

# YERBİLİMLERİ

## Bulletin for Earth Sciences

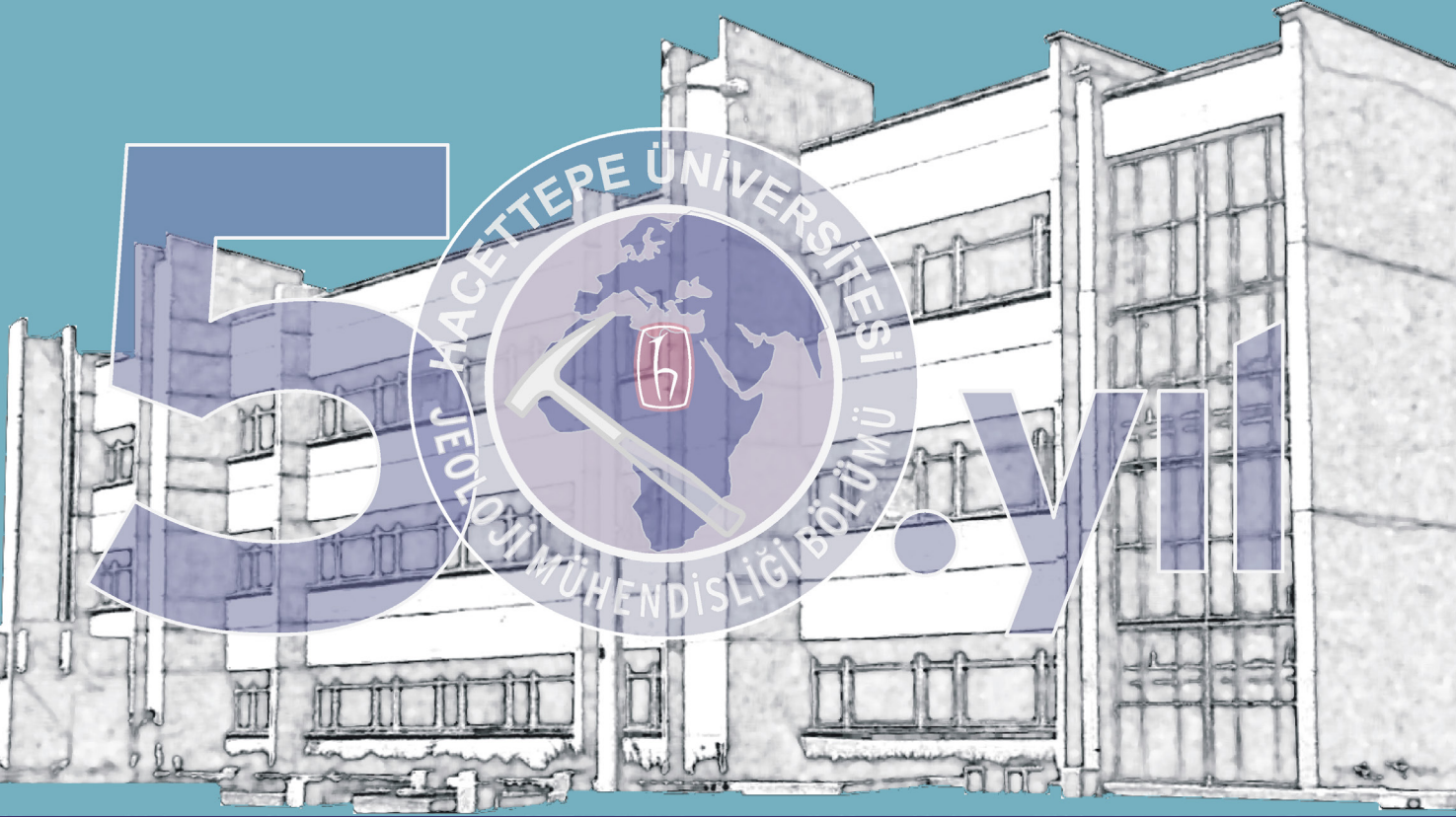
Cilt/Volume 39

Sayı/No 3

Aralık/December 2018

ISSN: 1301-2894

### Jeoloji Mühendisliği Bölümünün 50. Yılı Özel Sayısı



Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni  
Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

---

# YERBİLİMLERİ

## Bulletin for Earth Sciences

---

Cilt / Volume 39 Sayı / No 3 Aralık / December 2018

---

### Editörler Kurulu / Editorial Board

#### Baş Editör (*Editor-in-Chief*)

MEHMET TEKİN YÜRÜR

### Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board (2016-2018)

Emre Altun (Ankara, Turkey)	Gökhan Göktürkler (İzmir, Turkey)	Gürol Seyitoğlu (Ankara, Turkey)
Ali İhsan Arol (Ankara, Turkey)	Klaus Gessner (Crawley, Australia)	Hasan Sözbilir (İzmir, Turkey)
Mehmet Arslan (Ankara, Turkey)	Nilgün Güleç (Ankara, Turkey)	Şevket Şen (Paris, France)
Ömer Aydan (Ryukyu, Japan)	Cüneyt Güler (Mersin, Turkey)	Sabri Bülent Tank (İstanbul, Turkey)
Erkan Aydar (Ankara, Turkey)	Özcan Gülsoy (Ankara, Turkey)	Orhan Tatar (Sivas, Turkey)
Faruk Aydın (Trabzon, Turkey)	Emine Aysun Güney (İstanbul, Turkey)	Uğur Kağan Tekin (Ankara, Turkey)
Nurgül Balcı (İstanbul, Turkey)	Cahit Helvacı (İzmir, Turkey)	Erhan Tercan (Ankara, Turkey)
Hakan Başarır (Crawley, Australia)	Yusuf Kağan Kadioğlu (Ankara, Turkey)	Reşat Ulusay (Ankara, Turkey)
Ahmet Tuğrul Başokur (Ankara, Turkey)	Doğan Kalafat (İstanbul, Turkey)	Timur Ustaömer (İstanbul, Turkey)
Osman Candan (İzmir, Turkey)	Orhan Karlı (Rize, Turkey)	Ulvi Can Ünlügenç (Adana, Turkey)
Jean Chorowicz (Paris, France)	Mehmet Ali Kaya (Edirne, Turkey)	Bahtiyar Ünver (Ankara, Turkey)
Namık Çağatay (İstanbul, Turkey)	Cemil Koçak (Ankara, Turkey)	Keith T. Weber (Idaho, USA)
İsmail Hakkı Demirel (Ankara, Turkey)	Yılmaz Mahmutoğlu (İstanbul, Turkey)	Mustafa Gürhan Yalçın (Antalya, Turkey)
Ünal Dikmen (Ankara, Turkey)	Faruk Ocakoğlu (Eskişehir, Turkey)	Namık Yalçın (İstanbul, Turkey)
Hakan Dündar (Ankara, Turkey)	Aral Okay (İstanbul, Turkey)	Ali Bahadır Yavuz (İzmir, Turkey)
Hasan Ergin (İstanbul, Turkey)	Coşkun Sarı (İzmir, Turkey)	
Mehmet Ekmekçi (Ankara, Turkey)	Mehmet Akif Sarıkaya (İstanbul, Turkey)	



**YERBİLİMLERİ Dergisi makale dizin ve özleri;**

Bibliography of Economic Geology, Compendex, Elsevier BIOBASE, EMBASE, EMBiology, FLUIDEX, Geoarchive, GEOBASE, Geological Abstracts, Geoscience Documentation, GeoSEARCH, Geotitles, HydroROM, Hydrotitles, Marine - Oceanographic & Freshwater Resources, SCOPUS Water Resources Abstracts (Cambridge Scientific Abstracts), World Textiles, Zoological Record, ULAKBİM ve Directory of Open Access Journal veri tabanında yer almaktadır.

***YERBİLİMLERİ is indexed or abstracted in***

*Bibliography of Economic Geology, Compendex, Elsevier BIOBASE, EMBASE, EMBiology, FLUIDEX, Geoarchive, GEOBASE, Geological Abstracts, Geoscience Documentation, GeoSEARCH, Geotitles, HydroROM, Hydrotitles, Marine - Oceanographic & Freshwater Resources, SCOPUS, Water Resources Abstracts (Cambridge Scientific Abstracts), World Textiles, Zoological Record, ULAKBİM and Directory of Open Access Journal databases.*

**ISSN 1301-2894**

**Kapak**

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölüm binası  
Hazırlayan: Dr. M. Tekin Yürür

**Cover**

Hacettepe University, building of the Geological Engineering Department  
Prepared by Dr. M. Tekin Yürür

**Yayın Türü (Publication type):** Yaygın Süreli Yayın

**Baskı (Printed by):** Hacettepe Üniversitesi Hastaneleri Basımevi, 06100, Sıhhiye-Ankara

Tel.: +90 312 310 97 90

**Baskı Tarihi (Date of Print):** 21.12.2018

# YERBİLİMLERİ

## Bulletin for Earth Sciences

Cilt / Volume 39 Sayı / No 3 Aralık / December 2018

### İÇİNDEKİLER CONTENTS

**Savcılıbeyit (Kaman-Kırşehir) Gold Mineralization and Its Genetic Relationship With Post-Collisional Exhumation and Extensional Tectonics in Central Anatolia, Turkey / Savcılıbeyit (Kaman-Kırşehir) Altın Cevherleşmesi ve Cevherleşmenin Orta Anadolu'nun (Türkiye) Çarpışma Sonrası Yükselme ve Genleşme Tektoniği ile Olan Kökensel İlişkisi**  
**Yurdal GENÇ, M. Tekin YÜRÜR** ..... 155

**Proses Mineralojisinin Flotasyon Tesis Performans Analizinde Kullanımı / Use of Process Mineralogy for Flotation Plant Performance Analysis**  
**İlkay B. CAN, Zafir EKMEKÇİ, N. Metin CAN** ..... 177

**Measurement of Radon Exhalation Rates from Different Rock Types and Construction Materials (Gaza Strip, Palestine) / Farklı Kayaç Tipleri ve Yapı Malzemelerinde Radon Gazı Salınımı Ölçümleri (Gazze Şeriti, Filistin)**  
**Khaled Ahmed RAMADAN, Khalid Fathi UBEID** ..... 195

**Doğu Ege Denizi Türkiye Kıyılarında Varlığı Bilinen veya Düşünülen Deniz İçi Termal Çıktılar Çevresinde Gözlenen Bentik Foraminifer Topluluklarında Belirlenen Değişimler ve Etkenler / Variations and Factors Effecting The Benthic Foraminifer Assemblages Around The Submarine Springs Which Are Known/Suggested to Be Present on The Eastern Aegean Coasts of Turkey**  
**Engin MERİÇ, İpek F. BARUT, M. Baki YOKEŞ, Mustafa ERYILMAZ, Fulya YÜCESOY-ERYILMAZ, Feyza DİNÇER** ..... 207

**Kömür Bileşenlerinin Kalorifik Değer Üzerindeki Etkisi Üzerine Değerlendirme / Evaluation of Coal Components-Coal Calorific Value Relationship**  
**Feridun BOYLU, İbrahim Ethem KARAAĞAÇ-LIOĞLU** ..... 221

**10 Mayıs 1997 Qa'emat (İran) Depremi (Mw=7.2) Sonlu-Fay Kayma Dağılımının Telesismik P ve Sh Geniş Bant Dalga Şekillerinin Ters Çözümünden Belirlenmesi / Finite-Fault Slip Distribution of The 10 May 1997 Qa'emat (Iran), Earthquake (Mw=7.2) Determined From Inversion of The Telesismic P and Sh Broad Band Waveforms**  
**Hatice DURMUŞ, Murat UTKUCU** ..... 237

**İskenderun Körfezi ve Samandağ (Adana-Hatay) Kıyılarında Gözlenen Yabancı Bentik Foraminiferler / Alien Benthic Foraminifers Observed on The Coasts Of Gulf of İskenderun And Samandağ (Adana-Hatay)**  
**Engin MERİÇ, Niyazi AVŞAR, M. Baki YOKEŞ, Feyza DİNÇER** ..... 253

**Yeşilirmak Havzası Mekânsal Yağış Dağılımına Ait Değişiminin Deterministik ve Stokastik Yöntemlerle Belirlenmesi / Determination of Changing Spatial Distribution of Precipitation With Deterministic and Stochastic Methods In Yeşilirmak Basin**  
**M. Murat KALE** ..... 263



## Savcılıbeyit (Kaman-Kırşehir) Gold Mineralization and Its Genetic Relationship With Post-Collisional Exhumation and Extensional Tectonics in Central Anatolia, Turkey

### *Savcılıbeyit (Kaman-Kırşehir) Altın Cevherleşmesi ve Cevherleşmenin Orta Anadolu'nun (Türkiye) Çarpışma Sonrası Yükselme ve Genleşme Tektoniği ile Olan Kökensel İlişkisi*

YURDAL GENÇ\*<sup>1</sup>, M.TEKİN YÜRÜR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hacettepe University, Department of Geological Engineering, 06800 Beytepe, Ankara, Turkey

Geliş (received) : 03 Eylül (September) 2018

Kabul (accepted) : 24 Kasım (November) 2018

#### ABSTRACT

Gold exploration works in central Anatolia, Turkey, were intensified during the last decade, and potentially important gold mineralizations were discovered. In the region, important gold discoveries hosted by metamorphic and granitic rocks are, in the west, Savcılıbeyit and Terziali (Kırşehir), in the middle part, Himmetsdede and Mahmatlar (Kayseri), Akçataş (Nevşehir), and at the southeast, Gümüşler (Niğde) mineralizations. The Savcılı gold mineralization consists mainly of gold-quartz veins, and is the first discovered gold enrichment hosted by metamorphic rocks of west-central Anatolia. These veins are situated at the southeastern margin of the Cefalıkdağ-Baranadağ granite-migmatite dome, at 60 km west of the city of Kırşehir. In this study, preliminary results of geological and structural investigations of the gold-quartz veins are presented.

The study area is part of the Palaeozoic-Mesozoic Kırşehir Massif that comprises mainly high-grade metamorphic and plutonic rocks covered by Cenozoic sediments. The gold-quartz veins are hosted by migmatite, migmatitic gneiss, gneiss-schist-marble intercalations, calc-silicate gneiss and marble. Quartz veins are discordant with respect to the foliation and major lithologic boundaries, and have sharp contacts with the enclosing metamorphic wall rocks. Veins occur as single or composite, relatively continuous veins that are up to about 2 km long and extend for at least 200 m down dip. Their thickness ranges from a few millimetres to two metres.

The gold-quartz veins consist mainly of quartz, arsenopyrite, pyrite and secondary haematite and limonite. Other common minerals in the veins are calcite, muscovite, biotite, chlorite and epidote. The distribution of gold is erratic, and only weathered, haematite- and limonite-rich parts of the veins near the surface consistently display higher gold contents.

Homogenisation temperatures obtained from fluid inclusions in the quartz vein have a wide range, from 160°C to well above 400°C. The fluid inclusions are generally rich in carbon dioxide and also have high salinities (20-33 % NaCl equivalent).

The gold-quartz veins have many similarities to orogenic gold deposits in terms of metal associations, wall-rock alteration assemblages, mineralogy, formation conditions and structural control. The spatial association of the veins with migmatites, high-grade metamorphic rocks and granitoids suggests an origin related to metamorphism, uplift and/or migmatite doming and granitoid emplacement in central Anatolia.

**Keywords:** *Granitoid-migmatite doming, Kırşehir Massif, orogenic gold deposit, Turkey.*

#### ÖZ

*Orta Anadolu'da altın aramaları son on yılda artmış ve önemli potansiyel altın cevherleşmeleri keşfedilmiştir. Bölgede, metamorfik ve granitik kayalar içinde önemli altın bulguları batıda Savcılıbeyit ve Terziali (Kırşehir), orta kesimlerde Himmetsdede ve Mahmatlar (Kayseri), Akçataş (Nevşehir), ve güneydoğuda Gümüşler (Niğde) cevherleşmeleridir. Savcılıbeyit altın cevherleşmesi daha çok altınlı kuvars damarlarında görülmekte ve Orta-Batı Anadolu'da metamorfik kayalar içinde keşfedilen ilk altın zenginleşmesidir. Bu damarlar Kırşehir'in 60 km batısındaki Cefalıkdağ-Baranadağ granit-migmatit domunun güneydoğu eteklerinde bulunmaktadır. Bu çalışmada bu altınlı kuvars damarlarının jeolojik ve yapısal ön çalışmalarını sunulmuştur*

\* Y. Genç

e-posta: ygenç@hacettepe.edu.tr



*İnceleme alanı, Senozoyik çökellerle örtülü ve çoğunlukla yüksek dereceli metamorfik ve derinlik kayaçlarının yer aldığı Paleozo-yik-Mezozoyik Kırşehir Masifi içinde yer almaktadır. Altınlı kuvars damarları migmatitler, migmatitik gnayslar, gnays-şist-mermer aralanmaları, kalk-silikatik gnayslar ve mermerler içinde bulunmaktadır. Kuvars damarları metamorfik yan kayaçların yapraklanma ve önemli litolojik düzlemleriye uyumsuz olup damarların yankayaçlarla dokanakları keskindir. Damarlar, tek veya damar sistemleri şeklinde gözlenmekte olup, devamlılıkları doğrultu yönünde 2 km ye, eğim yönünde ise en az 200 m ye ulaşmaktadır. Damar kalınlıkları birkaç mm den 2 metreye kadar değişmektedir.*

*Altınlı kuvars damarları başlıca kuvars, arsenopirit, pirit ve ikincil hematit ve limonitten oluşmaktadır. Diğer yaygın mineraller kalsit, muskovit, biyotit, klorit ve epidottur. Damarlar içinde altının dağılımı düzensiz olup damarların sadece oksitlenmiş, hematit ve limonitçe zengin yüzeye yakın kesimlerinde yüksek altın değerleri elde edilmektedir..*

*Kuvars damarlardaki sıvı kapanımlarının homojenleşme sıcaklıkları 160° C'den 400° C'nin üzerinde geniş bir aralıkta dağılım göstermektedir. Sıvı kapanımları genelde karbon dioksitçe zengin olup yüksek tuz içeriklidirler (% 20-33 NaCl eşdeğeri).*

*Altınlı kuvars damarları, metal içeriği, yan kayaç alterasyonu, mineraloji, oluşum koşulları ve yapısal kontrol açısından orojenik altın yatakları ile benzer özelliklere sahiptir. Damarların migmatitlerle, yüksek dereceli metamorfik kayaçlar ve granitoidlerle olan mekânsal birlikliği bunların oluşumunun Orta Anadolu'daki metamorfizma, yükselme ve/veya migmatitik domlaşma ve granitoid yerleşimi ile ilgili olduğunu ifade etmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Granitoid-migmatit domlaşması, Kırşehir Masifi, orojenik altın yatağı, Türkiye.

## INTRODUCTION

Although central Anatolia has historically been recognised for hosting significant lead-zinc, iron, molybdenum-copper, fluorite and antimony deposits, gold exploration has only intensified during the last decade, resulting in the discovery of a few potentially important gold-ore bodies (Savcılıbeyit and Çayağzı (Terziali)-Kırşehir; Mahmatlar-, and Himmetdede-Kayseri, Akçataş-Nevşehir and Gümüşler-Niğde) (Fig. 1). Some previous studies have established the existence of gold in this region. Özcan and Çağatay (1989) reported scheelite mineralisation associated with quartz veins within silicified metamorphic rocks of the Kırşehir region. Genç et al. (2003) and Coşkun Delibaş and Genç (2004) described saprolitic gold enrichments in the same region. Moreover, gold grains have been found in some stream sediments derived from metamorphic rocks of the massif (H.Türkmen, pers. comm. 2004).

In the Gümüşler and Çamardı areas of the Niğde Province, Pehlivan and Alpan (1986) found gold, cinnabar, and scheelite grains in stream sediments and identified several anomalous locations for gold, mercury and scheelite. In the same region, Akçay (1994) reported near-surface gold enrichment zones (up to 37 ppm) in Sb-Hg-W-bearing quartz veins.

Gold-quartz veins (GQVs) near Savcılıbeyit village, 60 km west of Kırşehir, are the first discovered gold occurrences hosted by metamorphic rocks in west-

central Anatolia (Fig. 1). They were found in 1999 as a result of systematic exploration carried out in central Anatolia by MTA (Mineral Research and Exploration Institute). Gold anomalies were detected through a programme of stream-sediment, soil and hard-rock geochemical studies facilitated by trenching and 670 m of drilling. There is no sign of ancient gold-mining activities at the site. However, the Kırşehir region does have important vein-type fluorite deposits hosted by granitoids (Bayındır, Akçakent, Pöhrenk, etc.) (Genç et al. 2003a).

The first studies on these GQVs were undertaken by Genç and Türkmen (2002) and Genç (2004). In these studies, GQVs were classified as mesothermal and orogenic gold deposits. However, their modes of formation are still not well understood. According to Groves et al. (1998), orogenic gold deposits form during compressional to transpressional deformation processes at convergent plate margins in accretionary or collisional orogens. Central Anatolia is part of the Alpine-Himalayan collisional belt and located within the convergence zone between the Eurasian and Afro-Arabian plates, and GQVs formation may therefore be attributed to the regional compressional tectonic regime. Recently, Genç and Yürür (2010) proposed that an extensional tectonic regime took place after the Late Cretaceous convergence in the region. This is why geological outlines that may be derived from the study of gold mineralizations would be useful to better understand the regional

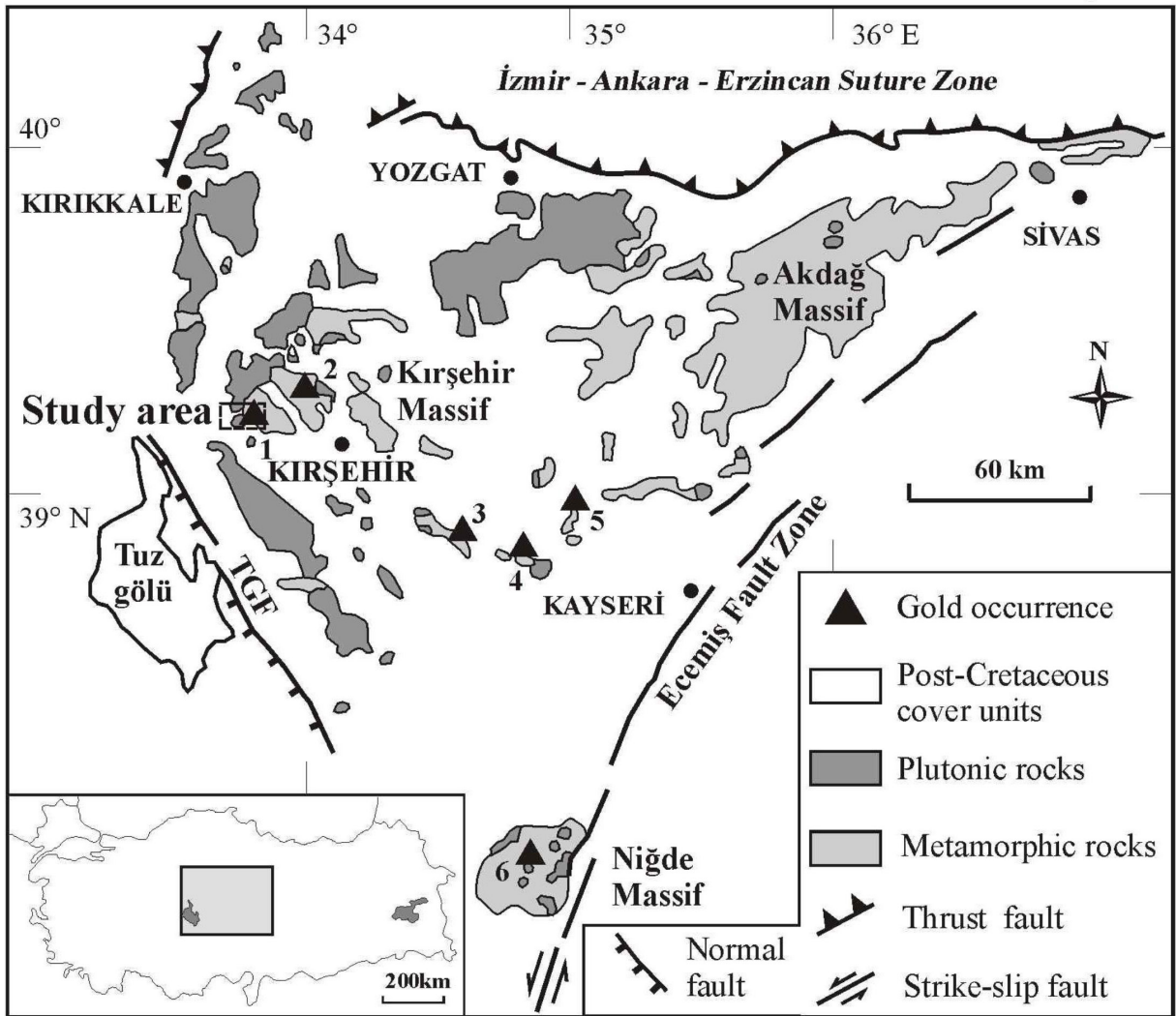


Figure 1. Simplified geological map of the central Anatolian massifs, showing the main lithological units and first-order fault zones (modified from the 1:500.000-scale geological map (Ankara sheet) of Turkey, MTA, 2002) and gold mineralizations. TGF: Tuz Gölü Fault. Gold mineralizations: 1: Savcılıbeyit , 2: Terziali, 3: Akçataş, 4: Mahmatlar, 5: Himmetdede and 6: Gümüşler.

Şekil 1. Ana litolojik birimleri ve önemli fay zonlarını (MTA, 2002 1:500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Ankara paftasından değiştirilerek) ve altın cevherleşmelerinin konumlarını gösteren Orta Anadolu masiflerinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası. TGF: Tuzgölü Fayı. Altın cevherleşmeleri: 1: Savcılıbeyit ; 2: Terziali; 3: Akçataş; 4: Mahmatlar; 5: Himmetdede ve 6: Gümüşler.

geological evolution and the relationship between mineralization processes.

The present study aims a) to give the preliminary results of studies carried out to date and to identify geologic and tectonic processes that may have controlled and influenced the development of the gold-quartz veins in central Anatolia, b) to determine the timing of vein formation, and c) to ascertain the physical and chemical conditions of vein formation. The results of this study provide a basis for further

studies in central Anatolia and intend to develop a better understanding of the geologic and tectonic parameters of the environment of gold-quartz vein formation.

## Geology

In central Anatolia, magmatic, metamorphic and ophiolitic rock assemblages are together termed the Central Anatolian Massif, Kırşehir Massif, Kızılırmak

Massif or Central Anatolian Crystalline Complex (Ketin 1955; Seymen 1982; Tolluoğlu 1986; Göncüoğlu et al. 1991). The Central Anatolian Massif is bounded by the Izmir-Ankara-Erzincan suture zone to the north, the Ecemiş fault zone to the east, and the Tuz Gölü fault to the southwest (Fig. 1). The massif consists of three submassifs, namely the Kırşehir, Akdağ and Niğde (Fig. 1).

The oldest rock units in the Kırşehir submassif are metamorphic rocks which comprise mainly migmatite, gneiss, schist and marble. The stratigraphically lowest unit mainly contains the highest-grade rocks: amphibolite-interlayered migmatites, migmatitic gneisses, alternations of calc-silicate gneisses, schists, and marbles. This basal unit is unconformably overlain by lower-grade (amphibolite-facies) mica schists with marble, amphibolite, calc-silicate gneiss and quartzite intercalations. These metamorphic rocks grade upward into the lowest-grade (greenschist- to amphibolite-facies) rocks dominated by marble with mica and amphibole-schist intercalations. Silurian-Devonian and Carboniferous-Permian depositional ages for the basal and upper parts of the Kırşehir Massif, respectively, were proposed by Genç (2003).

Conflicting ages are given in the literature for the metamorphism of the massif. Older studies suggested a polyphased metamorphic history with ages ranging from Early Palaeozoic to Late Mesozoic (Polak 1958; Brinkmann 1971 and 1976). However, any traces of pre-Alpine movements in central Anatolia cannot be observed (Ketin 1966; Erkan 1976; Seymen 1984; Whitney et al. 2001). New petrogenic and radiometric data obtained from metamorphic and plutonic rocks of central Anatolia indicate a single-phase, Late Cretaceous regional metamorphism related to crustal thickening, and a later high-temperature overprint associated with magmatism, uplift and exhumation (Erkan and Ataman 1981; Seymen 1982; Whitney and Dilek 1998; Whitney et al. 2001). In comparison to moderate P - high T regional metamorphic rocks, the low P - high T - overprinted metamorphic areas occupy relatively restricted zones, typically with a granitic or gneissic core (Göncüoğlu 1986; Erkan 1980; Özer and Göncüoğlu 1983; Tülümen 1980; Whitney and Dilek 1998).

Metamorphic rocks of the massif are characterised by clockwise P-T paths at moderate P-high T (6-7 kbar and 750 °C) with local low P-high T (3-5 kbar

and 700-800 °C) overprinting (Erkan 1976; Seymen 1984 and Whitney et al. 2001). For peak regional metamorphic conditions in central Anatolia, Whitney et al. (2003) gave an age interval of 85-92 Ma (U-Pb SHRIMP) (Santonian-Turonian; Late Cretaceous, ICS, 2004). K-Ar cooling ages of biotite and amphiboles from gneiss and schists indicate a Late Cretaceous (Maastrichtian-Campanian) (69-74 Ma in the Kırşehir region, 74-81 Ma in the Niğde region) age for the overprinting low P - high T- metamorphism. These ages are interpreted to indicate an emplacement or cooling age of igneous rocks injected into regional metamorphites, and also the cooling age of the metamorphic sequences (Erkan and Ataman 1981; Göncüoğlu 1986; Whitney et al. 2003).

The metamorphic rocks are intruded by granitoid and syenitoids with radiometric ages ranging from  $79.5 \pm 1.7$  to  $39.2 \pm 1.2$  Ma (total Pb, Ar/Ar, Rb-Sr and apatite fission track ages) (Ayan 1963; Ataman 1972; Erkan and Ataman 1981; Whitney et al. 2001; Kadioğlu et al. 2003; İlbeyli et al. 2004).

The metamorphic rocks are overlain by an Upper Cretaceous, unmetamorphosed volcano-sedimentary series of diabase, basalt, radiolarian chert, pelagic limestone, shale and serpentinite (Seymen 1982), and the two units are separated by the Kaman detachment fault. A sedimentary sequence of Lutetian age nonconformably overlies the metamorphic basement rocks, Upper Cretaceous series and granitoids of the Kırşehir Massif.

### Savcılıbeyit Area

The Savcılıbeyit area is at the southeastern flank of the Cefalıkdağ-Baranadağ granitoid-migmatite domal structure (Fig. 2). The long axis of the dome trends NE-SW, and dome dimensions are ~ 10 km NE-SW by ~ 5 km NW-SE. Although the eastern margin of the dome is transitional with metamorphic rocks, its western margin is defined by detachment faults. The dome is asymmetrical, with the apex located on the eastern side of the structure. The granite-migmatite dome and surrounding metamorphic rocks are described by Genç (2004) as the Kırşehir Metamorphic Core Complex. The granitic core of the dome comprises monzonite, monzodiorite and granite. These rocks are coarse-grained and contain feldspar megacrysts up to 10 cm in length (Geven 1992; Aydın and Önen 1999; İlbeyli et al. 2004). The youngest magmatic phases are represented by

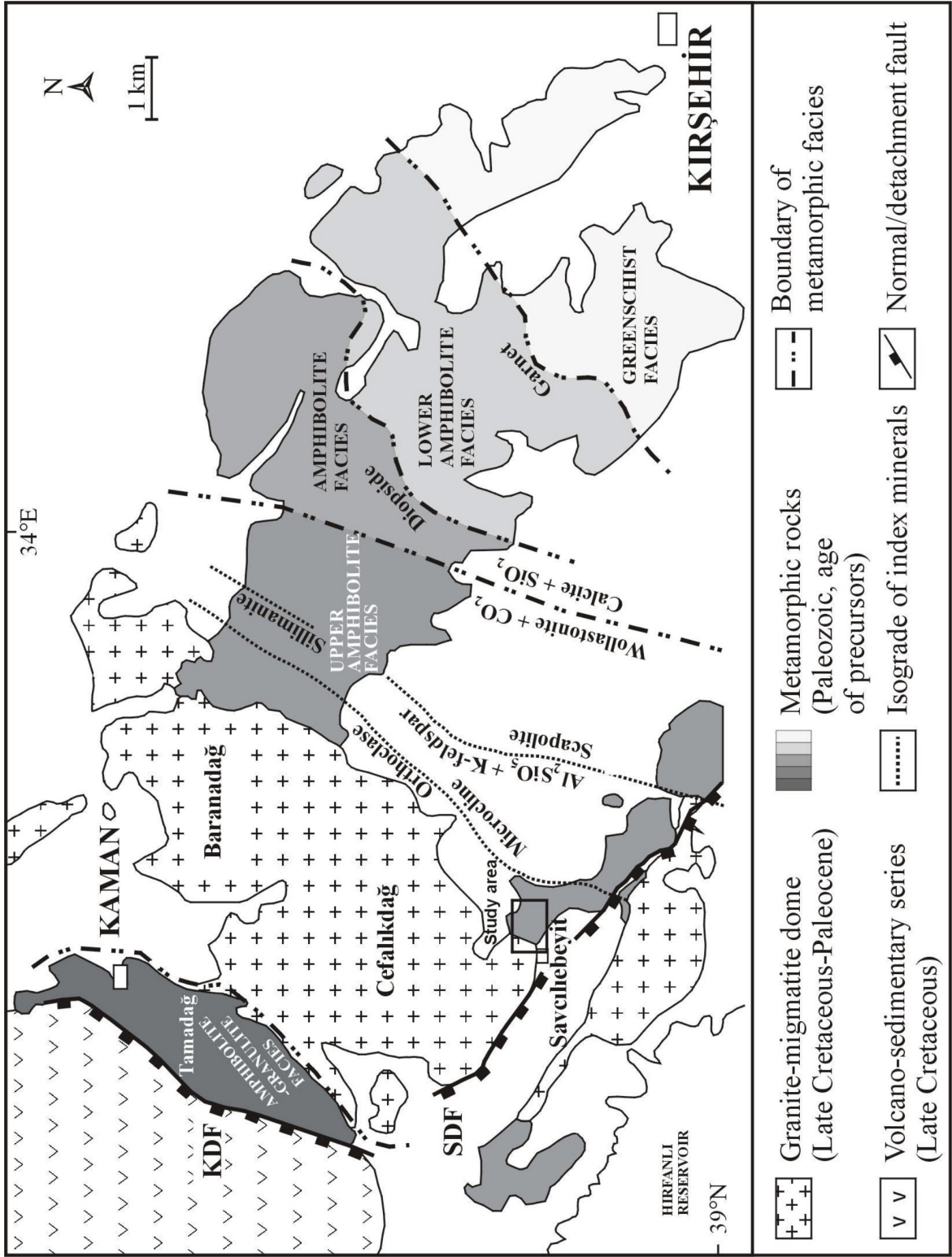


Figure 2. Geological map of the Kırşehir-Kaman region showing isograds in metamorphic rocks surrounding the Cefalıkdag-Baranadağ granite-migmatite dome (isograd locations modified from Seymen 1981, Seymen 2000, Tolluoğlu 1986, and Whitney et al. 2001).

Şekil 2. Cefalıkdag-Baranadağ granit-migmatit domu etrafındaki metamorfik kayaların izogradlarını gösteren Kırşehir-Kaman bölgesi jeolojisi haritası (izograd yerleri Seymen, 1981, Seymen 2000, Tolluoğlu 1986 ve Whitney vd. 2001'den düzenlenmiştir).



microgranite stocks and aplitic-pegmatitic dykes that cut the monzonitic and granitic rocks of the older phases. 40 and 47 Ma apatite fission-track ages for these intrusives are reported by Fayon et al. (1999). In the Tamadağ area (Fig. 2), metamorphic rocks are preserved in the northwestern part of the dome roof and are intruded by aplite dykes. At the contacts, they are slightly contact metamorphosed.

Around Savcılıbeyit village, the transitional granitic core-metamorphite contacts dip moderately (40-50°) to the northwest and are defined by a narrow zone of steeper foliations and closely spaced orthoclase, microcline, sillimanite and scapolite isograds. These isograds parallel the core-envelope contact in the east. In the Savcılıbeyit area, lithologic layering and metamorphic stratigraphy are overturned, with younging directions facing mainly to the east and southeast. In normal, primary metamorphic stratigraphy, from bottom to top, the metamorphic rocks in the area consist of migmatite, migmatitic gneiss, a gneiss-schist-marble intercalation, quartzite, calc-silicate gneiss and marble (Fig. 3).

Migmatites are located in the western part of the area and have transitional contacts with the granitic-monzonitic core of the migmatite dome outside of the map area (Fig. 4). From core in the west to the east, and in the opposite sense of the dip direction of the lithological contacts, there is a gradational and conformable change from diatexitic migmatite, through metatexitic migmatite and migmatitic gneiss, and then to gneiss and schist.

The diatexite migmatite unit has a granitic appearance and corresponds to the hornblende granite of Geven (1992). This unit is dominated by a granitic matrix and contains enclaves of disrupted refractory layers and blocks of amphibolite, marble and metatexite (Fig. 5A). In the diatexite, pre-migmatization structures are not preserved, but there is a well-developed flow banding.

The metatexite migmatite unit consists of dark green-grey, fine-grained layered host containing pre-migmatization structures such as layering, banding and foliation (Fig. 5B, C and D). The majority of leucosomes parallel these structures. A gneiss-schist-marble intercalation overlies the migmatite unit, and mainly comprises mica gneiss, mica schist, amphibole schist, calc-schist and marble (Fig. 3). It locally contains small (15-20 m long) pockets of lensoidal pegmatite, tourmaline pegmatite and leucogranite.

The calc-silicate gneiss unit covers the gneiss-schist-marble intercalation along a transitional contact, and consists mainly of calcite, wollastonite, diopside and garnet. A 5-10 m thick, characteristically deep brown-grey quartzite layer is stratigraphically between the calc-silicate gneiss and gneiss-schist-marble intercalation (Fig. 3). The calc-silicate gneiss unit grades into white marble at the top of the sequence (Fig. 3).

All units have undergone regional metamorphism to varying degrees, from greenschist-amphibolite to granulite facies (Erkan 1976; Tolluoğlu and Erkan 1989; Seymen 2000; Whitney et al. 2001). Metamorphic-mineral parageneses reveal steep metamorphic gradients away from the granite, through the granulite-grade cordierite-sillimanite-bearing core, into amphibolite- and greenschist-facies rocks towards the southeastern flank of the dome (Fig. 2) (Seymen 1982; Tolluoğlu 1986; Whitney et al. 2001).

The dominant structural feature of the metamorphic rocks is folding. Seymen (1981) distinguished four folding and one brittle deformation phases in these metamorphic rocks. According to Seymen (1981), ductile deformation was followed by a brittle stage indicating uplift to higher levels. Whitney et al. (2003) reported a minimum age of 69 Ma for fabric-forming deformation in metamorphic rocks of the Niğde region. Other significant structural features are the NW-SE-trending Savcılı and NE-SW-trending Kaman detachment faults (Fig. 2). The Savcılı detachment fault lies in the southern part of the dome and the Kaman detachment fault, which limits the dome to the west, is between the dome and Upper Cretaceous volcano-sediments. Whilst the Kaman fault must be older and active during the late stages of doming, the Savcılı fault was active after dome emplacement, during Oligocene-Pliocene time (Genç and Yürür 2004).

### Gold-Quartz Veins

Quartz veining occurs in two main types: barren pegmatitic quartz veins and gold-quartz veins. Barren pegmatitic quartz veins are characterised by pegmatitic texture and comprise mainly K-feldspar and massive quartz (Fig. 6A); they occur near the granite core, within the migmatites, and have a NE-SW orientation generally parallel to the aplite dykes (Figure 4).

The gold-quartz veins are hosted by migmatite, migmatitic gneiss, the gneiss-schist-marble intercalation,

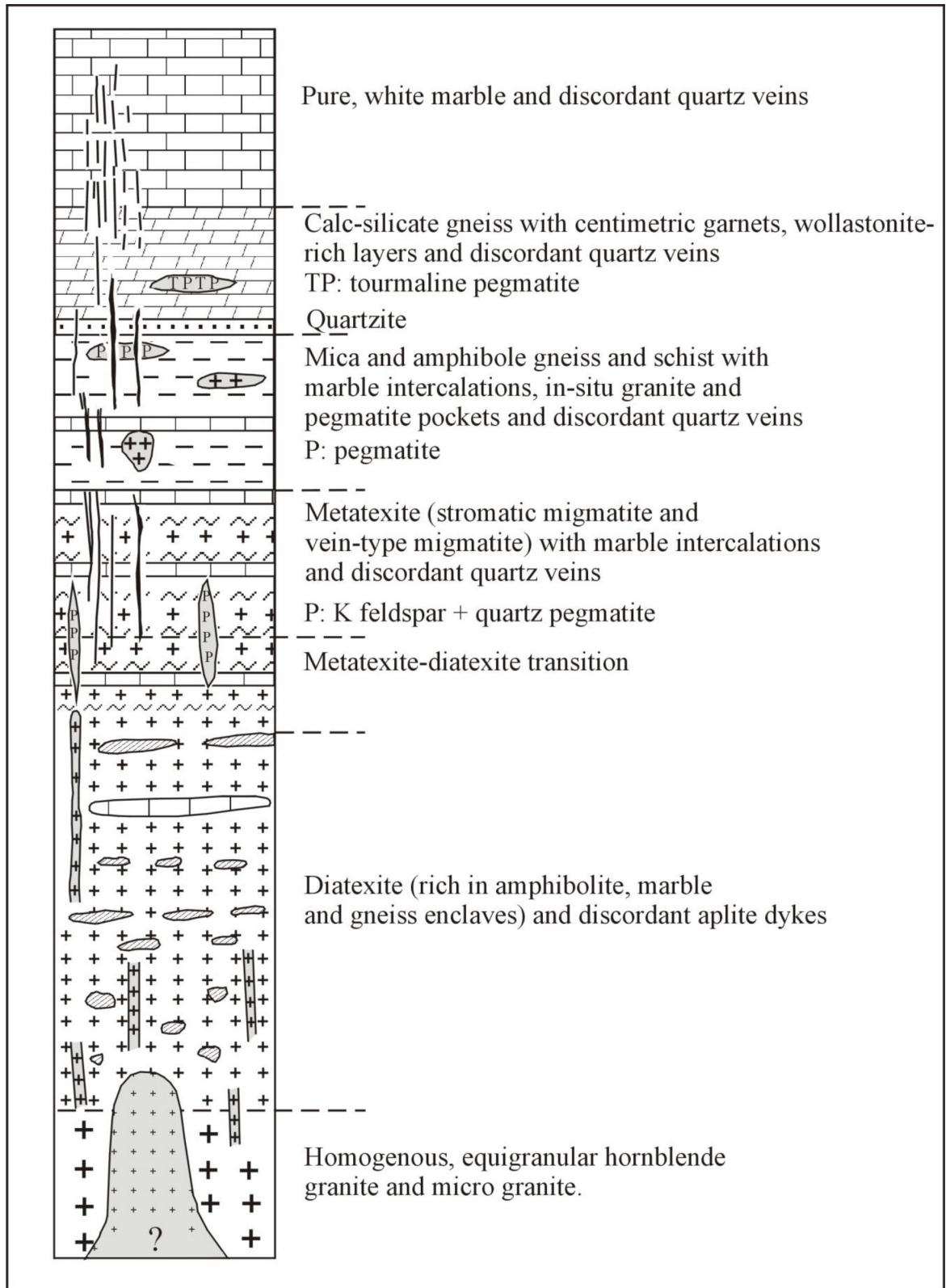


Figure 3. Schematic vertical section through the metamorphic-magmatic sequence around Savcılıbeyit (not to scale).

Şekil 3. Savcılıbeyit yakınlarındaki metamorfik-magmatik birimlerin ilişkilerini gösteren şematik dikme kesit (ölçeksiz).

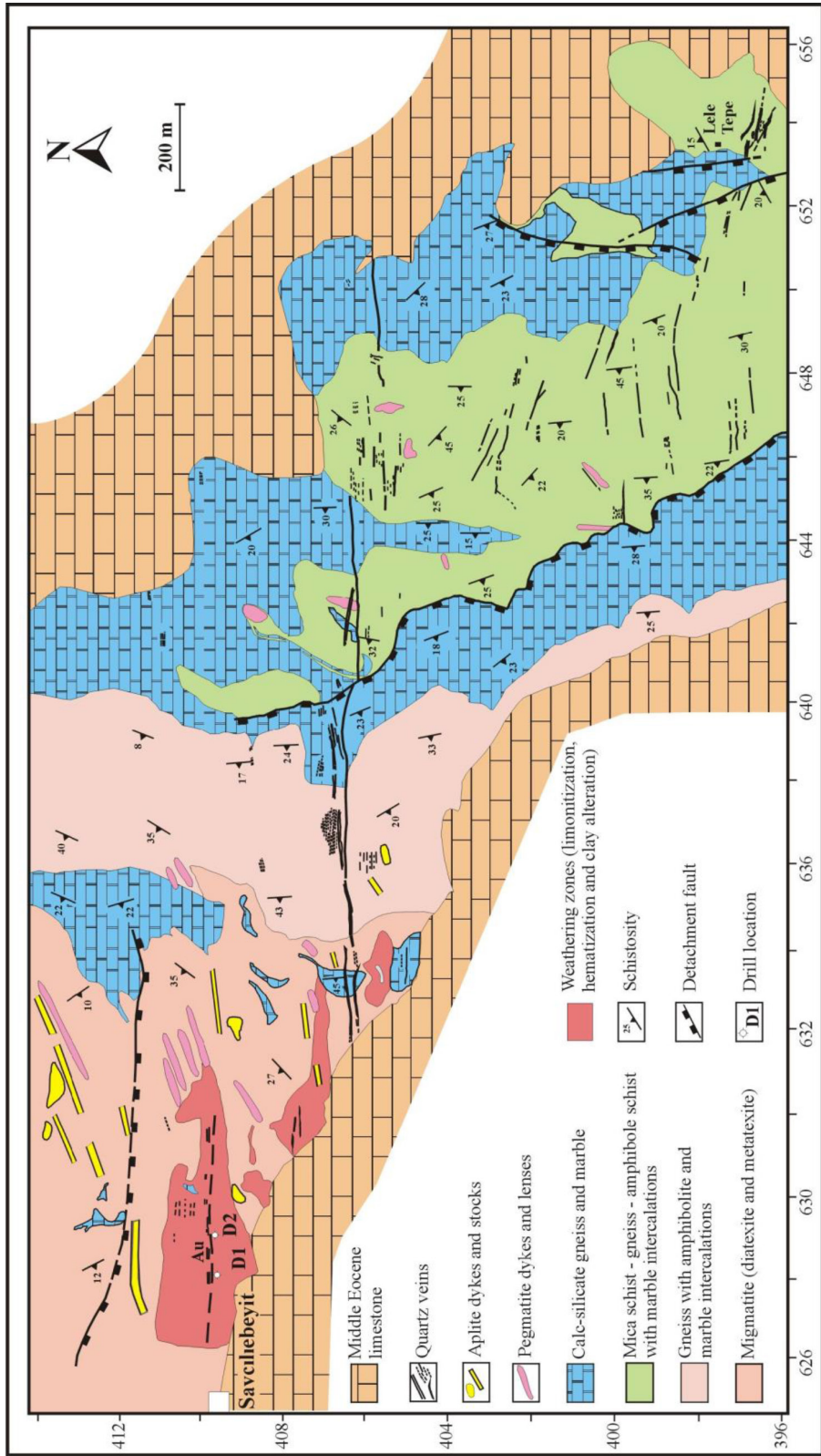


Figure 4. Geological map of the Savcılıbeyit district showing the location of gold-quartz veins (modified from Türkmen et al. 2000, unpublished data).

Şekil 4. Savcılıbeyit yöresi altınlı kuvars damarlarının konumunu gösteren jeolojik harita (yayımlanmamış Türkmen vd. 2000'den düzenlenmiştir).



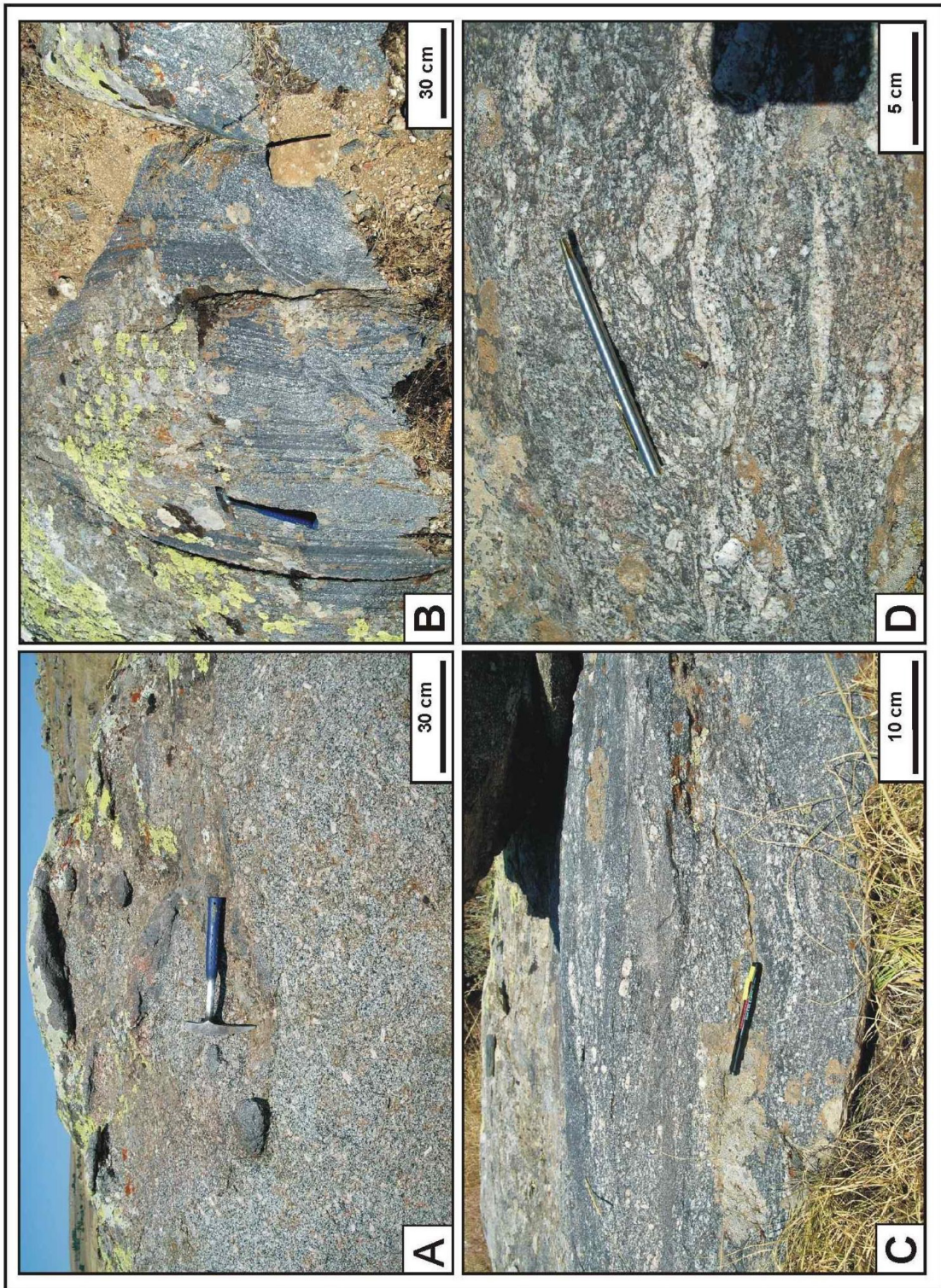


Figure 5. Migmatites in outcrop. A) Diatexitic migmatite with oriented amphibolite enclaves; B) Stromatic migmatite; C) Metatexitic migmatite with remnants of an amphibolite layer; D) Metatexite-diatexite transition. Disturbed layered leucosomes and oriented K-feldspar megacrysts within a diatexitic matrix. The photographs are from the western part of Üç Tepe.

Şekil 5. Migmatit mostraları. A) Diatexitik migmatitlerde yönlenmiş amfibolit anklavları; B) Stromatik migmatit; C) Metateksitik migmatit içinde amfibolit kalıntıları; D) Metateksit-diyateksit geçişi. Diyateksitik hamur içinde ilksel şekilleri bozulmuş tabakalı lökosomlar ve yönlenmiş K-feldspat megakristalleri.



calc-silicate gneiss and marble (Fig. 4), and have a general E-W orientation. Vein systems consist mainly of a well-defined set of closely spaced, subparallel and structurally related veins that are individually discontinuous and have variable widths (Fig.4, Fig.6B, C, D and E). The quartz veins are discordant with respect to the foliation and major lithologic boundaries, and have sharp contacts with the enclosing metamorphic wall rocks (Fig.4, Fig.6G, H and I). In the deeper parts of the system, as seen in the drill core, some quartz veins parallel foliation surfaces (Fig. 7). Although the thickness of the veins ranges from a few millimetres to two metres, and up to hundreds of metres in length, most of the quartz veins are less than 15 cm wide and continuous for only a few metres. The longest quartz veins made up of massive white quartz are on the decimetre to metre scale, with minor brecciation and calcite enrichment at vein margins. The general strike of the subvertical gold-quartz veins is E-W (Fig. 4). They have been detected down to depths >200m. Adjacent to the quartz veins, the host rocks commonly display metasomatic effects (Fig. 7). Between the distant individual quartz veins, the metamorphic rocks rarely show visible evidence of alteration. Simple quartz veins are well developed in the mica schist, whereas subparallel vein sets are observed in the marble. The subparallel veins commonly occur in zones up to 40 m wide. The vein quartz is generally massive (Fig. 6D and F), clear white to dark grey and coarse grained. Banded and breccia textures are abundant (Fig. 6C) and, in some quartz veins, a fibrous structure is also widespread. Breccia and stockwork textures in veins indicate very low temperature and pressure conditions. According to McCuaig and Kerric (1994), banded veins indicate that hydrothermal fluids responsible for vein formation were approximately at lithostatic pressures and underwent transient sublithostatic- to supralithostatic-fluid cycling. On the other hand, massive to laminated and fibrous veins indicate high-fluid pressures during vein formation. Large (up to 15-20 cm in length) euhedral to subhedral quartz crystals form coarse-crystalline aggregates in some veins.

The gold-quartz veins consist mainly of quartz, arsenopyrite, pyrite, and secondary haematite and limonite. Quartz is the most abundant mineral, typically comprising more than 90% of the veins. The other most abundant gangue minerals are calcite, muscovite/sericite, biotite, chlorite and epidote (Fig. 8). Haematite and limonite are dominant near the

surface, whereas the arsenopyrite and pyrite contents of the veins increase with depth (Fig. 6F, G and Fig. 7). The proportion of sulfides is highly variable, from only traces to 3-4 volume percent of the veins. Other ore minerals detected include tennantite, stibnite, galena, sphalerite, chalcopyrite, pyrrhotite, molybdenite and gold. The quartz veins that cut the marble also contain scheelite.

Supergene minerals include limonite, haematite, malachite, azurite and covellite. Scarce gold occurs as isolated grains within quartz in limonite-haematite-rich veins near the surface, or as inclusions in sulfides in the deeper parts of the veins. The distribution of gold in the veins seems to be erratic, and only the limonite-rich parts of the veins near the surface consistently display higher gold contents – up to 16 ppm (H.Türkmen, pers. comm. 2004). The gold grade decreases downward. Although gold values are sporadically higher in the veins, trenching indicates average gold grades of approximately 1g/t Au. The gold distribution pattern in the veins indicates a close correlation with arsenic (Fig. 7).

### Alteration

In the Savcılı area, host rocks display both supergene and hydrothermal alteration. The supergene alteration zones are characterised by their reddish brown colours (Fig. 6F) and by high limonite, haematite, kaolinitic clay and local gypsum content. Supergene alteration is restricted to the upper part of the quartz veins and to surrounding metamorphic rocks covered by Lutetian sediments (Figure 4). In the uncovered metamorphic rocks and quartz veins, supergene alteration is quite weak or absent. As a general trend, the intensity of alteration decreases from the contact with the Lutetian sediments at the top to the lower parts of the metamorphites and quartz veins.

Hydrothermal alteration is selectively vein-controlled and limited to the immediate vicinity of the quartz veins (Fig. 7). Alteration zones generally vary from a few cm to 2 m in width, with broader zones surrounding the thickest quartz veins. Within the same lithology, such as gneiss or schist, the alteration may be traced parallel to the quartz veins, both along strike and down dip, for tens of metres, showing little variation in mineralogy. The proximal alteration zone is characterised by the mineral assemblage quartz, biotite, albite, calcite, chlorite, sericite and/or muscovite, epidote, pyrite, arsenopyrite and pyrrhotite.

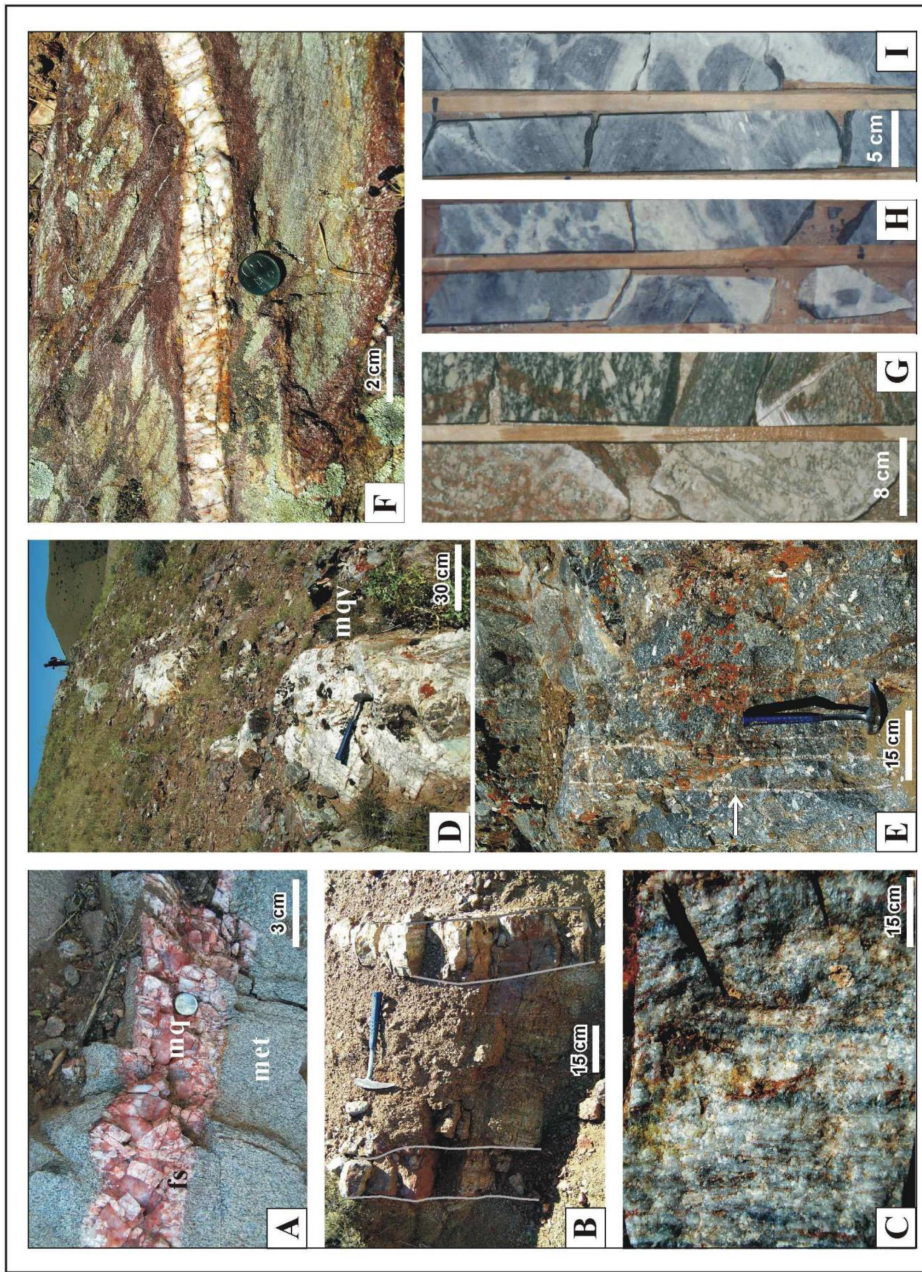


Figure 6. Photographs of gold-quartz veins and associated alteration in the Savcılıbeyit area. A) Pegmatitic quartz veins, mq: massive quartz core, fs: feldspar-rich selvage, met: metatextitic host rock. B) Parallel quartz-, and haematite-limonite veins that cut the metatextitic migmatite. C) Banded quartz vein in outcrop. D) Massive quartz vein (mqv) that cuts the migmatitic gneiss. E) Parallel quartz veinlets that cut the metatextitic migmatite. F) Supergene alteration zones rich in haematite-limonite veins. G, H and I) Sections of drill core D-1 showing vein textures at different depths. G) 25.50-26.0m; metatextitic migmatites cut by quartz-pyrite veinlets. Hematitic staining on migmatites is common. H and I) Quartz breccia veins (white) with wall-rock fragments (gray) in mica gneiss. 115.5-116 m and 125-125.50 m.

Şekil 6. Savcılıbeyit alanındaki altınlı kuvars damarları ve bunlara bağlı alterasyonları gösteren fotoğraflar. A) Pegmatitik kuvars damarları, mq: masif kuvars; fs: feldspatça zengin kenar zonu; met: metateksitik yan kayaç. B) Metateksitik migmatiti kesen paralel kuvars ve hematit-limonit damarları. C) Bantlı kuvars damar mostrası. D) Migmatitik gnaysı kesen masif kuvars damarı (mqv). E) Metateksitik migmatiti kesen paralel kuvars damarcıkları. F) Hematit-limonit damarları açısından zengin superjen alterasyon zonları. G, H ve I) D-1 sondajı karotlarının değişik derinliklerinde gözlenen damar dokuları. G) 25.50-26.0 m; kuvars-pirit damarcıklarınca kesilmiş metateksitik migmatitler. Migmatitlerde hematit boyamaları yaygındır. H ve I) Mika gnaysda breşik kuvars damarları (beyaz) ve yankayaç parçaları (gri). 115.5-116 ve 125-125.50 m.



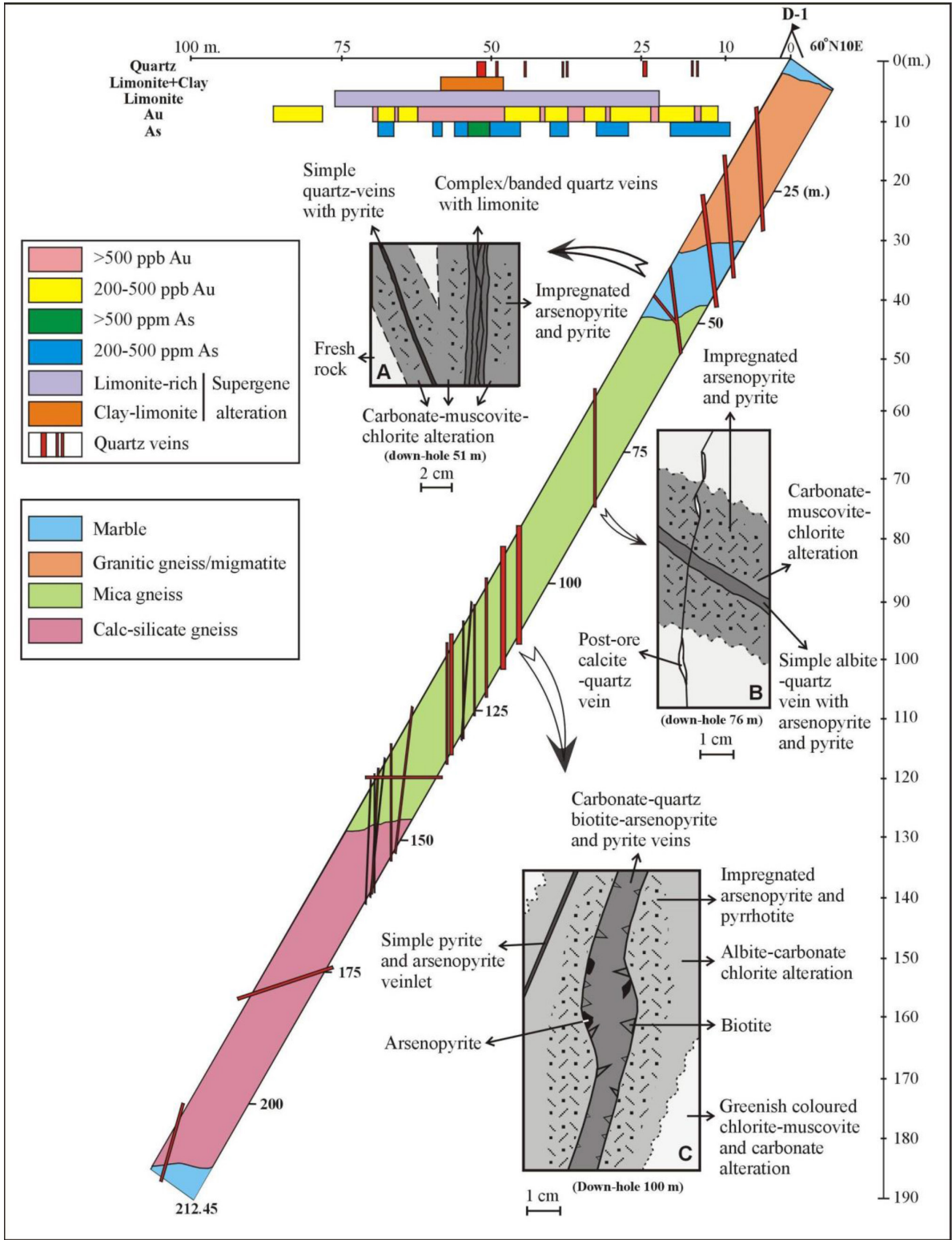


Figure 7. The distribution of gold-quartz veins that cut the metamorphic lithologies in drill core D-1. Data in the upper left side of the drill core is derived from surface trenches. The boxes lettered A, B and C show details from gold-quartz veins and surrounding alteration types detected in the drill core.

Şekil 7. D-1 sondaj karotlarında metamorfik birimleri kesen altınlı kuvar damarlarının dağılımları. Karotların üst sol tarafındaki veriler yüzeydeki hendeklerden elde edilmiştir. A, B ve C olarak isimlendirilmiş kutular karotlarda saptanmış altınlı kuvar damarları ve bunlarla ilişkili bozunma türlerine ait ayrıntıları göstermektedir.

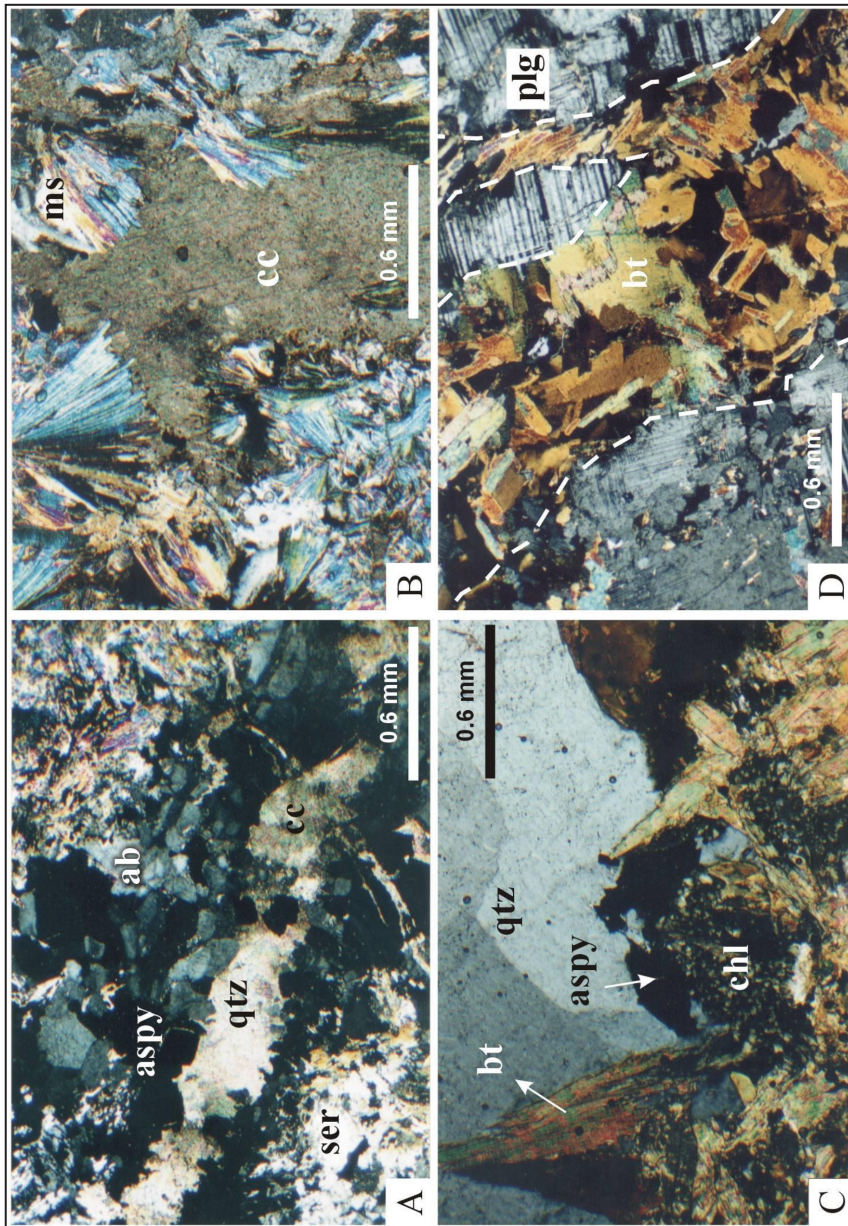


Figure 8. Gold-quartz veins and associated hydrothermal wall-rock alteration features in thin sections. A) Quartz-carbonate veins with albite and arsenopyrite selvages in intensely sericitised and chloritised migmatitic host rock, ab: albite; aspy: arsenopyrite; cc: calcite; qtz: quartz; ser: sericite (drill core D1, down-hole depth 76 m); B) Pervasively carbonatized and sericitised migmatitic host rock, cc: calcite; ms: muscovite (drill core D1, down-hole depth 80 m); C) Quartz-biotite-chlorite-arsenopyrite vein. The vein consists of a quartz core and biotite-chlorite and arsenopyrite selvages. Biotites grown from the wall towards the center of the vein, aspy: arsenopyrite; bt: biotite; chl: chlorite; qtz: quartz (drill core D1, down-hole depth 100m); D) Biotite vein that cuts plagioclases of amphibolite interlayers in mica gneiss, bt: biotite; plg: plagioclase (drill core D1, down-hole depth 140m).

Şekil 8. Altınlı kuvars damarları ve damarlara eşlik eden hidrotermal yan kayaç alterasyonlarının incekesit görünümleri. A) Yaygın olarak serizitleşmiş ve kloritleşmiş migmatitik yan kayaç içinde albit ve arsenopirit kenar zonlu kuvars-karbonat damarları. ab: albit; aspy: arsenopirit; cc: kalsit; qtz: kuvars; se: serizit (D-1 sondaj karotları, yüzeyden derinliği 76 metre); B) Yaygın olarak karbonatlaşmış ve serizitleşmiş migmatitik yan kayaç; cc: kalsit; ms: muskovit (D-1 sondaj karotları, yüzeyden derinliği 80 metre); C) Kuvars-biyotit-klorit-arsenopirit damarı. Damarın içi kuvars, kenarları biyotit-klorit ve arsenopiritten oluşmuştur. Biyotitler damarın kenarından merkezine doğru büyümüşlerdir. aspy: arsenopirit; bt: biyotit; chl: klorit; qtz: kuvars (D-1 sondaj karotları, yüzeyden derinliği 100 m); D) Mika gnaysın amfibolit katmanlarındaki plajiyoklazları kesen biyotit damarı; bt: biyotit; plg: plajiyoklaz. (D-1 sondaj karotları, yüzeyden derinliği 140 m).



The distal alteration assemblage is chlorite, sericite and calcite. Boundaries between proximal and distal alteration zones may be sharp or gradational over centimetres to decimetres. The hydrothermal mineral assemblages vary with depth (Fig. 7). Proximal alteration in the upper part is marked by light white-yellow and brownish colours, indicating sericitisation and silicification. In the deeper part of the vein system, the main proximal alteration minerals are quartz, biotite, muscovite, albite, chlorite, calcite and epidote (Fig. 7, Fig. 8A, B, C and D). Quartz, biotite and albite occur as both veinlets and irregular aggregates in metamorphic rocks whereas muscovite, chlorite and calcite in distal alteration zones mainly replace feldspar in the wallrock and occur as aggregates (Fig. 8A, B). Proximal alteration haloes around quartz veins also contain disseminated arsenopyrite, pyrite and pyrrhotite (Fig. 7). The muscovite + albite paragenesis of the alteration zones suggests that the quartz veins have formed from fluids of approximately neutral pH (McCuaig and Kerric 1994). Opaque mineral assemblages within the quartz veins reflect greenschist- to amphibolite-facies conditions. According to McCuaig and Kerric (1994), the pyrite  $\pm$  arsenopyrite  $\pm$  stibnite  $\pm$  pyrrhotite paragenesis characterises subgreenschist- to low-amphibolite-facies conditions, whereas the loellingite  $\pm$  arsenopyrite  $\pm$  magnetite  $\pm$  ilmenite  $\pm$  pyrrhotite assemblage is typical of amphibolite-granulite-facies conditions. The variation of hydrothermal mineral assemblages with depth suggests changing pressure and temperature conditions with depth or lateral proximity to the granitic core of the granite-migmatite dome.

### Fluid inclusions

Studies of fluid inclusions in quartz hosted by different types of veins revealed complex phase assemblages of the trapped fluids. Primary depositional features of the quartz are generally destroyed. They typically contain abundant secondary and pseudo-secondary fluid inclusions along intergranular and transgranular fractures. Primary fluid inclusions show heterogeneous entrapment features. The same sample contains both vapour-rich and liquid-rich primary inclusions with very different liquid/vapour ratios. Their shapes are also highly variable; i.e., inclusions with regular forms are mostly liquid fluid-rich and coexist with more rounded gas-rich inclusions. The size of inclusions varies between 5  $\mu\text{m}$  and 70  $\mu\text{m}$ . The homogenisation temperatures of the primary fluid

inclusions from discordant quartz veins have a wide range (160°C to above 400°C), whereas quartz samples from foliation-parallel veins give a slightly more restricted homogenisation temperature range, from 220°C to well above 400°C. The fluid inclusions are generally rich in carbon dioxide and also have high salinities. The salinity of the studied fluid inclusions is between 20% and 33% NaCl equivalent (Sezerer-Kuru and Genç 2003).

### Discussion and Conclusions

Temporal relationships between vein formation and geological events

According to the geological and structural evidence presented here, the Savcılı gold-quartz veins are epigenetic and structurally controlled by E-W-trending vertical tensional fractures. The veins cut across all rock types except the Middle Eocene sediments. Pegmatitic quartz-feldspar veins and auriferous quartz veins formed at different structural levels and may have different ages of formation within the context of granite-migmatite doming. Pegmatitic barren quartz-feldspar veins are hosted by migmatite close to the granite core and are spatially related to aplite dykes. Gold-bearing quartz veins cut across the foliation and bedding of the schists and gneisses that were folded during the granite-migmatite doming. To the west, gold-quartz veins also cut progressively higher-grade rocks towards the migmatite core. This veining post-dates metamorphism and ductile deformations of Late Cretaceous age. Erkan and Ataman (1981) reported  $69 \pm 1.7$  and  $69.7 \pm 1.6$  Ma K-Ar ages on biotite in metamorphic rocks of the Kırşehir region; these ages record the cooling of the metamorphic rocks to  $<350^\circ\text{C}$  and provide a minimum age for metamorphic deformation, and also a maximum age for brittle deformation and/or vein formation. The presence of blocks of quartz-vein material in the basal conglomerate of the Lutetian sediments suggests that the veins are older than Lutetian (40-46 Ma, ICS, 2004). These ages are also in agreement with fission-track ages (40 and 47 Ma: Fayon et al. 1999) of the granites, which give the age of the granites' exhumation to near the surface. Thus, the hydrothermal event associated with mineralisation took place between Late Cretaceous (Maastrichtian) and Lutetian, during the latest, brittle stages of doming and exhumation of the metamorphic rocks of the Kırşehir Metamorphic Core Complex. This also suggests that gold-quartz veins were formed by a long-

lived hydrothermal system of crustal scale. Without radiometric age data, it is not possible to give a better estimate for the duration of vein formation. Similar long-lived hydrothermal systems are also reported in the northwestern Alps and in the Variscan belt of Western Europe (Pettke et al. 1999 and 2000; Bouchot et al. 2000; Boiron et al. 2003). According to Pettke et al. (1999 and 2000), the ore-bearing fluid was produced by a 20 m.y. history of prograde metamorphic devolatilisation of calc-schists at depth. On the other hand, for the Variscan Au, Sb, W orogenic deposits in the French Massif Central, Bouchot et al. (2000) and Bellot et al. (2003) gave a duration of 5 Ma for the Au-W-Sb “metalliferous peak”.

### Conditions of gold-quartz vein formation

Sharp contacts with host rocks and the small extent of metasomatism in the wall rocks indicate that fluid/rock ratio was low during vein formation, and fluids appear to have migrated slowly. The banded and brecciated nature of some quartz veins suggests multiple fluid events. On the other hand, alteration mineral parageneses reveal that quartz veins have formed at different structural levels and pressure-temperature conditions. According to McCuaig and Kerric (1994), in granitoid host rocks, the quartz-albite-muscovite-chlorite paragenesis characterises sub- to mid-greenschist-facies conditions and shallower formation depths (225 - 400°C, <1 - 3 kbar and <5 to 10 km), whereas the occurrence of biotite in the paragenesis indicates higher pressure-temperature and depth conditions (375 - 550°C, 2 - 4 kbar, 7 - 14 km, greenschist-amphibolite transition). Mono- or biminerally altered selvages (Fig. 8 A, C) adjacent to the veins are indicative of formation within an open hydrothermal system. Homogenisation temperatures of fluid inclusions give a wide temperature of formation range, from 160°C to well above 400°C for quartz veins. Based on fluid-inclusion data, these temperature conditions – which are lower than those of the amphibolite facies – appear to have developed during the last stages of doming or the waning stages of regional metamorphism. Discordant quartz veins in the migmatite and gneiss units suggest that vein emplacement must have taken place under retrograde, brittle conditions in a near-surface environment above the brittle-ductile transition zone. Such a situation is possible after shallowing of the high-grade metamorphic rocks and migmatites through migmatite doming and/or post-orogenic granitoid emplacement, during brittle fracturing at shallow

crustal depths (Fig. 9).

According to structural and petrographic data given in this study, the initiation of granite-migmatite doming was synchronous with low pressure-high temperature metamorphism in the region. The age of metamorphism in the Kırşehir Massif is interpreted from K/Ar biotite and hornblende ages to have been between  $69.7 \pm 1.6$  and  $74.2 \pm 2.7$  Ma (Erkan and Ataman 1981). These data were interpreted by those authors as the emplacement and cooling ages of the granitoids. Similarly, in the Niğde region, exhumation of sillimanite-zone metamorphic rocks and plutons to shallower depths (<12 km) occurred between 78 to 74 Ma (Whitney et al. 2003). Ascent and emplacement of the granitoid-migmatite dome may have developed partly through ductile remobilization of the migmatitic lower part of the metamorphic pile and partly through emplacement of successive generations of hornblende granite and microgranite derived by melting of the lower crust (Fig. 9A, B). Blocks of high-grade metamorphic rocks and deformation structures within metatexite, and the orientation of enclaves parallel to the general flow structure within diatexite, apparently represent a flow pattern due to upward migration of the migmatites (Figs. 5 and 10). Migmatites may have formed at different depths. Under normal geothermal gradients (30 - 40°C/km), migmatite formation can occur at depths of about 15 - 25 km. During metamorphism, the geothermal gradient, however, may be higher than normal (50 - 150°C/km), and migmatite formation can occur at about 4 - 10 km below the surface (Mehnert, 1968). High-grade metamorphic rocks and granitoids imply a high thermal gradient in the Kırşehir region. Accordingly, migmatitisation in the Savcılıbeyit area may have occurred at shallower depths – at less than 10 km. Active shallow Curie point depths (8-10 km) in central Anatolia (Genç and Yürür 2010) also support this conclusion. The cause of the asymmetry and southeastward tilting of the dome may have been due to movements on the Kaman detachment fault. Tilting of the dome may have been responsible for the southeastward overturning of the metamorphic sequence and the opening of tension fractures later filled by gold-quartz veins (Fig. 9B, C).

### The origin of fluids

The origin of the fluids responsible for the formation of gold-quartz veins in high-grade metamorphic rocks has long been debated. Different sources have

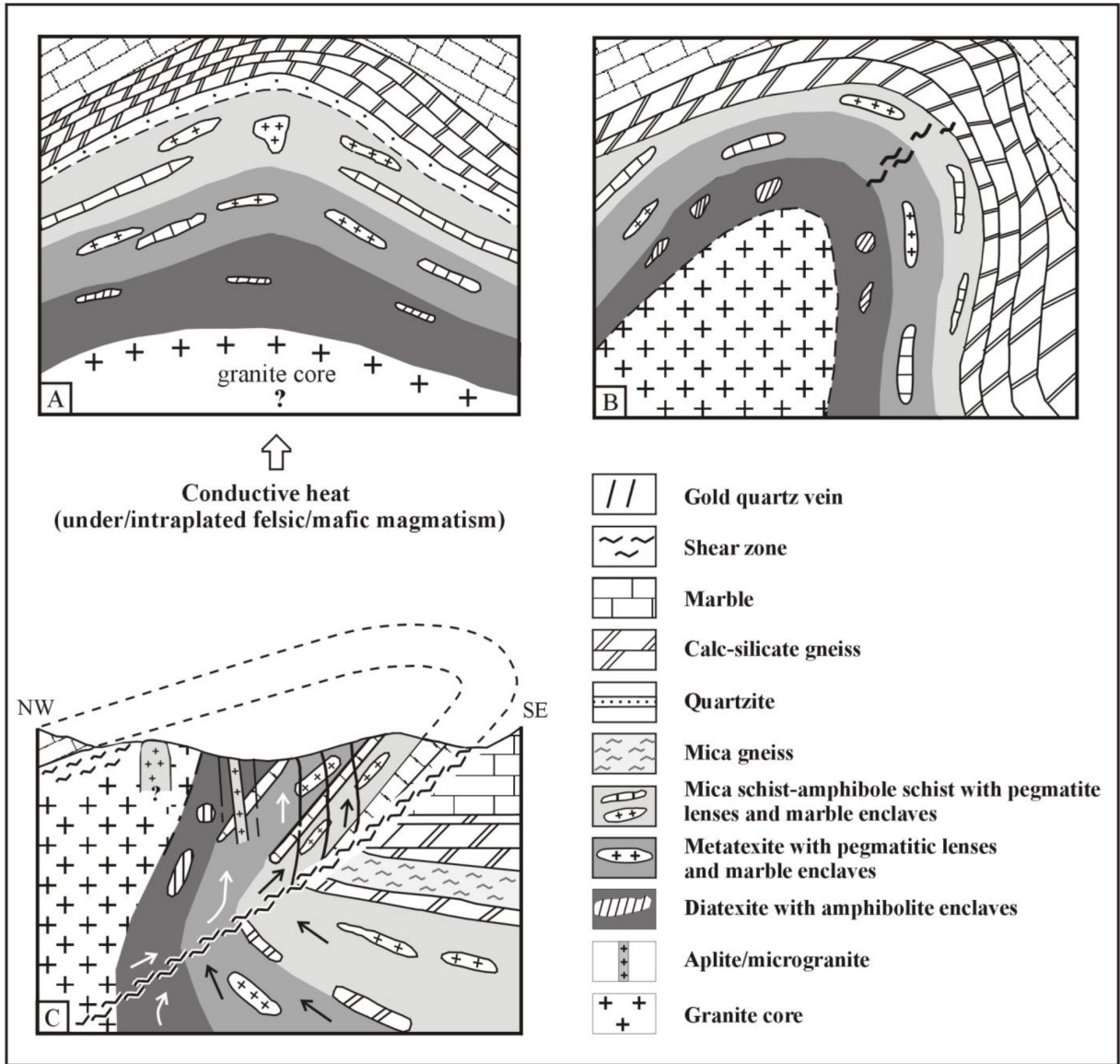


Figure 9. A schematized scenario (not to scale) for the evolution of granite-migmatite doming and quartz veining in the Savcılıbeyit area. A) Prograde metamorphism and partial melting of the lower part of the metamorphic sequence by heat input during late Cretaceous underplating felsic/mafic magmatism. B) Wide-spread partial melting triggered the ascent of the granite-migmatite dome. C) Tilting and emplacement of the dome, formation of tension fractures in the upper part of the dome and filling of these fractures later with gold-quartz veins.

Şekil 9. Savcılıbeyit alanındaki granit-migmatit domu ve kuvars damarlarının oluşumunun evrimini gösteren ölçeksiz şematik senaryo. A) İlerleyen metamorfizma ve Geç Kretase'de felsik/mafik magmatizmadan gelen ısı ile metamorfik istifin alt kesiminin kısmi ergimesi. B) Granit-migmatit domunun yükselmesini tetikleyen geniş yayımlı kısmi ergime. C) Domun eğim kazanması ve yerleşmesi, domun üst kısmında açılma çatlaklarının oluşumu ve daha sonra bu çatlakların altınlı kuvars damarları ile dolması.

been proposed for the fluids, such as magmatic, metamorphic and upper-mantle degassing, and/or lower crust granulitisation (Bennett and Barker 1992; Yardley and Bottrel 1992; Groves 1993; Munz et al. 1995; Robert 1995; Boiron et al. 1996; Bierlein et

al. 1998; Goldfarb et al. 1998; Stüve 1998; Eilu et al. 1999; Gleeson et al. 2003; Groves et al. 2003). For some regions, the role of meteoric waters penetrating to deeper parts of the crust through detachment faults has also been considered important (Munz et

al. 1995; Robert 1995).

For the Savcılıbeyit area, the origin of the gold-quartz vein-forming fluids is as yet uncertain. The close temporal and spatial association of migmatite and post-orogenic granitoids with gold-quartz veins suggests that fluids may have been both of magmatic or metamorphic origin. However, in the literature, highly saline and CO<sub>2</sub>-rich fluid inclusions characteristic of the Savcılı area are generally accepted as a sign of mantle degassing or lower-crust granulitisation (Fyon et al. 1984; Cameron 1988). Alternatively, saline-H<sub>2</sub>O fluids are accepted as representing saline brines that have, through time, percolated down through metamorphic rocks, or as deeply sourced fluids that were trapped during post-peak metamorphism (Guha and Kanwar 1987; Bennett and Barker 1992; Hagemann and Ridley 1993).

Moderately to highly saline ore-forming brines are also detected in iron-oxide copper (gold) deposits (Hitzman 2000; Pollard 2000 and 2001). However, these deposits display extensive sodic alteration, comprising albite, magnetite, chlorite, or actinolite, usually associated with scapolite, haematite, epidote, calcite and titanite (Haynes 2000). Neither alteration types nor ore-mineral content of the Savcılı gold-quartz veins are similar to those of iron-oxide copper (gold) systems. The cause of the high salinity of ore-forming fluids in the Savcılı area could be metaevaporitic intercalations within calc-silicate gneisses, surface saline-water sources, or interaction of hydrothermal fluids with anhydrous rocks. The existence of metaevaporitic intercalations within the Kırşehir massif was reported by Genç (2001). On the other hand, recent deep drilling and isotope studies have documented the presence of highly saline fluids (up to 40 wt% NaCl equivalent) in basement rocks at depths of up to 10 km (Möller et al. 1997; Smith et al. 1998; Stober and Bucher 1999; Gleeson et al. 2003). In accordance with this documentation, Mullis et al. (1994) reported CO<sub>2</sub>-rich continental fluids from the Central Alps and concluded that the CO<sub>2</sub> component was derived from the oxidation of graphitic matter – especially in the vicinity of sulfate-bearing metasediments – and from decarbonation reactions.

Observations of drill cores reveal that, in the deeper part of the section at Savcılıbeyit, wollastonite-rich calc-silicate gneisses are abundant. According to Bucher and Frey (1994), wollastonite-rich rocks do not form in regional metamorphic settings under

closed-system conditions; they may only form by interaction of a carbonate-rich source rock with a foreign, externally derived H<sub>2</sub>O-rich fluid. These fluids may be released during partial melting of pelitic rocks lying in the deeper part of the metamorphic pile. Under these conditions, calcite and quartz may react and produce wollastonite and release CO<sub>2</sub> gas. This consideration suggests that CO<sub>2</sub>-rich fluid inclusions in the Savcılıbeyit quartz veins were mainly metamorphic in origin. A similar conclusion is given by Pettke et al. (1999 and 2000) for the northwestern Alps. According to those authors, metamorphic devolatilisation of Mesozoic calc-schists is the main source of ore-forming fluids. This conclusion further suggests that higher temperature conditions in the deeper part of the crust caused partial melting and released metamorphic fluids, while metamorphic rocks exhumed to shallower levels are on their retrograde path. These fluids precipitated the post-metamorphic gold-quartz veins in the cooling rocks. Heterogeneous entrapment features, such as the presence of liquid-rich inclusions in addition to inclusions having highly variable liquid/vapour ratios, and vapour-rich inclusions in the same sample, and the wide range of homogenisation temperatures of the fluid inclusions, suggest that mixing of hot metamorphic fluids with cold, surface-derived, oxidised waters is also an important factor for gold enrichment in the quartz veins.

Consistently higher gold contents of veins near the surface may be explained through secondary enrichments caused by supergene alteration. The spatial and temporal distribution of supergene alteration zones and the absence of abundant hydrothermal quartz within the secondary alteration suggest that oxidising, limonite- and haematite-forming fluids in the Savcılı area did flow downward. The invoked fluid source is the overlying Lutetian sediments. These fluids have used the preexisting fractures and surfaces, hence, mostly affected the upper part of the quartz veins and surrounding host rocks.

In conclusion, Savcılı gold-quartz veins have many similarities to orogenic gold deposits of the Alpine and Variscan collisional belts in terms of metal associations, wall-rock alteration assemblages, mineralogy, formation conditions and structural control. The known Sb-Hg-W ( $\pm$  Au) deposits of the Niğde region and the newly discovered gold mineralizations of the Kırşehir, Kayseri and Nevşehir regions suggest that the extensional tectonics and granite-migmatite



dome structures of central Anatolia constitute a favorable geological environment for orogenic gold deposits. The existence of gold deposits in similar metamorphic and tectonic environments of the Alpine and Variscan belts indicates that future discoveries in central Anatolia are likely to be of economic significance. Further field investigations are necessary to better understand the extent and mode of formation of these gold enrichments.

### Acknowledgements

The field work for this study would not have been possible without the assistance of Halil Türkmen and generous support from the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA). This research was supported by Research Funds of the Hacettepe University (Project no: 0601602004). We are thankful to reviewers Dr. Ahmet GÖKÇE and Dr. Mehmet ŞENER for their constructive remarks to improve the manuscript.

### REFERENCES

- Akçay M., 1994. Genesis of the stibnite-cinnabar-scheelite deposits of the Gümüşler area, Niğde, central Turkey and implications for their gold potential. Ph.D thesis, University of Leicester, 241pp. (unpublished).
- Ataman G. 1972. Etude préliminaire sur l'âge radiométrique de Cefalıkdağ massif, l'un des massifs granitique-granodioritique au sud-est d'Ankara. Hacettepe Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2(1): 44-49 (in Turkish with French abstract).
- Aydın SN. and Önen AP., 1999. Field, petrographic and geochemical features of the Baranadağ quartz monzonite of the Central Anatolian Granitoids, Turkey. *Turk. J. Earth Sci.* 8: 113-123.
- Ayan M., 1963. Contribution à l'étude petrographique et géologique de la region située au Nord-Est de Kaman. MTA publ. 115: 332 pp.
- Bellot JP, Lerouge C, Bailly L and Bouchot V., 2003. The Biards Sb-Au-bearing shear zone (Massif Central, France): an indicator of crustal-scale transcurrent tectonic guiding Late Variscan collapse. *Economic Geology* 98: 1427-1447.
- Bennett DG and Barker AJ., 1992. High salinity fluids: The results of retrograde metamorphism in thrust zones. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56: 81-95.
- Bierlein FP, Fuller T, Stüwe K, Arne DC and Keays RR., 1998. Wallrock alteration associated with turbidite-hosted gold deposits. Examples from the Palaeozoic Lachlan Fold Belt in central Victoria, Australia. *Ore Geology Reviews* 13: 345-380.
- Boiron MC, Cathelineau M, Banks DA, Yardley BWD, Noronha F, Miller FM., 1996. P-T-X conditions of late Hercynian fluid penetration and the origin of granite-hosted gold quartz veins in northwestern Iberia: A multidisciplinary study of fluid inclusions and their chemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60: 43-57.
- Boiron MC., Cathelineau M., Banks DA., Fourcade S., Vallance J., 2003. Mixing of metamorphic and surficial fluids during the uplift of the Hercynian upper crust: consequences for gold deposition. *Chemical Geology* 194: 119-141.
- Bouchot V, Milesi JP and Ledru P., 2000. Crustal-scale hydrothermal palaeofield and related variscan Au, Sb, W orogenic deposits at 310-305 Ma (French Massif Central, Variscan Belt). *SGA News* 10: 1-12.
- Brinkmann R., 1971. Das kristalline Grundgebirge von Anatolien. *Geologische Rundschau* 60: 886-899.
- Brinkmann R., 1976. *Geology of Turkey*. Elsevier, Amsterdam, 158 pp.
- Bucher K and Frey M., 1994. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer, Heidelberg, 318 pp.
- Cameron EM., 1988. Archean gold: Relation to granulite formation and redox zoning in the crust. *Geology* 16: 109-112.
- Coşkun Delibaş E and Genç Y., 2004. Terziali-Çayağzı (Kırşehir) gold mineralization: initial findings of saprolitic gold enrichments in Kırşehir Massif. *Yerbilimleri* 30: 23-33 (in Turkish with English abstract).
- Eilu PK, Mathison CI, Groves DI and Allardye WJ., 1999. Atlas of alteration assemblages, styles and zoning in orogenic lode-gold deposits in a variety of host rock and metamorphic



- setting, Geology and Geophysics Department (Centre for Strategic Mineral Deposits) and UWA Extension, The University of Western Australia Publication 30: 50pp.
- Erkan Y., 1976. Isograds determined in the regional metamorphic area surrounding Kırşehir and their petrological interpretation. *Yerbilimleri* 2(1): 23-54 (in Turkish with English abstract).
- Erkan Y., 1980. A study on regional metamorphism of northeastern part of Central Anatolian Massif (Akdağmadeni, Yozgat). *Bulletin of the Geological Society of Turkey* 23: 213-218 (in Turkish with English abstract).
- Erkan Y and Ataman G., 1981. A study on the age of metamorphism of Central Anatolian Massif (Kırşehir region) by K-Ar method. *Yerbilimleri* 8: 27-30 (in Turkish with English abstract).
- Fayon AK, Whitney DL and Dilek Y., 1999. Constraints on the transition from Alpine crustal thickening to extension in central Anatolia. *EOS* 80, 1066.
- Fyon JA, Crocket JH and Schwarcz HP., 1984. The Carshaw and Malga iron-formation- hosted gold deposits of the Timmins area. In: Colvine AC (ed.) *The Geology of Gold in Ontario*. Ontario Geological Survey Miscellaneous Paper 110: 98-110.
- Genç Y., 2001. The metamorphic textures and structures in the Başçatak (Akdağmadeni-Yozgat) Zn-Pb-Cu sulphide deposit, 54th Geological Congress of Turkey, Proceedings CD, 54-51 (in Turkish with English abstract).
- Genç Y and Türkmen H., 2002. Gold-quartz veins in Kırşehir Metamorphic Massif, 55th Geological Congress of Turkey, Abstracts Book, 102-103.
- Genç Y., 2003. New observations on the metamorphic stratigraphy of the Kırşehir Massif, 56th Geological Congress of Turkey, Extended Abstracts Book, 55-56.
- Genç Y, Türkmen H, Coşkun E, Çamaşircioğlu A, Aydınlı I and Demiray B., 2003. Çayağzı-Terziali (Kırşehir) gold mineralization: the first example of unconformity-related gold mineralisations in the Kırşehir Metamorphic Massif, 56th Geological Congress of Turkey, Extended Abstracts Book, 120-121.
- Genç Y, Vennemann TW and Satir M., 2003a. Carbon, oxygen and hydrogen isotope evidence for the origin of the sediment hosted Pöhrenk (Çiçekdağı-Kırşehir-central Anatolia) fluorite deposit, Turkey. In: Eliopoulos et al (eds), *Mineral Exploration and Sustainable Development, Proceedings vol. 2: 871-874*. 7th Biennial SGA Meeting, Athens, Greece, 24-28 August 2003.
- Genç Y., 2004. Savcılı migmatite-dome hosted gold-quartz veins in Kırşehir Metamorphic Core Complex (KMCC), central Anatolia, Turkey. In: Chatzipetros AA and Pavlides SB (eds.), *Proceedings vol. 3: 1394-1397*. 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, Greece, 14-20 April 2004.
- Genç Y and Yürür T., 2004. The Kırşehir detachment faulting and a new interpretation of the "Savcılı Thrust Zone" in central Anatolia, Turkey. In: Chatzipetros AA and Pavlides SB (eds.) *Proceedings, vol. 1: 73-76*. 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, Greece, 14-20 April 2004.
- Genç Y and Yürür T., 2010. Coeval extension and compression in Late Mesozoic–Recent thin-skinned extensional tectonics in central Anatolia, Turkey. *Journal of Structural Geology* 32 (5), 623–640.
- Geven A., 1992. Mineralogy, Petrography and Geochemistry of Cefalıkdağ Plutonic Rocks (Kaman region-Central Anatolia). Ph.D. thesis, Middle East Technical University, 165 pp. (unpublished).
- Gleeson SA, Yardley BWD, Munz IA and Boyle AJ., 2003. Infiltration of basinal fluids into high-grade basement, south Norway: sources and behaviour of waters and brines, *Geofluids* 3: 33-48.
- Goldfarb RJ, Phillips GN and Nokleberg WJ ., 1998. Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim, *Ore Geology Reviews* 13: 185-218.
- Göncüoğlu MC., 1986. Geochronological age data from the southern part of the central Anatolia Massif. *Bulletin of Mineral Research and Exploration Institute of Turkey* 105/106: 111-124 (in Turkish).
- Göncüoğlu MC, Toprak V, Kuşçu İ, Erler A and Olgun E., 1991. The geology of the western part of

- the central Anatolia Massif, chapter 1: Southern part. National Oil and Gas Company of Turkey, Report No: 2909, 140pp (in Turkish with English abstract).
- Groves DI., 1993. The crustal continuum model for late-Archean lode gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia. *Mineralium Deposita* 28: 366-374.
- Groves DI, Goldfarb RJ, Gebre-Mariam M, Hagemann SG and Robert F., 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews* 13: 7-27.
- Groves DI, Goldfarb RJ, Robert F and Hart CJR., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic Geology* 98: 1-29.
- Guha J and Kanwar R., 1987. Vug brines – fluid inclusions: a key to understanding of secondary gold enrichment processes and the evolution of deep brines in the Canadian Shield. In: Fritz P and Frape SK (eds) *Saline Water and Gases in the Crystalline Rocks*. Geological Association of Canada Special Paper 33: 95-101.
- Haynes DW., 2000. Iron Oxide Copper (-Gold) Deposits: Their Position in the Ore Deposit Spectrum and Modes of Origin. In: Porter TM (ed.) *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective*, Australian Mineral Foundation, Adelaide, 71-90.
- Hagemann SG and Ridley JR., 1993. Hydrothermal fluids in epi- and katazonal crustal levels in the Archean: implications for P-T-X-t evolution of lode-gold mineralisation. In: Williams PR and Haldane JA (eds) *Kalgoorlie '93: An International Conference on Crustal Evolution, Metallogeny and Exploration of the Eastern Goldfields*: Australian Geological Survey Organisation, Record 1993/54: 123-130.
- Hitzman MW., 2000. Iron oxide-Cu-Au deposits: what, where, when, and why. In: Porter TM (ed.) *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective*. Australian Mineral Foundation, Adelaide: 9-25
- ICS., 2004. International Commission on Stratigraphy: 2004: International Stratigraphic Chart.
- İlbeyli N, Pearce JA, Thirlwall MF and Mitchell JG., 2004. Petrogenesis of collision-related plutonics in central Anatolia, Turkey. *Lithos* 72(3-4): 163-182.
- Kadioğlu YK., Dilek Y., Güleç N. and Foland KA., 2003. Tectonomagmatic evolution of bimodal plutons in the Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. *Journal of Geology* 111: 671-690.
- Ketin İ., 1955) On the geology of Yozgat region and the tectonic features of the Central Anatolian Massif (Kırşehir Crystallines). *Bulletin of the Geological Society of Turkey* VI (1): 1-20 (in Turkish with English abstract).
- Ketin İ., 1966. Tectonic units of Anatolia (Asia Minor). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey* 66 (foreign edition): 23-34.
- McCuaig TC. and Kerric R., 1994. P-T-t deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: Evidence from alteration systematics. In: Lentz DR (ed.) *Alteration and Alteration Processes associated with Ore-Forming Systems*. Geological Association of Canada, Short Course Notes 11: 339-379.
- Mehnert KR., 1968. *Migmatites and the origin of granitic rocks*. Elsevier, New York, 393pp.
- Möller P, Weise SM, Althaus E, Bach W, Behr HJ, Borchardt R, Bräuer K, Drescher J, Erzinger J, Faber E, Hansen BT, Horn EE, Heunges E, Kämpf H, Kessels W, Kirsten T, Landwehr D, Lodemann M, Machon L, Pekdeğer A, Pielow H-U, Reutel C, Simon K, Walther J, Winlich FH, Zimmer M., 1997. Paleofluids and recent fluids in the upper continental crust: results from the German Continental Deep Drilling Program (KTB). *Journal of Geophysical Research* 102, B18233-18254.
- MTA., 2002. Geological maps of Turkey, 1/500,000 scale, Ankara sheet, MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration), Ankara.
- Mullis J, Dubessy J, Poty B, and O'Neil J., 1994. Fluid regimes during late stages of continental collision: Physical, chemical, and stable

- isotope measurements of fluid inclusions in fissure quartz from a geotraverse through the Central Alps, Switzerland. *Geochemica et Cosmochimica Acta* 58/10, 2239-2267.
- Munz IA, Yardley BWD, Banks DA and Wayne D., 1995. Deep penetration of sedimentary fluids in basement rocks from southern Norway: evidence from hydrocarbon and brine inclusions in quartz veins. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59(2): 239-254.
- Özcan A. and Çağatay MN., 1989. Tungsten exploration in semiarid environment: Central Anatolian Massif, Turkey. *Journal of Geochemical Exploration* 31, 185-199.
- Özer S. and Göncüoğlu MC., 1983. Interesting mineral parageneses from the eastern part (Akdağmadeni-Yıldızeli) of the Central Anatolian Massif. *Bulletin of Mineral Research and Exploration Institute of Turkey* 95/96: 173-174 (in Turkish).
- Pehlivan AN. and Alpan T., 1986. The preliminary report on gold, tin and heavy mineral explorations in Niğde Massif. MTA report, Ankara (in Turkish).
- Pettke T., Diamond LW. and Villa IM., 1999. Mesothermal gold veins and metamorphic devolatilization in the NW Alps: the temporal link. *Geology* 27: 641-644.
- Pettke T., Diamond LW. and Kramers JD., 2000. Mesothermal gold lodes in the north-western Alps: a review of genetic constraints from radiogenic isotopes. *Eur. J. Mineral.* 12: 213-230.
- Pollak A., 1958. Über einige geologische Beobachtungen im zentral-anatolischen Massiv. *Notizbl. Hess. Landesamt Bodenforschung* 87: 239-245.
- Pollard PJ., 2000. Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-oxide Cu-Au mineralization. In: Porter TM (ed.) *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: a Global Perspective*. Australian Mineral Foundation, Adelaide: 27-41
- Pollard PJ., 2001. Sodic (-calcic) alteration in Fe-oxide-Cu-Au districts: an origin via unmixing of magmatic  $H_2O-CO_2-NaCl \pm CaCl_2-KCl$  fluids. *Mineralium Deposita* 36: 93-100.
- Robert ., 1995) Gold-quartz veins in metamorphic terranes and their bearing on the role of fluids in faulting. *Journal of Geophysical Research* 100-B7: 12861-12879.
- Seymen I., 1981. Stratigraphy and metamorphism of the Kırşehir Massif around Kaman (Kırşehir-Turkey). *Geological Society of Turkey Bulletin* 24(2): 101-108 (in Turkish with English abstract).
- Seymen., 1982. Geology of Kırşehir Massif around Kaman. ITU Min.Fac. Istanbul, 164pp. (unpublished Thesis, in Turkish with English abstract).
- Seymen I., 1984. Geological evolution of the metamorphic rocks in the Kırşehir Massif. *Türkiye Jeoloji Kurumu, Ketin Symposium Book*, 133-148 (in Turkish with English abstract).
- Seymen I., 2000. Geology of the Kırşehir Massif between Savcılıbeyit (Kaman) and Yeşilli (Kırşehir) villages. *Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi, Bildiriler Kitabı I*, MTA-Ankara, 67-91 (in Turkish with English abstract).
- Sezerer-Kuru G. and Genç Y., 2003. Fluid inclusion studies in the gold bearing quartz veins in Savcılıbeyit (Kaman-Kırşehir) Region. 56<sup>th</sup> Geological Congress of Turkey, Extended Abstract Book, pp 92.
- Smith MP., Savary V., Yardley BWD., Valley JW., Royer JJ. and Dubois M ., 1998. The evolution of the deep flow regime at Soultz-sous-Forêts, Rhine Graben, Eastern France: evidence from a composite quartz vein. *Journal of Geophysical Research* 103, 27223-27237.
- Stober I. and Bucher K ., 1999. Deep groundwater in the crystalline basement of the Black Forest region. *Applied Geochemistry* 14, 237-254.
- Stüwe K ., 1998. Tectonic constraints on the timing relationships of metamorphism, fluid production and gold-bearing quartz vein emplacement. *Ore Geology Reviews* 13: 219-228.
- Tolluoğlu Ü., 1986. Petrographical and petroctectonic investigations in the southwestern part of the Central Anatolia Massif, Kırşehir region. Ph.D. thesis, Hacettepe University, Ankara. 237pp. (in Turkish with English abstract, unpublished).
- Tolluoğlu Ü. and Erkan Y., 1989. Regional progressive metamorphism in the central Anatolian



- crystalline basement, NW Kırşehir Massif, Turkey. METU Journal of Pure and Applied Sciences 22(3): 19-41.
- Tülümen E., 1980. The petrographic and metallogenic investigation of the Akdağmadeni region. Ph.D thesis, Karadeniz Technical University, 157pp (in Turkish with English abstract, unpublished).
- Türkmen H., Demiray B., Karabalık N., Konya S., Yüce N., Çamaşircioğlu A. and Bilgin R., 2000. Geological map of the Savcılıbeyit gold mineralisation (unpublished data), MTA, Ankara.
- Whitney DL. and Dilek Y., 1998. Metamorphism during Alpine crustal thickening and extension in central Anatolia, Turkey: the Niğde metamorphic core complex. Journal of Petrology 39(70): 1385-1403.
- Whitney DL., Teyssier C., Dilek Y. and Fayon AK., 2001. Metamorphism of the Central Anatolian Crystalline complex, Turkey: influence of orogen-normal collision vs. wrench-dominated tectonics on P-T-t paths. Journal of Metamorphic Geology 19: 411-432.
- Whitney DL., Teyssier C., Fayon AK., Hamilton MA. and Heizler M., 2003. Tectonic controls on metamorphism, partial melting, and intrusion: timing and duration of regional metamorphism and magmatism in the Niğde Massif, Turkey. Tectonophysics 376: 37-60.
- Yardley BWD. and Bottrell SH., 1992. Silica mobility and fluid movement during metamorphism of the Connemara schists, Ireland. Journal of Metamorphic Geology 10: 453-464.

# Proses Mineralojisinin Flotasyon Tesis Performans Analizinde Kullanımı

## Use of Process Mineralogy for Flotation Plant Performance Analysis

İLKAY B. CAN\*<sup>1</sup>, ZAFİR EKMEKÇİ<sup>1</sup>, N. METİN CAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe – Ankara, Türkiye

Geliş (received) : 23 Ağustos (August) 2018

Kabul (accepted) : 24 Kasım (November) 2018

### ÖZ

Zenginleştirme tesislerinin tasarımı ve optimizasyonu çalışmalarında cevher yatağının mineralojisi çok önemli bir yere sahiptir. Zenginleştirme tesisinin farklı noktalarından alınan cevher örneklerine uygulanan detaylı mineralojik analizler sayesinde, zenginleştirme performansını sınırlayan ana etkenler ve performansın artırılabilmesi için yapılması gereken düzenlemeler hakkında yorum yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, altın içeren kompleks bakır-arsenikli sülfürlü cevherin işlendiği bir flotasyon tesisinin performansı detaylı kantitatif mineraloji verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Flotasyon tesisinin beslemesi, bakır ve pirit konsantreleri ve bakır süpürme artığı akışlarından numuneler alınarak kimyasal ve mineralojik analizler yapılmış, QemSCAN ile ayrıca konsantrelerdeki altının davranımı da incelenmiştir. Flotasyon beslemesinin mineralojik analiz sonuçları minerallerin serbestleşme derecesinin -45 µm'de ancak %60 seviyesine ulaştığını göstermiş, dolayısıyla daha ince tane boyuna öğütülen bir flotasyon beslemesiyle bakır veriminin artabileceği öngörülmüştür. Bakır konsantrisinin ise serbest pirit taneleriyle kirlendiği belirlenmiş, buna göre flotasyon işletme koşullarının da gözden geçirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Devrede bakır kaybı açısından en önemli akışın süpürme flotasyonu artığı olduğu ve bu kaybın özellikle en ince tane boyunda ve serbest formda olduğu belirlenmiştir. Cevherde bulunan altın tanelerinin ise daha çok nabit formda olduğu, %80'inin 20 µm'den küçük ve genellikle pirit ve enargit ile bağlı bulunduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sülfürlü mineraller, flotasyon, kantitatif mineralojik analiz, altın, serbestleşme.

### ABSTRACT

Mineralogy of the ore deposit has very great importance in the design and optimization of concentration plants. With detailed mineralogical analyzes applied to the ore samples taken from different points of the concentration plant, comments can be done on the main factors limiting the enrichment performance and the necessary arrangements to improve performance.

In this study, the performance of a flotation plant, treating complex copper-arsenic sulfide ore containing gold, was evaluated using detailed quantitative mineralogical data. Chemical and mineralogical analyzes were carried out by taking the samples from the flotation feed, copper and pyrite concentrates and copper scavenger tail streams, and the gold behavior in the concentrates was also examined by QemSCAN. Mineralogical analysis of the feed revealed that the liberation degree of minerals reached only 60% at -45 µm, so it is anticipated that the copper recovery could be increased by finer flotation feed. It was determined that the copper concentrate was diluted with free pyrite particles, and accordingly the flotation operating conditions had to be revised. The most important stream in terms of copper loss in the circuit was determined as the scavenger flotation tail, and that loss was particularly via finest size fraction and liberated form. It has been observed that the gold grains found in the ore are mostly in native form, 80% of which are smaller than 20 µm and are usually associated to pyrite and enargite.

Kuvars damarlardaki sıvı kapanımlarının homojenleşme sıcaklıkları 160° C'den 400° C'nin üzerinde geniş bir aralıkta dağılım göstermektedir. Sıvı kapanımları genelde karbon dioksitçe zengin olup yüksek tuz içeriklidirler (% 20-33 NaCl eşdeğeri).

Altınlı kuvars damarları, metal içeriği, yan kayaç alterasyonu, mineraloji, oluşum koşulları ve yapısal kontrol açısından orojenik altın yatakları ile benzer özelliklere sahiptir. Damarların migmatitlerle, yüksek dereceli metamorfik kayalar ve granitoidlerle olan mekânsal birlikteliği bunların oluşumunun Orta Anadolu'daki metamorfizma, yükselme ve/veya migmatitik domlaşma ve granitoid yerleşimi ile ilgili olduğunu ifade etmektedir.

**Keywords:** Sulphide minerals, flotation, quantitative mineralogical analysis, gold, liberation.

\* İ.B. Can

e-posta: ilkay@hacettepe.edu.tr

## GİRİŞ

Enargit ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ) ve tennantit ( $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ ) arsenik içeren bakır mineralleri olup genellikle kalkopirit ( $\text{Cu-FeS}_2$ ), kalkozin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) gibi diğer bakır sülfür mineralleriyle birlikte bulunurlar. Enargit ve tennantitin diğer bakır sülfürlü minerallerden palp potansiyelinin kontrolü gibi koşullarla seçimli olarak ayrılması yönünde çalışmalar olsa da (Fornasiero vd., 2001; Lotter vd. 2016) genellikle flotasyon davranımlarının benzer olması sebebiyle ayrılmaları zor ve ekonomik olmadığı için birlikte zenginleştirilirler (Plackowski vd., 2012). Enargit ve tennantit ile birlikte bulunan bakır sülfürlü cevherlerde altın içeriğine de sık rastlanılmakta, ancak bazen oluşum koşulları nedeniyle bu altın varlığına doğrudan liç yöntemleri uygulanamamaktadır. Bu durumda özellikle altının sülfürlü minerallerle olan birlikteliği mineralojik olarak tespit edildiğinde, zenginleştirme yöntemi olarak toplu flotasyon yöntemi tercih edilebilmektedir (Curreli vd., 2005; Cabri vd. 2005).

Enargit ve tennantit ile birlikte kalkopirit, bornit, digenit, kalkozin gibi diğer bakır minerallerini içeren sülfürlü cevherler mineral çeşitliliği nedeniyle genellikle "kompleks" olarak adlandırılmakta, bu minerallerin oluşum tane büyüklüğü ve cevher içindeki dağılımları da özellikle öğütme serbestleşme boyunun belirlenmesi ve daha efektif akım şeması geliştirme açısından oldukça önem taşımaktadır (Petruk, 2000; Tungpalan vd., 2015, Sutherland, 2007). Dolayısıyla mineral miktarını ifade eden modal mineraloji ve cevher yapı-dokusu jeolojik bilgiyi, cevhere uygun seçilen zenginleştirme yöntemi ise prosese ilişkin bilgiyi temsil etmektedir. Bu iki bilgi bir arada kullanıldığında üretim yönteminde elde edilecek ürünün verim ve tenörünü teorik olarak tahmin etmek mümkün olmaktadır (Lund vd., 2015). Mineralojik bilgilerin cevher yatağının tanımlanması, zenginleştirme işleminin tasarımı ve elde edilen konsantrelerin izabesi aşamalarında karşılaşılabilecek olası sorunların belirlenmesi ve çözüm önerilerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılması genel olarak proses ya da uygulamalı mineraloji olarak adlandırılmaktadır. Cevher hazırlama işlemlerinin verimliliği ise genellikle basit ve hızlı olması sebebiyle kimyasal analiz sonuçlarıyla kontrol edilmektedir. Ancak, kimyasal analizin mineral içeriğini her zaman doğru tanımlayamaması, yapı-doku ve serbestleşmeye ait bilgi içermemesi nedeniyle cevher hazırlama süreçlerinin yorumlanmasında yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu nedenle proses mineraloji verileri, özellikle tesis işleyişini kararlı tutmak, üretim

sırasında meydana gelebilecek olası değişikliklerin etkilerini ve hatta uzun süreli olarak tesis performansını kontrol etmek için oldukça değerli bilgiler sunmaktadır (Sutherland, 1998a ve b).

Bu çalışmada, proses mineralojisinden elde edilen bilgiler ile altın içeren sülfürlü bakır cevherinin zenginleştirildiği bir flotasyon tesisinin performans değerlendirilmesi yapılarak, proses mineralojisinin bu tür çalışmalarda kullanımına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışma genel bir sonuç çıkarmaktan öte, cevherin flotasyon davranımının detaylı mineralojik verilerle nasıl yorumlanabileceğini ve gelecekte yapılacak çalışmalar için bu yaklaşımın nasıl kullanılacağını ifade etmektedir. Bu kapsamda, tesis beslemesi, bakır (Cu) konsantresi, pirit (Py) konsantresi ve bakır süpürme artığındaki minerallerin tanımlanması, serbestleşme durumları ve bağlı tanelerdeki mineral birliktelikleri tane boyu bazında detaylı analiz edilerek hem sülfürlü mineral hem de altın davranımı prosesle ilişkilendirilmiştir.

## MALZEME ve YÖNTEM

Çalışma kapsamında, tesisinin flotasyon beslemesinden, bakır ve pirit konsantrelerinden ve Cu flotasyon süpürme artığı akışlarından elde edilen numuneler kullanılmıştır. Bu akışlardan alınan numuneler, tesisin kararlı çalıştığı durumda yapılan örnekleme çalışmasıyla elde edilmiştir. Çalışmada izlenen yöntem, seçilen akışların detaylı mineralojik karakterizasyonu ve metalurjisinin birlikte değerlendirilmesini içermektedir. Tüm proses mineraloji verileri, tonaj, metal içerikleri ve ana minerallerin verimleri gibi madde denkliği değerleri, tesis performansının değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Bu bağlamda, incelenmek üzere seçilen akışlar tesisteki problemlerin tanımlanması ve yapılacak iyileştirmenin potansiyel önemine göre belirlenmiştir. Dolayısıyla, bakır ve altının kaybı, bakır konsantresinin gang mineralleri tarafından kirlenmesinin olası nedenleri değerlendirilebilmiştir. Buna dayanarak, flotasyon beslemesi, Cu konsantre ve Cu süpürme artığındaki sülfürlü minerallerin tane boyu bazındaki serbestleşme verileri Clemex Vision PE 5.0 otomatik görüntü analiz sistemi ile belirlenmiştir. Mineralojik karakterizasyonun temel amacı, bakır minerallerinin, sülfürlü ve sülfürlü olmayan gang minerallerinin (NSG: non-sulphide gangue) ve bağlı tanelerdeki mineral birlikteliklerinin türü ve serbestleşme durumlarını belirlemektir. Bu amaçla, incelenen akışlardaki numunelerin dar tane boyu aralığında



parlak kesitleri hazırlanmıştır. Bunun için farklı keçe ve incelikteki elmas solüsyonlarla aşındırma ve parlatma yapabilen Struers marka kesit parlatma cihazı kullanılmıştır.

Numune alınan noktaları da gösteren flotasyon devresinin basitleştirilmiş akım şeması Şekil 1'de gösterilmektedir. Buna göre, sülfürlü mineraller öncelikle toplu olarak yüzdürülmekte, sonrasında bakır ve pirit için seçimli flotasyon uygulanmaktadır. Cu süpürme artığı akışı, hem Cu devresinin artığı hem de pirit devresinin beslemesi olması açısından önemlidir.

Şekil 1'de belirtilen numune alma noktalarının yanı sıra Cu devresindeki bazı önemli akışların da tonaj ve tenör bilgisi flotasyon devrelerinin kararlı olduğu koşul için tesis tarafından temin edilmiştir. Bu verilere göre akışların tonaj, tenör ve verim değerleri JKSimFluat madde denkliği programı kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 1).

Clemex Vision PE 5,0 otomatik optik görüntü analiz sistemi ile pirit (Py), sülfürlü olmayan gang mineralleri (NSG), enargit, tennantit, kalkopirit (Cp), bornit (Bor), galen (Gal) ve sfalerit (Sp) gibi akışlardaki ana mineraller nicel olarak belirlenmiştir. Kalkozin ve kovellin gibi ikincil bakır mineralleri oldukça eser miktardadır. Bilindiği üzere optik sistemler minerallerin refleksiyon ve renk gibi optik özelliklerini baz alır. Enargit ( $Cu_3AsS_4$ : %48,4 Cu, %19,0 As ve %32,5 S) ve tennantit ( $(Cu,Fe)_{12}As_4S_{13}$ : %3,8 Fe, %47,5 Cu, %20,4 As ve %28,3 S) mikroskop altında parlak kesit renkleri oldukça benzer olduğu için birbirlerinden ayırt edilmesi oldukça zordur. Her iki mineral de bir Cu-As minerali olup konsantride alınması gerektiği için çalışmada bu mineraller tek bir grup olarak tanımlanmış ve E&T olarak kodlanmıştır. Ana minerallerin ağırlık bazında yüzde miktarını ifade eden modal analiz, serbestleşme durumları ve ikili ve çoklu bağlı tane miktarları dar tane boyu fraksiyonlarında nicel olarak belirlenmiştir.

Çalışmada, sülfürlü minerallere ek olarak cevherin altın içeriğinden dolayı altın davranımının da incelenmesi yapılmış, özellikle bakır ve pirit konsantrelerindeki altın fazlarının ve birlikteliklerinin tanımı Activation Laboratories'de (Kanada) bulunan QemSCAN cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. QemSCAN, optik sistemlerden farklı olarak kimyasal analiz hassasiyetinde mineral tanımlama ve nicel serbestleşme analizi yapan, bir yazılımla donatılmış otomatik bir taramalı elektron mikroskobudur.

## SONUÇLAR ve TARTIŞMA

### Mineralojik Karakterizasyon

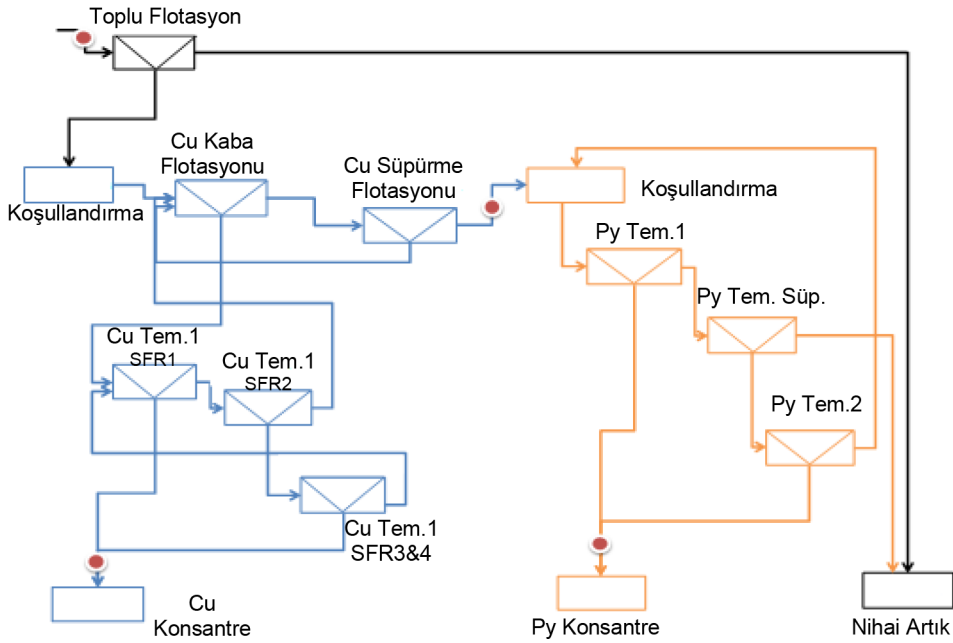
Ekonomik öğütme boyunda elde edilen serbestleşme derecesi tüm zenginleştirme işlemlerinin başarısı için çok önemli bir parametredir; dolayısıyla özellikle tane boyu bazında hesaplanan serbestleşme dereceleri öğütmenin yeterli olup olmadığı hakkında fikir vermektedir. Buna göre ana bakır mineralleri olan enargit ve tennantitin (E&T) incelenen akışlardaki serbestleşme derecelerini gösteren grafik Şekil 2'de verilmektedir.

Flotasyon beslemesinde E&T minerallerinin -45µm boyunda ancak %60 serbestleşme derecesine sahip olduğu görülmekte, daha yüksek serbestleşme sağlanabilmesi için daha ince öğütmenin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Tesisin mevcut işleyişinde, flotasyon beslemesinde toplam malzemenin %70'i ve Cu metalinin ise %92,7'si -90 µm tane boyundadır. Bakır konsantrisinde de serbest E&T taneleri -45µm boyunda bulunmaktadır. Bakır süpürme artığında ise açıkça görüleceği gibi E&T mineralleri genellikle bağlı formdadır. Serbest taneler ancak en ince boyda görülmektedir.

Tesisteki problemlerin tanımı için nasıl ki sadece kimyasal analiz verileri yeterli değilse, serbestleşme derecesi verisi de minerallerin bağlılık formları bilinmeden özellikle çözüm aşamasında yeterli olmamaktadır. Bu nedenle Cu devresinde numune alınan akışlar bazında detaylı yapılan mineralojik karakterizasyon çalışmaları aşağıda verilmektedir.

### Flotasyon beslemesi

Flotasyon besleme akışından alınan bu numune +180µm, -180+90µm, -90+45µm, -45+20µm ve -20µm dar tane boyu fraksiyonlarına elenip parlak kesitleri hazırlanmıştır. Numune %1,1 Cu, %15,3 S, %0,1 Pb, %0,2 Zn, %12,4 Fe ve %0,3 As içermektedir. Tesisin mevcut işleyişinde, flotasyon beslemesinin %70'i, beslemedeki Cu metalinin ise %92,7'si -90 µm tane boyundadır. Kimyasal analizler fraksiyonel bazda da yapılmış olup sonuçlar Çizelge 2'de ağırlık yüzdeleri ile birlikte verilmiştir. Clemex Vision görüntü analiz sistemi ile incelenen parlak kesitlerden ana minerallerin miktarını ifade eden modal analiz hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Beslemenin tesis verilerine göre kimyasal analiz baz alınarak yapılan madde denkliği hesabında belirlenen Cu içeriği



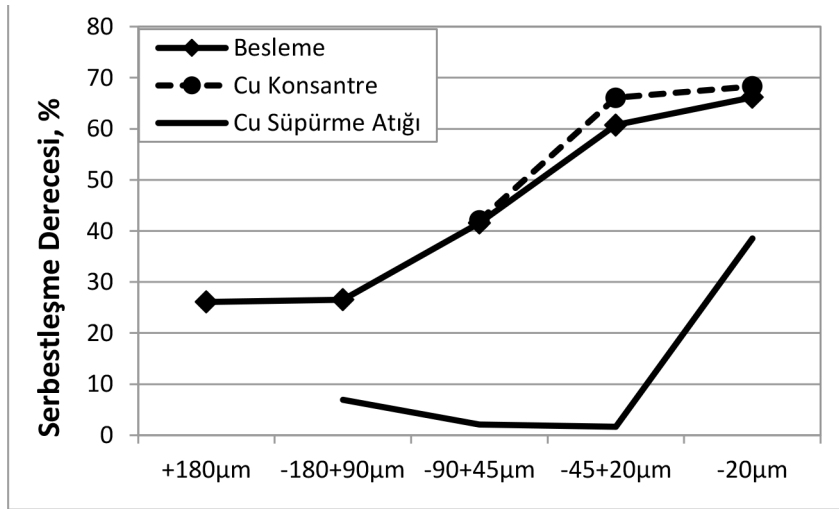
Şekil 1. Bakır ve pirit flotasyon devreleri ve numune alma noktaları.  
Figure 1. Copper and pyrite flotation circuits and sampling points.

Çizelge 1. Madde denklığı sonucu hesaplanan tonaj, Cu tenör ve verim değerleri.  
Table 1. Tonnage, Cu grade and recovery values calculated by mass balance.

Akışlar	Tonaj, t/s	Cu, %	Cu Verim, %
Flotasyon Beslemesi	265,00	1,09	100,00
Toplu Flotasyon Konsantresi	65,36	4,07	92,36
Toplu Flotasyon Artığı	199,64	0,11	7,62
Cu Kaba Flotasyon Konsantresi	71,33	7,69	190,29
Cu Kaba Flotasyon Artığı	96,66	1,50	50,32
Cu Süpürme Konsantresi	45,79	2,50	39,73
Cu Süpürme Artığı	50,87	0,60	10,59
Cu Konsantresi	14,49	16,27	81,78
Nihai Artık	250,51	0,21	18,22

ile mineralojik verilerden geri hesaplama sonucu elde edilen Cu değeri neredeyse aynı (~%1,1) olup mineralojik analizle kimyasal analiz oldukça uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. Diğer bir deyişle, kimyasal ve mineralojik analiz uyumluluğu, Clemex Vision sistemiyle mineral tanımlama ve ölçümlerin yüksek doğrulukta yapıldığını desteklemektedir.

Mineral miktarlarının yanı sıra, bu minerallerin serbest, ikili ve çoklu bağlı formları da Clemex sistemi ile ölçülmüş, fraksiyonların ağırlıkları oranında Şekil 3'deki gibi grafiklendirilmiştir. Fraksiyonel bazdaki bağlı tane sınıfları, miktarca yüksek serbest piritin diğer bağlı tane miktarlarını maskeleyesi nedeniyle serbest piritli (a) ve serbest pirit içermeyen (b)



Şekil 2. Numune alınan akışlardaki Cu minerallerinin serbestleşme dereceleri.  
Figure 2. Liberation degrees of Cu minerals in sampled streams.

olmak üzere iki şekilde sunulmuştur. Çizelge 3'te de görüldüğü gibi Cu minerallerinin önemli miktarının -90µm tane boyunda olması, beklendiği üzere bağlı tanelerinin de bu boyun altında yoğunlaştığını göstermektedir. E&T mineralleri beslemede hem serbest (%0,2-0,8) hem de ikili ve çoklu bağlı tane formunda bulunmaktadır. E&T mineralleri genellikle pirit ve NSG mineralleri ile bağlı olup en ince fraksiyon olan -20µm'da bile gözlenmektedir.

E&T minerallerinin bağlı tanelerdeki kenetlenme miktarı Çizelge 4'te verilmekte olup bu veriler aynı zamanda E&T minerallerinin bağlı bir tane içinde nasıl dağıldığını göstermekte ve serbestleşme boyunu işaret etmektedir. Örneğin, E&T minerallerinin %60,8'i -45+20µm fraksiyonunda ve %100-95 serbestleşme sınıfındadır. İlgili çizelge E&T minerallerinin %80'den fazlasının -90µm boyunda ve >%50 serbestleşme sınıfında olduğunu göstermektedir. Bu durum, kaba flotasyon aşaması ve konsantre tenörünün önemli bir sorun olmadığı koşul için kabul edilebilir. E&T mineralleri %30-15 gibi daha düşük serbestleşme sınıflarında ince boylara göre daha yoğun görülmektedir. E&T minerallerinin daha düşük alan yüzdesine sahip olduğu böyle bağlı tanelerin toplu flotasyon artığında kaybedilme olasılığı yüksektir.

### Cu konsantre

Bakır konsantresi de flotasyon beslemesi gibi 5 fraksiyondan oluşmaktadır ancak, +180µm ve -180+90µm fraksiyonlarında oldukça az malzeme kalması nedeniyle mineralojik analiz bu iki fraksiyona

uygulanmamıştır. Fraksiyonel bazda yapılan kimyasal analize göre toplamdaki tenör değerleri %15,9 Cu, %43,3 S, %1,4 Pb, %2,92 Zn, %25,8 Fe ve %4,9 As'dir (Çizelge 5). Galen ve sfaleritin de bir miktar konsantreye geldiği görülmektedir. Fe içeriğinin ana kaynağının pirit olduğu da Çizelge 6'da verilen modal analizden anlaşılmaktadır.

Cu konsantresinin modal mineralojik analiz sonucuna göre, E&T mineralleri fraksiyonlarda yakın miktarlarda dağılmakta, diğer önemli Cu minerali olan kal-kopirit ise %2-3,1 civarında bulunmaktadır. Tüm Cu minerallerinin serbest ve bağlı formdaki fraksiyonel dağılımı Şekil 4'de grafiklendirilmiştir.

Şekil 4'te verilen üç boyutlu grafiğe göre, serbest E&T minerallerinin miktarı fraksiyonlar içinde %1,2-7,3 arasında değişmektedir. Bağlı formda olan E&T taneleri ise genellikle piritle -45µm boyutunda ve NSG mineralleri ile daha iri boylarda kenetlenme göstermektedir. İncelenen 3 fraksiyonda da serbest pirit miktarı dikkat çekicidir. Serbest pirit %3,7-22 oranında görülmekte özellikle ince boylarda bir miktar artış eğiliminde olmaktadır. Özellikle en ince boy olan -20µm'de serbest piritin konsantrede kazanım mekanizması için suyla taşınımından söz edilebilir. Literatürdeki pek çok araştırma serbest gang tanelerinin 45µm'den irilerinin konsantreye ancak gerçek flotasyonla kazanılacağını ifade etmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere 45µm'den iri fraksiyonda yaklaşık %5 kadar serbest pirit bulunmaktadır. Bu durum, bu tanelerin konsantreye gerçek flotasyonla kazanıldı-



Çizelge 2. Flotasyon beslemesinin fraksiyonel kimyasal analizi.

Table 2. Chemical analysis of flotation feed on size basis.

	Ağırlık, %	Cu, %	S, %	Pb, %	Zn, %	Fe, %	As, %
+180µm	7,88	0,11	4,52	0,012	0,02	3,85	0,06
-180+90µm	20,25	0,35	7,96	0,027	0,10	6,40	0,13
-90+45µm	20,70	1,25	19,82	0,079	0,24	15,30	0,33
-45+20µm	15,31	1,48	23,90	0,115	0,24	19,50	0,39
-20µm	35,86	1,52	15,44	0,15	0,20	12,94	0,47
Toplam	100,00	1,11	15,27	0,10	0,18	12,39	0,33

Çizelge 3. Flotasyon beslemesinin fraksiyonel modal mineralojik analizi.

Table 3. Modal mineralogical analysis of flotation feed on size basis.

	Cp	Sp	Py	Gal	Bor	NSG	E&T	Toplam
+180µm	0,00	0,00	2,24	0,00	0,00	97,45	0,30	100,00
-180+90µm	0,08	0,10	7,57	0,00	0,00	91,70	0,55	100,00
-90+45µm	0,17	0,45	34,16	0,00	0,00	62,52	2,71	100,00
-45+20µm	0,42	0,72	33,51	0,07	0,13	62,72	2,43	100,00
-20µm	0,36	0,31	29,98	0,08	0,06	66,01	3,20	100,00

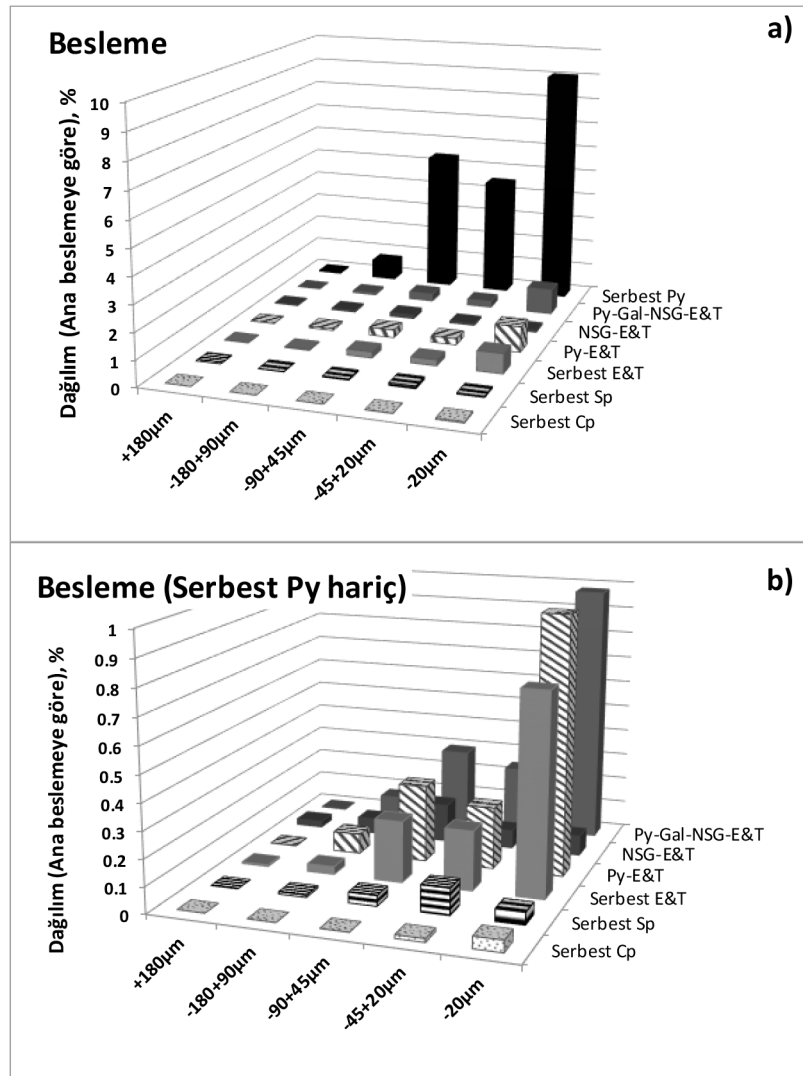
ğını ve dolayısıyla tesisteki flotasyon kimyasının çok uygun olmadığını işaret etmektedir. Flotasyon tesisinde, toplayıcı olarak Potasyum Amil Ksantat (PAX) pH 12 değerinde kullanılmaktadır. PAX sülfürlü mineral flotasyonunda iyi bilinen kuvvetli bir toplayıcı olup özellikle sülfürlü mineraller arasında seçimliliğin ön planda olmadığı toplu flotasyon koşullarında genellikle tercih edilmektedir. Dolayısıyla, pirit tanelerinin gerçek flotasyonla konsantride kazanılmasında en önemli nedenin PAX olabileceği öngörülebilir. Buna ek olarak, su kimyası ve özellikle Ca iyonlarının varlığı da dikkate alınmalıdır. Çünkü, Ca iyonlarının hidroksil bileşikleri yüksek pH değerinde sülfür minerallerinin yüzey elektrik yüklerini tersine çevirebilmekte ve anyonik karakterdeki PAX iyonları elektrostatik etkileşim yoluyla mineral yüzeyine soğurulabilmektedir.

E&T mineralleri ile kalkopiritin Cu konsantrisindeki bağlı taneler içindeki dağılımı Çizelge 7'de verilmektedir. Daha serbest E&T minerallerinin -45µm boyunda olduğu ancak, daha az serbestleşme sınıfını tem-

sil eden %95-50 aralığında ise önemli miktarda bu minerallerin dağıldığı görülmektedir. Serbestleşme sınıfının <%30 aralığında ise flotasyon beslemesine oranla daha az miktarda tane olduğu görülmektedir. Bu da toplu flotasyon aşamasında, bu sınıftaki bağlı tanelerin kaybedildiği şeklinde yorumlanabilir. Toplu flotasyon artığının fraksiyonel kimyasal ve mineralojik analizi ile bu durum daha açık bir şekilde ortaya konulmalıdır. Kalkopiritin ise konsantride hem serbest hem de bağlı tanelerinin kazanıldığı görülmektedir.

### Cu süpürme artığı

Cu süpürme artığı da diğer iki akış numunesi gibi 5 fraksiyonda elenmiş ancak +180µm fraksiyonunda analiz yapacak kadar numune kalmamıştır. Fraksiyonel bazda yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 8'de verilmektedir. Akışın Cu tenörü ~0,8 olup fraksiyon ağırlıkları göz önüne alındığında bakırın ~%45'inin 20µm'den daha ince boyda kaybedildiği görülmektedir.



Şekil 3. Flotasyon beslemesinin fraksiyonel bazda serbest ve bağlı tane dağılımı a) besleme b) besleme (serbest Py hariç).

Figure 3. Distribution of free and binary particles of flotation feed on size basis a) feed b) feed (except free Py).

Çizelge 4. Flotasyon beslemesinde E&T minerallerinin serbestleşme sınıflarına dağılımı.

Table 4. Distribution of E&T minerals to liberation classes in flotation feed.

	Serbestleşme Sınıfları, %							Toplam
	100-95	95-75	75-50	50-30	30-15	15-5	5-0	
+180µm	25,96	41,02	14,03	0,17	0,26	10,48	8,09	100,00
-180+90µm	26,70	20,98	15,06	8,66	13,14	6,22	9,23	100,00
-90+45µm	38,42	24,69	19,64	5,42	5,51	3,14	3,18	100,00
-45+20µm	60,81	11,91	13,42	2,60	3,67	4,46	3,13	100,00
-20µm	64,83	13,56	7,30	2,68	3,75	5,78	2,10	100,00

Çizelge 5. Cu konsantresinin fraksiyonel kimyasal analizi.

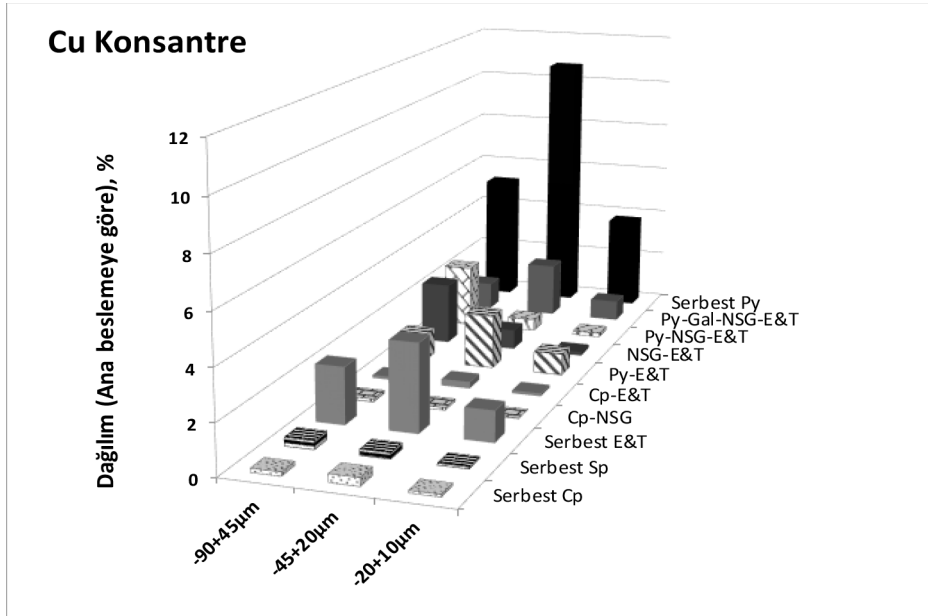
Table 5. Chemical analysis of Cu concentrate on size basis.

	Ağırlık, %	Cu, %	S, %	Pb, %	Zn, %	Fe, %	As, %
+180 $\mu$ m	0,25	-	-	-	-	-	-
-180+90 $\mu$ m	3,89	16,05	35,50	0,70	6,02	18,92	5,32
-90+45 $\mu$ m	23,27	15,21	43,43	1,49	3,32	24,95	4,79
-45+20 $\mu$ m	24,18	12,66	46,74	1,47	2,25	29,00	4,01
-20 $\mu$ m	48,41	17,93	42,34	1,44	2,84	25,34	5,57
Toplam	100,00	15,91	43,29	1,42	2,92	25,82	4,99

Çizelge 6. Cu konsantresinin fraksiyonel modal mineralojik analizi.

Table 6. Modal mineralogical analysis of Cu concentrate on size basis.

	Cp	Sp	Py	Gal	Bor	NSG	E&T	Toplam
-90+45 $\mu$ m	2,24	3,49	46,98	0,30	0,57	23,23	23,19	100,00
-45+20 $\mu$ m	3,11	1,88	63,28	0,56	0,58	7,04	23,54	100,00
-20 $\mu$ m	2,36	1,99	62,87	0,44	0,49	6,81	25,04	100,00



Şekil 4. Cu konsantresinin fraksiyonel bazda serbest ve bağlı tane dağılımı.

Figure 4. Distribution of free and binary particles of Cu concentrate on size basis.



Çizelge 7. Cu konsantresinde E&T ve kalkopirit minerallerinin serbestleşme sınıflarına dağılımı.  
Table 7. Distribution of E&T and chalcopyrite minerals to liberation classes in Cu concentrate.

Enargit&Tennantit	Serbestleşme Sınıfları, %							Toplam
	100-95	95-75	75-50	50-30	30-15	15-5	5-0	
-90+45µm	40,66	25,13	14,85	9,56	6,31	2,43	1,06	100,00
-45+20µm	63,85	14,32	10,20	5,33	2,52	2,37	1,41	100,00
-20+10µm	67,76	11,68	9,15	5,89	3,30	1,66	0,57	100,00
CU CONC	Liberation Classes, %							Toplam
Kalkopirit	100-95	95-75	75-50	50-30	30-15	15-5	5-0	
-90+45µm	30,83	23,24	18,82	5,94	12,75	7,03	1,38	100,00
-45+20µm	45,67	17,28	19,32	8,53	6,01	2,76	0,44	100,00
-20+10µm	46,35	14,78	18,78	11,89	5,05	2,41	0,75	100,00

Çizelge 9'da verilen modal mineralojik analiz sonuçları ise, kalkopirit gibi diğer majör Cu mineral miktarının bu akışta ihmal edilebilir oranda düşük olduğu için asıl Cu kaybının E&T minerallerinden kaynaklandığını işaret etmektedir.

Artıktaki Cu kaybının E&T minerallerinden kaynaklandığının belirlenmesi üzerine bu kayıpların serbest ya da bağlı tane gibi hangi formda olduğunu gösteren fraksiyonel bazda 3 boyutlu serbestleşme grafiği çizilmiştir (Şekil 5). Serbest E&T mineralleri görüldüğü gibi sadece -20µm tane boyundadır. -45µm fraksiyonunun ağırlıkça oranının yüksek olması nedeniyle ikili ve çoklu bağlı tanelerin de bu boyun altında yoğunlaştığı görülmektedir. E&T minerallerinin bu bağlı tane sınıflarına dağılımına bakılacak olursa, 20µm'den iri tanelerin çoğunun %50'den daha düşük serbestleşme sınıflarında olduğu görülmektedir. Yüzde 75 ve üstündeki serbestleşme sınıflarında ise E&T minerallerinin ~%60'ı -20µm fraksiyonunda olup bu tanelerin uygun flotasyon kimyası ve hidrodinamiğinin ayarlandığı koşullarda kazanılması mümkün olabilir. Ancak, 20µm'den daha iri tanelerde serbestleşmeyi artırmak için ince öğütme gerekmektedir (Çizelge 10).

Çizelge 1'de verilen tesis ölçüm bazlı madde denkliliği sonuçlarına göre, Cu süpürme artığının tonajı 50,9 t/s, Cu tenörü ve verimi ise sırasıyla %0,6 ve %10,6 olarak hesaplanmıştır. Fraksiyonel yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre ise bu akışın ortalama tenörü %0,8 Cu olarak ölçülmüştür. Tesisin akım şemasında (Şekil 1), Cu kaba flotasyon bankına Cu süpürme

konsantresi ve SFR2 (Stage Flotation Reactor) temizleme artığının geri çevrildiği görülmektedir. Ancak geri dönen bu akışlardaki Cu metal miktarı %150 olup oldukça yüksektir. Cu süpürme artığındaki bakır kaybının önemli nedenlerinden biri olarak bu yüksek devreden yük miktarı dikkate alınmalıdır. Çizelge 11'de toplam Cu metal kaybının 0,4 t/s olduğu ve bunun neredeyse yarısının -20µm fraksiyonundan kaynaklandığı görülmektedir. Şekil 5 ve Çizelge 11 birlikte incelendiğinde, bakırın %44,3'ünün bu fraksiyonda biriktiği ve E&T mineral tanelerinin yaklaşık %60'ının serbest formda olduğu görülmektedir. Bu miktar flotasyon beslemesindeki %2,8'lik kısma yani saatte 101 kg bakıra karşılık gelmektedir. Diğer tane boyu fraksiyonlarındaki bakır kaybı, pirit ve NSG mineralleri ile bağlılık durumundan kaynaklanmaktadır.

Cu süpürme artığının proses mineraloji verileri ile madde denkliliğini içeren ilgili hesaplamalar, bakır verimini %3 oranında artırmanın mümkün olacağını göstermiştir. Bununla birlikte, ince tanelerin flotasyonunda karşılaşılan zorluklardan literatürde pek çok araştırmada bahsedilmektedir. İnce tanelerin düşük kazanım değerleri için, yetersiz flotasyon süresi, sülfürlü minerallerin yüzey oksidasyonu ve uygun olmayan hücre dinamiği gibi olası nedenler öne sürülmektedir. Cu kaba ve süpürme banklarındaki toplam flotasyon süresi yaklaşık 38 dakika olarak hesaplanmış olup bu süre yaklaşık %4 Cu tenörlü (toplu flotasyon konsantresi) bir bakır cevherinin flotasyonu için yeterlidir. Dolayısıyla, problem aşırı yüzey oksidasyonu

Çizelge 8. Cu süpürme artığının fraksiyonel kimyasal analizi.

Table 8. Chemical analysis of Cu scavenger tail on size basis.

	Ağırlık, %	Cu, %	S, %	Pb, %	Zn, %	Fe, %	As, %
+180µm	0,36	-	-	-	-	-	-
-180+90µm	8,04	0,63	21,01	0,05	0,04	16,77	0,16
-90+45µm	25,87	0,79	41,55	0,08	0,04	32,87	0,13
-45+20µm	24,2	0,67	47,38	0,06	0,19	36,27	0,08
-20µm	41,53	0,81	41,81	0,09	0,03	35,69	0,20
Toplam	100,00	0,75	41,27	0,08	0,07	33,45	0,15

Çizelge 9. Cu süpürme artığının fraksiyonel modal mineralojik analizi.

Table 9. Modal mineralogical analysis of Cu scavenger tail on size basis.

	Cp	Sp	Py	Gal	Bor	NSG	E&T	Toplam
-180+90µm	0,01	0,01	20,83	0,00	0,00	78,84	0,30	100,00
-90+45µm	0,02	0,02	60,44	0,00	0,00	39,21	0,30	100,00
-45+20µm	0,01	0,06	82,35	0,01	0,00	17,25	0,32	100,00
-20µm	0,01	0,05	80,02	0,00	0,02	19,44	0,46	100,00

Çizelge 10. Cu süpürme artığında E&amp;T minerallerinin serbestleşme sınıflarına dağılımı.

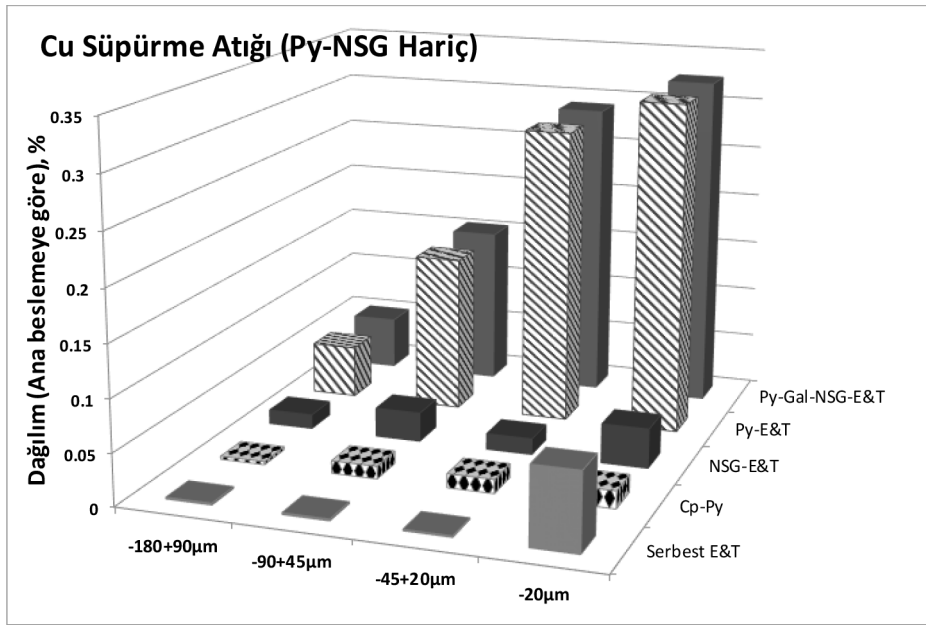
Table 10. Distribution of E&amp;T minerals to liberation classes in Cu scavenger tail.

	Serbestleşme Sınıfları, %							Toplam
	100-95	95-75	75-50	50-30	30-15	15-5	5-0	
-180+90µm	7,02	1,71	7,58	8,55	23,28	22,96	28,91	100,00
-90+45µm	2,08	3,03	1,88	9,56	24,34	35,06	24,05	100,00
-45+20µm	1,62	0,71	1,05	11,52	15,90	44,64	24,56	100,00
-20µm	38,40	20,74	2,23	3,58	6,97	11,25	16,82	100,00

ve/veya hücre dinamiğine bağlı olabilir. Madde denkliği hesaplamaları, Cu süpürme konsantrinden ve SFR2 artığından Cu kaba devresine gelen devreden yükün oldukça yüksek (yaklaşık %150) olduğunu göstermiştir. Yüksek devreden yük, aynı zamanda Cu süpürme artığından bakır kaybının ana nedenlerinden biri olarak görülmelidir.

### Bakır (Cu) ve Pirit (Py) Konsantrelerinde Altın (Au) Davranımı

Bakır ve pirit konsantrelerinin mineralojik analizleri ActLab (Kanada)'da bulunan FEI QUANTA 650F model taramalı elektron mikroskopla ve özel bir yazılımla donatılmış QemSCAN cihazıyla yapılmıştır. Özellikle altına yönelik analizde, 1 pikselin 1 mikron olduğu eser mineral tayini olarak adlandırılan SMS (Specific Mineral Search) modu kullanılmıştır.



Şekil 5. Cu süpürme artığının fraksiyonel bazda serbest ve bağlı tane dağılımı.  
Figure 5. Distribution of free and binary particles of Cu scavenger tail on size basis.

Çizelge 11. Cu süpürme artığındaki malzeme ve Cu metal dağılımı.  
Table 11. Distribution of material and Cu metal in Cu scavenger tail.

	Ağırlık, %	Tonaj, t/s	Cu, %	Cu, t/s	Cu dağılımı, %
+180µm	0,36	0,18	-	-	-
-180+90µm	8,04	4,09	0,63	0,03	6,77
-90+45µm	25,87	13,16	0,79	0,10	27,37
-45+20µm	24,20	12,31	0,67	0,08	21,59
-20µm	41,54	21,13	0,69	0,17	44,27
Toplam	100,00	50,87	0,75	0,38	100,00

### Bakır konsantre

Cu konsantresinde -90+45 µm, -45+20 µm ve -20 µm fraksiyonları analiz edilmiş, mineral miktarlarını ifade eden modal mineraloji ağırlık bazında Çizelge 12'de sunulmuştur. Altın taneleri, nabit ve Au-Sb alaşım formunda olmak üzere iki fazda görülürken, altının nabit formu özellikle -90+45 µm ve -45+20 µm fraksiyonlarında daha fazla dikkati çekmektedir. Altın için serbestleşme verisi serbest yüzey alanı cinsinden hesaplanmıştır. Serbest yüzey alanı ile tanımlanan serbestleşme verisi flotasyon açısından daha

anamlı olup ilgili mineralin tane yüzeyinde serbest olan kısmını ifade eder.

Nabit altın ve Au-Sb alaşımın Çizelge 13'de sunulan serbestleşme verilerine göre, eğer altın tanelerinin serbest yüzey alanı %10'dan küçükse o tane tamamen kenetli kabul edilmektedir. Eğer bu oran %10-75 aralığında ise o tanenin diğer minerallerle belirli oranlarda birlikte bulunduğunu, %75'den fazla olduğunda ise o tanenin serbest kabul edileceğini ifade etmektedir. Buna göre, nabit altın -45 µm boyutlarında serbestleşme göstermekte, daha iri boyda

Çizelge 12. Cu konsantresinin fraksiyonel modal mineraloji verileri.  
Table 12. Modal mineralogy data of Cu concentrate on size basis.

Tane Boyu	-90+45 µm	-45+20 µm	-20 µm
Nabit Altın	0,028	0,024	0,009
Au-Sb Alaşım	0,001	0,00	0,001
Enargit	23,68	18,65	20,85
Tennantit	0,18	0,15	0,07
Kalkopirit	3,31	2,84	7,17
Altere Kalkopirit	0,54	0,66	5,85
Kalkopirit (As içeren)	0,67	0,61	1,94
Bornit	0,92	0,86	0,75
Pirit	54,13	58,61	41,72
Altere Pirit	4,57	8,85	13,65
Sfalerit	3,75	2,25	2,11
Kalkozin	0,61	0,57	0,23
Kovellin	0,86	0,83	0,49
Barit	1,04	0,53	0,12
Kuvars	1,74	0,80	0,28
Diğerleri	3,97	3,77	4,76
Toplam	100,00	100,00	100,00

Çizelge 13. Cu konsantresindeki altın serbestleşme verileri.

Table 13. Gold liberation data in Cu concentrate.

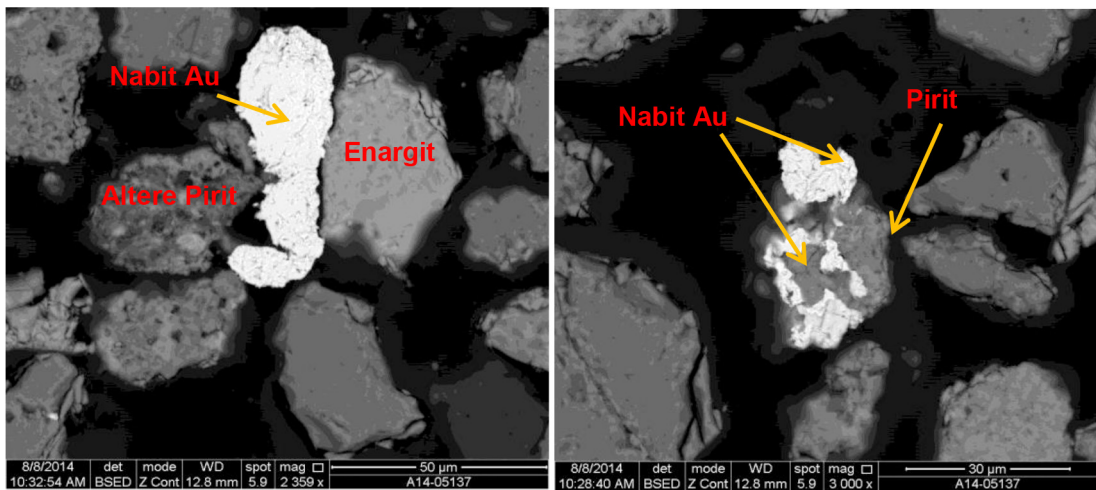
Nabit Altın Serbestleşme Verileri						
	Kenetli		Bağlı		Serbest	
Serbest Yüzey Alanı, %	<= 10	10-20	20-50	50-75	75-90	90-100
-90+45µm	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-45+20µm	4,17	0,00	33,22	0,00	62,60	0,00
-20µm	7,85	47,65	0,04	0,25	0,00	44,21
Au-Sb Serbestleşme Verileri						
	Kenetli		Bağlı		Serbest	
Serbest Yüzey Alanı, %	<= 10	10-20	20-50	50-75	75-90	90-100
-90+45µm	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-45+20µm	66,22	33,78	0,00	0,00	0,00	0,00
-20µm	28,32	4,06	6,68	56,96	0,17	3,80



Çizelge 14. Cu konsantresindeki altının bağlılık durumu.

Table 14. Gold association in Cu concentrate.

Tane Boyu	-20 $\mu$ m		-45+20 $\mu$ m		-90+45 $\mu$ m	
	Nabit Altın	Au-Sb Alaşım	Nabit Altın	Au-Sb Alaşım	Nabit Altın	Au-Sb Alaşım
Nabit Altın	0,00	0,00	0,00	1,92	0,00	4,55
Au-Sb Alaşım	0,00	0,00	0,32	0,00	1,67	0,00
Frayberjit (düşük Fe-Sb_S az Ag)	0,00	1,54	0,97	0,00	0,00	0,00
Enargit	16,67	5,38	11,94	32,69	0,83	61,36
Kalkopirit	0,00	3,08	5,48	0,00	0,00	2,27
Altere Kalkopirit	5,56	0,00	0,97	0,00	0,83	11,36
Pirit	52,78	59,23	30,32	51,92	95,00	20,45
Altere Pirit	11,11	9,23	15,16	0,00	0,00	0,00
Galen	0,00	0,00	3,23	0,00	0,00	0,00
Barit	0,00	7,69	0,00	0,00	0,00	0,00
Matris	13,89	13,85	28,39	13,46	0,83	0,00



Şekil 6. Cu konsantresindeki altın tanelerinin BSE görüntüleri.

Figure 6. BSE images of gold grains in Cu concentrate.

ise kenetli formda bulunmaktadır. Au-Sb alaşım taneleri ise çok daha az serbestleşmeye sahiptir.

Nabit altın ve Au-Sb tanelerinin hangi minerallerle bağlı olduğu bilgisi ise Çizelge 14'te verilmektedir. Nabit altın genellikle pirit, enargit ve altere piritle bağ-

lı olup özellikle +45  $\mu$ m'da %95'i piritle bulunmaktadır. Au-Sb alaşım tanelerinin ise %61,4'ü enargitle, %20,5'i ise piritle bağlıdır. İnce boylarda kompozit altın taneleri çoğunlukla pirit ve altere piritle birlikte bulunurken (%45-60), geri kalan kısmı ise enargitle birliktelik göstermektedir.

Çizelge 15. Py konsantresinin fraksiyonel modal mineraloji verileri.

Table 15. Modal mineralogy data of Py concentrate on size basis.

Tane Boyu	-180+90µm	-90+45 µm	-45+20 µm	-20 µm
Nabit Altın	0,01	0,00	0,00	0,00
Enargit	0,75	0,33	0,09	0,11
Kalkopirit	0,34	0,27	0,12	0,23
Altere Kalkopirit	0,09	0,08	0,05	0,27
Kalkopirit (As içeren)	0,11	0,08	0,04	0,09
Bornit	0,04	0,01	0,00	0,00
Pirit	62,40	82,78	82,86	64,84
Altere Pirit	3,51	7,72	12,93	28,25
Pirotit	0,15	0,21	0,34	0,10
Galen	0,03	0,02	0,01	0,00
Barit	0,35	0,22	0,09	0,02
Alunit	0,01	0,01	0,00	0,00
Rutil	0,09	0,05	0,03	0,01
Kuars	21,30	4,28	1,51	0,45
K-Feldspat	0,07	0,02	0,01	0,00
Plajiyoklas	0,69	0,14	0,05	0,01
Muskovit	0,21	0,06	0,02	0,01
Kaolinit	4,20	0,94	0,27	0,06
Pirofillit	0,47	0,12	0,06	0,02
Pirit-Kil Karışımı	4,43	2,25	1,31	4,90
Diğerleri	0,73	0,39	0,24	0,63
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00

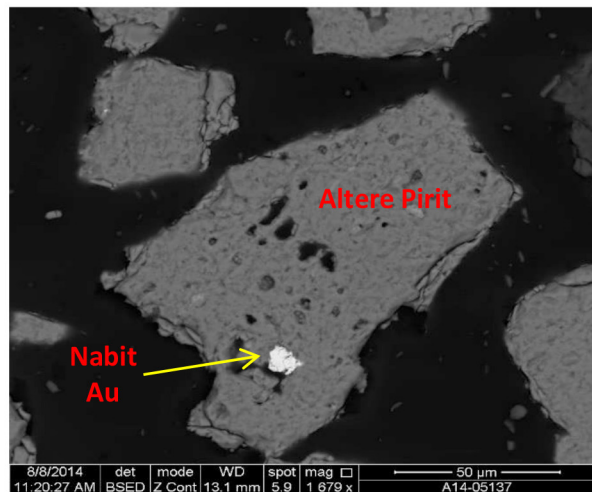
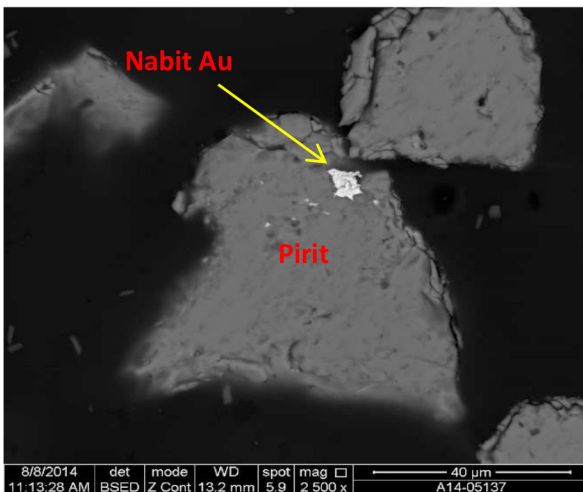
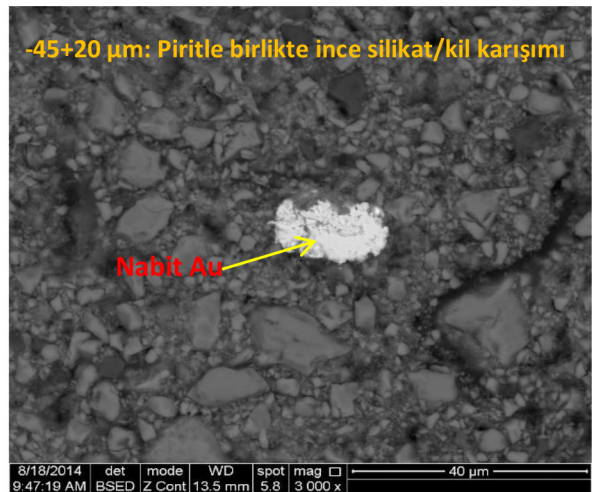
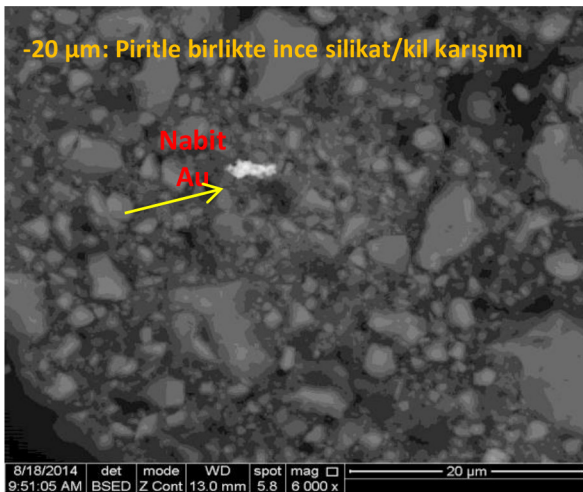
Yapılan mineralojik analizde nabit altın tanelerinin %80'inin 20 µm'den daha küçük olduğu, Au-Sb tanelerinin ise daha ince boylarda olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, Cu konsantreden yerçekimiyle kazanılabilir altın (GRG-gravity recoverable gold) üretimi an-

cak çok ince tane boyunda mümkün görünmektedir. Nabit altın tanelerinin diğer minerallerle olan bağlılığı Şekil 6'da verilen geri saçınımlı elektron (BSE) görüntülerinden görülmektedir.

Çizelge 16. Py konsantresindeki altının bağlılık durumu.

Table 16. Gold association in Py concentrate.

Tane Boyu	-20 $\mu$ m	-45+20 $\mu$ m	-90+45 $\mu$ m	-180+90 $\mu$ m
	Nabit Altın	Nabit Altın	Nabit Altın	Nabit Altın
Kalkopirit	0,00	0,00	0,00	0,00
Altere Kalkopirit	0,00	0,00	2,38	0,00
Bornit	0,00	0,00	0,00	7,29
Pirit	16,67	14,29	92,86	90,63
Altere Pirit	0,00	4,76	0,00	0,00
Galen	0,00	0,00	0,00	2,08
Kovelin	0,00	0,00	2,38	0,00
Matris	83,33	80,95	2,38	0,00



Şekil 7. Py konsantresindeki altın tanelerinin BSE görüntüleri.

Figure 7. BSE images of gold grains in Py concentrate.

## Pirit konsantre

Pirit konsantresinin QemSCAN ile analizi 4 tane boyu fraksiyonunda ağırlıkça yüzde bazında yapılmış ve konsantrenin toplam Cu içeriğinin %0,8 olduğu, bunun da çoğunlukla -90 µm fraksiyonlarına dağıldığı belirlenmiştir. Fraksiyonel bazda modal mineraloji verileri Çizelge 15'te verilmektedir. Buna göre majör mineraller pirit ve altere pirit olup bazı silikatlar ve killere de rastlanmaktadır. Ana bakır minerali enargittir. Bu konsantrede altın taneleri beklenildiğinden daha az miktarda tespit edilmiş olup genellikle ince tane boyu fraksiyonlarındadır. Özellikle -45+20 µm ve -20 µm fraksiyonlarından tekrarlı parlak kesitler hazırlanarak analizler yinelenmiştir. Ancak sonucun değişmediği görülmüş, bu durum iki olasılıkla yorumlanmıştır:

- Görünür altının yanında, piritler içinde görünmez veya mikronaltı tane boyunda altın taneleri olabilir; bu da sadece EMPA (Electron Microprobe Analysis) veya Lazer ablasyon analizi ile belirlenebilir,
- Bu iki ince fraksiyonda, altın toz haline getirilmiş olabilir (altın sertliği: 2,5-3) ve toz halindeki altın tanelerinin mineral taneleri arasında gömülü ya da gizlenmiş halde bulunması olabilir. Altın arama için 1 mikron piksel boyutunun kullanıldığı ve tekrarlama analiz sırasında numunenin yaklaşık 1000 kat büyütmede ve hatta bazen 10000'de tarandığı düşünüldüğünde bu altın tanelerinin gerçekten çok ince boyda olması gerekmektedir.

10 µm'den daha ince boyda görülen altın tanelerinin serbest yüzeylerinin oldukça sınırlı olduğu ve genellikle pirit ile ince silikat/kil/pirit karışımının olduğu matrisle bağlı olduğu görülmüştür (Çizelge 16 ve Şekil 7).

## SONUÇLAR

Detaylı kantitatif mineralojik analiz, altın içeren kompleks bir Cu-As sülfürlü cevherin tesis ölçeğinde flotasyon davranımının çok daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Yapılan mineralojik ölçümler sayesinde tesisin genel performansı hakkında oldukça değerli bilgiler elde edilmiş, konsantre kirliliğini azaltacak ve verimi yükseltecek, tesis işleyişine yönelik iyileştirmeler önerilebilmiştir. Varılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Enargit ve tennantit minerallerinin serbestleşme derecesi -45 µm tane boyunda sadece %60 civarında olup bakır minerallerinin %70'i bu boyun altında biriktirmektedir. Bu nedenle, serbestleşmeyi sağlayabilmek için daha ince tane boyuna öğütme yapmak gerekmektedir. Ancak, bu kararı vermeden önce kaba flotasyon artığındaki minerallerin serbestleşme ve bağlılık durumlarını kontrol etmek gerekir. Çünkü kaba flotasyon artığı hem nihai artığın ana bileşeni hem de bakırın %7,6'lık kısmının kaybedildiği bir akıştır.
- Bakır konsantreyi kirlüten ana unsurun serbest pirit mineral tanelerinin olduğu belirlenmiştir. Özellikle 45 µm'den daha iri boylarda serbest pirit tanelerinin varlığının flotasyon kimyasının uygun olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu anlamda toplayıcı tipi ve su kimyasının dikkate alındığı test çalışmalarının yapılması önerilmektedir.
- Flotasyon devresindeki en büyük bakır kaybının Cu süpürme artığı akışından olduğu belirlenmiştir. Enargit ve tennantit mineralleri -20 µm fraksiyonundan %60'ı serbest halde kaybedilmekte, bu da beslemedeki toplam bakır metalinin %2,8'ine karşılık gelmektedir. Diğer bir deyişle saatte 101 kg bakır artığa gitmektedir. İnce tanelerin düşük verim probleminin kaynağı olarak aşırı yüzey oksitlenmesi ve/veya hücre hidrodinamiği öngörülmektedir. Bakır kaybına diğer bir sebep de kaba flotasyona devresine Cu süpürme konsantresi ve SFR2 artığından gelen yüksek devreden yüklerdir.
- Devredeki altının nabit ve Au-Sb alaşım formunda olduğu da yine detaylı mineralojik analizlerle belirlenmiştir. Cu konsantresinden özellikle nabit altının çok ince tane boylarında yerçekimi ile kazanılabileceği öngörüldürken, pirit konsantresinde altının serbest hale gelebilmesi için çok daha ince boyda besleme yapmanın gerekli olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Curreli, L., Ghiani, M., Surracco, M. And Orr, G., 2005. Beneficiation of a gold bearing enargite ore by flotation and As leaching with Na-hypochlorite. Minerals Engineering, 18, 849-854.



- Cabri, L.J., Beattie, M., Rudashevsky, N.S. and Rudashevsky, V.N., 2005. Process mineralogy of Au, Pd and Pt ores from the Skaergaard intrusion, Greenland, using new technology. *Minerals Engineering*, 18, 887–897.
- Lotter, N.O., Bradshaw, D.J. and Barnes, A.R., 2016. Classification of the Major Copper Sulphides into semiconductor types, and associated flotation characteristics. *Minerals Engineering*, 96–97, 177–184.
- Fornasiero, D., Fullston, D., Li, C. and Ralston, J., 2001. Separation of enargite and tennantite from non-arsenic copper sulfide minerals by selective oxidation or dissolution. *Int. J. Miner. Process.*, 61, 109–119.
- Lund, C., Lamberg, P. and Lindberg, T., 2015. Development of a geometallurgical framework to quantify mineral textures for process prediction. *Minerals Engineering*, 82, 61–77.
- Petruk, W., 2000. *Applied Mineralogy in the Mining Industry*. Elsevier Science, The Netherlands.
- Plackowski, C., Nguyen, A. V. and Bruckard, W. J. 2012. A critical review of surface properties and selective flotation of enargite in sulphide systems. *Minerals Engineering*, 30, 1–11.
- Sutherland, D., 1998a, Improving plant performance through process mineralogy. *Cu '98 –Australian Copper Forum*.
- Sutherland, D., 1998b, Applications of quantitative process mineralogy through the mining cycle. *AusIMM Annual Conference: The Mining Cycle, Mt Isa, Qld*, pp. 333–337.
- Sutherland, D., 2007. Estimation of mineral grain size using automated mineralogy. *Minerals Engineering*, 20, 452–460.
- Tungpalan, K., Wightman, E. and Manlapig, E., 2015. Relating mineralogical and textural characteristics to flotation behaviour. *Minerals Engineering*, 82, 136–140.



## Measurement of Radon Exhalation Rates from Different Rock Types and Construction Materials (Gaza Strip, Palestine)

### Farklı Kayaç Tipleri ve Yapı Malzemelerinde Radon Gazı Salınımı Ölçümleri (Gazze Şeriti, Filistin)

KHALED AHMED RAMADAN<sup>1</sup>, KHALİD FATHİ UBEİD<sup>2\*</sup>

Department of Physics, Faculty of Science, Al Azhar University – Gaza, P.O. Box 1277, Gaza Strip, Palestine

<sup>2</sup> Department of Geology, Faculty of Science, Al Azhar University – Gaza, P.O. Box 1277, Gaza Strip, Palestine

Geliş (received) : 27 Mart (March) 2018

Kabul (accepted) : 22 Kasım (November) 2018

#### ABSTRACT

Indoor radon increases the health hazard due to long-term exposure. Most building materials of natural origin contain small amount of naturally occurring radioactive materials. The building materials of natural origin reflect the geology of their site origin. This study was carried out to assess the radon activity concentration in rock and building materials used in construction purposes in the Gaza Strip, southwestern of Palestine. Fourteen different construction materials of imported (international) and local origin were tested, using solid state nuclear track detectors (CR-39). After 55 days of exposure, CR-39 detectors were etched chemically and then counted under an optical microscope. The radon concentration level of studied samples ranges from 94.4 to 642.5 Bq/m<sup>3</sup>. The sands (from north of Gaza Strip), black cement, gray granite and the marble show relatively highest levels with values about 642.5, 285.0, 283.6, and 257.2 Bq/m<sup>3</sup>, respectively. These values are above the international standard limits, and they are not safe for use in construction purposes. According to Ubeid and Ramadan (2017), the highest value in sands are referred to black sands, agricultural run-off and urban areas, discharges from mining activities, factories and municipal sewer systems, leaching from dumps and former industrial sites. While, the high value in gray granite is related to high percentage of silica and potassium contents, the high value of radon concentration in the marble is interpreted to high contents of organic matter in the original limestone before the metamorphism. On the other hand, values on radon concentration in the waste-dust of marble and granite from industrial quarry were 399.7 and 257.2 Bq/m<sup>3</sup>, respectively. They were above the international standard limit, and generally the ambient is not safe for workers.

**Keywords:** Radon exhalation, building materials, rock fragments, Gaza Strip.

#### ÖZ

Uzun süre maruz kalındığında evlerdeki radon gazı sağlık sorunlarının artışına neden olmaktadır. Yapı malzemelerinin çoğunda doğal olarak az miktarlarda radyoaktif maddeler bulunmaktadır. Doğal yapı malzemeleri buldukları yerin jeolojisini yansıtmaktadır. Bu çalışma, güneybatı Filistin’de, Gazze Şeritinde kullanılmakta olan kayaç ve yapı malzemelerinin bu anlamda değerlendirilmesi ile ilgilidir. Uluslararası ve yerel kökenli yapı malzemelerinden alınan farklı on dört malzeme üzerinde nükleer iz detektörleri (CR-39) ile testler yürütülmüş ve optik mikroskop altında ölçmeler yapılmıştır. Ölçülen örneklerde radon konsantrasyon seviyeleri 94.4 ila 642.5 Bq/m<sup>3</sup> arasındadır. Kumlar (Gazze Şeridinin kuzeyinden), siyah çimento, gri granit ve mermer görece yüksek, sırasıyla 642.5, 285.0, 283.6, ve 257.2 Bq/m<sup>3</sup> değerler vermektedir. Bu değerler uluslararası standart sınırların üzerindedir ve yapı işlerinde kullanılmaları sağlıklı değildir. Ubeid ve Ramadan (2017)’a göre, kumlardaki en yüksek değer siyah kumlarda, tarımsal ve kentsel alanlarda, madencilik faaliyetlerindeki atıklardan, fabrika ve şehir kanalizasyonlarından ve eski çöplük ve sanayi alanlarından sızmalarla olmaktadır. Gri granitteki yüksek değerler yüksek silika ve potasyum içeriklerine bağlı iken mermerdeki yüksek radon konsantrasyonu metamorfizma öncesi ilksel kireçtaşıdaki organik maddelerin yoğunluğuna bağlı olduğu düşünülmektedir. Öte yandan maden ocaklarındaki mermer ve granit toz atıklarında sırası ile 399.7 ve 257.2 Bq/m<sup>3</sup> radon gazı konsantrasyonu ölçülmüştür. Bunlar uluslararası standart sınırların üzerindedir ve çalışma ortamı çalışanlar için sağlıklı değildir.

**Anahtar Kelimeler:** Radon salınımı, inşaat malzemeleri, kayaç parçaları, Gazze Şeriti.

\* K.F. Ubeid

e-posta: k.ubeid@alazhar.edu.ps

## INTRODUCTION

Man is generally exposed to ionization from naturally occurring radioactive materials (NORM). The source of these materials is the earth's crust, and they find their way into building materials, and the human body itself (ATSDR, 1990; Axelson, 2004). In many parts of the world, building materials containing radioactive material have been used for generations. As individuals spend more than 80% of their time indoors, the internal and external radiation exposure from building materials creates prolonged exposure situations (ICRP, 1999; UNSCEAR, 2000).

Most building materials of terrestrial origin contain small amounts of NORM, mainly radionuclides from the  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  decay chains and the radioactive isotope of potassium,  $^{40}\text{K}$ . The external radiation exposure is caused by the gamma emitting radionuclides, which in the uranium series mainly belong to the decay chain segment starting with  $^{226}\text{Ra}$ . The internal (inhalation) radiation exposure is due to  $^{222}\text{Rn}$ , and marginally to  $^{220}\text{Rn}$ , and their short lived decay products, exhaled from building materials into the room air.

Generally, natural building materials reflect the geology of their site of origin. The average activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in the Earth's crust are 35, 30 and 400 Bq/kg respectively (UNSCEAR, 2000). However, elevated levels of natural radionuclides causing annual doses of several mSv were identified in some regions around the world, e.g. in Brazil, France, India, Nigeria, and Iran.

To investigate radon exhalation from different rock materials, soils, and construction materials, many authors used the sealed cup technique (e.g. Khan et al., 1992; Singh et al., 1999; Khayrat et al., 2001; Abo-Elmaged and Daif, 2010; Maged and Ashraf, 2005; Rafique and Rathore, 2013; Najam et al., 2013; Chauhan et al., 2008; 2014; Sharma et al., 2016). This method is based on using sealed cup equipped with solid-state nuclear track detector (SSNTD) such as CR-39. The track density due to alpha particles from radon that entered the air space in the hollow holder were registered in the CR-39 plastic detector, used to calculate the exhalation rates and effective radium content (Somogyi, 1990).

The aim of this study is to assess the radioactivity concentration of radon in different rock-type fragments and building materials used in construction purposes in the Gaza Strip, Palestine.

## Geographical setting

In this study, all the samples for measuring the radon exhalation rate in rock fragments and materials used in constructions were collected from a local market in the Gaza Strip. The Gaza Strip is a narrow coastal region that is located at the southwestern part of Palestine, and in the south eastern coastal plain of the Mediterranean Sea (Fig. 1). Gaza Strip is bordered by Egypt from the south, Negev desert from the east and the green line from the north (GEP, 1994; Change to (Ubeid and Albatta, 2014). The width of the strip ranges between 6 km at the middle to 8 km in the north and 12 km in the south. Its length is about 40 km along the coastline and its area is about 378 km<sup>2</sup> (UNDP, 2009).

The population of the Gaza Strip continues to grow rapidly. With a Palestinian population growth rate of around 3.5 percent per annum that would result in a doubling of the population in 15 years. It ranks as the third most densely populated polity in the world, with around 2 million Palestinians on the Strip.

The climate of Gaza Strip is characterized by mild winters, and dry, warm to hot summers. The average mean daily temperature ranges from 26 °C in summer to 12 °C in winter. The average annual rainfall is 335 mm per year, and the average annual evaporation amounts to 1300 mm.

Buildings in the Gaza Strip are mainly constructed from bricks, cement, gypsum, lime, sand, pebbles, granite, and marble (Fig. 2 and 3). Most of these materials are imported from outside of the Palestinian Authority, e.g. from Israel, Turkey and Egypt; except the sands, which are excavated from sand dunes at the coast of the Gaza Strip.

## Methodology

Fourteen samples of rock fragments and building material were collected from local markets and an industrial quarry in the Gaza Strip. Four of samples were rock fragments used in construction purposes such as granite and marble. They were crushed to fine-grained. Five of total samples were building materials such as cement and lime. Two samples of waste-dust were collected from an industrial quarry. The sources of exported countries for both gray granite and schist were unlimited while marbles are the products of the West Bank, Palestine. The rest



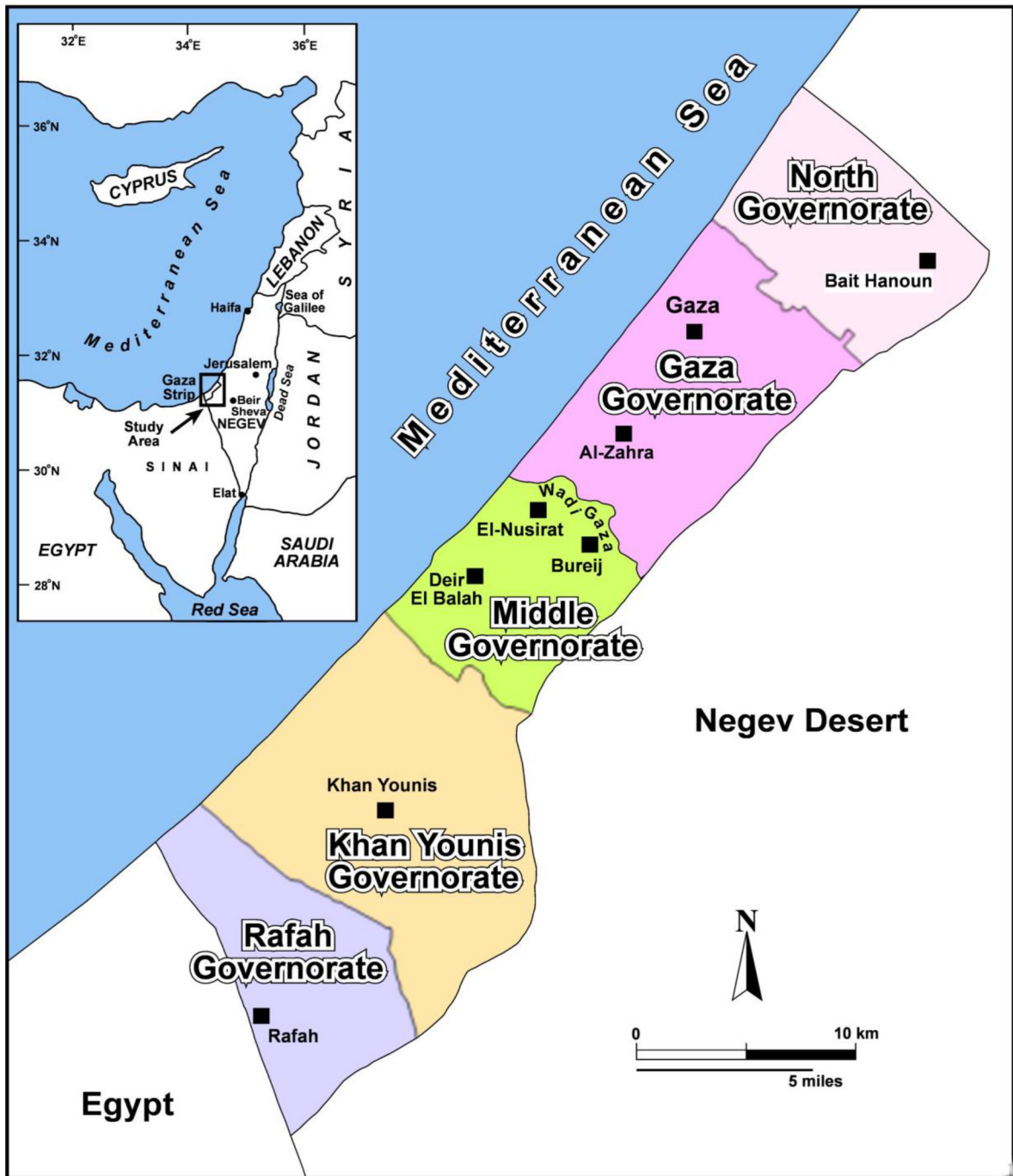


Figure 1. Location map of Gaza Strip.

Şekil 1. Gazze Şeridinin bulduru haritası.

of samples represent the local sands used in constructions from different places of Gaza Strip. All the samples were dried at 110 °C for 24 hours.

CR-39 sheets as radon detector (sealed cup technique) were used in this study. The detectors are cut in small pieces (usually 1cm x2cm) and stuck at

the top of the plastic container (3liters, diameter 14 cm) (Fig. 4). Around 300 mL of the collected samples were packed and sealed at the bottom of container; the detector is exposed to radon for a time period of 55 days. The CR-39 films were chemically etched using a 6 M solution of NaOH, at a temperature of 70



Figure 2. Uses of rock types in the buildings of the Gaza Strip. A, B, C, E and F: uses of metamorphic rocks. Note in E and F, the fossils and bioclasts (circled parts) in Al-Khalili marbles, metamorphosed from bioclastic limestones. D: use of igneous rocks.

Şekil 2. Gazze Şeridinde binalarda kullanılan kayaç tipleri. A, B, C, E ve F: metamorfik kayaç kullanımı; E ve F'teki, biyoklastik kireçtaşlarından başkalaşıma uğramış Al-Halili mermerlerindeki fosillere ve biyoklastlara (halkalı kısımlar) dikkat ediniz. D: magmatik kayaç kullanımı.

°C, for about 6 hours. The detectors were washed with distilled water and left to dry. Each detector was counted visually using an optical microscope through the area within 3 mm<sup>2</sup> in 4 distinct regions. The average number of tracks/mm<sup>2</sup> was determined, from

the measured average track densities on the CR-39 with detector sensitivity 12.3 Bq/m<sup>3</sup> per tracks/cm<sup>2</sup>/day. Radon calculations in this study are carried out using the following equation:





Figure 3. Some samples of rocks used in construction purposes in Gaza Strip. A, B, C and D represent plutonic igneous rocks. E and F represent metamorphic rocks.

Şekil 3. Gazze Şeridinde inşaat amaçlı kullanılan kayalardan bazı örnekler. A, B, C ve D magmatik, E ve F ise metamorfik kayaları göstermektedir.

$$E = \frac{\rho}{\eta A} \left[ \frac{\lambda V}{T_{eff}} \right], \quad C_{Rn} = \frac{\rho}{\eta T_{eff}},$$

$$C_{Ra} = \frac{\rho V}{\eta M T_{eff}}, \quad AED = 0.0252 C_{Rn}$$

Where, E: is the radon exhalation rate (Bq/m<sup>2</sup>/h), C<sub>Rn</sub>: is the radon concentration (Bq/m<sup>3</sup>), C<sub>Ra</sub>: is the effective radium content (Bq/kg), ρ: is the track density (tracks / cm<sup>2</sup>), η: is the detector sensitivity (tracks/cm<sup>2</sup>/h/ Bq/m<sup>3</sup>), λ: is the decay constant (λ= 7.56 x 10<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>), V: is the effective volume of the container (cm<sup>3</sup>), A: is the area of the sample (cm<sup>2</sup>), and M: is the

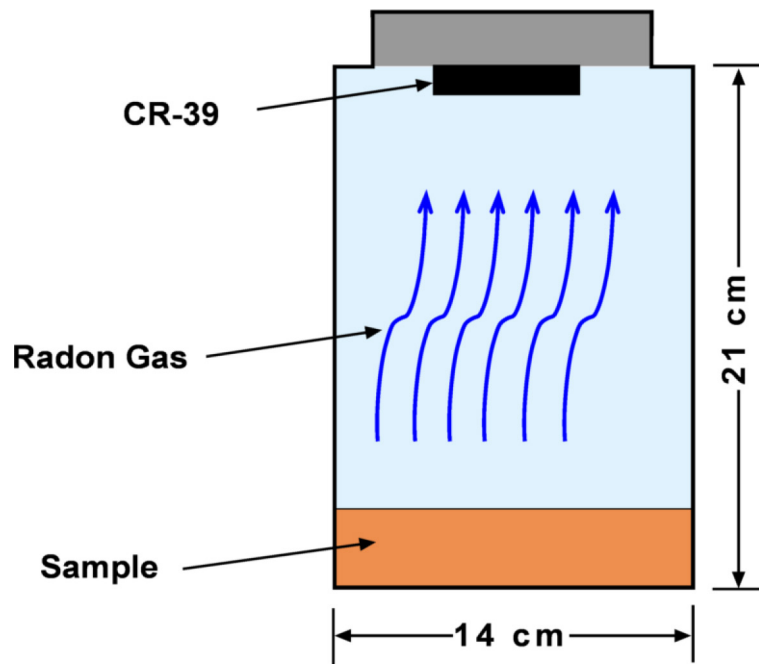


Figure 4. Experimental setup for the measurement of radon exhalation rate.

Şekil 4. Radon salınımını ölçmek için hazırlanmış deney düzeneği.

mass of the sample (kg) (Baykara and Dogru, 2006; Baykara, et al., 2005; Sroor, et al., 2001). The annual effective dose (AED) equivalent was calculated from radon concentrations in sense Guo and Cheng (2005).

The annual effective dose equivalent was calculated from radon concentrations. According to UNSCEAR (2000), the difference in radon doses and recommended a radon effective dose conversion factor of 9 nSv per (Bq h m<sup>-3</sup>). Assuming 7000 hours per year indoor (an indoor occupancy factor of 80%) and an equilibrium factor of 0.4 (Chen, 2005), using the mentioned recommendation (UNSCEAR, 2000), the effective dose for one year radon exposure is calculated using the relation (Guo and Cheng, 2005),

$$AED = \varepsilon f_{Rn} T C_{Rn}$$

Where,  $f_{Rn}$ : is the conversion factor = 9 nSv / (Bq h m<sup>-3</sup>), T: is the time spent indoors per year = 7000 hours,  $\varepsilon$ : is the equilibrium factor (= 0.4),  $C_{Rn}$ : is the radon concentration.

## Results and Discussions

From analyzed samples for radon exhalation, the data is listed in Table 1. It shows that the plutonic acidic igneous rocks samples (granitic rocks) had

radon concentration values range from 148.2 to 283.6 Bq/m<sup>3</sup>. The highest value (283.6 Bq/m<sup>3</sup>) was detected in gray granite where as the lowest value (148.2 Bq/m<sup>3</sup>) was depicted in greenish granite. The sample of granite waste-dust which collected from industrial quarry shows high concentration level of radiation with value about 257.2 Bq/m<sup>3</sup>.

The concentration of radiation in granite possible referred to constituents of uranium and thorium in acidic igneous rocks such as granite rocks (Evans and Goodman, 1941; Senetle and Keevil, 1947; Jeverveys, 1952). Where, the granitic rocks characterized by their high constituent of the silica (more than 63%), which directly proportional to radioactivity. The process of crystallization form silicate minerals in such as quartz, plagioclase, and perthite from the acidic magma at high temperature. Then, uranium and thorium will tend to be concentrated in the residual liquid, eventually being incorporated in minerals like the complex rare earth silicates, uraninite, monazite and uranothorite, or perhaps remaining as films among the previously solidified crystals (Evans and Goodman, 1941).

Additionally, the potassium is a relatively abundant in most granitic rocks, which reaches up to 2.9% (Daly, 1933), especially these rocks tend to gray color. This



Table 1. Radon exhalation rate, radon concentration, effective radium content and the annual effective dose of studied samples.

Çizelge 1. Radon salınım hızı, radon konsantrasyonu, efektif radon içeriği ve ölçülen örneklerde yıllık efektif dozlar.

Sample No.	Type	Source of Sample	E (mBq/m <sup>2</sup> /h)	C <sub>Rn</sub> (Bq/m <sup>3</sup> )	C <sub>Ra</sub> (Bq/kg)	Dose (mSv/year)
G-1	Granite waste-dust (Industrial quarry (Gaza Strip))		341.17	257.2	1.56	6.5
G-2	Gray granite	?	321.65	283.6	2.24	7.1
G-3	Greenish granite		168.03	148.2	0.50	3.7
M-1	Granite schist	?	107.03	94.4	0.43	2.4
M-2	Marble waste-dust (Industrial quarry (Gaza Strip))	El Khalil (West Bank)	530.21	399.7	2.88	10.1
M-3	Marble	El Khalil (West Bank)	272.84	240.6	1.14	6.1
BM-1	Gypsum	Egypt	135.91	102.4	1.32	2.6
BM-2	Lime (Ca(OH) <sub>2</sub> )	Egypt	140.94	106.2	2.11	2.7
BM-3	Black cement	Turkey	373.61	281.6	2.66	7.1
BM-4	White cement	Turkey	308.17	232.3	2.21	5.9
BM-5	Black cement	Israel	378.08	285.0	2.95	7.2
BM-6		South Gaza Strip	173.3	171.8	0.97	4.3
BM-7	Sand	Middle Gaza Strip	133.6	132.4	0.73	3.3
BM-8		North Gaza Strip	857.1	642.5	4.79	21.4

suggests the high concentration level of radiation in the gray granite.

On the other hand, the high level of radiation in granite waste-dust from industrial quarry could be referred to accumulation of dust with time due to working in the place, and it possibly other materials than the granite dust.

It is remarkable that the annual effective dose (AED) of the plutonic igneous rock samples range from 3.7 to 7.1 mSv/year. The highest values come from granite waste-dust from industrial quarry, and gray granite sample (6.5 and 7.1 mSv/year respectively). They were above the standard limit of the National Council on Radiation Protection and Measurements (1-5 mSv/year) (NCRP, 1987). Whereas, the AED of the rest sample were below the standard limit.

In case of metamorphic samples (marble and granite schist), it was observed that the radon concentration varied from 94.4 to 399.7 Bq/m<sup>3</sup>. The high level of

the radiation is referred to chemical composition of the marble, metamorphosed from limestone and dolomite rocks, which consist of calcium and magnesium carbonates. The Palestinian marbles, especially Al-Khalili marbles that are excavated from Al-Khalil mountains in the West Bank were metamorphosed from bioclastic limestones. That means, it was made of bioclats and fossils that had built there skeletons from carbonates (Fig. 2E and F). This suggests that these organic matters adsorbed the radon during their sedimentation before the metamorphism (Gurari et al., 1984; Kochenov and Baturin, 2002).

The AED of the metamorphic rock samples (marble and granite schist) varied between 2.4 and 10.1 mSv/year. This indicates that the marble was above the standard limits (1-5 mSv/year) (NCRP, 1987).

The granite schist shows the lowest concentration value (94.4 Bq/m<sup>3</sup>) comparing with studied rock fragment samples (Fig. 5), and AED values up to

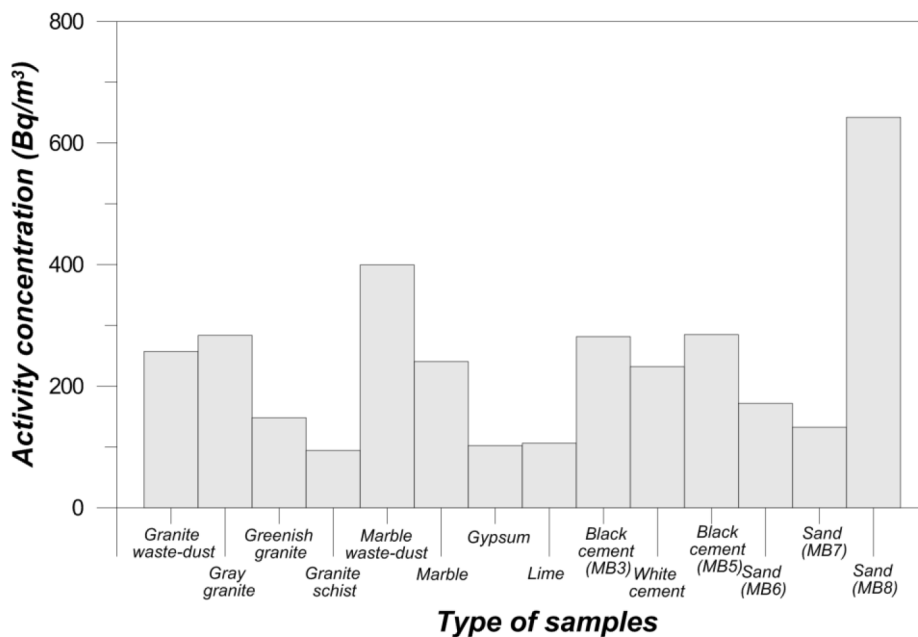


Figure 5. The radon concentration in the studied samples (MB5=sample number).  
 Şekil 5. Ölçülen örneklerdeki radon konsantrasyonları (MB5=örnek numarası).

2.4 mSv/year. It is below the standard limit. The low value in this type of rock possibly is referred to the effect to the heat and pressure generated within the earth depths (Jacobs, 1956). The levels of concentration of radioactivity in meteorites are low (Evans and Goodman, 1941; Arrol et al., 1942).

For construction material samples, the concentration of radon values ranges from 102.4 to 285.0 Bq/m<sup>3</sup> (Table 1), where higher values were observed in the Israeli and Turkish materials. The white and black cement samples from Turkey had values 232.3 to 281.6 Bq/m<sup>3</sup> respectively, and the black cement sample from Israel recorded the highest concentration values with up to 285.0 Bq/m<sup>3</sup>. Whereas, the gypsum and lime from Egypt had lower concentration values up to 102.4 and 106.2 Bq/m<sup>3</sup> respectively.

The AED in the construction material samples (black and white cement) from Israel and Turkey range from 5.9 to 7.2 mSv/year, which were above the standard limits (1-5 mSv/year) (NCRP, 1987). Whereas, the AED in the gypsum and lime samples from Egypt were below the standard limits.

Overall high concentration values were observed in plutonic acidic igneous rock samples (granitic rocks) especially those with gray to black colors, and metamorphic rock samples (marble rock). This

could indicate high contents of radium in these rocks (Durani et al., 1997; Morawsk, 1989). Therefore, the granite and marble rocks can be a significant source of radon in buildings. Thus, these types of rocks are not safe to use in constructions, where they are usually used in tiling especially in kitchens and stairs in Palestinian homes (Fig. 2). Also, the industrial quarries are not safe, where the waste-dust samples from materials that used in constructions had high radon concentration values above the standard limits.

The sands that are used in Gaza Strip as building mater were excavated from sand dunes of beach and coastal areas. Ubeid and Ramadan (2017) had observed that the sands in the northern parts of Gaza Strip had high concentration values of radon exhalation. The corresponding radon concentration value was up to 4.79 Bq/kg, and value of AED was 21.4 mSv/year. These sands had the highest radioactivity concentration between the studied samples (Fig. 5). It was above the standard limits (1-5 mSv/year) (NCRP, 1987), and they concluded these sands are not safe to use as building materials (Table 1). The authors suggested that the sources of the pollution are black sands, agricultural run-off and urban areas, discharges from mining, factories and municipal sewer systems, leaching from dumps and former industrial sites. Whereas the radon concentration

levels in the middle and southern parts of Gaza Strip were 0.7 and 4.79 Bq/kg respectively, the corresponding values of AED were 3.3 and 4.3 mSv/year. They were below the standard limits, and are safe to use in constructions.

This study shows that the sands in northern part of Gaza Strip, the marble and the gray granite show highest activity concentration values, while the granite schist and the sands in middle part of Gaza Strip show the lowest activity concentration levels (Fig. 5).

Also, good correlation are found between both the radon concentration ( $C_{Rn}$ ) and the annual effective dose (AED) with the effective radium content ( $C_{Ra}$ ) as depicted in Figure 6A and B.

## Conclusions

The study was carried out to assess the radon activity concentration in rock fragments and construction materials used in the Gaza Strip, southwestern

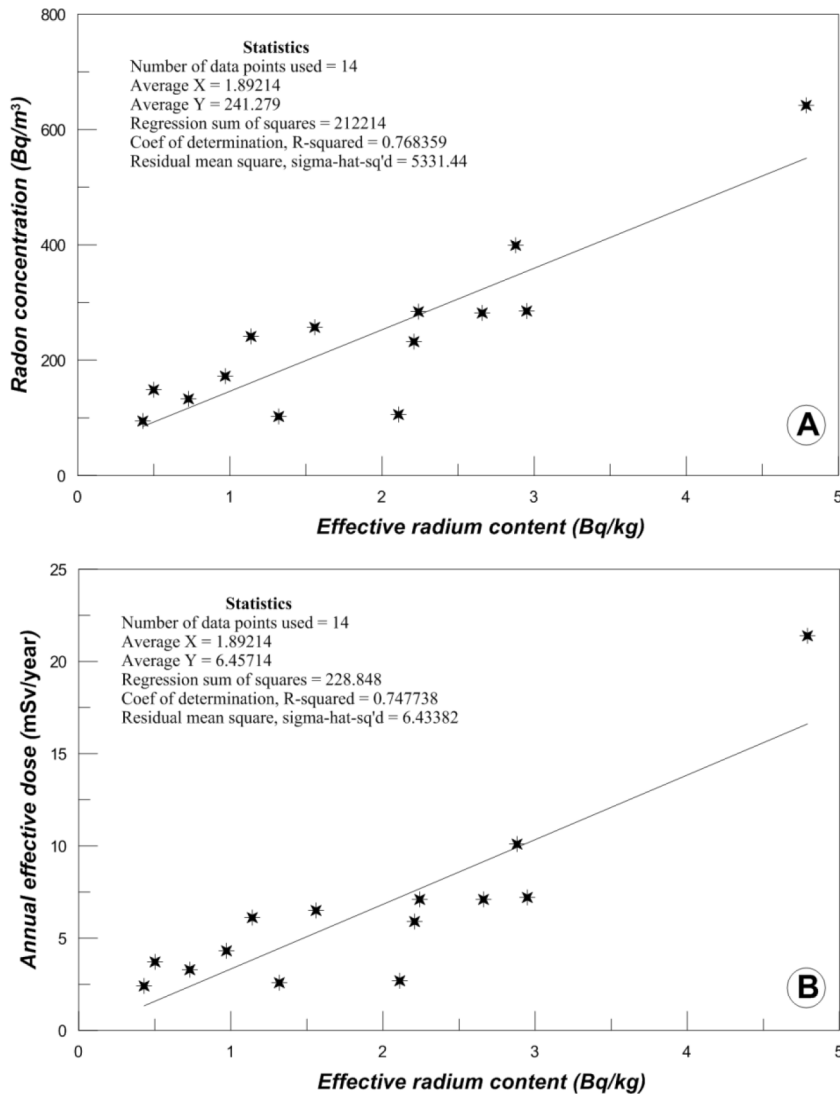


Figure 6. Correlation of the radon radioactivity results. (A) The correlation between the effective radium content (Bq/kg) and the radon concentration (Bq/m<sup>3</sup>) of the studied samples. (B) The correlation between the effective radium content (Bq/kg) and the annual effective dose (mSv/year) of the studied samples.

Şekil 6. Radon radyoaktivitesi sonuçlarının korelasyonu. A) Örneklerdeki efektif radon içeriği (Bq/kg) ile radon konsantrasyonu (Bq/m<sup>3</sup>) arasındaki korelasyon. B) Örneklerdeki efektif radon içeriği (Bq/kg) ile yıllık efektif doz (mSv/yıl) arasındaki korelasyon.

of Palestine. Fourteen samples are collected and tested by using the closed can technique and the solid state nuclear track detectors (CR-39) to determine radon exhalation rate. The values of radon activity were ranged from 94.4 to 642.5 Bq/m<sup>3</sup>. The highest values were observed in sands (from north of Gaza Strip), black cement, gray granite, and the marble show relatively highest levels with values about 642.5, 285.0, 283.6, and 257.2 Bq/m<sup>3</sup> respectively. They are above the standard international limits, and they are not safe to use as construction materials. In the sense of Ubeid and Ramadan (2017), the highest value in sands are referred to agricultural run-off and urban areas, discharges from mining, factories and municipal sewer systems, leaching from dumps and former industrial sites. While, the high value in the gray granite is related to high percentage of silica and potassium contents, the high value of radon concentration in the marble is interpret to high contents of organic matter in the original limestone before the metamorphism. In waste-dust samples from industrial quarry the radon concentration level is above the international standard limit. The ambient was polluted and is not safe for workers.

## REFERENCES

- Abo-Elmagd, M., and Daif, M.M., 2010. Calibration of CR-39 for radon-related parameters using sealed cup technique. *Radiation Protection Dosimetry* 139, 546–550.
- Arrol, W.J., Jacobi, R.B., and Paneth, F.A., 1942. Meteorites and the age of the solar system. *Nature* 49, 235–238.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 1990. U.S Public Health Service, in Collaboration with U.S. Environmental Protection Agency, *Toxicological Profile For Radon*.
- Axelsson, O., 1995. Cancer Risks from Exposure to Radon in Homes. *Environment Health Perspective* 103, 37–43.
- Baykara, O., and Dogru, M., 2006. Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Fault Systems, Turkey. *Radiation Measurements* 41, 362–367.
- Baykara, O., Dogru, M., Inceoz, M., and Aksoy, E., 2005. Measurements of radon emanation from soil samples in triple-junction of North and East Anatolian active faults systems in Turkey. *Radiation Measurements* 39, 209–212.
- Chauhan, R. P., Chauhan, P., Pundir, A., Sunil Kamboj, S., Vakul Bansal, V., and Saini, R. S., 2014. Estimation of dose contribution from <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K and radon exhalation rates in soil samples from Shivalik Foot Hills in India. *Radiation Protection Dosimetry* 158, 79–86.
- Chauhan, R.P., Nain, M, Kant, K., 2008., Radon diffusion studies through some building materials: Effect of grain size. *Radiation Measurements* 43, S445–S448.
- Chen J., 2005. A Review of radon doses, *Radiation Protection Bureau, Health. Canada Radiation Protection* 22, 27–31.
- Daly, R.A., 1933. *Igneous Rocks and the Depths of the Earth*. New York: McGraw-Hill
- Durrani, S., and Ilic, R., 1997. *Radon Measurements by Etch Track Detectors*. World Scientific Publishing, Singapore.
- Evans, R.D., and Goodman, G., 1941. Radioactivity of rocks. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 52, 459–490.
- GEP (Gaza environmental Profile), Part I., 1994. Inventory of resources. *Palestinian Environmental protection Authority, Eurconsult/Iwaco*.
- Guo Q., and Cheng J., 2005. Indoor thoron and radon concentrations in Zhuhai, China. *Journal of Nuclear Science and Technology* 42, 588–591.
- Gurari, F.G., Gavshin, V.M., and Matvienko, N.I., 1984. *Geochemistry of Microelements in Lower–Middle Cambrian Marine Plankton Sediments of the Siberian Platform, (Association of Microelements with Organic Matter in Sedimentary Rocks of Siberia)*. Novosibirsk: Inst. Geol. Geofiz., Sib. Otd., Akad. Nauk SSSR, pp. 41–68.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). 1999. *Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure*. Publication 82, Elsevier Science B.V.
- Jacobs, J.A., 1956. Earth's Interior. In: *Encyclopedia of Physics*, S. Flugge (ed.), Springer-Verlag, Berlin, pp. 389ff.
- Jeffreys, H., 1952. *The Earth*. 3<sup>rd</sup> ed., Cambridge University Press.



- Khan, A. J., Prasad, R., and Tyagi, R. K., 1992. Measurement of radon exhalation rate from some building materials. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* 20, 609-710.
- Khayrat, A.H., Oliver, M.A., Durrani, S.A., 2001. The effect of soil particle size on soil radon concentration. *Radiation Measurements* 34, 365-371.
- Kochenov, A.V., and Baturin, G.N., 2002. The Paragenesis of Organic Matter, Phosphorus, and Uranium in Marine Sediments. *Lithology and Mineral Resources* 37 (2), 107-120.
- Maged, A.F., and Ashraf, F.A., 2005. Radon exhalation rate of some building materials used in Egypt. *Environmental Geochemistry and Health* 27, 485-489.
- Morawska, L., 1989. Two Ways of Determining the  $^{222}\text{Rn}$  Emanation Coefficient. *Health Phys.* 57, 481- 483.
- Najam, L.A., Tawfiq, N.F., and Mahmood, R.H., 2013. Radon Concentration in Some Building Materials in Iraq Using CR-39 Track Detector. *International Journal of Physics* 1, 73-76.
- NCRP (National Council for Radiation Protection and Measurements), 1987. Report no. 93.
- Rafique, M., and Rathore, M.H., 2013 Determination of radon exhalation from granite, dolerite and marbles decorative stones of the Azad Kashmir area. *Pakistan Int. J. Environ. Sci. Technol* 10, 1083-1090.
- Senftle, F.E., and Keevil, N.B., 1947. Thorium-uranium ratios in the theory of genesis of lead Ores. *Trans. Amer. Geophys. Un.* 28, 732-738.
- Sharma, N., Jaspal Singh, J., Esakki, S.C., Tripathi, R.M., 2016. A study of the natural radioactivity and radon exhalation rate in some cements used in India and its radiological significance. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 9, 47-56.
- Singh, A. K., Sengupta, D., and Prasad, R., 1999. Radon exhalation rate and uranium estimation in rock samples from Bihar uranium and copper mines using the SSNTD technique. *Appl. Radiat. Isot.* 51, 107-113.
- Somogyi, G., 1990. The environmental behaviour of radium. Technical reports series no. 310, vol.1, IAEA, Vienna, 247-256.
- Sroor, A., El-Bahi, S.M., Ahmed, F., and Abdel-Haleem, A.S., 2001. Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt. *Appl. Radiat. Isot.* 55, 873-879.
- Ubeid, K.F., and Albatta, A., 2014. Sand dunes of the Gaza Strip (southwestern Palestine): morphology, textural characteristics and associated environmental impacts. *Earth Sciences Research Journal*, 18, 131-142.
- Ubeid, K.F., and Ramadan, K.A., 2017. Activity concentration and spatial distribution of radon in beach sands of Gaza Strip, Palestine. *Journal of Mediterranean Earth Sciences* 9, 19-28.
- UNEP, 2009. Environmental assessment of the Gaza Strip, following the escalation of hostilities in December 2008-January 2009. United Nations Environment Program, Palestine.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York.



## Doğu Ege Denizi Türkiye Kıyılarında Varlığı Bilinen veya Düşünülen Deniz İçi Termal Çıktılar Çevresinde Gözlenen Bentik Foraminifer Topluluklarında Belirlenen Değişimler ve Etkenler

### *Variations and Factors Affecting the Benthic Foraminifer Assemblages Around the Submarine Springs Which are Known/Suggested to Be Present on the Eastern Aegean Coasts of Turkey*

ENGİN MERİÇ<sup>1</sup>, İPEK F. BARUT<sup>2</sup>, M. BAKİ YÖKEŞ<sup>\*3</sup>, MUSTAFA ERYILMAZ<sup>4</sup>, FULYA YÜCESOY-ERYILMAZ<sup>4</sup>, FEYZA DİNÇER<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Moda Hüseyin Bey Sokak No: 15/4, 34710 Kadıköy, İstanbul

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

<sup>3</sup> AMBRD Doğa Bilimleri, Hanımefendi Sokak No:160/6 34384 Şişli İstanbul

<sup>4</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 33343 Çiftlikköy, Mersin

<sup>5</sup> Nevşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 50300 Nevşehir

Geliş (received) : 17 Ağustos (August) 2018

Kabul (accepted) : 23 Kasım (November) 2018

#### ÖZ

Doğu Ege Denizi (Türkiye) ve Midilli Adası (Yunanistan) kıyılarında belirlenmiş olan veya belirli noktalarda foraminifer topluluklarının sunduğu renklenme, yabancı foraminiferlerin varlığı ve şekil bozukluğu gibi farklı özellikleri nedeniyle varlığı düşünülen sıcak su çıktılan çevresinde yapılmış olan araştırmalarda *Coscinospira hemprichii*, *Euthymonacha polita*, *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Amphisorus hemprichii*, *Sorites orbiculus*, *S. variabilis*, *Cymbaloporetta plana*, *C. squamosa* ve *Amphistegina lessonii*, *A. lobifera* gibi yabancı bentik foraminiferlerin yayılımında büyük farklılıkların olduğu gözlenmiştir. Kuşadası Körfezi sıcak su çıktısı etrafında gözlenen foraminifer topluluğu oldukça zengin denilebilecek yabancı cins ve türlere sahiptir. Doğanbey Körfezi topluluğu ise bu özellik açısından fazla zengin değildir. Karaburun Yarımadası, Ilıca Koyu'nda ise farklı bir durum ile karşılaşmıştır. Yabancı topluluğu içinde Ege Denizi için karakteristik bir foraminifer olan *Amphistegina lobifera* yoktur. Buna karşın Karaburun Yarımadası kuzeybatısından alınmış olan güncel çökel örnekleri bol denilebilecek sayıda *Amphistegina lobifera* içermektedir. Daha kuzey alanda Aliağa çevresindeki Ilıca Burnu'nda birbirine yakın iki noktada 40°C ve 51°C sıcak su çıktısı bulunmaktadır. Alınmış olan 13 örnekte *Amphistegina lobifera* dışında *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Amphisorus hemprichii* ve *Sorites orbiculus* gibi Ege Denizi için karakteristik olan cins ve türlere ait herhangi bir bireye rastlanılmamıştır.

Elde edilen bulgular ile daha önce çalışılmış olan Kuşadası, Doğanbey, Karaburun Yarımadası kuzeybatısı gibi alanlarda varılan sonuçlar karşılaştırıldığında büyük bir farkın varlığı ortaya çıkmaktadır. Adı geçen üç bölgede gözlenmiş olan *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Coscinospira hemprichii*, *Sorites orbiculus* ve *Amphistegina lobifera* bireyelerine Aliağa örneklerinde rastlanılmamıştır. Bu durum Ege Denizi'ndeki bazı noktalarda çok farklı ekolojik koşulların varlığı veya eksikliği nedeniyle gerçekleşmiş olabilir. Örnek olarak Çeşme Ilıca Koyu gösterilebilir. Burada 28.4°C sıcak su çıktısının varlığına karşın *Amphistegina lobifera* dışında yukarıda adı geçen diğer bentik foraminiferler bulunmuştur. Hâlbuki Kuşadası Körfezi, Ilıca Koyu ve Karaburun Yarımadası KB'da oldukça fazla sayıda denilebilecek güney Pasifik ve Kızıldeniz kökenli *Euthymonacha polita* ile *Coscinospira acicularis* bireyelerine rastlanılmıştır. Aliağa Ilıca Burnu'ndaki 51°C ve 40°C sıcaklık sunan 2 sıcak su kaynağı çevresinde ise adı geçen 5 bentik foraminifer ile diğer yabancı foraminiferlerin bulunmayışı bu cins ve türlerin yaşam koşulları için belirli bir sıcaklık değeri olması gerektiğini ve Ilıca Burnu kaynaklarındaki değerlerin çok yüksek olduğunu düşündürür. Bu verilere göre farklı cins ve türler değişik ekolojik koşulların etkisinde kalarak yaşamlarını devam ettirebilirler veya yaşama imkanını bulamazlar.

Buna karşın geçmişte var olduğu düşünülen ve çok sayıda jips kristali içeren 11 no'lu örnek çevresinde foraminifer çeşitliliğinin oldukça zengin olmasına karşın, ostrakod ve mollusk topluluğu çok fakirdir. Bu duruma termal suyun içermiş olduğu sülfatın neden olduğu düşünülebilir. Yine ortaya çıkan sonuç sülfatın ostrakod ve mollusklar üzerinde olumsuz yönde etken olmasına

\* M. B. Yokeş

e-posta: bakiyokes@gmail.com

karşın foraminiferleri fazla etkilemediğidir. Söz konusu bu yabancı foraminiferlerin Ege Denizi'nde farklı lokalitelerde gerek fiziksel ve gerekse kimyasal özellikleri açısından farklılık sunan ekolojik koşulların etkisinde kalarak belirli alanlarda çoğalıp yayıldıkları, belirli alanlarda ise yaşama imkanı bulamadıkları anlaşılmıştır.

Bunların dışında kuzeybatı ve batı Ege Denizi (Yunanistan) kıyı alanlarında yapılan çalışmalarda cins ve tür çeşitliliği açısından fazla zengin olmayan yabancı bentik foraminiferler gözlenmiştir. Ancak önümüzdeki yıllarda bu alanlarda yapılacak olan ayrıntılı çalışmalar muhtemelen zengin bir çeşitliliğin varlığını ortaya koyacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğu Ege Denizi kıyıları, termal su kaynakları, yabancı bentik foraminiferler

#### ABSTRACT

*Benthic foraminifer assemblages have been known to include individuals with colored tests and morphological abnormalities on the coasts of Eastern Aegean Sea (Turkey) and Lesbos Island (Greece). For same reasons, surroundings of the thermal springs that are known to be present or suggested to be present were studied. Great qualitative and quantitative differences were observed in the distributions of the alien species, such as *Coscinospira hemprichii*, *Euthomonacha polita*, *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Amphisorus hemprichii*, *Sorites orbiculus*, *S. variabilis*, *Cymbaloporetta plana*, *C. squamosa* and *Amphistegina lessonii*, *A. lobifera*. The foraminifer assemblages around the thermal spring in Kuşadası Bay were found to be rich in alien species, whereas, an exact opposite case was observed in Doğanbey Bay. The assemblages in Karaburun Peninsula and Ilica Cove also showed differences. The alien foraminifer *Amphistegina lobifera*, which is typical for the Aegean Sea, was not found in Ilica, but it was abundant in the recent sediment samples collected from northwest of Karaburun Peninsula. On the north, two thermal springs, with 40°C and 51°C temperatures, are closely located on the coast of Ilica Cape, near Aliğa (İzmir). Except *Amphistegina lobifera*, the alien species, such as, *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Amphisorus hemprichii* and *Sorites orbiculus*, which are typical for Aegean Sea were not observed in the 13 samples collected from the region.*

*Differences were found when the findings of the present study are compared with previous studies conducted in Kuşadası, Doğanbey and northwest of Karaburun Peninsula, which worths attention. *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Coscinospira hemprichii*, *Sorites orbiculus* and *Amphistegina lobifera* individuals have been observed in the above mentioned localities, but none of them were found in Aliğa samples. These findings can be explained by the differences in environmental factors. For example, except *Amphistegina lobifera*, the above mentioned benthic foraminifer species have been observed around the thermal spring in Çeşme Ilica Cove, which had a temperature of 28.4°C. Southern Pacific and Red Sea originated *Euthomonacha polita* and *Coscinospira acicularis* individuals have been abundantly found in Kuşadası Bay, Ilica Cove and northwest of Karaburun Peninsula. The absence of the mentioned five benthic foraminifers and any other alien foraminifer around the two thermal springs with 51°C and 40°C temperatures on Aliğa Ilica Cape, suggests that certain temperatures are required for these genera and species to live and the temperature values of the springs on Ilica Cape are too high. According to these findings, different genera and species are affected by the environmental conditions and they can, or not, continue to survive.*

*Besides, numerous gypsum crystals were observed in sample A11 from samples of Ilica Cape, suggesting a thermal spring has been present in the past. In contrasts to high biodiversity of the foraminifer fauna, ostracod and mollusc fauna were very poor, which might be the result of sulphate found in the thermal water. Sulphate might have a negative effect on ostracod and molluscs, but not on foraminifers. It is evident that these alien foraminifer species are affected by the physical or chemical environmental conditions, can proliferate and expand in suitable regions, but cannot survive in certain locations.*

*In addition, alien benthic foraminifers were also observed on the northwestern and western Aegean Sea (Greece), which did not show a diverse genera and species composition. However, detailed studies which should be conducted in the future will probably show the presence of a diverse alien foraminiferal fauna on these coasts.*

**Keywords:** Eastern Aegean Sea coasts, thermal springs, alien benthic foraminifers.

## GİRİŞ

Ege Denizi Türkiye kıyı alanlarında gerek karada ve gerekse deniz içinde farklı noktalarda sıcak su çıkışları vardır. Karada bulunanlar Edremit Körfezi batısından güneye doğru Marmaris Körfezi'ne kadar çok sayıda kaplıcanın varlığına neden olmuştur. Deniz içindikilerden ise en meşhuru Çeşme Ilıca Koyu kaplıcasıdır. Yine deniz içinde bilinen veya varlığı düşünülen sıcak su çıkış noktaları güneyden kuzeye doğru şu şekilde sıralanabilir (Şekil 1).

## Doğu Ege Denizi-Türkiye kıyıları

### Kuşadası Körfezi

Kuşadası Körfezi'nde deniz içi sıcak su çıktısı 19°C olarak ölçülmüştür. Çevresinde 4 farklı yönde alınmış 60 örnekte yapılan çalışmada; *Iridia diaphana*, *Haddonia* sp., *Nodopthalmidium antillarum*, *Hauerina diversa*, *Triloculina affinis*, *Euthomonacha polita*, *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Pyramidulina catesbyi*, *Brizalina simpsoni*, *Cyclocibicides vermiculatus*, *Cymbaloporetta plana*, *Amphistegina lessonii*, *A. lobifera* gibi yabancı foraminiferler bulunmuştur. Bu noktada dominant cins ve türler *Peneroplis pertusus*, *P. planatus* ve *Amphistegina lobifera*'dır. Kaynak çevresinden derlenen 60 örnekten yalnızca ikisi *Amphistegina lobifera* içermez. Bazılarında ise sayıca 10'dan küçük değerdedir. Çoğunlukla bu değer 100'ün üzerinde olup, dördünde 500'ün üzerinde ve birinde ise 1954'dür. Derinlikler 9.2 - 11.3 m arasında değişir. Sıcaklık ise 17.5°C olarak belirlenmiştir. Yine Kızıldeniz ve Akdeniz'de varlığı bilinmeyen *Euthomonacha polita* ilk kez Kuşadası örneklerinde gözlenmiştir (Meriç vd., 2010) ve Ilıca-Çeşme ile Karaburun Yarımadası KB kıyılarına kadar (İzmir) yayılım göstermiştir. Bu veriler dışında Kuşadası örneklerinde gözlenen renkli kavkılı ve morfolojik bozukluklar sunan bireylerin çokluğu dikkat çekicidir (Yokeş vd., 2014).

### Doğanbey Burnu

Doğanbey Burnu ve çevresinde ise deniz içi küçük mağaralardan çıkan sıcak su dışında denizde de bazı noktalarda bu gibi çıktılar gözlenmiştir. Örneklerin alınmış olduğu su derinliği 0.20-31.80 m, dip su sıcaklığı 19.95-23.32°C ve dip tuzluluğu ‰ 38.99-39.24 arasında değişmektedir. Yaşam sığ alanlarda

oldukça fakir olmasına karşın derin bölgelerde zengindir. Yabancı foraminifer olarak bunlar *Iridia diaphana*, *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Cyclobiculina compressa*, *Sorites orbiculus*, *Cyclocibicides vermiculatus*, *Amphistegina lessonii*, *A. lobifera* olarak gösterilebilir.

Çalışma bölgesinde dikkati çeken en önemli özellik belli noktalardan alınmış olan örneklerde *Amphistegina lobifera* bireylerinin bolluğudur. Tuzla Fayı'na bağlı olarak gerek kıyı alanı ve gerekse deniz içinde fay hattına/hatlarında meydana gelen sıcak su çıktılarının varlığı bunun başlıca nedeni olarak düşünülebilir. Bölge bu özelliği ve foraminifer topluluğu ile Kuşadası Koyu'nda bulunan kaynak çevresi topluluğuna büyük benzerlik sunar. Bu değer Kuşadası Koyu'ndaki kaynakta 19.6°C olup, çevresinde 17.5°C'dir. Doğanbey Burnu'ndan alınan örnek noktalarında ise dip suyu sıcaklığı kaynakta 23.3°C olup, çevresinde 19.0°C'dir.

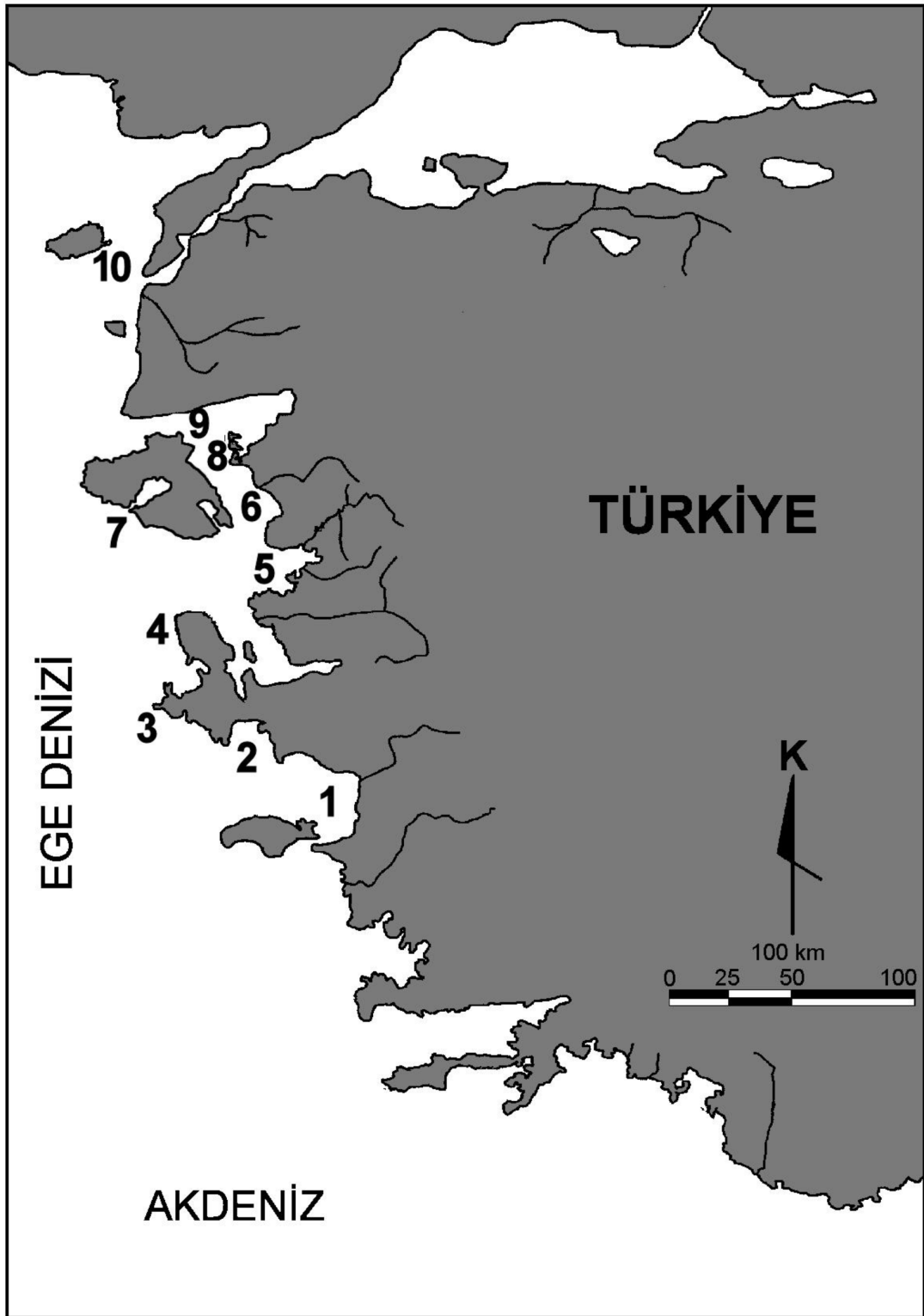
Bölge için diğer bir önemli özellik bol miktarda hem renkli ve hem de morfolojik bozukluk gösteren kavkılara sahip *Peneroplis planatus*'lara oldukça fazla sayıda rastlanmasıdır. Yukarıda adı geçen bölgelerde olduğu gibi bu özelliğin kazanılmasında sıcak suların içermiş olduğu ağır metal ve eser elementlerin etkinliği düşünülür. Yine morfolojik bozukluk sunan bazı foraminifer bireyleri de bu düşüncenin bir diğer kanıtı olarak belirtilebilir (Meriç vd., 2018a).

### Çeşme Ilıca Koyu

Çeşme Ilıca Koyu'nda aynı şekilde bir termal kaynak varsa da, bu alandan alınan 38 örnek üzerinde yapılan çalışmada *Amphistegina lobifera* bireyine/bireylerine rastlanılmamıştır (Meriç vd., 2012a). Buradaki kaynak sıcaklığı 28.4°C olarak ölçülmüştür. 1940'lı yıllarda ise ölçülen değer 59°C'dir (Çağlar, 1946; Başkan ve Canik, 1983). Zaman içinde kaynak suyunda sıcaklığın azaldığının gerçekleştiği ortaya çıkmaktadır. Bu değer Kuşadası Koyu'ndaki kaynakta 19.6°C olup, çevresinde 17.5°C'dir. Doğanbey Burnu'ndan alınan örnek noktalarında ise dip suyu sıcaklığı kaynakta 23.3°C olup, çevresinde 19.0°C'dir.

Ilıca Koyu'nda (Çeşme-İzmir) varlığı bilinen kaynak çevresinde yapılan çalışmada 38 güncel çökel örneklerinde yabancı foraminiferlerden *Nodopthalmidium antillarum*, *Spiroloculina antillarum*, *Triloculina fichteliana*, *Euthomonacha polita*, *Coscinospira acicularis*, *C. hemprichii*, *Peneroplis arietinus*, *P. pertusus*, *P.*





Şekil 1. Doğu Ege Denizi-Türkiye kıyılarındaki termal su çıkış yerleri: 1. Kuşadası Körfezi, 2. Doğanbey Burnu, 3. Çeşme-İlica Koyu, 4. Karaburun Yarımadası, 5. Aliğa-İlica Burnu, 6. Dikili Körfezi, 7. Midilli Adası, 8. Alibey ve Maden adaları, 9. Edremit Körfezi, 10. Gökçeada.

Figure 1. Locations of the thermal spring water spots in the Eastern Aegean Sea-Turkey coasts: 1. Gulf of Kuşadası, 2. Doğanbey Cape, 3. Çeşme-İlica Cove, 4. Karaburun Peninsula, 5. Aliğa-İlica Cape, 6. Dikili Bay, 7. Lesbos Island, 8. Alibey and Maden Islands, 9. Gulf of Edremit, 10. Gökçeada.

*planatus*, *Amphisorus hemprichii*, *Sorites orbiculus*, *Polymorphina fistulosa*, *Cyclocibicides vermiculatus*, *Cymbaloporetta plana*, *C. squamosa* gözlenmiştir. Bu alanda *Amphistegina lobifera*'nın bulunmayışı çalılışan diğer bölgelere göre farklı ekolojik koşulların varlığını işaret etmektedir. Keza kaynak suyunda radyoaktivite değeri oldukça yüksektir (Meriç vd., 2012a; Meriç vd., 2012b). Ilica Koyu'nda *Euthymonacha polita* dışında Doğu Ege Denizi'nde ilk kez gözlenen *Coscinospira acicularis*'in varlığı bu alan için dikkat çekici bir diğer özelliktir. Bu cins ve tür Ilica Koyu dışında Doğu Akdeniz'de yalnızca Hayfa koyunda gözlenmiştir (Yokeş vd., yayınlanmamış çalışma).

### KB Karaburun Yarımadası

Karaburun Yarımadası kuzeybatı kesiminde *Amphistegina lobifera*'ya bol olarak rastlanılması ilginç bir durumu ortaya koyar (Meriç vd., 2012b). Bu alanda herhangi bir sıcak su kaynağının varlığı henüz tespit edilememiştir. Fakat sıcak su kaynağını kanıtlayacak renkli kavkılı ve morfolojik bozukluk gösteren kavkılara sahip bentik foraminiferlerin bolluğu bu düşünceye destek verir.

Karaburun Yarımadası GB'sında Tuzla Koyu'ndan derlenmiş olan 45 ve KD'sunda Karaburun yerleşim alanı GD'dan alınan 45 güncel çökel örneğinde yabancı foraminiferlerden *Iridia diaphana*, *Nodopthalmidium antillarum*, *Triloculina fichteliana*, *Articulina carinata*, *Euthymonacha polita*, *Peneroplis arietinus*, *P. pertusus*, *P. planatus*, *Sorites orbiculus*, *S. variabilis*, *Cymbaloporetta plana*, *C. squamosa*, *Amphistegina lobifera* gibi cins ve türler gözlenmiştir. Özellikle Tuzla Koyu'nda *Amphistegina lobifera* bireylerinin çok sayıda rastlandığı noktalarda su sıcaklığı 16.8-17.0°C değerdedir. Yine bu alanda oldukça fazla sayıda ve gelişmiş *Euthymonacha polita* bireylerinin varlığı, söz konusu foraminiferin Kuşadası sıcak su kaynağından itibaren kuzeye doğru göç ettiğini ve ekolojik özelliklerin uygunluğu nedeniyle bu alanlarda çoğaldığını ortaya koymaktadır (Meriç vd., 2010; Meriç vd., 2012c).

### Aliağa Ilica Burnu

Çandarlı Körfezi'nin güney ucunda batıda Ilica Burnu ile doğuda Kızıl Burun arasında kalan alanda deniz kıyısında bulunan biri deniz seviyesinde 51°C, diğeri 70-80 cm yukarıda bulunan ve su sıcaklığı 40°C olan

iki küçük mağara içinden çıkan sıcak su çıkışlarının çevresinde yaşayan bentik foraminiferler üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla bir araştırma yapılmıştır. Bu iki kaynak dışında 11 no'lu örnekte gözlenen çok sayıdaki tekçe jips kristallerinin varlığı bu alanda yakın geçmişte faya bağlı üçüncü bir sıcak su kaynağının var olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu alandan alınan 13 genç çökel örneğinde Ege Denizi'nde sıkça rastlanılan *Coscinospira hemprichii*, *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Amphisorus hemprichii*, *Sorites orbiculus*, *S. variabilis* ve *Amphistegina lobifera* gibi yabancı foraminifer bulunmamıştır. Bunun dışında incelenen örneklerde Ege Denizi'nin farklı noktalarında gözlenen yabancılardan hiç biri bu alanda mevcut değildir. Bu durum yukarıda belirtilen sıcak su çıkışları çevresi ile bölge için çok farklı bir özellik sunmaktadır. Burada etken olanlar su sıcaklığının 51°C ve 40°C derece olması ve/veya suyun kimyasal özellikleriyle ilgili yüksek radyoaktivite olabilir. Yine de renkli ve morfolojik bozukluk gösteren birey sayısı oldukça azdır (Meriç vd., 2018b, yayın aşamasında).

### Dikili Körfezi

Dikili Körfezi kuzeyi ve güneydoğusundan alınmış olan iki örnekte yabancı foraminiferlerden *Peneroplis pertusus* ile *P. planatus* bireyleri bulunmuştur. Bunlardan birinde rastlanılan *Peneroplis planatus* bireyi bilinen ağız şekli ve konumları açısından çok farklı olarak anormal bir durumu sergilemektedir (Meriç vd., 2003). Yine karada yakın alanda bir kaplıcanın varlığı bu noktada da deniz içi sıcak su çıktısının/çıkışlarının var olabileceğini düşündürmektedir.

### Alibey ve Maden adaları çevresi

Alibey ve Maden adaları çevresinden derlenen 4 karottan alınmış olan 96 örneğe ait foraminifer topluluğu yine Kuşadası, Doğanbey ve Karaburun Yarımadası Tuzla Koyu foraminifer topluluklarına benzerlik sunar. Örneklerde *Iridia diaphana*, *Spiroloculina antillarum*, *Coscinospira hemprichii*, *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Sorites orbiculus*, *Acervulina inhaerens*, *Amphistegina lobifera* gibi yabancı foraminiferler gözlenmiştir. Fark, incelenen 96 örnekten yalnız birinde tek fert olarak *Amphistegina lobifera*'ya rastlanılmış olmasıdır. Bunun dışında kor 4b'de anormal denilebilecek sayıda renkli *Peneroplis pertusus* ve *P. planatus* bireyleri bulunmuştur. Yine kor 3a'da

çok sayıda serbest olarak, ayrıca hem foraminiferler ve hem de *Posidonia*'lar çevresinde çok sayıda jips kristalleri gözlenmiştir (Meriç vd., 2017). Bu durum korun alındığı nokta çevresinde yakın bir sürede sıcak su çıktısının kanıtı olarak belirtilebilir.

### Edremit Körfezi

Edremit Körfezi'nden derlenen 11 örnek üzerinde yapılan çalışmada Baba Burnu güneydoğusundan alınmış olan 2 no'lu örnek 30 cins ve 45 tür gibi zengin bir foraminifer topluluğuna sahiptir. Bunlar arasında gözlenen ve bir yabancı foraminifer olarak bilinen *Astacolus crepidulus* bireylerinin varlığı bu alan için farklı bir diğer özelliktir. Yine 2 no'lu örnekte bulunan zengin bryozoon topluluğunu oluşturan *Adeonella polystomella* Türkiye Akdeniz kıyıları dışında Fas, Kızıldeniz, Hint Okyanusu ve Pasifik Okyanusu'nda yaşamaktadır. *Margaretta cereoides* yine Akdeniz dışında Kızıldeniz'de de bulunmuştur. Sıcak denizleri tercih eden bu organizmaların Edremit Körfezi kuzeyini yaşam alanı olarak tercih etmeleri, bu alanda tektonizmaya bağlı olarak karada kıyı kesimlerinde gözlemediği gibi deniz içinde de faylara bağlı termal kaynakların varlığını desteklemektedir (Meriç vd., 2012e).

### Gökçeada

Gökçeada çevresinden derlenmiş olan 34 örneğin çoğunda, özellikle adanın güneydoğu kesiminde daha fazla olarak yabancı foraminiferlerden *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Sorites orbiculus* ile *Amphistegina lobifera* bireylerine rastlanılmıştır. Bunlardan *Sorites orbiculus* ile *Amphistegina lobifera* yalnız Aydıncık Limanı'ndan derlenen 30 no'lu örnekte bulunmuştur. Yine adanın güneydoğu kesiminde bol olarak gözlenen *Peneroplis planatus* bireylerinin sarı ve turuncu renklerde olması bu kesimde de Midilli Adası benzeri Fe'ce zengin sıcak su çıktılarının varlığını düşündürür (Meriç ve Avşar, 2001).

### Batı Ege Denizi Yunanistan kıyıları ve Midilli Adası

Durumu kuzeybatı Ege Denizi ve batı Ege Denizi kıyı alanlarına yönlendirirsek Yunanistan kıyı alanlarının farklı noktalarında zengin denilebilecek bir yabancı bentik foraminifer topluluklarının varlığı ile karşılaşılır.

Farklı araştırmacılar tarafından bunlar *Triloculina fichteliana*, *Coscinospira hemprichii*, *Peneroplis pertusus*,

*P. planatus*, *Sorites orbiculus*, *Cymbaloporetta plana*, *Planogypsina acervalis*, *Amphistegina lobifera* olarak belirlenmiştir. Adı geçen yabancı foraminiferler içinde en fazla yayılım gösteren *Amphistegina lobifera*'dır (Triantaphyllou vd., 2009; Koukousioura vd., 2010; Koukousioura vd., 2011; Triantaphyllou vd., 2012; Dimizia vd., 2016).

Midilli Adası güneydoğusunda Mytilene yerleşim alanı kuzeybatısında Pirgi Thermis doğusunda kıyı alanı zengin bir bentik foraminifer topluluğuna sahiptir. Bunlar arasında gözlenen *Peneroplis pertusus*, *P. planatus* ile *Sorites orbiculus* bireyleri bu alanadaki sıcak su koşullarının varlığını belirtir. Bunlar arasında çok sayıda *Peneroplis pertusus* ve *P. planatus* bireylerinin turuncu-sarı renkte olması adı geçen alan için dikkat çekici bir özelliktir. Bu durum bölgedeki Fe içeren yer altı sularının varlığına işaret eder. Adanın güneydoğusunda su sıcaklığı 39.7°C, 43.5°C, 46.5°C, 46.9°C, 69°C arasında değişen, ve tuzlu su özelliğini taşıyan çok sayıda kaplıca bulunmaktadır. Sonuçta adanın doğusunda, kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu büyük bir fayın bulunması (Şengör vd., 1985; Çağatay vd., 1998), buna bağlı olarak deniz içinde de ikinci, hatta üçüncül fayların olabileceği düşüncesi, adı geçen alandaki sıcak su çıktılarının oluştuğunu ve bu alanlarda farklı foraminifer topluluklarını etkilediğini düşündürür (Meriç vd., 2002; Meriç vd., 2014).

### EGE DENİZİ MEVSİMSEL AKINTI SİSTEMLERİ

Ege Denizi'nde yüzey akıntısının hız ve yönleri, mevsimlere bağlı olarak değişmektedir. Yüzey akıntılarını en fazla etkileyen faktörler, meteorolojik koşullar ile Kuzeydoğu Ege Denizi'nde, Çanakkale Boğazı'ndan, Marmara Denizi aracılığı ile gelen Karadeniz suyudur. Meteorolojik faktörlerden en etkili rüzgâr hız ve yönü ile buna bağlı dalga yönü, hava sıcaklığı değişimleridir. Ayrıca batimetri-suallı morfolojisi ile adaların konumu da önemli ve yönlendirici faktörlerdir (Zodiatis vd.,1996; Eryılmaz, 1997,1999; Beşiktepe, 2015).

İlkbahar mevsiminde, Kuzey Ege Denizi'nde ana akıntı sistemleri, Yunanistan anakarası tarafında KB'dan GD'ya, Türkiye tarafında KD'dan GB'ya orta kesimde ise K'den G'ye doğru 0,6-0,8 km/s hızla, Orta Ege Denizi'ne doğru devam etmektedir (Lacombe ve Tchernia, 1972; Miller, 1972; Eryılmaz, 1997; Eryılmaz, 1999; Yücesoy-Eryılmaz ve Eryılmaz, 2002;

El-Geziry ve Bryden, 2010; Eryılmaz ve Yücesoy-Eryılmaz, 2012a; Eryılmaz ve Yücesoy-Eryılmaz, 2012b; Beşiktepe, 2015). Orta Ege'de Kiklad (Cyclades) Adaları'nın akıntı yolunu daraltması ve anakaraların birbirine daha yakın olması ile deniz alanındaki daralma kuzeyden güneye akan su kütlelerini sıkıştırmakta, burada akıntı hızı yaklaşık 0.9 km/s'a çıkmaktadır (Eryılmaz, 1997; Eryılmaz, 1999). Güney Ege'ye doğru ilerleyen akıntı yolu üzerine, Kiklad (Cyclades) adalarının çıkması akıntı su kütlelerinin yelpaze gibi açılmasına, GB, G ve GD ya doğru yönelmesine neden olmaktadır. Bu bölgede akıntı hızı, 0.9 km/s'dan 0.6-0.8 km/s'a düşmektedir (Şekil 2B). Yelpaze şeklinde yayılmış olarak gelen akıntı, önüne Girit Adası'nın çıkması ile engellenmekte, akıntının bir kolu Girit Adası ile Peloponez Yarımadası arasından, 0.9 km/s hız ile batıya doğru devam ederken, diğer kol ise (0.8-0.9 km/s) Girit Adası doğusundan, Doğu Akdeniz'e yönelmektedir (Eryılmaz, 1997; Eryılmaz, 1999; Poulos vd., 1997; Papadopoulos vd., 2009; Zeri vd., 2014; Politikos vd., 2017) (Şekil 2A, 2B).

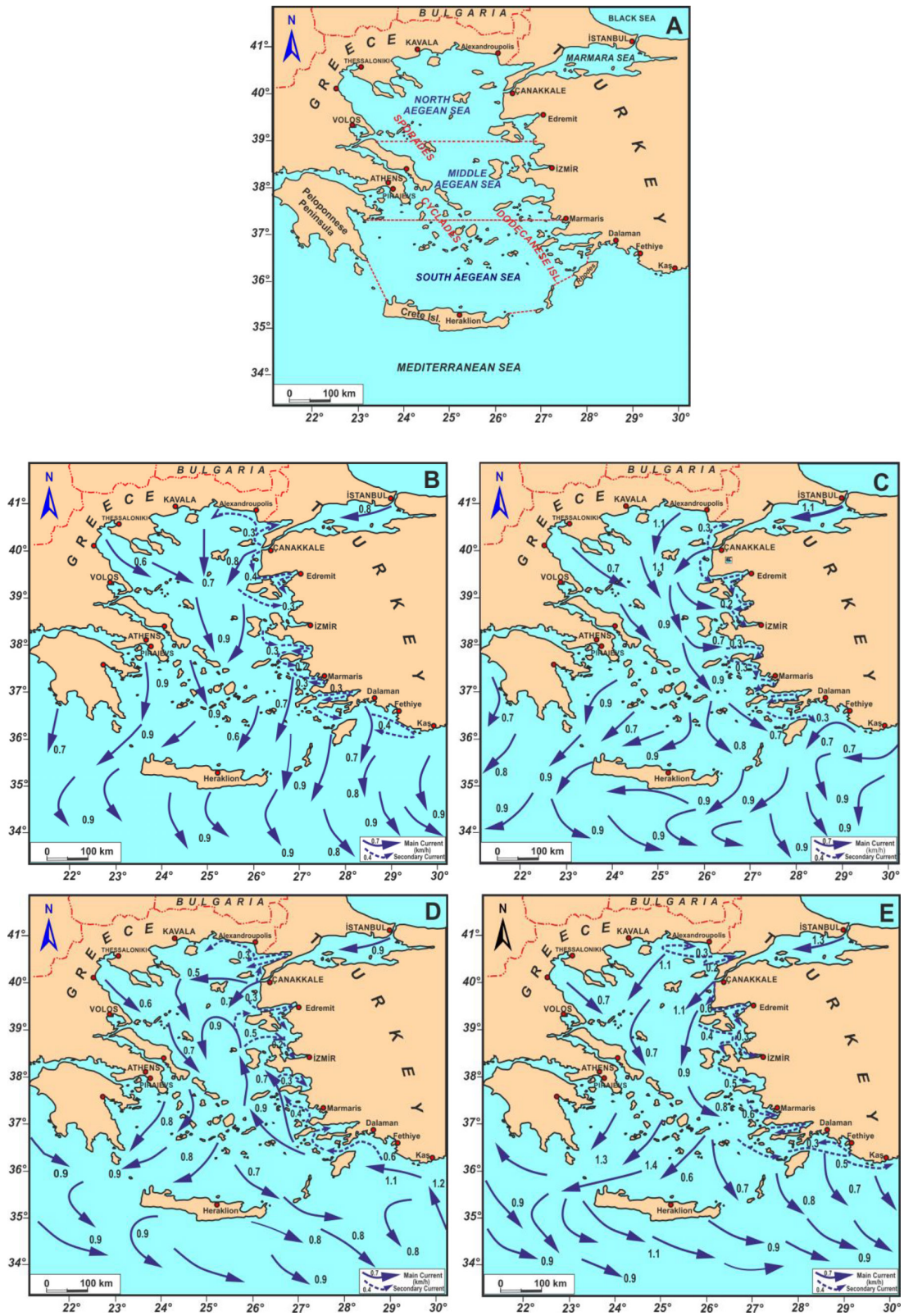
Yaz mevsiminde, K Ege Denizi'nde ana akıntı sistemleri, Türkiye tarafında saat yönünün tersine yay çizerek KD'dan GD'ya doğru 1.1 km/s hızla, Orta Ege Denizi'ne devam etmektedir. Orta Ege'de Kiklad (Cyclades) Adaları'nın doğusundan kuzeyden güneye doğru, yaklaşık 0.9 km/s hızla ilerlemekte (Eryılmaz, 1997; Eryılmaz, 1999; Beşiktepe, 2015), Güney Ege'de Kiklad (Cyclades) Adaları ile Oniki Adalar'ın (Dodecanese Islands) akıntıyı, Girit Adası'nın kuzeyinde iki kola ayırarak, ana kolun GB'ya (0.9 km/s), diğer kolun ise GD yönüne (0.7-0.8 km/s) doğru devam etmesine neden olmaktadır (Şekil 2A, 2C). Girit Adası ile Peloponez Yarımadası arasından, 0.9 km/s hız ile batıya doğru devam eden ana kolun bir kısmı, Girit'in güneyinde doğuya doğru yönelerek (0.9 km/s), Girit Adası doğusundan gelen ve batıya doğru ilerleyen akıntı ile karşılaşarak yönünü GD'ya çevirmektedir (Eryılmaz, 1997; Eryılmaz, 1999; Poulos vd., 1997; Papadopoulos vd., 2009; Zeri vd., 2014; Politikos vd., 2017) (Şekil 2A, 2C).

Sonbahar mevsiminde, Ege Denizi'nde akıntı sistemleri diğer mevsimlere göre farklılık gösterir. İlkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde, genellikle kuzeyli yönlerden güneye doğru olan akıntı, bu mevsimde güneyden kuzeye doğru yön değiştirir. Kuzey Ege Denizi'nde, boğaz akıntısı ve rüzgar nedeni ile kuzeyden güneye ve Çanakkale Boğazı'ndan batıya doğru

akıntı görülmektedir (Eryılmaz, 1997; Eryılmaz, 1999; Yücesoy-Eryılmaz ve Eryılmaz, 2002; El-Geziry ve Bryden, 2010; Yücesoy Eryılmaz vd., 2005; Beşiktepe, 2015). Bu akıntıların hızı 0.5-0.7 km/s arasında değişir, zaman zaman güneyli rüzgarların etkisi ile çok zayıflar, yer yer durma noktasına gelebilir. Güneydoğu Akdeniz'den Kaş-Fethiye-Rodos istikametinden gelen ve batıya doğru 1.1-1.2 km/s hızla ilerleyen akıntı Rodos Adası'nı geçtikten sonra KB'ya yönelerek, Orta Ege Denizi'ne doğru devam eder. Bu bölgede, Kiklad (Cyclades) Adaları'nın doğu kesiminde yer alan adalar ile Oniki Adalar (Dodecanese Islands) bu akıntının önünü keserek, akıntıyı değişik kollara ayırır ve akıntının hızını düşürür (0.7-0.9 km/s) (Eryılmaz, 1997; Eryılmaz, 1999; Eryılmaz ve Yücesoy Eryılmaz, 2008). Bu akıntı Anadolu kıyılarındaki yerel akıntıların da yönünü değiştirerek Orta Ege Denizi'nin kuzeyinde kuzeyden gelen akıntı ve rüzgarların etkisi ile, Anadolu kıyılarından Yunanistan'a doğru saat yönünün tersine bir istikametle döner (Eryılmaz, 1997; Eryılmaz, 1999; Eryılmaz ve Yücesoy-Eryılmaz, 2016), Güney Sporad Adaları'nın alt ucundan geriye doğru, kuzeyden güneye ilerleyen, Yunanistan kıyılarına yakın ve Kiklad (Cyclades) Adaları arasından geçen bir akıntı kolu oluşturur (El-Geziry ve Bryden, 2010; Eryılmaz ve Yücesoy Eryılmaz, 2014). Girit Adası ile Peloponez Yarımadası arasından, 0.8-0.9 km/s hız ile batıya doğru devam eder. Girit'in batısında doğuya yönelerek (0.9 km/s) adanın güneyinde, doğuya ilerleyen bir akıntı oluşturur (Eryılmaz, 1997; Eryılmaz, 1999) (Şekil 2A, 2D).

Kış mevsiminde ise, kuzeyli rüzgarların etkisi ile tüm Ege Denizi'nde kuzeyden güneye doğru akıntılar oluşmakta ve bu akıntıların hızı 0.9-1.2 km/s arasında değişmekte, artan rüzgar hızına bağlı olarak yer yer ve dönem dönem artış göstermektedir (Lacombe ve Tchernia, 1972; Miller, 1972; Poulos vd., 1997; Papadopoulos vd., 2009; Eryılmaz ve Yücesoy Eryılmaz, 2012a; Eryılmaz ve Yücesoy Eryılmaz, 2012b; Zeri vd., 2014; Beşiktepe, 2015; Politikos vd., 2017). Orta Ege ile güney Ege Denizi sınırında, Kiklad (Cyclades) Adaları'nın engellemesi ile iki kola ayrılarak GB (1.3-1.4 km/s) ve GD yönlerine ilerleyen (0.7-0.8 km/s) akıntıları oluşmaktadır (Eryılmaz, 1997; Eryılmaz, 1999; El-Geziry ve Bryden, 2010; Eryılmaz ve Yücesoy-Eryılmaz, 2016). 0.9 km/s hız ile devam eden batı kolu, Girit Adası ile Peloponez Yarımadası arasından geçerek Girit'in güneyinde doğuya doğru yönelmektedir. Doğu kolu ise Girit Adası batısından gelen ve





Şekil 2. Ege Denizi mevsimsel akıntıları. A-Yer buldururu haritası, B- İlkbahar mevsimi, C-Yaz mevsimi, D-Sonbahar mevsimi, E-Kış Mevsimi (Eryılmaz, 1997; Eryılmaz, 1999).

Figure 2. Seasonal currents in the Aegean Sea. A-Map of the study area, B-Spring, C-Summer, D-Autumn, E-Winter (Eryılmaz, 1997, 1999).



doğuya doğru ilerleyen akıntı ile birleşerek yönünü GB'ya çevirmektedir (Şekil 2A, 2E).

## SONUÇLAR

Kuşadası Körfezi'nde deniz içi sıcak su çıktısı 19°C sıcaklıkta olup kaynak çevresinde 17.5°C olarak belirlenmiştir. Doğanbey Burnu ölçülen sıcaklık değerleri kaynaktan 23.3°C, çevresinde 19.0°C'dir. Doğanbey Burnu örnekleri özelinde, *Amphistegina lobifera* Larsen bireyleri 0-16 m derinlikler arasında, yaklaşık 20-23°C (20.0-23.3°C) sıcaklık aralığında çok az miktarda (3-4 birey kadar) görülmektedir. 18-32 m derinlikleri arasında yaklaşık 19-20°C (19.0-20.3°C) sıcaklıkta bol miktarda (25 bireyden fazla) bulunmaktadır. Bu duruma göre, bölge için *Amphistegina lobifera*'nın ideal yaşam aralığı 18-32 metre derinlik ve yaklaşık 19-20°C sıcaklık olarak belirlenmiştir.

Doğanbey Burnu çevresi için sıcaklık değerleri dikte alındığında *Amphistegina lobifera*'nın fazla sıcak ortamları tercih etmediği ortaya çıkmaktadır. Bazı araştırmacılar (Zmiri vd., 1974; Langer and Hottinger, 2000; Langer vd., 20012) amphisteginid foraminiferlerin Doğu Akdeniz'de yayılmasında deniz suyu sıcaklık değerlerindeki değişimin başlıca etken olduğunu ileri sürmektedirler. Fakat araştırmacılar sıcaklık ile ilgili olarak sınırlı bir değer ortaya koymamışlardır. İlica Koyu sıcak su çıktısı çevresinde *Amphistegina* bireylerine rastlanılmamasının nedeni olarak su sıcaklığının elde edilen değerlere göre yüksek değerli olması dışında, bu alanda radyoaktivitenin yüksek olması da gösterilebilir (Meriç vd., 2012a). Ayrıca Doğanbey Burnu örnekleri foraminifer, ostrakod ve molusk topluluğu açısından değerlendirildiğinde 7, 8, 9, 10 ve 11 no'lu örneklerin zengin bir topluluğa sahip olması, çalışma alanı için ortak bir özelliğin varlığını ortaya koymaktadır (Meriç vd., 2018a).

İlica Koyu *Amphistegina lobifera*'nın yokluğuna karşın gerek yabancı ve gerekse renkli ve morfolojik bozukluk sunan kavkılara sahip foraminifer bireyleri açısından çok zengindir. Karaburun Yarımadası Tuzla Koyu'nda gözlenen foraminifer topluluğu İlica Koyu'ndan farklı olarak *Amphistegina lobifera* Larsen dahil olmak üzere benzer topluluğa sahiptir.

Aliağa İlica Burnu'ndaki sıcaksu çıktıları çevresinde *Coscinospira hemprichii*, *Peneroplis pertusus*, *P. planatus*, *Amphisorus hemprichii*, *Sorites orbiculus*, *S. variabilis* ve *Amphistegina lobifera* gibi yabancı

foraminiferlere rastlanılmamıştır. İki kaynaktaki su sıcaklığının 51°C ve 40°C olmasının bu konuda başlıca etken olduğu/olabileceği düşünülür. Ayrıca kaynak sularının radyoaktivitesinin de bu konuda etken olabileceği dikkate alınmalıdır.

Dikili Körfezi'nde morfolojik bozukluk sunan bir *Peneroplis planatus* bireyi bu alanda deniz içinde varlığı düşünülen sıcak su çıktısı/çıktıları nedeniyle oluşmuştur. Yakın alanda Midilli Adası güneydoğu kesiminde var olan renkli *Peneroplis pertusus* ve *P. planatus* bireylerinin varlığı bu alandaki benzer özelliklerin sonucudur.

Alibey ve Maden adaları çevresinden derlenen örneklerden yalnız birinde çok az sayıda *Amphistegina lobifera* Larsen bulunmasına karşın diğer yabancı foraminiferlerin varlığı düşündürücüdür. 3a korundaki belirli seviyelerde aşırı bollukta jips kristallerinin bulunuşu bu alanda belli bir dönemde oldukça sıcak su çıktısı nedeniyle sıcaklık değerinin yükseldiğini ortaya koymaktadır. Keza Aliağa İlica Burnu'nda 11 no'lu örnekte gözlenen jips kristalleri de benzer özelliği belirtmektedir.

Edremit Körfezi kuzey kesiminde gözlenen *Astacodus crepidulus* ile Kızıldeniz, Hint Okyanusu, Pasifik Okyanusu'nda yaşamını sürdüren bryozoonların varlığı yine körfezin belirli noktalarındaki sıcak su çıktıları nedeniyle açıklanabilir.

Gökçe Ada çevresindeki çoğu noktalarda saptanan renkli *Peneroplis pertusus*, *P. planatus* bireyleri dışında, *Sorites orbiculus* ve *Amphistegina lobifera*'nın varlığı bu bentik foraminiferlerin deniz suyunun farklı sıcaklık değeri/değerleri ve içerdiği ağır metal ile eser elementler nedeniyle bu alanda/alanlarda yaşamlarını sürdürdüğünü ortaya koymaktadır.

Kuzeybatı ve batı Ege Denizi Yunanistan kıyı alanlarında fazla olmayan cins ve türler ile temsil edilen yabancı foraminiferler oldukça geniş bir yayılım sunarlar. İleride bu alanlarda yapılacak olan ayrıntılı çalışmalar daha zengin bir topluluğun varlığını ortaya koyabilecektir.

Sonuç olarak Pasifik Okyanusu, Hint Okyanusu, Kızıl Deniz ve az sayıda da olsa Atlas Okyanusu kökenli foraminiferlerin bölgeye gelen gemilerin balast suları ile Ege Denizi'nin farklı noktalarına taşındığı, ortama uyum sağlayanların çoğalıp yayıldığı, bu konuda en büyük etkenin akıntı sistemi olduğu anlaşılmaktadır. Bunun dışında belli foraminifer cins ve türleri için

ekolojik koşullardan sıcaklık değeri sınırlarının farklı olduğu ortaya çıkmaktadır. Yine sıcak suların içerdiği ağır metal ve eser elementlerin de bu konuda başlıca etkenlerden biri olduğu gerçektir. Aliağa çalışmasında güncel çökellerde B ve Li değerleri yüksek olup, kaynak sularında Sr yüksektir. Ayrıca suların radyoaktif özelliklerinin de bu durum ile ilgili olabileceği söz konusudur. Çünkü denizden ve mağara içinden alınmış olan sularda toplam alfa ve toplam beta (Bq/l) değerleri referans değerden yüksek ölçülmekle birlikte denizden alınmış olan örnekte toplam alfa ve beta daha yüksektir. Toplam çözülmüş madde miktarı (TDS) (g/l) ise mağara içindeki kaynak suyunda yüksektir (Meriç vd., 2018b).

Bu gibi özelliklerin veya herhangi birinin foraminifer yaşamında etken olduğu/olabileceği düşünülür. Yine adı geçen alanlarda bulunmuş olan farklı cins ve türler için birlikteliklerin varlığı Ege Denizi için bir diğer önemli özelliktir. *Peneroplis planatus-Coscinospira hemprichii*, *Peneroplis pertusus-Coscinospira hemprichii* (Meriç vd., 2008), *Vertebralina striata-Coscinospira hemprichii* (Meriç vd., 2009), *Peneroplis pertusus-Peneroplis planatus* (Meriç vd., 2012d) gibi doğa harikası birliktelikler bunun en güzel örnekleridir.

## KAYNAKLAR

- Başkan, E., Canik, B., 1983, Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası, Ege bölgesi. *MTA Enstitüsü yayınları*, 189, 80 s., Ankara.
- Beşiktepe, Ş. T., 2015. Physical Oceanography of the Aegean Sea: A Review the Aegean Seamarine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance, Edited By: T. Katağan, A. Tokaç, Ş. Beşiktepe, B. Öztürk, Turkish Marine Research Foundation (TUDAV), Publication No: 41. 27-39. Istanbul, Turkey.
- Çağatay, M. N., Görür, N., Alpar, B., Saatçılar, R., Akkök, R., Sakınç, M., Yüce, H., Yalıtırak, C., Kuşçu, İ., 1998, Geological evolution of the Gulf of Saros, NE Aegean Sea. *Geo-Marine Letters*, 18, 1-9.
- Çağlar, K. Ö., 1946, Türkiye maden suları ve kaplıcaları. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü yayınları*, B, 11, 791 s., Ankara.
- Dimiza, M. D., Triantaphyllou, M. V., Koukousioura, O., Hallock, P., Simboursa, N., Karageorgis, P., Papathanasiou, E., 2016, The foram stress index: A new tool for environmental assessment of soft-bottom environments using benthic foraminifera. A case study from the Saronikos Gulf, Greece, *Easetrn Mediterranean. Ecological Indicators*, 60,611-621.
- El-Geziry, T.M. and Bryden, G., 2010. The Circulation Pattern in the Mediterranean Sea: Issues For Modeller Consideration. *Journal of Operational Oceanography*, 3:2, 39-46, DOI: 10.1080/1755876X.2010.11020116, ISSN: 1755-876X, 1755-8778.
- Eryılmaz M., 1997. Ege Denizi Güncel Çökel Dağılımına Etkileyen Oşinografik Faktörler. Yayınlanmamış Rapor, 51 s., Dz.K.K., SHOD, İstanbul.
- Eryılmaz M., 1999. Ege Denizi Akıntı Sistemleri, Yayınlanmamış Rapor, 29 s., Dz.K.K., SHOD, İstanbul.
- Eryılmaz, M. and Yücesoy- Eryılmaz, F., 2008; Oceanography And Submarine Sediment Distribution in Marmaris-Kaş Region of Southwest Turkey. *Micropaleontology*, Vol. 54, Nos, 3-4, 187-197.
- Eryılmaz, M. ve Yücesoy Eryılmaz, F., 2012a. Edremit Körfezi'nin Oşinografisi. SBT 2012, Sualtı Bilim Ve Teknolojileri Toplantıları, 17-18 Kasım 2012 Bildiriler Kitabı, 117-126, İstanbul.
- Eryılmaz, M. ve Yücesoy Eryılmaz, F., 2012b. Dikili Kanalı'nın (KD Ege Denizi) Oşinografisi. SBT 2012, Sualtı Bilim Ve Teknolojileri Toplantıları 17-18 Kasım 2012 Bildiriler Kitabı, 127-135, İstanbul.
- Eryılmaz, M. and Yücesoy Eryılmaz, F., 2014. Underwater Morphology, Oceanography and Recent Sediment Distribution of Kuşadaşı Bay (West of Turkey). Fifth International Symposium "Monitoring Of Mediterranean Coastal Areas: Problems And Measurement Techniques" Livorno (Italy) (17-18-19 June 2014), Proceeding Book, 655-664, ISBN:978-88-95597-19-5, CNR-IBIMET Firenze, Italy.
- Eryılmaz, M. and Yücesoy Eryılmaz, F., 2016. Recent Sediment Distribution and Oceanography of Ildır Bay (Karaburun Peninsula-Aegean Sea). Sixth International Symposium. Monitoring Of Mediterranean Coastal Areas: Problems And Measurement Techniques (September 28-29, 2016), Proceeding Book, 193-202,

- Firenze University Press, 2017. ISBN 978-88-6453-427-5 (Print), ISBN 978-88-6453-428-2 (Online) Livorno, Italy.
- Koukousioura, O., Dimiza, M. D., Triantaphyllou, M. V., 2010, Alien foraminifers from Greek coastal areas (Aegean Sea, Eastern Mediterranean). *Mediterranean Marine Science*, 11 (1), 155-172.
- Koukousioura, O., Dimiza, M. D., Triantaphyllou, M. V., Hallock, P., 2011, Living benthic foraminifera as an environmental proxy in coastal ecosystems: A case study from the Aegean Sea (Greece, NE Mediterranean). *Journal of Marine Systems*, 88, 489-501.
- Langer, R. M., Weinmann, A. E., Lötters, S., Rödder, D., 2012, "Strangers" in paradise modeling the biogeographic range expansion of the foraminifera *Amphistegina* in the Mediterranean Sea. *Journal of Foraminiferal Research*, 42 (3), 234-244.
- Langer, R. M. and Hottinger, I., 2000, Biogeography of selected "larger" foraminifera. *Micropaleontology*, 46, supplement 1, 105-126.
- Lacombe, H. and Tchernia, P., 1972. Caractères Hydrauliques et Circulation des Eaux en Méditerranée. The Mediterranean Sea: A Natural Sedimentation Laboratory (ed. D.J. Stanley), Dowden Hutchinson & Ross, Inc., p.25-36. ISBN: 0-87933-010-4, Stroudsburg.
- Meriç, E. and Avşar, N., 2001, Benthic foraminiferal fauna of Gökçeada Island (Northern Aegean Sea) and its local variations. *Acta Adriatica*, 42 (1), 125-150.
- Meriç, E., Avşar, N., Bergin, F., 2002, Midilli Adası (Yunanistan-Kuzeydoğu Ege Denizi) bentik foraminifer faunası ve bu toplulukta gözlenen yerel değişimler. *Ç. Ü. Yerbilimleri (Geosound)*, 40-41, 177-193, Adana.
- Meriç, E., Avşar, N., Bergin, F., Barut, İ., 2003, Dikili Körfezi'nde (Kuzeydoğu Ege Denizi-Türkiye) bulunan üç anormal bentik foraminifer örneği: *Peneroplis planatus* (Fichtel ve Moll), *Rosalina* sp. ve *Elphidium crispum* (Linne) hakkında. *M.T.A. Dergisi*, 127, 67-81, Ankara.
- Meriç, E., Yokeş, M. B., Nielsen, J. K., Görmüş, M., Avşar, N., Dinçer, F., 2008, Abnormal formations in peneropliid foraminifers: *Peneroplis Coscinospira* togetherness. *Anales de Biologia*, 30, 1-7.
- Meriç, E., Yokeş, M. B., Avşar, N., Bircan, C., 2009, A new observation of abnormal development in benthic foraminifers: *Vertebralina-Coscinospira* togetherness. *Marine Biodiversity Records*, 2, e167, 1-6.
- Meriç, E., Yokeş, M.B., Avşar, N., Bircan, C., 2010, An oasis for alien benthic foraminifera in the Aegean Sea. *Aquatic Invasions*, 5 (2), 191-195.
- Meriç, E., Avşar, N., Nazik, A., Yokeş, M., Barut, İ. F., Eryılmaz, M., Kam, E., Taşkın, H., Başsarı, A., Dinçer, F., Bircan, C., Kaygun, A., 2012a, Ilica Koyu (Çeşme-İzmir) bentik foraminifer-osttrakod toplulukları ile Pasifik Okyanusu ve Kızıldeniz kökenli göçmen foraminiferler ve anormal bireyler. *M.T.A. Dergisi*, 145, 62-78, Ankara.
- Meriç, E., Yokeş, B., Avşar, N., Kırıcı-Elmas, E., Dinçer, F., 2012b, A new record in eastern Aegean Sea (Turkey): *Polymorphina fistulosa*. *Marine Biodiversity Records, Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom*, 5, e103, 1-3.
- Meriç, E., Avşar, N., Nazik, A., Yokeş, Dora, Ö., Barut, İ. F., Eryılmaz, M., Dinçer, F., Kam, E., Aksu, A., Taşkın, H., Başsarı, A., Bircan, C., Kaygun, A., 2012c, Karaburun Yarımadası kuzey kıyılarının oşinografik özelliklerinin bentik foraminifer ve osttrakod toplulukları üzerindeki etkileri. *M.T.A. Dergisi*, 145, 22-47, Ankara.
- Meriç, E., Yokeş, M.B., Avşar, N., Bircan, C., 2012d, A new observation on abnormal development in benthic foraminifers: *Peneroplis pertusus* (Forskal)-*Peneroplis planatus* (Fichtel and Moll) togetherness. *Anales de Biologia*, 34, 43-48.
- Meriç, E., Avşar, N., Nazik, A., Koçak, F., Yücesoy-Eryılmaz, F., Eryılmaz, M., Barut, İ. F., Yokeş, M. B., Dinçer, F., Esenli, F., Esenli, V., Özdemir, Z., Türker, A., Aydın, Ş., 2012e, Edremit Körfezi (Balıkesir) kıyı alanlarında oşinografik özelliklerin bentik foraminifer, osttrakod ve bryozoon toplulukları üzerindeki etkileri ile ilgili yeni veriler. *T.P.J.D. Bülteni*, 24 (2), 31-77, Ankara.

- Meriç, E., Avşar, N., Barut, İ. F., Eryılmaz, M., Yücesoy-Eryılmaz, F., Yokeş, B., Dinçer, F., 2014, Edremit Körfezi ve Dikili Kanalı (KD Ege Denizi) kıyı alanlarında jeolojik yapı özelliklerinin belirlenmesinde bentik foraminiferlerin önemi. *M.T.A. Dergisi*, 148, 61-67, Ankara.
- Meriç, E., Avşar, N., Nazik, A., Yokeş, B., Barut, İ. F., Suner, F., Sarı, E., Eryılmaz, M., Yücesoy-Eryılmaz, F., Dora, Ö., Kam, E., Dinçer, F., 2017, A multi disciplinary overview of factors controlling on meiofauna assemblages around Maden and Alibey islands in Ayvalık (Balıkesir, Eastern Aegean Sea). *Journal of African Earth Sciences*, 129, 558-578.
- Meriç, E., Barut, İ. F., Nazik, A., Avşar, N., Yokeş, M. B., Eryılmaz, M., Yücesoy-Eryılmaz, F., Kam, E., Sonuvar, B., Dinçer, F., 2018a, Doğanbey Burnu (Seferihisar-İzmir) denizdibi termalsu kaynaklarının foraminifer, ostrakod ve mollusk topluluğuna etkisi. *MTA Dergisi*, 156, 89-118, Ankara.
- Meriç, E., Nazik, A., Yokeş, M. B., Barut, İ. F., Kumral, M., Eryılmaz, M., Yücesoy-Eryılmaz, M., Sonuvar, B., Dinçer, F., 2018b, Aliağa (İzmir) sıcak ve soğuk su çıktıkları çevresinde me-iobentik yaşam: foraminifer, ostrakod ve mollusk toplulukları. *Türkiye Jeoloji Bülteni* (yayın aşamasında).
- Miller, A. M., 1972. Speculations Concerning Bottom Circulation in the Mediterranean Sea. The Mediterranean Sea: A Natural Sedimentation Laboratory (ed. D.J. Stanley), Dowden Hutchinson & Ross, Inc., 37-42, ISBN: 0-87933-010-4, Stroudsburg.
- Papadopoulos V., Spyropoulos K., Georgopoulos D. and Feredinos G., 2009. Current Observations in the North Aegean Sea. 9th Symposium On Oceanography & Fisheries, (13-16 May), Proceedings, Volume 1, 445-449, Patras, Greece.
- Politikos, D.V., Ioakeimidis, C., Papatheodorou, G. and Tsiaras, K., 2017. Modeling the Fate and Distribution of Floating Litter Particles in the Aegean Sea (E. Mediterranean). *Frontiers in Marine Science*. Vol. 4, Article 191, 1-18., doi: 10.3389/fmars.2017.00191.
- Poulos, S.E., Drakopoulos P.G. and Collins, M.B., 1997. Seasonal Variability in Sea Surface Oceanographic Conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean): An Overview. *Journal of Marine Systems*, Vol. 13, Issues 1-4, 225-244, doi.org/10.1016/S0924-7963(96)00113-3.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study . In: Biddle, K. T. and Christi-Blick, N. (Eds.), Strike-slip deformation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists special publication 37, 227-264.
- Triantaphyllou, M. V., Koukousioura, O., Dimiza, M. D., 2009, The presence of the Indo-Pacific symbiont-bearing foraminifer *Amphistegina lobifera* in Greek coastal ecosystems (Aegean Sea, Eastern Mediterranean). *Mediterranean Marine Science*, 10 (2), 73-85.
- Triantaphyllou, M. V., Dimiza, M. D., Koukousioura, O., Hallock, P., 2012, Observations of the life cycle of the Symbiont-bearing foraminifer *Amphistegina lobifera* Larsen, an invasive species in coastal ecosystem of the Aegean Sea (Greece-E. Mediterranean). *Journal of Foraminiferal Research*, 42 (2), 143-150.
- Yokeş, M. B., Meriç, E., Avşar, N., Barut, İ. F., Taş, S., Eryılmaz, M., Dinçer, F., Bircan, C., 2014, Opinion and comments on the benthic foraminiferal assemblages observed around the mineral submarine springs in Kuşadası (Ay-dın-Turkey). *Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1-17, doi:10.1017/S1755267214000840, vol. 7, e103; 2014, published on line.
- Yücesoy-Eryılmaz F. ve Eryılmaz M., 2002; Kuzeydoğu Ege Denizi Ve Marmara Denizi Geçiş Bölgesi Çökellerinde İnce Tane Boyunun Ağır Metal Dağılımına Etkisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*. Cilt 45, Sayı 1, 111-124, Ankara.
- Yücesoy-Eryılmaz, F., Eryılmaz, M., Esenli, F., Esenli, V., Özdemir, Z., Türker, A. ve Aydın, Ş., 2005. Edremit Körfezi Ve Dikili Kanalı Güncel Çökellerinin Sedimentolojisi Ve Jeokimyası; TÜBİTAK Destekli, Proje No YDAB-CAG 100Y098, 152 Sayfa, Mersin.
- Zeri, C., Beşiktepe, T., Giannakourou, A., Krasakopoulou, E., Tzortziou, M., Tsoliakos, D., Pavlidou, A., Mousdis, G., Pitta, E., Scoullou,



- M. and Papathanassiou, E., 2014, Chemical Properties and Fluorescence Of DOM in Relation to Biodegradation in the Interconnected Marmara-North Aegean Seas During August 2008. *Journal of Marine Systems*, 135, 124-136, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.11.019.
- Zmiri, A., Kahan, D., Hochstein, S., Reis, Z., 1974, Phototaxis and thermotaxis in some species of *Amphistegina* (Foraminifera). *Journal of Protozoology*, 21, 133-138.
- Zodiatis, G., Alexandri, S., Pavlakis, P., Jonsson, L., Kallos, G., Demetropoulos, A., Georgiou, G., Theodorou, A. and Balopoulos, E., 1996, Tentative study of flow patterns in the North Aegean Sea using NOAA-AVHRR images and 2D model simulation *Annales Geophysicae* 14, 1221-1231.



# Kömür Bileşenlerinin Kalorifik Değer Üzerindeki Etkisi Üzerine Değerlendirme

## Evaluation of Coal Components-Coal Calorific Value Relationship

FERİDUN BOYLU\*<sup>1</sup>, İBRAHİM ETHEM KARAAĞAÇLIOĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, Maslak, Sarıyer, İstanbul, Türkiye

Geliş (received) : 14 Ağustos (August) 2018

Kabul (accepted) : 22 Kasım (November) 2018

### ÖZ

Kömür kalitesi genellikle, kül içeriği ile ifade edilmektedir. Kömür ısı değerinin büyük oranda kül yapıcı madde içeriği tarafından kontrol edildiği bilinmektedir. Ancak, kömür kül içeriğinin yanı sıra, kısa kömür ve elementel analiz bileşenleri ve ilave olarak kömür petrografisinin de kömür ısı değeri üzerindeki etkisi önemlidir. Sonuç olarak her ne kadar kül içeriğinin kömür kalitesi üzerinde etkisi büyük olsa da, aslında kömür kalitesinin, kül içeriği, ısı değeri ve kömürü meydana getiren orijinal bitkinin kökeni yani kömür petrografisinin bir kombinasyonu olarak ortaya çıktığı bir gerçektir. Öyle ki, kömür yıkama işlemleri sonrasında, elde edilen atığın (şistin) değerlendirilmesi sadece kül içeriği ile yapıldığında, zenginleştirmenin etkinliği ile ilgili ciddi değerlendirilme yanlışlığı söz konusu olmaktadır. Buna ilave olarak, online kömür analizi için programlar yazılırken dahi, kalorifik değer-kül içeriği ilişkisi, çoğu uygulamalarda global olarak değerlendirilmekte ve bu da ölçüm doğruluğunu etkilemektedir. Kül-kalorifik değer ilişkisi ve kömür yıkama tesis atıklarının kalitesinin değerlendirilmesi üzerine yapılan yanlış ve eksik tanımlamalarla ilgili örnekler daha da çoğaltılabilir. Bu sebeple, kömür ve kömürün yapısal özellikleri, kül yapıcı madde ve kül içeriği ilişkisinin çok daha detaylı bir şekilde örneklendirildiği çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, kömür bileşenleri-kömür ısı değeri ve kül yapıcı madde-kül içeriği ilişkisi, bazı Türk kömür örnekleri üzerinde değerlendirilerek tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kömür, kül içeriği, kısa kömür analizi, elementel analiz, üst ısı değeri modeli.

### ABSTRACT

Coal quality is generally defined based on the ash contents. It is well known that the calorific value of coal is negatively affected by the increase on ash contents. However, the attitude of calorific value is not only dependent on ash content, it is also controlled by proximate and ultimate coal analysis components such as moisture, volatile matter, fixed carbon, total carbon, hydrogen, nitrogen and sulfur content. In addition, coal petrography is also worth to be counted as a factor controlling the calorific values of coal. In this study the relationships between the factors of proximate and ultimate analysis components and calorific value of coals have been discussed through some known coal examples from Turkey.

**Keywords:** Coal, ash content, proximate analysis, ultimate analysis, gross calorific value model.

---

\* F. Boylu

e-posta: boylu@itu.edu.tr

## GENEL BİLGİLER

### Kömür Bileşenleri

Kömür yapı itibarıyla heterojen yapıda olup, organik ve inorganik madde ve nemden oluşan kompozisyona sahip, yanabilen ve yandığında ısı veren bir kayaktır (Ateşok, 2004).

Kömürün organik yapısını karbon oluşturmakta, inorganik maddelerin başlıcaları kil, kuvars, kalsit ve kükürt olmak üzere, gerek kömürün oluşumu sırasında, kömürün orijinal kısmı olan bitkisel yapısından gelen, gerekse de kömürün oluştuğu bataklık ortamdaki reaksiyonlar sonucu oluşan veya kömür oluşumu sırasında doğa etkileri ile dışarıdan gelip kömür yataklanması içerisinde giren mineral maddelerden oluşmaktadır (Şekil 1).

Kömür analizleri genelde kısa kömür analizleri (proximate analiz) ve elementel analiz (ultimate analiz) olmak üzere iki farklı şekilde yapılır/tanımlanır.

Kısa kömür analizleri genellikle; nem, kül, uçucu madde, kükürt (toplam ve yanabilir), sabit karbon ve ısı değer özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılırken, elementel analiz; kükürt, N, C, O gibi, katı ya da gaz halindeki bileşiklerin belirlenmesine yönelik yapılmaktadır.

Kısa analiz bileşenleri değerlendirilirse;

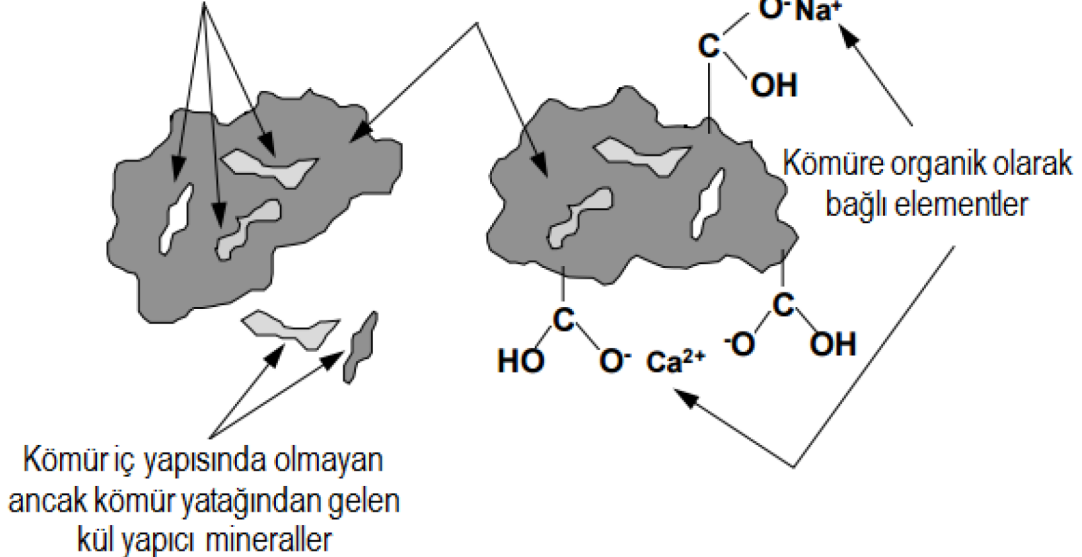
**Sabit karbon:** yanma ünitesinde, kömür yapısından uçucu madde çıktıktan sonra geriye kalan katı yakıttır. Büyük oranda karbon ve yanma sırasında emisyonuna dönüşmemiş olan hidrojen, oksijen, sülfür ve azot gibi bileşikler içerir. Sabit karbon ısı değerini kabaca tahmin edilmesine yardımcı olur.

**Uçucu madde:** metan, hidrokarbonlar, hidrojen ve karbon monoksit ve kömürün içerisindeki CO<sub>2</sub> ve azot gibi yanmayan gazlardan oluşur. Dolayısıyla, uçucu madde gazlı yakıtların varlığını gösteren bir indekstir. Tipik olarak kömür rankına bağlı olarak 5-50 arasında bulunur. Yanma sırasında, doğrusal orantılı olarak alev boyutunu yükseltir ve tutuşmaya kolaylık sağlar. Minimum fırın yüksekliğinin belirlenmesinde etkilidir. İkincil hava ihtiyacı ve dağıtımını unsurlarını doğrudan etkiler.

**Kül miktarı:** Kömürün yapısında bulunan yanmayan kısmı oluşturur. Handling ve yakma kapasitesini düşürür. Yanma etkinliğini ve boiler kullanımını olumsuz etkiler. Yanma sırasında ve sonrasında klinker ve cüruf oluşumuna sebebiyet verir.

**Nem:** Kömürün ısı değerini düşürür. Yakma sırasında, buharlaşması ve buharın aşırı ısıtılması sebebiyle ısı kayıpları artırır. Radyasyon ısı transferine yardımcı olur.

### Kömür iç yapısında yer alan kül yapıcı mineral maddeler



Şekil 1. Kömürle birlikte bulunan Minerallerin ve diğer inorganik bileşenlerin gösterimi (Benson, 1993).  
Figure 1. Illustration of Coal and Ash Forming Minerals and Other Inorganic Constituents (Benson, 1993).



**Kükürt içeriği:** Klinker oluşturma ve cüruf oluşturma eğilimini artırır. Baca ve hava ısıtıcıları ve ekonomizer gibi diğer ekipmanların korozyonuna sebebiyet verir. Akıcı gaz çıkış sıcaklığını sınırlandırır.

Elementel analiz bileşenleri karbon, hidrojen, oksijen, sülfür vs gibi elementel kimyasal bileşenleri içerir. Yakma için gerekli olan hava miktarının, yanma gazlarının hacmi ve kompozisyonunun belirlenmesinde önemli rol oynar.

Elementel analiz bileşenleri ve kısa analiz bileşenleri arasındaki ilişki Çizelge 1’de verilmiştir.

Gerek kısa gerekse elementel kömür analizleri, toplam nem (Kuru baz) , yüzey nemi (havada kuru baz) ve külün olmadığı (kuru külsüz baz) şartlara göre ya da orijinal kömüre göre (toplam nem ve külü içerecek şekilde) ifade edilmektedir.

Kömür bileşenleri ve yukarıda anlatılan kuru, havada kuru ve kuru külsüz baz ifadelerinin daha belirgin tanımlaması Şekil 2. de verilmiştir.

### Kömür bileşenlerinin ısı değer üzerindeki etkisi

#### Kül-Isıl değer ilişkisi

Kül, kömür yapısında inorganik maddeyi oluşturmakta ve yanabilir özellikte olmadığı için kömürün ısı değerini düşürmektedir.

### Nem-Isıl değer ilişkisi

Nem, kömür yapısının ana bileşenlerinden olup, genellikle yüzey nemi ve bünye nemi olarak ifade edilmektedir. Nem, yanabilir özellikte olmadığı ve kömürün yanması sırasında buharlaştırma işlemi için enerji gerektirdiğinden, kömürün ısı değerini düşürmektedir. Pratik uygulamalarda her bir % nem, % 1 kül içeriği gibi kabul edilmektedir.

### Kısa analiz bileşenleri-ısı değer ilişkisi

Majumder ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada kömürün kısa analizlerinin üst ısı değerinin büyüklüğü üzerindeki etkisini özetlemiştir. Majumder ve ark. yaptığı çalışmada yer aldığı şekilde, kayda değer bazı modeller aşağıda verilmiştir;

Küçükbayrak vd. (1991) (kuru baza göre);

$$GCV = 76.56 - 1.3 (V_M + A) + 0.00703(V_M + A)^2 \quad (1)$$

$$GCV = 76.56 - 1.3 (V_M + A) + 0.00703(V_M + A)^2$$

Demirbaş (1997) (Orijinal baza göre);

$$GCV = 0.196F_C + 14.119 \quad (2)$$

$$GCV = 0.196F_C + 14.119$$

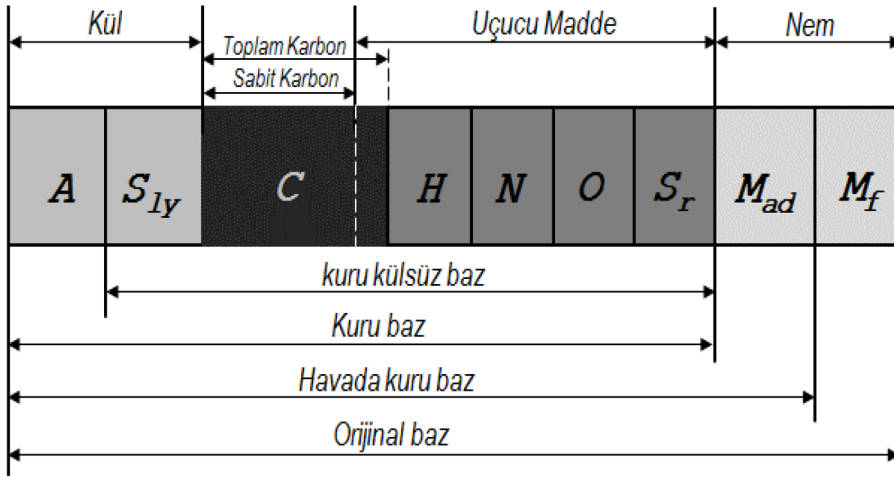
Parikh ve diğ. (2005), (kuru baza göre)

$$GCV = 0.353F_C + 0.1559V_M - 0.0078A \quad (3)$$

Çizelge 1. Elementel analiz bileşenleri ve kısa analiz bileşenleri arasındaki ilişki.  
Table 1. Relationship between ultimate and proximate analyses constituents.

Bileşen	Model
C, %	$0.97C+0.7(V_M-0.1A)-M(0.6-0.01M)$
H, %	$0.036C+0.086(V_M-0.1A)-0.0035M^2(1.0.02M)$
N <sub>2</sub> , %	$2.10-0.020 V_M$
C	Sabit Karbon, %
A	Kül, %
V <sub>M</sub>	Uçucu Madde, %
M	Nem, %

Not: Yukarıdaki yaklaşım % 15’den fazla nem içeren kömürler için geçerlidir.



Şekil 2. Kömür Bileşenleri ve kömür Analizlerin Farklı Bazlarda Değerlendirilmesi (Wen ve diğ., 2017).  
Figure 2. Evaluation of Relationship Between Coal Constituents and Coal Analyses (Wen ve diğ., 2017).

Majumder ve diğ. (2008) (orjinal baza göre)

$$GCV = -0.03A - 0.11M + 0.33V_M + 0.35F_C \quad (4)$$

$$GCV = -0.03A - 0.11M + 0.33V_M + 0.35F_C$$

Buna benzer birçok model çalışmaları, Wen ve diğerlerinin (2017) yaptığı çalışmada daha detaylı olarak bulunabilir. Wen'in çalışmasından alınan ve regresyon katsayısı yüksek olan bazı modeller Çizelge 2'de verilmektedir.

### Elementel analiz - ısı değer ilişkisi

Bununla birlikte, Kömürün elementel analizlerinde yer alan bileşiklerin de üst ısı değerinin büyüklüğünde etkili olduğu ifade edilmektedir. Wen ve diğ.(2017), yaptıkları çalışmada, bugüne kadar yapılmış olan elementel analiz bileşenleri-üst ısı değer modellerini özetlemişlerdir. Bu çalışmadan alınan ve regresyon katsayısı yüksek olan bazı modeller Çizelge 3'de verilmektedir.

### Kömür Maseralleri - ısı değer ilişkisi

Kömür yapı itibarıyla organik ve inorganik madde ve sudan meydana gelen bir kayadır. Bundan milyonlarca yıl önce yaşamış olan ve ölüp bataklık alanda biriken bitkisel kısımların başkalaşımına (metamorfizma) uğramasıyla meydana gelmektedirler. Kömürün yapısına bakıldığında kömürü meydana getiren bitkisel kısmın kaynağı (ağaç kökü, dalı, yaprağı, spor ve reçineler vs.) dolayısıyla kömür yapısında gözle

görünür (maseraller) ve gözle görünemeyen (litotipler) bantlı yapılar oluşur.

Kömürün kısa ve elementel analiz bileşenleri yanı sıra, kömürün petrografik yapısındaki bu maseral ve litotip bileşenleri de kömürleşme derecesine bağlı olarak değişim göstermekte ve kömürlerin ısı değerliklerini etkilemektedir. Sarma ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada, vitrinit, liptinit ve inertinit miktarlarının ısı değer üzerindeki etkisini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmaya göre, vitrinit ve liptinit oranı arttıkça kömür ısı değerinin arttığı ifade edilmiştir (Şekil 3).

## DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA

### Değerlendirmede Kullanılan Numuneler ve Özellikleri

Kömür Bileşenleri-üst ısı değer ilişkisinin incelendiği bu çalışma kapsamında, İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü Arşivinde bulunan (büyük bir çoğunluğu yazarın kendi çalışmaları sonucunda elde edilmiştir) bazı kömür özelliklerinden yararlanılmış olup, değerlendirmeye alınan kömürler ve özellikleri Çizelge 4. de verilmiştir.

Bazı kömür örneklerine ait farklı kül ve kalorifik değer içeriklerine sahip kömürler detaylı zenginleştirme işlemleri sonucu üretilmiştir. Kömürlerin kısa analizleri İTÜ Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği laboratuvarlarında yapılmıştır.

Çizelge 2. Kısa kömür analizi bileşenleri-üst ısı değer ilişkisine ait bazı modeller. Not: Isıl değerler üst ısı değeri ifade etmektedir.

Figure 2. Some models established based on the relationship between proximate analysis constituents and gross calorific value.

Araştırmacı <sup>YI</sup>	Model	R <sup>2</sup>
Kathiravale ve diğ. <sup>2003</sup>	$GCV = 0.3080V_M + 0.4536F_C - 4.5421$	0.90
Thipkhumthod ve diğ. <sup>2005</sup>	$GCV = 0.4329[(V]_M + F_C) - 7.3695$	1.00
Majumder ve diğ. <sup>2008</sup>	$GCV = -0.0898M + 0.2695V_M + 0.3909F_C - 0.0082A$	0.97
Erol ve diğ. <sup>2010</sup>	$GCV = 0.4013F_C + 0.0008F_C^2 + 0.0065V_M^2 + 0.034A^2 - 1.8925$	1.00
Yin <sup>2011</sup>	$GCV = 0.2076V_M + 0.4188F_C$	1.00
Mohammedet ve diğ. <sup>2014</sup>	$GCV = 0.4777 * F_C + 0.3459 * V_M + 0.10401 * A - 8.5078$	1.00

Not: Isıl değerler üst ısı değeri ifade etmektedir.

Çizelge 3. Elementel kömür analizi bileşenleri-üst ısı değer ilişkisine ait bazı modeller.

Figure 3. Some models established based on the relationship between ultimate analysis constituents and gross calorific value.

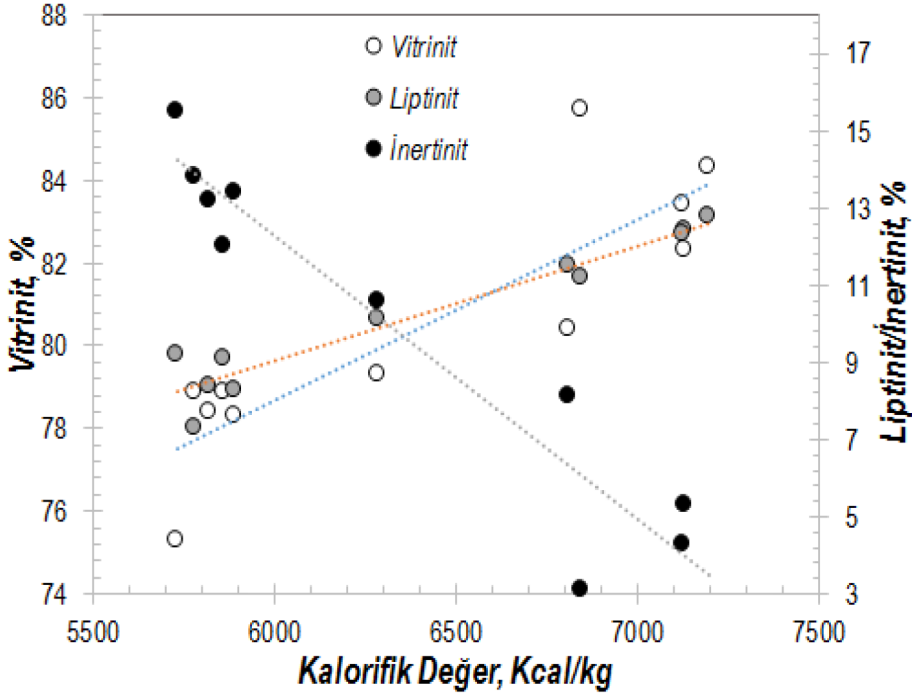
Araştırmacı <sup>YI</sup>	Model	R <sup>2</sup>
Toscana ve diğ. <sup>2009</sup>	$GCV = 0.3542(C + 2H)$	0.924
Callejón-Ferre ve diğ. <sup>2011</sup>	$GCV = 0.4346 C + 0.1069 H - 1.8669$	0.996
	$GCV = 0.4255 C + 0.1107 H - 0.4943 N - 1.9018$	0.999
	$GCV = 0.0037 C^2 + 10.7128$	0.995
	$GCV = 0.4351 C - \frac{3.8748}{H} - 0.5639$	0.917
	$GCV = 0.3583 [C - \frac{3 O}{8}] + 0.0605 [O/4]$	0.936
Yin <sup>2011</sup>	$GCV = 0.4216 C - 0.1126 H$	0.998
Chelgani ve Makarem <sup>2013</sup>	$GCV = -1.2079 + 0.9909 H + 0.3658 C + 0.03201 N - 0.1068 O + 0.1297 S$	0.996
Ghugare ve diğ. <sup>2014</sup>	$GCV = 0.4312 C - \frac{0.2187 O}{10.7128 + 0.0037 C^2} + \frac{-0.0049 C \cdot H + 0.9167}{7.7302 H - 0.0192 CO} + \frac{15.5016}{7.9623 + 14.3751 N} - \frac{38.4206}{22.8214 + 0.4276 S}$	0.995
Roberto ve diğ. <sup>2014</sup>	$GCV = 0.4211 C - 0.090 O + 0.1800 S - 0.8081$	0.993
	$GCV = -0.0008 C^2 + 0.5179 C - 3.4488$	0.990
Setyewati ve diğ. <sup>2015</sup>	$GCV = 35.2572 + 0.6221 H + 0.0682 N - 0.2320 S - 0.4681 O - 0.3722 A$	0.912
Matin ve Chehreh <sup>2016</sup>	$GCV = -3.5393 + 0.2475 H + 0.4254 C + 0.7001 N + 0.2724 S$	0.979

Not: Isıl değerler üst ısı değeri ifade etmektedir.

### Kül-Üst ısı değer ilişkisinin irdelenmesi

Değerlendirmenin bu kısmında, kül-ısı değer (üst) ilişkisi incelenmiş ve her bir kömür numunesi örneği için kül-üst ısı değer ilişkisi Zonguldak, Trakya, Ankara, Kütahya ve Soma bölgesi kömürleri için Şekil 4-8'de örneklendirilmiştir.

Görüldüğü üzere diğer bileşenlerin etkileri sabit tutulduğunda, genelde kül yapıcı madde, kömür üst ısı değerini doğrudan etkilemekte ve kül-ısı değer arasında lineer doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Kül-kalorifik değer korelasyonları çok yüksek değerlerde çıkmıştır.



Şekil 3. Kömürün Petrografik yapısının Isıl değer üzerindeki Etkisi (Sarma ve diğ., 2012).  
Figure 3. The Effect of Coal Petrography on Calorific Value of Coals (Sarma ve diğ., 2012).

### Farklı boyut gruplarında kül-ısıl değer ilişkisinin irdelenmesi

Kömür külü-üst ısıl değer arasında, kömür boyut grubuna bağılı olmaksızın, genelde lineer bir ilişki olduğu yukarıda açıklanmıştır. Ancak, kömürün yapısındaki inorganik maddeler, kömür boyutlandırmasına bağılı olarak, farklı boyut gruplarında toplanabilmektedir. Bu durum, inorganik maddenin ufalanma karakteristiklerinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte yukarıda ifade edilen davranış, kömür yapısı içerisinde serbest halde olmayan, bünye külü olarak nitelendirilen inorganik madde varlığından kaynaklanabilmektedir. Bu tür bir değerlendirmeye ait örneklendirme ise Büyükdüz, Deniz LG ve SLİ kömürleri üzerinde yapılmış ve Şekil 9-11'de gösterilmiştir.

Şekil 9'da gösterilen Büyükdüz kömürü örneğinde, farklı boyut gruplarında yapılan zenginleştirme sonucunda elde edilen ürünler üzerinde yapılan kül-kalorifik değer tayini sonrasında kurulan ilişki değerlendirilecek olursa, hemen hemen tüm boyut grupları için kül-kalorifik değer ilişkisinin benzer olduğu gözlemlenmektedir.

Deniz kömürü değerlendirildiğinde ise (Şekil 10) düşük kül içerikli fraksiyonlarda tüm boyut grupları için

kül-kalorifik değer ilişkisinin benzer olduğu ancak, özellikle yüksek kül içerikli fraksiyonlarda bu benzerliğin bozulduğu anlaşılmaktadır. Kömürün organik kısmı kömürleşme ile ilişkili olduğundan, her boyut grubu için organik bileşenlerin benzer özellik gösterdiği, ancak, kömür yapısında bulunan inorganik madde türünün boyut grubuna bağılı olarak farklı boyut fraksiyonlarında toplandığı söylenebilir.

SLİ kömürü üzerinde kül-ısıl değer ilişkisi incelenecek olursa (Şekil 11) gerek düşük kül içerikli gerekse yüksek kül içerikli ürünlerin kül-ısıl değer ilişkisinin birbirinden farklı olduğu saptanmıştır. Bu durum, gerek kül yapıcı maddenin farklı boyut gruplarında ayrı ayrı toplanmasından kaynaklanmakta, gerekse kömürün organik kısmının farklı yapılardan (Maseraller) oluştuğunu göstermektedir. Bu durumun iyice anlaşılabilmesi için, organik kısmın analizinin detaylı olarak yapılması gerekmektedir.

DeneySEL çalışmalarında değerlendirmeye alınan tüm kömür örnekleri üzerinde gerçekleştirilen kül-kalorifik değer ilişkisi Şekil 12'de verilmiştir.

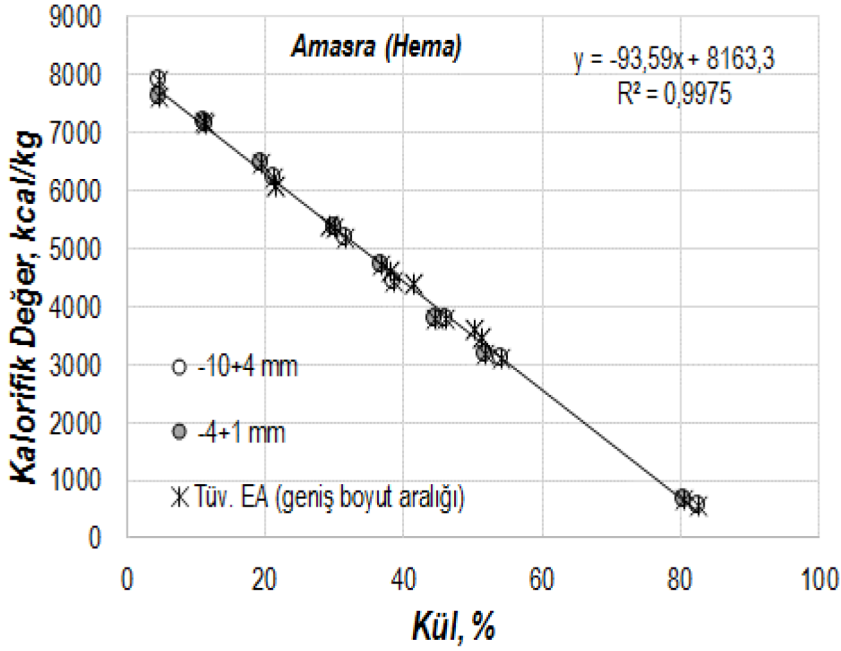
Şekil 12'den görüleceği üzere değerlendirmeye alınan tüm kömür örneklerinin bireysel olarak kül-kalorifik değer ilişkisinin yüksek regresyonda oldu-

Çizelge 4 Tüvenan kömür numunelerinin standart kömür analizleri (Kuru baz).  
Figure 4. Proximate analysis of some Turkish ROM Coals (dry base).

Numuneler	M (%)	K (%)	UM (%)	SK (%)	S (%)	KD
Seyitömer Linyit İşl. (SLİ)	31.1	53.7	26.70	19.60	0.85	1703
Çan Linyit İşletmesi (ÇLİ)	22.6	27.6	40.76	31.64	5.63	4225
Soma -10 mm (Eski Gürmin)	15.6	32.5	43.70	9.98	0.83	3638
Soma +10 mm (Eski Gürmin)	9.3	53.2	39.70	7.10	0.18	1390
Eynez Yeraltı (EYA)	12.3	32.9	38.70	28.40	0.71	3630
Büyükdüz (BYDZ)	9.1	44.4	28.60	27.00	1.03	3082
Yörgüç (YRÇ)	17.6	47.8	28.30	24.20	2.27	2007
Dragline BHY3	9.8	53.7	29.11	17.20	0.7	2655
48C Pano	12.9	39.4	32.24	28.36	1.46	3716
Ömerler Yer Altı (ÖYA)	11.2	48.7	30.1	21.20	0.89	2336
Deniş Lavvara Giden (DLG)	18.1	20.3	43.31	36.39	1.2	3780
Deniş Termiğe Giden DTG	23.7	28.4	42.60	29.00	1.51	3788
Tunçbilek-BYJ	9.6	39.0	48.20	12.80	1.65	3944
Soma İmbat (IMB)	8.0	49.0	29.50	21.50	0.21	1534
Soma İmbat Doğu Pano (IMBD)	8.4	37.1	33.74	29.16	0.54	3062
Işıklar (IşKL)	17.2	40.2	48.30	11.50	0.27	2730
Eynez Açık Ocak (EAO)	11.8	26.9	38.80	34.30	0.47	3927
Soma Sarıkaya (SRKY)	15.8	42.7	30.90	26.40	0.44	2544
Muğla Eskihisar (ESKH)	15.5	26.2	39.96	33.84	1.65	2687
Tınaz (TNZ)	11.8	44.9	44.56	10.54	1.83	1537
İkizköy (İKZ)	15.6	26.8	50.00	23.20	2.91	2010
Belentepe (BTP)	13.4	45.3	51.70	3.00	3.89	3407
Hüsamlar (HUS)	16.2	36.3	46.83	16.87	3.64	3539
Bursa Orhaneli (OHN)	12.6	25.4	39.80	34.80	3.25	3975
Bursa Keles (KLS)	26.8	19.4	36.66	43.94	2.85	3267
Amasra (AMSR)	3.93	38.	28.25	32.2	-	4591
Tekirdağ Malkara (UYS)	-	54.1	29.5	16.43	1.49	2345
Ankara Çayırhan Park1	-	-	-	-	-	-
Ankara Çayırhan Park2	-	-	-	-	-	-

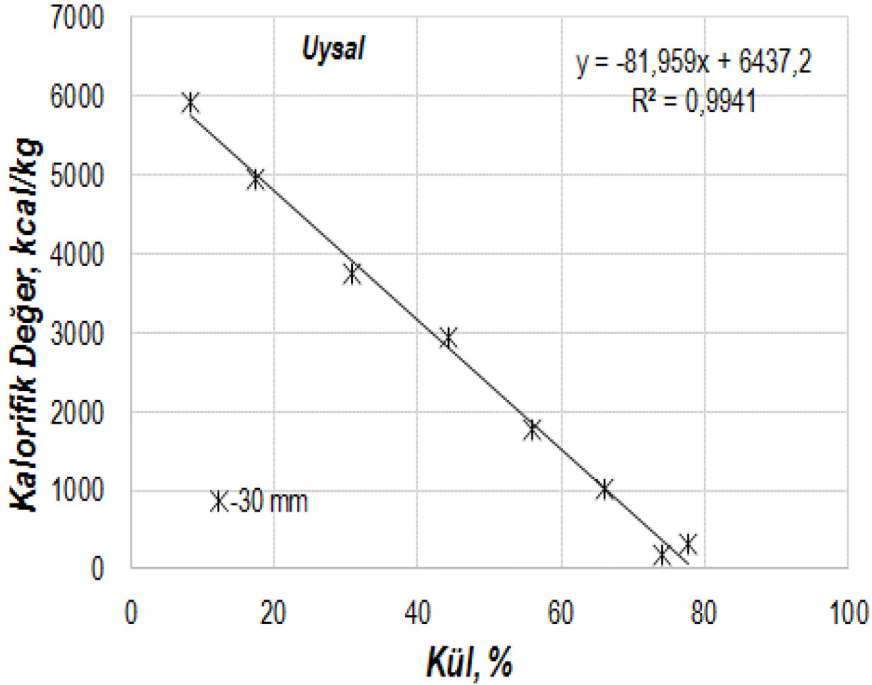
K, UM, SK ve ısıł deđerleri kuru baza göre hesaplanmıřtır. (K: Kül, UM : Uçucu Madde, SK: Sabit Karbon)





Şekil 4. Amasra Bölgesi Kömürü Kül-Kalori Değer İlişkisi.

Figure 4. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Amasra Coal.

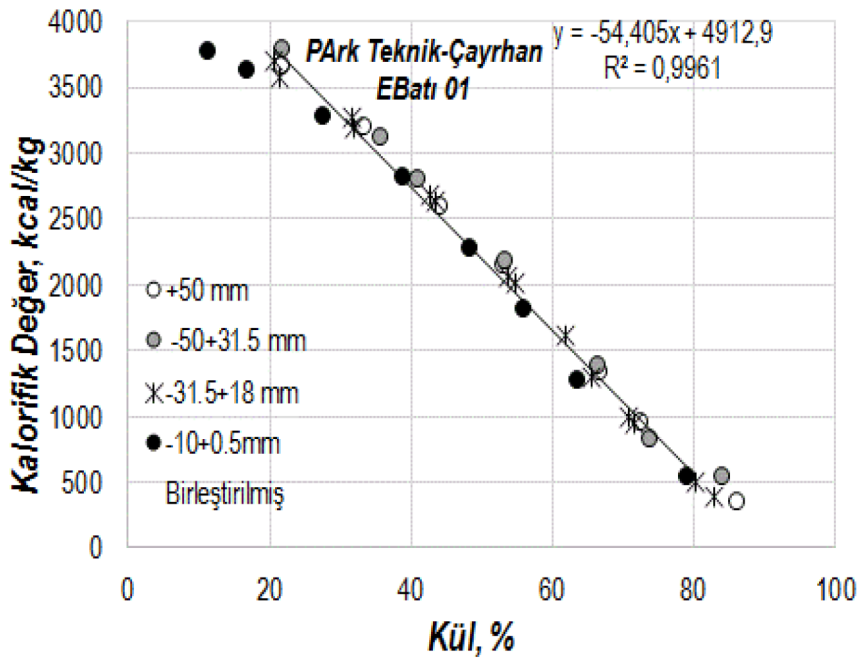


Şekil 5. Trakya Bölgesi Kömürü Kül-Kalori Değer İlişkisi.

Figure 5. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Thracian Coals.

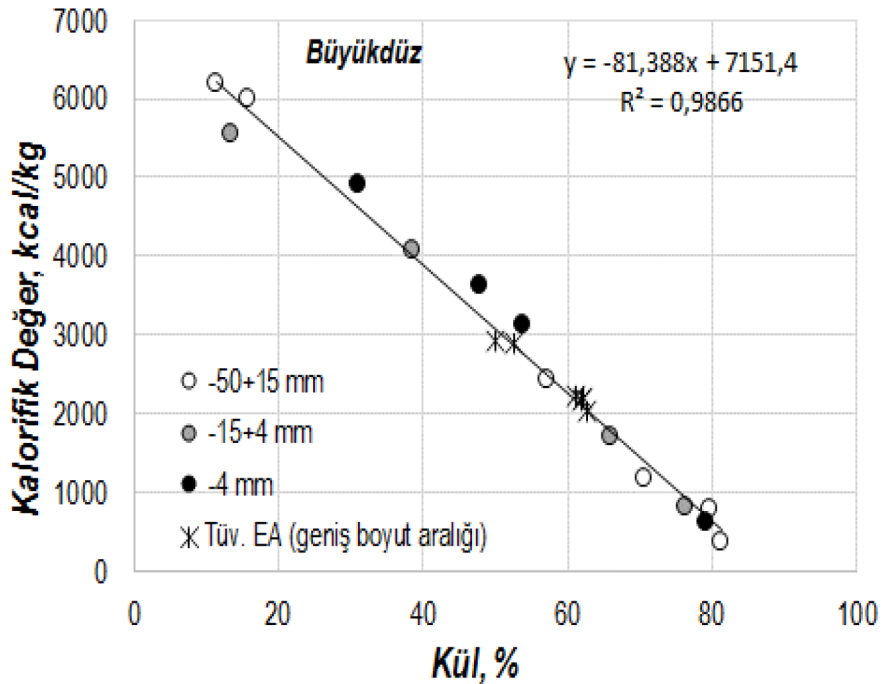
đu, ancak kömürler arasında ortak bir kül-kalorifik değer ilişkisinin kurulmasının mümkün olmadığı gözükmektedir. Değerlendirmeye alınan kömür örnekleri yüksek ranklı (Amasra bitümlü), yarı bitümlü

(Kütahya ve Soma bölgesi kömürleri) ve düşük ranklı kömürleri-linyitleri içermektedir. Her bir kömür örneğinin içerdiği inorganik madde türü gerek oluşum açısından gerekse mineral madde türü açısından



Şekil 6. Ankara Bölgesi Kömürü Kül-Kalori Değer İlişkisi.

Figure 6. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Ankara (Çayrhan) Coals.

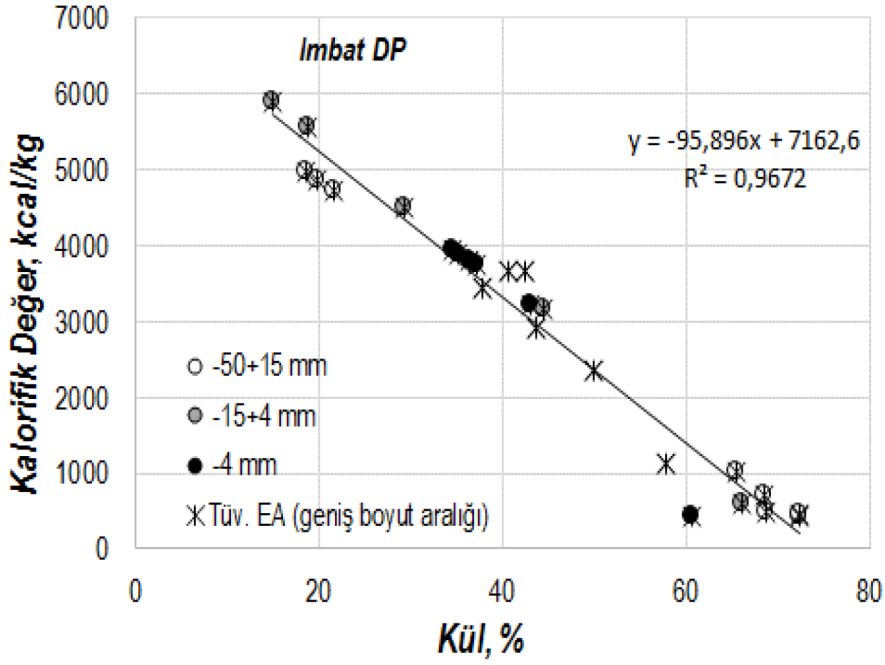


Şekil 7. Kütahya Bölgesi Kömürü Kül-Kalori Değer İlişkisi.

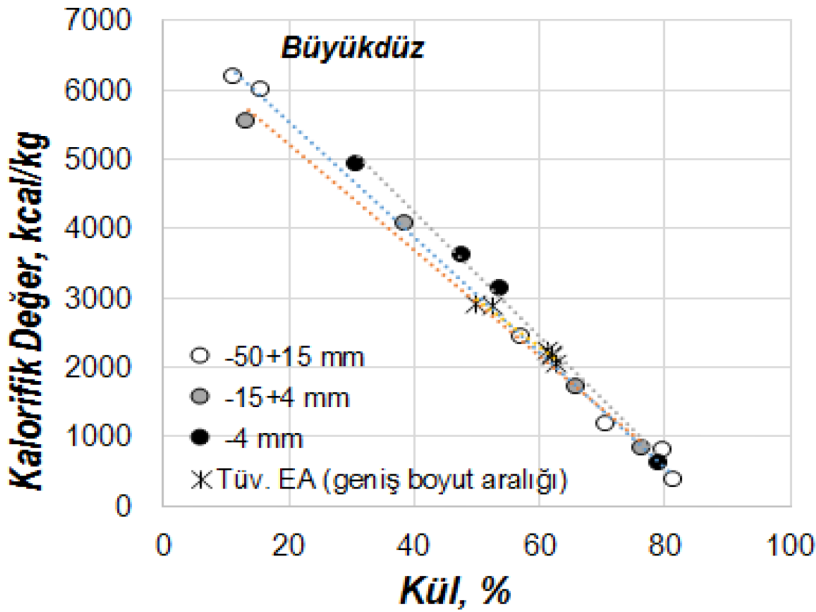
Figure 7. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Kütahya Coals.

farklılık göstermektedir. Dolayısıyla, gerek yüksek kül, gerekse düşük kül içerikli kömür ürünleri arasında kalorifik değer açısından büyük farklar oluşmuştur.

Yüksek kül içerikli ürünlerdeki ısıl değer değişimi mineral madde türü ve mineral madde oluşumu (bün-ye külü ya da serbest kül) arasındaki farklılıklardan



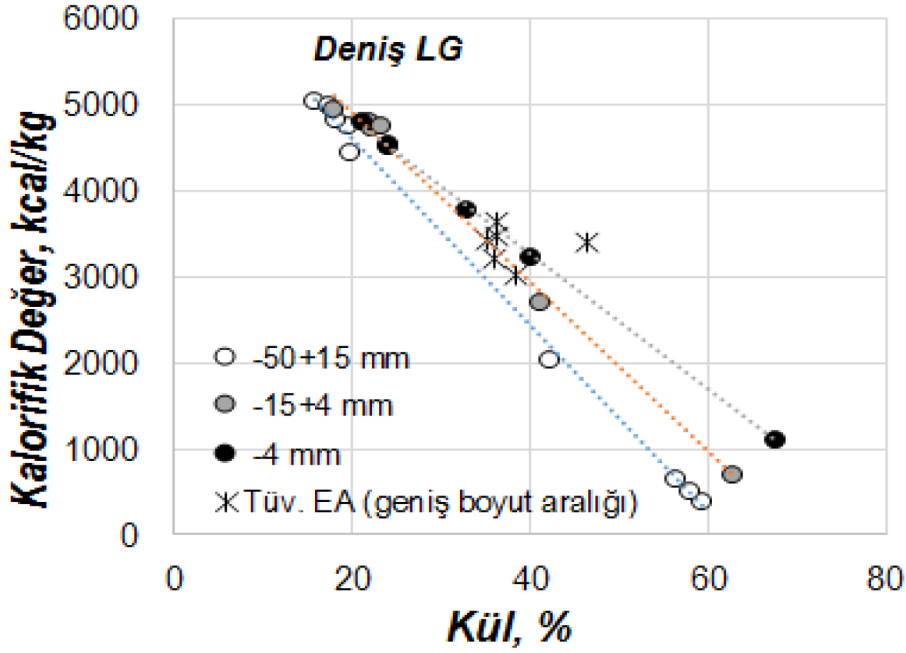
Şekil 8. Soma Bölgesi Kömürü Kül-Kalori Değeri İlişkisi.  
Figure 8. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Soma Coals.



Şekil 9. Büyükdüz Kömürü Boyuta göre Kül-Kalori Değeri İlişkisi.  
Figure 9. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Büyükdüz Coal.

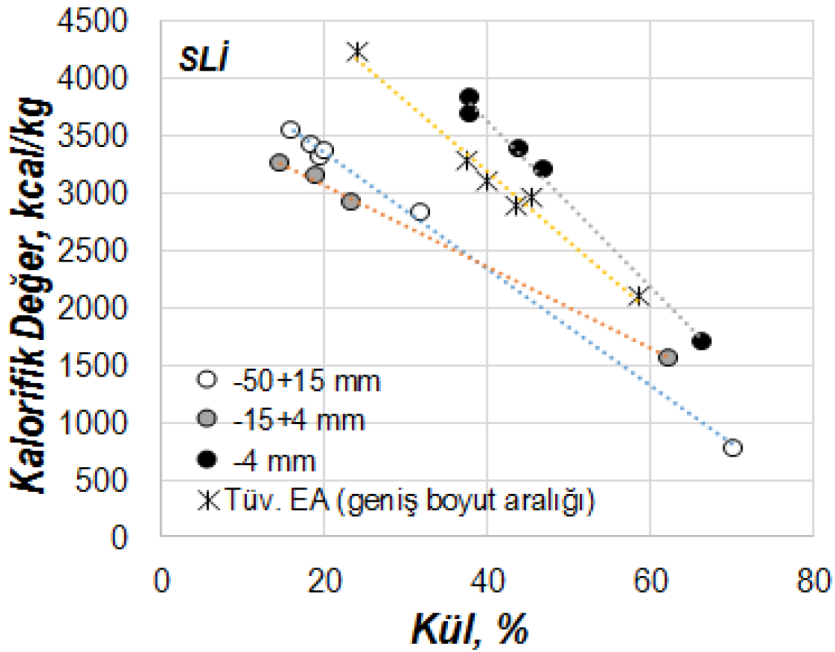
kaynaklanmaktadır. Özellikle, kızdırma kaybı yüksek olan kalsit, ankerit vs gibi kalsiyum karbonatlı kül yapıcı maddeleri içeren ürünlerde, düşük kül içeriği gözlenmesine rağmen, karşılık gelen kalorifik değerlerin düşük olduğu görülmüştür.

Öyle ki, atılabilir şist kalitesi için kalorifik değer <500 kcal/kg olarak düşünülürse 500 kcal/kg den daha düşük ısıl değerlikli şistlerin kül içerikleri % 65-83 arasında değişim göstermiştir. Yani diğer bir deyişle, atılabilir kalitede şist üretimi için kül değerlerinin



şekil 10. Deniş (LG) Kömürü Boyuta göre Kl-Kalori Değer İlişkisi.

Figure 10. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Deniş (Washery feed) Coal.

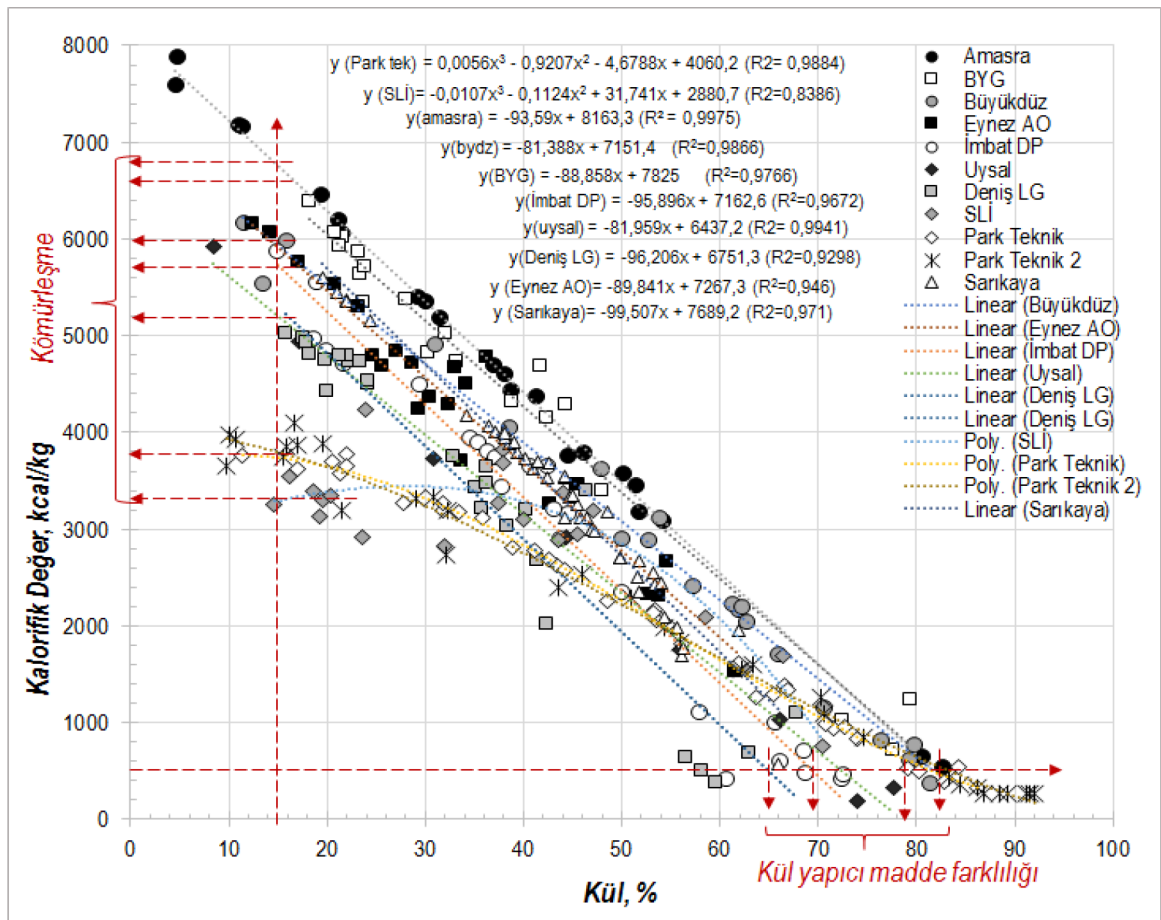


şekil 11. Seyitömer Kömürü Boyuta göre Kl-Kalori Değer İlişkisi.

Figure 11. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Seyitömer Coal.

Kütahya bölgesi kömürleri uygulamasında % 83, Soma bölgesi kömürleri uygulamasında % 65 civarında olması beklenmektedir. Değerlendirmede kullanılan 4 farklı kömür külünün kimyasal analizi Çizelge 5'te verilmektedir.

Düşük kül içerikli kömür ürünlerinin kl-kalorifik değer ilişkisi incelenecek olursa, SLİ, Uysal (Trakya bölgesi) ve Deniş LG (Soma bölgesi), Park teknik (Çayırhan Bölgesi) kömürleri gibi düşük ranklı kömürlerin aynı kül değerleri için daha düşük ısıl değerlikli



Şekil 12. Farklı Türk Kömürlerine ait Kül-Kalori Değer İlişkisi .

Figure 12. Relationship Between Ash Content and Calorific Value for Coals from Different Coal Deposits in Turkey.

Çizelge 5. Toplu grafikte verilen Kömür örneklerinden bazılarına ait Kimyasal analiz Sonuçları

Figure 5. Chemical analysis results of some Turkish Coals at summarized and detailed graphics given above.

Bileşen, %	Deniş LG	İmbat DP	BYKDZ	SLİ
SiO <sub>2</sub>	24.54	48.37	54.66	62.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.67	14.17	15.46	18.42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.16	2.29	10.40	7.62
MgO	2.00	1.60	5.37	3.36
CaO	43.65	24.20	1.93	1.84
Na <sub>2</sub> O	0.18	1.25	0.16	0.80
K <sub>2</sub> O	0.61	1.28	1.79	1.93
TiO <sub>2</sub>	0.41	0.42	0.72	0.73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13	0.20	0.14	0.11
MnO	0.05	0.03	0.18	0.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.012	0.008	0.080	0.067



ürünler sunduğu görülmüştür. Bu durum tamamıyla kömürleşme derecesiyle ilgilidir.

Kömürleşme derecesi kısa ve elementel analizlerde yer alan sabit karbon, uçucu madde, nem, oksijen, hidrojen, azot ve sülfür içerikleri gibi bileşenler tarafından kontrol edilmektedir.

Dolayısıyla, kısa kömür ve elementel analiz bileşenlerinin etkisi bir sonraki bölümde tartışılmıştır.

### Bazı Türk kömürleri üzerinde, Kısa Analiz kömür bileşenleri-ısıl değer ilişkisinin irdelenmesi

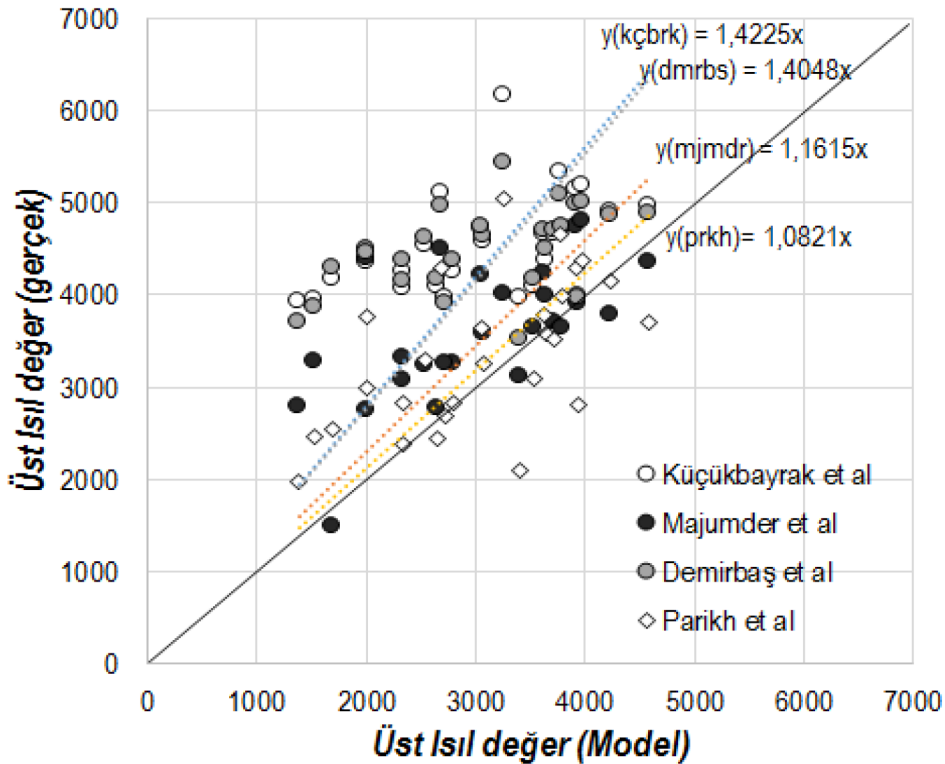
Kısa Kömür analiz bileşenleri-ısıl değer ilişkisinin değerlendirilmesi 15'den fazla Türk kömürü kullanarak, karşılaştırmalı olarak, Şekil 13' de yapılmıştır.

Şekil 13'den gözleneceği üzere literatürde yer alan ve birçok araştırmacı tarafından kurulmuş olan kısa kömür analiz bileşenleri-ısıl değer ilişkilerinden, yüksek regresyonlu olanları seçilmiş ve uygulanmış olmasına rağmen, modellerin ancak, kaba bir yaklaşım

gösterebildikleri, en iyi yaklaşım gösteren modelin Parikh ve arkadaşları (2005) tarafından sunulan model olduğu anlaşılmıştır. Ancak bu modelde dahi, hata payı % 8 civarında çıkmıştır. Bu modele göre yapılacak olan değerlendirmenin özellikle yüksek ısıl değerlikli kömürlerin modellenmesinde büyük farklar yaratacağı aşıkardır. Kısa kömür bileşenleri ve kül içeriği-üst ısıl değer ilişkisindeki kaba yaklaşımların ve yüksek hata paylarının nedeninin, kömür mase-ral yapısıyla ilgili olduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla daha güçlü bir modelin kurulması için kısa kömür, elementel ve petrografik analiz verilerinin birlikte değerlendirilebildiği modellerin kurulması gerektiği düşünülmektedir.

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kısa kömür analiz bileşenleri-üst ısıl değer ilişkisinin tartışıldığı bu çalışmada bireysel kömür örnekleri için kül-ısıl değer ilişkisinin yüksek yaklaşımla kurulabileceği, kül içeriğinin artışına bağlı olarak kömür ısıl değerinde lineer bir azalma olduğu anlaşılmıştır. Ancak,



Şekil 13. Farklı Türk Kömürleri Kullanılarak, Kısa Kömür analiz bileşenleri-ısıl değer ilişkisinin farklı modellere göre değerlendirilmesi.

Figure 13. Evaluation of Relationship Between Proximate Analysis Constituents and Calorific Value Based on Models Proposed by Different Researchers.

kömür içerisindeki inorganik madde türlerinin farklı boyut gruplarında ayrı ayrı yığılma gösterebileceği ve bu davranışın da boyuta bağlı olarak kül-ısı değer ilişkisinin etkileyeceği saptanmıştır.

Farklı Türk kömürleri üzerinde gerçekleştirilen kül-ısı değer ilişkisi değerlendirilmesi yapılmış ve kül-ısı değer ilişkisinin kömürden kömüre farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Bunun nedenleri olarak özellikle yüksek kül içerikli ürünlerde inorganik madde türünden kaynaklanan ve çoğunlukla kızdırma kaybının etken olduğu farklılıktan kaynaklandığı, düşük kül içerikli ürünlerin ısı değerlerinin kömüre bağlı olarak farklılık göstermesinin ise kömürleşme derecesinden kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Kömürleşme derecesi, kısa kömür ve elementel kömür analizlerinde yer alan uçucu madde, sabit karbon bileşenleri ile petrografik analiz bileşenlerinde yer alan, maseral grupları ile belirlenmekte olup, kömürleşme derecesinden kaynaklanan, yukarıda ifade edilen özelliklerin değişim göstermesi sonucunda, doğal olarak kömür kalitesini ve birim karbon bazında vereceği ısı değerinin doğrudan etkilendiği de örneklerle tartışılmıştır.

Yukarıda açıklanan sonuçlara dayanarak herhangi bir kömürün kalitesinin sadece kül içeriği ile tanımlanmasının eksik olacağı, kalorifik değerinin de ifade edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Özellikle kömür yıkama işlemleri sonrasında yine ürün kalitesinin sadece kül içeriği ile değil kalorifik değer ile de tanımlanması gerektiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte özellikle termik santrallere kömür beslemesi yapılırken, kömür ısı değerinin X-ray cihazlarıyla tanımlanmasının zor olacağı, bu tanımlamanın bireysel kömür örnekleri için mümkün olacağı ancak global bir kömür bileşenleri-ısı değer tanımlamasının yüksek uyumluluk dereceleriyle yapılamayacağı anlaşılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Ateşok, G., 2005. Kömür Hazırlama ve Teknolojisi, 975-7946-22-2, İstanbul.
- Benson, S.A., Jones, M.L. and Harb, J.N., 1993. Ash formation and deposition. In Smoot, L.D. (Ed), *Fundamentals of Coal Combustion - for Clean and Efficient Use*, Coal Science and Technology 20, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, ISBN 0-444-89643- 0, Chapter 4, pp. 299-373.
- Callejón-Ferre, A.J., Velázquez-Martí, B., López-Martínez, J.A., Manzano-Agügliaro, F., 2011. Greenhouse crop residues: energy potential and models for the prediction of their higher heating value, *Renew Sust Energy Rev*, 15, 948-955.
- Chelgani, S.C. and Makaremi, S., 2013. Explaining the relationship between common coal analyses and Afghan coal parameters using statistical modeling methods, *Fuel Process Technol*, 110, 79-85.
- Ghugare, S.B., Tiwary, S., Elangovan, V., Tambe, S.S., 2014. Prediction of higher heating value of solid biomass fuels using artificial intelligence formalisms, *Bioenergy Res.*, 7, 681-692.
- Demirbaş, A., 1997. Calculation of Higher heating values of biomass fuels, *Fuel*, 76(5), 43.
- Erol, M., Haykiri-Acma, H., Küçükbayrak, S., 2010. Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data, *Renew Energy*, 35, 170-173.
- Feng, Q., Zhang, J., Zhang X. and Wen, S., 2015. Proximate analysis based prediction of gross calorific value of coals: A comparison of support vector machine, alternating conditional expectation and artificial neural network, *Fuel Processing technology*, 129, 120-129.
- Kathiravale, S, Yunus, M.N.M., Sopian, K., Samsudin, A.H., Rahman R.A., 2003. Modeling the heating value of municipal solid waste, *Fuel*, 82,1119-1125.
- Küçükbayrak, S., Duruş, B, Meriçboyu, A.E., Kadioğlu, E., 1991. Estimation of Calorific values of Turkish lignites, *Fuel*, 70, 979-81.
- Majumder, A.K., Jain, Rachana, Banerjee, P., Barnwal, J.P., 2008. Development of a new proximate analysis based correlation to predict calorific value of coal, *Fuel*, 87, 3077-3081.
- Matin, S.S., Chehreh, C.S., 2016. Estimation of coal gross calorific value based on various analyses by random forest method, *Fuel*, 177, 487-49.
- Mohammed I.Y., Kazi F.K., Yusuf S.B., Alshareef I., Chi S.A., 2014. Higher heating value (HHV) prediction model from biomass proximate analysis data. *International conference & exhibition on clean energy, Quebec*, 20-22.

- Parikh, J., Channiwala, SA., Ghosal, GK., 2005. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solids fuel, *Fuel*, 2005, 484-94.
- Roberto, G., Consuelo, P., Antonio, G.L., 2014. Spanish biofuels heating value estimation. Part I: Ultimate analysis data, *Fuel*, 117, 1130-1138.
- Setyawati, W., Damanhuri, E., Lestari, P., Dewi, K., 2015. Correlation equation to predict HHV of tropical peat based on its ultimate analyses, *Procedia Eng*, 125, 298-303.
- Sharma, A., Saikia, B. K., Baruah, B. P., 2012. Maceral Contents Of Tertiary Indian Coals And Their Relationship With Calorific Values, *Int. Journal of Innovative Research and Developments*, vol 1 (7), 196-203.
- Thipkhumthod, P., Meeyoo, V., Rangsunvigit, P., Kitivanan, B., Siemanond, K., Rirksomboon, T., 2005. Predicting the heating value of sewage sludges in Thailand from proximate and ultimate analyses, *Fuel*, 84, 849-857.
- Toscano, G., Foppa, P.E., 2009. Calorific value determination of solid biomass fuel by simplified method, *J Agricultural Eng*, XL, 1-6.
- Wen, X., Jian, S, Wang, J., 2017. Prediction models of calorific value of coal based wavelet neural networks, *Fuel*, 199, 512-522.
- Yin, C.Y., 2011. Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses, *Fuel*, 90, 1128-1132.



## 10 Mayıs 1997 Qa'emat (İran) Depremi (Mw=7.2) Sonlu-Fay Kayma Dağılımının Telesismik P ve SH Geniş Bant Dalga Şekillerinin Ters Çözümünden Belirlenmesi

### *Finite-Fault Slip Distribution of the 10 May 1997 Qa'emat (Iran), Earthquake (Mw=7.2) Determined From Inversion of the Telesismic P and SH Broad Band Waveforms*

HATİCE DURMUŞ<sup>1\*</sup>, MURAT UTKUCU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 54187 Serdivan/Sakarya.

Geliş (received) : 20 Mayıs (May) 2018

Kabul (accepted) : 23 Kasım (November) 2018

#### ÖZ

Bu çalışmada, 10 Mayıs 1997 Qa'emat depreminin (Mw=7.2) sonlu-fay kırılma özellikleri araştırılmıştır. Hartzell ve Heaton (1983) tarafından geliştirilen bir lineer sonlu-fay ters çözüm yöntemi sonlu-fay kaynak özelliklerini elde etmek için geniş bant telesismik P ve SH cisim dalga şekillerine uygulanmıştır. 1997 Qa'emat depreminin çoklu-segment sabit rake açılı sonlu-fay modeli, kırılmanın üç pürüzün yenilmesiyle kontrol edildiğini, en büyük kaymanın 340 cm ile ortada yer alan pürüz üzerinde olduğunu, güneye doğru tek yönlü olarak ilerlediğini, 36 saniye sürdüğünü ve  $1.26 \times 10^{27}$  dyn.cm'lik bir sismik momenti serbestlediğini göstermiştir. Kuzeydeki pürüz  $30 \times 15$  km<sup>2</sup>'lik bir kırılma alanı ile 220 cm maksimum kayma genliğine ve güneydeki pürüz  $12 \times 15$  km<sup>2</sup>'lik bir kırılma alanı ile 220 cm maksimum kayma genliğine sahiptir. Benzer bir kayma dağılım modeli, kayma genliklerinde küçük farklılıklar ve daha sığ güney pürüz ile rake açısının 90°-180° aralığında değişimine izin verildiğinde de elde edilmiştir. Ayrıca değişken rake açılı ters çözüm, depremin baskın olarak sağ yanal kayma nedeniyle olduğunu ve arazide gözlemlendiği gibi güney pürüzde önemli bir ters kayma bileşenine sahip olduğunu göstermiştir. Değişken rake açılı ters çözüm için sismik moment  $1.18 \times 10^{27}$  dyn.cm olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *İran, Lut Bloğu, Sonlu-fay modellemesi, 10 Mayıs 1997 Qa'emat depremi.*

#### ABSTRACT

In the present study, finite-fault rupture properties of the 10 May 1997 Qa'emat, Iran, earthquake (Mw=7.2) have been investigated. A linear finite-fault inversion method developed by Hartzell and Heaton (1983) is applied to the broadband teleseismic P and SH body waveforms in order to obtain the finite-fault source properties. The multi-segment, fixed-rake angle finite-fault modeling of the 1997 Qa'emat earthquake has shown that the rupture was controlled by failure of three asperities with a maximum slip of about 340 cm over the asperity in the middle, was unilateral to the south, lasted for 36 s and released a seismic moment of  $1.26 \times 10^{27}$  dyn.cm. The asperity in the north has maximum slip amplitude of 220 cm with a rupture area of  $30 \times 15$  km<sup>2</sup> and the asperity in the south has maximum slip amplitude of 220 cm with a rupture area of  $12 \times 15$  km<sup>2</sup>. A similar slip distribution model has been obtained when the rake-angle allowed to vary in the range 90°-180° with small differences in slip amplitudes and a shallower southern asperity. The variable-rake angle inversion has further shown that the earthquake was due to dominantly dextral slippage and the southern asperity has a significant reverse slip component as observed in the field. A seismic moment of  $1.18 \times 10^{27}$  dyn.cm was estimated for the variable-rake angle inversion.

**Keywords:** *Iran, Lut Block, Finite fault modelling, 10 May 1997 Qa'emat earthquake.*

\* H. Durmuş

e-posta: hatice.durmus@dpu.edu.tr



## GİRİŞ

10 Mayıs 1997 Qa'emat depremi ( $M_w=7.2$ ), Lut Bloğu'nun KB'sını sınırlayan Abiz Fayı üzerinde meydana gelmiştir (Şekil 1). Kuzeyde Dasht-e-Bayaz fayından güneyde Sepestan Dağına kadar uzanan bu fay üzerinde oluşan yaklaşık 125 km uzunluğunda çok segmentli KB-GD genel doğrultulu sağ-yanal doğrultu atımlı yüzey kırığı (Ikeda vd., 1999; Berberian vd., 1999; Sudhaus ve Jonsson, 2011) İran depremleri ile ilişkili bilinen en uzun yüzey kırığıdır ve kırığın kuzey kısmı daha önce 1936 ve 1979 depremleri ile kırılmıştır (Berberian vd., 1999) (Şekil 2).

U.S. Geological Survey (USGS) tarafından dış merkez koordinatları  $33.83^\circ\text{K}-59.81^\circ\text{D}$  (Şekil 1b) ve odak derinliği 10 km olarak verilen (Çizelge 1) depremde 1500'den fazla insan hayatını kaybederken 2600'den fazla insan yaralanmış ve 12.000 civarı ev yıkılmıştır (Berberian vd., 1999; Walker vd., 2011). Grünthal vd. (1999) bu bölgenin doğu İran'daki en yüksek sismik tehlikeye sahip bölge olduğunu vurgulamıştır. Birçok araştırmacı ve sismoloji merkezi tarafından 1997 Qa'emat depreminin kaynak mekanizma çözümleri çeşitli veri setleri kullanılarak yapılmıştır (Çizelge 1). Bütün bu çözümler deprem için sağ-yanal doğrultu atımlı faylanmaya işaret etmektedir.

İran, kıta-kıta çarpışması (Zagros, Alborz, Kopet Dag), okyanusal litosferin kıtasal litosfer altına dalımı (Makran) ve genç orojen ile dalma-batma zonu arasındaki keskin geçiş (Minab-Zendan-Palami Fay Sistemi (MZPFS)) gibi tektonik süreçlerin karşılaştığı doğal bir laboratuvar niteliğindedir (Vernant vd., 2004) (Şekil 1a). İran'daki aktif deformasyon güneyde Arabistan plakası ile kuzeyde Avrasya plakası arasındaki yakınsamadan kaynaklanmaktadır (Berberian, 1981; Jackson ve McKenzie, 1984; Talebian ve Jackson, 2002) ve çarpışan bu iki plaka arasındaki sıkışma zonuındaki konumundan dolayı İran, dünyadaki sismik olarak en aktif bölgelerden biridir (Engdahl vd., 2006). Ambraseys ve Melville (1982), tüm İran'da 1900 yılından bu yana büyüklüğü  $M>7.0$  olan bir depremin her 7 yılda bir, büyüklüğü  $6.0<M<7.0$  olan bir depremin ise her iki yılda bir meydana geldiğini vurgulamıştır.

Vernant vd. (2004) tarafından elde edilen GPS kabuksal hız alanı, Arabistan plakasının Avrasya'ya göre  $22\pm 2$  mm/yıl hızla hemen hemen kuzeye doğru hareket ettiğini ortaya koymaktadır (Şekil 1a). Yakınsama hareketinin yatay bileşeni Zagros'ların kuzeyindeki sağ-yanal doğrultu atımlı Main Recent Fayı (MRF) ile, düşey bileşeni ise orta Zagros Bindirme Kuşağı

(ZBK) ile karşılanmaktadır. ZBK, yakınsamanın  $7\pm 2$  mm/yıllık kısmını karşılarken MRF boyunca sağ-yanal yer değiştirmeler yaklaşık  $3\pm 2$  mm/yıl'dır (Vernant vd., 2004) (Şekil 1a). Güneyde Makran dalma-batması tarafından karşılanmayan Arabistan ve Avrasya yakınsamasının bir kısmı doğu İran'da Lut Bloğundaki doğrultu atımlı faylar aracılığı ile Kopet Dag bindirme-kıvrım kuşağına aktarılmaktadır ve birçok ters fay ile bu kuşak güneyde Orta İran bloğundan ayrılmaktadır (Berberian, 1981). Vernant vd. (2004)'e göre Kopet Dag'da yakınsama hareketinin  $6\pm 2$  mm/yıllık kısmı karşılanmaktadır. Orta İran boylamlarında ise kısalma Zagros ( $7\pm 2$  mm/yıl) ve Alborz kıvrım kuşakları üzerinde ( $8\pm 2$  mm/yıl) dağılmıştır (Vernant vd., 2004; Hessami ve Jamali, 2006). Doğu ve Orta İran arasındaki iletilen kabuksal hızlardaki fark Lut bloğunun doğusu ve batısını sınırlandıran faylar boyunca karşılanmaktadır.

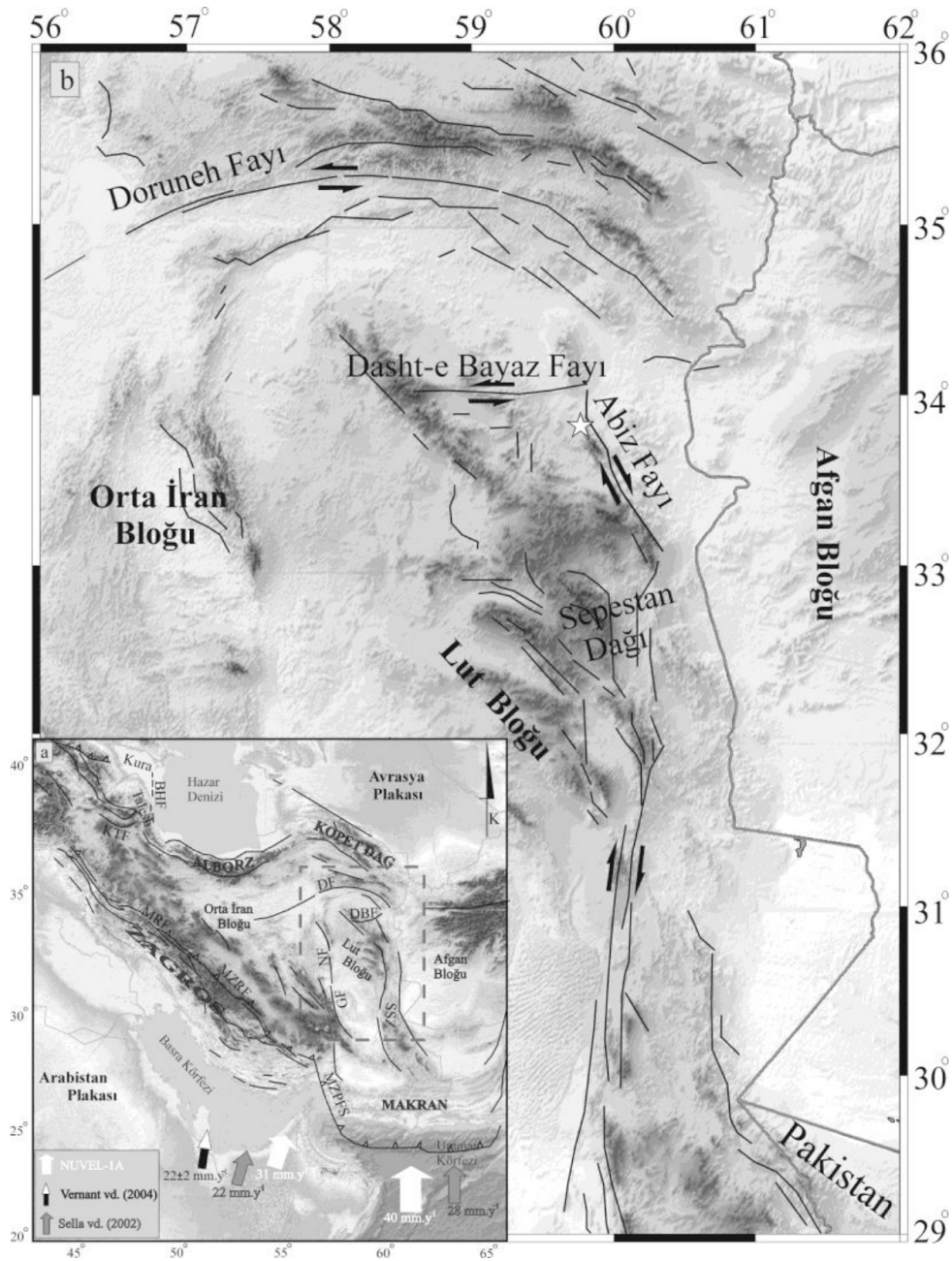
KB-GD doğrultulu ve sağ-yanal doğrultu atımlı 1997 Qa'emat depremi yüzey kırığı, kuzeyde D-B sol-yanal doğrultu atımlı fay sistemi olan Dasht-e-Bayaz fay sistemi ile kesişmektedir (Şekil 1b). Bu nedenle Qa'emat depremi, yüzey kırığı içeren büyük bir deprem olmasının yanı sıra kıtasal blokları sınırlayan doğrultu atımlı fayların kesişme bölgelerinin nasıl davrandığı ve aynı fay uzunluğu boyunca farklı zamanlarda oluşan deprem kırılmalarının birbirleri ile olan ilişkilerinin irdelenmeleri açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada yapılacak sonlu-fay ters çözümünüyle elde edilecek kayma modelinin bu irdelenmeye olanak sağlayacak bir gayret olacağı düşünülmektedir.

## KULLANILAN VERİ

10 Mayıs 1997 Qa'emat depremi sonlu-fay ters çözümünde, episantral uzaklıkları  $36^\circ$  ile  $89^\circ$  arasında değişen 21 istasyondaki geniş-bant  $P$  dalga şekli ile 16 istasyondaki geniş-bant  $SH$  dalga şekli kullanılmıştır.  $P$  ve  $SH$  dalga şekilleri alet tepkileri giderildikten sonra verilerin karmaşıklığı ve yüksek frekans içeriği dolayısıyla, 0.01-0.5 Hz frekans aralığında Butterworth bantgeçişli filtre kullanılarak filtrelenmiş ve 0.20 sn örnekleme aralığı ile tekrar örneklenmiştir. Ters çözümde hız kayıtları kullanılmış olup  $P$  dalga şekilleri için 50 sn'lik kayıt uzunluğu,  $SH$  dalga şekilleri için 60 sn'lik kayıt uzunluğu seçilmiştir.

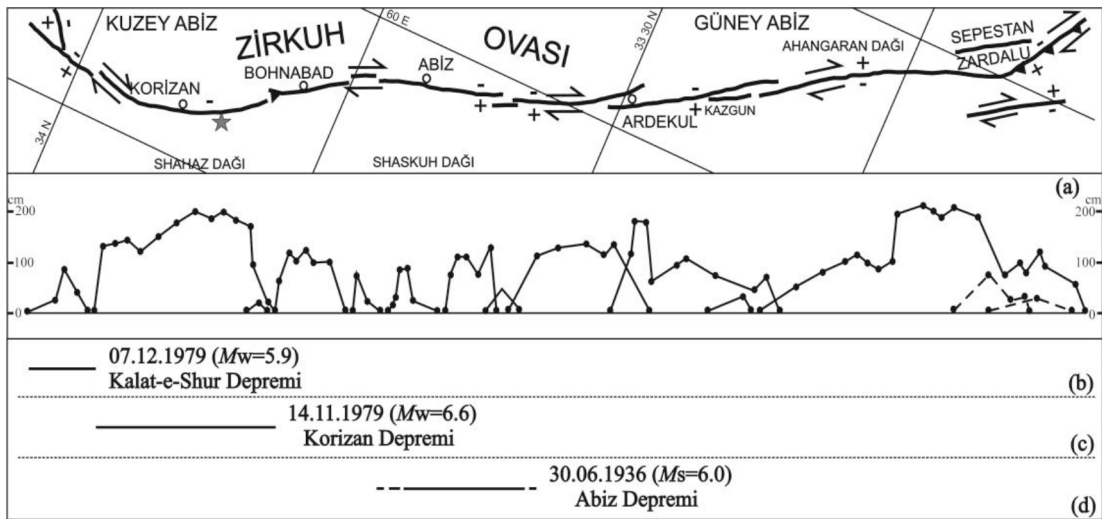
## SONLU-FAY MODEL PARAMETRİZASYONU

1997 Qa'emat depreminin oluşturduğu yüzey kırığı incelendiğinde yüzey kırığının tek bir doğrultuya



Şekil 1. a) İnan'ın basitleştirilmiş tektonik haritası. Büyük oklar NUVEL-1A, Vernant vd. (2004) tarafından verilen Arabistan plakasının Avrasya'ya göre göreceli hareketini temsil etmektedir. Siyah çizgiler aktif fayları temsil etmektedir ve Vernant vd. (2004)'ten alınmıştır. BHF: Batı Hazar Fayı, DBF: Dasht-e Bayaz Fayı, DF: Doruneh Fayı, GF: Gowk Fayı, KTF: Kuzey Tebriz Fayı, MZPFS: Minab-Zendan-Palami Fay Sistemi, MRF: Main Recent Fayı, MZRF: Main Zagros Reverse Fayı, NF: Nayband Fayı, SSZ: Sistan Suture Zonu b) Doğu İnan'daki belli başlı faylar ve Lut bloğunu çevreleyen fay sistemleri. Beyaz yıldız depremin episantrını temsil etmektedir. Faylar Walker ve Khatib (2006)'dan alınmıştır

Figure 1. a) Simplified tectonic map of Iran. Large arrows represent movement of the Arabian plate relative to the Eurasian Plate given by the NUVEL-1A, Vernant et al. (2004) and Sella et al. (2002). Black lines represent active faults that were taken from Vernant et al. (2004). BHF: West Hazar Fault, DBF: Dasht-e Bayaz Fault, DF: Doruneh Fault, GF: Gowk Fault, KTF: North Tebriz Fault, MZPFS: Minab-Zendan-Palami Fault System, MRF: Main Recent Fault, MZRF: Main Zagros Reverse Fault, NF: Nayband Fault, SSZ: Sistan Suture Zone b) The major faults in the Eastern Iran and the fault systems surrounding the Lut block. White star represents epicenter of the earthquake. The faults were taken from the Walker and Khatib (2006).



Şekil 2. 10 Mayıs 1997 Qa'emat depreminin yüzey kırığı. (a) Yüzey kırığı boyunca ölçülen yer değiştirme miktarları ve (b), (c) ve (d) yüzey kırığı boyunca sırasıyla 1979 Kalat-e-Shur, 1979 Korizan ve 1936 Abiz depremlerinin tahmini kırılma uzanımlarını göstermektedir. Gri yıldız depremin episantrını temsil etmektedir. (Berberian vd. (1999)'dan değiştirilerek alınmıştır)

Figure 2. The surface rupture of the 10 May 1997 Qa'emat earthquake. (a) Amount of displacements measured along the surface rupture and (b), (c) and (d) show the approximate rupture extends of the 1979 Kalat-e-Shur, the 1979 Korizan and the 1936 Abiz earthquakes, respectively, along the surface rupture. Grey star represents epicenter of the earthquake (after Berberian et al. (1999)).

Çizelge 1. 10 Mayıs 1997 Qa'emat depreminin çeşitli araştırmacılar ve kuruluşlar tarafından verilen kaynak parametreleri.

Table 1. The source parameters of the 10 May 1997 Qa'emat earthquake given by various researchers and organizations.

	Enlem (°)	Boylam (°)	Derinlik (km)	Mo ( $\times 10^{19}$ Nm)	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Rake (°)
HRV(Harvard)	-	-	27	7.70	338	89	177
USGS	33.83	59.81	10	5.40	340	88	-179
Berberian vd. (1999) <sup>1</sup>	33.83	59.81	15	6.63	333	86	173
Sudhaus ve Jonsson (2011) <sup>2</sup>	33.52	60.02	6	7.64	154	88	192

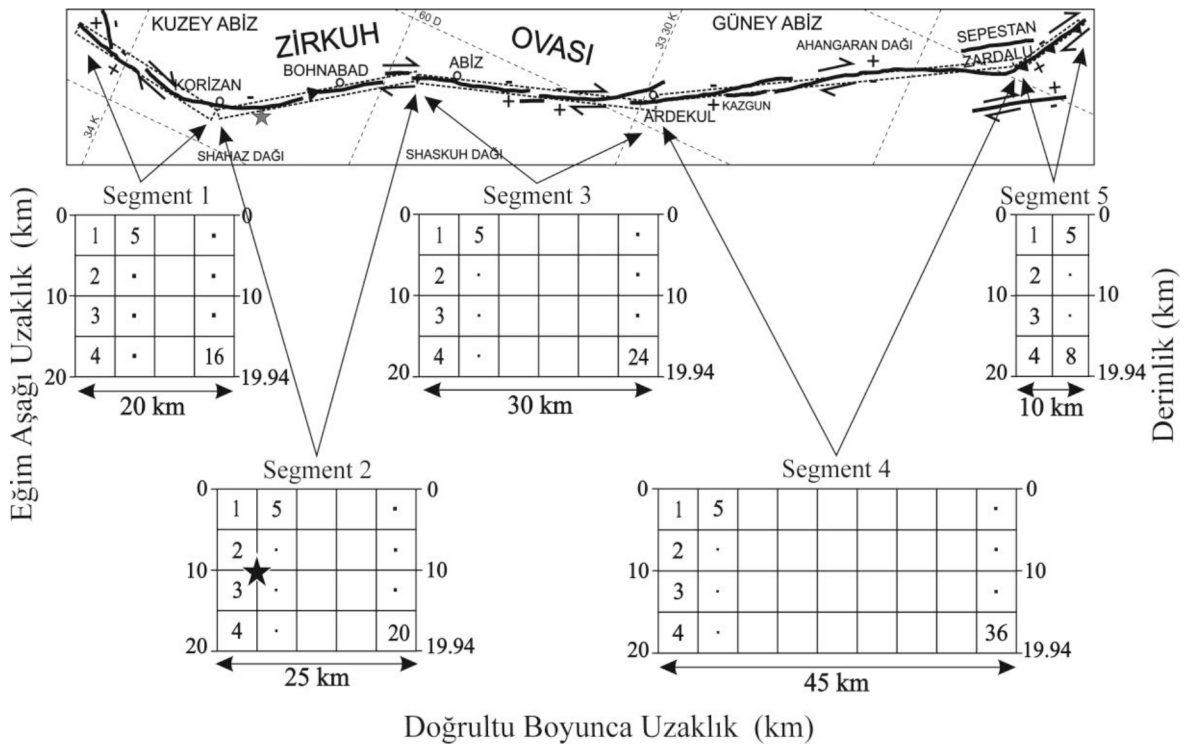
<sup>1</sup> Telesismik P ve SH dalga şekillerinin ters çözümünden; <sup>2</sup> InSAR verilerinin ters çözümünden.

<sup>1</sup> From the inversion of teleseismic P and SH waveforms; <sup>2</sup> From the inversion of InSAR data.

sahip olmadığı görülmektedir (Şekil 2) (Berberian vd., 1999). Kırığın kuzey kısmı (kuzeyde Dasht-e-Bayaz fayından güneyde Ardekul'a kadar), batıda Shahaz ve Shaskuh dağları ile doğuda Zirkuh ovası arasında yer alır. Bu kısımda kırığın doğrultusu, kuzeyde Dasht-e-Bayaz fayı ile kesiştiği bölgede 10° den, Korizan kasabasına yakın K-G doğrultuya ve Bohnabad yakınlarında 155°'ye değişerek önemli ölçüde değişim göstermiştir. Ayrıca doğrultunun tekrar 155° olduğu Bohnabad ile Ardekul arasında bir bükülme (S

şeklinde) meydana gelmiştir. Ardekul'un güneyindeki yüzey kırıklarının doğrultusu ise 33.16°K-60.23°D koordinatından çarpıcı şekilde 125°'ye değişir.

Çalışmada, model parametrisasyonunun karmaşıklığını azaltmak amacıyla haritalanan yüzey kırığında yaklaşık aynı doğrultuya sahip fay segmentleri tek segment kabul edilerek 5 segmentli bir sonlu-fay modeli oluşturulmuştur (Şekil 3, Çizelge 2). Buna göre yüzey kırığının Korizan kasabasının kuzeyinde



Şekil 3. 10 Mayıs 1997 Qa'emat depreminin yüzey kırığı ve ters çözüm için kullanılan beş segmentli sonlu-fay modeli. Siyah kesikli çizgili dikdörtgenler fay modelinin yüzey izdüşümünü ve gri yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Yüzey kırığı uzanımı Berberian vd. (1999)'dan alınmıştır

Figure 3. The surface rupture of the 10 May 1997 Qa'emat earthquake and the five-segment finite-fault model used for the inversion. Black dashed outlined rectangles represent surface projection of the model fault and the grey star shows the earthquake epicenter. Extent of the surface rupture has been taken from Berberian et al. (1999)

Çizelge 2. 10 Mayıs 1997 Qa'emat depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan çok segmentli fay modeli parametreleri.

Table 2. The multi-segment fault model parameters used in the 10 May 1997 Qa'emat earthquake finite-fault inversion.

	Uzunluk (km)	Genişlik (km)	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Fay Parçası Sayısı
Segment 1	20	20	190	87	16
Segment 2	25	20	140	87	20
Segment 3	30	20	164	87	24
Segment 4	45	20	330	87	36
Segment 5	10	20	118	87	8

kalan kısmı bir segmentle (Segment1), Korizan ile Abiz kasabasının hemen kuzeyi arasında kalan kısım bir segmentle (Segment 2), Abiz'in hemen kuzeyi ile Ardekul kasabası arasında kalan kısım bir segmentle (Segment 3) ve Ardekul kasabasının güneyindeki

yüzey kırıkları açık şekilde farklı doğrultuya sahip olduklarından dolayı iki farklı segmentle (sırasıyla Segment 4 ve Segment 5) temsil edilmiştir. Bu fay segmentlerinin eğimleri 87° olarak tanımlanmış ve her bir segmentin eğim aşağı genişliği 20 km olarak seçil-



miştir. Modellemede fayın üst kenarı yer yüzeyi ile çakıştırıldığından 87° eğime sahip fay modeli 19.94 km derinliğe kadar uzanmaktadır (Şekil 3).

Kullanılan ters çözüm metodu gereği çok segmentli model fay düzlemi, 5km x 5km boyutlarında toplam 104 adet fay parçasına bölünmüş (Şekil 3) ve 36 nokta kaynak her bir fay parçası üzerine düzgün olarak dağıtılmıştır. Berberian vd. (1999) da olduğu gibi USGS'in belirlediği dış merkez koordinatları (33.83°K-59.81°D) kırılmanın başlangıç noktası olarak alınmıştır. Bu dış merkez noktasının çalışmada kullanılan fay modeli üzerine izdüşümü yaklaşık 10 km derinliğe karşılık gelmektedir.

Modellemede fay parçası sentetik sismogramlarının hesaplanması için kırılma hızının başlangıçta verilmesi gerekmektedir. Deprem sırasındaki kırılma hızının ne olduğuna dair herhangi bir bilginin olmayışından dolayı başlangıçta verilmesi gereken kırılma hızı, Necioğlu (1999) tarafından verilen bölgesel kabuksal hız yapısında (Çizelge 3) üst kabuktaki ortalama makaslama dalga hızının %85'ine karşılık gelen değer olan 3.3 km/sn olarak alınmıştır.

Ters çözümde 6 zaman penceresi kullanılmıştır ve her bir zaman penceresi içinde kaynak yükselim-zaman fonksiyonu 0.5 sn yükselim ve 0.5 sn düşüme sahip eşkenar üçgen ile temsil edilmiştir. Her bir zaman penceresi bir öncekinden 1 sn geciktirilmiştir. Böylece fay düzlemi üzerindeki her bir noktada toplam 6 sn'lik bir yükselim zamanına olanak sağlanmıştır. Farklı sabit rake açıları ve rake açısının 90°-180° arasında serbest bırakıldığı birçok ters çözüm denemesi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## TERS ÇÖZÜM SONUÇLARI

1997 Qa'emat depremi için çok segmentli bir fay modeli parametrisasyonuna değinilmiş olsa da tek segmentli fay modeli ile de gözlenmiş dalga şekilleri modellenmeye çalışılmış ve birkaç deneme sonucunda tek segmentli model ile bu depremin modellenmeyeceği anlaşılmıştır. Çok segmentli fay modeli için farklı rake açılarının ve kırılma hızlarının kullanıldığı birçok ters çözüm denemesinin yanı sıra farklı eğim yönleri için de denemeler yapılmıştır (Çizelge 4). İlk iki denemede (Model QM1 ve QM2) tüm segmentlerin eğim yönleri aynı kabul edilmiş (QM1'de B-KB, QM2'de D-KD), üçüncü denemede ise (Model QM3) dördüncü segmentin eğim yönü Berberian vd. (1999) ve Sudhaus ve Jonsson (2011) tarafından belirtildiği gibi diğer segmentlerden farklı olarak doğuya eğimli kabul edilmiştir.

QM3 modeli ile yapılan denemede elde edilen hata miktarı ilk iki denemenin hata miktarından daha düşük çıkmış (Çizelge 4) ve daha sonra rake açısı ve kırılma hızlarının değiştirildiği birçok ters çözüm denemesi yapılmıştır. Başlangıç olarak kırılma hızı 3.3 km/s alınmış ve rake açıları ise Berberian vd.(1999)'da belirtilen faylanma türlerine göre her bir segment için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Buna göre ilk dört segment için sağ-yanal doğrultu atımlı faylanmayı temsil eden, beşinci segment için ise sağ-yanal doğrultu atım ve ters atım bileşen içeren rake açıları seçilmiştir. Çizelge 4'de görüldüğü gibi yapılan tüm ters çözüm denemeleri sonucunda en küçük hata miktarı Model QM7 ile elde edilmiştir.

Model QM7 ters çözüm denemesi sonucunda elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 4'de verilmiştir. Bu model için hesaplanan sentetik dalga şekilleri ile

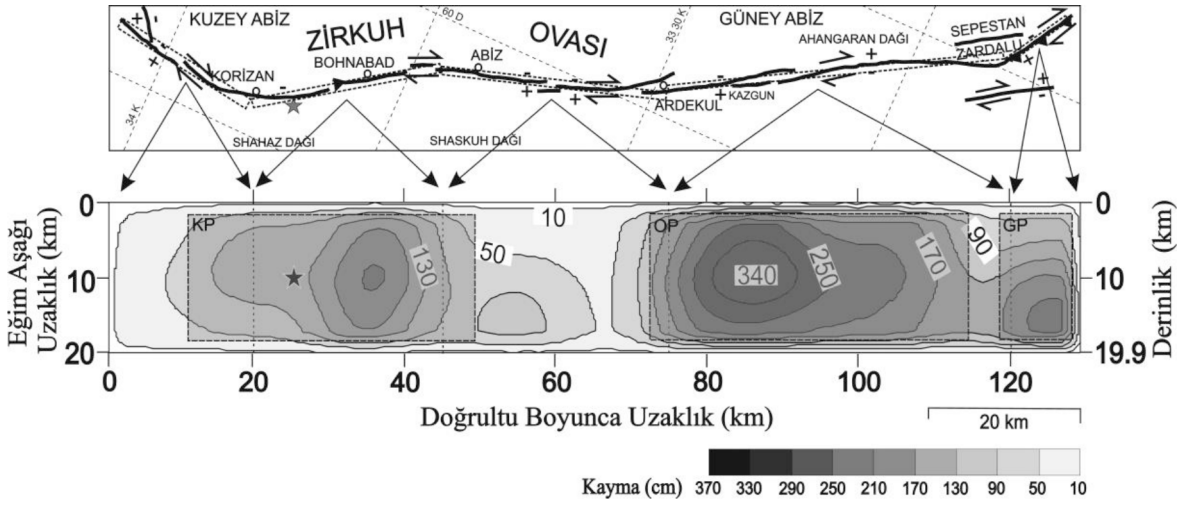
Çizelge 3. 10 Mayıs 1997 Qa'emat depreminin sonlu-fay analizinde kullanılan kabuksal hız modeli (Necioğlu, 1999).  
Table 3. The crustal velocity model used in the 10 May 1997 Qa'emat earthquake finite-fault analysis (Necioğlu, 1999).

Kalınlık (km)	$V_p$ (km/s)	$V_s$ (km/s)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )
3.0	5.20	3.00	2.55
9.0	6.10	3.52	2.69
17.0	6.50	3.75	2.85
23.0	6.80	3.90	3.00
-	8.15	4.70	3.40



Çizelge 4. 10 Mayıs 1997 Qa'emat depremi için yapılan sonlu-fay ters çözüm denemeleri.  
Table 4. The finite-fault inversion trials carried out for the 10 May 1997 Qa'emat earthquake.

Model	Doğrultu (°)					Eğim (°)					Rake (°)					Kırılma Hızı (km/s)					Moment (dyn.cm)	b-ax	Varyans	Kayna Miktarı (cm)	
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>					
QM1	190	140	164	150	118	87	180	180	180	180	135	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	8.96*10 <sup>26</sup>	34.261	0.09973797	230
QM2	10	320	344	330	298	87	180	180	180	180	135	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	1.38*10 <sup>27</sup>	32.905	0.09285130	340
QM3	190	140	164	330	118	87	180	180	180	180	135	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	1.37*10 <sup>27</sup>	32.925	0.09265433	420
QM4	190	140	164	330	118	87	175	180	180	180	135	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	1.35*10 <sup>27</sup>	32.855	0.09245833	360
QM5	190	140	164	330	118	87	175	175	175	135	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	1.04*10 <sup>27</sup>	34.043	0.09887601	280
QM6	190	140	164	330	118	87	170	170	170	135	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	7.67*10 <sup>26</sup>	34.155	0.09907966	240
QM7	190	140	164	330	118	87	-175	-175	-175	135	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	1.26*10 <sup>27</sup>	32.597	0.09070893	340
QM8	190	140	164	330	118	87	-170	-170	-170	135	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	9.75*10 <sup>26</sup>	33.470	0.09521810	260
QM9	10	320	344	330	298	87	-175	-175	-175	135	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	1.11*10 <sup>27</sup>	33.283	0.09466400	270
QM10	190	140	164	330	118	87	-175	-175	-175	135	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	1.08*10 <sup>27</sup>	33.551	0.09607148	230
QM11	190	140	164	330	118	87	-175	-175	-175	135	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	1.39*10 <sup>27</sup>	32.729	0.09176625	270
QM12	190	140	164	330	118	87	90-180					3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	1.18*10 <sup>27</sup>	32.790	0.09255265	310



Şekil 4. 10 Mayıs 1997 Qa'emat depremi yüzey kırıkları haritası (üstte) ve sabit rake açısı kullanılarak yapılan ters çözüm denemeleri sonucu tercih edilen kayma dağılım modeli (altta). Kayma dağılımı Tablo 4'de Model QM7'ye karşılık gelmektedir. 10 cm'den büyük kaymalar 40 cm aralıklarla konturlanmıştır. Yüzey kırıkları Berberian vd. (1999)'dan alınmıştır. Yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Siyah kesikli çizgili dikdörtgenler fay modelinin yüzey izdüşümünü ve kuzey, orta ve güney pürüzleri (sırasıyla KP, OP ve GP) çevrelenmiştir.

Figure 4. The map of surface ruptures of the 10 May 1997 Qa'emat earthquake (top) and the slip distribution model preferred for the fixed-rake inversion trials (bottom). The slip distribution corresponds to Model QM7 in Table 4. Slips larger than 10 cm are contoured with 40 cm intervals. The surface rupture has been taken from Berberian et al. (1999). Star represents hypocenter of the earthquake. Black dashed outlined rectangles represent surface projection of the model fault and northern, middle and southern asperities (KP, MP and SP, respectively) are enclosed.

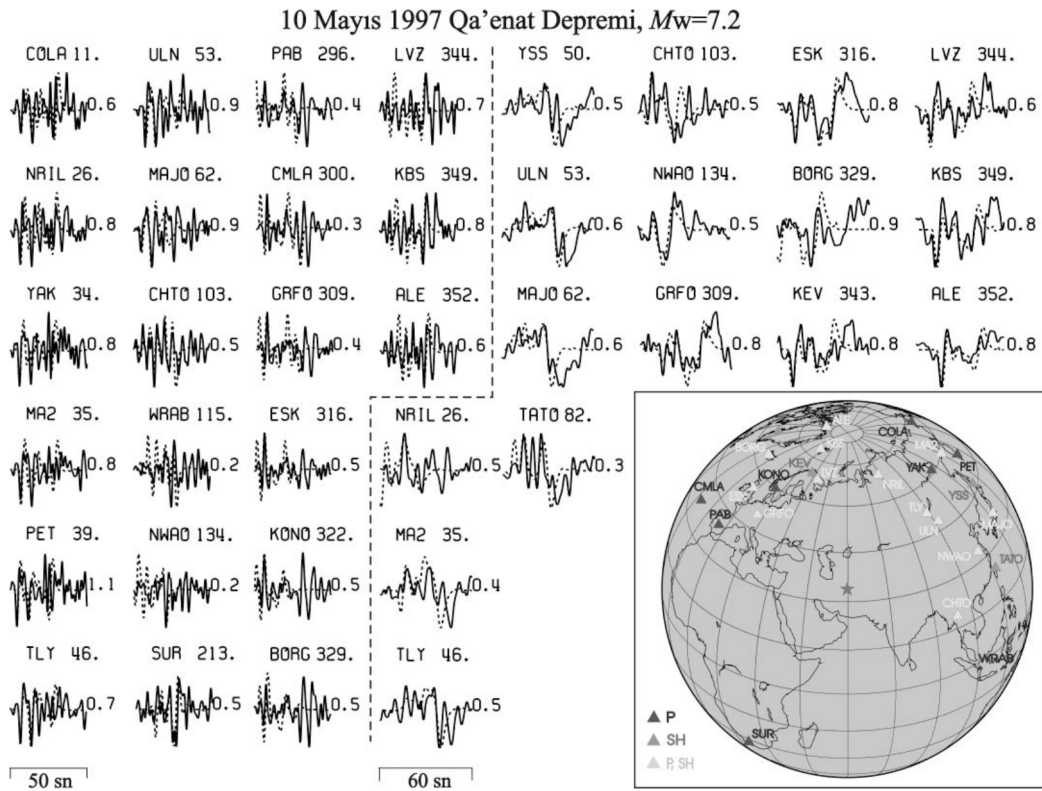
gözlenmiş dalga şekilleri ise Şekil 5'de karşılaştırılmıştır. Elde edilen kayma dağılım modeli incelendiğinde (Şekil 4) depremin üç fay pürüzünün kırılması ile oluştuğu ve en büyük yer değiştirmenin 3.5 m civarında olduğu görülmektedir.

## TARTIŞMA

Üç fay pürüzünden kırılmanın başladığı Kuzey Pürüzü (KP), yüzey kırığının Korizan kasabasının kuzeyi ile Abiz kasabası arasındaki kesiminde yerleşmiş olup maksimum kayması 220 cm'dir. KP yaklaşık 30x15 km<sup>2</sup>'lik bir fay alanında 100 cm ve üzeri kayma değerlerine sahiptir. Maksimum kaymanın 340 cm'yi aştığı Orta Pürüz (OP) ise Ardekul kasabası ile güneydoğuda yüzey kırıklarının GD'ya doğru keskin bir doğrultu değiştirdiği kısım arasında yerleşmiştir. 1997 Qa'emat depreminin en güneyindeki ve en küçük kırılma alanını örten pürüzünü teşkil eden Güney Pürüzü (GP) ise yaklaşık 15x15 km<sup>2</sup>'lik bir kırılma alanına sahiptir.

Sabit rake açısı kullanılarak yapılan ters çözüm denemelerinin ardından rake açısının serbest bırakıldığı

bir ters çözüm denemesi yapılmıştır (Çizelge 4, Model QM12). Yüzey kırığının en güneyinde gözlenen önemli ters faylanmalı kayma (Şekil 2) gözetilerek rake açısı 90°-180° arasında serbest bırakılmıştır. Bu ters çözüm denemesi sonucu elde edilen kayma dağılım modeli ve bu model için hesaplanan sentetik sismogramlarla gözlenmiş sismogramların karşılaştırılması sırasıyla Şekil 6 ve 8'de verilmiştir. Şekil 4 ve 6'daki kayma dağılım modellerinin karşılaştırılmasından görüleceği üzere rake açısının sabit alınması veya 90°-180° arasında serbest bırakılması ile elde edilen kayma dağılımları genel anlamda birbirine benzerlik göstermektedir. Vurgulanabilecek farklar her üç pürüz için de en büyük kayma değerlerinin değişken rake açılı model için daha düşük olması ve GP'nin daha sığda yerleşmesi şeklinde sıralanabilir. Şekil 6 ayrıca kaymanın doğrultu atımlı ve ters atımlı kayma bileşenlerini de göstermektedir. Görüleceği üzere 1997 Qa'emat depremi kırılmasında doğrultu atımlı kayma bileşeni baskındır. Ancak, faylanmanın en güneyindeki 20 km'lik bölümünde ters faylanmalı kaymanın sağ-yanal kaymaya denk genliklere eriştiği de not edilmelidir ki bu sonuç, depremin haritalanan



Şekil 5. Gözlenmiş dalga şekilleriyle (sürekli çizgi) sabit-rake açılı ters çözümlerden 10 Mayıs 1997 Qa'emat depremi için tercih edilen kayma dağılım modelinden hesaplanmış dalga şekillerinin (kesikli çizgi) karşılaştırılması. Sismogram çiftlerinin üstünde istasyon adı ve azimutları ve sağında ise sentetik/gözlenmiş dalga şekli genlik oranları gösterilmiştir. Ters çözümden kullanılan istasyonların azimutal dağılımları sağ alt köşede gösterilmiştir.

Figure 5. The comparison observed waveforms (continuous line) and synthetic waveforms (dashed line) for the preferred slip distribution model resulted from the fixed-rake inversions for the May 10, 1997 Qa'emat earthquake. The station name and azimuths are shown above the pair of seismograms and the synthetic/observed wave amplitude ratios are shown on the right of the seismogram pairs. The azimuthal distributions of the stations used in the inverse solution are shown in the bottom right corner.

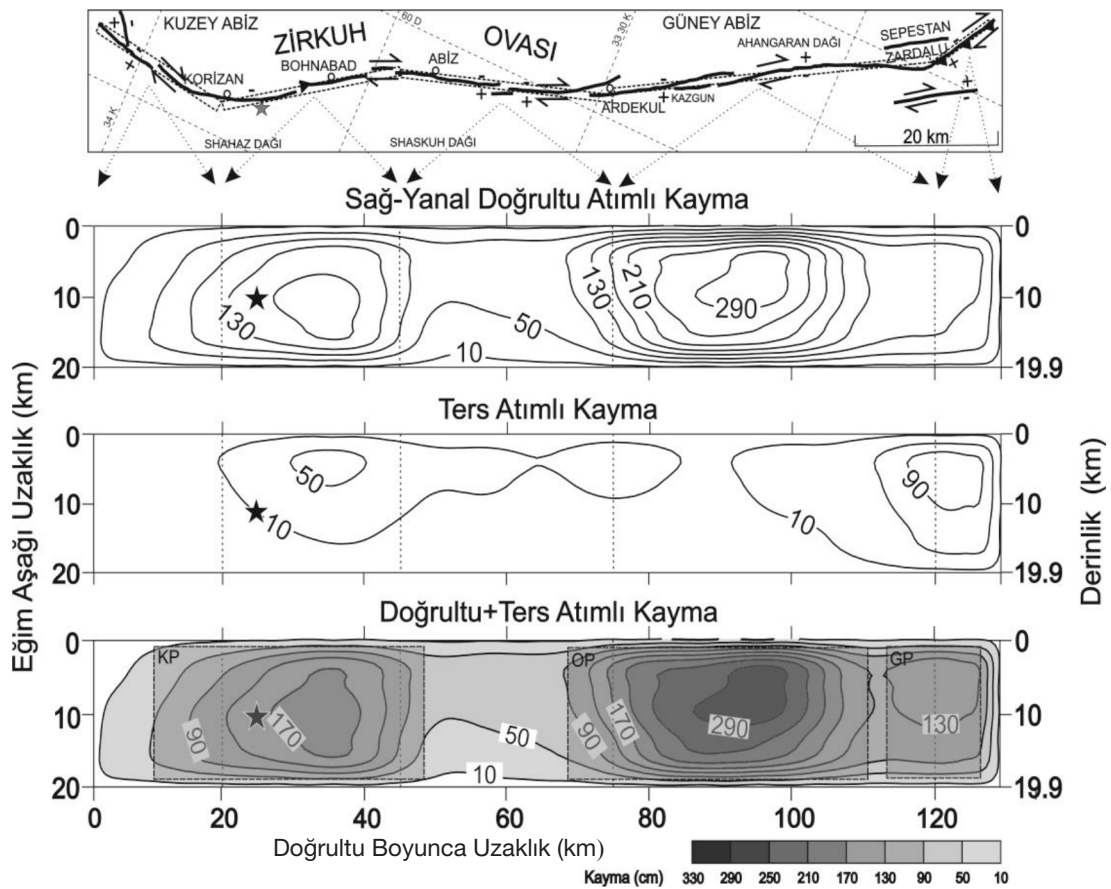
yüzey kırığının bu kesiminde yüzeyde gözlemlenen ters atımlı yer değiştirmelerle de uyumludur.

Şekil 6, KP'nin sığ kesimlerinde de genliği 50 cm'yi aşan ters faylanmalı kaymaya işaret etmektedir. Fayın doğrultusunun KB-GD'dan K-G'e değiştiği bu kesimde (Bohnabad yerleşimi civarı) yüzeyde Berberian vd. (1999) 70 cm'ye yakın ters atımlı yer değiştirme rapor etmiştir. Bu kayma dağılım modeli için elde edilen sismik moment  $1.18 \times 10^{27}$  dyn.cm'dir.

Şekil 4 ve 6'da verilen her iki kayma dağılım modeli de 1997 Qa'emat depremi için genel olarak güneye doğru tek taraflı bir kırılmaya işaret etmektedir. KP'nin yenilmesiyle başlayan kırılma, kayma genliğinin 50 cm civarına düştüğü Abiz ve Ardekul yerleşimleri arasındaki göreceli olarak moment serbestlenmesindeki

düşüşün ardından en büyük pürüz OP'nin ve ardından GP'nin yenilmesiyle devam etmiştir. Bu durum kırılmanın uzay-zaman evriminin gösterildiği Şekil 8'de açıkça gözlemlenmektedir.

Kırılma odakta başlamış, yaklaşık 6 saniye iki yönlü olarak ilermiş (kuzeybatı ve güneydoğuya doğru) ve daha sonra tek yönlü olarak güneydoğuya doğru yayılmasını sürdürmüştür. KP'nin kırılması yaklaşık 8 sn sürmüştür, OP'nin kırılması 18 ile 30 sn arasında gerçekleşmiş ve bunu son 6 sn'de GP'nin yenilmesi izlemiştir. Toplam kırılma 36 saniye de gerçekleşmiştir. OP'nin en büyük kayma bölgesindeki kaymanın 5 sn civarında sürdüğü görülmektedir. Bu da bu deprem için yükselim zamanının 4-5 sn civarında olduğunu önermektedir. Gheitanchi ve Raeesi (2004), 1997



Şekil 6. 10 Mayıs 1997 Qa'emat depremi yüzey kırıkları haritası (üstte) ve değişken rake açısı ( $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$  arasında) kullanılarak yapılan ters çözüm denemeleri sonucu tercih edilen kayma dağılım modeli (altta). Kayma dağılımı Tablo 4'de Model QM12'ye karşılık gelmektedir. 10 cm'den büyük kaymalar 40 cm aralıklarla konturlanmıştır. Yüzey kırıkları Berberian vd. (1999)'dan alınmıştır. Yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Siyah kesikli çizgili dikdörtgenler fay modelinin yüzey izdüşümünü ve kuzey, orta ve güney pürüzleri (sırasıyla KP, OP ve GP) çevrelenmiştir.

Figure 6. The map of surface ruptures of the 10 May 1997 Qa'emat earthquake (top) and the slip distribution model preferred for the variable-rake (between  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ) inversion trials (bottom). The slip distribution corresponds to Model QM12 in Table 4. Slips larger than 10 cm are contoured with 40 cm intervals. The surface rupture has been taken from Berberian et al. (1999). Star represents hypocenter of the earthquake. Black dashed outlined rectangles represent surface projection of the model fault and northern, middle and southern asperities (KP, MP and SP, respectively) are enclosed.

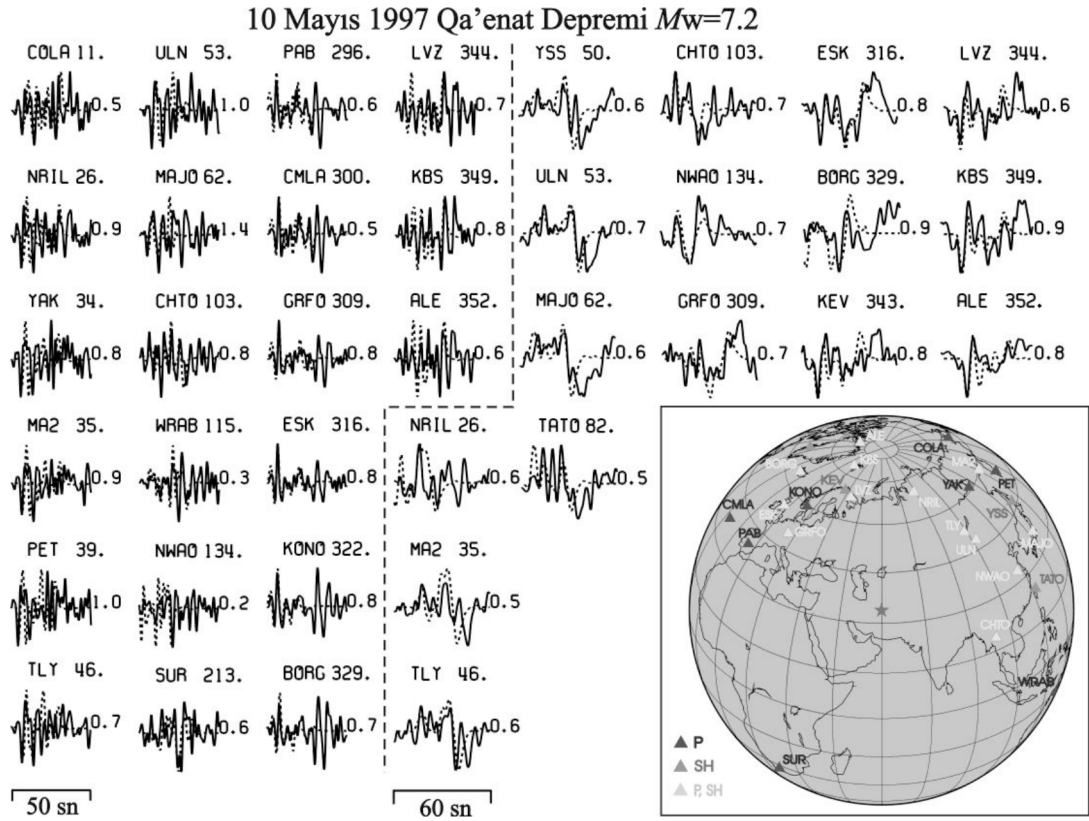
Qa'emat depreminin artçı deprem aktivitesinin analizini yaptığı çalışmada artçı deprem dağılımlarının genel olarak depremin yüzey kırığı boyunca KB-GD yönelimli olduğunu vurgulamıştır. Bu da yukarıda Şekil 8 ile açıklanan kırılmanın kuzeybatıda başlayarak güneydoğuya doğru ilerlediği ifadesini desteklemektedir.

1997 Qa'emat depremi kırılma süreci için literatürde yer alan iki çalışma bulunmaktadır. Bunlardan biri (Berberian vd., 1999) telesmik  $P$  ve  $SH$  cisim dalgası şekillerinin nokta kaynak ters çözümlemesi, diğeri ise InSAR verilerinden bulunan çok segmentli sonlu-

fay kayma dağılım modelidir (Sudhaus ve Jonsson, 2011). Önceki kırılma modelleri bu çalışmada belirlenen sonlu-fay kayma dağılım modelleri ile Şekil 9'da karşılaştırılmıştır. Genel olarak kaynak modelleri arasında bir benzerlik olduğu söylenebilir (Şekil 9).

Berberian vd (1999)'un 4 alt olaylı (Şekil 9'da S1, S2, S3 ve S4) nokta kaynak modelinde nokta kaynakların, kırılan fay uzunluğu üzerindeki uzay-zaman konumları bu çalışmada belirlenen pürüz lokasyonları ile uyumludur. Şekil 9'da görüleceği üzere KP, OP ve GP sırasıyla S1, S3 ve S4 alt olayları ile uzay-zaman konumları ve faylanma tipleri açısından benzerlik





Şekil 7. Gözlenmiş dalga şekilleriyle (sürekli çizgi) değişken-rake açılı ters çözümlerden 10 Mayıs 1997 Qa'emat depremi için tercih edilen kayma dağılım modelinden hesaplanmış dalga şekillerinin (kesikli çizgi) karşılaştırılması. Sismogram çiftlerinin üstünde istasyon adı ve azimutları ve sağında ise sentetik/gözlenmiş dalga şekli genlik oranları gösterilmiştir. Ters çözümde kullanılan istasyonların azimutal dağılımları sağ alt köşede gösterilmiştir.

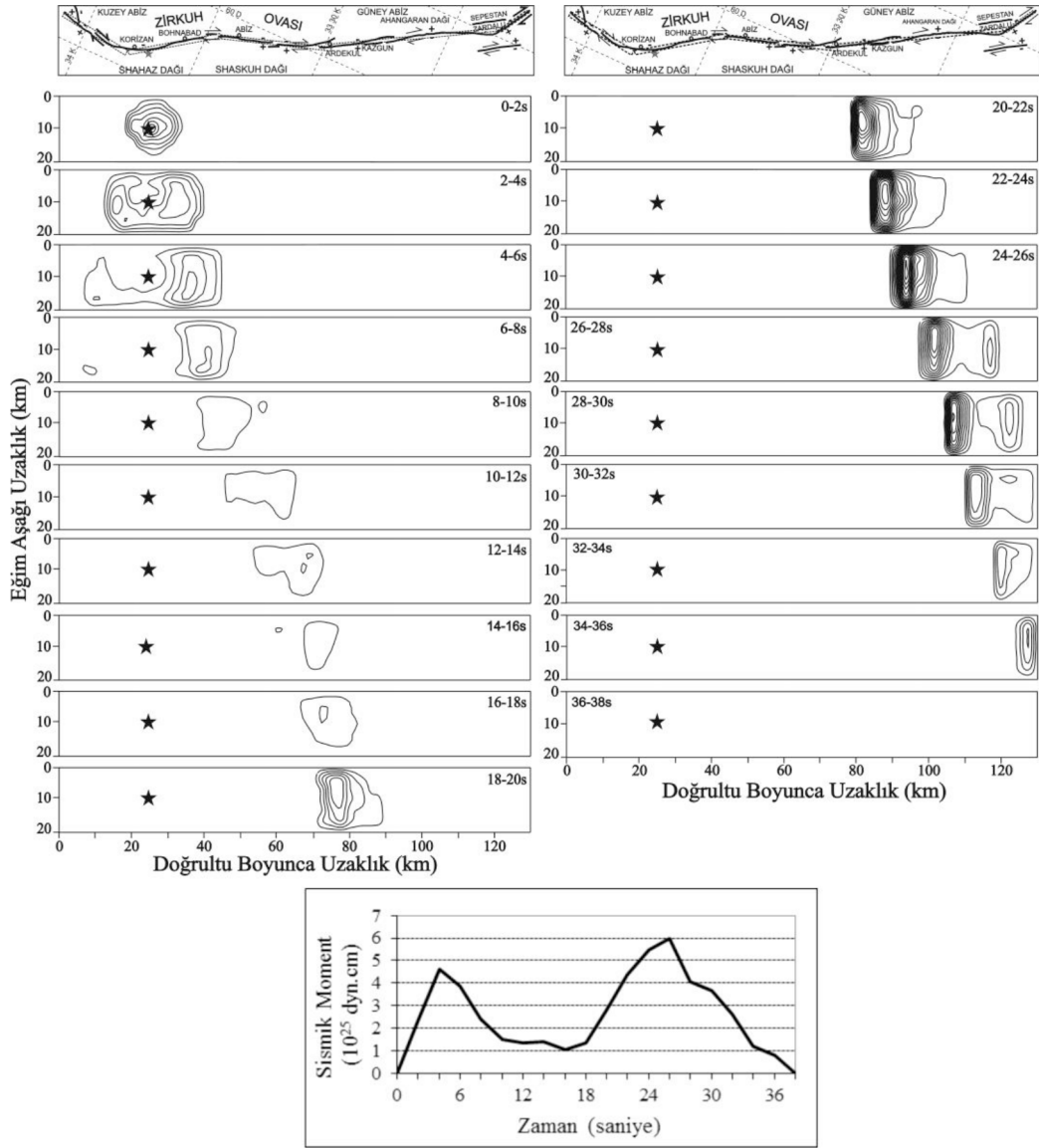
Figure 7. The comparison observed waveforms (continuous line) and synthetic waveforms (dashed line) for the preferred slip distribution model resulted from the variable-rake inversions for the May 10, 1997 Qa'emat earthquake. The station name and azimuths are shown above the pair of seismograms and the synthetic/observed wave amplitude ratios are shown on the right of the seismogram pairs. The azimuthal distributions of the stations used in the inverse solution are shown in the bottom right corner.

göstermektedir. S2 alt olayının olduğu bölgede çalışmada bulunan gerek sabit ve gerekse değişken rake açılı kayma modelleri göreceli olarak düşük kayma (0.5-1 metre arası) önermektedir. S2'nin S1 ve S3'e göre daha küçük (S1'den yaklaşık 3 kat S3'den yaklaşık 5 kat daha küçük) olması da bir benzerlik olarak ifade edilebilir. Ancak S2 sağ-yanal doğrultu atımlı faylanma bileşeni olsa da ters faylanma ağırlıklı bir kaynaktır. Bu çalışmada bulunan değişken rake açılı model bu kaynağın bulunduğu fay alanında ters faylanma bileşenine işaret etse de ağırlıklı olarak sağ-yanal faylanma ifade etmektedir (Şekil 9).

Çalışmada bulunan kayma modelleri ile Sudhaus ve Jonsson (2011)'in InSAR verilerinden bulunduğu sonlu-fay kayma modeli karşılaştırıldığında uyum yukarıda

söz edilen nokta kaynak modellemesi sonuçlarına göre daha az olmasına rağmen önemli benzerlikler de ifade edilebilir (Şekil 9). InSAR modelindeki Korizan kasabası ve odak güneyinde yer alan 3 metre üzeri kayma ve Ardekul kasabası güneyindeki genel olarak 3 metreden daha az kaymaya sahip pürüzler KP ve OP'nin konumları ile benzerdir. Ancak bu çalışmadaki modeller OP'nin hem kırılma alanı hem de kayma genliği açısından daha büyük bir pürüz olduğunu önermektedir. GP'nin bulunduğu bölgede InSAR modelinin de ters faylanma ağırlıklı bir faylanma önermesi diğer önemli bir benzerlik olarak ifade edilebilir. En önemli fark Ardekul kasabası kuzeyinde KP ile OP arasındaki kayma boşluğunda yerleşmiş ve kayma genliği yer yer 3 metreyi aşan önemli bir





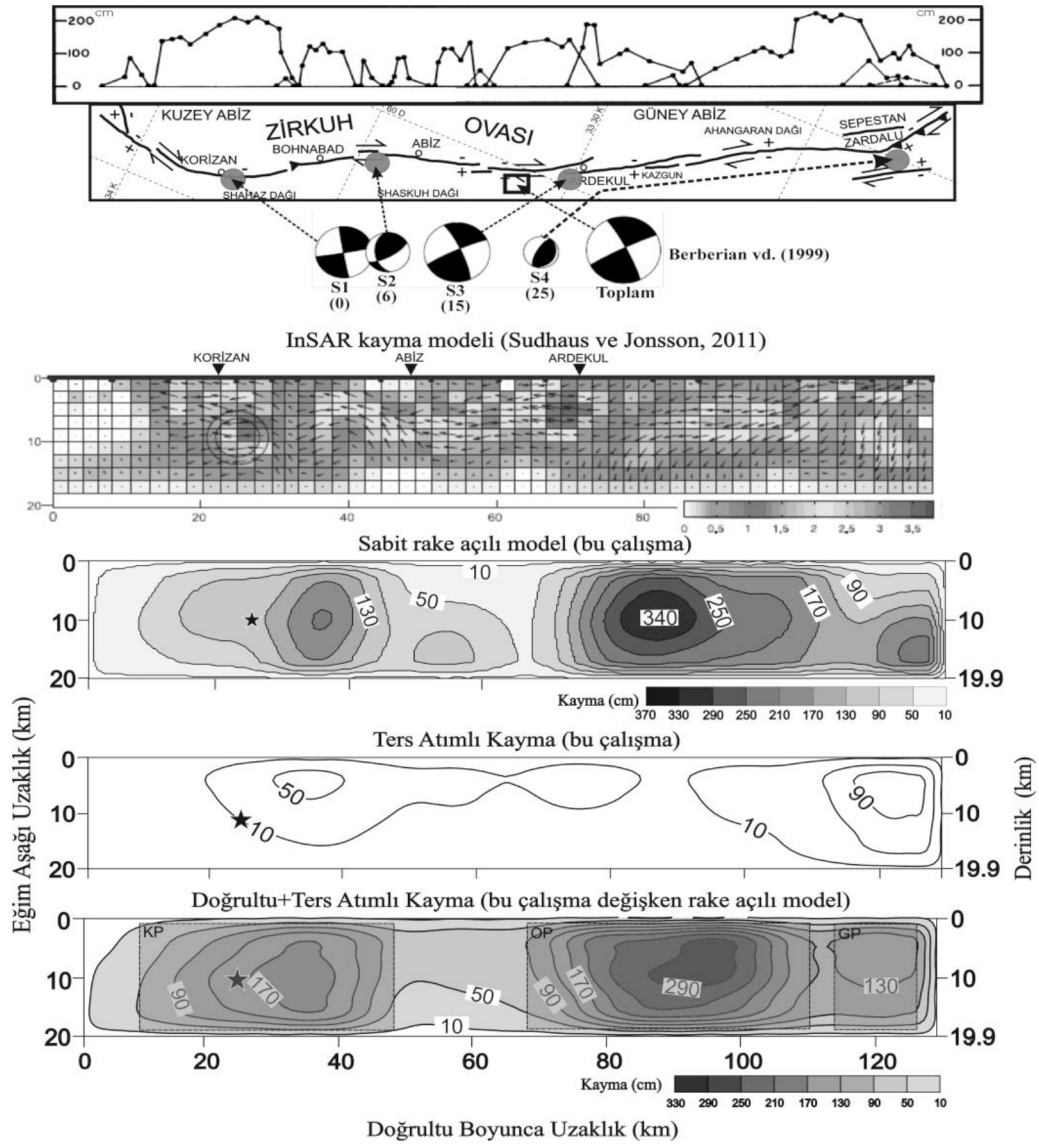
Şekil 8. 10 Mayıs 1997 Qa'emat depremi kırılmasının 2 saniye zaman aralıkları ile hesaplanan uzay-zaman evrimi (üst-te) ve sismik moment serbestlenmesini tanımlayan kaynak-zaman fonksiyon (altta). 10 cm'nin üzerindeki kaymalar 10 cm aralıklarla konturlanmıştır. Yıldız depremin odağını göstermektedir.

Figure 8. The space-time evolution of the May 10, 1997 Qa'emat earthquake calculated for 2 seconds time intervals (top) and source-time function defining the seismic moment release. The slips over the 10 cm are contoured with 10 cm intervals. The star shows hypocenter of the earthquake.

pürüzün InSAR modelinde görülmesidir. Bu pürüzün güney bölümü OP'nin kuzey kenarıyla kayma genliği olarak olmasa da konum olarak örtüşmektedir (Şekil 9).

InSAR ile yapılan çalışmada bulunan kayma modelleri arasındaki farkların çeşitli nedenleri olduğu tartışılabilir. En önemli nedenin kullanılan verilerin kayma yükselim zamanına olan duyarlılıklarının farklı olması

olduğu düşünülmüştür. Çalışmada deprem dalga şekilleri kullanıldığından bulunan modeller kosmik kayma dağılımlarıdır (kayma yükselim zamanı genel olarak <10sn). Sudhaus ve Jonsson (2011)'in kullandığı InSAR verisi 1997 Qa'emat depremi sonrası 1-2 yıllık bir zaman aralığını kapsamaktadır. Dolayısıyla InSAR kayma dağılımı sadece kosmik değil post-sismik kaymayı (kayma yükselim zamanı aylar mertebesinde) ve artçı deprem aktivitesine ait kaymaları



Şekil 9. 10 Mayıs 1997 Qa'emat depremi yüzey kırığı boyunca ölçülen yer değiştirme miktarları (en üst çerçeve), yüzey kırığı uzanımı (üstten ikinci çerçeve), Berberian vd. (1999)'un belirlediği telesismik kırılma sürecindeki nokta kaynakların (S1, S2, S3 ve S4 etiketli siyah daireler) konumları ve kaynak mekanizmaları (siyah-beyaz plaj topları), Sudhaus ve Jonsson (2011)'in InSAR kayma dağılım modeli (üstten üçüncü çerçeve) ve bu çalışmada bulunan sonlu-fay kayma dağılımları (son üç çerçeve). Nokta kaynaklarının altında parantez içindeki rakamlar, nokta kaynakların kırılma başlangıcından kaç saniye sonra kırıldıklarını temsil etmektedir. InSAR kayma modelindeki büyük daire ve çalışmada bulunan kayma modellerindeki siyah yıldızlar depremin odağını göstermektedir. Kesikli dikdörtgenlerle çevrili gri alanlar pürüzleri temsil etmektedir.

Figure 9. The slip distribution along the May 10, 1997 Qa'emat earthquake's surface rupture (top frame), surface rupture extend (second frame from the top), the location of point sources (solid circles labeled as S1, S2, S3 and S4) and the source mechanisms (black and white beach balls) from the teleseismic rupture process of Berberian et al. (1999), InSAR slip distribution model of Sudhaus and Jonsson (2011) (third frame from the top) and the finite fault slip distribution models from the present study (the last three frames). The numbers in parentheses below the point sources represent their rupture time after the rupture initiation. The large circle in the InSAR slip model and the black stars in the slip models show the hypocenter. The dashed grey areas enclosed with rectangles represent the asperities.

da içermektedir. Nitekim Sudhaus ve Jonsson (2011), modellerinin ters faylanmalı 16 Haziran 1997 ve doğrultu atım faylanmalı 25 Haziran 1997 artçı depremlerinin kaymalarını da içerdiğini kendileri ifade etmiştir. Bu açıdan KP ve OP arasında yerleşmiş ve OP'nin kuzey kenarında kaymasının azaldığı bölge ile örtüşen InSAR kayma modelindeki pürüzün kaymasının daha çok postsismik kayma olabileceği tartışılabilir.

Çalışmada bulunan kayma modelleri ile InSAR kayma modeli arasında ayrıntıda ifade edilebilecek farkların kullanılan verinin çözünürlüğü ve model parametrisasyonu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Sudhaus ve Jonsson (2011) 17 segmentli bir fay modeli kullanmış ve bu fay segmentleri bir kenarı 2.25 km olan onlarca kare şeklinde fay parçasına bölünmüştür. Bu çalışmada kullanılan veri bu şekilde bir model parametrisasyonu için yeterli çözünürlüğe sahip değildir. Bu nedenle InSAR kayma modeli oldukça ayrıntılı iken çalışmada bulunan kayma modelleri kaynağın göreceli olarak daha genel bir görüntüsünü vermektedir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, 10 Mayıs 1997 Qa'emat ( $M_w=7.2$ ) depreminin sonlu-fay kırılma özellikleri telesismik genişbant  $P$  ve  $SH$  dalga şekillerinin ters çözümünden belirlenmiş ve ters çözüm sonuçları Çizelge 4'de özetlenmiştir. Doğu İran'da Abiz fayı üzerinde meydana gelen ve çok segmentli bir yüzey kırığı üreten 1997 Qa'emat depremi kırılmasının üç fay pürüzünün yenilmesi ile kontrol edildiği ve toplamda kırılmanın 36 sn sürerek yaklaşık  $1.26 \times 10^{27}$  dyn.cm'lik bir sismik momenti serbestlediği görülmüştür. Kırılmanın başladığı Kuzey Pürüzü (KP), yüzey kırığının Korizan kasabasının kuzeyi ile Abiz kasabası arasında yerleşmiş olup maksimum kayması 220 cm'dir. KP yaklaşık  $30 \times 15$  km<sup>2</sup>'lik bir fay alanında 100 cm ve üzeri kayma değerlerine sahiptir. Maksimum kaymanın 340 cm'yi aştığı Orta Pürüz (OP) ise Ardekul kasabası ile güneydoğuda yüzey kırıklarının güneydoğuya doğru keskin bir doğrultu değiştirdiği kısım arasında yerleşmiştir. 1997 Qa'emat depreminin en güneyinde ki ve en küçük kırılma alanını örten pürüzünü teşkil eden Güney Pürüzü (GP) ise yaklaşık  $15 \times 15$  km<sup>2</sup>'lik bir kırılma alanına sahiptir. Rake açısının  $90^\circ$ - $180^\circ$  aralığında değişimine izin verildiği ters çözümde kayma genliklerinde küçük farklılıklar ve daha sığ güney pürüzü hariç benzer bir kayma dağılım modeli elde edilmiştir. Değişken rake açılı ters çözüm, depremin

baskın olarak sağ yanal kayma nedeniyle olduğunu ve arazide gözlemlendiği gibi güney pürüzde önemli bir ters kayma bileşenine sahip olduğunu göstermiştir. Değişken rake açılı ters çözüm için sismik moment  $1.18 \times 10^{27}$  dyn.cm olarak hesaplanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Ambraseys, N.N. and Melville, C.P., 1982. A History of Persian Earthquakes. Cambridge University Press, New York.
- Berberian, M., 1981. Active faulting and tectonics of Iran, in Zagros, Hindu Kush, Himalaya: Geodynamic Evolution, Geodyn. Ser., vol. 3, edited by H. K. Gupta and F.M. Delany, pp. 33-69, AGU, Washington, D.C., doi: 10.1029/GD003p0033.
- Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., Khatib, M.M., Priestley, K., Talebian, M. and Ghafuri-Ashtiani, M., 1999. The 1997 May 10 Zirkuh (Qa'emat) earthquake ( $M_w$  7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran. Geophys. J. Int., 136, 671-694.
- Engdahl, E.R., Jackson, J.A., Myers, S.C., Bergman, E.A. and Priestley, K., 2006. Relocation and assessment of seismicity in the Iran region. Geophys. J. Int., 167 (2), 761-778, doi:10.1111/j.1365-246X.2006.03127.x,
- Gheitanchi M. R. and Raeesi, M., 2004. Analysis of the 1997 Zirkuh (Ghaen-Birjand) aftershock sequence in east-central Iran. Acta Seismologica Sinica, 17 (1): 38-46.
- Grunthal, G., Bosse, C., Sellami, S., Mayer-Rosa, D. and Giardini, D., 1999. Compilation of the GSHAP regional seismic hazard for Europe, Africa and the Middle East. Annali di Geofisica, Vol. 42, No. 6, 1215-1223.
- Hartzell, S. H. and Heaton, T. H., 1983. Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake. Bull. Seism. Soc. Am. 73, No. 6, 1553-1583.
- Hessami, K. and Jamali, F., 2006. Explanatory Notes to the Map of Major Active Faults of Iran. JSEE: Spring 2006, Vol. 8, No. 1.
- Ikeda, Y., Imaizumi, T., Sato, H., Hessami, K. and Khatib, M.M., 1999. Surface faults associated with the Qayen, northeast Iran, earthquake.

- ake of May 10, 1997. *Active Fault Res.*, 18, 1–13.
- Jackson, J. and McKenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 77, 185-264.
- Necioğlu, A., 1999. Determination of crustal and upper mantle structure between Iran and Turkey from the dispersion of Rayleigh waves. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, Vol. 2, No 4, pp. 139-150.
- Sella, G.F., Dixon, T.H. and Mao, A., 2002. REVEL: A model for Recent plate velocities from space geodesy. *J. Geophys. Res.*, Vol. 107, No. B4, 2081, doi:10.1029/2000JB000033.
- Sudhaus, H. and Jonsson, S., 2011. Source model for the 1997 Zirkuh earthquake (MW=7.2) in Iran derived from JERS and ERS InSAR observations. *Geophys. J. Int.*, 185, 676–692, doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.04973.x.
- Talebian, M. and Jackson, J., 2002. Offset on the Main Recent fault of NW Iran and implications for the late Cenozoic tectonics of the Arabia- Eurasia collision zone. *Geophys. J. Int.*, 150, 422–439.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chery, J., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophys. J. Int.*, 157, 381-398, doi:10.1111/j.1365-246X.2004.02222.
- Walker, R.T. and Khatib, M.M., 2006. Active faulting in the Birjand region of NE Iran. *Tectonics*, Vol. 25, TC4016, doi:10.1029/2005TC001871.
- Walker, R.T., Bergman, E.A., Szeliga, W. and Fiel-ding, E.J., 2011. Insights into the 1968–1997 Dasht-e-Bayaz and Zirkuh earthquake sequences, eastern Iran, from calibrated relocations, InSAR and high-resolution satellite imagery. *Geophys. J. Int.*, doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05213.x.





## İskenderun Körfezi ve Samandağ (Adana-Hatay) kıyılarında gözlenen yabancı bentik foraminiferler

### *Alien Benthic Foraminifers Observed on the Coasts of Gulf of İskenderun and Samandağ (Adana-Hatay)*

ENGİN MERİÇ<sup>1</sup>, NİYAZİ AVŞAR<sup>2</sup>, M. BAKİ YOKEŞ<sup>3\*</sup>, FEYZA DİNÇER<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Moda Hüseyin Bey Sokak No: 15/4, 34710 Kadıköy, İstanbul

<sup>2</sup> Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 01330 Balcalı-Adana

<sup>3</sup> AMBRD Doğa Bilimleri, Hanımefendi Sokak No:160/6, 34384 Şişli İstanbul

<sup>4</sup> Nevşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 50300 Nevşehir

Geliş (received) : 17 Ağustos (August) 2018

Kabul (accepted) : 23 Kasım (November) 2018

#### ÖZ

Bu çalışma Avrupa Topluluğu'nca desteklenen, İtalyan, Türk ve İsraili araştırmacılar tarafından İskenderun ve Hayfa körfezlerinde yürütülen "Benthic foraminifera as indicators of heavy metal pollution - A new kind of biological monitoring for the Mediterranean Sea. AVICT 92-0007" no'lu proje ile ilgili araştırmada rastlanılan yabancı foraminiferlerin bu alandaki varlığı esas alınarak hazırlanmıştır. Bunu izleyen yıllarda İskenderun Körfezi yakınlarında ve Türkiye'nin diğer kıyılarında gerçekleştirilen araştırmalarda pek çok Atlantik ve Pasifik okyanusları ile Kızıldeniz kökenli bentik foraminiferlere rastlanılmıştır.

İskenderun Körfezi çevresinde, özellikle güney doğusunda daha zengin olmak üzere *Nodophthalmidium antillarum* Cushman, *Edentostomina cultrata* (Brady), *Spiroloculina cf. angulata* Cushman, *S. antillarum* d'Orbigny, *Hauerina diversa* Cushman, *Pseudomassilina reticulata* (Heron-Allen ve Earland), *Articulina alticostata* Cushman, *Peneroplis pertusus* (Forskal), *P. planatus* (Fichtel ve Moll), *Sorites orbiculus* Ehrenberg, *Pyramidulina catesbyi* (d'Orbigny), *Bulimina biserialis* Millett, *Entosigmomorphina* sp., *Amphistegina lobifera* Larsen, *Pararotalia calcariformata* McCulloch, *Elphidium striatopunctatum* (Fichtel ve Moll), *Heterostegina depressa* d'Orbigny gibi yabancı bentik foraminiferlere rastlanılmıştır.

Daha güneyde, Samandağ kıyı alanında ise *Spiroloculina antillarum* d'Orbigny, *Hauerina diversa* Cushman, *Peneroplis arietinus* (Batsch), *P. pertusus* (Forskal), *P. planatus* (Fichtel ve Moll), *Sorites orbiculus* Ehrenberg, *Siphonina tubulosa* Cushman, *Cymbaloporetta plana* (Cushman), *Amphistegina lessonii* (d'Orbigny), *A. lobifera* Larsen, *Hansenisca soldanii* (d'Orbigny), *Pararotalia calcariformata* McCulloch, *Heterostegina depressa* d'Orbigny olarak adlandırılan yabancı bentik foraminiferler bulunmuştur.

Bu iki bölgede rastlanılan yabancı foraminiferler bazı noktalarda aşırı derecede çoğalmış olması ilginç bir durum oluşturmaktadır. Özellikle *Amphistegina lobifera* Larsen ile *Pararotalia calcariformata* McCulloch'nın kayalar üzerinde gözlenen yoğun popülasyonları dikkate değerdir. *Amphistegina lobifera* Larsen'nin Doğu Akdeniz kıyılarındaki varlığı uzun zamandan beri bilinmektedir. Buna karşın *Pararotalia calcariformata* McCulloch yakın bir zamanda Samandağ kıyılarında gözlenmiştir. *Amphistegina lobifera* Larsen'e Kızıldeniz'de bol miktarda rastlanmasına karşın *Pararotalia calcariformata* McCulloch henüz gözlenmemiştir. Yabancı türler bölgenin ekolojik koşullarına iyi uyum sağlamışlardır. Diğer yandan, aşırı bol popülasyonların varlığı, bazı özel çevre koşullarının lokal olarak bulduklarına işaret etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İskenderun Körfezi, Samandağ kıyıları, yabancı bentik foraminiferler.

#### ABSTRACT

This study is based on the alien foraminifers observed during the project "Benthic foraminifera as indicators of heavy metal pollution - A new kind of biological monitoring for the Mediterranean Sea. AVICT 92-0007", which was supported by the European Union and performed by the Italian, Turkish and Israeli researchers in the Gulf of İskenderun and Hayfa Bay. In the following years, numerous Atlantic, Pacific and Red Sea originated benthic foraminifer species were recorded during the studies conducted around the Gulf of İskenderun and along the other coasts of Turkey.

\* M. B. Yokeş

e-posta: bakiyokes@gmail.com

*In the Gulf of İskenderun, south coasts were found to have a more diverse foraminiferal fauna, including alien species such as Nodopthalmidium antillarum Cushman, Edentostomina cultrata (Brady), Spiroloculina cf. angulata Cushman, S. antillarum d'Orbigny, Hauerina diversa Cushman, Pseudomassilina reticulata (Heron-Allen and Earland), Articulina alticostata Cushman, Peneroplis pertusus (Forskal), P. planatus (Fichtel and Moll), Sorites orbiculus Ehrenberg, Pyramidulina catesbyi (d'Orbigny), Bulimina biserialis Millett, Entosigmomorphina sp., Amphistegina lobifera Larsen, Pararotalia calcariformata McCulloch, Elphidium striatopunctatum (Fichtel and Moll) and Heterostegina depressa d'Orbigny.*

*In the Samandağ coastal region, south to the Gulf of İskenderun, alien benthic foraminifers such as Spiroloculina antillarum d'Orbigny, Hauerina diversa Cushman, Peneroplis arietinus (Batsch), P. pertusus (Forskal), P. planatus (Fichtel and Moll), Sorites orbiculus Ehrenberg, Siphonina tubulosa Cushman, Cymbaloporetta plana (Cushman), Amphistegina lessonii (d'Orbigny), A. lobifera Larsen, Hansenisca soldanii (d'Orbigny), Pararotalia calcariformata McCulloch, Heterostegina depressa d'Orbigny were found. It is interesting that the alien foraminifers recorded in these two regions show extreme abundance in certain locations. Especially, the dense populations of Amphistegina lobifera Larsen and Pararotalia calcariformata McCulloch observed on the rocky substrate is worth attention. Amphistegina lobifera Larsen has been known to be present in the Eastern Mediterranean for a long time. However, Pararotalia calcariformata McCulloch has been recently recorded on the Samandağ coasts. Amphistegina lobifera Larsen is abundant in the Red Sea, but Pararotalia calcariformata McCulloch is not observed there yet. The alien species are well adapted to the ecological conditions of the region. On the other hand, extremely abundant populations indicate some special environmental conditions locally present.*

**Keywords:** Gulf of İskenderun, Samandağ coasts, alien benthic foraminifers.

## GİRİŞ

İskenderun Körfezi ile Samandağ kıyı alanlarında yapılan çalışmalarda zengin bir bentik foraminifer topluluğunun varlığı ortaya konulmuştur (Oflaz, 2012; Meriç vd., 2016a). Burada dikkati çeken durum topluluk içinde oldukça zengin denilebilecek çeşitlilikte Pasifik ve Hint okyanusları ile Kızıldeniz kökenli çeşitli bentik foraminiferlere rastlanılmış olmasıdır.

Türkiye kıyılarında yapılan çalışmalarda yabancı/göçmen foraminiferlerle ilgili son yıllarda bir çok çalışma bulunmaktadır (Meriç vd., 2008; Meriç vd., 2011; Meriç vd., 2012c; Meriç vd., 2013).

Bu çalışmada amaç, İskenderun Körfezi ile Samandağ kıyı alanlarında bulunan yabancı bentik foraminiferleri tanıtmak, Türkiye'nin diğer kıyılarında bulunan yabancı bentik foraminifer toplulukları ile karşılaştırma yapmak ve bölgeye yerleşme nedenleri hakkında yaklaşımda bulunmaktır.

## YABANCI/GÖÇMEN FORAMİNİFER BULGULARI

İskenderun Körfezi çevresinde, *Nodopthalmidium antillarum* Cushman, *Edentostomina cultrata* (Brady), *Spiroloculina cf. angulata* Cushman, *S. antillarum* d'Orbigny, *Hauerina diversa* Cushman, *Pseudomassilina reticulata* (Heron-Allen ve Earland), *Articulina alticostata* Cushman, *Peneroplis pertusus* (Forskal), *P. planatus* (Fichtel ve Moll), *Sorites orbiculus*

*Ehrenberg. Pyramidulina catesbyi* (d'Orbigny), *Bulimina biserialis* Millett, *Entosigmomorphina sp.*, *Amphistegina lobifera* Larsen, *Pararotalia calcariformata* McCulloch, *Elphidium striatopunctatum* (Fichtel ve Moll), *Heterostegina depressa* d'Orbigny gibi yabancı foraminiferlere rastlanılmıştır. Bu topluluk özellikle İskenderun Körfezi'nin güneydoğusunda daha zengin olarak tespit edilmiştir (Şekil 1).

Samandağ kıyı alanında ise *Spiroloculina antillarum* d'Orbigny, *Hauerina diversa* Cushman, *Peneroplis arietinus* (Batsch), *P. pertusus* (Forskal), *P. planatus* (Fichtel ve Moll), *Sorites orbiculus* Ehrenberg, *Siphonina tubulosa* Cushman, *Cymbaloporetta plana* (Cushman), *Amphistegina lessonii* (d'Orbigny), *A. lobifera* Larsen, *Hansenisca soldanii* (d'Orbigny), *Pararotalia calcariformata* McCulloch, *Heterostegina depressa* d'Orbigny olarak adlandırılan yabancı bentik foraminiferler bulunmuştur (Şekil 2) (Avşar vd., 2001; Meriç vd., 2008, 2014; Oföz, 2012).

Bu iki bölgede rastlanılan yabancı foraminiferlerin bazı noktalarda aşırı derecede çoğalmış olması ortaya ilginç bir durum çıkarmaktadır. İskenderun Körfezi güneyi ve Samandağ kıyı alanlarında kayalar üzerinde bulunan ve aşırı bollukta gözlenen *Amphistegina lobifera* Larsen ile *Pararotalia calcariformata* McCulloch'nın bu alanlardaki varlığı dikkat çekicidir. *Amphistegina lobifera* Larsen'in Doğu Akdeniz kıyılarındaki varlığı uzun zamandan beri bilinmektedir (Meriç vd., 2008). Buna karşın *Pararotalia calcariformata* McCulloch yakın bir zamanda Samandağ





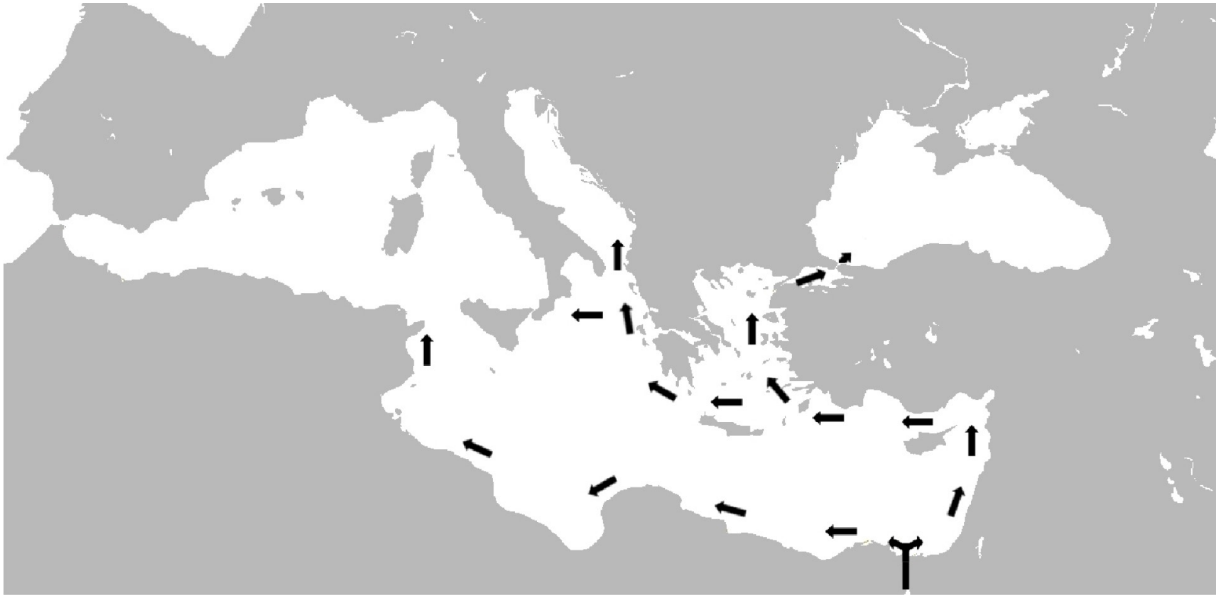
Şekil 2. Samandağ kıyılarında kaydedilen yabancı foraminifer türleri. ◆ *S. antillarum* d'Orbigny, ⊙ *Hauerina diversa* Cushman, + *Peneroplis arietinus* (Batsch), □ *P. pertusus* (Forskal), □ *P. planatus* (Fichtel ve Moll) ● *Sorites orbiculus* Ehrenberg, ✕ *Siphonina tubulosa* Cushman, ⊗ *Cymbaloporeta plana* (Cushman), ◀ *Amphistegina lessonii* (d'Orbigny), ● *Amphistegina lobifera* Larsen, ⊠ *Hansenisca soldanii* (d'Orbigny), ● *Pararotalia calcariformata* McCulloch ve *Heterostegina depressa* d'Orbigny (Meriç vd., 2016a'dan değiştirilerek alınmıştır).

Figure 2. Alien foraminifers recorded on the coasts of Samandağ. ◆ *S. antillarum* d'Orbigny, ⊙ *Hauerina diversa* Cushman, + *Peneroplis arietinus* (Batsch), □ *P. pertusus* (Forskal), □ *P. planatus* (Fichtel and Moll) ● *Sorites orbiculus* Ehrenberg, ✕ *Siphonina tubulosa* Cushman, ⊗ *Cymbaloporeta plana* (Cushman), ◀ *Amphistegina lessonii* (d'Orbigny), ● *Amphistegina lobifera* Larsen, ⊠ *Hansenisca soldanii* (d'Orbigny), ● *Pararotalia calcariformata* McCulloch and *Heterostegina depressa* d'Orbigny (Modified from Meriç et al., 2016a).

kuzeydoğu Mısır, Filistin, İsrail, Lübnan ve Suriye kıyılarını takiben İskenderun Körfezi'ne ve batıya doğru yönelenerek Doğu Akdeniz'in çeşitli noktalarına ulaşırlar (Şekil 3) (Meriç vd., 2015).

Bu çalışmada değerlendirilen verilerin dışında Silifke güneybatısında Akkuyu çevresinde yapılan bir çalışmada, Çamalanı mevki kara alanında elde edilen çok sayıda *Amphistegina lobifera* Larsen bireylerinin gözlenmiş olduğu seviye  $227.3 \pm 17.8$  ka, Orta Pleyistosen olarak belirlenmiştir (Meriç vd., 2016b). Bu durumda adı geçen foraminiferin 1869 yılında açılmış

olan Süveyş Kanalı'ndan çok önce Basra Körfezi-Mezopotamya Havzası yolu ile Akdeniz'e ulaşmış olduğunu anlaşılmıştır. Yine Süveyş Kanalı açıldıktan sonra Akdeniz'e gelmiş olduğu düşünülen *Spiroloculina antillarum* d'Orbigny, *Articulina carinata* Wiesner, *Coscinospira hemprichii* Ehrenberg, *Peneroplis pertusus* (Forskal), *P. planatus* (Fichtel ve Moll), *Sorites orbiculus* Ehrenberg, *Astacolus insolitihes* (Schwager), *Siphonina tubulosa* Cushman, *Amphistegina lessonii* d'Orbigny gibi yabancı bentik foraminiferlerin Geç Pleyistosen'de Akdeniz'e ulaşmış oldukları



Şekil 3. Kızıldeniz kökenli yabancı bentik foraminiferlerin Doğu Akdeniz'deki dağılım yolları (Meriç vd., 2015).  
Figure 3. Dispersion pathways of Red Sea originated alien benthic foraminifers in the Eastern Mediterranean (Meriç et al., 2015).

ortaya çıkmaktadır. Fakat yakın zamanda günümüzde Akdeniz'de yaşamakta olan *Amphistegina lobifera* Larsen bireyleri ile Kızıldeniz'de yaşamakta olan bireylerin DNA incelemeleri sonucunda günümüzde Akdeniz'de yaşayanların Kızıldeniz kökenli olduğu ortaya konulmuştur (Schmidt vd., 2016).

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

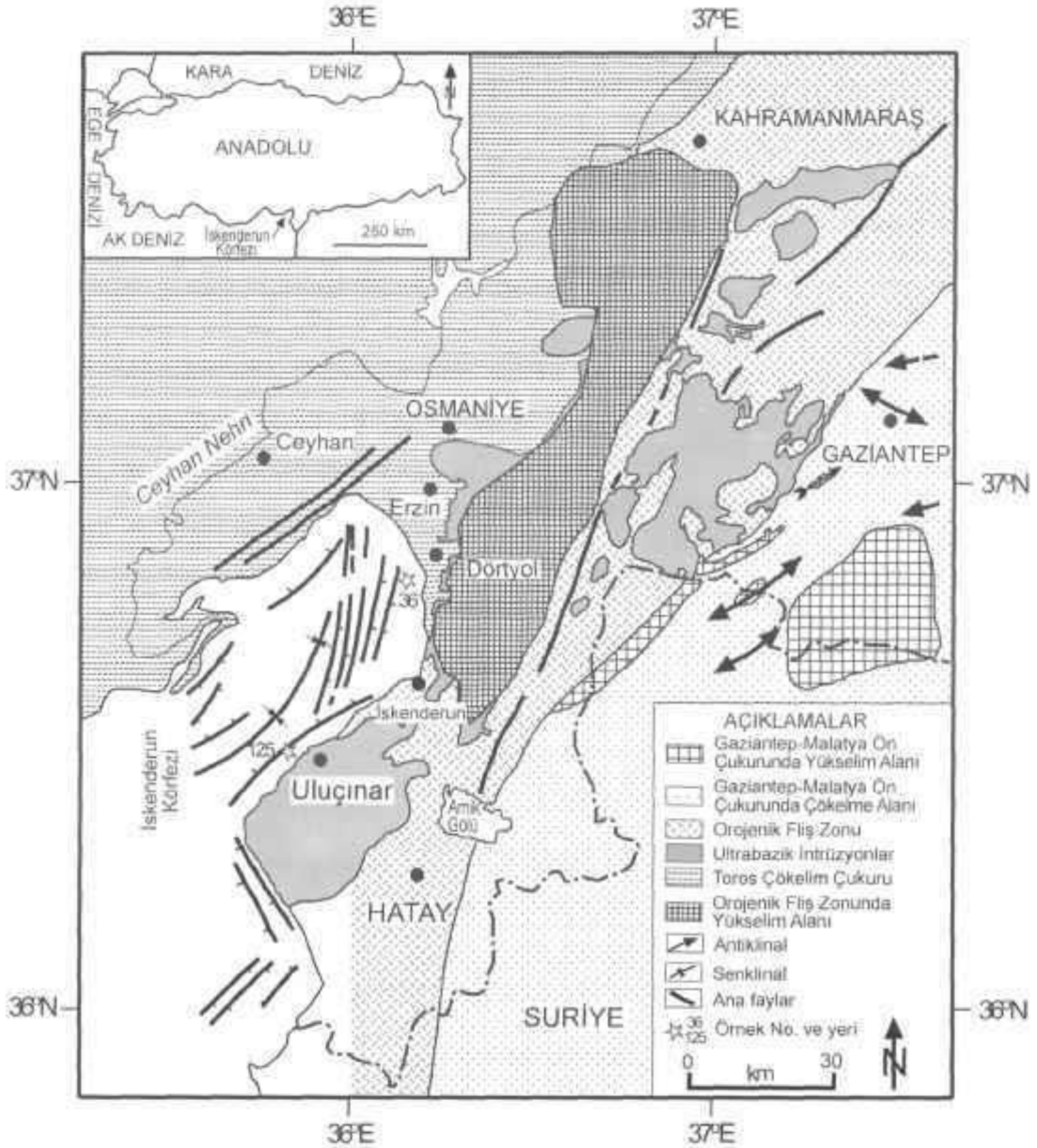
İskenderun Körfezi kuzeybatı ve güneydoğu alanlarında bu doğrultularda Doğu Anadolu Fay Sistemi'ne bağlı olarak çok sayıda fay bulunmaktadır (Şekil 4 ve 5). Yine bu kırık hatlarına bağlı olarak karadaki belirli noktalarda sıcak su çıktılarının varlığı da bilinmektedir. Fayların deniz içinde de devam edebileceği konusu bir gerçektir (Koral, 1995; Meriç vd., 2016c). Dolayısıyla deniz içinde de bazı sıcak noktaların oluşması mümkündür ve bunların çevresinde farklı ekolojik koşullar gelişebilir. Ege Denizi deniz içi sıcak su çıktıları bu konuda en tipik örneklerdir (Meriç vd., 2008, 2010, 2011, 2012a, b ve c, 2017).

İskenderun Körfezi'nde gözlenen zengin bir foraminifer topluluğu içinde 36 ve 125 no'lu örneklerde çok sayıda yeşil, siyah, gri ve açık kahve kavkılara sahip bentik foraminifere rastlanılmıştır. Bunlar *Vertebrulina striata* d'Orbigny, *Adelosina partschi* (d'Orbigny), *A. pulchella* d'Orbigny, *Spiroloculina dilatata* d'Orbigny, *Siphonaperta aglutinans* (d'Orbigny), *S.*

*aspera* (d'Orbigny), *Lachlanella variolata* (d'Orbigny), *Massilina secans* (d'Orbigny), *Quinqueloculina disparilis* d'Orbigny, *Q. limbata* d'Orbigny, *Q. stelligera* Schlumberger, *Triloculina marioni* Schlumberger, *Peneroplis pertusus* (Forskal), *P. planatus* (Fichtel ve Moll), *Sorites orbiculus* Ehrenberg olarak belirlenmiştir (Yalçın vd., 2004). Gerek deniz içi ve gerekse karada ortaya çıkan termal suların çeşitli ağır metal ve eser element içerdikleri bir gerçektir. 36 no'lu örnekte Sr ile 125 no'lu örnekte Fe ve Mg fazla miktardadır. Ayrıca kavkılarda yapılan mikroprob analizlerinde Cu, Zn ve Pb'de saptanmıştır. Bu durum kırık hatlarına bağlı güncel hidrotermal kaynakları işaret etmekte olup, İskenderun Körfezi doğusunda bulunan Erzin içme ve kaplıcaları bu düşünceye destek vermektedir (Şekil 5).

Bunun dışında Hayfa (İsrail) kıyılarında tarafımızdan gerçekleştirilen bir çalışmada çok sayıda yabancı bentik foraminifere rastlanılmıştır (Yokeş vd., yayınlanmamış veri). Hayfa kuzeybatı ve kuzeyinden derlenmiş olan 6 örnek *Nodophthalmidium antillarum* (Cushman), *Hauerina diversa* Cushman, *Pyrgo denticulata* (Brady), *Coscinospira acicularis* (Batsch), *Peneroplis planatus* (Fichtel ve Moll), *Sorites orbiculus* Ehrenberg, *Epistomaroides punctatus* (Said), *Amphistegina lobifera* Larsen, *Pararotalia calcariformata* McCulloch, *Operculina ammoniformis* (Gronovius) ve *Heterostegina depressa* d'Orbigny gibi çoğunlukla





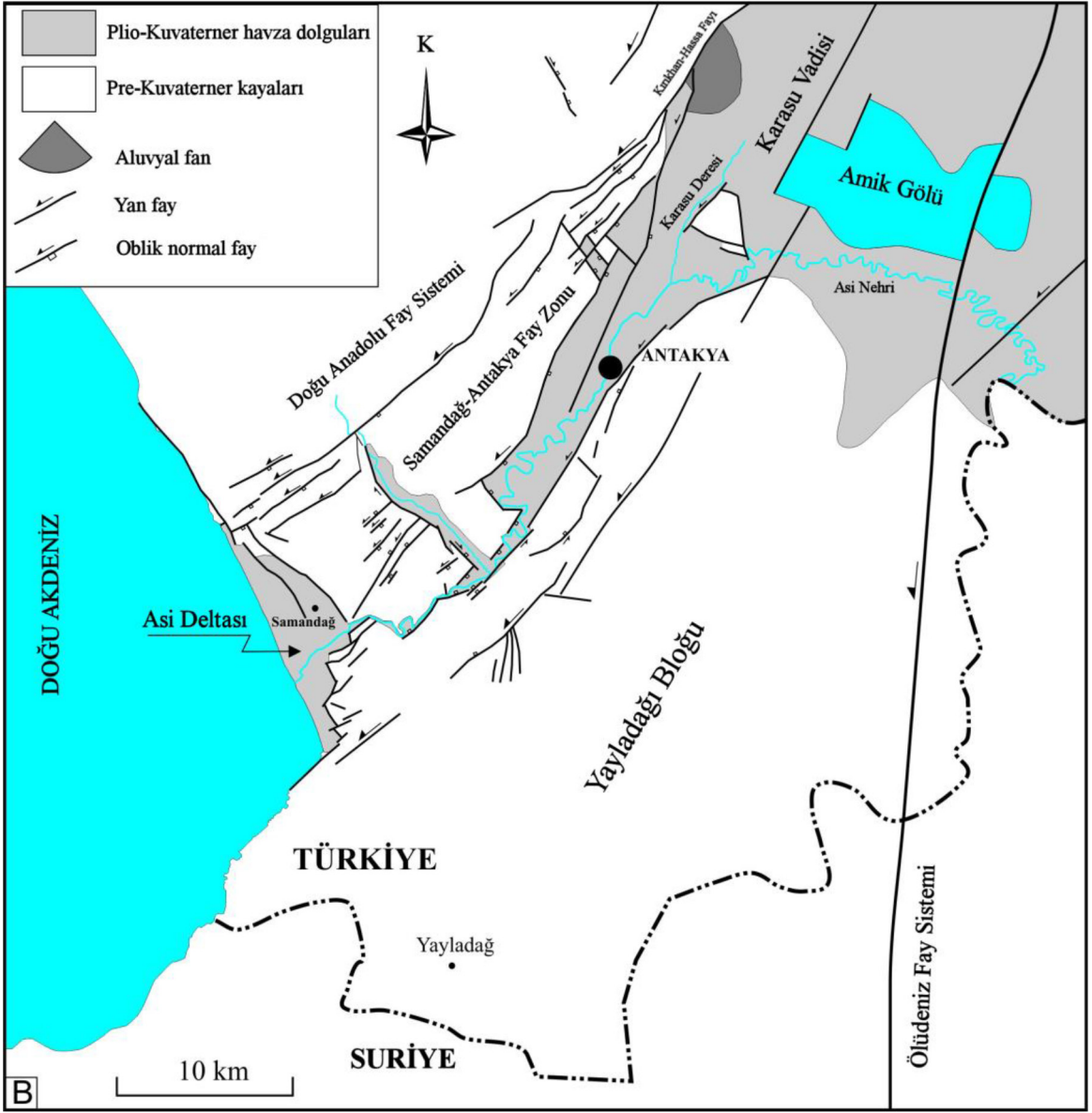
Şekil 4. İskenderun Körfezi çevresinin yapısal özellikleri ve jeoloji haritası (Koral, 1995).

Figure 4. Structural characteristics and geological map of Gulf of Iskenderun's vicinity (Koral, 1995).

Kızıldeniz kökenli olan bentik foraminiferleri içermektedir (Yokeş vd., yayınlanmamış çalışma).

Ayrıca Hayfa kıyılarından derlenen güncel *Pararotalia calcariformata* McCulloch canlı bireyleri ile ilgili olarak Bremen Üniversitesi'nde akvaryumda yetiştirilen bireyler üzerinde doktora tezi hazırlanmıştır (Schmidt, 2015). Hayfa kıyılarından derlenen örnekler üzerinde yapılan bu çalışma Kızıldeniz kökenli birçok bentik foraminiferin yukarıda belirtildiği üzere Süveyş Kanalı'nı geçip doğu ve kuzeye yönelerek Akdeniz'de yayılım

gösterdiğini kanıtlamaktadır. *Pararotalia calcariformata* McCulloch ise en güney nokta olarak bu alanda gözlenmiştir. Fakat Samandağ kıyılarındaki ekolojik şartların çok uygun olmasından dolayı bu alanda aşırı derecede çoğalmasına neden olmuştur. Söz konusu foraminifer ilk kez Avustralya'nın güneydoğusunda Sidney güneyinde bulunmuş ve Avustralya'nın kuzey alanlarında çok az sayıda gözlenmiştir. Dolayısıyla gerek güneybatı Pasifik Okyanusu, gerek Hint okyanusu ve Kızıldeniz'de rastlanılmaması nedeniyle



Şekil 5. Hatay çevresinde belirlenmiş olan başlıca fay hatları (Perinçek vd., 1987, Doğan vd., 2012).  
Figure 5. Main fault lines found around Hatay (Perinçek et al., 1987, Doğan et al., 2012).

Hayfa limanına gelen gemilerin balast suları ile Doğu Akdeniz'e ulaşmış olduğu ve akıntılar yoluyla kuzeye doğru yayılım gösterdiği düşünülmektedir. İskenderun Körfezi, Mersin güneydoğusu ve kuzey Ege Denizi'nde az miktarda rastlanması aynı neden ile açıklanabilir.

Doğu Ege Denizi'nde Kuşadası Koyu'ndaki bir sıcak su çıktısı çevresinde güney Pasifik Okyanusu kökenli *Euthymonacha polita* (Batsch) bireylerine bol miktarda rastlanması ve bu foraminiferin Çeşme Ilıca Koyu ile Karaburun Yarımadası kuzeybatısında yaygın şekilde varlığı bu tip yayılımların olduğu düşüncesine

destek vermektedir (Meriç vd., 2010, 2012a, b; Yokeş vd., 2014).

Diğer bir örnek ise Çeşme Ilıca koyundaki (İzmir) sıcak su çıkışları etrafında çok sayıda *Coscinospira acicularis* (Batsch) ile *Polymorphina fistulosa* (Cushman)'nın gözlenmesidir (Meriç vd., 2011, 2012a, b ve c).

Ayrıca, Doğu Ege Denizi'nin Güllük, Akköy, Ildır, Ilıca Koyu (Çeşme), Karşıyaka (İzmir Körfezi) ve Babakale (Edremit Körfezi) gibi alanlarında deniz içinde kısmen sondaj ve keçe örnekleme (grab sampling) ile alınmış olan örneklerde *Cornuspiroides striolatus*

(Brady), *Nodobacularella cristobalensis* McCulloch, *N. galapagosensis* McCulloch ve *Pseudonodosaria brevis* (d'Orbigny) gibi yabancı foraminiferler bulunmuştur (Meriç vd., 2017). Ege Denizi'nin gerek kıyı alanlarında karada ve gerekse deniz içinde var olan sıcak su kaynakları çevresinde bu gibi foraminifer cins ve türlerine rastlanmaktadır. Söz konusu foraminiferler adı geçen noktalarda yaşama imkânı bulmuş ve çoğalmışlardır.

Sonuç olarak Ege Denizi ve Doğu Akdeniz ile ilgili olarak bahsedilen tüm yabancı foraminiferlerin bu alanlarda yaygınlaştığı ve akıntılar ile güneyden kuzeye ve doğudan batıya doğru taşınan larvalarının kuzey ve batıya doğru ilerleyerek ekolojik koşulların uygun olduğu noktalarda yayılım gösterdiği ve çoğaldığı anlaşılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Avşar, N., Meriç, E., Ergin, M., 2001, İskenderun Körfezi'ndeki bentojenik sedimanların foraminifer içeriği. H. Ü. Yerbilimleri, 24, 97-112, Ankara.
- Doğan, U., Koçyiğit, A., Varol, B., Özer, İ., Molodkov, A., Zöhra, E., 2012. MIS 5a and MIS 3 relatively high sea-level stands on the Hatay-Samandağ Coast, Eastern Mediterranean, Turkey. Quaternary International 262: 65-79.
- Koral, H., 1995, Sedimentological study: Sediments of Iskenderun Bay in the context of regional structure. In: Benthic foraminifera as indicators of heavy metal pollution - A new kind of biological monitoring for the Mediterranean Sea. AVICT 92-0007, Annual Report, 217-223.
- Meriç, E., Avşar, N., Yokeş, B., 2008, Some alien foraminifers along the Aegean and southwestern coasts of Turkey. Micropaleontology, in: Recent benthic foraminifera along the southwest coasts of Antalya (SW Turkey) and the impact of alien species on autochthonous fauna (eds. E.Meriç and M. B. Yokeş), 54 (3-4), 307-349.
- Meriç, E., Yokeş, M.B., Avşar, N., Bircan, C., 2010, An oasis for alien benthic foraminifera in the Aegean Sea. Aquatic Invasions, 5 (2), 191-195.
- Meriç, E., Yokeş, B., Avşar, N., 2011, A new guest in Ilica Bay (Çeşme-İzmir-Turkey): *Coscinospira acicularis*. Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom, 4, e94, 1-5.
- Meriç, E., Avşar, N., Nazik, A., Yokeş, M., Barut, İ. F., Eryılmaz, M., Kam, E., Taşkın, H., Başsarı, A., Dinçer, F., Bircan, C., Kaygun, A., 2012a, Ilica Koyu (Çeşme-İzmir) bentik foraminifer-ostrakod toplulukları ile Pasifik Okyanusu ve Kızıldeniz kökenli göçmen foraminiferler ve anormal bireyler. M.T.A. Dergisi, 145, 62-78, Ankara.
- Meriç, E., Avşar, N., Nazik, A., Yokeş, Dora, Ö., Barut, İ. F., Eryılmaz, M., Dinçer, F., Kam, E., Aksu, A., Taşkın, H., Başsarı, A., Bircan, C., Kaygun, A., 2012b, Karaburun Yarımadası kuzey kıyılarının oşinografik özelliklerinin bentik foraminifer ve ostrakod toplulukları üzerindeki etkileri. M.T.A. Dergisi, 145, 22-47, Ankara.
- Meriç, E., Yokeş, B., Avşar, N., Kırıcı-Elmas, E., Dinçer, F., 2012c, A new record in eastern Aegean Sea (Turkey): *Polymorphina fistulosa*. Marine Biodiversity Records, Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom, 5, e103, 1-3.
- Meriç, E., Yokeş, M. B., Avşar, N., Kırıcı-Elmas, E., Dinçer, F., Karhan, S. Ü., Kalkan, E., Demir, V., 2013. First report of *Pararotalia calcari-formata* from the Hatay coastline (Turkey-north eastern Mediterranean). Marine Biodiversity Records, Marine Biological Association of the United Kingdom, 6, e31, 1-4.
- Meriç, E., Avşar, N., Yokeş, M. B., Dinçer, F., 2014. Atlas of recent benthic foraminifera from Turkey. Micropaleontology, 60 (3-4), 211-398.
- Meriç, E., Yokeş, M. B., Avşar, N., Dinçer, F., 2015. Main introduction way of Indo-Pacific and Red Sea originated benthic foraminifers to the eastern Mediterranean. International Journal of Environment and Geoinformatics, 2 (3), 07-12.
- Meriç, E., Avşar, N., Yokeş, M. B., Dinçer, F., Karhan, S. Ü., Kalkan, E., Demir, V., 2016a. Benthic foraminiferal assemblages from the Eastern Levantine Coast of Turkey. International Journal of Environment and Geoinformatics, 3 (2), 38-44.

- Meriç, E., Yokeş, M. B., Avşar, N., Kıyak, N. G., Öner, E., Nazik, A., Demirtaşlı, E., Dinçer, F., Öztürk, M. Z., 2016b. Did *Amphistegina lobifera* Larsen reach the Mediterranean via the Suez Canal? *Quaternary International*, 401, 91-98.
- Meriç, E., Öner, E., Avşar, N., Nazik, A., Güneşli, H., İslamoğlu, Y., Yokeş, M. B., Dinçer, F., 2016c. Did the Red Sea-Mediterranean connection over the Dead Sea Fault Zone end in the Late Pliocene? *Quaternary International*, 401, 123-131.
- Meriç, E., Yokeş, M. B., Avşar, N., Yümün, Z. Ü., Dinçer, F., 2017. New alien foraminifer guests in the eastern Aegean Sea (Turkey). *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 4 (3), 182-192.
- Oflaz, A., 2012. Taxonomy, distribution of eastern Mediterranean benthic foraminifera. Lap Lambert Academic Publishing, 307 p.
- Perinçek, D., Günay, Y., Kozlu, H., 1987. Doğu ve güneydoğu Anadolu yöresindeki yanal atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler. Türkiye 7. Petrol Kongresi, Bildiriler-Jeoloji, 89-103, 6-10 Nisan 1987, Ankara.
- Schmidt, C., 2015. Global change stress on symbiont: Bearing benthic foraminifera. *Doktorgrader in den Naturwissenschaften (Dr. rer. Nat.)*. Universitat Bremen, 162 p.
- Schmidt, C., Morard, R., Prazeres, M., Barak, H., Kucera, M., 2016. Retention of high thermal tolerance in the invasive foraminifera *Amphistegina lobifera* from the eastern Mediterranean and the Gulf of Aqaba. *Marine Biology*, 163, 228.
- Yalçın, H., Meriç, E., Avşar, N., Bozkaya, Ö., Barut, İ. F., 2004. İskenderun Körfezi güncel foraminiferlerinde gözlenen jeokimyasal anomaliler. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 47 (2), 25-39, Ankara.
- Yokeş, M. B., Meriç, E., Avşar, N., Barut, İ. F., Taş, S., Eryılmaz, M., Dinçer, F., Bircan, C., 2014. Opinion and comments on the benthic foraminiferal assemblages observed around the mineral submarine springs in Kuşadası (Aydın-Turkey). *Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1-17, doi:10.1017/S1755267214000840, vol. 7, e103; 2014, published on line.





## Yeşilirmak Havzası Mekânsal Yağış Dağılımına ait Değişiminin Deterministik ve Stokastik Yöntemlerle Belirlenmesi

### *Determination of Changing Spatial Distribution of Precipitation With Deterministic and Stochastic Methods in Yeşilirmak Basin*

M. Murat KALE\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Çankırı Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Çankırı.

Geliş (*received*) : 16 Ocak (January) 2018

Kabul (*accepted*) : 22 Kasım (November) 2018

#### ÖZ

Bu çalışmada, deterministik ve stokastik yöntemler bir arada kullanılarak Yeşilirmak Havzası için mekânsal yağış dağılımını en iyi temsil eden modelin belirlenmesi ve mekânsal yağış dağılımına ait değişiminin ortaya çıkartılması amaçlanmıştır. Çalışmada, otuz meteoroloji gözlem istasyonuna ait 1954 – 2014 yılları arasındaki yağış veri seti kullanılmıştır. Havzayı en iyi temsil eden modelin belirlenmesi için deterministik yöntemlerden Uzaklığın Tersini ile Ağırlıklandırma (IDW) ve stokastik yöntemlerden Ortalama-sız Kriging (OK) yöntemi kullanılmıştır. Yağış modellerinin doğruluğu Çapraz Geçerlilik (Cross-Validation) analiz yöntemiyle test edilmiş ve modellerin karşılaştırılmasında Ortalama Hata (ME), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Karekök Ortalama Hata (RMSE) ve Standardize Karekök Ortalama Hata (RMSSE) değerlerinden faydalanılmıştır. En uygun model seçiminden itibaren 1954 – 1984 ve 1984 – 2014 dönemlerine ait mekânsal yağış haritaları oluşturulmuş ve değişim araştırılmıştır. Çalışma sonuçları iki grupta toplanabilir. (i) OK yöntemi ile yapılan modelleme IDW yöntemi ile yapılan modellemeye göre daha iyi sonuçlar vermiştir. (ii) İkinci otuz yıllık dönemde havza genelinde yağış yüksekliği artış eğilimindedir.

**Anahtar Kelimeler:** IDW, OK, Mekânsal yağış dağılımı, Yeşilirmak Havzası.

#### ABSTRACT

In this study, it is aimed to determine the best model that represents spatial distribution of precipitation using with deterministic and stochastic methods and to find precipitation change in Yeşilirmak Basin. For creating of data set, annual total precipitation data from thirty meteorological observation stations between 1954 and 2014 are used. In this study, deterministic methods, namely Inverse Distance Method (IDW) and stochastic methods, namely Ordinary Kriging (OK) are used together. The accuracy of the models is tested using the Cross Validation method and the models are compared using the Mean Error (ME), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) and Standardized Root Mean Square Error (RMSSE). From the most appropriate model selection, spatial distribution of precipitation maps for the period 1954 - 1984 and 1984 - 2014 are established and the changes are investigated. Results of this study can be collected in two groups. (i) Modeling with the OK method is pointed better results than IDW method. (ii) During the second thirty year's period, total precipitation trend in the basin is rising.

**Keywords:** IDW, OK, Spatial distribution of precipitation, Yeşilirmak Basin.

\* M. M. Kale

e-posta: muratkale@karatekin.edu.tr

## GİRİŞ

Yağış, havza sistemi içerisinde çizgisel akışın temel kaynağıdır (Atalay, 1986; Fetter, 1994). Çizgisel akışa geçen su kütleleri, durgun su kütleleri ile karşılaştıklarında katı madde (sediman) yüklerini bırakma eğilimi gösterirler. Akarsuyun sediman getirme hızının, kıyı erozyonu hızından daha yüksek olduğu durumda sedimantolojik açıdan son derece aktif bir bölge olan delta, gelişim sürecine girer (Kerey ve Erkal, 2014). İklim, bölgesel tektonik yapı ve aralarındaki ilişki delta gelişimi için önemlidir (Fisk, 1955; Frazier, 1967; Xing and ChaoYu, 2011). Havza sistemine, antropojenik bir müdahale olmadığı ve bölgesel tektonik yapıda herhangi bir değişiklik gerçekleşmediği süreçte, yağışta meydana gelecek değişimler akarsu tarafından taşınan sediman yükünü etkileyecektir. Antropojenik bir etkinin olmadığı, bölgesel tektonik yapının korunduğu, hâkim rüzgâr, dalga etkisi vb. doğal etkenlerin değişmediği koşullarda; yüksek yağış havza sisteminde akışa geçen su miktarını ve su yükünü arttırarak; delta kıyı çizgisinin deniz yönünde ilerlemesine neden olacaktır. Yağışların azalması, akarsu tarafından taşınan sedimanın doğal olarak azalmasını beraberinde getirecektir. Bu durumda hâkim rüzgâr ve dalga etkisi ile ortaya çıkan aşınım hızı ve miktarı, birikim tarafından engellenemeyecek ve kıyı çizgisi kara yönünde gerileyecektir. Bu bağlamda havzaya düşen yağış miktarı, dolaylı olarak delta kıyı çizgisi değişimindeki en önemli parametrelerden biridir.

1980'li yılların başı itibari ile Yeşilirmak, Anadolu Yarımadası'ndan Karadeniz'e en çok sediman taşıyan akarsu konumundadır (Atalay, 1982). Söz konusu akarsu, Karadeniz çanağının güney kenarında gelişmiş iki büyük deltadan birini, Yeşilirmak Delta'sını oluşturmaktadır. Deltanın oluşumunda Kuvaterner başında meydana gelen epirojenik hareketler ve sonucunda gelişmiş antekonsekant vadi önemli bir rol üstlenmektedir (Erkal, 1991; Erkal, 1995).

Yeşilirmak Deltası'na ait kıyı çizgisi 1975'ten günümüze gerileme eğilimi göstermektedir. Kıyı çizgisinde, 1954 – 1975 yılları arasında denize doğru 3.21 km<sup>2</sup>'lik bir ilerleme ve 1975 – 1999 yılları arasında kara yönünde 2.62 km<sup>2</sup>'lik bir gerileme olduğu tespit edilmiştir (Avcı vd., 2003; Avcı et al., 2004). 2000 – 2016 yılları arasında ise delta kıyı çizgisindeki değişim devam etmiş ve nehir ağzının batısında 330 m'ye varan bir gerileme tespit edilmiştir (Köle vd., 2016). Deltada yaşanan gerileme, farklı çalışmalarda antropojenik müdahaleler ile ilişkilendirilmesine karşın

yağış miktar ve dağılımındaki olası değişim net bir şekilde ortaya konulmamıştır. Antropojenik müdahalenin olmadığı ve doğal etkenlerin korunduğu durumlarda, havzaya düşen yağış miktarının mekânsal dağılımı ve değişimi; taşınan sediman miktarı ile doğrudan ilişkilidir (Liu et al., 2014). Bu kapsamda, Yeşilirmak Deltası'nda meydana gelen kıyı çizgisi değişiminin açıklanması için havzaya düşen yağış miktar ve dağılımındaki değişimin ortaya çıkartılması önem taşımaktadır.

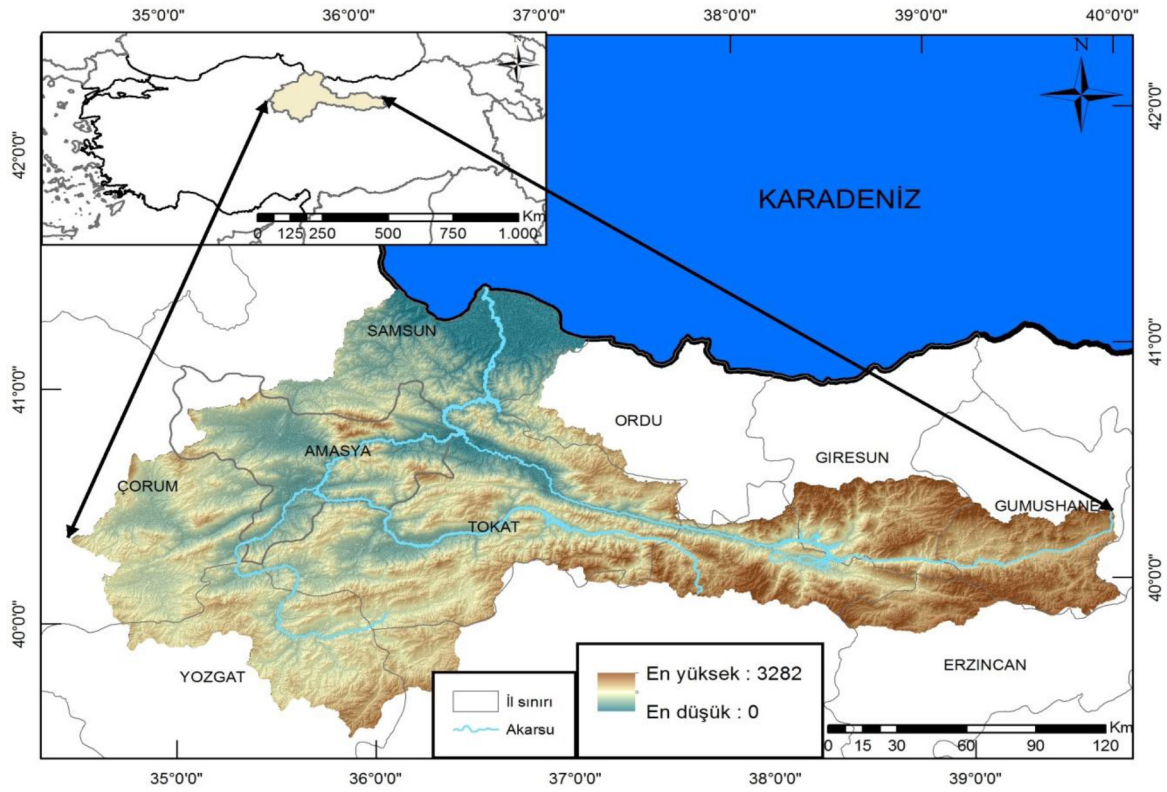
36114 km<sup>2</sup> drenaj alanına sahip olan Yeşilirmak Havzası, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre 646 mm yıllık yağış yüksekliğine sahiptir. Çalışma bölgesine ait yer bulduru haritası ve sayısal yükseklik modeli Şekil 1'de verilmiştir. 3282 m maksimum yükseltiye sahip olan havza, Türkiye yüz ölçümünün yaklaşık %5'ine ve yenilenebilir su potansiyelinin %3.12'sine sahiptir.

Bu çalışmada, deterministik ve stokastik yöntemler bir arada kullanılmıştır. Yeşilirmak Havzası için mekânsal yağış dağılımını en iyi temsil eden modelin belirlenmesinden itibaren mekânsal yağış dağılımına ait değişiminin ortaya çıkartılması amaçlanmıştır. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından tahmin modellerinde güvenilir iklim değerleri elde etmek için kullanılması gereken en uygun sürenin 30 yıllık bir dönemi kapsaması gerektiğini belirtilmektedir (Jagannathan et al., 1967). Çalışma genelinde bu temel varsayım dikkate alınarak, mekânsal yağış dağılımındaki değişim araştırılmıştır. Yeşilirmak Havzası'nda gerçekleşen mekânsal yağış dağılımını en iyi temsil eden modelden itibaren, 1954 – 2014 yılları arasında havzada gerçekleşen yağış değişiminin iki dönem halinde haritalanarak ortaya çıkartılması hedeflenmiştir.

## YÖNTEM

Bu çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Öncelikli olarak veri kümesi seçimi yapılarak veri analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, seçili yöntemler birbirleri ile karşılaştırılarak çalışma alanını temsil eden en uygun enterpolasyon yöntemi ve modeli belirlenmiştir. Son olarak belirlenen yöntemle bağlı olarak otuzar yıllık dönemleri temsil eden mekânsal yağış dağılımı haritaları oluşturulmuş ve değişim araştırılmıştır.

Çalışmada, deterministik yöntemlerden Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma yöntemi (IDW) ve stokastik yöntemlerden Ortalamasız Kriging (OK) yöntemi kullanılmıştır. Seçili yöntemlere ait sonuçların sınanması



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası ve sayısal yükseklik modeli.  
Figure 1. Study area location map and digital elevation model.

için Çapraz Geçerlilik (Cross-Validation) doğruluk analizi uygulanmıştır.

Yöntemler için gerekli olan zaman serileri MGM'den temin edilmiştir. Meteoroloji gözlem istasyonlarına (MGİ) ait aylık toplam yağış yüksekliği çalışmanın veri kümesini oluşturmaktadır. MGİ'lerin seçiminde çalışma alanının en iyi temsili için iki temel faktör dikkate alınmıştır. Faktörlerden ilki, MGİ'lerin Yeşilirmak Havzası içerisinde olması, yeterli istasyon sayısına ulaşamaması halinde havzaya en yakın noktada bulunmasıdır. İkinci faktör, istasyonun uzun dönem kesintisiz ya da en az kesintiye sahip istasyon olma özelliği taşımasıdır. Bu özellikleri taşıyan 30 MGİ seçilmiş ve çalışmada seçili istasyonlara ait 1954 – 2014 dönemine ait zaman serileri kullanılmıştır. Zaman serilerinin tutarlılığını sağlamak için Çift Toplam Yağış Eğrisi yöntemi kullanılmıştır (Bayazit, 1995). Seri içerisinde yer alan eksik veriler, istasyonların yıllık ortalama yağışları arasındaki farkın %10'dan fazla olduğu durumda eşitlik (1) ve %10'dan az olduğu durumda eşitlik (2) yardımı ile tahmin edilmiştir.

$$P_x = 1/3 (N_x P_A / N_A + N_x P_B / N_B + N_x P_C / N_C) \quad (1)$$

$$P_x = 1/3 (P_A + P_B + P_C) \quad (2)$$

Burada;  $P_x$  tahmini yağış yüksekliğini,  $N_x$ ,  $N_A$ ,  $N_B$  ve  $N_C$  istasyonlara ait ortalama yağış yüksekliklerini,  $P_A$ ,  $P_B$  ve  $P_C$  parametreleri ise eksik verili sürede seçili istasyonlardaki yağış yüksekliklerini ifade etmektedir.

Tahmine dayalı istatistiksel çalışmalarda, güvenilir sonuçlar için serinin normal dağılım göstermesi gerekmektedir (Thompson, 1983). Bir veri kümesinin normal dağılım göstermesi için çarpıklık katsayısının sıfıra, basıklık katsayısının üçe ve ortalama ile medyan değerleri arasındaki farkın sıfıra yakın olması gerekmektedir (Ünver vd., 2013). Bu temel yaklaşım ile çalışmada kullanılan zaman serilerinin normal dağılım gösterip göstermediği incelenmiştir. Seriler ile doğru kestirimler yapabilmek için farklı temel dönüşümler (log, ln, sin, cos, tan ve karekök) uygulanarak seriyi normal dağılıma en çok yaklaşır dönüşüm tespit edilmiş ve çalışmada bu dönüşüme ait zaman serisi kullanılmıştır.

Çalışma genelinde gerçekleştirilen haritalama çalışmaları, analiz ve hesaplamaların gerçekleştirilmesi için gerekli olan veri tabanının oluşturulmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) faydalanılmıştır. Temel istatistiksel analizler için CBS, istatistik yöntemlerle birleştiğinde, mekânsal verinin analiz edilmesini, görüntülenmesini ve yönetimini kolaylaştırmaktadır (Krivoruchko et al., 2003; Aydın, 2014; Aydın and Çiçek, 2015). Bu kapsamda, çalışma genelinde ArcGIS 10.0 programı ve ilgili modülleri kullanılmıştır. Çalışma genelinde veri kümesinin açıklanmasında ve temel istatistiksel hesaplamalarda MATLAB R2013b (Matrix Laboratory) paket programına ait ilgili modüllerden faydalanılmıştır.

### Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighted - IDW) Enterpolasyon Yöntemi

Çalışmada kullanılan seçili deterministik yöntem, Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma (IDW) enterpolasyon yöntemidir.

IDW en basit ve temel enterpolasyon yöntemlerinden biridir. Yöntem iki nokta arasındaki ilişkinin ve benzerliğin, aralarındaki mesafeyle orantılı olduğu varsayımına dayanmaktadır (Aydın ve Çiçek, 2013). Yöntemde araştırılan nokta değeri, yakınında yer alan, bilinen nokta değerlerine daha benzer olacaktır. Bu varsayım ile bilinmeyen noktalara yakın olan noktalar, yapılan hesaplamalarda daha fazla etkiye (ağırlığa) sahip olacaktır. IDW yönteminde her örnek noktası, değeri tahmin edilecek noktaya olan uzaklığına ters oranda ağırlık değeri almaktadır (Isaaks and Srivastava, 1989). Bir başka ifade ile bilinmeyen noktanın tahmininde; bilinen noktaların yakın olanlarına çok, uzak olanlarına az ağırlık verilerek tahmin yapılmaktadır (Franke and Nielson, 1980). IDW yöntemi eşitlik (3)'te verilmiştir. Yöntemde kullanılan ağırlıklandırma eşitlik (4)'de verildiği gibidir.

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^N W(X_i)Z(X_i) / \sum_{i=1}^N W(X_i) \quad (3)$$

$$W(X_i) = (1/d_i)^p \quad (4)$$

Eşitliklerde;  $W(X_i)$  i'inci bilinen konumdaki ağırlığı,  $Z(X_i)$  i'inci konumdaki bilinen örnek noktası değerini, N ölçüm noktası sayısını, d örnek noktası ve tahmin noktası arasındaki mesafeyi ve p üstel güç katsayısını ifade etmektedir (Ahrens, 2006). IDW yönteminin doğruluğu kullanılan verinin miktarı ve seçilen güç

katsayısına bağlıdır (Krivoruchko et al., 2003). Ancak literatürde, olması gereken veri miktarı ve üstel katsayı belirlenmesi konusunda kesin bir tavsiye yoktur (Aydın ve Çiçek, 2013). Çalışmada, literatürde yer alan benzer çalışmalarda güç değeri olarak kullanılan 2 referans alınarak kullanılmıştır. IDW yöntemine göre yapılan kestirimde, kestirime ait hatayı ölçen bir araç bulunmamaktadır (Ertunç, 2013).

### Ortalamasız Kriging (Ordinary Kriging - OK) Enterpolasyon Yöntemi

Çalışmada kullanılan seçili stokastik yöntem, Ortalamasız Kriging (OK) jeostatistiksel enterpolasyon yöntemidir.

Jeostatistiksel Kriging yöntemlerinin temel amacı, istenilen her noktadaki veriyi bilinen noktalara ait verilerden itibaren tahmin etmektir (Saraç, 1994). İlk kez 1950'lerde Güney Afrikalı maden mühendisi Krige (1951) tarafından maden yataklarının araştırılması için kullanılmış olan yöntem, günümüzde yer ve atmosfer bilimlerinde büyük bir kullanım alanına sahip, temel jeostatistiksel tahmin yöntemidir. Jeostatistiksel çalışmaların temelini, deneysel variogram yapısının belirlenmesi ve bu yapıya uygun teorik bir modelin geliştirilmesi oluşturmaktadır (Delhomme, 1978; Vieira, 1983; Aydın ve Çiçek, 2013). Uzayda farklı noktalarındaki değişkenler arasındaki bağımlılığı ölçen, uzaklığa bağlı ilişki fonksiyonuna variogram denilmektedir. Variogram fonksiyonu; birbirine h mesafedeki iki konumsal değişken arasındaki farkın varyansı olarak tanımlanır ve  $2\gamma(h)$  ile sembolize edilir (Tercan ve Saraç, 1998). Variogram fonksiyonunun yarısı ise yarıvariogram olarak ifade edilir. Bir başka ifade ile mekânsal ilişki gözlenirken, artan mesafe ile ilişkide meydana gelen değişimin ölçülmesi için kullanılan temel araç variogram bulutudur. Variogram bulutuna ait matematiksel ifade eşitlik (5)'de verilmiştir. Yarıvariogram bulutunun yarıvaryans değerlerinin belirli bir sınıf aralığına ayrılması ve ayrılan mesafeye düşen yarıvaryans değerlerinin ortalamasının alınması ile deneysel yarıvariogram elde edilir (Aydın ve Çiçek, 2013). Deneysel yarıvariograma ait eşitlik (6)'da verilmiştir.

$$2\gamma(h) = E[Z(X) - Z(X+h)]^2 \quad (5)$$

$$\gamma(h) = 0,5 (N_h)^{-1} \sum_{i=1}^{N_h} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (6)$$

Eşitliklerde;  $Z(X_i)$   $X_i$  konumundaki istasyonun yıllık ortalama yağış değerini,  $Z(X_i+h)$   $X_i+h$  konumundaki istasyonun yıllık ortalama yağış değerini,  $N_h$  h uzaklıkta

toplam istasyon çifti sayısını ifade etmektedir (Bivand et al., 2008).

Deneyssel yarivariogram çiftlerini temsil eden en iyi fonksiyonun bulunması ile teorik yarivariogram elde edilir. Bu amaçla deneyssel yarivariogramı en iyi şekilde teorik yarivariograma dönüştüren model belirlenir. Jeostatistiksel analizlerde; üssel (exponential), küresel (spherical), gaussian ve dairesel (circular) yaygın olarak kullanılan yarivariogram modelleridir (Çizelge 1).

Gözlem değerlerinden yararlanılarak hesapla oluşturulan yarivariograma deneyssel yarivariogram, deneyssel yarivariograma matematiksel bir fonksiyon uydurularak elde edilen yarivariogram modeline ise teorik yarivariogram denir (Bailey and Gatrell, 1995; Hengl, 2009; Fotheringham et al., 2000; Kalkhan, 2011; Chun and Griffith, 2013; Aydın and Çiçek, 2015). Deneyssel yarivariogram tahmin analizlerinde doğrudan kullanılmazken, teorik yarivariogram kullanılmaktadır (Aydın and Çiçek, 2015).

OK enterpolasyon yöntemi, teorik yarivariogram modelinin oluşturulmasından itibaren uygulanır. Yansız olan yöntemde bilinmeyen değerlerin tahmini, değişkenlerin durağan ve ortalamasının sabit olduğu varsayımına göre gerçekleştirilir. Tahmin ağırlıkları yarivariogram modeline dayanır. Yöntem, tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ortalama farkın sıfıra eşit olmasını amaçlar. Aynı zamanda tahmin hatalarının varyansını en düşük seviyede tutmaya çalışarak işlemi gerçekleştirir ve sonuçta en iyi tahmini oluşturur (Aydın, 2014). OK enterpolasyon yöntemi doğrusal eşitliklerden oluşmaktadır. Her örnek noktası sistemde ağırlıklandırılmıştır (Ertunç, 2013). Kriging enterpolasyon yönteminde ait temel eşitlik (7)'de verilmiştir.

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^N W_i Z(X_i) \quad (7)$$

Eşitlikte;  $Z(X_0)$ ,  $X_0$  noktasına ilişkin Kriging değeri,  $Z(X_i)$  değişkenlerin her bir  $X_i$  noktasında gözlenen

değerleri, her bir  $Z(X_i)$  ye karşılık gelen ağırlık değerlerini ve  $N$   $Z(X_0)$ 'ın Kriging tahmininde kullanılacak nokta sayısını ifade etmektedir (Isaaks and Srivastava, 1989; Aydın ve Çiçek, 2013).

Kriging enterpolasyon yönteminin yansız olması için ağırlık değerlerinin toplamları 1'e eşit olmalıdır. Ağırlık değerleri toplamının 1'e eşit olduğu durumda  $N$  adet bilinmeyen ve  $N+1$  adet denklem vardır (İnal ve Yiğit, 2003; Aydın, 2014). Yansız olma şartı dikkate alındığında, denklem sayısı bilinmeyen sayısına Lagrange çarpanı ile eşitlenir.

OK enterpolasyon yönteminde, kestirim işlemi sonucunda yapılan hatanın varyansı bulunabilir. Bir başka ifade ile kestirime ilişkin hatayı ölçen bir araç bulunmaktadır (Isaaks and Srivastava, 1989). OK enterpolasyon yönteminde ait hata varyansı eşitlik (8)'da verilmiştir.

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_0 - X_i) + \lambda \quad (8)$$

Eşitlikte;  $\sigma_k^2$  kriging varyansı olmak üzere,  $\lambda$  Lagrange çarpanını,  $W_i$  her bir  $\gamma(X_0-X_i)$ 'ye karşılık gelen ağırlık değerlerini ve  $N$  hata varyansında kullanılacak nokta sayısını ifade etmektedir.

### Bırakımlı Çapraz Geçerlilik (Leave one out Cross-Validation) Doğruluk Analizi

Bu çalışmada; elde edilen teorik parametrelerin çalışma alanını temsil edip edemeyeceğinin belirlenmesinde ölçüt olarak Bırakımlı Çapraz Geçerlilik doğruluk analizi uygulanmıştır.

Yöntem; kestirim yapılan noktaya ait gerçek değer ile kestirim değerini karşılaştırarak, seçilen kestirim modelinin güvenilirliğini sınamaktadır (Vieira et al., 1983; Isaaks and Srivastava, 1989). Doğrulama analizi sırasında, tüm veri kümesi için tekrarlamak şartıyla, de-

Çizelge 1. Farklı yarivariogram modelleri (Isaaks and Srivastava, 1989).

Table1. Different semivariogram models (Isaaks and Srivastava, 1989).

Yarivariogram Modeli	Fonksiyon	Özel Durum
Üssel (Exponential)	$\gamma(h) = C_0 + C_1 * [1 - \exp(-3h/a)]$	$h \geq 0$
Küresel (Spherical)	$\gamma(h) = C_0 + C_1 * [(3h/2a) - (1/2)(h^3/a^3)]$ $\gamma(h) = C_0 + C_1 * (C_0 + C_1)$	$h \leq a$ $h > a$
Gaussian	$\gamma(h) = C_0 + C_1 * [1 - \exp(-3h^2/a^2)]$	$h \geq 0$
Dairesel (Circular)	$\gamma(h) = [(2h/\pi a) (1 - (h/a))] + [(2/\pi) \arcsin h/a]$	$0 \leq h \leq a$



ğeri bilinen nokta veri kümesinin dışında bırakılarak seçili enterpolasyon yöntemine göre kestirim yapılır. Daha sonra veri seti dışında bırakılan değere ait kestirim ve gerçek değer karşılaştırılır (Vieira et al., 1983; Isaaks and Srivastava, 1989). Karşılaştırma ve ortaya çıkan hatalarının değerlendirilmesi için farklı hata ölçüm yöntemleri kullanılır. Çalışmada Ortalama Hata (Mean Error - ME), Mutlak Ortalama Hata (Mean Absolute Error - MAE), Karekök Ortalama Hata (Root Mean Square Error - RMSE) ve Standardize Karekök Ortalama Hata (Root Mean Square Standardized Error - RMSSE) ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. Sırası ile kullanılan hata ölçüm yöntemleri eşitlik (9), (10), (11) ve (12)'de verilmiştir.

$$ME = N^{-1} \sum_{i=1}^N [Z'(X_i) - Z(X_i)] \quad (9)$$

$$MAE = N^{-1} \sum_{i=1}^N |Z'(X_i) - Z(X_i)| \quad (10)$$

$$RMSE = [N^{-1} \sum_{i=1}^N [Z'(X_i) - Z(X_i)]^2]^{0.5} \quad (11)$$

$$RMSSE = [N^{-1} \sum_{i=1}^N [(Z'(X_i) - Z(X_i))/\sigma(X_i)]^2]^{0.5} \quad (12)$$

Eşitliklerde;  $Z'(X_i)$  kestirim yapılan değeri,  $Z(X_i)$  gözlem değerini,  $\sigma(X_i)$  standard sapma değerini ve N toplam veri sayısını ifade etmektedir. RMSE değeri ne kadar küçük ise enterpolasyon hata oranı o denli azdır. RMSSE değerinin bire yakınlığı, enterpolasyon hata oranının düşüklüğünü göstermektedir. Benzer şekilde ME ve MAE değerlerinin sıfıra yakınlığı enterpolasyon doğruluğunun yüksekliğini göstermektedir.

## BULGULAR

Bu çalışmada, 1954 – 2014 yılları arasında Yeşilirmak Havzası'nda meydana gelen mekânsal yağış dağılımına ait değişim incelenmiştir. Üç aşamadan oluşan çalışmanın ilk aşamasında veri analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ana girdisi seçili istasyonlara ait yağış zaman serileridir. 1954 – 2014 yılları arasında atmış yıllık dönemi kapsayan, otuz istasyona ait zaman serileri incelenerek; Çizelge 2'de yer alan istasyonlara ait eksik yıllık toplam yağış yüksekliği verileri tamamlanmıştır.

Seçili istasyonların, yıllık toplam yağış yüksekliği değerlerine ait zaman serisi çalışmanın veri kümesini oluşturmaktadır. Veri kümesine ait tanımlayıcı istatistiksel veriler ile toplam yağış yüksekliği değişkenine ait sıklık dağılımı ve normalliğin araştırılması için histogram ve kutu diyagramlar çizilmiştir (Şe-

kil 2). Tanımlayıcı istatistiksel parametreler Çizelge 3'te verilmiştir. Orijinal veri kümesine ait minimum değer 372.80, maksimum değer 2241.00, medyan 450.15, standart sapma 373.68 ve ortalama 616.60 olarak hesaplanmıştır. Orijinal veri kümesi sağa çarpık olmakla birlikte basık değildir (Şekil 2a). Yağış yüksekliği frekans dağılımı, değişkenin çok büyük bir kısmının belirli bir sınıf aralığına toplandığını göstermektedir. Veri kümesini oluşturan minimum ve maksimum değerler arasında büyük bir fark bulunmakta olup orijinal veri kümesi normal dağılım göstermemektedir (Şekil 2a). Veri kümesine logaritmik dönüşüm uygulandığında değişkenin normale daha yakın bir dağılım gösterdiği, heterojenliğin ve uç değerlerin azaldığı saptanmıştır (Şekil 2b). Dönüşüm sonrası sağa çarpıklık görece olarak azalmıştır (Şekil 2b). Logaritmik dönüşüm uygulanmış veri kümesine ait minimum değer 2.57, maksimum değer 3.35, medyan 2.65, standart sapma 0.18 ve ortalama 2.74 olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasını oluşturan, seçili yöntemler arasında havzayı temsil eden en uygun modelin belirlenmesi için logaritmik dönüşümü yapılmış veri kümesi kullanılmıştır.

OK yöntemi için yarivariogram analizi gerçekleştirilmiştir. Veri kümesine ait yarivariogram bulutu çizilerek deneysel yarivariogram çiftleri elde edilmiştir (Şekil 3 ve 4). Yağış değişkenini en iyi temsil edebilecek uygun adım mesafesi 0.7 km ve sınıf sayısı 12 olarak tayin edilmiştir. Deneysel yarivariogramı temsil eden matematiksel fonksiyon araştırılmıştır. Araştırma, en uygun teorik model bulununcaya kadar değişik yarivariogram modellerinin deneysel yarivariogram çiftleri üzerine oturtulması ile gerçekleştirilmiştir. Teorik yarivariogramın belirlenmesi için kullanılan yarivariogram modelleri ve modeller sonucunda elde edilen hata değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

RMSE ve RMSSE değerleri dikkate alınarak dairesel yarivariogram modeli, çiftleri en iyi temsil eden fonksiyon olarak seçilmiştir.

Yıllık ortalama yağış değişkene ait deneysel ve teorik yarivariogramlar Şekil 4'de verilmiştir. Teorik yarivariograma ait matematiksel fonksiyon grafiğinden yağış değişkeni eşik değeri 0.35 ve etki uzaklığı 1.50 km olarak tespit edilmiştir. Belirlenen model parametrelerine göre gerekli hesaplamalar yapılarak, kestirim gerçekleştirilmiştir.

Deterministik yöntemlerden IDW ve stokastik yöntemlerden OK için belirlenen model parametrelerine

Çizelge 2. Veri setinde tamamlanan eksik yıllar.  
Table 2. Missing years completed in dataset.

İstasyon adı	Zaman serisindeki eksik veri (yıl)
Sebinkarahisar	2013
Divriği	2013
Çerkeş	2013
Kangal	2013
İspir	2013
Arapkır	2012, 2013
Çemişgezek	2013
Bafra	2013
Trabzon	2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013
Tosya	2013
Merzifon	2013

Çizelge 3. Veri kümelerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler.  
Table 3. Descriptive statistical values of data sets.

	Maksimum	Medyan	Minimum	Standard sapma	Ortalama
Orijinal veri kümesi	2241.00	450.15	372.80	373.68	616.60
Logaritmik dönüşüm yapılmış veri kümesi	3.35	2.65	2.57	0.18	2.74

göre gerekli hesaplamalar yapılarak kestirim değerleri elde edilmiştir. Seçili istasyonlar için model sonuçlarına göre elde edilen kestirim değerleri ve gerçek rasat değerleri Çizelge 5'de verilmiştir.

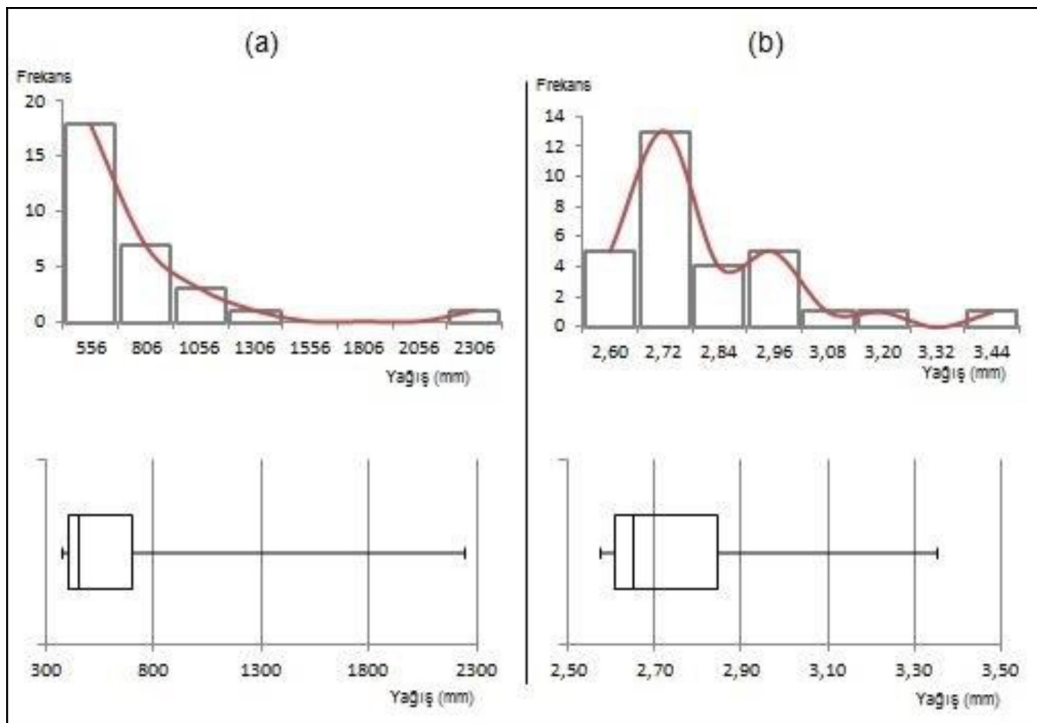
OK ve IDW yöntemleri ile elde edilen mekânsal yağış dağılımı haritaları Şekil 5'de verilmiştir. Her iki yöntemle elden edilen haritalar; Karadeniz sahil şeridine yaklaşıldığında yağış değerlerinin artış, havza merkezine doğru ise azalış eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Veri kümesine ait ölçüm değerleri ile IDW ve OK kestirimleri bir arada değerlendirilmiştir. OK yöntemi ile yapılan kestirimlerin, 24 istasyonda gerçek ölçüm değerlerine daha yakın olduğu saptanmıştır (Çizelge 5). Her iki yöntemde ölçülen gerçek rasat değerlerine göre büyük sapmalar, havzanın kuzey doğu ve güney aksında yer alan istasyonlarda gerçekleşmiştir.

Kestirimlerde en büyük ve en küçük mutlak sapmalar IDW yönteminde hesaplanmıştır. En büyük mutlak sapma Rize istasyonunda 1654.54 mm ve en küçük mutlak sapma Tosya istasyonunda 4.86 mm olarak hesaplanmıştır.

Ölçüm istasyonlarına ait Bırakımlı Çapraz Geçerlilik doğruluk analizine göre hesaplanan hata değerleri Çizelge 6'da verilmiştir. OK yöntemi ile hesaplanan RMSE değeri IDW yöntemi ile hesaplanan değerlere göre daha düşüktür. Benzer şekilde MAE değeri, OK yönteminde sifra daha yakındır.

Deterministik yöntemlerden IDW ve stokastik yöntemlerden OK yönteminin karşılaştırıldığı çalışmanın ikinci aşamasında, OK yöntemi ile yapılan kestirimler daha doğru sonuçlar vermiştir. Çalışmada, çalışma alanını temsil eden en uygun enterpolasyon yöntemi OK olarak belirlenmiştir. Çalışmanın üçüncü kıs-



Şekil 2. Veri kümesine ait histogram ve kutu grafikler. (a) Orijinal veri kümesine ait (b) Logaritmik dönüşüm yapılmış veri kümesine ait.

Figure 2. Histogram and box plot graphs of data set. (a)Original data set (b) Logarithmic conversion.

Çizelge 4. Teorik yarivariogram modelleri ve hata değerleri.

Table 4. Theoretical semivariogram models and error values.

	RMSE	RMSSE
Üssel (Exponential)	0.1591	0.9487
Küresel (Spherical)	0.1510	0.9597
Gaussian	0.1690	1.4830
Dairesel (Circular)	0.1470	0.9908

RMSE: Karakök Ortalama Hata

RMSSE:Standardize Karekök Ortalama Hata

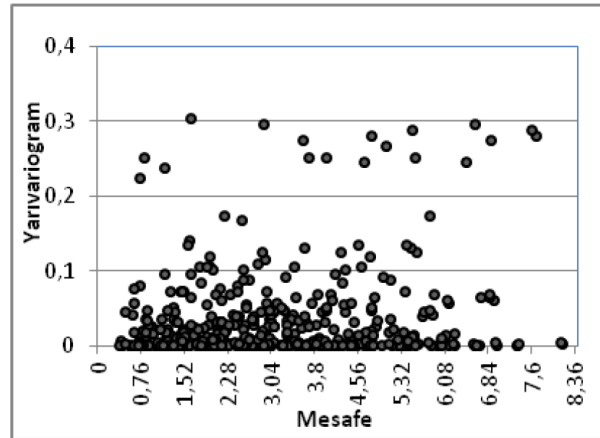
mini oluşturan; otuzar yıllık iki dönemi temsil eden mekânsal yağış haritalarının oluşturulması ve değişimin araştırılması için jeostatistiksel enterpolasyon yöntemi olan OK kullanılmıştır.

1954 – 1984 ve 1984 – 2014 dönemlerine ait Yeşilirmak Havzası'nda meydana gelen mekânsal yağış dağılımı haritaları sırası ile Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.

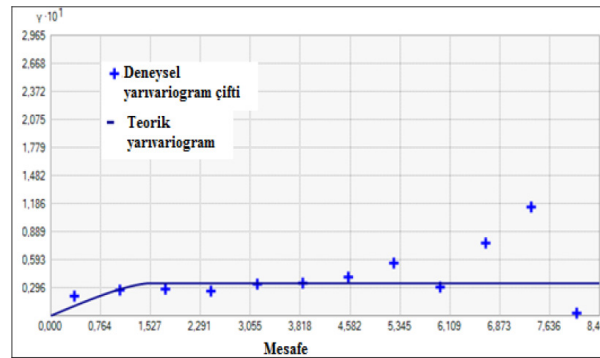
1954 – 1984 yılları arasındaki otuz yıllık döneme ait mekânsal yağış dağılımı incelendiğinde, en yüksek

yağış kuşağı havzanın kuzey aksında yer almaktadır. En düşük yağış ise Çekerek Çayı'nın güneyi ile Bozok Platosu'nun kuzeyinde yer alan geniş bir kuşak üzerinde kaydedilmiştir. Dönemde, genel olarak havzanın kuzeyi güneyine göre daha fazla yağış almıştır.

1984 – 2014 yılları arasını kapsayan otuz yıllık döneme ait mekânsal yağış dağılımı incelendiğinde, havza genelinde yağış kuşaklarının önceki dönem ile benzer olduğu belirlenmiştir. İkinci otuz yıllık dönemde, hav-



Şekil 3. Veri kümesine ait yarıvariogram bulutu.  
Figure 3. Semivariogram cloud of data set.



Şekil 4. Veri kümesine ait deneysel ve teorik yarıvariogram.  
Figure 4. Experimental and theoretical semivariogram of data set.

zaya düşen yağış miktarının genel olarak arttığı tespit edilmiştir. Özellikle havza kuzeyinde yağış yüksekliği ortalaması 645 – 676 mm aralığından, 708 – 758 mm aralığına yükselmiştir. Benzer şekilde havzanın güneybatısında yağış yüksekliği 490 – 512 mm aralığından, 560 – 575 mm aralığına yükselmiştir. Bir önceki dönemde havzanın en az yağış alan kuşağı, bu dönemde daralmış ve kuşaktaki yağış yüksekliği artmıştır. Havzanın en az yağış alan kuşağı ise 354 – 380 mm aralığı ile Kelkit Çayı'nın güneyinde, Erzincan'ın kuzeyinde yer alan dar kuşak olmuştur.

Genel olarak mekânsal yağış dağılımındaki değişim, 1954 – 1984 ve 1984 – 2014 yılları arasında incelendiğinde iki temel bulgu ortaya çıkmaktadır. Bulgulardan ilki, havzaya düşen yağış miktarının artış eğilimi göstermesidir. Artış eğilimi özellikle kuzey – güney aksında daha belirgindir. Diğer temel bulgu ise havzanın en az yağış yüksekliğe sahip olan kuşağının değişmesidir. 1954 – 1984 döneminde, en az

yağış alan kuşak Çekerek Çayı'nın güneyi ile Bozok Platosu'nun kuzeyinde yer alırken; 1984 – 2014 döneminde en az yağış alan kuşak, Kelkit Çayı'nın güneyinde, Erzincan'ın kuzeyinde yer almıştır.

## SONUÇLAR ve TARTIŞMA

1954 – 2014 yılları arasında Yeşilirmak Havzası'nda meydana gelen mekânsal yağış dağılımına ait değişimin incelendiği bu çalışmanın iki temel sonucu bulunmaktadır. Sonuçlardan ilki, jeostatistiksel bir enterpolasyon yöntemi olan OK'dan elde edilen modelin, deterministik bir enterpolasyon yöntemi olan IDW'den elde edilen modele göre daha iyi kestirim sonuçları vermesidir. Çalışmanın bir diğer sonucu ise ikinci otuz yıllık dönemde havza genelinde yağış yüksekliğinin artış eğiliminde olmasıdır.

Çizelge 5. İstasyonlara ait rasat ve kestirim değerleri.  
Table 5. Observed and estimated values of stations.

İstasyon adı	Uzun Dönem Rasat Ortalaması	Kestirim		İstasyon adı	Uzun Dönem Rasat Ortalaması	Kestirim	
		IDW	OK			IDW	OK
AMASYA	2.65	2.69	2.66	KANGAL	2.61	2.69	2.67
ANKARA	2.6	2.62	2.61	KAYSERİ	2.59	2.63	2.65
ARAPKIR	2.88	2.71	2.7	KIRSEHIR	2.58	2.66	2.71
BAFRA	2.89	2.78	2.82	MERZIFON	2.62	2.69	2.68
BAYBURT	2.64	2.85	2.78	ORDU	3.02	2.89	2.97
CANKIRI	2.61	2.64	2.63	RIZE	3.35	2.77	2.83
CEMISGEZEK	2.77	2.81	2.91	SAMSUN	2.85	2.8	2.81
CERKES	2.59	2.63	2.64	SEBINKARAHIS	2.76	2.84	2.84
CORUM	2.64	2.68	2.66	SINOP	2.83	2.74	2.76
DIVRIGI	2.58	2.78	2.72	SIVAS	2.64	2.69	2.62
ERZINCAN	2.57	2.82	2.7	TOKAT	2.64	2.71	2.7
GEMEREK	2.6	2.63	2.66	TOSYA	2.65	2.65	2.64
GİRESUN	3.1	2.86	2.91	TRABZON	2.95	2.85	2.99
GUMUSHANE	2.66	2.83	2.69	TUNCELI	2.96	2.72	2.72
ISPIR	2.68	2.94	3	YOZGAT	2.76	2.63	2.66

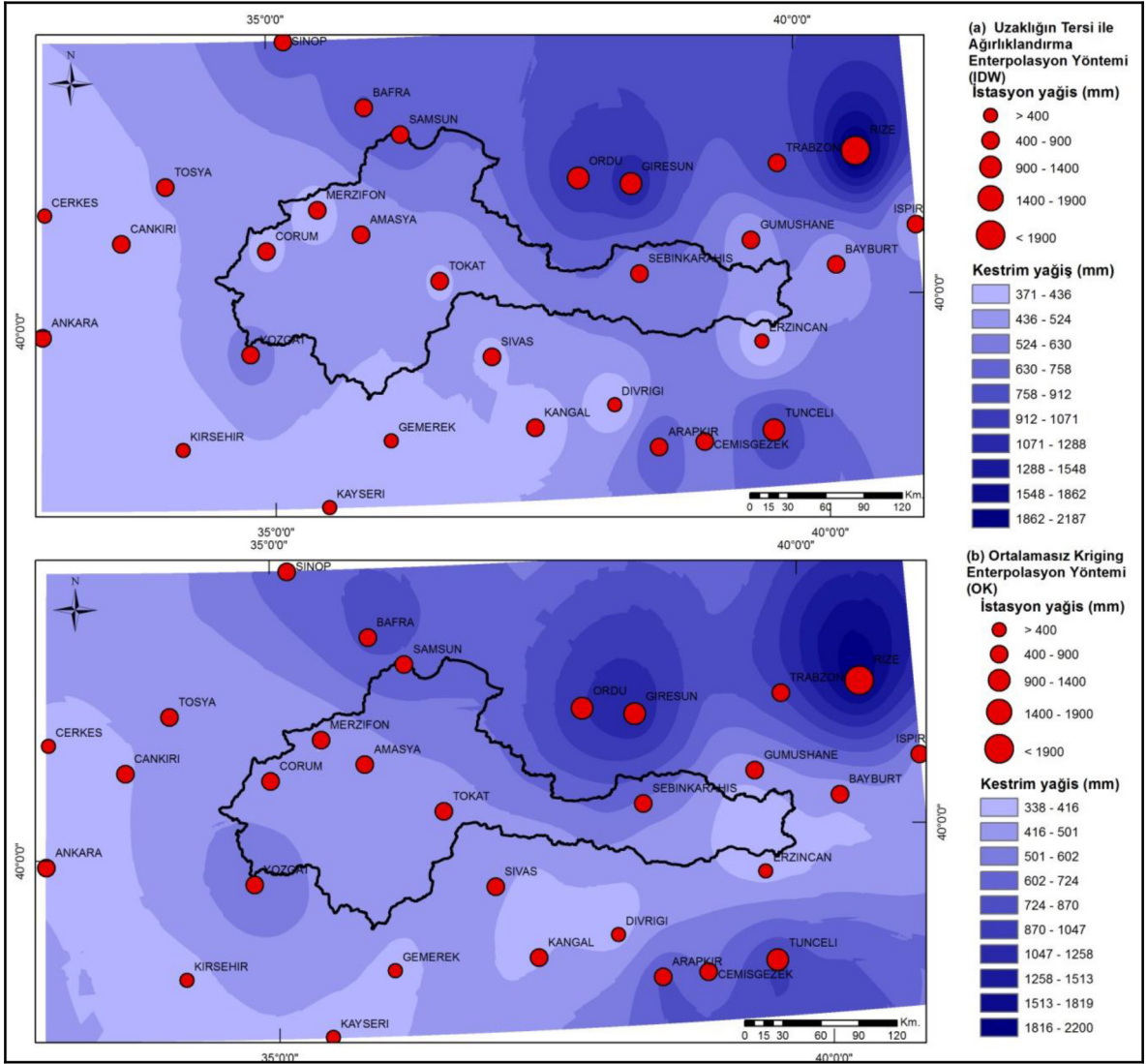
OK: Ortalamasız Kriging Enterpolasyon Yöntemi

IDW: Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma Enterpolasyon Yöntemi

Çalışma alanının temsili için seçilen MGİ'lerin çok büyük bir kısmı havza sınırları içerisinde yer almaktadır. Yeşilirmak Havzası içerisinde uzun dönem kesintisiz rasat verilerine sahip istasyon sayısının az olması sebebiyle komşu havzalarda yer alan istasyon verilerinden faydalanılmıştır. Havza drenaj alanı dışında yer alan MGİ verilerinin kullanılması tartışmaya açık bir konu olmakla beraber, deterministik ve stokastik yöntemlerin ihtiyaç duyduğu olabildiğince büyük veri kümesine ulaşmak için azami ölçekte kullanılması zorunlu olmuştur. Gerek havzadaki MGİ sayısının az olması, gerekse istasyonların coğrafi dağılımlarının homojen olmaması veri kümesinin havzayı temsil etme yetisini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum logaritmik dönüşüm uygulanmış veri setinde yer alan uç değerlerde açıkça görülmektedir.

Yeşilirmak Deltası'na ait kıyı çizgisi 1975'ten günümüze gerileme eğilimi göstermektedir (Avcı vd., 2003; Avcı et al., 2004; Köle vd., 2016). Bu gerilemede antropojenik bir etkinin olmadığı, bölgesel tektonik yapının korunduğu, hâkim rüzgâr, dalga etkisi vb. doğal etkenlerin değişmediği varsayılacak olursa; kıyı çizgisi gerilemesi yağış yüksekliği artış eğilimi ile örtüşmemektedir. Yağış yüksekliğinin artması ve diğer faktörlerin değişmemesi koşulunda, akarsuyun daha fazla aşındırma faaliyeti yaparak daha fazla sediman taşınması gerekmektedir. Bu durumda, deltanın deniz yönünde gelişimine devam etmesi beklenen bir sonuç olarak karşımıza çıkacaktır. Beklenen sonucun tersine, deltada gerileme süreci hakimdir. Gerileme süreci, önceki araştırmacılar tarafından antropojenik müdahale ile açıklanmaktadır. Delta gelişiminde hakim olan doğal hiçbir faktörün değişmediği koşulu ve





Şekil 5. Mekânsal yağış dağılımı.(a) Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklılandırma enterpolasyon yöntemine göre (b) Ortalamasız Kriging enterpolasyon yöntemine göre.

Figure 5. Spatial distribution of precipitation. (a) Inverse Distance Weighted interpolation method (b) Ordinary Kriging interpolation method.

Çizelge 6. Veri kümesine ait hata değerleri.

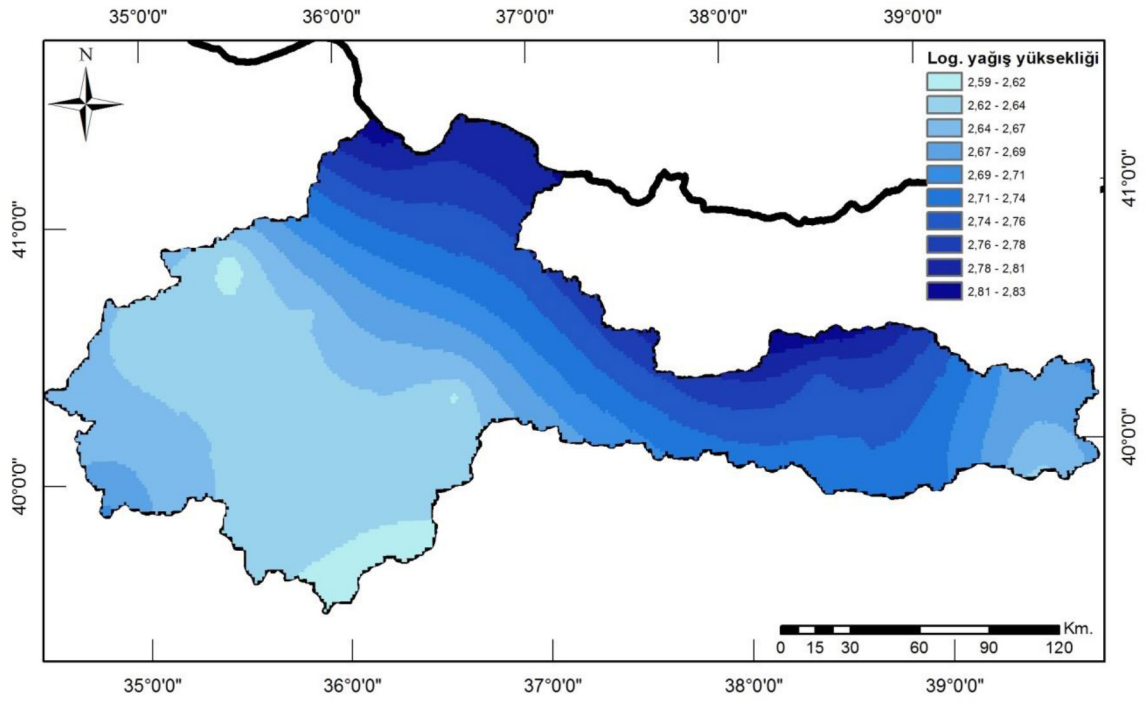
Table 6. Error values of data set.

	ME	MAE	RMSE
IDW	-0.001	0.122	0.1670
OK	0.002	0.102	0.1470

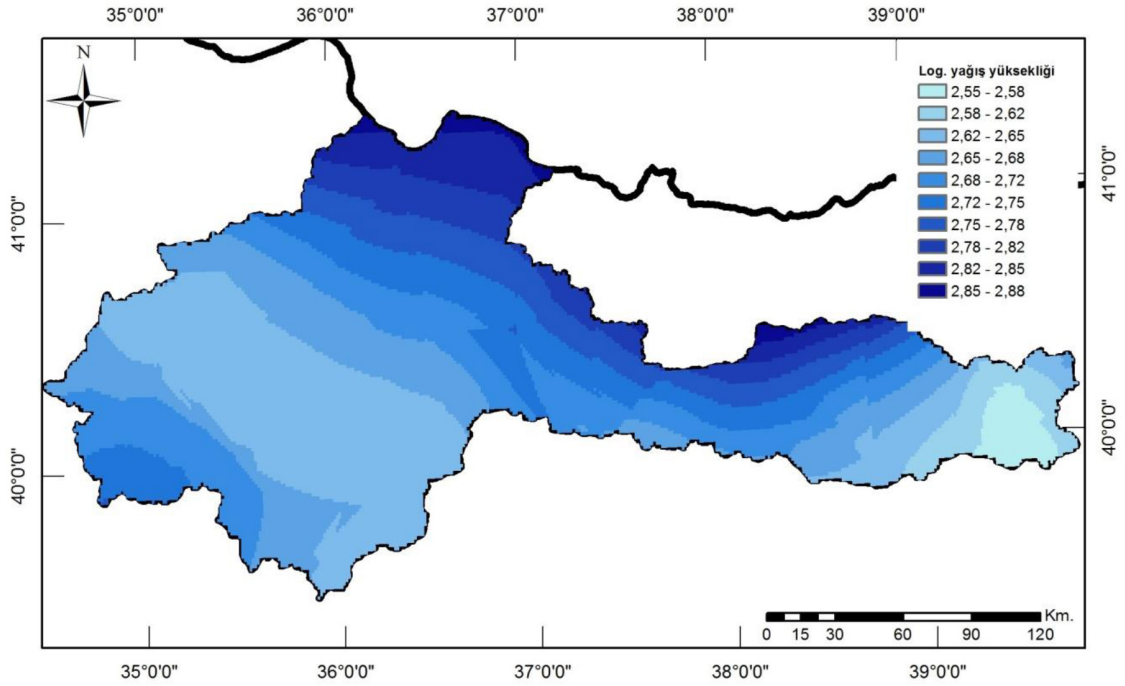
ME: Ortalama Hata

MAE: Mutlak Ortalama Hata

RMSE: Karakök Ortalama Hata



Şekil 6. Yeşilirmak Havzası için mekânsal yağış dağılımı (1954 – 1984).  
 Figure 6. Spatial distribution of precipitation for Yeşilirmak Basin (1954 – 1984).



Şekil 7. Yeşilirmak Havzası için mekânsal yağış dağılımı (1984 – 2014).  
 Figure 7. Spatial distribution of precipitation for Yeşilirmak Basin (1984 – 2014).

yağış yüksekliğinde yaşanan artış, antropojenik etkinin varlığını da kuvvetlendirmektedir.

Antropojenik müdahalenin ne oranda delta gelişiminde etken olduğunun ortaya çıkartılması gerekmektedir. Bu nedenle, delta oluşumunda etken bölgesel tektonik yapı, hâkim rüzgâr, dalga etkisi vb. doğal etkenlerin zamana bağlı olarak olası değişiminin detaylı bir şekilde araştırılması ve bir arada yorumlanması gerekmektedir. Bu sayede daha anlamlı sonuçlara ulaşılabileceği düşünülmektedir.

## KATKI BELİRTME

Yazar; bu çalışmanın olgunlaşmasında değerli görüşlerinden yararlanan, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Coğrafya Bölümü öğretim üyesi Dr. Olgu Aydın'a teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

Ahrens, B., 2006. Distance in spatial interpolation of daily rain gauge data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(2), 197- 208.

Atalay, İ., 1982. Türkiye Jeomorfolojisine Giriş. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi. Yayın No: 9, İzmir.

Atalay, İ., 1986. Uygulamalı Hidrografya. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi. Yayın No: 38, İzmir.

Aydın, O., 2014. Türkiye'de yıllık ortalama toplam yağışın kriging yöntemiyle belirlenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara (yayımlanmamış).

Aydın, O., ve Çiçek, İ., 2013. Ege bölgesindeki yağışın mekânsal dağılımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11 (2), 101-120.

Aydın, O., and Çiçek, İ., 2015. Geostatistical Interpolation of Precipitation in Turkey. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken.

Avcı, K.M., Erkal, T., ve San, B.T., 2003. Yeşilirmak Deltası kıyı çizgisi değişiminin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemi ile incelenmesi. *Maden Tetkik ve Arama (MTA)*, Rapor no: 10612, Ankara.

Avcı, K.M., Erkal, T., and San, B.T., 2004. Practical detection of coastline changes of the Yeşilirmak Delta using remote sensing and GIS techniques, northern Turkey. *Proceedings of International Symposium on Earth System Sciences 2004*, İstanbul.

Bailey, T.C., and Gatrell, A.C., 1995. *Interactive Spatial Data Analysis*. Addison Wesley Longman Limited, Harlow.

Bayazıt, M., 1995. Hidroloji. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

Bivand, R.S., Pebesma, E.J., and Gómez-Rubio, V., 2008. *Applied Spatial Data Analysis with R (Use R)*. Springer, New York.

Chun, Y., and Griffiths, D.A., 2013. *Spatial Statistics&Geostatistics*. SAGE, London.

Delhomme, J.P., 1978. Kriging in the hydrosociences. *Advantages in Water Resources*, 1(5) , 251-266.

Erkal, T., 1991. Çarşamba ovası (yeşilirmak deltası) ve çevresinin jeomorfolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul (yayımlanmamış).

Erkal, T., 1995. Plio-Quaternary evolution of the Yeşilirmak Delta, northern Turkey. *Geology of the Black Sea Region*, A.Erler, T.Ercan, E.Bingöl and S.Örçen (eds.), *Proceedings of the International Symposium on the Geology of the Black Sea Region*, Ankara.

Ertunç, G., 2013. Kovaryans eşlemeli krigleme yöntemi ile kaynak kestirimi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara (yayımlanmamış).

Fetter, C.W., 1994. *Applied Hydrogeology*. Prentice Hall, New Jersey.

Fisk, H.N., 1955. Sand facies of recent Mississippi Delta deposit. *4th World Petroleum Congress*. Rome.

Fotheringham, A., Brunson, C., and Charlton, M., 2000. *Quantitative Geography Perspectives on Spatial Data Analysis*. SAGE, London.

Frazier, D.E., 1967. Recent deltaic deposits of the Mississippi River: Their development and chronology. *Gulf Coast Association of Geological Societies*, 17, 287-315.

Franke, R., and Nielson, G., 1980. Smooth interpolation of large sets of scattered data. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 15, 1691-1704.

Hengl, T., 2009. *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Isaaks, E., and Srivastava, R., 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.

- İnal, C., ve Yiğit C.O., 2003. Jeodezik uygulamalarda Kriging enterpolasyon yönteminin kullanılabilirliği. TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Konya.
- Jagannathan, P., Arlery, R., Ten, K.H., and Zavarina, M., 1967. A note on climatological normals. World Meteorological Organization (WMO), *Technical Note 84*, Geneva.
- Kalkhan, M.A., 2011. Spatial Statistics Geospatial Information Modelling and Thematic Mapping. CRC Press, USA.
- Kerey, E.İ., ve Erkal, T., 2014. Sedimantoloji. Nobel, Ankara.
- Köle, M.M, ve Ataol, M., 2016. Yeşilirmak Deltası'nda 2000 - 2016 yılları arasında gözlenen kıyı erozyonu. 4.Uluslararası Coğrafya Sempozyumu GEOMED 2016, R. Efe, İ. Cürebal ve L. Levai (edt.), Antalya.
- Krige, D., 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, 52, 119-139.
- Krivoruchko, K., Gotway, C., and Zhigimont, A., 2003. Statistical tools for regional data analysis using GIS. GIS'03 Proceedings of the 11th Association for Computing Machinery (ACM) International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, New Orleans.
- Liu, F, Yuan, L., Yang, Q., Ou, S., Xie, L., and Cui, X., 2014. Hydrological responses to the combined influence of diverse human activities in the Pearl River delta, China. *Catena*, 113, 41-55.
- Saraç, C., 1994. Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel simülasyon yöntemlerinin kullanılması. *Jeoloji Mühendisliği*, 44-45, 21-27.
- Tercan, A.E., ve Saraç, C., 1998. Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın no 48, Ankara.
- Thompson, M., 1983. Control Procedures in Geochemical analysis. In statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting, Hovvarth, R.J. (eds.), Elsevier, Amsterdam.
- Ünver, Ö., Gamgam, H., ve Altunkaynak, B., 2013. Temel İstatistik Yöntemler. Seçkin, Ankara.
- Vieira, S.R., Hatfield, J.L., Nielsen, D.R., and Biggar, J.W., 1983. Geo-statistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 51(3), 1-75.
- Xing, W., and ChaoYu, W., 2011. Holocene delta evolution and sequence stratigraphy of the Pearl River Delta in South China. *Science China Earth Sciences*, 54(10), 1523-1541.

## YAZIM KURALLARI

Yerbilimleri Dergisi'ne gönderilecek yazılar, daha önce yayımlanmamış, ayrıca eş zamanlı olarak diğer bir dergiye veya sempozyum, kongre vb. gibi etkinliklerde sunulmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Ayrıca, dergiye sunulacak yazıyla ilişkili diğer makalelerin içeriklerindeki çakışma, en alt düzeyde olmalı ve giriş/tartışma bölümleriyle sınırlı kalmalıdır. Yazarlar, yazılarını hazırlarken, derginin "Yazım Kuralları" başlıklı ayrıntılı kılavuzundan yararlanmalıdırlar. Editörler, bu kılavuza uygun şekilde hazırlanmamış yazıları yazar(lar)ına iade edebilirler. Çok yazarlı yazılarda yazarlardan biri "Başvurulacak Yazar" konumunda olmalıdır. Tüm yazarların çalışmada yer aldığı, yazıyı onayladıkları ve yazının dergiye sunulmasını kabul ettikleri esas alınır. Dergiye sunulan yazılar, önce Baş Editör ile Editörler tarafından incelenir. Daha sonra makalenin değerlendirilmesi, düzeltilmesi ve yayıma kabulü veya kabul edilmemesi gibi işlemlerin yürütülmesi amacıyla bir Editör, Baş Editör tarafından görevlendirilir. Yazılar, Yayın Danışma Kurulu'ndan ve/veya bu kurulun dışından seçilmiş en az iki hakeme gönderilir. Yazıları değerlendirirken hakemlerden gizlilik ilkesine uymaları istenir ve adlarının açıklanıp açıklanmaması kendilerinin tercihine bırakılır. Yazılar, hakemlerin görüşleri alındıktan sonra, ayrıca Baş Editör ve ilgili Editör tarafından da değerlendirilir. Değerlendirmenin sonucuna göre yazının yayıma kabulü veya reddi ile ilgili son karar Baş Editör tarafından verilir.

## GÖNDERİLECEK YAZILARIN NİTELİĞİ

Dergide yerbilimlerinin değişik alanlarında (jeoloji, jeofizik, madencilik ve jeomorfoloji) gerçekleştirilmiş özgün araştırmalar, yeni gelişmeler ve vaka sunumları ile ilgili yazılara yer verilmektedir. Kabul edilen başlıca yazı türleri, "Özgün Araştırma Makaleleri" ve "Teknik Notlar"dır. Fikirler, mevcut tekniklere ilişkin destekleyici çalışmalar veya ön sonuçlar Teknik Not olarak kabul edilir. Teknik Notlar, genel olarak, makalelerden daha kısa yazılar olup, bu yazılarda Öz bölümünün verilmesine gerek yoktur. Bunların yanı sıra, önceki çalışmaları veya bir konuyu eleştirel bir yaklaşımla derleyen ve o konuda bazı katkılar da sağlayan "Eleştirel Derlemeler" ile dergide yayımlanmış makalelere ilişkin "Tartışmalar" da sunulabilir. Ancak Teknik Notlarla ilgili Tartışma türü yazılara dergide yer verilmez.

## YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

Yazılar e-posta ile ULAKBİM DergiPark'a, Yerbilimleri Dergisi'ne gönderilir. Gönderiler "Kapak Dosyası" ve "Ana Dosya" olmak üzere iki Word dosyası halinde olmalıdır. Kapak dosyası içerisinde tüm yazarların iletişim (adres, e-posta, telefon numarası) bilgileri bulunmalıdır. Ana dosya başlık, öz, anahtar kelimeler, metnin ana gövdesi, sonuçlar, teşekkür ve referansları içeren dosyadır. Çizelgeler ve açıklamaları, şekiller dizini ve şekiller de ana dosya içinde en sonda sıralanmalıdır. Ana dosyada tüm metne satır numarası verilmelidir. Ayrıca başlığın, şekil alt yazılarının ve çizelge açıklamalarının İngilizce çevirileri de eklenmelidir (İngilizce yazılan makaleler için ise Türkçe çevirileri eklenmelidir). Ana dosya yazım kurallarına uygun şekilde düzenlenmiş olmalıdır.



## YAZILARIN HAZIRLANMASI

Derginin yayın dili Türkçe ve İngilizcedir. Yazarların ana dillerinin Türkçe olmaması durumunda, yazıların başlığı ve özeti ile çizelge ve şekillerin başlıkları Editörlük tarafından Türkçeye çevrilir. İngilizce sunulacak yazılarda hem İngiliz, hem de Amerikan İngilizcesi kullanılabilir. Ana dili İngilizce olmayan yazarlara, yazılarını Editörlüğe göndermeden önce, gramer ve üslup açısından, ana dili İngilizce olan bir kişiden katkı almaları özellikle önerilir. Yazılar, genel olarak, aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır.

- a) Başlık (Türkçe ve İngilizce),
- b) Yazar adları (koyu ve tamamı büyük harfle) ve adresleri (italik ve küçük harfle) ile başvurulacak yazarın e-posta adresi (ilk sayfanın sol alt kısmında),
- c) Öz (Türkçe ve İngilizce),
- d) Anahtar Kelimeler (Türkçe ve İngilizce),
- e) Giriş (amaç, kapsam ve yöntem),
- f) Ana metin (kullanılan yöntemler, çalışılan malzeme(ler), tanımlamalar, analizler vd.),
- g) “Sonuçlar ve Tartışma” veya “Tartışma ve Öneriler”
- h) Katkı Belirtme,
- i) Kaynaklar,
- j) Ekler,
- k) Çizelgeler,
- l) Şekiller Dizini,
- m) Şekiller,
- n) Levhalar.

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 cm x 21 cm) boyutundaki sayfaların bir yüzüne, kenarlardan en az 2.5 cm boşluk bırakılarak, 1.5 cm aralıkla ve 12 puntoyla (Arial) yazılmalı, tüm sayfalarına ve ayrıca metindeki her satıra (başlıklar dahil) numara verilmelidir.

## ÖZ

## GİRİŞ

## ANA BAŞLIK

### Birinci Derece Alt Başlık

### İkinci derece alt başlık

### Üçüncü derece alt başlık

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

## KATKI BELİRTME

## KAYNAKLAR

Yazılarda SI birimleri (örneğin; kPa, MPa, kN/m<sup>3</sup>) kullanılmalıdır. Bununla birlikte, eğer istenirse, bu birimlerin diğer sistemlerdeki karşılıkları da parantez içinde verilebilir (örneğin; “İncelenen kumtaşının birim hacim ağırlığı ve tek eksenli sıkışma dayanımı sırasıyla 24 kN/m<sup>3</sup> (2.4 kg/m<sup>3</sup>) ve 60 MPa (600 kgf/cm<sup>2</sup>)’dir”). Rakamların ondalık hanelerinin gösteriminde virgöl yerine nokta kullanılmalıdır. Yazılarda semboller (örneğin  $\Sigma$ ,  $\sqrt{\quad}$ ) kullanılmamalıdır. Bunların yerine, harflerin veya rakamların (örneğin; (a), (b),.....veya (i), (ii).....veya (1), (2).....) kullanılması önerilir. Dip notu verilmesinden kaçınılmalıdır. Özellikle reklam niteliği taşıyan yazılar kabul edilmez. Yayına kabul edilmesi koşuluyla, derginin yazım kurallarına uygun şekilde hazırlanmış yazılar, aşırı derecede düzeltmeye ihtiyaç gösteren yazılara göre daha kısa sürede basılır. 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-posta adresleri (başvurulacak yazar belirtilerek) ve telefon numaraları da ayrıca belirtilmelidir.

**Başlık ve Yazarlar:** Yazının başlığı, çalışmanın içeriğini anlaşılır şekilde yansıtmalı ve makul uzunlukta olmalıdır. Eğer yazı Türkçe hazırlanmışsa, Türkçe başlığı (koyu ve küçük harfle) İngilizce başlık (italik ve küçük harfle) izlemelidir. İngilizce hazırlanmış yazılarda ise, İngilizce başlık Türkçe başlıktan önce ve yukarıda belirtilen yazım kuralına göre verilmelidir.

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

**Anahtar Kelimeler:** Öz ve Abstract’ın altında 7 kelimeyi aşmayacak şekilde ve yazının konusunu yansıtan anahtar kelimeler Türkçe ve İngilizce olarak verilmelidir. Anahtar kelimeler, alfabetik sırayla küçük harfle (ilk anahtar kelimenin ilk harfi büyük) yazılmalı ve aralarına virgöl konmalıdır. Teknik not ve tartışma türü yazılarda, anahtar kelimelerin verilmesine gerek yoktur.

**Kaynaklar:** Gerek metinde, gerekse şekil ve çizelge açıklamalarında atıfta bulunulan tüm kaynaklar, metnin sonunda “KAYNAKLAR” başlığı altında listelenmelidir. Tek veya iki yazarlı makalelerde yazarlara atıfta bulunulmalıdır (örneğin; Barka ve Cadinsky-Cade, 1988; Hudson, 1997). İki'den fazla yazarlı makalelerde ilk yazarın adının yanına “vd”. (makale Türkçe yazılmış ise) veya “et al.” (makale İngilizce yazılmış ise) eki ve yazar adlarıyla yayım tarihi arasına da virgöl konmalıdır (örneğin; Vendeville vd., 1995 veya Vendeville et al., 1995). Metin içinde kaynaklara atıfta bulunurken, kaynaklar en eski tarihten başlayarak en güncel doğru tarih sırasıyla verilmeli ve her kaynağın arasına noktalı virgöl konmalıdır (örneğin; “Laboratuvar ve arazide çeşitli çalışmalar Komar ve Li (1986); Schmidt ve Gintz (1995) tarafından yapılmıştır”). Makalenin İngilizce yazılması halinde, yukarıda verilen örneklerdeki “ve” ile “vd.”nin yerine “and” ve “et al.” kullanılmalıdır. Eğer bir kaynağa doğrudan ulaşılamıyor, ancak diğer bir kaynaktan dolaylı olarak alınıyorsa, ulaşılamayan bu kaynak alıntı yapılan diğer kaynakla birlikte aşağıda belirtilen şekilde çapraz referans olarak verilmelidir: “.....Gamble (1971; Franklin ve Chandra, 1972). Sözlü ve yazılı görüşmelere de, yukarıda belirtilen örneklere benzer şekilde, metin içinde atıfta bulunulmalı ve ayrıca Kaynaklar dizininde de yer verilmelidir (örneğin; Gerçek (2001)).

#### **Atıfta Bulunan Kaynakların “KAYNAKLAR” Bölümünde Sunulmasına İlişkin Örnekler:**

##### **a) Dergiler**

Barka, A.A., and Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7 (1), 663-684.

Yazar(lar), Tarih. Makalenin başlığı. Derginin açık adı, cilt numarası, sayfa numarası.

##### **b) Bildiri Tam Metinleri ve Bildiri Özleri**

###### **Bildiri tam metinleri:**

Stephansson, O., 2003. Estimation of virgin state of stress and determination of final rock stress model. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Rock Stress-RS Kumamoto'03*, K.Sugawara, Y.Obara and A.Sato (eds.), A.A.Balkama, Tokyo.

###### **Bildiri özleri:**

Bouchon, M., Toksöz, M.N., Karabulut, H., Boun, M.P., Dietrich, M. and Aktar, M., 2002. Space and times evaluation of rupture and faulting during the 1999 Gölcük, İzmit (Turkey) earthquake. *1st International Symposium of the Faculty of Mines (İTÜ) on Earth Sciences and Engineering, İTÜ, İstanbul, Abstracts, p.51.*

**Yazar(lar), Tarih, Bildirinin başlığı:**

Sempozyum veya kongrenin başlığı, editör(ler)in adı (Editors: Johansen, Jeanne Duus, Frosch, Peter Jérôme, Lepoittevin, Jean-Pierre (Eds.)), basımevinin adı ve yeri, (cilt numarası), sayfa numarası.

**CD'ye yüklenmiş bildiriler:**

Aydan, Ö., Sezaki, M., and Yazar, R., 1996. The seismic characteristics of Turkish earthquakes. 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, CD Paper No. 1025.

**c) Kitaplar**

Turcotte, D.L., 1975. Fractals and Chaos in Geology and Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge.

Yazar(lar), Tarih. Kitabın Adı. Basımevinin Adı ve Yeri.

**d) Yayımlanmış Raporlar ve Tezler**

Fairhurst, C., Brown, E.T., Marsly, G., Detounay, E., Nikolaevskiy, V., Pearson, J.R.A., and Townley, L., 1998. Underground nuclear testing in French Polynesia : Stability and hydrogeology issues. Report of International Geomechanical Commission to the French Government, Vol. I and II.

Yazar(lar), Tarih. Raporun Başlığı. Kuruluşun Adı, Rapor No., Yer adı (yayımlanmamış, raporun dili).

**e) Yayımlanmamış Raporlar ve Tezler**

Deere, D.U., and Miller, R.P., 1966. Engineering classification and index properties for intact rock. Air Force Weapons Laboratory, Technical Report No. AFWL-TR-65-116, Kirtland Air Force Base, New Mexico (unpublished).

Yazar(lar), Tarih. Raporun başlığı. Kuruluşun Adı, Rapor No., Kent Adı (yayımlanmamış).

Meyer, W.H., 1977. Computer modeling of electro-magnetic prospecting methods. Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, USA (yayımlanmamış).

Yazar, Tarih. Tezin başlığı. Tezin türü (Y. Lisans veya Doktora), Üniversite veya Enstitü Adı, Kent Adı (yayımlanmamış).

**f) Kişisel Görüşme**

Gerçek, H., 2001. Kişisel görüşme. Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.

## g) İnternette İndirilen Bilgiler

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

Kuruluş Adı, Tarih. Web adresi, web sitesine giriş tarihi.

Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır. Türkçe kaynaklarla ilgili bazı örnekler aşağıda verilmiştir. Bu kaynakların başlıklarının İngilizce verilmesi veya makalenin İngilizce yazılması halinde kaynağın en sonuna parantez içinde "in Turkish" ibaresi eklenmelidir.

Gülsoy, Ö.Y., Orhan, C.E., Can, N.M. ve Bayraktar, İ., 2004. Manyetik ayırma ve flotasyonla magmatik ve metamorfik kayalardan feldispat üretimi. *Yerbilimleri*, 30, 49-61.

Doğan, R., 2003. Kırşehir Masifi kuzeyinin tektonik ve magmatik evrimi konusunda bazı düşünceler. 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri, 66-67.

Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.

"Hazırlanmakta" veya "incelemeye sunulmuş" olan makalelere veya bildirilere atıfta bulunulmamalı ve Kaynaklar dizininde yer verilmemelidir. Çapraz referans verilmesi halinde, kaynaklar dizininde sadece orijinal kaynağın alındığı diğer kaynağın dolaylı olarak verilmesi gerekir. Aynı yazarın veya çok yazarlı yayınlarda ilk yazarın adının bulunduğu ve aynı tarihte yayımlanmış birden fazla sayıda kaynak için, kaynakların ayırt edilebilmesi açısından yayın tarihlerinin yanına "a", "b" gibi harfler eklenmelidir (örneğin; Goodman 1988a ve 1988b).

### Katkı Belirtme:

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.

### 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.

$\tau = c + \sigma \tan \phi$

Burada;  $\tau$ : makaslama dayanımı,  $c$ : kohezyon,  $\sigma$ : normal gerilme ve  $\phi$ : içsel sürtünme açısıdır". Eşitliklerde kullanılan alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterle yazılmalıdır (örneğin;  $I_d \times 2$ ). Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır (örneğin;  $\sigma_{cmass} = \sigma_{cs}^{0.5}$ ). Çarpım işlemini göstermek için herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak gerekli durumlarda "\*" işareti tercih edilmelidir (örneğin;  $y = 5 \times 10^{-3}$ ). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" işareti kullanılmalıdır. Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla  $Ca^{++}$  ve  $CO_3^{-}$  yerine  $Ca^{+2}$  ve  $CO_3^{-2}$  tercih edilmelidir. Metinde eşitliklere "eşitlik (1)" şeklinde atıfta



bulunmalıdır. Gerekirse, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.

### **Çizelgeler:**

Çizelgeler, başlıklarıyla birlikte (çizelge başlıkları ayrı bir sayfada liste halinde verilmemelidir), derginin sayfalarındaki baskı alanını (15.8 cm x 22.5 cm) aşmayacak şekilde hazırlanmalı, metnin sonunda her bir çizelge ayrı birer sayfada bulunacak şekilde ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısmında hem Türkçe, hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır. 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 derginin 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 derginin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Her çizelge ayrı sayfalarda olacak şekilde metnin sonunda (Kaynaklar dizininden sonra) sunulmalıdır. Çizelgelerdeki kısaltma ve simgeler daha küçük karakterlerle çizelgelerin altında verilmelidir (örneğin; oc: tek eksenli sıkışma dayanımı; ll: illit vd.).

### **Şekiller:**

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller "Şekil" başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekillerin her biri JPG olarak hazırlanmalı şekil numarası yazılmalıdır. Şekil açıklamaları; Şekillerin altına yazılmamalı ve ayrı bir sayfaya konularak "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. Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15.8 cm (Genişlik) x 22.5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin derginin tek veya çift kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması ve mümkünse daha çok tek kolona göre tasarlanması önerilir. Özellikle haritalar, araziyle ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25,000 vb.) yerine, metrik sisteme uygun çizgisel 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 olması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır. Şekillerde açık gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen grafiklerde bu hususa dikkat edilmelidir. Gölgeleme belirgin, fotoğraflar 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. Levhalara ilişkin açıklamalar, hem Türkçe hem İngilizce olarak aynı sayfada verilmelidir.

#### **Ekler:**

Yöntemlere (bilinen yöntemler hariç) ilişkin özel ayrıntılar veya matematiksel işlemler için makalelerde eklere yer verilebilir. Bilgisayar programı listeleri de ek olarak kabul edilir.

## **YAYINA KABUL EDİLEN MAKALELERİN SUNUMU**

Yazarlar, makalelerinin yayıma kabulü halinde, makalenin düzeltilmiş son kopyasını elektronik ortamda Baş Editöre göndermelidir. Makaleler WORD ile hazırlanmalıdır. Tüm şekiller her bir şekil 300 dpi'den az olmamak koşuluyla JPG olarak ayrı sayfalarda yer almalıdır.

### **PROVA BASKILAR**

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

### **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, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne yazarlar adına telif hakkı alınmış yayınlarını koruma olanağı sağlamakla birlikte, yazar(lar)ın makalenin sahibi olma haklarından vazgeçtiği anlamına gelmemektedir. Telif Hakkı Devir Formu, en kısa sürede baş editöre gönderilmelidir. Bu form baş editöre ulaştırılıncaya değin, makale yayına kabul edilmiş olsa bile, baskıya gönderilmez.

Baş Editör: Dr. Mehmet Tekin YÜRÜR

Adres: Yerbilimleri Dergisi Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe Kampüsü, 06800 Çankaya, Ankara, Türkiye.

e-posta: yerbilimleri@hacettepe.edu.tr

Tel: +90 312 2977758 / +90 312 7807758

Faks: +90 312 2992075

## **INSTRUCTIONS FOR CONTRIBUTORS**

### **STATEMENT OF EDITORIAL AND PUBLICATION POLICIES**

Manuscripts submitted to YERBİLİMLERİ / Bulletin for Earth Sciences should have not been published or simultaneously submitted elsewhere. The overlap of contents between related papers should be at minimum, and normally confined to the introductory/discussion sections. Authors should consult the Journal's "Instructions for Contributors" for detailed stylistic guidelines during preparation of their manuscript. Editors may return manuscripts that are grossly inconsistent with these guidelines. One individual will need to be the Corresponding Author where the submitted manuscript is multi-authored. It will be assumed that all the authors have been involved in the work, have approved the manuscript, and have agreed to its submission. Manuscripts submitted to the Journal are initially evaluated by the Editor-in-Chief and Editors. The Editor-in-Chief then allocates the manuscript to an Associate Editor, to handle the reviewing, revision and acceptance or rejection procedures. Manuscripts are sent to at least two reviewers selected from the Editorial Advisory Board and/or external specialists. Reviewers are requested to treat the manuscript confidentially. They may choose to identify themselves or to remain anonymous. After the reviewers' comments have been received, the Editor-in-Chief and an Editor also review the papers. The Editor-in-Chief's judgment is final with regard to the review process and suitability for publication.

### **TYPES OF CONTRIBUTIONS**

The Journal is concerned with original research, new developments, and case studies in earth sciences (geology, geophysics, mining, and geomorphology). The two main types of contributions are "Original Research Papers" and "Technical Notes". Ideas, preliminary results and confirmations on existing techniques are suitable as Technical Notes. In general, Technical Notes are shorter than papers and do not require Abstracts. In addition, "Comprehensive Reviews" and "Discussion" of papers that have already appeared in the Journal may also be submitted. Discussions should not exceed three pages. There is no provision for the publication of Discussion of Technical Notes.

### **SUBMISSION OF MANUSCRIPTS**

Submissions shall be sent to DergiPark. Submissions should be in 2 word files as "Cover Page" and "Main Document". Contact information (e.g., address, e-mail, phone number) of all authors should be in cover page. Main Document is a file that includes title, abstract, keywords, main body, conclusions, acknowledgements, references. Table and figure captions as well as figures should also be at the end of main document. Line numbers should be added in main document. Figure, table captions and title of the manuscript should also be given in English (English manuscripts should contain Turkish title, figure and table captions). Main document should be arranged according to instructions.

## PREPARATION OF MANUSCRIPTS

The language of the Journal is both Turkish and English. 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 Journal. For manuscripts submitted in English, either British or American spelling is acceptable. 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. Manuscripts should generally be structured as follows:

- (a) Title (English and Turkish)
- (b) Names of authors (bold and in capital) and their affiliations (italic and lower-case). The name and e-mail address of the corresponding author must appear at the bottom of the first page (in the left margin).
- (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) Acknowledgements (if necessary)
- (i) References
- (j) Appendices (if necessary)
- (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, acknowledgments, 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 (Arial) and with all pages numbered. All pages and all lines in the text (including headings) should be numbered.

## **ABSTRACT**

## **INTRODUCTION**

## **PRIMARY HEADING**

### **Primary Sub-Heading**

### **Secondary sub-heading**

### *Tertiary sub-heading*

## **CONCLUSIONS**

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

## **REFERENCES**

SI units (e.g. kPa, MPa, kN/m<sup>3</sup>) should be used, although corresponding metric units can be added in parentheses if desired (e.g. “The unit weight and compressive strength of the investigated sandstone are 24 kN/m<sup>3</sup> (2.4kg/m<sup>3</sup>) and 60 MPa (600 kgf/cm<sup>2</sup>), respectively).

A dot should be used instead of a comma to show decimal fractions (e.g. 23.1). Symbols (such as ■, √) should not be used in the manuscript. Instead of these, please use letters or numbers (i.e. (a), (b), .....or (i), (ii) ..., or (1), (2)). Foot notes should be avoided especially if they contain information which could equally well be included in the text. The use of proprietary names should be avoided. Papers essentially of an advertising nature will not be accepted. In the case of acceptance for publication, concise well prepared papers in the Journal style are likely to be published sooner than those in need of extensive editing and revision.

## **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 (the corresponding author should be indicated) and phone numbers of all authors.



## **Title and Authors**

The title of the paper should unambiguously reflect its content with reasonable length. If the paper is written in Turkish, the Turkish title (in bold-face type and lower-case) should be followed by the English title (italic and lower-case). If the paper is in English, the English title should appear before the Turkish title in the style mentioned above.

## **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.

## **Key Words**

The Abstract should include 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.

## **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. For single or dual-author papers, refer to the author(s) name(s) (without initials) and the year of publication in parentheses (e.g. Barka and Kadiansky-Cade (1988); Hudson (1990)).

For publications written by more than two authors, the name of the first author should be used, followed by "et al." and a comma should be put between the authors' names and the year of publication (e.g. Vendeville et al., 1995). The list of references in citations should be arranged chronologically from the earliest to the most recent, and separated by semi-colons (e.g. "Several studies, including both field and laboratory experiments (Komar and Li, 1986; Schmidt and Ergenziger, 1992; Carling et al., 1992; Schmidt and Gints, 1995) were carried out."). If reference is not directly obtained but can be found in another reference, cross-reference should be given as follows: ".....Gamble (1971; Franklin and Chandra, 1972)".

For verbal or written personal communications, the reference should be given in the text as above (e.g. Gerçek (2001)) and also be cited in the reference list.

## **Examples of layout of references**

### **(a) Journals**

Barka, A.A., and Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7 (1), 663-684.

Author(s), Date. Title of paper. Full Name of Journal, Vol. (No), pages.

### **(b) Proceedings and Abstracts**

#### *Proceedings:*

Stephansson, O., 2003. Estimation of virgin state of stress and determination of final rock stress model. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Rock Stress-RS Kumamoto'03*, K. Sugawara, Y. Obara and A. Sato (eds.), A.A. Balkama, Tokyo.

#### *Abstracts:*

Bouchon, M., Toksöz, M.N., Karabulut, H., Boun, M.P., Dictrich, M., and Aktar, M., 2002. Space and times evaluation of rupture and faulting during the 1999 Gölcük, İzmit (Turkey) earthquake. *1st International Symposium of the Faculty of Mines (İTÜ) on Earth Sciences and Engineering, İTÜ, İstanbul, Abstracts*, p.51.

Author(s), Date. Title of paper. Title of Symposium or Congress, Name of Editor(s), Name and Location of Publisher, Vol. (if any), pages.

#### *Proceedings on CD:*

Aydan, Ö., Sezaki, M., and Yarar, R., 1996. The seismic characteristics of Turkish earthquakes. *11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, CD Paper No. 1025*.

### **(c) Books**

Turcotte, D.L., 1975. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge.

Author(s), Date. Name of Book. Name and Location of Publisher.

### **(d) Published Reports**

Fairhurst, C., Brown, E.T., Marsly, G., Detounay, E., Nikolaevskiy, V., Pearson, J.R.A., and Townley, L., 1998. *Underground nuclear testing in French Polynesia: Stability and hydrogeology issues. Report of International Geomechanical Commission to the French Government, Vol. I and II*.

Author(s), Date. Title of report. Name of Organization, Vol. (if any).

### **(e) Unpublished Reports and Thesis**

Deere, D.U., and Miller, R.P., 1966. Engineering classification and index properties for intact rock. Air Force Weapons Laboratory, Technical Report No. AFWL-TR-65-116, Kirtland Air Force Base, New Mexico (unpublished).

Author(s), Date. Title of report. Name of Organization, Report No., Name of City (unpublished). Meyer, W.H., 1977. Computer modeling of electro-magnetic prospecting methods. PhD Thesis, University of California, Berkeley, USA (unpublished).

Author, Date. Title of thesis. Type of Thesis (MSc or PhD), Name of University or Institution, City, Country (unpublished).

### **(f) Personal Communications**

Gerçek, H., 2001. Personal communication. Mining Engineering Department of Karaelmas University, Zonguldak, Turkey.

### **(g) 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. Some examples are given below.

Gülsoy, Ö.Y., Orhan, C.E., Can, N.M. ve Bayraktar, İ., 2004. Manyetik ayırma ve flotasyonla magmatik ve metamorfik kayalardan feldispat üretimi. *Yerbilimleri*, 30, 49-61.

Doğan, R., 2003. Kırşehir Masifi kuzeyinin tektonik ve magmatik evrimi konusunda bazı düşünceler. 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri, 66-67.

Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. *Yapısal Jeoloji*. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.

Nazik, L., Törk, K., Özel, E., Mengi, H., Aksoy, B. ve Acar, C., 1998. Kuzey ve kuzeydoğu Trakya (Kırklareli- Tekirdağ)'daki doğal mağaralar. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No. 4384, Ankara (yayımlanmamış).

Papers "in preparation" or "submitted" are not valid references.

In the case of cross-referencing, only the reference in which the otherwise inaccessible reference is found should appear in the list of references.

For references, whose authors and dates of publication are the same, the letters "a, b," etc. should follow the date of each reference (e.g. Goodman, 1988a and 1988b).

## 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.

## 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. " $\tau = c + \sigma \tan \phi$  (1) Where  $\tau$  is the shear strength,  $c$  is cohesion,  $\sigma$  is normal stress and,  $\phi$  is internal friction angle."

Subscripts and superscripts should be given clearly and written in smaller character (e.g.  $1d$ ,  $x^2$ ). Instead of square-root symbol, an indice of 0.5 should be used (e.g.  $\sigma_{\text{mass}} = \sigma_{\text{CS}}^{0.5}$ ). For the use 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 chemical reactions, ions should be given as  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{CO}_3^{2-}$  (not  $\text{Ca}^{++}$  and  $\text{CO}_3 - -$ ). 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)), be represented in separate pages and be numbered consecutively. Both Turkish and English titles should appear at the top of a table. 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 represented on an separate page and appear after the text (after references). All abbreviations and symbols must be identified with smaller character underneath the tables (e.g.  $\sigma_c$ : uniaxial compressive strength;  $\text{II}$ : Illite; etc).

## **Illustrations**

All illustrations, whether diagrams, charts and photographs, should be of high quality JPG format, referred to as "Figures" and be numbered consecutively as they appear in the text. The number of the figure should be given at the top on the right-hand side of the paper. 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 offer tables together with a list of figure captions. The maximum 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. Foldout illustrations are not accepted. 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 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 Figures 1 and 2 (if more than one figures is referred to). Illustrations consisting of a set of fossil photographs should be given as "Plates". 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.

## **Appendices**

Appendices are encouraged for specific details of methods (except known methods) or mathematics. Computer program listings are also accepted as appendices.

## **FINAL SUBMISSION OF MANUSCRIPTS ACCEPTED FOR PUBLICATION**

On acceptance of a manuscript, authors should send the digital copy of the revised final draft to the Editor-in-Chief via e-mail. Manuscripts should be processed in WORD format. All illustrations should be sent as JPG files (not less than 300 dpi resolution) individually.

## **PROOFS**

One set of page proofs are sent to the corresponding author to be checked for typesetting/editing errors. Corrections should be restricted to typesetting errors, change or corrections that constitute departures from the article are not accepted. Proofs should be returned to the Editor-in-Chief within 3 days of receipt. Please note that the authors



are urged to check their proofs carefully before return, since the inclusion of late corrections cannot be guaranteed.

## **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 Earth Science Application and Research Center of Hacettepe University 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-in-Chief as soon as possible. Manuscripts accepted for publication will not be sent to print until this form is received by the Editor-in-Chief.

## **Editor-in-Chief**

Dr. Mehmet Tekin Yürür

Yerbilimleri Dergisi / Bulletin for Earth Sciences

Address: Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe Kampüsü, 06800 Çankaya, Ankara, Turkey

E-mail: [yerbilimleri@hacettepe.edu.tr](mailto:yerbilimleri@hacettepe.edu.tr)

Phone: +90 312 2977758 / +90 312 7807758 Fax: +90 312 2992075