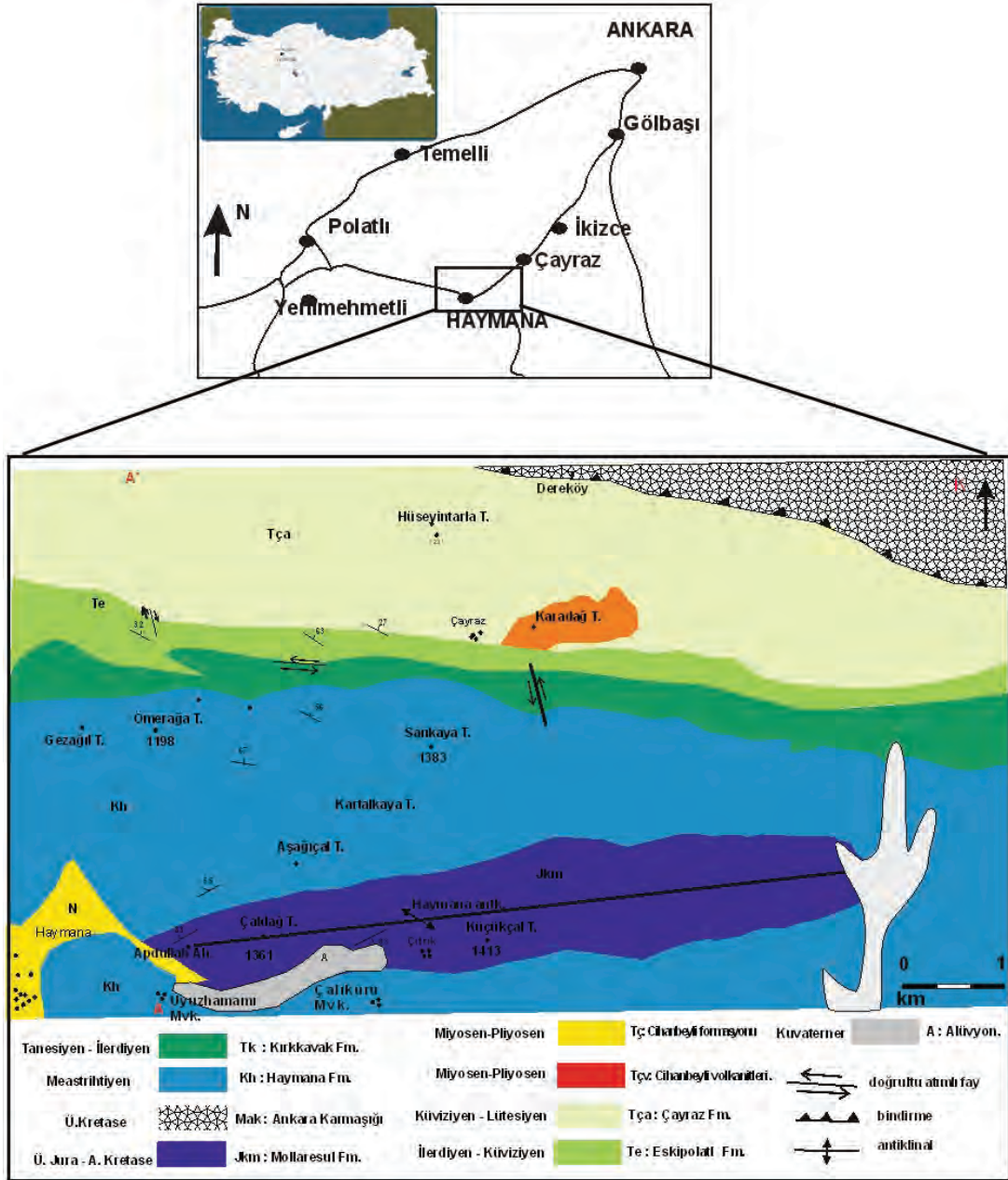
Bu çalışmada, Türkiye'deki petrol arama ve geliştirme çalışmalarına katkıda bulunmak amacıyla, Haymana-Polatlı havzasında yer alan, Haymana yakın civarında yüzlek veren Jura-Alt Kretase yaşlı Mollaresul formasyonu kireçtaşlarının petrol hazne kaya özellikleri gözeneklilik-geçirimsizlik analizleri ve petrografik incelemelerle ortaya konulmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarının rezervuar kalitesini belirlemek için standart saha ve laboratuvar teknikleri kullanılmıştır. Kireçtaşlarının sedimantolojik özelliklerini tanımlamak için araziden alınan ondört adet el örneğinden ince kesit yapılarak optik mikroskopta petrografik analizler (tane durumu, fosil içeriği, fosil oranı, tane bileşimi ve doku) yapılmıştır. Örnekler, Folk (1959) ve Dunham (1962) sınıflandırmalarına

göre tanımlanmıştır. Porozimetre (Helium gazı genişleme porozimetresi) ve permeametre (Temco RCH serisi model) kullanılarak gözeneklilik ve geçirgenlik onbir adet örnek üzerinde ölçülmüştür. Bu analizler tapalar üzerinde yapılmıştır. Tapaların standart ölçüleri 2.5 cm çapında ve 5-6 cm

uzunluğunda olup, rezervuar kaya analizleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi Petrol Mühendisliği laboratuvarında, petrografik incelemeler Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır.



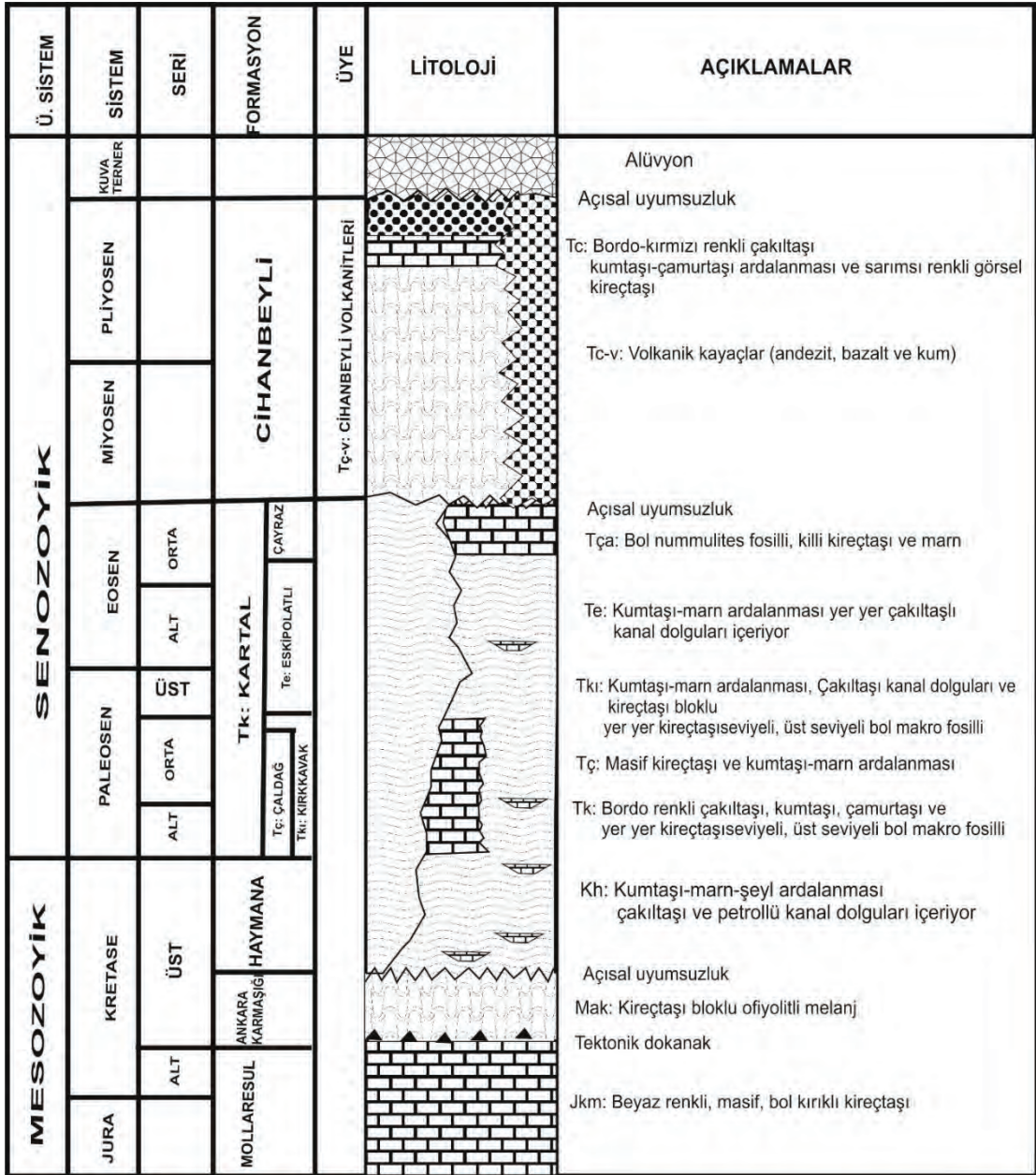
Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru ve jeoloji haritası (Sonel ve diğ., 1996)

Figure 1. Location and geological map of the study area (Sonel et al., 1996)

MOLLARESUL FORMASYONU'NUN JEOLJİSİ

Çalışma alanında Jura-Alt Kretase yaşlı Mollaresul formasyonu en yaşlı birimdir. Üst Kretase yaşlı Ankara Karmaşığı birimin üzerinde tektonik dokanakla yer almaktadır. Ankara karmaşığının içinde Permo-Karbonifer-Kretase yaşlı kireçtaşı blokları, Triyas yaşlı metagrovaklar, volkanik kayalar ve ofiyolitik karmaşığa ait birimler bulunmaktadır. Temel birimleri üzerine Geç Kampaniyen-Eosen yaşlı ve sürekli bir istif sunan sedimanter birimler gelmektedir. Bu birimler Haymana (Geç Kampaniyen-Maastrichtiyen), Kartal (Paleosen-Orta Eosen), Çaldağ (Paleosen), Kırkkavak (Paleosen), Eskipolatlı (Eosen) ve Çayraz (Orta Eosen) formasyonlarıdır. Üst Kretase-Eosen zaman aralığında denizin havzadaki transgresif ve regresif özelliklerine bağlı olarak birimlerde yanal ve düşey yönde litofasiyes değişiklikleri gözlenir. Ayrıca, bu zaman aralığında havzanın derin kısımlarında filiş karakterli birimler çökelirken kenar kısımlarında ise karasal ve sığ denizel birimlerin çökeldiği, birbirleriyle yanal ve düşey yönde ilişkide buldukları gözlenmiştir. Bu birimlerin üzerine açısız uyumsuz olarak Miyo-Pliyosen yaşlı Cihanbeyli formasyonu gelmektedir (Sonel vd., 1996) (Şekil 2).

Kireçtaşlarından oluşan Mollaresul formasyonu ilk olarak Ünal (1976) tarafından adlandırılmıştır. Daha önce aynı sahada çalışanlardan Yüksel (1970) ve Sirel (1975) aynı formasyonu Çaldağ formasyonu, Akarsu (1971) ise Çengeldağ formasyonu adı altında incelemişlerdir. Birim çalışma alanında Mollaresul yaylası dolaylarında Haymana yakın doğusunda Haymana antiklinalinin çekirdeğinde yüzlek vermektedir (Şekil 1). Mollaresul formasyonun kalınlığı Dellaloğlu'na (1991) göre 250-300 m, Ünal ve Yüksel (1985)'e göre de 420 m'dir. Tamamen kireçtaşlarından oluşan bu formasyon yer yer tabakalı, yer yer de masif ve tabakasızdır. Birimin tabakalı olduğu yerler, Çıtrık ve Apdullah ahılı mevkiileridir. Kireçtaşları bu mevkiilerde açık sarı renkli, oldukça kırılmalı çatlaklar arası kalsit, mangan ve demir çimentolu, tabaka kalınlıkları 5 cm ile 30-40 cm arasında değişmektedir. Tabaka eğimleri 55 GB ve 85 GB arasında değişmektedir (Şekil 3). Formasyonunun masif kısımları; Çaldağ tepe ile Küçükçal tepe ve civarında gözlenmektedir. Grimsi beyaz ve sarı renkli olup çört yumruludur. Bol erime boşluklu, çatlaklı ve çatlaklar arası ikincil kalsit çimento dolguludur. Masif kesimleri bol çatlaklı ve erime boşlukludur. Erime boşlukları yüksek derecede gözeneklilik oluşturur (Şekil 4). Kireçtaşlarının bol çatlaklı olması, gözenekliliği ve geçirimsizliği artırması açısından umut vericidir.



Şekil 2. Haymana-Polatlı havzasının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Sonel vd., 1996)

Figure 2. Generalized column section of Haymana-Polatlı basin (Sonel et al., 1996)



Şekil 3. Mollaresul formasyonu kireçtaşlarının tabakalı kısmının uzaktan görünümü, birim ince- orta katmanlı olup GB'ya eğimlidir.

Figure 3. Remote view of the layered part of the limestones of Mollaresul formation, they are thin to medium bedded and dip to SW.

Çalışma alanında Haymana formasyonu örtü kaya olarak Mollaresul formasyonunu üzerine gelmektedir. Gönenç (1978)'e göre; Yenimehmetli'de yüzeyleyen Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarının Mollaresul formasyonu olarak kabul edilse de, bunların ofiyolitik melanjlara birlikte gelen allokton blok olma olasılığı vardır.

Yıldız dağı güneyinde aynı nitelikteki kireçtaşları Ankara karmaşığı içinde küçük bloklar halinde gözlemlendiği için birim alloktondur. Birimin Apdullah ahılı mevkiinde yeni yol üzerinde ortaya çıkan mostrasına göre formasyonun tabaka kalınlıkları 30 cm'den 10 cm'ye değişerek Haymana formasyonuna dereceli geçişli dokanak yapmaktadır. Haymana ve Mollaresul formasyonu birlikte monoklinal kıvrımlanmaya uğramıştır (Şekil 5). Bu nedenlerle, formasyon inceleme alanında otoktondur.

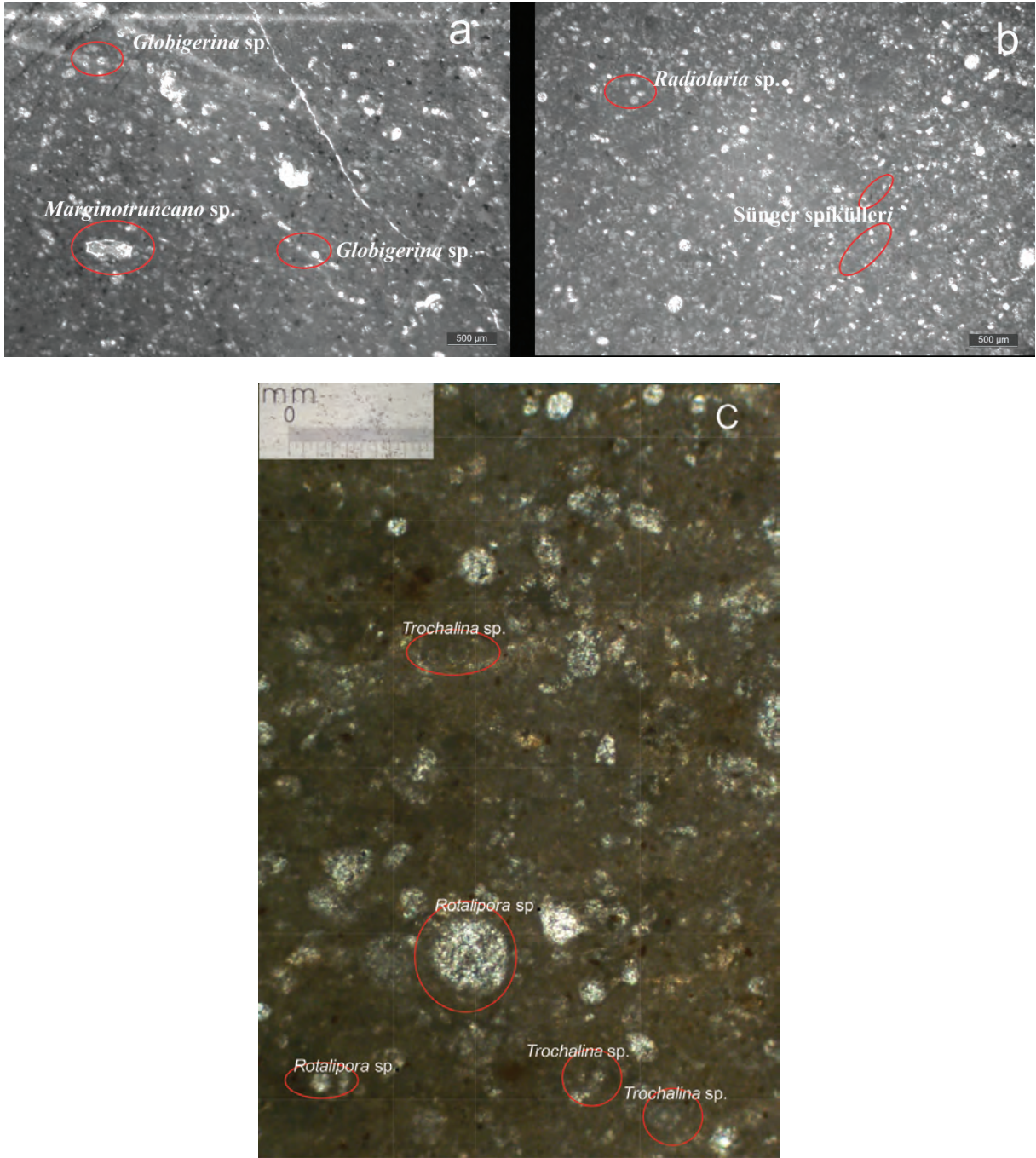
Mollaresul Formasyonu'na Ünalın (1976) Üst Kretase-Alt Kretase, Dinçer (1978) Üst Jura-Üst Kretase (Turoniyen) ve Toker (1979) Üst Jura-Alt Kretase yaşını vermişlerdir. Mollaresul formasyonunun yaşıyla ilgili yukarıda belirtildiği gibi tam bir kesinlik yoktur. Ancak, formasyonda tespit edilen *Globigerina* sp., *Marginotruncano* sp. fosilleri Turoniyen-Santoniyen yaş aralığını vermektedir (Şekil 6a) Formasyondaki *Radiolaria* sp. ve sünger spiküllerinin artması birimin sığ denizel ortamdan daha derinleşen bir ortama doğru çökelişinin olduğunu işaret etmektedir (Şekil 6b). *Rotalipora* sp., *Trocholina* sp. fosilleri Alt Kretase'yi ve derinleşen deniz ortamında çökelişini belirtmekte olup (Şekil 6c), birim içindeki tabakalı kireçtaşlarından alınan örneklerde bulunan *Marginotruncano* sp. *Radiolaria* sp ve sünger spikülleri; tabakalı kireçtaşlarının derin deniz ortamında Üst Kretase'de oluştuğunu yansıtmaktadır. Bu bulgular çevresinde inceleme alanında jeolojik haritada verilen A-A' hattı boyunca genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Mollaresul formasyonunun masif kireçtaşlarındaki erime boşlukları
Figure 4. Karstic cavities in the massive limestones of Mollaresul Formation

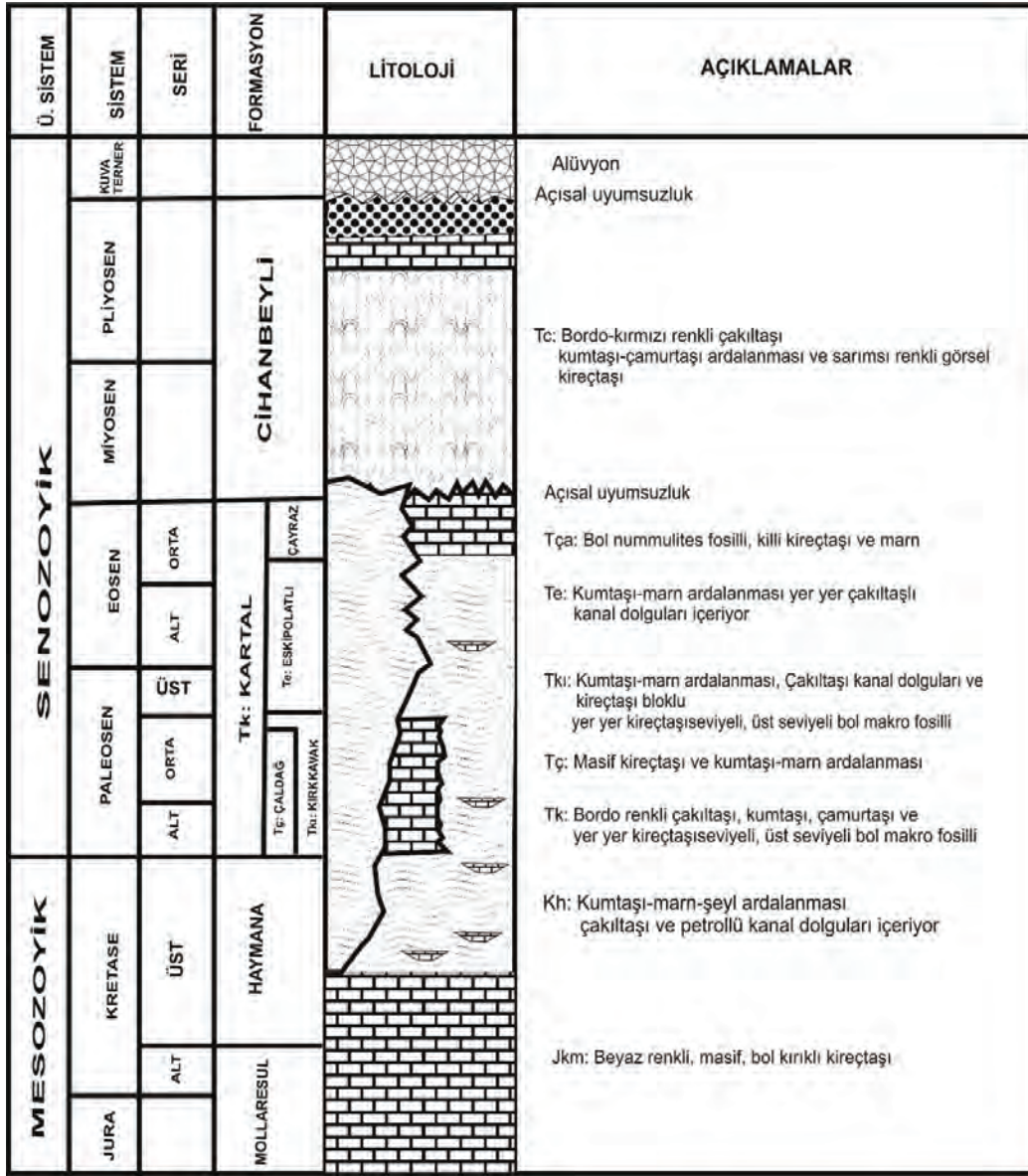


Şekil 5. Mollaresul formasyonu ile Haymana formasyonu arasındaki dereceli geçişli dokanak. Her iki birim birlikte monoklinal kıvrımlanmaya uğramıştır. (Abdullah Ahılı civarında Gölbaşı-Haymana arasında yeni yol üzeri)
Figure 5. Gradual transition between Mollaresul formation and Haymana formations, and a local monocline which affected both formations. (near Abdullah Ahılı on the new roads between Gölbaşı-Haymana)



Şekil 6. a. Turoniyen-Santoniyen yaş aralığını temsil eden *Globigerina* sp., *Marginotruncano* sp. b. Derin deniz ortamını temsil eden *Radiolaria* sp. ve sünger spikülleri c. Alt Kretase'yi ve derinleşen deniz ortamında çökelişi belirten *Rotalipora* sp., *Trocholina* sp. fosilleri

Figure 6. a. *Globigerina* sp. and *Marginotruncano* sp. fossils representing the Turonian-Santonian age b. *Radiolaria* sp. and sponge spicules representing deepening environment c. *Rotalipora* sp. and *Trocholina* sp. fossils representing the Lower Cretaceous and deepening marine environment



Şekil 7. Çalışma Alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (A-A' Apdullah Ahılı)

Figure 7. Generalized column section of the study area (A-A' Apdullah Ahılı)

PETROGRAFİK İNCELEMELER

Mollaresul formasyonunun arazi gözlemlerinden sonra hazne kaya özelliklerini araştırmak için araziden toplanan on dört adet kireçtaşı numunesinden ince kesitler oluşturularak petrografik incelemeler yapılmıştır. Örneklerin tane durumu, taneler arasındaki çimento durumu (Çizelge

1), dokusu, fosil tipleri ve bu fosil tiplerinin oranları belirlenerek Folk (1959) ve Dunham (1962)'ye göre kireçtaşı örnekleri (Çizelge 2, 3) sınıflandırılmıştır. Formasyonunun tabakalı olan kısımları hazne kaya özelliği taşır. Kireçtaşları çatlaklı olup, petrografik incelemeler çatlakların ikincil kalsit, demir (Fe) ve mangan (Mn) çimento dolgulu olduğunu göstermektedir.

Çizelge1. Mollaresul formasyonu kireçtaşı örneklerinin çimento tipi**Table 1.** Cement type of Mollaresul formation limestone samples

Örnek no	Çimento
1	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu
2	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu
3	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu
4	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu
5	Matriks biraz daha fazla, İkincil kalsit ve Fe dolgu
6	Matriks biraz daha fazla, İkincil kalsit ve Fe dolgu
7	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu
8	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu, Fe oranı fazla
9	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu
10	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu
11	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu
12	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu
13	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu
14	Tane destekli, İkincil kalsit ve Fe dolgu

Kireçtaşları Echinid, Alg, Brachiopod, Gastropod kavkıları, *Trocholina* sp., *Rotalipora* sp., *Radiolaria* sp., *Globigerina* sp., *Marginotruncano* sp., Sünger spikülü ve Foraminifer fosilleri içermektedir. Kireçtaşı örnekleri %60-80 oranında intraklast, %10 ooid,

%3-15 Foraminifer, %5 Brachiopod kavkı, %2-10 pizoid, %10-25 Echinid,, %15-20 *Trocholina* sp., %10-15 *Rotalipora* sp., %10-15 *Radiolaria* sp., %5 Alg, %5 Sünger spikülü, %2-5 Gastropod kavkı, %2-5 *Globigerina* sp. ve %2-5 *Marginotruncano* sp. içermektedir (Tablo 2).

Çizelge 2. Mollaresul formasyonu kireçtaşı örneklerinin fosil içeriği ve oranları

Table 2. Fossil content and proportions of Mollaresul formation limestone samples

Örnek no	Fosil Oranı	Fosil İçeriği	Tane Bileşimi (%)
1	%35	Echinid, Alg, Brachiopod kavkı, Foraminifer	İntraklast %60, Foraminifer %15, Brachiopod kavkı %5, Echinid %10, Alg %5, pizoid %5
2	%20	Echinid	İntraklast %70, Echinid %20, Ooid%10
3	%35	Echinid, Brachiopod kavkı, Gastropod, Foraminifer	İntraklast %65, Echinid %15, Gastropod %5, Brachiopod kavkı %5, Foraminifer %10
4	%25	Echinid	İntraklast-%75, Echinid-%25
5	%30	<i>Trocholina</i> sp., <i>Rotalipora</i> sp.	İntraklast-%70, <i>Trocholina</i> sp. %20, <i>Rotalipora</i> sp. %10
6	%30	<i>Trocholina</i> sp., <i>Rotalipora</i> sp.	İntraklast %70, <i>Trocholina</i> sp. %15, <i>Rotalipora</i> sp. %15
7	%30	<i>Radiolaria</i> sp., <i>Rotalipora</i> sp., Sünger spikülü,	İntraklast-%70, <i>Radiolaria</i> sp.%15, <i>Rotalipora</i> sp. %10, Sünger spikülü %5
8	%25	Echinid, Foraminifer, Gastropod	İntraklast %80, Foraminifer %5, Echinid %5, Gastropod %2, pizoid %2
9	%15	<i>Globigerina</i> sp., <i>Marginotruncano</i> sp., <i>Radiolaria</i> sp.	İntraklast %80, <i>Radiolaria</i> sp. %10, <i>Globigerina</i> sp., %5, <i>Marginotruncano</i> sp. %5
10	%15	Echinid, Foraminifer	İntraklast %85, Echinid-%9, Foraminifer %6
11	%20	Gastropod, Foraminifer	İntraklast %80, pizoid %10, Foraminifer %7, Gastropod %3
12	%15	Echinid, Foraminifer, Gastropod	İntraklast %85, Echinid-%10, Foraminifer %3, Gastropod %2
13	%15	Echinid, Foraminifer, Gastropod	İntraklast %85, Echinid %10, Foraminifer %3, Gastropod %2
14	%20	Foraminifer, Gastropod	İntraklast 80, Foraminifer %7, Gastropod %3, pizoid %10

Sparitik ve mikritik doku, bol çatlaklı ve ortalama %23 oranında fosil içeriğine sahip kireçtaşı örnekleri Folk (1959)'a göre kötü yıkanmış biyosparit, Dunham (1962)'a göre ise İstif taşı olarak tanımlanmaktadır. Mikrit dokulu

ortalama %26 fosil içeriğine sahip kireçtaşları Folk (1959)'a göre seyrek paketlenmiş biyomikrit, Dunham (1962) referans alındığında ise vake taşı olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 3. Dunham (1962) ve Folk (1959)'a göre Mollaresul formasyonunun karbonat kaya sınıflandırması**Table 3.** Carbonate rock classification of Mollaresul formation according to Dunham (1962) and Folk (1959)

Örnek no	Dokusu	Dunham (1962)	Folk (1959)
1	Sparitik ve mikritik doku, bol çatlaklı	İstif taşı	Kötü yıkanmış biyosparit
2	Sparitik ve mikritik doku, bol çatlaklı	İstif taşı	Kötü yıkanmış biyosparit
3	Sparitik ve mikritik doku, bol çatlaklı	İstif taşı	Kötü yıkanmış biyosparit
4	Sparitik ve mikritik doku, bol çatlaklı	İstif taşı	Kötü yıkanmış biyosparit
5	Mikritik doku, bol çatlaklı	Vake taşı	Seyrek paketlenmiş biyomikrit
6	Mikritik doku, bol çatlaklı	Vake taşı	Seyrek paketlenmiş biyomikrit
7	Mikritik doku, bol çatlaklı	Vake taşı	Seyrek paketlenmiş biyomikrit
8	Mikritik doku, bol çatlaklı	Vake taşı	Seyrek paketlenmiş biyomikrit
9	Fe oranı fazla, mikritik doku	Vake taşı	Seyrek paketlenmiş biyomikrit
10	Fe oranı fazla, sparitik ve mikritik doku	İstif taşı	Kötü yıkanmış biyosparit
11	Fe oranı fazla, sparitik ve mikritik doku	İstif taşı	Kötü yıkanmış biyosparit
12	Fe oranı fazla, sparitik ve mikritik doku	İstif taşı	Kötü yıkanmış biyosparit
13	Fe oranı fazla, sparitik ve mikritik doku	İstif taşı	Kötü yıkanmış biyosparit
14	Fe oranı fazla, sparitik ve mikritik doku	İstif taşı	Kötü yıkanmış biyosparit

GÖZENEKLİLİK- GEÇİRİMLİLİK ANALİZLERİ

Kireçtaşlarının gözeneklilik-geçirgenlik tayinlerine göre birimin gözeneklilik değerleri,

%30 ile %45 arasında, geçirgenlik değerleri ise 5,2 md ile 7,7 md arasında değişmektedir (Çizelge-4).

Kireçtaşı örneklerinin gözeneklilik ve geçirimlilik değerleri incelendiğinde 4 ve 3

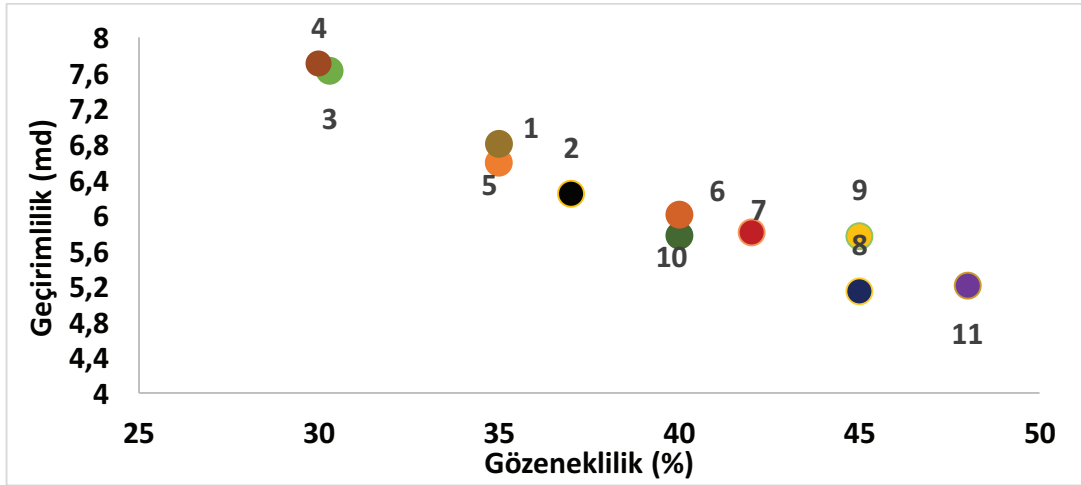
numaralı örneklerin geçirimlilik değerlerinin diğer örneklerle nazaran yüksek olduğu gözlenmektedir (Şekil 8).

Formasyonda yüksek gözeneklilik değerlerine karşın geçirimliliğin bu oranda yüksek olmaması geçirimliliği azaltıcı etmenler olduğunu gösterir ki bunlar, çatlakların ve tabakaların arasının ikincil kalsit (CaCO_3), demir (Fe) ve mangan (Mn) çimento ile dolmasıdır (Şekil 9).

Çizelge 4. Mollaresul Formasyonu'nun gözeneklilik ve geçirimsilik değerleri

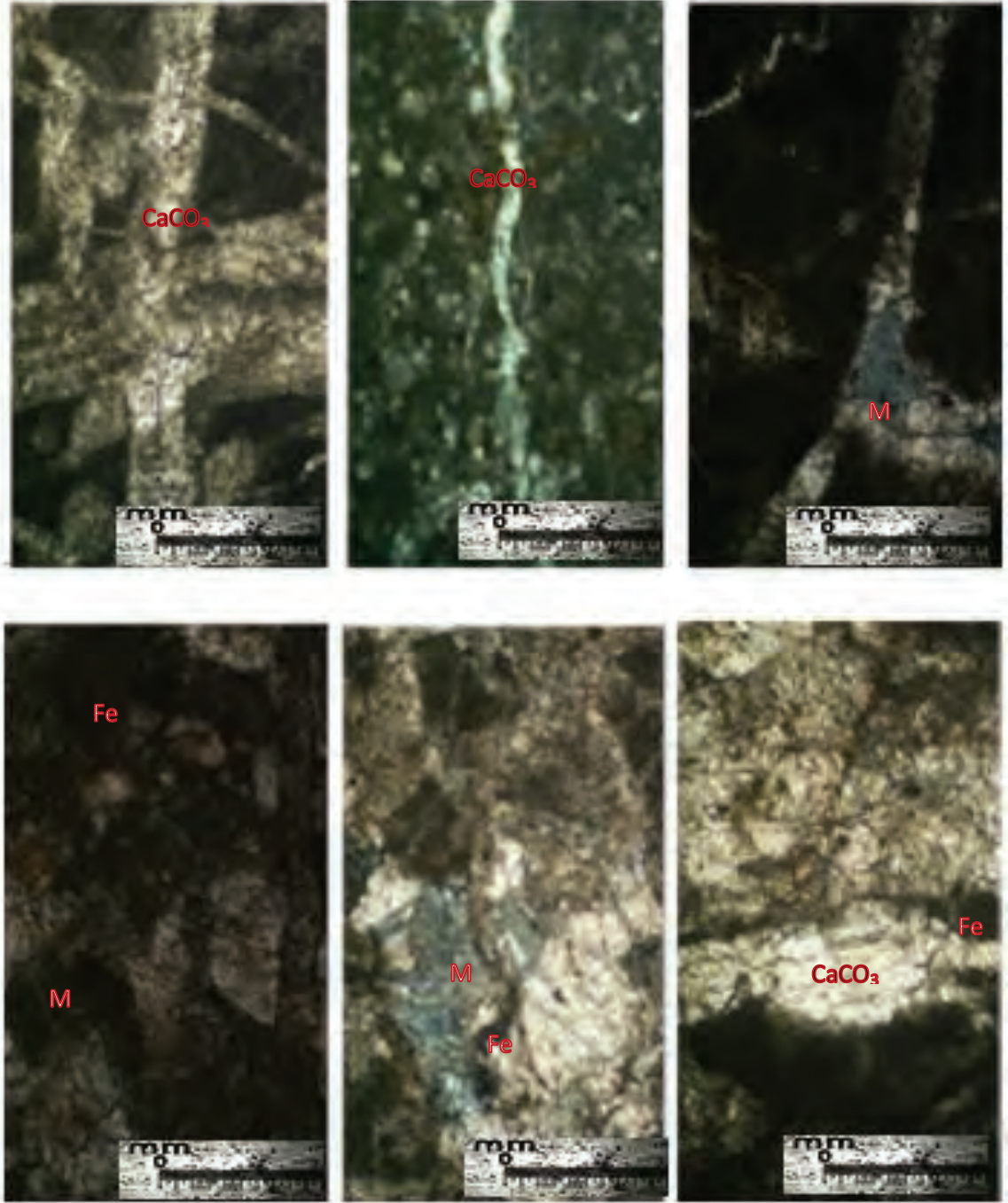
Table 4. The porosity and permeability values of Mollaresul formation

Örnek	Gözeneklilik %	Geçirimsilik(md)
1	35	6.59
2	37	6.24
3	30.3	7.62
4	30	7.7
5	35	6.6
6	40	5.77
7	42	5.8
8	45	5.14
9	45	5.76
10	40	5.8
11	48	5.2



Şekil 8. Mollaresul formasyonunun Gözeneklilik ve geçirimsilik değerleri

Figure 8. The relationship between porosity and permeability of Mollaresul formation



Şekil 9. Mollaresul kireçtaşı örneklerinde çatlaklar arası ikincil kalsit, Fe ve Mn çimento
Figure 9. Secondary calcite, Fe and Mn cement in between cracks of Mollaresul limestone samples

Genel olarak, Mollaresul formasyonunun gözeneklilik değerleri %30'dan yüksek geçirgenliği ise 5.2-7.7 arasındadır. Formasyonunun bol çatlaklı, erime boşluklu, tabakalı litolojiye sahip olması birimde yüksek gözenekliliğe neden olmuş ancak, çatlakların ikincil kalsit, Fe ve Mn çimento ile dolması geçirimsizlik değerlerinin düşük olmasına sebep olmuştur. Levenson (1967) değerlendirmesine göre Mollaresul Formasyonu orta derece hazne kaya özelliği göstermektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Jura-Üst Kretase yaşlı Mollaresul Formasyonu kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu kireçtaşları bazı yerlerde masif bazı yerlerde ise tabakalı özellik gösteren bol erime boşluklu, yer yer çört yumrulu ve mikritik olarak gözlenir. Hem masif hem de tabakalı olduğu yerlerde bol çatlaklı özelliktedir ve çatlaklar ikincil kalsit, Fe ve Mn çimento ile doludur.

Formasyonun Apdullah ahılı mevkiinde yeni yol üzerinde ortaya çıkan mostrasına göre, Haymana formasyonu ile dereceli geçişli dokanak yapması, formasyonun inceleme alanında otokton olduğunu göstermektedir.

Formasyondan alınan kireçtaşı örneklerinde yapılan petrografik incelemelere göre masif kireçtaşları, Folk, (1959) kireçtaşı sınıflamasına göre, kötü boylanmış biyosparit, Dunham (1962) kireçtaşı sınıflamasına göre de istif taşıdır. Tabakalı kireçtaşları ise Folk (1959)'a göre seyrek paketlenmiş biyomikrit, Dunham (1962)'ye göre vake taşıdır.

Kireçtaşlarının içerdiği *Globigerina* sp. ve *Marginotruncano* sp. fosilleri Turoniyen-Santoniyen yaş aralığını vermektedir. Formasyondaki *Radiolaria* sp. ve sünger spiküllerinin artması birimin, sığ denizel ortamdan daha derinleşen bir ortama doğru çökelinin olduğuna işaret etmektedir. Tabakalı

kireçtaşlarından alınan örneklerde bulunan *Marginotruncano* sp., *Radiolaria* sp. ve sünger spikülleri; tabakalı kireçtaşlarının derin deniz ortamında Üst Kretase'de oluştuğunu yansıtmaktadır.

Gözeneklilik-geçirimsizlik analizlerine göre birim %30 ile %45 arasında gözeneklilik, 5.2 ve 7.7 md arasında değişen geçirimsizlik değerlerine sahiptir. Formasyonun; tabakalı, bol çatlaklı ve erime boşluklu olması birimde iyi bir gözeneklilik oluşturmuştur. Ancak, gözenekliliği büyük ölçüde artıran formasyondaki kırık ve çatlakların ikincil kalsit, demirli (Fe) ve manganlı (Mn) çimento ile dolması nedeniyle geçirgenlik değerleri gözeneklilik kadar yüksek değildir. Sonuç olarak, arazi ve laboratuvar çalışmalarına göre Mollaresul formasyonu orta dereceli hazne kaya niteliği göstermektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma sırasında değerli bilgileri paylaşan ve beni yönlendiren Prof. Dr. Nurettin SONEL, arazi çalışması sırasında örneklerin alınmasına, taşınmasına yardım eden rahmetli annem ve babam Ayşe ve Cemil ÖZDEMİR'e, ODTÜ Petrol Mühendisliği'nde rezervuar analizlerine yardımcı olan Prof. Dr. Ali Suat BAĞCI ve Gürkan İŞCAN'a, fosil adlandırılmasında yardımcı olan Ercan BAYRAK, Prof. Dr. Vedia Toker'e ve Dr. Burcu TUNABOYLU'ya en derin sevgi ve saygılarımı sunarım.

EXTENDED SUMMARY

Reservoir quality is very important for oil research and production because the cost of oil exploration and evaluation is very high. Detailed information on reservoir quality is required to reduce costs. The aim of this study is to define petroleum reservoir rock quality of Mollaresul formation which is composed of the Jurassic- Lower Cretaceous aged limestones in the Haymana-Polatlı basin.

Standard field studies and laboratory analyzes were performed to determine the reservoir quality of the limestones, the reservoir quality of Mollaresul formation limestones was revealed by helping permeability-porosity analyzes and petrographic examinations.


The formation is composed entirely limestones. In some places, limestones are massive, micritic, cherty-nodular, and in some places, it consists karstic cavities in the massive units of the formation. . The limestones are filled with secondary calcite, Fe and Mn cement in cracked places. Haymana formation overlies Mollaresul formation as a cover in the study area.

According to the petrographic studies of the formation, massive limestones are poorly sorted biosparite according to Folk, (1959), limestones are called as stack stone classification with respect to Dunham (1962). However, the layered limestones are called as sparsely packed biomicrite with respect to Folk (1959).

Fossil contents of the formation represent that the stratified sections were deposited in the Upper Cretaceous in the deep-sea environment.

Field and laboratory studies show that the formation has a high degree of porosity. According to porosity-permeability analyzes, the porosity values of the formation are between 30% and 45%, and the permeability values are between 5.2 and 7.7 md. Layered, abundant cracked and karstic cavities of the formation formed a good porosity in the formation. Although fractures and cracks in the formation greatly increased porosity, secondary calcite, ferrous (Fe) and manganese (Mn) cement filling the fractures and cracks did not make the permeability as high as the porosity. In conclusion, according to the field and laboratory studies, Mollaresul formation shows a moderate reservoir rock quality.

ORCID

Ayfer Özdemir  <https://orcid.org/0000-0001-9523-6160>

DEĞİNİLEN BELGELER

- Acar, A., ve Sonel, N., 1998. Haymana formasyonunun (Tuz Gölü Havzası kuzeyi, Orta Anadolu) organik fasiyes ve jeokimyası. Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildiri Özleri Kitabı, 127-129.
- Acar, A., 1993. Haymana Formasyonunun (Tuz Gölü Havzası Kuzeyi) Organik Fasiyes ve Diyajenetik Özelliklerinin İncelenmesi. Ankara Üniv. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, 194 sayfa.
- Akarsu, İ., 1971. II. Bölge AR/TPAO/747 nolu sahanın terk raporu. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara 4s (yayımlanmamış).
- Arıkan, Y., 1975. Tuzgölü havzasının jeolojisi ve petrol imkanları. MTA Dergisi, 85, 17-38.
- Ayyıldız, T., ve Sonel, N., 2000. Kırkkavak ve Kartal formasyonları bitümlü seviyelerinin jeokimyasal değerlendirilmesi, Orta Anadolu, Türkiye. Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı-I, 229 - 243.
- Ayyıldız, T., and Ergene, Ş.K., 2016. Facies characteristics and reservoir properties of the Paleocene carbonates (Çaldağ Formation) in the Tuz Gölü Basin, Central Anatolia, Turkey. Journal of Petroleum Science and Engineering, 142, 186-198
- Aydemir, A., 2011. An integrated geophysical investigation of Haymana Basin and hydrocarbon prospective Kırkkavak Formation in Central Anatolia, Turkey. Petroleum Geoscience, 17, 91-100
- Capraru, C., 1991. Hydrocarbon trap types in the structural units of the Tuzgolü Basin, Ozan Sungurlu Sempozyumu, Proceedings, 156-173.
- Dellaloğlu, A.A., 1991. Ankara-Temelli-Haymana-Kulu-Kırıkkale arasındaki alanın jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Rap no:3006.
- Demirel, H., ve Şahbaz, A., 1994. Haymana-Paşadağ Aladağ havzalarının petrofasiyes ve provenans karakteristikleri ile petrol potansiyeli, 10. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, 5-19

- Derman, A.S., 1980. Tuzgolu doğu ve kuzeyinin jeolojisi. TPAO Raporu, No. 1512, 41s (yayımlanmamış).
- Dinçer, A., 1978. Haymana-Kulu yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Rapor no:1314, Ankara.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rock according to depositional texture. In: Classification of carbonate Rocks. W.G.Ham(ed.), Member of American Associated of Petro-leum Geologists., 1, 108-121.
- Erentöz, C., 1975. 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritası ve İzahnamesi. Ankara Paftası. MTA yay., Ankara.
- Erentöz, C., 1963. 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Ankara Paftası. MTA yay., Ankara.
- Folk, R.L., 1959. Practical petrographic classification of limestone. Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull., 43, 1-38.
- Folk, R.L., 1966. A review of grain-size parameters. Sedimentology, 6, 73-93.
- Gökçen, S.L., 1976. Haymana Güneyinin sedimantolojik incelenmesi (GB ANKARA). H.Ü., Doçentlik Tezi, 192s.
- Gökçen, S.L., 1977 a. Haymana (GB ANKARA) güneyindeki tortul istifin sedimenter petrolojik incelenmesi. MTA Dergi no:89, 99-117.
- Gönenç, O., 1978. Haymana-Polatlı havzasının batı kesiminin jeolojisi ve petrol olanakları. MTA rapor no:6396.
- Görür, N., 1981. Tuzgölü-Haymana Havzasının stratigrafik analizi. Anadolunun Jeolojisi Sempozyumu, TJK 35. Bilimsel ve Teknik Kurultay Bildiriler Kitabı, 60-65.
- Görür, N., ve Derman, A.S., 1978. Tuzgölü-Haymana Havzasının stratigrafik ve tektonik analizi. TPAO Raporu, No. 1514, 60s (yayımlanmamış).
- Loverson, A.I., 1967. Geologie of Petroleum. W.H. Free and Comp., San Fransisco, 703 pp.
- Norman, T., 1972. Ankara Yahşihan bölgesinde Üst Kretase-Alt Tersiyer istifinin stratigrafisi. TJK Bülteni, XV (2), 180-277.
- Oktay, F. Y., ve Dellalolu A. A., 1987. Tuz Gölü havzası (Orta Anadolu) stratigrafisi üzerine yeni görüşler. 7. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, 312-321.
- Okay, A.I., and Altiner, D., 2016. Carbonate sedimentation in an extensional active margin: Cretaceous history of the Haymana region, Pontides. International Journal of Earth Sciences, 105(7), 2013-2030
- Rigo de Righi, M., and Cortesini, A., 1960. Regional studies, Central Anatolian basin, Progres Report, I. Turkish Gulf Oil Co., 14s (yayımlanmamış).
- Roth, P.H., 1978. Cretaceous nannoplankton biostratigraphy and oceanography of the N. Western Atlantic Ocean (DSDP Leg 44). Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 44, 731-759.
- Sirel, E., 1975. Polatlı (GB Ankara) güneyinin stratigrafisi. TJK Bülteni, 18 (2), 181-192
- Sonel, N., Kulke, H., Sarı, A., Acar, A., Ayyıldız, T., Kadioğlu, Y., Özkul, M., Yıldız, A., Doğan, A.u., Habo, M., Paeghe, W. ve Doğan, M., 1996. Tuz Gölü Havzasının Jeolojisi ve Hidrokarbon Potansiyelinin Değerlendirilmesi Projesi Ara Raporu. TPAO rapor no:2452.
- Sonel, N., 2001. Petrol ve Yeraltı Jeolojisi kitabı. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, 312 s.
- Toker, V., 1979. Haymana yöresi (GB Ankara) Nannoplankton biyostratigrafisi. TJK Bült., 23, 165-177.
- Sengor, A.M.C. and Yilmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. Tectonophysics, 75: 181-241.
- Toker, V., 1979a. Haymana ve Kavaklı formasyonları Üst Kretase planktonik foraminifer ve nannoplanktonlar. TÜBTAK Araştırma Kurulu VI. Bilim Kongresi Bildiriler Kitabı, 57-70.
- Toker, V., 1979b. Haymana yöresi Üst Kretase planktonik foraminiferleri ve biyostratigrafi incelemesi. TJK Bülteni, 22, 12-132.
- Turgut, S., 1978. Tuzgölü Havzasının stratigrafik ve çökelse gelişmesi. Türkiye 4. Petrol Kongresi Bildirileri, 115-126
- Turkish Gulf Oil Company, 1961. Orta Anadolu da Tuz Gölü Baseninin bölgesel jeolojisi ve yapılan petrol aramalar. Petrol faaliyeti 6, Ankara, 31-34.
- Uğurtaş, G., 1975. Geophysical interpretation of part of the Tuzgolu basin. MTA Bülteni, 38-44.

- Ünalın, G., Yüksel, V., Tekeli, T., Gönenç, O., Seyirt, Z., ve Hüseyin, S., 1985. Haymana-Polatlı havzasının jeolojisi ve prospeksiyon raporu. MTA Derleme no: 7665.
- Ünalın, G., ve Yüksel, V., 1985. Haymana-Polatlı havzasının jeolojisi ve petrol olanaklar. MTA Raporu, No. 7665, 59s (yayımlanmamış).
- Ünalın, G., Yüksel, V., Tekeli, T., Gönen, O., Seyirt, Z., ve Hüseyin, S., 1976. Haymana-Polatlı yöresinin (GB Ankara) Üst Kretase-Alt Tersiyer stratigrafisi ve paleocografik evrimi. TJK Bülteni, 19, 159-176
- Üşenmez, Ş., 1996. Karbonat Kayaçların Sınıflandırılması. Yozgat Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yozgat, 435 s.
- Yüksel, S., 1970. Etude geologique de la region de Haymana (Turquie Centrale) These. Faculte des Sciences de Lunversite de Nancy, France, 77p.
- Yüksel, S., 1973. Haymana yöresi tortul dizisinin düşey yönde gelişimi ve yanıl fasiyes dağılımı. MTA Dergisi, 80, 50-53.
- Yüksel, V., 1978. Haymana-Polatlı havzasının Jeolojisi ve Petrol Olanakları. MTA rapor no:7665.



TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ YAZIM KURALLARI

Yazıların Hazırlanması

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ'nin yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Türkçe makalelerde "Extended Summary", İngilizce makalelerde ise "Genişletilmiş Özet" verilmelidir. Yazarların ana dillerinin Türkçe olmaması durumunda, yazıların başlığı ve özeti ile çizelge ve şekillerin başlıkları Editörlükçe Türkçe'ye çevrilir. Ana dili İngilizce olmayan yazarlara, yazılarını Editörlüğe göndermeden önce, gramer ve üslup açısından, ana dili İngilizce olan bir kişiden katkı almaları özellikle önerilir. Hazırlanan makaleler orijinal ve daha önce basılmamış araştırma, yorum ya da her ikisine ait sentezi içermeli, veya teknik not niteliğinde olmalıdır. Yazının gönderilmesi, daha önce basılmamış veya başka bir yerde incelemede olmadığı gösterir.

Makale Sunum Süreci ve Etik Bildirimi

Tüm makaleler internet üzerinden <http://tjb.jmo.org.tr> adresindeki JMO dergileri için hazırlanmış çevrimiçi sistem aracılığıyla Türkiye Jeoloji Bülteni'ne elektronik ortamda gönderilmelidir. Bunun için önce OMYS sistemine üye olmalısınız. Türkiye Jeoloji Bülteni yazarlardan sayfa ücreti talep etmemektedir. Dergiye sunulan makaleler, daha önce yayınlanmadığı ve başka yerde yayınlanmak üzere gönderilmediği varsayılarak değerlendirme için kabul edilir. Yazarlar, makalenin ana içeriğinin daha önce yayınlanmadığını ve başka bir dergide yayınlanmak üzere gönderilmediğini onaylamalıdır. <http://dergipark.gov.tr/tjb> veya www.jmo.org.tr adresinde bulunan telif hakkı devir formu, tüm yazarlar adına ilgili yazar tarafından imzalanmalı ve makale dosyalarıyla birlikte gönderilmelidir. Bir makale sunulduktan sonra, başka yazar eklenmesi veya çıkarılması veya yazarların değiştirilmesi mümkün değildir. Makaleler, yazım kurallarına uymuyorsa ya da dergi kapsamı dışındaysa, dergi editörü tarafından hakem değerlendirmesi yapılmaksızın reddedilebilir. Bir makale yayın için kabul edildikten sonra, diğer bir deyişle, hakem tarafından önerilen düzeltmeler tamamlandıktan ve editör tarafından kabul edildikten sonra, yazara makalede değişiklik yapma izni verilmez. Makale yayınlanmadan önce, yazarlara düzeltmeler için prova baskı gönderilir. Başkasının fikir veya sözcüklerinin orijinal biçiminde kullanılması veya uygun bir atıf yapılmaksızın değiştirilmesi, intihal olarak kabul edilir ve tolere edilemez.

Yazılar aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır.

- Başlık (Türkçe ve İngilizce)
- Yazar Adları (koyu ve baş harfleri büyük harfle) ve adresleri (italik ve küçük harfle) ile başvurulacak yazarın E-posta adresi
- Öz (Türkçe ve İngilizce)
- Anahtar Kelimeler (Türkçe ve İngilizce)
- Giriş (amaç, kapsam ve yöntem)
- Ana metin (kullanılan yöntemler, çalışılan malzemeler, tanımlamalar, analizler vd.)

- (g) Tartışma ve Sonuçlar veya Tartışma Önerileri
- (h) Extended Summary / Genişletilmiş Özet
- (i) Katkı Belirtme
- (j) Kaynaklar
- (k) Çizelgeler
- (l) Şekiller Dizini
- (m) Şekiller
- (n) Levhalar (var ise)

Metinde kullanılan değişik türde başlıklar farklı şekillerde ve tüm başlıklar sayfanın sol kenarında verilmelidir. Ana başlıklar büyük harflerle ve koyu yazılmalıdır. İkinci derece başlıklar alt başlık olarak değerlendirilmeli ve birinci ve ikinci derece alt başlıklar küçük harfle (birinci derece alt başlıklarda her kelimenin ilk harfi büyük) ve koyu, üçüncü derece alt başlıklar ise italik olmalıdır. Başlıkların önüne numara veya harf konulmamalıdır. Yazılar (öz, metin, katkı belirtme, kaynaklar, ekler ve şekiller dizini) A4 (29.7 cmX21 cm) boyutundaki sayfaların bir yüzüne, kenarlardan en az 2.5 cm boşluk bırakılarak, 1.5 cm aralıkla ve 12 puntuyla (Times New Roman) yazılmalı, ayrıca tüm sayfalara numara verilmelidir.

Başlıklar şu şekilde olmalıdır:

ÖZ

ABSTRACT

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

İkinci derece alt başlık

Üçüncü derece alt başlık

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

KATKI BELİRTME

KAYNAKLAR

Kapak Sayfası

Yazıdan ayrı olarak sunulacak kapak sayfasında aşağıdaki bilgiler yer almalıdır:

- a. Yazının başlığı
- b. Yazar(lar)ın ad(lar)ı (ad ve soyadı kısaltılmadan)
- c. Tüm yazarların açık posta ve e-mail adresleri (Başvurulacak Yazar belirtilerek). Başvurulacak yazarın telefon numarası da ayrıca belirtilmelidir.

Başlık ve Yazarlar

Yazının başlığı, çalışmanın içeriğini anlaşılır şekilde yansıtmalıdır. Eğer yazı Türkçe hazırlanmışsa, Türkçe başlığı (koyu ve kelimelerin ilk harfleri büyük harf olacak şekilde) İngilizce başlık (italik ve kelimelerin ilk harfleri büyük olacak şekilde) izlemelidir. İngilizce hazırlanmış yazılarda ise, İngilizce başlık Türkçe başlıktan önce ve yukarıda belirtilen yazım kurallarına göre verilmelidir. Makaledeki yazarlar orcid.org web adresinden edinecekleri Orcid kimliklerini makale ile birlikte sunmalıdır.

Yazarlara ilişkin bilgi ise aşağıdaki örneklere uygun olarak verilmelidir.

Ahmet Ahmetoğlu

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği
Bölümü, Tandoğan 06100 Ankara

A. Hüsnu Hüsnuoğlu

MTA Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etütler Dairesi, 06520 Ankara
(e-posta:husnu56@mta.gov.tr)

ÖZ

Çalışma hakkında bilgi verici bir içerikle (çalışmanın amacı, elde edilen başlıca sonuçlar) ve 300 kelimeyi aşmayacak şekilde hazırlanmalıdır. Özde kaynaklara atıfta bulunulmamalıdır. Özler hem Türkçe, hem, İngilizce olarak verilmelidir. Türkçe hazırlanmış yazılarda Özden sonra “Abstract” (İtalik) yer almalı, İngilizce yazılarda ise italik yazılmış Türkçe Öz Abstract’ı izlemelidir.

Anahtar Kelimeler

Öz ve Abstract’ın altında en az 2-7 kelimeyi aşmayacak şekilde ve yazının konusun yansıtan anahtar kelimeler Türkçe ve İngilizce olarak verilmelidir. Anahtar kelimeler, alfabetik sırayla küçük harfle (ilk anahtar kelimenin ilk harfi büyük) yazılmalı ve aralarına virgül konmalıdır. Teknik Not ve Tartışma türü yazılarda anahtar kelimelerin verilmesine gerek yoktur.

EXTENDED SUMMARY/GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Genişletilmiş özet 2500 kelimeyi geçmemelidir. Ancak makalenin öz/abstract kısmından daha geniş hacimli olmalıdır. Genişletilmiş özet kısmında yeni bir şekil ve çizelge verilmemelidir. Ancak makalede kullanılan şekil ve çizelgelere bu kısımda atıf yapılabilir. Aynı şekilde, makale içinde atıf yapılan kaynaklara da gerektiğinde bu kısımda atıf yapılmalıdır.

KATKI BELİRTME

Katkı belirtme, kısa olmalı ve teşekkür edilecek olanlar çalışmaya en önemli katkıyı sağlayan kişilerin ve/veya kuruluşların adlarıyla sınırlandırılmalıdır. Teşekkür edilecek kişilerin açık adları unvanları belirtilmeksizin verilmeli, ayrıca bu kişilerin görevli oldukları kurum ve kuruluşların adları da eklenmelidir.

DEĞİNİLECEK BELGELER

Aşağıdaki örnekler ile kesinlikle uyumlu olmalıdır.

(a) Süreli yayımlar:

Hoek, E. Ve David, M., 1990. Estimating Mohr – Coulomb friction and cohesion values from Hoek – Brown failure criterion. International Journal of Rock Mechanics, 27 (3) 220-229.

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin başlığı. Süreli yayının adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), sayfa no.

(b) Bildiriler:

Ünal, E., Özkan, İ. Ve Ulusay, R., 1992. Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. ISRM Symposium: Eurock’92 – Rock Characterization, Chester, UK., 14-17 September 1992, J. A. Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 330-335.

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Adı, Editör(ler) varsa, Basımevi, Cilt/Sayı No. (birden fazla ciltten oluşuyorsa) Düzenlendiği Yerin Adı, sayfa no.

(c) Kitaplar:

Goodman, R.E., 1998. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley and Sons, New York, 562 s.

Ketin, İ. Ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı 869, 520 s.

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın adı (ilk harfleri Büyük) yayımevi, Basıldığı Şehrin Adı, sayfa sayısı.

(d) Raporlar ve Tezler:

Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeoloji rezerv ön raporu. MTA Derleme No: 6234, 17 s. (yayımlanmamış)

Sönmez, H., 1996. TKİ. ELİ Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 99 s (yayımlanmamış).

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun veya tezin başlığı. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı, Arşiv No. (varsa) sayfa sayısı (yayımlanıp yayımlanmadığı)

(e) Kişisel Görüşme:

Sözbilir, H., 2005. Personal communication. Geological Engineering Departmen of Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey.

(f) İnternette İndirilen Bilgiler:

ERD (Earthquake Research Department of Turkey), 2005. <http://www.gov.tr> 3 April 2005.

Kurumun adı, Tarih. Web adresi, web adresine girildiği tarih.

Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır.

Eşitlikler ve Formüller:

Matematiksel semboller ve formüller el yazısıyla yazılmamalıdır. Eşitlik numaraları eşitliğin hizasında ve sağ kenarına dayandırılarak birbirini izleyen bir sırayla parantez içinde, ayrıca eşitliklerdeki sembollerin anlamı makalede ilk kez kullanıldıkları eşitliğin altında verilmelidir.

Burada; makaslama dayanımı, c kohezyon, normal gerilme ve içsel sürtünme açısıdır". Eşitliklerde kullanılan alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterle yazılmalıdır (örneğin; Id, x2). Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır (örneğin; c_{mass}=s0.5). Çarpım işlemini göstermek için herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak gerekli durumlarda "*" işareti tercih edilmelidir (örneğin; y=5*10-3). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" işareti kullanılmalıdır. Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca⁺⁺ ve CO₃—yerine Ca²⁺ ve CO₃²⁻ tercih edilmelidir. Metinde eşitliklere "eşitlik (1)" şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Gerekiyorsa, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.

Çizelgeler

Çizelgeler, başlıklarıyla birlikte, Dergi'nin sayfalarındaki baskı alanını (15.8 x 22.5) aşmayacak şekilde hazırlanmalı ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısımlarında hem Türkçe, hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır (Çizelge başlıkları ayrı bir sayfada liste halinde verilmemelidir.). Makalenin Türkçe yazılması halinde İngilizce başlık italik harflerle Türkçe başlığın altında yer almalı,

İngilizce makalelerde ise, italik yazılmış Türkçe başlık İngilizce başlıktan sonra verilmelidir. Çizelgeler, “Çizelge 1” vb. şeklinde sunulmalıdır. Metinde çizelgelere Çizelge 1 veya Çizelge 1 ve 2 (eğer birden fazla sayıda çizelgeye atıfta bulunulacaksa) şeklinde değinilmelidir. Çizelgeler, metinde kullanılan karakterlerden daha küçük (10 veya 11 punto) karakterle yazılmalı ve Dergi'nin tek (7.3 cm-Genişlik) veya çift (15.8 cm-Genişlik) kolonuna sığacak şekilde düzenlenmelidir. Çizelgelerde düşey çizgiler kullanılmamalı, yatay çizgiler ise sadece çizelgenin alt ve üstünde, ayrıca çizelgedeki başlıklar ile bunların altında listelenen rakamları ayırmak için kullanılmalıdır (Bunun için Dergi'nin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Her çizelge ayrı sayfalara bastırılarak metnin sonunda (Kaynaklar dizininden sonra) sunulmalıdır. Çizelgelerdeki kısaltma ve simgeler daha küçük karakterlerle çizelgenin altında verilmelidir (örneğin: c:tek eksenli sıkışma dayanımı vd.).

Şekiller

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller yüksek kalitede basılmış olarak “Şekil” başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekil numaraları sayfanın sağ üst köşesine yazılmalı, ayrıca şekiller küçültülüp büyütülebilecek halde sunulmalıdır. Şekil açıklamaları; şekillerin altına yazılmamalı ve ayrı bir sayfaya yazılarak “Şekiller Dizini” başlığıyla verilmeli, ayrıca “Şekil 1” olarak başlamalıdır. Çizelgeler için yukarıda belirtilen yazım kurallarına benzer şekilde, şekil başlıkları hem Türkçe, hem de İngilizce hazırlanmalıdır. Ayrı sayfalara bastırılmış olan şekiller, çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15.8 cm (Genişlik) x 22.5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin Dergi'nin tek veya çift kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması ve mümkünse daha çok tek kolona göre tasarlanması önerilir. Özellikle haritalar, arazi ile ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25000 vb.) yerine, metrik sisteme uygun çubuk ölçekle verilmelidir. Tüm haritalarda kuzey yönü gösterilmelidir. Bölgesel haritalarda, uygun olduğu takdirde, ulusal grid veya enlem/boylam değerleri verilmelidir. Harita açıklamaları, şekil başlığıyla birlikte değil, şeklin üzerinde yer almalıdır. Fotoğraflar, çizimler veya bunların birlikteliğinden oluşan şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Bu tür sunumlarda (örneğin; Şekil 5a ve 5b) a,b,c vb. gibi tek bir şekle ait çizimler veya fotoğraflar, ayrı sayfalarda basılması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır. Şekillerde açık gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen grafiklerde bu hususa dikkat edilmelidir. Gölgeleme belirgin, fotoğraflar siyah-beyaz ve iyi bir kontrasta sahip olmalıdır. Tüm şekiller, Şekil 1 veya Şekil 1 ve 2 (birden fazla şekle değiniliyorsa) gibi ve metinde anıldıkları sırayla numaralandırılmalıdır. Bir dizi fosil fotoğraflarını içeren şekiller levha olarak değerlendirilmelidir. Levha sayısı mümkün olduğunca az tutulmalıdır. Levhalara ilişkin açıklamalar, hem Türkçe hem de İngilizce olarak aynı sayfada verilmelidir.

MAKALELERİN EDİTÖRLÜĞE GÖNDERİLMESİ

Makaleler yazım kurallarına uygun şekilde hazırlandıktan sonra tjb.jmo.org.tr veya DergiPark Akademik (dergipark.gov.tr/tjb) adresi üzerinden elektronik olarak sisteme yüklenmelidir.

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ EDİTÖRÜ

Prof. Dr. Erdinç YİĞİTBAŞ

Tel: 0286 218 00 18/2130

e-posta: eyigitbas@comu.edu.tr

YAYIMA KABUL EDİLEN MAKALELERİN SUNUMU

Yazarlar, makalelerinin yayıma kabulü halinde, makalenin düzeltilmiş son kopyasını orijinal çıktısıyla birlikte CD'ye de kopyalayarak (metin, çizelgeler ve tablolar) Editör'e göndermelidir. Levhalar iyi kalitede basılmış olarak gönderilmelidir. Metin, çizelgeler ve şekiller elektronik ortamda (internet aracılığıyla) gönderilmemelidir. Makaleler WORD ile hazırlanmalıdır. Diskin üzerinde yazarların adları, kullanılan yazım programının adı ve versiyonu, makalenin başlığı ve dosyanın adı belirtilmelidir. Levhalar hariç, tüm şekiller Corel Draw ile hazırlanmalıdır. Bununla birlikte, şekillerin 300 DPI'den az olmamak koşuluyla JPG dosyaları da gönderilmelidir.

PROVA BASKILAR

Makalelerin prova baskıları, dizgi ve yazım hatalarının olup olmadığının kontrolü için Başvurulacak Yazar'a gönderilir. Prova baskılarda yapılacak düzeltmeler yazım hataları ile sınırlı olup, yazarların makaleyi kabul edilmiş son halinden farklı duruma getirebilecek değişiklikler ve düzeltmeler yapması kabul edilemez. Prova baskılar, yazarlar tarafından alındıktan sonra en geç üç gün içinde editöre gönderilmelidir. Gecikmeli olarak yapılacak düzeltmelerin baskıya verilmesi garanti edilemeyeceği için, yazarların prova baskıları göndermeden çok dikkatli şekilde kontrol etmeleri önerilir.

AYRI BASKILAR

Makalenin onbeş ayrı baskısı, makalenin basıldığı sayı ile birlikte ücretsiz olarak Başvurulacak Yazar'a gönderilir. İlave ayrı baskı talep edilmemelidir.

TELİF HAKLARI

Yazar veya (Başvurulacak Yazar (birden fazla yazarlı makalelerde), kendisi ve diğer yazarlar adına "Telif Hakkı Devir Formu"nu makalenin baskıya verilmesinden önce imzalamalıdır. Bu sözleşme, Jeoloji Mühendisleri Odası'na yazarlar adına telif hakkı alınmış yayınlarını koruma olanağı sağlamakla birlikte, yazarların makalenin sahibi olma haklarından vazgeçtiği anlamına gelmemektedir. Telif Hakkı Devir Formu, en kısa sürede Editör'e gönderilmelidir. Bu form Editör'e ulaştırılıncaya değin, makale yayına kabul edilmiş olsa bile, baskıya gönderilmez.



GEOLOGICAL BULLETIN OF TURKEY INSTRUCTIONS FOR CONTRIBUTORS

Preparation of Manuscripts

The language of the GEOLOGICAL BULLETIN OF TURKEY is both Turkish and English. For manuscripts submitted in English ‘‘Genişletilmiş Özet’’, for manuscripts submitted in Turkish ‘‘Extended Summary’’ should be given. If the author(s) are residents of a non-Turkish speaking country, titles, abstracts and captions of figures and tables are translated into Turkish by the Editors. It is strongly recommended that authors whose native language is not English, should ask a person whose native language is English to check the grammar and style of manuscript before submission. Paper should be original and comprise previously unpublished research, interpretations, or synthesis of two, or technical notes. Submission implies that the manuscript is not currently under consideration for publication elsewhere.

Submission Process and Ethical Statement

All manuscripts must be submitted electronically via the Internet to the Geological Bulletin of Turkey through the online system for JMO journals at <http://tjb.jmo.org.tr>. There are no page charges. Papers are accepted for publication on the understanding that they have not been published and are not going to be considered for publication elsewhere. Authors should certify that neither the manuscript nor its main contents have already been published or submitted for publication in another journal. The copyright release form, which can be found at <http://dergipark.gov.tr/tjb>, or www.jmo.org.tr must be signed by the corresponding author on behalf of all authors and must accompany all papers submitted. After a manuscript has been submitted, it is not possible for authors to be added or removed or for the order of authors to be changed. Manuscripts may be rejected without peer review by the editor-in-chief if they do not comply with the instructions for authors or if they are beyond the scope of the journal. After a manuscript has been accepted for publication, i.e. after referee-recommended revisions are complete, the author will not be permitted to make changes that constitute departures from the manuscript that was accepted by the editor. Before publication, the galley proofs are always sent to the authors for corrections. The use of someone else’s ideas or words in their original form or changed without a proper citation is considered plagiarism and will not be tolerated.

Manuscripts should generally be structured as follows:

- (a) Title (English and Turkish)
- (b) Names of authors (bold and in capital), their affiliations (italic and lower-case) and the name and e-mail address of the corresponding author.
- (c) Abstract (English and Turkish)
- (d) Key words (English and Turkish)
- (e) Introduction (aim, content and methodology)

- (f) Main text (methods, material studied, descriptions, analyses etc.)
- (g) Results and Discussion or Conclusions and Recommendations
- (h) Extended Summary / Genişletilmiş Özet
- (i) Acknowledgements (if necessary)
- (j) References
- (k) Tables
- (l) List of figure captions
- (m) Figures
- (n) Plates (if any)

The various levels of headings used in the manuscript should be clearly differentiated. All headings should be in left-aligned. Major headings should be bold capitals. Secondary headings should be considered as sub-headings. Primary- and secondary-subheadings should be given in lower-case and tertiary headings in italics. Headings should not be preceded by numerals or letters. Manuscripts (abstract, main text, acknowledgements, references, appendices and figure captions) should be typed on one side of the paper (A4 size: 29.7 cm x 21 cm) with wide margins (at least 2.5 cm) and 1.5 line-spaced throughout, at a font size of 12 point (Times New Roman) and with all pages numbered.

Examples for headings:

ABSTRACT
INTRODUCTION
PRIMARY HEADING
Primary Sub-Heading
Secondary Sub-Heading
Tertiary Sub-Heading
CONCLUSIONS
EXTENDED SUMMARY
ACKNOWLEDGEMENTS
REFERENCES

Cover Page

A cover page, separate from the main manuscript, must include the followings:

- a. Title of the paper
- b. Name(s) of author(s) (full forenames should be given)
- c. Full postal and e-mail addresses of all authors (the corresponding author should be indicated).
Phone number for the corresponding author should also be provided.

Title and Authors

The title of the paper should unambiguously reflect its content. If the paper is written in Turkish, the Turkish title (in bold-face type and first letter of the words capital) should be followed by the English title (italic and first letter of the words capital). If the paper is in English, the English title should appear before the Turkish title in the style mentioned above. Authors should provide their Orcid ID which can be obtained from orcid.org website.

The information related with authors should be given as follow:

Ahmet Ahmetoğlu	Ankara University, Engineering Faculty, Geological Engineering Department Tandoğan 06100 Ankara
A.Hüsnü Hüsnüoğlu	MTA Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüdler Dairesi, 06520 Ankara (e-posta: husnu56@mta.gov.tr)

Abstract

The abstract not exceeding 300 words should be informative (aim of the study and main conclusive remarks). It should not contain references. The Abstract should be given in both Turkish and English. If the paper is written in Turkish, an English abstract (in italics) should follow the Turkish abstract, while a Turkish abstract (in italics) should appear after the English abstract in papers written in English.

Keywords

The abstract should include minimum 2, and not more than 7 key words which reflect the entries the authors would like to see in an index. Key words should be given in both Turkish and English. Key words should be written in lower-case letters, separated by commas, and given in alphabetical order. For Technical Notes and Discussions, key words should not be provided.

EXTENDED SUMMARY / GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

The extended abstract should not exceed 2500 words. But it must be more bulky than abstract. The new figure or table should not be given. But reference can be given to figures and tables present in main text.

ACKNOWLEDGEMENTS

Acknowledgements should be brief and confined to persons and organizations that have made significant contributions. Please use full names without titles and indicate name(s) of the organization(s) of the person(s) acknowledged.

REFERENCES

All references cited in the text, and in captions of figures and tables should be presented in a list of references under a heading of "REFERENCES" following the text of the manuscript.

Examples of layout of references

(a) Journals:

Hoek, E. and David, M., 1990. Estimating Mohr-Coulomb friction and cohesion values from Hoek-Brown failure criterion. *International Journal of Rock Mechanics*, 27(3), 220-229.
Author(s), Date. Title of paper. Full Name of Journal, Vol.(No), pages.

(b) Proceedings and Abstracts:

Ünal, E., Özkan, İ. ve Ulusay, R., 1992. Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. *ISRM Symposium: Eurock'92-Rock Characterization*, Chester, U.K., 14-17 September 1992, J.A.Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 330-335.
Author(s), Date. Title of paper. Title of Symposium or Congress, Name of Editor(s), Name and Location of Publisher, Vol. (if any), pages

(c) Books:

Goodman, R.E., 1988. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley and Sons, New York.
Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:849.
Author(s), Date. Name of Book. Name and Location of Publisher

(d) Unpublished Reports and Thesis:

Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeoloji ve rezerv ön raporu. MTA Derleme No:6234. (yayınlanmamış). [Author(s), Date. Title of report. Name of Organization, Report No., Name of City (unpublished).]
Sönmez, H., 1996. T.K.İ.-E.L.İ. Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 99 s (yayınlanmamış).
Author, Date. Title of thesis. Type of Thesis (MSc or PhD), Name of University or Institution, City, Country (unpublished).

(e) Personal Communications:

Sözbilir, H., 2005. Personal communication. Geological Engineering Department of Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey.

(f) Information Downloaded from the Internet

ERD (Earthquake Research Department of Turkey), 2005. <http://www.gov.tr>, 3 April 2005.
[Name of the Organization, Date. Web address, date of access to website.]
Turkish references can also be given directly in Turkish. For such references please use Turkish characters.

Mathematical Expressions

Mathematical symbols and formulae should be typed. Equation numbers should appear in parentheses at the right-hand side of the equations and be numbered consecutively. For Greek or other non-Roman letters, identify the symbol in words in the left-hand margin just below the equation the first time it is used. In addition, the meaning of symbols used in equations should be given below the equations. "Where is the shear strength, c is cohesion, σ is normal stress and, ϕ is internal friction angle." Subscripts and superscripts should be given clearly and written in smaller character (e.g. I_d , x_2). Instead of square-root symbol, an indice of 0.5 should be used (e.g. $y=5x^{0.5}$). For the of multiplication sign do not use any symbol, however if necessary, the symbol "*" can be preferred (e.g. $y=5*10^{-3}$). Please use "/" for division instead of a horizontal line between numerator and denominator. In the expression of chemical reactions, ions should be given as Ca^{2+} and CO_3^{2-} (Ca^{++} and CO_3^{--}). In the text, equations should be referred to as equation(1). Computer program listings, if appropriate, must be very clear in an Appendix.

Tables

Tables with their titles should not exceed the printed area of the page (15.8 cm (wide) x 22.5 cm (deep)) and be numbered consecutively. Both Turkish and English titles should appear at the top of a table (do not print table captions on a separate sheet). If the manuscript is written in Turkish, English title in italics should follow the Turkish title. For manuscripts in English, a Turkish title should appear below the English title in italics. They should begin "Table 1." etc. Tables should be referred to as Table 1 or Tables 1 and 2 (if more than one table is referred to). Tables can be written in a font size smaller than that of the text (10 or 11 point). Tables should be arranged to fit single column (7.3 cm wide) or double column (15.8 cm wide). No vertical rules should be used. Horizontal rules should only be used at the top and bottom of the tables, and to separate headings and numbers listed in the tables (Please check the previous issues of the Journal). Tables should not duplicate results presented elsewhere in manuscript (e.g. in graphs). Each table should be separately printed and appear after the text (after references). All abbreviations and symbols must be identified with smaller character underneath the tables (e.g. c: uniaxial compressive strength, etc).

Illustrations

All illustrations, whether diagrams, charts and photographs, should be of high quality, referred to as "Figures" and be numbered consecutively as they appear in the text. They must be originals. The number of the figure should be given at top on the right-hand side of the paper. Illustrations should be provided in camera-ready form, suitable for reproduction (which may include reduction) without retouching. Figure captions should be supplied on a separate sheet and should begin "Figure 1." etc. As with the rules given for tables, figure captions should also be given both in Turkish and English. All illustrations should be given with a list of figure captions. The maximum printed size of illustrations is 15.8 cm (wide) x 22.5 cm (deep) together with figure captions. It is recommended that all illustrations should be designed with the Journal's single-column or two-column layout in mind, and where possible, illustrations should be designed for a single column. Illustrations, particularly maps, field sketches and photographs should have a metric bar scale rather than magnification factors. All maps should have a north mark. Regional maps may include National Grid or latitude/longitude number where appropriate. Map keys should be given on the figure, not in the figure caption.

Photographs, line drawings, or combinations may be grouped as figure parts (a), (b), etc. It is preferred that these are mounted. Letters or numerals should not be less than 1 mm after reduction. Avoid fine shading and tones, particularly from computer graphics packages. Shading should be distinct. Photographs must be black and white and sharp, and exhibit good contrast.

All illustrations must be numbered in the order in which they are referred to and discussed in the text as Figure 1 or Figure 1 and 2 (if more than one figures is referred to). Illustrations consisting of a set of fossil photographs should be given as "Plates" and mounted in the desired layout. The number of plates should be kept to a minimum. Explanations of plates should be given in both Turkish and English on the same page.

SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Papers should be submitted electronically through web site tjb.jmo.org.tr or DergiPark Academics (dergipark.gov.tr/tjb)

EDITOR

Prof. Dr. Erdinç YİĞİTBAŞ

Phone : 0286 218 00 18/2130

e-mail : eyigitbas@comu.edu.tr

SUBMITTING ARTICLES ADMITTED TO PUBLICATION

In cases where authors' articles are admitted to publication, authors should copy on CD and send revised final copies of their articles including original printouts (texts, charts and tables) to Editor. Sheets should be printed of high quality. Texts, charts and illustrations should not be sent electronically (via internet). Articles should be issued in WORD. Authors' names, name and version of software program used, title of article and file name should be indicated on disk. All images, except for sheets, should be issued in Corel Draw. Besides, images should be sent in JPG format files provided to be not less than 300 DPI.

PROOFING

Proofing of articles are sent to Reference Author to check for typographical errors and misspelling. Revisions in proofing are limited to misspelling and any amendments and revisions by authors that may alter article in a way different than its final version are not acceptable. Proofing should be sent to editor within at latest three days after receipt by authors. Delayed revisions cannot be guaranteed for printing and therefore, authors are strictly recommended to precisely inspect proofing prior to sending.

REPRINTS

Fifteen reprints and a copy of the issue are supplied free of charge. They are sent to the corresponding author. Additional reprints must not be ordered.

COPYRIGHT

The author or corresponding author on behalf of all authors (for papers with multiple authors) must sign the "Copyright Transfer" agreement before the article can be published. This transfer agreement enables the Chamber of Geological Engineers to protect the copyrighted material for the authors, but does not relinquish the authors' proprietary rights. The Copyright Transfer form should be sent to the Editor as soon as possible. Manuscripts accepted for publication will not be sent to print until this form is received by the Editor.

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2019 Cilt 62 Sayı 2
April 2019 Volume 62 Issue 2

Mustafa Sarıbudak

Amerika, Orta Teksas'ta Yer Alan Edwards Akiferi'nde Karstik Yapıların ve Fay Karakterizasyonunun Bütünleşik Jeofizik Yöntemler Kullanılarak Araştırılması

Locating Karstic Features and Fault Characterization Using Integrated Geophysical Methods in the Edwards Aquifer, Central Texas, USA 113

Murat Özkaptan

Orta Anadolu (Ankara ve civarı) Havzalarının Gravite & Manyetik Yöntemler ile Modellenmesi
Modeling of Central Anatolian (Ankara and vicinity) Basins with Gravity and Magnetic Methods... 141

Orhan Tatar, Fikret Koçbulut, Ali Polat, Mehmet Demirel

02.03.2017 ve 24.04.2018 Samsat (Adıyaman) Depremleri ve Bölgesel Sismotektonik İçindeki Önemi

02.03.2017 and 24.04.2018 Samsat (Adıyaman) Earthquakes and Their Importance in Regional Seismotectonics 167

Ayfer Özdemir

Mollaresul Formasyonunun (Haymana-Ankara) Petrol Hazne Kaya Özellikleri

Petroleum Reservoir Properties of Mollaresul Formation (Haymana-Ankara) 181

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,
Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts ve
ULAKBİM TR Dizin Veri Tabanlarında yer almaktadır.

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:

*Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,
Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts and ULAKBİM TR Dizin Databases.*

Yazışma Adresi

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
PK. 464 Yenışehir, 06410 Ankara
Tel: (0312) 434 36 01
Faks: (0312) 434 23 88
E-Posta: jmo@jmo.org.tr
URL: www.jmo.org.tr

Corresponding Address

UCTEA Chamber of Geological Engineers of Turkey
PO Box 464 Yenışehir, TR-06410 Ankara
Phone: +90 312 434 36 01
Fax: +90 312 434 23 88
E-Mail: jmo@jmo.org.tr
URL: www.jmo.org.tr