

TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Ocak 2020 Cilt 63 Sayı 1
January 2020 Volume 63 Issue 1

ISSN 1016-9164



Antroposen ve Antropojenik Kirlilik / Anthropocene and Anthropogenic Pollution

TMMOB JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

TMMOB
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

YÖNETİM KURULU / EXECUTIVE BOARD

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

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ
Geological Bulletin of Turkey

Yayın Kurulu / Publication Board

Editör / Editor
Erdiç YİĞİTBAŞ
eyigitbas@comu.edu.tr

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Mustafa AVCIOĞLU
m_avcioglu@comu.edu.tr

İsmail Onur TUNÇ
onurtunc@comu.edu.tr

İngilizce Editörü / English Editor

Catherine YİĞİT

Graham Howard LEE

Editör Kurulu / Editorial Board

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

Yazışma Adresi

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

Corresponding Address

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

Yayın Türü	: Yaygın Süreli Yayın
Yayının Şekli	: 4 Aylık Türkçe - İngilizce
Yayın Sahibi	: TMMOB JMO Adına Hüseyin ALAN
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü	: Hüseyin ALAN
Yayının İdari Adresi	: Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe / Ankara Tel: 0 312 432 30 85 Faks: 0 312 434 23 88
Baskı (Printed by)	: ERS Matbaacılık Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı No: 87/7 İskitler / Ankara Tel: 0 312 384 54 88
Baskı Tarihi	: Ocak 2020
Baskı Adedi	: 500

TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Ocak 2020 Cilt 63 Sayı 1
January 2020 Volume 63 Issue 1

ISSN 1016-9164

İÇİNDEKİLER CONTENTS

Ökmen Sümer, Deniz Şanlıyüksel Yücel, Alper Baba Önsöz <i>Preface</i>	III
Ökmen Sümer, Akın Alak, Arman Tekin Antropojen ve Antroposen Kavramlarının Tarihsel Gelişimine Yerbilimsel Bir Bakış <i>A Geological Overview of Historical Development of the Anthropogene and Anthropocene Concepts</i>	1
Mustafa Ergin Eckernförder ve Geltinger Körfezlerinin Antropojenik Ağır Metal Kirliliğinin Karot Sedimentlerinde Araştırılması, Batı Baltık Denizi, Almanya <i>Investigation of Anthropogenic Heavy Metal Pollution in Core Sediments from the Eckernförder and Geltinger Bays in the Western Baltic Sea, Germany</i>	21
Deniz Şanlıyüksel Yücel, Burcu İleri Antropojenik Kaynaklı Metal Kirliliğinin Çevresel Etkilerinin Azaltılmasında Uçucu Kül Kullanımı <i>Mitigation of Environmental Effects of Anthropogenic Metal Contamination Using Fly Ash</i>	43
Tuççe Nagihan Arslan Kaya, Erol Sarı, Mehmet Ali Kurt, Dursun Acar Erdek Körfezi Karot Çökellerinin Ağır Metal Dağılımı ve Zenginleşme Derecesi <i>Distribution of Heavy Metal and Enrichment Degree in Core Sediments from Erdek Gulf</i>	57
Fatma Gültekin, Esra Hatipoğlu Temizel Kentsel Faaliyetlerin Kıyı Akiferlerine Etkileri: Doğu Karadeniz Havzası Örneği <i>Effects of Urban Activities on Coastal Aquifers: Case Study in the Eastern Black Sea Basin</i>	69
Tuğbanur Özen Balaban, Özlem Öztekin Okan, Taylan Sançar, Ayten Öztüfekçi Önal Pertek (Tunceli) Jeotermal Alanının Antropojenik Kirliliğinin Değerlendirmesi <i>Anthropogenic Pollution Assessment of Pertek (Tunceli) Geothermal Field</i>	83
Harika Marmara, Deniz Şanlıyüksel Yücel, Süha Özden, Mehmet Ali Yücel Kestanbol Jeotermal Akışkanının Hidrokimyasının ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi <i>Hydrochemistry and Environmental Impacts of Kestanbol Geothermal Fluid</i>	97
Nuray Çağlar (Balkıs), Abdullah Aksu, Gülşen Altuğ Güllük Körfezi (Muğla-Türkiye) Yüzey Sedimentlerinde Toksik Metal Kirliliği <i>Toxic Metal Pollution in the Surface Sediments from Güllük Bay (Muğla-Turkey)</i>	117
Perihan Derin, Ayşegül Demir Yetiş, M. İrfan Yeşilnacar, Pelin Yapıcıoğlu GAP'ın En Büyük Sulama Sahasında Jeotermal Sulardan Kaynaklanan Potansiyel Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması <i>Investigation of Potential Heavy Metal Pollution Caused by Geothermal Waters in GAP's Largest Irrigation Area</i>	125
Pelin Yapıcıoğlu, Perihan Derin, M. İrfan Yeşilnacar Assessment of Harran Plain Groundwater in Terms of Arsenic Contamination <i>Arsenic Kirliliği Bakımından Harran Ovası Yeraltı Sularının Değerlendirilmesi</i>	137

Misafir Editörler / Guest Editors:

Ökmen SÜMER, Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL, Alper BABA

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

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

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:

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

Antroposen ve Antropojenik Kirlilik / Anthropocene and Anthropogenic Pollution

TÜRKİYE JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

ÖNSÖZ

1947 yılından beri düzenlenen Türkiye Jeoloji Kurultayları, her yıl değişen temaları ile ulusal ve uluslararası platformlarda, ülkemizin en saygın bilimsel etkinliklerinden biridir. Yetmiş ikinci Türkiye Jeoloji Kurultayı, 28 Ocak - 1 Şubat 2019 tarihleri arasında Ankara’da “Kent Jeolojisi” teması ile gerçekleştirilmiştir. Türkiye Jeoloji Kurultayları kapsamında ilk defa düzenlenen “Antroposen ve Antropojenik Kirlilik” oturumu, farklı disiplinlere sahip araştırmacıların sunduğu çalışmalarla ilgi toplayan otumlardan birisi olmayı başarmıştır. Gösterilen bu ilgi sonucunda; oturumda sunulan seçilmiş bildirilerin Türkiye Jeoloji Bülteni’nde hazırlanacak olan bir sayıda hakemli makale olarak yayımlanması fikri gündeme gelmiştir. Bu bağlamda, ana çatısı “Antroposen ve Antropojenik Kirlilik” oturumu olmak üzere aynı bilimsel konu üzerinde yoğunlaşan ve çoğunluğu 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı’nda sunulmuş bildirilerden üretilen bu sayı oluşturulmuştur.

Sanayi Devrimi’nden günümüze küreselleşen Dünya’da insanoğlu doğayı değiştirmektedir. Her geçen gün artan sanayileşme, kentleşme, fosil yakıtların kullanımı, kontrolsüz tarım ve madencilik faaliyetleri, atık suların çevreye deşarjı gibi antropojenik etmenler sonucunda ortaya çıkan organik ve inorganik kirleticilerin cins ve miktarları artarak çevrenin doğal yapısı bozulmaktadır. Endüstrileşme ve yaşam biçimlerindeki değişmeye paralel olarak ortaya çıkan atıklar zaman içinde logaritmik bir artış göstererek bu atıklardan kaynaklanan çevre sorunları küresel bir boyut kazanmıştır. Küresel ısınma, asit yağmurları gibi faktörler antropojenik etki ile oluşan çevre sorunlarından sadece birkaç tanesidir. Özellikle As, Al, Fe ve Mn gibi metal(loid)ler yerüstü ve yeraltı sularına karışarak insan sağlığında olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Gelecek nesillere yaşanabilir bir Dünya bırakmak için bilinçli çevresel sürdürülebilirliğin ön plana çıkarılması gerekmektedir.

Antropojenik kirlilik çalışmaları dünyada ilk kez 19. yüzyılın ortalarında, ülkemizde ise 20. yüzyıldan itibaren yoğun olarak çalışılan bir araştırma alanı olmuştur. Özellikle 2000’li yılların başlarından itibaren antropojenik etkilerin, jeolojik kayalar veya olaylarda gözlenebilir ve ölçülebilir olmasından yola çıkarak, içinde bulunduğumuz jeolojik seri olan Holosen’in zamansal olarak ayrılması ve Antroposen şeklinde yeni bir jeolojik seriye girilmesi gerektiği fikri bilim camiasında yeniden gündeme getirilmiş ve kısa zamanda çok tartışılan bir bilimsel konu haline gelmiştir. Bu noktada, antropojenik kirlilik ve Antroposen’in zamansal olarak ayrılması çalışmaları disiplinler arası bir araştırma alanı olup, yer, deniz ve atmosfer bilimlerini kapsayan geniş bir etki alanına sahiptir. İlginize sunduğumuz bu sayı farklı disiplinlerden bilim insanları tarafından titizlikle üretilmiş, konusunda uzman hakemler tarafından değerlendirilen nitelikli çalışmaların sonuçlarını içermektedir.

Sümer, Alak ve Tekin, Türkiye Jeoloji Bülteni’nin bu sayısında “*Antropojen ve Antroposen Kavramlarının Tarihsel Gelişimine Yerbilimsel Bir Bakış*” başlıklı derleme makalelerinde, genel anlamda Antropojen ve Antroposen kavramlarının kronolojik gelişimlerine değinirlerken, tarihsel süreçte geçirdikleri terminolojik değişimleri de özetlemişlerdir. Özellikle Antroposen’in zamansal ayrımının tartışıldığı günümüzde, jeolojik zaman cetvelinde bir güncelleme için gerekli olan argümanları ortaya koydukları bu derleme, gelecekte bu konularla ilgili çalışacak olan yerbilimciler için de önemli bir kaynak olacaktır. Diğer yandan makalede, antropojenik etki/katkının ölçülmesindeki standartların belirlenmesinde özellikle jeojenik problemler ve çözümü için uygulanması gereken adımlar ile Antroposen’in zamansal olarak ayrılmasının artık kavramsal olarak tartışılmasından çok, mutlak yaş verileri ile desteklenebilecek çalışmaların üretilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.

Ergin, “*Eckernförder ve Geltinger Körfezlerinin Antropojenik Ağır Metal Kirliliğinin Karot Sedimentlerinde Araştırılması, Batı Baltık Denizi, Almanya*” başlıklı makalesinde, Baltık Denizi’nin batısındaki Eckernförder ve Geltinger körfezlerinde insan faaliyetlerinin etkisinde gelişen kirliliği, “SENCKENBERG” araştırma gemisi ile alınan karotlar içindeki sedimentlerde yaptığı ana ve iz elementlerin jeokimyasal analizleriyle ortaya koymuştur. Karotlarda stratigrafik olarak derine doğru değişimlerin incelendiği bu değerli makalede Pb-210 tarihlendirme yöntemiyle elde edilen verilerin ışığında, iz elementlerin zenginleşme ve kirlilik faktörlerinin bölgede özellikle 1800’li yıllardan bu yana antropojenik etkilerin varlığını gösterdiği vurgulanmıştır.

Şanhyüksel Yücel ve İleri, “*Antropojenik Kaynaklı Metal Kirliliğinin Çevresel Etkilerinin Azaltılmasında Uçucu Kül Kullanımı*” başlıklı makalelerinde antropojenik etki ile oluşan ve madencilik faaliyetleri neticesindeki en önemli çevresel kirlilik olarak tanımlanan asit maden drenajının çevresel etkilerinin minimize edilmesinde uçucu kül kullanımının etkinliğini araştırmışlardır. Yazarlar, Çanakkale ili Etili açık kömür ocağından aldıkları pasa örneklerini akışkan yataklı termik santral atığı uçucu küller ile farklı oranlarda karıştırarak, kimyasal analiz sonuçları ve statik testlere göre pasaların efektif olarak asit maden drenajı üretimini önlemek için optimum karışım oranını belirlemişlerdir. Optimum karışım oranına göre hazırlanan liç testleri sonucunda liçin pH değerinin arttığı, elektriksel iletkenlik, metal (Al, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) ve sülfat konsantrasyonunun azaldığını ifade etmişlerdir. Yüksek pH ve CaO içeriğinin yanı sıra yüksek nötralizasyon potansiyeline sahip olan uçucu külün asit maden drenajının çevresel etkilerinin azaltılmasındaki etkinliğini ortaya koymuşlardır.

Aslan Kaya, Sarı, Kurt ve Acar, “*Erdek Körfezi Karot Çökellerinin Ağır Metal Dağılımı ve Zenginleşme Derecesi*” başlıklı makalelerinde

Gönen Nehri ağzı -16 m su derinliğinden alınan 174 cm uzunluğundaki karot çökel örneğinde geçmişten günümüze antropojenik ve/veya doğal kökenli As, Cr, Co, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonundaki değişimleri incelemişlerdir. Karot çökellerinin Co, Cu ve Zn bakımından kirlenmemiş olduğu buna karşın As ve Cr ile orta derecede, Pb ile ciddi derecede kirlendiği tespit edilmiştir. Erdek Körfezi ve çevresinde As ve Pb mineral zonları ve mafik, ultramafik kayaların bulunması nedeni ile karot çökellerindeki As ve Pb’daki zenginleşmenin sadece antropojenik girdiler ile değil aynı zamanda litojenik nedenlerle olduğu ifade edilmiştir. Deri işleme tesislerinden arıtılmamış atık suların Gönen Nehri’ne deşarj edilmesi ile karot çökellerinin Cr açısından zenginleşmiş olduğu saptanmıştır.

Gültekin ve Hatipoğlu Temizel, “*Kentsel Faaliyetlerin Kıyı Akiferlerine Etkileri: Doğu Karadeniz Havzası Örneği*” başlıklı çalışmalarında yağış yüksekliği Türkiye ortalamasından oldukça fazla olan Doğu Karadeniz havzasındaki kentsel faaliyetlerin kıyı akiferlerine olan etkisini araştırmışlardır. Akarsu vadileri boyunca yüzeylenen alüvyonun havzanın yeraltı suyu taşıyan tek akiferi olduğunu belirtmiş, akarsu yataklarında veya yakınlarında inşa edilen her türlü yapının akifere dolaylı etkileri olduğunu ifade etmişlerdir. Yazarlar, ulaşım, konutlaşma, sanayi siteleri, kömür işleme, beton üretimi ve malzeme depolanması gibi faaliyetlerin yeraltı suları üzerindeki olumsuz etkilerinden bahsetmişlerdir. Pazarsuyu (Giresun) akiferinde yüksek Mn konsantrasyonu nedeni ile kuyuların kullanım dışı bırakıldığını ifade etmişlerdir. Yeraltı sularının daha uzun yıllar kullanılabilmesi için Doğu Karadeniz kıyı akiferlerinin kalite ve beslenme açısından korunmasının gerekliliğini vurgulamışlardır.

Özen Balaban, Öztekin, Sançar ve Öztüfekçi Önal, “*Pertek (Tunceli) Jeotermal Alanının Antropojenik Kirliliğinin Değerlendirmesi*” başlıklı makalelerinde, Keban Baraj Gölü kuzey

ucundaki Singeç Vadisi ve çevresinden derlenen su ve sediment örnekleri üzerinde gerçekleştirdikleri jeokimyasal ve hidrojeokimyasal çalışmaların sonuçlarını antropojenik kirlilik kapsamında değerlendirmişlerdir. Çalışmada, bazı su örneklerinin As, B ve Pb konsantrasyonlarının Türk Standartları Enstitüsü içme suyu standartları sınır değerlerini aştığı vurgulanırken, özellikle Singeç Çayı'nda bulunan jeotermal kaynakların yakın çevresinden alınan sediment örneklerinden bir kısmının As, B, Cd ve Sb gibi jeotermal akışkanlardan kaynaklanan kirleticilerle kirlendiğini belirtilmiştir.

Marmara, Şanlıyüksel Yücel, Özden ve Yücel, “*Kestanbol Jeotermal Akışkanının Hidrokimyasının ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi*” başlıklı çalışmalarında Çanakkale ilinde en yüksek sıcaklığa sahip jeotermal alanlardan biri olan Kestanbol jeotermal akışkanının hidrokimyasal özelliklerini ve çevreye deşarj edilen jeotermal akışkanın toprak ve dere sedimenti üzerindeki çevresel etkilerini irdelenmiştir. Jeotermal akışkanın elektriksel iletkenlik değeri ve Na⁺, Cl⁻, As, B ve Fe konsantrasyonunun limit değerlerin üzerinde olduğunu saptamışlardır. Bununla birlikte, zenginleşme faktörü ve jeobirikim indeksine göre yoğun su-kayaç etkileşiminde kalan jeotermal akışkanın deşarjı sonucunda toprak ve dere sedimentinin As ve Mn metal(loid)leri açısından zenginleştiğini belirtmişlerdir. Kestanbol jeotermal akışkanın kullanım alanlarının genişletilerek, çevreye deşarj edilmemesi gereği vurgulanmıştır.

Çağlar, Aksu ve Altuğ, “*Güllük Körfezi (Muğla-Türkiye) Yüzey Sedimentlerinde Toksik Metal Kirliliği*” başlıklı makalelerinde Güllük Körfezi'ndeki yüzey sedimentlerinde Al, As, Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn içeriklerini incelemişlerdir. Tüm ölçüm dönemlerinde körfez sedimentlerinin As, Cr ve Cu elementleri yönünden kirlenmemiş, buna karşılık Cd, Pb ve Zn elementleri yönünden ise orta derecede kirlenmiş olduğunu belirlemişlerdir. Yüzey sedimentlerindeki yüksek Cd, Pb ve

Zn içeriklerini Güllük Körfezi'ne olan karasal kaynaklı antropojenik (evsel+endüstriyel) girdiler, limanlardaki deniz taşımacılığı ve turizm aktiviteleri ile ilişkilendirmişlerdir.

Derin, Demir Yetiş, Yeşilnacar ve Yapıcıoğlu, “*GAP'ın En Büyük Sulama Sahasında Jeotermal Sulardan Kaynaklanan Potansiyel Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması*” başlıklı çalışmalarında Şanlıurfa ilindeki Karaali jeotermal akışkanın kullanıldıktan sonra drenaj kanallarına kontrolsüz bir şekilde deşarjıyla drenaj kanallarındaki sulama suyuna ve bu drenaj kanallarına yakın kuyulara olan etkisini araştırmışlardır. Drenaj kanallarında Al, Cr, Fe, Mo, Ni, Se ve V konsantrasyonunun, kuyularda ise Al ve Fe konsantrasyonunun limit değerleri aştığını tespit etmişlerdir. Drenaj kanalları ve özellikle de yakınındaki kuyuların periyodik izlemelere devam edilmesinin yanında toprakta ve bitkilerde ağır metal birikimlerinin belirlenmesi için düzenli kontrollerin yapılmasını önermişlerdir.

Yapıcıoğlu, Derin ve Yeşilnacar, “*Arsenik Kirliliği Bakımından Harran Ovası Yeraltı Sularının Değerlendirilmesi*” başlıklı çalışmalarında Ortadoğu'nun en büyük yeraltı suyu rezervine sahip olan on kuyuda Ekim ve Mart aylarında As konsantrasyonunu izlemişlerdir. Yeraltı sularındaki As konsantrasyonunun Dünya Sağlık Örgütü içme suyu sınır değerini aşmadığı tespit edilmiştir. Ekim ayında yeraltı sularındaki As konsantrasyonunun Mart ayındakinden daha düşük olmasının sebebinin sulama sonucu seyrelmenin etkisiyle yeraltı suyunda As derişiminin azalması olabileceği öngörülmüştür. Yeraltı sularının yüksek As konsantrasyonu olması durumunda Şanlıurfa'da atık isottan piroliz yöntemiyle ekonomik bir şekilde biyoçar üretilebileceği ve biyoçarın kolayca As adsorplayabilmesi nedeni ile ideal bir uygulama olabileceğini belirtmişlerdir.

Antroposen ve antropojenik kirlilik üzerine gerçekleştirilmiş Türkiye'deki bu ilk sayının, Türkiye Jeoloji Bülteni içerisinde

basılmasını öneren ve yer almasını sağlayan dergi baş editörü Erdinç Yiğitbaş'a, makalelerin yayına hazırlanmasındaki yardımlarından dolayı yardımcı editörler Mustafa Avcıoğlu ile

İsmail Onur Tunç'a ve bu sayı için makalelere bilimsel katkı sağlayan saygıdeğer hakemlere tüm makale sahipleri adına teşekkürlerimizi sunarız.

Misafir Editörler
Ökmen SÜMER
Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL
Alper BABA

PREFACE

The Geological Congress of Turkey, organized since 1947 with changing themes each year with a national and international platform, is one of the most esteemed scientific events in Turkey. The 72nd Geological Congress of Turkey was held in Ankara on 28 January - 1 February 2019 with the theme “Urban Geology”. Organized for the first time within the scope of the Geological Congress of Turkey, the “Anthropocene and Anthropogenic Pollution” session succeeded in being a session that attracted interest with studies presented by researchers in different disciplines. As a result of the interest, the idea came to the agenda of publishing selected reports presented at the session as reviewed articles in a volume of the Geological Bulletin of Turkey. In this context, this volume was created focusing on the same scientific topics as the “Anthropocene and Anthropogenic Pollution” session and produced from papers presented at the 72nd Geological Congress of Turkey.

Humanity has changed nature from the Industrial Revolution to our current globalized world. The daily increases in the types and amounts of organic and inorganic pollutants occurring as a result of anthropogenic factors like industrialization, urbanization, use of fossil fuels, uncontrolled agriculture and mining activities, and discharge of wastewater disrupt the natural structure of the environment. The wastes occurring in parallel with industrialization and changes in lifestyles displays a logarithmic increase over time, with the environmental problems caused by these wastes reaching global dimensions. Factors like global warming and acid rain are just a few of the environmental problems caused by the anthropogenic effect. Mixing of metal(loid)s like As, Al, Fe and Mn with surface water and groundwater resources, especially, causes negative effects on human health. It is necessary to bring conscious sustainability to the fore in order to leave a livable world for future generations.

Anthropogenic pollution studies began for the first time in the middle of the 19th century globally and became a topic intensely studied in Turkey since the 20th century. Especially from the beginning of the 2000s ideas about the need to separate the geological series we exist in from the Holocene temporally based on anthropogenic effects being observable and measurable in geological rocks or events and the introduction of the Anthropocene as a new geologic series came to the agenda of the scientific community and became a controversial scientific topic in a short time. At this point, studies about anthropogenic pollution and temporal separation of the Anthropocene were interdisciplinary and had broad area of effect encompassing earth, marine and atmospheric sciences. This volume presented for your interest was carefully produced by scientists from different disciplines and contains the results of quality studies evaluated by expert reviewers.

The review article entitled “*A Geological Overview on Historical Development of the Anthropocene and Anthropocene Concepts*” by **Sümer, Alak and Tekin** mention the chronological development of the Anthropocene and Anthropocene concepts in a general sense, summarizing the changes in terminology through the historical process. Especially currently when the temporal differentiation of the Anthropocene is debated, this review reveals the arguments that an update to the geological timescale is required and will form an important resource for earth scientists working on this topic in the future. Another aspect of this article is that it emphasizes the steps necessary for determination standards in measurement of anthropogenic effects/contributions especially for geogenic problems and solutions and the need to produce studies supporting the temporal differentiation of the Anthropocene with definite age data, rather than conceptual arguments.

In the article entitled “*Investigation of Anthropogenic Heavy Metal Pollution in Core Sediments from the Eckernförder and Geltinger Bays in the Western Baltic Sea, Germany*” **Ergin** reveals the major and trace elements in geochemical analyses of sediments from cores taken by the research ship “SENCKENBERG” showing pollution developing with the effect of human activities in the Eckernförder and Geltinger Bays in the west of the Baltic Sea. In light of data obtained with the Pb-210 dating method in this valuable article investigating the stratigraphic variations with depth in the cores, enrichment in trace elements and pollution factors in the region show the presence of anthropogenic effects especially from the 1800s to the present day.

The article entitled “*Mitigation of Environmental Effects of Anthropogenic Metal Contamination Using Fly Ash*” by **Şanhyüksel Yücel and İleri** research the efficacy of the use of fly ash to minimize the environmental effects of acid mine drainage, defined as the most important environmental pollution forming with anthropogenic effects due to mining activities. The authors mixed mine wastes obtained from an open pit coal mine in Etili in Çanakkale province with different proportions of fly ash from a fluidized-bed thermal power plant and determined the optimum mixing rate to prevent effective production of acid mine drainage from mine waste according to chemical analysis results and static tests. As a result of leach tests prepared according to the optimum mixing rate, they stated that leachate pH value increased, while electrical conductivity, metal (Al, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn) and sulfate concentrations reduced. They reveal the efficacy of fly ash with high pH and CaO content, in addition of high neutralization potential, in reducing the environmental effects of acid mine drainage.

The article “*Distribution of Heavy Metal and Enrichment Degree in Core Sediment from Erdek Gulf*” by **Aslan Kaya, Sari, Kurt and Acar**

investigate the variations in anthropogenic and/or naturally sourced As, Cr, Co, Cu, Pb and Zn concentrations from past to present in sediment core samples with 174 cm length obtained from -16 m water depth at the mouth of the Gönen River. Though core samples were not polluted in terms of Co, Cu and Zn, they were moderately polluted with As and Cr and severely polluted with Pb. Due to the location of As and Pb mineralized zones and mafic and ultramafic rocks in Erdek Gulf and surroundings, the magnitude of As and Pb enrichment in core sediments is not just due to anthropogenic inputs but is stated to have lithogenic source. Discharge of wastewater from leather tanning facilities without treatment into the Gönen River was identified to cause enrichment of core sediments in terms of Cr.

In the study entitled “*Effects of Urban Activities on Coastal Aquifers: Case Study in the Eastern Black Sea Basin*” **Gültekin and Hatipoğlu Temizel** research the effect of urban activities on coastal aquifers in the Eastern Black Sea basin with precipitation amounts well above the average for Turkey. The only aquifer for groundwater in the basin was stated to be alluvium outcropping along fluvial valleys in the basin, with indirect effects on aquifers due to construction of all types in or close to river beds. They mention the negative effects on groundwater of activities like transport, housing, industrial facilities, coal processing, cement production and material storage. They stated that wells have been excluded from use due to high Mn concentration in the Pazarsuyu (Giresun) aquifer. They emphasize the necessity to preserve the Eastern Black Sea coastal aquifers in terms of quality and recharging in order to use groundwater for many years to come.

The article “*Anthropogenic Pollution Assessment of Pertek (Tunceli) Geothermal Field*” by **Özen Balaban, Öztekin, Sançar and Öztüfekçi Önal** evaluate geochemical and hydrogeochemical studies within the scope of anthropogenic pollution for water and sediment

samples from Singeç Valley and surroundings at the northern tip of Keban Dam Lake. The study emphasized that some water samples exceeded Turkish drinking water limit values for As, B and Pb concentrations and stated that especially some sediment samples taken from around geothermal springs on Singeç stream were contaminated by pollutants from geothermal fluids like As, B, Cd and Sb.

The study entitled “*Hydrochemistry and Environmental Impacts of Kestanbol Geothermal Fluid*” by **Marmara, Şanlıyüksel Yücel, Özden and Yücel** investigate the hydrochemical characteristics of Kestanbol geothermal fluids from the geothermal field with one of the highest temperature in Çanakkale province and the environmental effects on soil and stream sediment of geothermal fluid discharged into the environment. They identified that the electrical conductivity and Na⁺, Cl⁻, As, B and Fe concentrations in geothermal fluids were above the limit values. Additionally, according to enrichment factor and geoaccumulation index, as a result of discharge of geothermal fluid exposed to intense water-rock interactions soil and stream sediments were enriched in terms of As and Mn. They emphasized the need to expand the areas of use for Kestanbol geothermal fluid and to avoid discharge into the environment.

In the article entitled “*Toxic Metal Pollution in the Surface Sediments from Güllük Bay (Muğla-Turkey)*” **Çağlar, Aksu and Altuğ** investigate the Al, As, Cd, Cr, Cu, Pb and Zn contents of surface sediments from Güllük Bay. In all measurement periods, bay sediments were not polluted with As, Cr and Cu elements, though contrary to this there was moderate pollution with Cd, Pb and Zn elements. They associated high Cd, Pb and Zn contents in surface sediments with land-sourced anthropogenic (domestic+industrial) inputs, marine transport in ports and tourism activities.

The study “*Investigation of Potential Heavy Metal Pollution Caused by Geothermal Waters in GAP's Largest Irrigation Area*” by **Derin, Demir Yetiş, Yeşilnacar and Yapıcıoğlu** research the effect of uncontrolled release of geothermal fluid from the Karaali geothermal field in Şanlıurfa province into drainage channels on the irrigation water in the drainage channels and wells close to the drainage channels. They identified that in drainage channels Al, Cr, Fe, Mo, Ni, Se and V concentrations exceeded limit values, while in wells Al and Fe concentrations exceeded limit values. In addition to continuation of the periodic monitoring of drainage channels and especially adjacent wells, they recommend regular checks to determine heavy metal accumulation in soil and plants.

In the study by **Yapıcıoğlu, Derin and Yeşilnacar** called “*Assessment of Harran Plain Groundwater in Terms of Arsenic Contamination*” they monitor the As concentration in ten wells located in the largest groundwater reserve in the Middle East, in October and March. They identified that the As concentrations in groundwater did not exceed World Health Organization drinking water limit values. The reason for the lower As concentrations in groundwater in October compared to March was predicted to be the reduction in As concentration in groundwater as a result of dilution because of irrigation. In situations with high concentrations of As in groundwater they stated that biochar could be produced economically from waste Urfa red peppers in Şanlıurfa with the pyrolysis method and may be an ideal application due to the easy adsorption of As by biochar.

In this first volume in Turkey about the Anthropocene and anthropogenic pollution, in the name of all authors we gratefully acknowledge journal chief editor Erdinç Yiğitbaş for recommending and accepting publication in the Geological Bulletin of Turkey, we thank assistant editors Mustafa Avcıoğlu and İsmail Onur Tunç

for their help in preparing the manuscripts for publication and also thank the reviewers for their scientific contributions to the articles in this volume.

Guest Editors
Ökmen SÜMER
Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL
Alper BABA



Antropojen ve Antroposen Kavramlarının Tarihsel Gelişimine Yerbilimsel Bir Bakış
A Geological Overview of Historical Development of the Anthropogene and Anthropocene Concepts

Ökmen Sümer^{1*}, Akın Alak², Arman Tekin³

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35390 İzmir

²23 Nisan Mh. Köşebaşı Sk. No: 15, 06390 Ankara

³Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Arkeoloji Bölümü, 06800 Ankara

Geliş/Received : 12.08.2019

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 11.09.2019

• Kabul/Accepted : 15.10.2019

• Çevrimiçi Yayın/Available online : 15.01.2020

• Baskı/Printed : 31.01.2020

Derleme Makale/Review Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: İnsanın doğa içerisinde var olma çabası, kendisini ekosistemin bir parçası olmaktan çıkarıp doğayı kendi ihtiyacına uygun bir hâle getirme noktasına sürüklemiştir. İnsanın doğa ile olan bu mücadelesi şüphesiz doğada farklı ölçeklerde tahribatlara sebep olmaktadır. Ortaya çıkan bu tahribatın izleri ise jeolojik süreçler içerisinde kayıt altına alınmaktadır. İnsanın doğaya etkileri ile ortaya çıkan çevresel değişiklikler ise günümüzde “antropojenik kirlilik” olarak isimlendirilmektedir. İnsanın doğa üzerindeki kalıcı izlerini tanımlamak amacıyla yapılan en ciddi çalışmaların başlangıcı 19. yüzyılın ortalarına dayanmakta olsa da özellikle antik Yunan ve Romalı yazarların ve filozofların günümüze ulaşan eserlerinden de bu farkındalığın çok daha eskiye dayandığı bilinmektedir. Bu etkilerin yapılan gözlemler ve bilimsel metotlarla araştırılmaya başlanarak evrildiği son döneme doğru birçok araştırmacı, içinde bulunduğumuz jeolojik seri olan Holosen’in zamansal olarak ayrılması ve Holosen’den sonra yeni bir jeolojik seri olarak Antroposen’e girilmesi gerektiğini savunmaktadır. Aslında bu görüş 19. yüzyılda defaatle dile getirilmiş olsa da sonradan unutulmuş ve 2000’li yılların başından itibaren tekrar gündeme getirilerek popülaritesi artırılmıştır. Bu zamansal ayrımın tekrar önerilmesinin ardından, Antroposen’in varlığı ve başlangıcı ile ilgili çalışmalar nispeten yoğunlaşmış ve birçok araştırmacı tarafından tartışılan ve multidisipliner bir kapsamda irdelenen bilimsel bir konu hâline gelmiştir. Gelecekte Antropojen ve Antroposen kavramlarının netleştirilmesi ve detaylandırılması adına ele alınması gereken 2 ana unsur bulunmaktadır. Bunlar; (1) antropojenik etki/katkının ölçülmesindeki standartların belirlenmesindeki özellikle jeojenik problemler ve çözümü için uygulanması gereken adımlar ve (2) Antroposen’in zamansal olarak ayrılmasının artık kavramsal olarak tartışmasından çok, mutlak yaş verileri ile desteklenebilecek çalışmaların üretilmesinin gerekliliğidir. Bu unsurların dikkate alınarak yapıldığı farklı bölgelerdeki çalışmalar hiç şüphesiz antropojenik etkinin boyutunu ve Antroposen sınırının zamansal ayrımını daha net bir biçimde ortaya koyacaktır.

Anahtar Kelimeler: Antropojenik kirlilik, Antroposen, jeojenik, jeolojik zaman.

Abstract: Humanities efforts to exist in nature have brought man from being a part of the ecosystem to the point of shaping nature. This struggle of humanity undoubtedly causes destruction at different scales in nature. Traces of this destruction are recorded by geological processes. Negative environmental changes caused by human effects on nature are called anthropogenic pollution today. The beginning of the most serious scientific studies to describe the permanent traces of man on nature dates back to the mid-19th century. However, this awareness is known to be much older, especially in the works of ancient Greek and Roman philosophers and writers. Many researchers argue that with the introduction of scientific methods to investigate these effects, the Holocene should be separated from the Anthropocene with a time boundary as a new geological series. Although this theory was mentioned many times in the 19th century, it was later forgotten. It returned to the agenda since the early 2000s and its popularity

*Yazışma / Correspondence: okmen.sumer@deu.edu.tr

© 2020 JMO Her hakkı saklıdır/All rights reserved

<http://tjb.jmo.org.tr>

<http://dergipark.gov.tr/tjb>

has increased. After the suggestion of this time-boundary separation, scientific studies about the existence and the beginning of the Anthropocene have considerably increased, and it has become a multidisciplinary issue discussed by many researchers. There are two main factors that need to be addressed in order to clarify and elaborate the concepts of anthropogene and Anthropocene in the future. These are; (1) problems in setting standards for measuring anthropogenic effects especially geogenic and the steps to be taken to solve this, and (2) the necessity to produce studies that can be supported by absolute age data rather than conceptual discussion of the temporal separation of the Anthropocene. Scientific studies in different regions where these elements are taken into consideration will undoubtedly reveal the extent of the anthropogenic effect and the temporal separation of the Anthropocene boundary in a much more realistic manner.

Keywords: Anthropogenic pollution, Anthropocene, geogenic, geological time.

ANTROPOJEN VE ANTROPOSEN KAVRAMLARININ ORTAYA ÇIKIŞI VE KRONOLOJİK GELİŞİMİ

Diğer tüm canlılar gibi insanların da varoluş sürecinde doğaya bağımlı olması insan-doğa etkileşiminin temelini oluşturmaktadır. Doğanın ve çevrenin zamansal değişimlerine uyum sağlamak ve bu koşullar altında yaşamak zorunda olan insan ve beraberindeki tüm canlılar bu sayede doğa ile sürekli bir ilişki içerisinde varlığını sürdürmüştür. Bu mecburi ilişki, insanın ihtiyaçları ve öngörülerini çerçevesinde kendi bulunduğu konumu merkezileştirme çabasıyla devamlılığını sürdürmektedir. Var olma çabası içinde ekosistemin bir parçası olduğunu unutan insan, aynı zamanda doğanın milyonlarca yıldır süregelen işleyişine de müdahale eden ve bu işleyişi kendi varoluşu için değiştirmeye çalışan bir tür haline gelmiştir. Özellikle Sanayi Devrimi süreciyle başlayan ve beraberinde gelen yoğun kentleşme, nüfus artışı, zirai/tarımsal gelişmeler, doğanın tahrip edilmesi ve doğal yaşamın bozulması sonucunu doğurmuştur. Doğadaki dengenin insan merkezli bozulmuş olması ile birtakım çevre felaketleri ile karşı karşıya kalınmıştır. Bu durum her ne kadar doğayı korumaya yönelik kitlesel insan hareketleri ile önlenmeye çalışılsa da, alınan veya alınacak tüm önlemler insanlığın kendi varoluşunu sürdürmek istemesi temelinde önem arz etmektedir. Dolayısıyla “doğayı koruma” sloganı, insanın doğanın bir parçası olduğunu unutmamasından, kendini yine merkezileştirerek önemseme yanılığından ve/veya doğa içindeki

yerini algılayamamasından bağılı olarak türetilmiş bir kavramdır.

İnsanın doğaya etkileri ile ortaya çıkan çevresel değişiklikler ve bu değişikliklerin doğa üzerindeki kalıcı izlerini tanımlamak için geçmişten günümüze değin yapılmış ve yapılmakta olan birçok araştırma vardır. Bu anlamda en ciddi araştırmalar ilk olarak 19. yüzyılın ortalarında başlamış, özellikle antik Yunan ve Romalı yazarların çevre-insan, çevre-sağlık, insan-kirillik ve doğa-sosyal yaşam gibi etkileşimleri konu alan eserleri günümüze kadar uzanan ilk kayıtları oluşturmaktadır. Örneğin Hippocrates’in yaklaşık olarak MÖ 400’de kaleme aldığı *On Airs, Waters, and Places* (Hava, Su ve Toprak Üzerine) (Adams, 1849 çevirisi) isimli eserinde, özellikle suyun kalitesi ve çevresel faktörlerin insan sağlığı üzerindeki etkilerini ele almıştır. Platon’un geç dönem diyaloglarından (MÖ 360 – MÖ 348/347) *Critias’da* (Jowet, 1892 çevirisi) eski Atina’nın (Solon) insan etkisiyle doğayı ve coğrafyayı değiştirerek nasıl yaşam alanı oluşturduğunu tarif ederken, *Republic’de* ise (Jowet, 1892 çevirisi) sosyal ve politik yaşamın gelişiminde toprak kullanımı ile ilgili endişe ve saptamalarını vurgular. Strabon’un 17 ciltlik eseri *Geographica’nın* 3. kitabında (Jones, 1923 çevirisi), İber Yarımadası’ndaki Beatica (Corduba) şehrinin gümüş ve altın işletmelerinden dolayı havaya karışan gazlarının ölümcül ve ağır olduğunu ve çevreyi etkilediğini belirtir. Gaius Plinius Secundus’un 37 ciltlik dev eseri *The Natural History’nin* (Doğa Tarihi) 18.

kitabının birinci bölümünün (Bostock ve Riley, 1856 çevirisi) ikinci paragrafında “Çevreyi yıkıcı etkimizle tahrip ediyoruz. Nehirleri zehirliyoruz ve suyu kirletiyoruz. Doğanın çeşitli unsurlarını enfekte ediyoruz. Gerçekten yaşamın temel desteği olan hava bile yaşamın yok olması için bir araca dönüşüyor” şeklinde bir ifade bulunur. Bu saptamalar gözlemsel olarak dile getirilmiş olsa dahi bu durumun bilimsel yöntemlerle ölçülüp sınanabilmesi diğer bir deyişle ortaya çıkan bu çevresel değişikliklerin felsefenin bir konusu olmaktan çıkıp multidisipliner bir araştırma konusu hâline gelmesi ise 19. yüzyıl başlarında ivmelenmeye başlamıştır.

Sir Charles Lyell 1830’da yayımladığı *Principles of Geology* kitabının birinci cildinin başındaki birinci bölümde, jeolojiyi araştırma konularını doğanın canlı ve cansız olan tüm bileşenlerinin sadece geçmişteki değişimlerinin değil şu anki etkileşimlerinin de incelendiği bir bilim dalı olarak tanımlar. Bernhard von Cotta ise 1866 tarihli *Geologie der Gegenwart* (Günümüz Jeolojisi) isimli eserinde jeolojinin geçmiş ve gelecek arasında bir ara yüz olarak bulunduğunu ve jeolojinin, astronomi, kimya, biyoloji ve sosyoloji arasındaki ilişkiyi güçlendirdiğini belirtmektedir. Bu bağlamda 19. yüzyılın başından itibaren birçok bilim insanı, mevcut jeolojik döngüdeki insanların rolünün farkına varmış; insanın jeolojik olaylara etkisi ve bunun zamansal olarak yer kürenin katmanlarında da ayrılabilirliğinin tartışılması fikrinin temelleri filizlenmiştir.

Giovanni Arduino’nun 1758 yılında kaleme aldığı Vicenza’daki Valdagno vadisi duvarının ünlü kesitiyle (Ell, 2011; 2012) başlayan *Primary, Secondary ve Tertiary*’yi (yani Birinci, İkinci ve Üçüncü zaman kayaları) tanımlamıştır. Daha sonra Desnoyers (1829) Seine Havzası’ndaki istifte Tersiyer’den farklı bir şekilde ayırt edilmesi gereken bir Kuvaterner’i önermiştir. Ayrıca bu dördüncü zaman kayalarının önemini son birkaç yıldır anladıklarını ve her geçen gün yayılımını arttırdığını gözlemledikleri bu yeni toprakları

da *la période plus récente* (çok son dönem) ya da *la période actuelle* (güncel dönem) şeklinde tanımlayarak beşinci bir dönemin olasılığını belirtmiştir. Hemen arkasından Henri Rebolou 1833’de sadece Kuvaterner özelinde *Géologie de la période Quaternaire et Introduction a l’histoire ancienne* isimli bir kitap yayımlamıştır. Desnoyers’in (1829) Kuvaterneri’ne denk gelen *néo-mastoniennne* ya da *anthropéiens* sedimanları olarak tanımladığı jeolojik birimlere *quinaires* şeklinde bir adlandırma yapmıştır. Bundan hareketle bu jeolojik döneme teoride *la période anthropéienne* isminin uygun olduğunu gerek yeni memeli, tetrapod (dört ayaklı) gerekse insanın ortaya çıkışını temel alarak önermiştir. Aynı yıl, Lyell (1833) de Tersiyer’in ayrılmasındaki genel hatları ortaya koyarak hâli hazırda bugün kullandığımız Eosen, Miyosen, Pliyosen gibi bazı jeolojik zaman isimlerinin temellerini atmıştır. Lyell bu kitabında Tersiyer’in üstünde *the earth has been tenanted by man* (insan ırkı tarafından kullanılan yer küre) şeklinde tanımladığı *recent* (son dönem; yeni/yakın dönem) ise daha sonra Gervais (1848-1852) tarafından günümüz jeolojik zaman çizelgesinde kullandığımız biçimde *Holocène* (Holosen) olarak önerilmiştir. Holosen’in jeolojik bir zaman olarak uluslararası jeoloji terminolojisi içinde tartışılmaya başlanması, 1881 yılında İtalya’nın Bologna kentinde düzenlenen 2. Uluslararası Jeoloji Kongresi’nde gerçekleşmiştir. Kongre sonuç raporunda, İsviçre komitesi Senozoyik içine dâhil edilen Holosen yaşlı kayaların beyaz renkte boyanması gerektiğine vurgu yapmıştır (Anonymous, 1882). Jeolojik zaman dönemleri için kronolojik olarak önerilme sırasıyla Kuvaterner, Recent (Güncel) ve Holosen kavramlarının uluslararası jeoloji camiasında tartışılmasına başlanması arasında geçen yaklaşık 50 yıllık bir dönemde (1829-1878) birçok bilim insanı, son jeolojik dönem için “*Anthro*” kökenli isim önerilerinde de bulunmuştur.

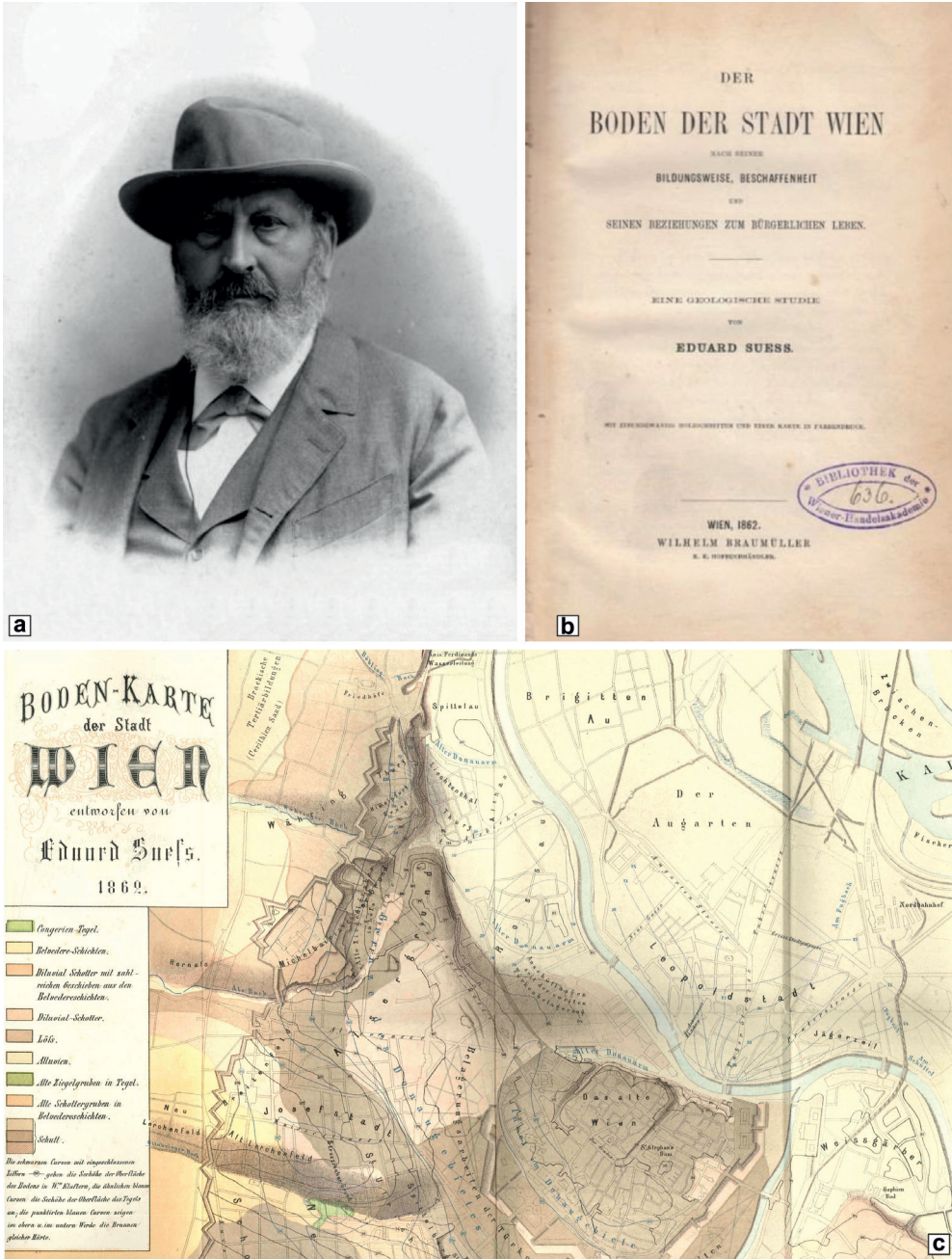
Örneğin Gallerli jeolog ve teoloji profesörü Thomas Jenkyn, 1852-1855 yılları arasındaki

Popular Educator serileri içerisinde 1854 tarihli dördüncü kitabındaki 50. jeoloji ders notlarında *Tersiyer Üzerine* alt başlığında Pleyistosen sonrası tüm kayaların *Anthropozoic* yani *human-life rocks* (insan yaşamındaki kayalar) şeklinde isimlendirilebileceğini belirtirken özellikle bu kaya topluluğunun alt bölümünde bir çok nesli tükenmiş kabuklularla birlikte insanlara ait herhangi bir iz bulunmadığını vurgulamıştır. 1862’de, “Kent Jeolojisi” kavramının yaratıcısı Avusturyalı Eduard Suess ise *Boden der Stadt Wie* (Viyana Şehri’nin Zemini) isimli eserinde kentin birçok bölgesinde insan yapımı (antropojenik) moloz örtüsünü “*schuttdecke*” jeolojik bir birim olarak ayırarak *schutt* moloz/enkaz/çöp) ismiyle ilk defa haritalamıştır (Şekil 1).

İnsanın doğa üzerindeki etkilerini; jeolojik gözlemler ışığında stratigrafik katmanlardaki izlerini açıkça ilk kez ortaya koyan ise Amerikalı jeolog James Dwight Dana’dır (Şekil 2a). Dana 1863 yılında yayımladığı *a Text-book of Geology (Jeoloji Ders Kitabı)* isimli eserinde (Şekil 2b), jeolojik zaman dönemlerini 5 ana başlık altında değerlendirirken son zaman dilimini *The Age of Mind – the Human Era* şeklinde jeolojik açıdan “insan çağı” olarak tanımlamıştır. Eserinde şekiller üzerinden vurguladığı örnekler oldukça dikkat çekicidir. İlk örnekte, Guadaloupe’deki kavkılı kayalar içinde bulunan bir Kızılderili iskeletinin bulunduğu jeolojik birimlerin, eş yaşlı ve pekleşme aşamasındaki güncel kıyı çökelleri ile benzer litolojiye sahip olduğu vurgulanmıştır (Şekil 2c). İkinci örnekte ise Orta İngiltere’deki Dove Nehri’nin yatağından yaklaşık 3 metre derinde bulunmuş pekleşmiş kavkılı bir konglomeranın içindeki I. Edward döneminden

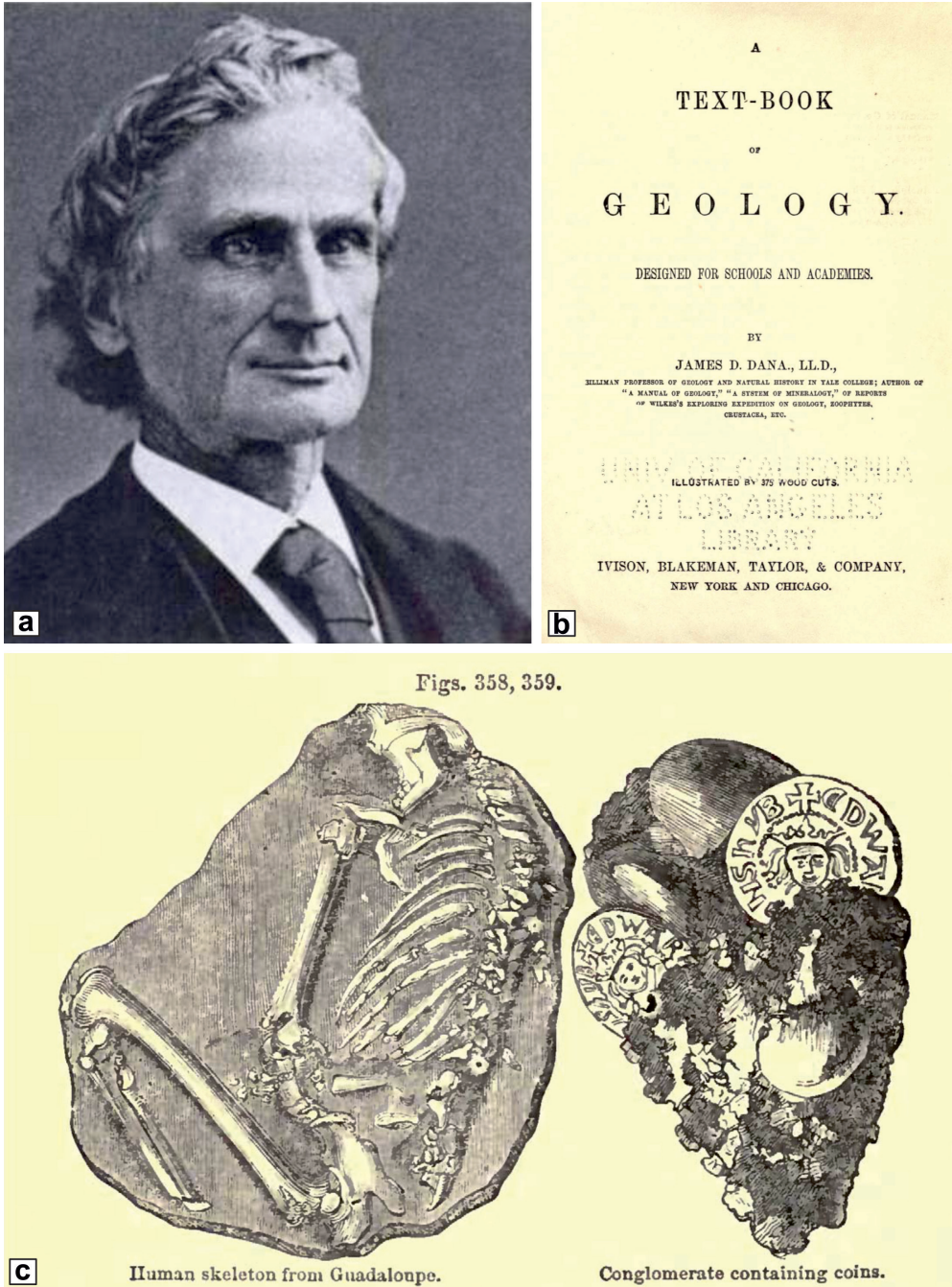
(1272-1307) kalma paralar oldukça dikkat çekicidir. Bu bağlamda jeolojik birimlerin fosil, tane bileşeni ve insan materyalleri ile etkileşimi ilk kez görsel olarak açıkça ortaya koyulmuştur.

Sadece insanın doğa üzerindeki etkisine odaklanan ilk kapsamlı çalışma ise George Perkins Marsh tarafından *Man and Nature; or, Physical Geography as modified by Human Action* (Marsh, 1864) isimli eserde ortaya konulmuştur. Marsh, bu eserin altıncı bölümünde tamamen insanın yarattığı doğa tahribatına ve coğrafik değişikliklere doğrudan dikkat çekmiştir. Samuel Haughton ise 1865’te yayımladığı *Manual of Geology* kitabının altıncı bölümünde içinde bulunduğumuz jeolojik dönemi *Anthropozoic epoch* olarak adlandırırken, bu dönemin zamansal olarak ayrılması ve sınırlanmasının jeolog ve arkeologların bulguları yardımıyla belirlenebileceğine işaret eder. İtalyan jeolog Antonio Stoppani ise 1871-73’te üç cilt halinde yayımladığı kendi döneminin en popüler kitaplarından biri olan *Corso di Geologia (Jeoloji Dersleri)* isimli eserinin ikinci cildi olan 1873 tarihli *Geologia Stratigrafica*’da (Stratigrafik Jeoloji) insanların dünya ekolojisi üzerinde jeolojik dönemler açısından artan etkisine değinerek son jeolojik dönemin *al periodo antropozoico ve l’era antropozoica* (insan dönemi ve insan çağı) terimlerini kullanılarak bu çağın stratigrafik olarak eski dünya kayalarından ayrılması gerektiğini savunmuştur. Hatta Roma bölgesinde 28 Ekim 1856’da gerçekleşen volkanizma eşleştiğindeki jeolojik ürünleri, *eruzioni antropozoiche* (insan dönemi volkanik patlamalar) şeklinde yorumlayarak bu son dönem içinde değerlendirmiştir.



Şekil 1. a) Modern jeolojinin kurucularından, Avusturyalı jeolog Eduard Suess (1831-1914). b) Suess'in Viyana kentinin zemin özelliklerinin ve jeolojik yapısının sivil yaşam ile ilişkilerinin detaylı bir şekilde vurgulandığı ünlü eseri "Der Boden der Stadt Wien nach seiner Bildungsweise, Beschaffenheit Seinen Beziehungen Zum Bürgerlichen Leben" isimli kitabın kapağı, c) Suess'in aynı eserinin ekinde yer alan Viyana kentine ait zemin ya da yorumsal olarak kent jeoloji haritası.

Figure 1. a) The pioneer of modern geology, Austrian geologist Eduard Suess (1831-1914). b) Cover of the famous book "Der Boden der Stadt Wien nach seiner Bildungsweise, Beschaffenheit Seinen Beziehungen Zum Bürgerlichen Leben" written by Suess, which examines the soil characteristics and geological structure of Vienna in detail. c) the geology map of Vienna, which is attached to Suess's work.



Şekil 2. a) Amerikalı jeolog, mineralog, volkanolog ve zoolog James Dwight Dana (1813-1895). b) J. Dana'ya ait ünlü "Text-book of Geology" isimli kitabın kapağı. c) J. Dana'nın kitabının "Era of mind" (zihin çağı) bölümünde verilmiş, Guadalupe'den insan iskeletinin bulunduğu pekleşmiş kumtaşı (solda), Eski nehir yatağında 3 metre derinden çıkartılmış pekleşmiş kavkılı ve madeni paralı konglomera (sağda).

Figure 2. a) American geologist, mineralogist, volcanologist and zoologist James Dwight Dana (1813-1895). b) Cover of the famous book "Text-book of Geology" by J. Dana. c) The lithified sandstone (left) with a human skeleton from Guadalupe, given in the "Era of mind" chapter of J. Dana's book, conglomerate (right) with coarse shells and coins, removed from an old riverbed at 3 meters depth.

1830'lardan 1880'li yıllara kadar olan 50 yıllık dönemde içinde bulunduğumuz son jeolojik zaman dilimine dair isim tartışmaları bireysel nitelikteki çalışmalarda değinilmiştir. 1881 yılında İtalya'nın Bologna kentinde düzenlenen 2. Uluslararası Jeoloji Kongresi'nden sonra 1882'de yayımlanan Kongre Sonuç Raporlarında Eugène Renevier başkanlığındaki İsveç komitesi, Miyosen sonundan itibaren günümüze kadar olan süreçteki zaman diliminin isimlendirilmesinde ilk kez uluslararası seviyedeki bir toplantı sonuç raporunda *Période Anthropique* şeklinde bir tanımlamayı diğer öneriler ile birlikte dile getirmişlerdir. Fakat 1885'te Berlin'de düzenlenen üçüncü toplantının *Recent and Tertiary* alt komite sonuç raporunda, *Antro* kökenli bir terminolojik önerme getirilmemesinin yanında, Tersiyer kendi içinde Pliyosen, Pleyistosen ve Recent (Güncel) şeklinde üç alt zaman dilimine ayrılmıştır. 1888'de Londra'daki dördüncü toplantıda ise Prof. Gjuro Pilar, *la group antropozoique* terimini önermesinin yanı sıra bu terimin Senozoyik, Mesozoyik ve Paleozoyik grubuyla da uyumlu olduğunu savunmuş ancak bu savunma İngiliz Komisyonu sonuç raporunda dikkate alınmamıştır. Sonraki yıllarda Uluslararası Jeoloji Kongresi'nde zaman zaman bazı komiteler cephesinde yine *Antro* kökenli jeolojik zaman çizelgesi için önermeler yapılmaya çalışılmışsa da, bu girişimler kısıtlı kaldığı için dikkate alınmamıştır. Bu bağlamda, kronolojik olarak bakıldığında Uluslararası Jeoloji Kongresi kapsamında ve jeolojik zaman çizelgesinin olgunlaşma dönemi içinde, geçmiş önerileri savunan veya hatırlatan bilim insanlarının azalma eğilimi göstermesiyle bu terminolojiden uzaklaşıldığı görülmektedir.

Burada Pliyosen, Holosen, Kuvaterner ve Pleyistosen gibi jeolojik dönem isimlerinde belli bir ortak noktaya varılmasının 50 yılı aşkın bir süre aldığı görülmektedir. Unutulmamalıdır ki Giovanni Arduino'nun 1758 yılında tanımladığı Tersiyer'in bile jeolojik zaman çizelgesinde anlamsızlaşarak kaldırılması 1989 yılında gerçekleşebilmiştir. Jeolojik zaman çizelgesindeki bu evrimin süresi gözetildiğinde, *Antroposen* kavramının 2000'li yıllara kadar unutulmasından kaynaklanan,

bilimsel çalışmaların eksikliği ve hatta son dönemde yeniden bu doğrultuda ivmelenmesi bile, geçen zaman gözetildiğinde hâlâ tartışmaların emekleme aşamasında olduğunu göstermektedir. Etimolojik kökeni bakımından, eski Yunanca'da insan anlamına gelen *ανθρωπος* (antropos) ile yeni anlamına gelen *καινός* (kainos) kelimelerinin birleşiminden oluşan Antroposen terimi ise yeniden 1980'lerde Eugene F. Stoermer tarafından kullanılmıştır. İçinde bulunduğumuz jeolojik seri olan Holosen'in zamansal olarak ayrılması ve yeni bir jeolojik seri olarak Antroposen'e girilmesi gerektiğini ise Crutzen ve Stoermer (2000) doğal süreçlerin dışında gelişen antropojenik işlevlerin başta kirlilik olmak üzere, daha farklı birçok etki ortaya çıkarmasından ve bu durumun güncel veya günümüze yakın jeolojik süreçlerde gözlenebilir ve ölçülebilir olmasından yola çıkarak ortaya atmış ve günümüzde bu bilimsel fenomenin gelişmesine katkı sağlamıştır. Bu zamansal ayrımın tekrar gündeme gelmesinin ardından, Antroposen'in başlangıcına yönelik çalışmalar zaman içerisinde artmış ve birçok araştırmacıyı disiplinlerarası bir düzeyde irdelemeye yöneltmiştir.

Dünya nüfusu 1950'li yıllarda yaklaşık 3 milyar kişi iken günümüzde bu rakam 7,5 milyara yaklaşmıştır (Gerland vd. 2014). Her geçen gün artan nüfus yoğunluğu beraberinde insan faaliyetlerini de arttırmaktadır. Bu faaliyetler temel olarak insanların yaşam olanaklarını kolaylaştırma amacı güdüyor olsa bile çoğu zaman doğa koşulları olumsuz yönde etkilenebilmektedir. Bu bağlamda insan, doğada yaşayan sıradan bir türün ötesinde doğanın kendi işleyişi dışında katalizör görevinde ve küresel çapta belirleyici gücü olan biyolojik, kimyasal ve jeolojik bir aktör hâline gelmektedir (Crutzen ve Stoermer, 2000; Andersson vd. 2005; Crossland vd. 2005). Bu doğrultuda insan kaynaklı çevresel etkiler Hippocrates'e dayanan daha eski bir olgu olmasına rağmen "*antropojenik kirlilik*" kavramı ise tam kelime karşılığı olarak görece daha yeni bir terminolojinin ürünüdür. Bu kavram ilk kez Rus jeolog ve paleontolog Aleksei Petrovich Pavlov'un 1922 yılında yayımladığı *Recent Geology* isimli eserinde tam manasıyla kullanılmıştır (Starodubtseva, 2006). Bu

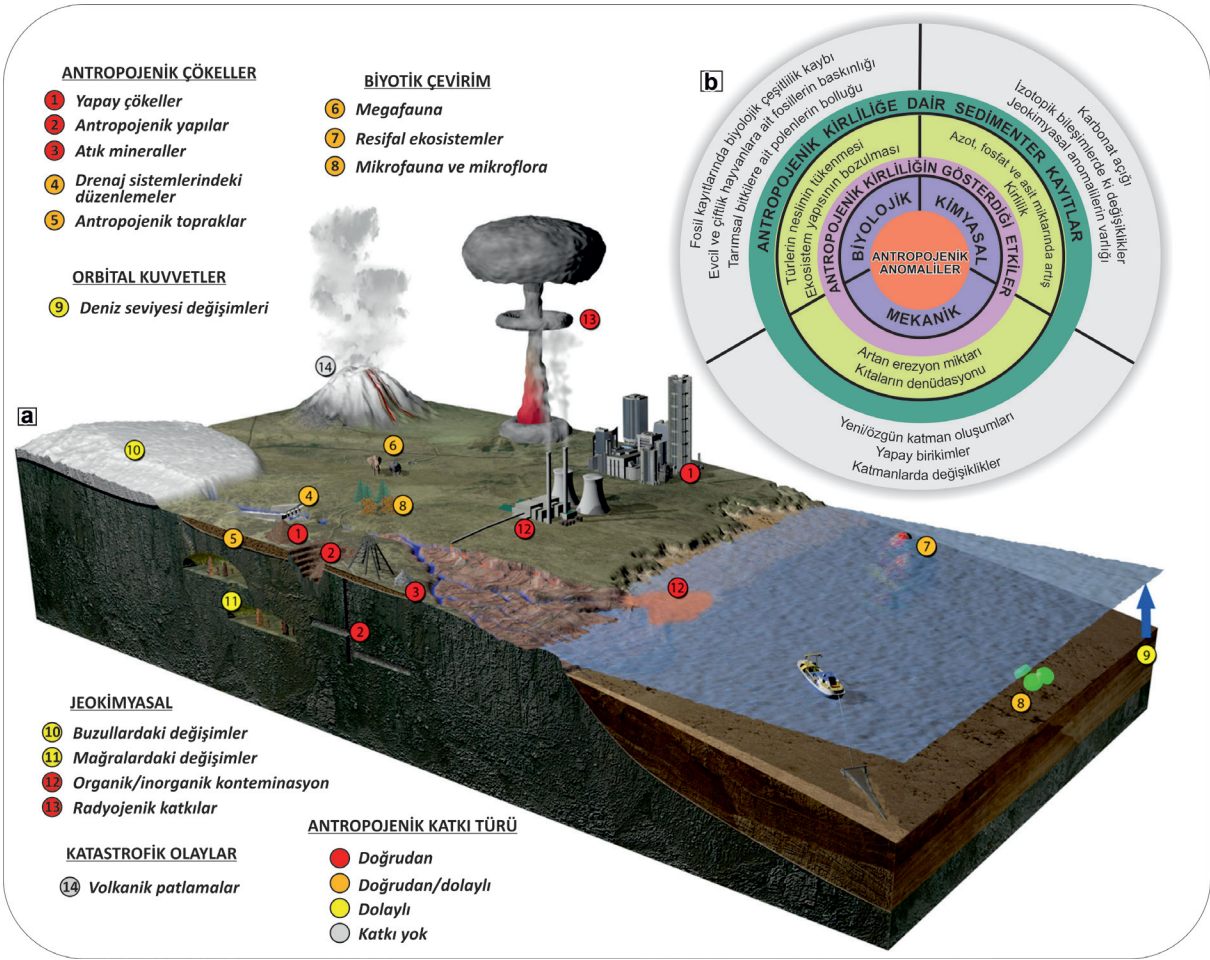
terminolojik kavram günümüzde insan kaynaklı çevresel etkileri tanımlamak için o tarihten bu yana yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kronolojik ilişki bütünüyle irdelendiğinde, *Antro* kökünden türetilerek önerilen bütün jeolojik dönemlerin, aynı kökten türetilen kirlilik kavramından çok daha önce bilimsel arenada tartışılmaya başlandığı görülmektedir.

DÜNYADAKİ GELİŞMELER

Küresel ölçekte, 1830'lardan itibaren değişik isimlerle önerilse de genel anlamda Antroposen kavramının jeolojik anlamda zamansal olarak ayrılması üzerine yoğunlaşan çalışmaların, 1970'lerin sonundan itibaren antropojenik anomalilerin tespiti ve ölçülmesi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Çünkü Antroposen'in başlangıcının ölçülebilmesine yönelik çalışmalar doğal olarak antropojenik anomalilerinin varlığının tespitine dayanır. Waters vd. (2014), jeolojik kayıtlar içindeki antropojenik anomalileri, jeokimyasal katkılar, antropojenik çökeller ve biyotik çevrim şeklinde ayırarak, antropojenik katkı türünü doğrudan, doğrudan/dolaylı ve dolaylı şeklinde üç sınıf altında değerlendirmektedir (Şekil 3a). Galuszka vd. (2014) ise antropojenik anomalileri temel olarak biyolojik, kimyasal ve mekanik anomaliler şeklinde üç ana çalışma konusu altında ele almaktadır (Şekil 3b). Sedimenter çökeller içindeki antropojenik kirliliğe dair kayıtlar ise en çok jeokimyasal anomalilerin (özellikle ağır metaller gibi) varlığı ile ölçülmektedir (Galuszka vd. 2014). Bu üç ana çalışma konusu içinde, en çok biyolojik ve kimyasal anomalilerin değerlendirilmesiyle ortaya çıkarılan araştırmalar öne çıkmaktadır.

Literatürde antropojenik etkinin ölçülebilmesinin altında yatan ana felsefe aslında 20. yüzyılın başlarında ortaya çıkmıştır. Buna göre jeolojik birimlerden elde edilmiş jeokimyasal analiz sonuçlarının ortalama değerleri ile çalışılan alandaki birimlerden elde edilen değerlerin karşılaştırılmasına dayanan bir hesaplama dayanmaktadır. Günümüzde kullanıldığı şekliyle ortalama kabuk değeri ya da arda (background)

değerinin temelleri ise en kapsamlı şekilde ilk kez Clarke (1889, 1911) tarafından atılmıştır. Bu tarihten itibaren günümüze kadar jeolojik birimlerin içerdikleri element bazındaki jeokimyasal verileri irdelleyen birçok çalışma ortaya konmuştur (örn. Goldschmidt, 1937; Turekian ve Wedepohl, 1961; Condie, 1993; Taylor ve McLennan, 1995; Rudnick ve Gao, 2003). Bu noktadan çıkışla antropojenik etkinin sayısal olarak ölçülmesine yönelik ilk kapsamlı çalışmalar ise 1960 ve 1970'li yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu anlamda yapılan öncü çalışmalardan bazıları şu şekildedir: Erlenkeuser vd. (1974), Batı Baltık Denizi'nin yüzeye yakın sedimanlarında yaptığı çalışmada ağır metaller ile inaktif organik karbonun karakteristik artışının sedimenter kayıtlarda sanayileşme yaşının belgelemesi olarak değerlendirmiştir. Bunun haricinde nehir ve göl yataklarında (örn. Banat vd. 1972; Förstner ve Müller, 1975 ve Müller, 1979), Grönland'ın yıllık kayıtlarında ve Antarktika'daki buz katmanlarında (örn. Murozumi vd. 1969) ve diğer çeşitli karasal alanlarda (örn. Tyler, 1972), belirli metal konsantrasyonundaki çarpıcı artışlar antropojenik kaynaklar ile ilişkilendirilmiş ilk çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda ağır metallerin toksik etkileri ve birikim özellikleriyle çevre için önemli ölçüde bir antropojenik kirlilik oluşturduğu bilindiği için (Omgbu ve Kokogbo, 1993), son yıllarda antropojenik kirlilik çalışmaları genelde güncel sedimanlar (denizel, gölsel ve/veya akarsu) içindeki anomalilerin jeokimyasal olarak değerlendirilmesi sayesinde gerçekleşmektedir. Literatürde antropojenik katkının sayısal olarak belirlenmesine yönelik en çok kullanılan temel parametreler Kirlilik Yükü İndeksi (PLI: Pollution Load Index), Zenginleşme Faktörü (EF; Enrichment Factor) ve Geo-Birikim indeksidir (Igeo; geo-accumulation index) (Çizelge 1). Bu kirlilik parametrelerinin ayrıntıları ve kronolojik gelişimi için yazarlar Alak ve Sümer (2017)'nin "Materyal ve Metod" bölümünü önermektedir.



Şekil 3. a) Dünyadaki jeolojik olaylarda gözlemlenebilen antropojenik anomalilerin türleri (Waters vd. 2014'den düzenlenmiştir), b) olası antropojenik etkilerin biyolojik, kimyasal ve mekanik özelliklerine göre ayrılması ve güncel sedimanlarda gözlenen olası kayıt türleri (Galuszka vd. 2014 ve Alak ve Sümer, 2017).

Figure 3. a) Types of anthropogenic anomalies that can be observed in geological events around the world (edited by Waters et al. 2014). b) the separation of possible anthropogenic effects according to their biological, chemical and mechanical properties and the possible record types observed in current sediments (Galuszka et al. 2014 and Alak and Sümer, 2017).

Antroposen kavramında ise dünyadaki gelişmeler, Crutzen ve Stoermer'in (2000) bu terminolojiyi yıllar sonra tekrar gündeme getirmesiyle birlikte konu üzerindeki çalışmalar hız kazanmıştır (örn. Ruddiman, 2003; Crutzen, 2006; Schlütz ve Lehmkuhl, 2009; Armesto vd. 2010; Zalasiewicz vd. 2011 ve 2015; Gale ve Hoare, 2012; Slaughter, 2012; Oldfield, 2015). Bu çalışmalar sonucunda Antroposen'in varlığı ile ilgili bir fikir birliğine gidilse de, başlangıcı

ile ilgili temelde üç görüş yaygındır. Bunlar; (1) Antroposen, kontrolsüz tarımın başlaması ve verimsiz arazi kullanımının artması ile yaklaşık MÖ 8000-3000 tarihlerinde başlamış olmalıdır (Ruddiman, 2003; Certini ve Scalenghe, 2011; Ellis, 2011; Wilkinson vd. 2014), (2) Fosil yakıtların kullanılmasının yaygınlaşması ve Sanayi Devrimi ile son 200-500 yıl içinde ivmelenmeye başlamış olmalıdır (Crutzen ve Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Davis, 2011; Fischer-Kowalski vd. 2014)

ve (3) Özellikle 2. Dünya Savaşı sonrasında, ilk atom bombası ve sonrasındaki nükleer testler ile Antroposen–Holosen sınırı 20. yüzyıl ortalarına karşılık gelmelidir (Steffen vd. 2007; Wolfe vd. 2013; Zalasiewicz vd. 2015; Waters vd. 2016). Ancak burada hâli hazırdaki Antroposen kavramına odaklanan çalışmalarının büyük bir

bölümünün kavramın temel prensiplerine dayanan yöntemsel uygulamaları açıklayan çalışmalardan oluştuğunu ve Antroposen’in başlangıcına yönelik mutlak yaş verileri ile desteklenen bilimsel çalışmaların ise kısır kaldığının da vurgulanması gerekmektedir.

Çizelge 1. Antropojenik etkinin hesaplanmasında sıklıkla kullanılan Kirlilik Yükü İndeksi (PLI: Pollution Load Index), Zenginleşme Faktörü (EF; Enrichment Factor), Jeo-Birikim indeksi (Igeo; geo-accumulation index) değerlerine ait formüller ve açıklamaları (CF değeri ve sonuçlarının sınıflandırılması Hakanson (1980) tarafından ortaya konulmuş olup elde edilen değer yardımıyla Tomlinson vd. (1980) tarafından tanımlanan PLI değeri elde edilmektedir. Sonrasında Ray vd. (2006) tarafından hazırlanan sınıflandırma ile PLI değerlerinin sınıflandırması yapılmaktadır. İlk kez Buat-Menard ve Chesselet (1979) tarafından ortaya atılan EF değeri ise literatürde yaygın kullanılan Sutherland (2000)’ın önerdiği aralıklarla yapılmaktadır. Igeo değeri ise ilk kez Müller (1979) tarafından önerilmiş olup, Müller (1986) tarafından öngörülen sınıflama ile değerlendirilmektedir).

Table 1. Formulas and explanations of Pollution Load Index (PLI), Enrichment Factor (EF) and geo-accumulation index (Igeo) values which are frequently used in the calculation of anthropogenic effect. (The CF value and classification was defined by Hakanson (1980) and PLI value defined by Tomlinson et al. (1980) is calculated using the obtained CF value. Then, PLI values are classified using the classification prepared by Ray et al. (2006). The EF value first proposed by Buat-Menard and Chesselet (1979) was evaluated by Sutherland’s (2000) proposed classification which is widely used in the literature. The Igeo value was proposed by Müller (1986) for the first time and evaluated by Müller’s (1979) classification).

Kirlilik Yükü İndeksi (PLI: Pollution Load Index) Kirlilik Faktörü (CF: Contamination Factor)	Zenginleşme Faktörü (EF: Enrichment Factor)	Jeo – Birikim indeksi (I _{geo} : Geo-Accumulation Index)
$CF: \frac{C_i}{C_n} \quad PLI: \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n}$	$EF: \frac{(C_{Metal} \times C_{Ref})_{Örnek}}{(C_{Metal} \times C_{Ref})_{Kabuk}}$	$I_{geo}: \log_2 \left[\frac{C_n}{B_n \times 1.5} \right]$
<p>C_i: Analiz edilen örneğin elde edilen sonucu C_n: İncelenen elemente ait ortalama kabuk /ardalan (background) değeri</p>	<p>C_{Metal}(Örnek):İlgili elementin konsantrasyonu C_{Ref}(Örnek): Referans olarak alınan elementin ölçülen konsantrasyonu C_{Metal}(Kabuk):İlgili elementin kabuktaki ardalan (background) değerini C_{Ref}(Kabuk): referans alınan elementin kabuktaki ardalan değeri</p>	<p>C_n: Analiz edilen metalin konsantrasyonu B_n: İlgili ağır metalin ortalama referans değeri</p>
<p>CF sonuç değer aralıkları;</p> <p>CF < 1: düşük 1 ≤ CF < 3: orta 3 ≤ CF < 6: önemli CF ≥ 6: çok yüksek kirlilik faktörü</p> <p>PLI sonuç değer aralıkları;</p> <p>PLI > 1: Kirlilik fazla PLI < 1: Kirlilik az</p>	<p>EF sonuç değer aralıkları;</p> <p>EF < 2: en az zenginleşme/kirlilik 2 ≤ EF ≤ 5: orta zenginleşme/kirlilik 5 ≤ EF ≤ 20: belirgin zenginleşme/kirlilik 20 ≤ EF ≤ 40: çok yüksek zenginleşme/kirlilik EF > 40: son derece yüksek zenginleşme/kirlilik</p>	<p>I_{geo} sonuç değer aralıkları;</p> <p>I_{geo} < 0: pratik olarak kirlenmemiş 0-1: arası kirlenmemiş-orta derece kirlili 1-2: arası orta derece kirlili 2-3: orta-kuvvetli kirlili 3-4: aşırı kirlili 4-5: aşırı-çok aşırı kirlili I_{geo} > 5: çok aşırı kirlili</p>

TÜRKİYE'DEKİ GELİŞMELER

Dünyanın birçok farklı bölgesinde olduğu gibi ülkemizde de antropojenik kirlilik kavramı uzun yıllardır tartışılmakta ve birçok yeni çalışma ile elde edilen veri seti her geçen gün genişlemektedir. Türkiye'de antropojenik etki üzerine yapılan çalışmaların temellerinin 1970'lerde atıldığı ve özellikle 1990'lı yıllardan sonra büyük ölçüde ivmelendiği görülmektedir (örn.; Fowler vd. 1976; Taymaz vd. 1983; Orhon, 1984; Bodur ve Ergin, 1988; Ergin vd. 1991 ve 1994 ve 1998; Yücesoy ve Ergin, 1992; Aksu vd. 1998; Tuncer vd. 1998; Balkıs vd. 2007 ve 2012; Gürbüz ve Gürer, 2008; Yatkın ve Bayram, 2008; Çoban vd. 2009; Özkan ve Büyükkışık, 2012; Sarı vd. 2018). Türkiye'de genellikle bu çalışmalar sanayileşmenin ve nüfus artışının bilhassa yoğun olduğu Marmara Denizi'nde (batı ve kuzey kıyıları ile İstanbul Boğazı, Haliç, İzmit Körfezi gibi), Ege Denizi'nin batı kıyı ve körfezlerinde (özellikle İzmir Körfezi, Çandarlı Körfezi, Aliağa kıyıları Büyük Menderes Deltası ve ilerisi ile Edremit Körfezi'nde) yoğunlaşmakla beraber Karadeniz'in hemen hemen tüm güney kıyılarında ve Akdeniz'de Antalya, Mersin ve İskenderun Körfezi'nde gerçekleştirilmiştir. Özellikle antropojenik kirliliğin farklı türde etkilerinin (radyasyon, hava, toprak, denizel/gölsel organizmalar, su kirliliği gibi) ortaya konulduğu çalışmalara da literatürde sıkça rastlamak mümkündür (örn. Akçay ve Ardisson, 1988; Gümgüm vd. 1994; Ayçık ve Ercan, 1997; Karadede ve Ünlü, 2000; Önder ve Dursun, 2006; Özmen vd. 2006; Çoşkun vd. 2006).

Fakat tüm bu çalışmaların haricinde Türkiye özelinde Antroposen kavramını irdeleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmalar kronolojik olarak şu şekilde özetlenebilir: Efe vd. (2008) daha çok Antroposen kavramının temellerine değinmiş ve Türkiye özelinde doğal ortam-insan ilişkisi ile ortaya çıkan bazı antropojenik biyomları ele almıştır. Antroposen'in başlangıcına yönelik özellikli bir yaş verisi

sunulmayan çalışmada, doğal bitki örtüsü, fauna, toprak, su ve havada antropojenik kirlilik bazında son iki yüzyılda bir artış gözlemlendiği vurgulanmıştır. Ertek (2017) ise Antroposen kavramına değinerek bu dönem içerisindeki insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan jeomorfolojik yıkımlara dikkat çekmiştir. Özşahin ve Eroğlu (2017), Antroposen kavramı çerçevesinde Tekirdağ'daki antropojenik biyomların Antroposen dönemi içerisindeki yayılımını vurgulanmıştır. Yapılan tüm bu çalışmalar ülkemiz bilim camiasında da "Antroposen" kavramının tanınırlığını arttırmak ve çalışmalara katkı sağlamak anlamında önemli bir değere sahip olsalar dahi Antroposen'in zamansal ayırımına ve başlangıcının saptanmasına yönelik bir veri seti sunmamaktadırlar. Bu kapsamda ülkemizde Antroposen'in zamansal ayırımına yönelik mutlak yaş verileri ile desteklenen ilk çalışma Alak ve Sümer (2017)'dir. Bu çalışmada Antroposen ve ilişkili kavramlar sunulurken, Türkiye'de ilk defa Antroposen'in zamansal olarak ayrılması Karadeniz ve Marmara'dan elde edilen karotlar içerisinde mutlak yaş verileri ile araştırılarak tartışılmıştır.

GELECEKTEKİ PERSPEKTİFLER: SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Gelecekte yapılacak olan Antroposen'in araştırılması ve antropojenik kirlilik çalışmalarında ele alınması gereken 2 ana unsur bulunmaktadır. Bunlar; (1) Antropojenik etki/katkının ölçülmesindeki standartların belirlenmesindeki problemler ve çözümü için uygulanması gereken adımlar, (2) Antroposen'in zamansal olarak ayrılmasının artık kavramsal olarak tartışmasından çok, mutlak yaş verileri ile desteklenebilecek çalışmaların üretilmesinin gerekliliğidir. Dünyada yapılan bilimsel çalışmaların çoğunda özellikle antropojenik etkinin veya katkının numerik olarak ölçülmesinin temelinde belirli bir alandan elde edilen örneklerinin çoklu element analizlerinin sonuçlarının, ortalama kabuk ya da ardalan

değerleri (background value) olarak bilinen ve literatürde çoğunlukla kullanılan Goldschmidt (1937), Morgan vd. (1978), Turekian ve Wedepohl (1961), Condie (1993), Taylor ve McLennan (1995), Wedepohl (1995) ve Rudnick ve Gao (2003) gibi kabul görmüş bazı çalışmalarda ortalama değerlerle karşılaştırılması/oranlanması temeline dayanan bir yöntem uygulanmaktadır. Fakat literatürde kabuk veya kaya türü olarak sunulmuş olsa da antropojenik kirlilik çalışmalarında sıklıkla kullanılan bu ağır metal element ortalama değerlerinin birbirlerinden çok farklı aralıklarda değişkenlik sunduğu görülmektedir (Çizelge 2). Bu durumda literatürde sunulmuş olan çalışılan bölge değerlerinin kirlilik sınıflamalarında değerlendirilmesi hatalı bir yaklaşım olabileceği gibi doğru sonuca kavramsal olarak yaklaşım göstermek aşırı derecede zorlaşacaktır.

yapılan bilimsel çalışmaların çoğunda bu etkinin oldukça göz ardı edildiği görülmekle beraber, çalışılan alanın jeolojik yapısı, yani beslenme alanının kaya türü ve incelenen sedimana (karasal ya da denizel) yapacağı litojenik kökeninden kaynaklı bir etkilerin varlığı ve bunun ortaya konularak hesaplama yapılması hayati derecede önemlidir.

Litojenik yani jeojenik katkı oranının belirlenmesi dışında, antropojenik kirliliğin sınıflanmasında ve antropojenik katkı oranının belirlenmesinde önemli etmenler bulunmaktadır. Bunlar;

- (i) Çoklu element analizlerindeki sonuçların, incelenen örneğin tane boyu dağılımı ve karbonat oranına göre değişkenlik göstermesi yani tane boyu efekti (grain size

Çizelge 2. Antropojenik kirlilik çalışmalarında sıklıkla kullanılan bazı ağır metal elementlerinin literatürde sunulmuş ortalama kabuk ve arda (background) değerlerinin karşılaştırması.

Table 2. Comparison of average crust and background values of some heavy metal elements in the literature which are commonly used in anthropogenic pollution studies.

Çalışma	Elementler (ppm)													
	Ba	Cr	Ti	Bi	Co	Cu	Ni	Pb	V	Zn	Ag	As	Mo	
Goldschmidt (1937)*	390	200	6300	0,2	40	100	100	16	100	40	0,1	5	15	
Turekian ve Wedepohl (1961)	M	0,4 - 1600	2 - 1600	300-13800		1 - 150	5 - 87	4 -2000	1 - 19	30 - 250	39 - 130	0,03 -0,11	1 - 2	0,3 - 1,3
	S	10 - 580	11 - 90	400-4600	-	0,1 - 19	4 - 45	2 - 68	7 - 20	20 - 130	20 - 95	0 - 0,11	1 - 13	0,2 - 2,6
	DS	190-2300		770-4600		7 - 24	30 - 250	30 - 225	9 - 80	20 - 120	35 - 165	0 - 0,11	1 - 13	3 - 27
Taylor ve McLennan (1995)**	550	35	0,30	127	10	25	20	20	60	71	0,05	1,5	1,5	
Wedepohl (1995)**	668	126	4010	0,123	24	25	56	14,8	98	65	0,055	1,7	1,1	
Rudnick ve Gao (2003)**	628	92	-	0,16	17,3	28	47	17	97	67	0,053	4,8	1,1	

* Kabuk, ** Üst Kabuk, [M] Magmatik Kayalar, [S] Sedimenter Kayalar, [DS] Derin Deniz sedimanları

Bu durumun önlenemesinin tek yolu, her çalışılan alan için literatürdeki dünya ölçeğinde önerilmiş ortalama değerlerin kullanılması yerine, o bölgeye özel litojenik (“jeojenik, doğal, jeolojik”) katkı oranının belirlenmesi ve bu oranın kirlilik sınıflandırılmalarında kullanılması gerekmektedir. Aslında literatürde bu durum litojenik etki (litogenic effect; jeojenik kaynak, süreç) olarak bilinmektedir (örn. Salomons ve Förstner, 1984; Upadhyay vd. 2006; 2007). Fakat

effect; örn. Ackermann, 1980; Stoffers vd. 1986; Horowitz ve Elrick, 1987; Lin vd. 2002; Zhang vd. 2002) ve bu etkinin farklı tane boyundaki ve karbonat miktarlarına sahip örneklerde belirlenerek yorumlama yapılması gerekliliği ile örneklerin hangi kimyasal malzemelere ile analize tabi tutulacağı ve hangi analitik yöntemler ile belirleneceği (XRF, ICP, AAS, SEM-EDAX, Mikroprob gibi) önemlidir,

- (ii) Özellikle karasal alanlarda yapılacak çalışmalarda alınacak örneklerin yağışlı ya da kurak dönemlerden kaynaklanan ıslak ya da kuru olma durumunun iklimsel etkilerden kaynaklanan element konsantrasyonu değişimleri (Seasonal or Climatological effect; örn. Atkinson, 1957; Sakai vd. 1986; Alagarsamy, 2006; Sarasiab vd. 2014) ve bu etkiyi dikkate alarak zamansal ve mevsimsel izleme yöntemiyle örnekleme ve değerlendirme yapılması gerekliliği,
- (iii) Örneklemenin sadece antropojenik etki alanı ile sınırlı kalmaksızın etki alanı dışında kalan alanlardaki ve bölgede antropojenik süreçlerden önceki zamanlara ait durumun da kontrol edilerek denetirilebileceği bir ölçüm tekniğinin geliştirilmemesidir.
- (iv) Özellikle toprak ve sediment örneklerinin hangi yöntemler ile alınacağı (serbest düşmeli ağırlık ve piston karotları, kepçe, kutu karot, hidrolik veya elektrikli çekiçleme gibi) iyi belirlenmelidir,
- (v) Sediment ya da toprak örneklerinin mikroskop altında incelenmesi ve kısmi kimyasal analizler (SEM-EDAX) antropojenik malzemelerin bileşimi ve türü hakkında bilgi verebilecek mineralojik analizler (örneğin XRD gibi) gerçekleştirilerek, olası yüksek metal miktarlarına sahip minerallerin tür ve dağılımlarının belirlenmesi gerekmektedir.
- (vi) Çalışma alanı ve yakın çevresinde geçmişte ve hâlihazırda işletilmiş fabrika ve sanayi kuruluşları, deşarj noktaları, tarımsal ve zirai faaliyetler ile geçmiş tarihsel ve arkeolojik veriler/bilgiler toplanmalı ve antropojenik katkı miktarının belirlenmesinde değerlendirilmelidir.

Bu kapsamda gelecekte yapılacak antropojenik kirlilik çalışmalarda öncelikli olarak çalışma alanı sınırlarında yüzlek veren ve antropojenik etki dışındaki doğrudan bölgede

bulunan kaya topluluklarının litolojisinden kaynaklı ve jeolojik yapısıyla orantılı olarak aşınma hızları da gözetilerek belirlenecek element konsantrasyonlarının tespitine yönelik jeokimyasal çalışmalar yapılmalıdır. Bu sayede bölgenin kirlilik çalışmalarında kullanılacak ve dünya kabuk değerlerinden çok daha doğru bir veri seti üzerinden değerlendirme yapmak mümkün olacaktır. Diğer yandan yapılacak çalışmalarda, her bir jeolojik birimden ayrılarak oluşmuş sedimanlarda gerçekleştirilecek tane boyundan kaynaklanabilecek zenginleşmelerin varlığı ortaya konularak tane boyu efektiyle birlikte çalışma alanına özgü bir ardaan (background) değerinin ortaya çıkartılması gerekmektedir. Çalışmalarda örnekleme mevsimsel döngülerle izlenmesi ise kirlilik sonuçlarının doğruluğu ve güvenilirliği açısından daha iyi bir yaklaşım gösterilmesine olanak sağlayacaktır.

Antroposen sınırının belirlenmesine yönelik çalışmalarda ise kavramlardan çok sayısal verilere dayanan çalışmalara gereksinim duyulduğu şüphesizdir. Bu noktada özellikle Holosen yaşlı jeolojik formasyonlar üzerinde, antropojenik etki dışında kalmış stratigrafik seviyeleri de kapsayacak şekilde bir derinlik profilinden alınacak örneklerin analizinin yorumlanması gerekmektedir. Keza aynı şekilde, ileride yapılacak çalışmalarda antropojenik anomalilerden yola çıkarak Antroposen'in zamansal ayrımına varacak radyokarbon, kozmojenik nüklit, lüminesans, ESR (Electron Spin Resonance) ve U/Th gibi mutlak yaş verilerinin üretilmesi de gerekmektedir. Çalışılan materyalin türüne ve çalışma olanaklarına göre denetirilerek yapılacak tarihlendirme yöntemlerinin sonuçları Antroposen'in varlığına ya da yokluğuna ışık tutabilecek veri setinin oluşmasına katkı sağlayacak ve bu kavramın netleştirilmesi ve detaylandırılması ancak bu çalışmaların sonuçlarının bilimsel arenada tartışılmasıyla mümkün olacaktır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın bir bölümü özet tebliğ olarak 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı “Antroposen ve Antropojenik Kirlilik” oturumunda sunulmuştur. Yazarlar, konunun doğrudan yaşadığımız jeolojik dönemi temsil ettiği öngörüsü ile bilimsel arenada farkındalık yaratma çabaları itibariyle bu özel sayının yapılması davetinde bulunan Türkiye Jeoloji Bülteni baş editörü Prof. Dr. Erdinç Yiğitbaş ve 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı Başkanı Prof. Dr. Hasan Sözbilir’e teşekkürü bir borç bilirler. Bu çalışmanın, özellikle Antroposen kavramı ile ilişkili kronolojik bölümünün oluşturulması ve gelecekte yapılması gereken çalışmalar ile ilgili perspektiflerin geliştirilmesi TÜBİTAK tarafından desteklenen 117Y302 no’lu proje çalışmalarında ve projenin sonuç raporu hazırlanırken gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yazarlar bu çalışmaya hakem olarak katkı sunan Prof. Dr. Mustafa Ergin ve Prof. Dr. Doğan Yaşar’a teşekkürlerini sunarlar.

EXTENDED SUMMARY

Considering the relationship between humans and nature, humans initially survived and then started to transform nature into a living space of their own and established dominance in today's world. At this point, their desire to shape natural life in the world created disturbances and harmed the ecological balance and humans began to act as a new factor changing geology. This situation led to the necessity of separating the Holocene and calling the last part the Anthropocene. Especially, the industrialization process that started with the Industrial Revolution and the urbanization and demographic problems have triggered the rapid destruction of nature and the disruption of natural life. The Anthropocene concept and anthropogenic pollution have been studied in the whole world. In addition to research about the theoretical aspects of the concept, it is important to study on lithological aspects in geological strata because studies to determine the onset of the Anthropocene

naturally depend on the presence of anthropogenic anomalies. According to Waters et al. (2014), anthropogenic anomalies in geological records are separated into three factors of geochemical contributions, anthropogenic sediments and biotic cycle and classified as direct, direct/indirect and indirect. On the other hand, Galuszka et al. (2014) studied anthropogenic anomalies under three main headings of biological, chemical and mechanical anomalies. Records of anthropogenic pollution in sedimentary sediments are generally measured by the presence of geochemical anomalies (especially heavy metals) (Galuszka et al., 2014). Among these three main research topics, biological and chemical anomalies are the most prominent.

The concept of the Anthropocene in the world gained momentum again with Crutzen and Stoermer (2000) because of their reintroduction of this terminology after decades (e.g., Ruddiman, 2003; Crutzen, 2006; Schlütz and Lehmkuhl, 2009; Armesto et al., 2010; Zalasiewicz et al., 2011 and 2015; Gale and Hoare, 2012; Slaughter, 2012; Oldfield, 2015). As a result of these studies, although there is a consensus about the existence of the Anthropocene, there are three fundamental approaches toward the beginning of the Anthropocene: (1) the Anthropocene should begin around 8000-3000 BC with the beginning of uncontrolled agriculture and increased inefficient land use (Ruddiman, 2003; Certini and Scalenghe, 2011; Ellis, 2011; Wilkinson et al. 2014); (2) it should begin with the expansion of the use of fossil fuels due to the Industrial Revolution so it comprises the last 200-500 years (Crutzen and Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Davis, 2011; Fischer-Kowalski et al. 2014); and (3) it started after World War II because of the first atomic bomb and post-nuclear tests and the Anthropocene-Holocene boundary must be in the mid-20th century (Steffen et al. 2007; Wolfe et al. 2013; Zalasiewicz et al. 2015; Waters et al. 2016).

Evaluating Anthropocene studies in Turkey, Efe et al. (2008) addressed the Anthropocene

concept and Turkey in accordance with some anthropogenic biomes occurring in human relationships with the natural environment-specific site. It was emphasized that anthropogenic pollution increased in the last two centuries based on natural vegetation, fauna, soil, water and air. However, Ertek (2017) drew attention to the concept of the Anthropocene, and pointed out the geomorphological destruction resulting from human activities during this period. Özşahin and Eroğlu (2017) researched and inferred the distribution of anthropogenic biomes in Tekirdağ and the Anthropocene period within the framework of the concept of the Anthropocene. Although all these studies have huge roles in terms of increasing the recognition of and contribute to the concept of Anthropocene, they do not provide a data set to determine the temporal separation and beginning of the Anthropocene. In that point, Alak and Sümer (2017) is the first study that supported the temporal separation of Anthropocene in Turkey with absolute age data. Thanks to this study, the Anthropocene and related concepts were discussed in terms of temporal separation and investigated cores obtained from the Marmara and Black Seas.

However, most current studies that focus on the concept of Anthropocene consist of studies explaining the methodological applications based on the basic principles. So that problems in determining standards for measuring the anthropogenic effect/contribution still have to be solved with definite steps and scientific studies have to be supported with the use of absolute age data to understand the beginning of the Anthropocene and create new perspectives in the future.

ORCID

Ökmen Sümer  <https://orcid.org/0000-0003-3168-8728>

Akın Alak  <https://orcid.org/0000-0002-9483-0392>

Arman Tekin  <https://orcid.org/0000-0002-5838-2027>

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

- Ackermann, F., 1980. A procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analyses of estuarine and coastal sediments. *Environmental Technology*, 1(11), 518-527.
- Adams, F., 1849. *The Genuine Works of Hippocrates*. Vol 1, Chapter: On Airs, Waters, And Places. The Sydenham Society, Londra, 179-222.
- Akçay, H., Ardisson, G., 1988. Radioactive pollution of Turkish biotas one year after the Chernobyl accident. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 128(4), 273-281.
- Aksu, A.E., Yaşar, D., Uslu, O., 1998. Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Heavy metal and organic compound concentrations in surficial sediments. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 22(5), 387-416.
- Alagarsamy, R., 2006. Distribution and seasonal variation of trace metals in surface sediments of the Mandovi estuary, west coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67(1-2), 333-339.
- Alak, A., Sümer, Ö., 2017. Marmara ve Karadeniz Kıyılarındaki Güncel Sedimanlar İçinde Antroposen'in Varlığına Ait Yeni Bulgular. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60(2), 145-168.
- Andersson, A.J., Mackenzie, F.T., Lerman, A., 2005. Coastal ocean and carbonate systems in the high CO₂ world of the Anthropocene. *American Journal of Science*, 305(9), 875-918.
- Anonymous, 1882. *Congrès Géologique International: Compte Rendu 2^{me} Session*, Bologne, 1881, Fava et Garagnani, Bologne, 660 s.
- Armesto, J.J., Manuschevich, D., Mora, A., Smith-Ramirez, C., Rozzi, R., Abarzúa, A.M., Marquet, P.A., 2010. From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Land Use Policy*, 27(2), 148-160.
- Atkinson, D.J., 1957. Heavy metal concentration in streams in north Angola. *Economic Geology*, 52(6), 652-667.
- Ayçık, G.A., Ercan, A., 1997. Radioactivity measurements of coals and ashes from coalfired power plants in the southwestern part of Turkey.

- Journal of Environmental Radioactivity, 35(1), 23-35.
- Balkıs, N., Aktan, Y., Balkıs, N., 2012. Toxic metal (Pb, Cd and Hg) levels in the nearshore surface sediments from the European and Anotolian Shores of Bosphorus, Turkey. *Marine pollution bulletin*, 64(9), 1938-1939.
- Balkıs, N., Topçuoğlu, S., Güven, K.C., Öztürk, B., Topaloğlu, B., Kirbaşıoğlu, Ç., Aksu, A., 2007. Heavy metals in shallow sediments from the Black Sea, Marmara Sea and Aegean Sea regions of Turkey. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 13, 147-153.
- Banat, K., Frstner, U., Miller, G., 1972. *Schwermetalle in Sedimenten von Donau, Rhein, Ems, Weser und Elbe im Bereich der Bundesrepublik Deutschland*. *Naturwissenschaften*, 59, 525-528.
- Bodur, M.N., Ergin, M., 1988. Heavy metal associations in Recent inshore sediments from the Mersin Bay. *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata*, 6(1), 15-34.
- Bostock, J., Riley, H.T., 1856. *The Natural History of Pliny*. Translated, with copious notes and illustrations. Vol. IV, cover (Book 18-23), Henry G. Bohn, Londra, 523 s.
- Buat-Menard, P., Chesselet, R., 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth and Planetary Science Letters*, 42(3), 399-411.
- Certini, G., Scalenghe, R., 2011. Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene. *The Holocene*, 21, 1269-1274.
- Clarke, F.W., 1889. The relative abundance of the chemical elements. *Bulletin of the Philisophical Society of Washington*, 11, 131-142.
- Clarke, F.W., 1911. *The data of geochemistry*, Second Edition. Department of the interior United States Geological Survey (Bulletin 491). Washington, Government Printing Office, 782 s.
- Condie, K.C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, 104, 1-37.
- Crossland, C.J., Kremer, H.H., Lindeboom, H., Crossland, J.I.M., Le Tissier, M.D., 2005. Coastal fluxes in the Anthropocene: the land-ocean interactions in the coastal zone project of the International Geosphere-Biosphere Programme. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 232 s.
- Crutzen, P.J., Stoermer, E.F., 2000. The Anthropocene. *Global Change Newsletter*, 41, 17-18.
- Crutzen, P.J., 2002. Geology of mankind. *Nature*, 415, 23.
- Crutzen, P.J., 2006. *The Anthropocene*, (Earth System Science in the Anthropocene, Editörler: Ehlers E., Krafft T.). Heidelberg: Springer Berlin, Heidelberg, 13-18.
- Çoban, B., Balkıs, N. ve Aksu, A., 2009. Heavy metal levels in sea water and sediments of Zonguldak. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 15, 23-32.
- Çoşkun, M., Steinnes, E., Frontasyeva, M.V., Sjobakk, T.E., Demkina, S., 2006. Heavy metal pollution of surface soil in the Thrace region, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 119(1-3), 545-556.
- Dana, J.D., 1863. *A Text-book of Geology*. Designed For Schools And Academies. Ivison, Blakeman, Taylor & Company, New York and Chicago, 354 s.
- Davis, R.V., 2011. Inventing the present: historical roots of the Anthropocene. *Earth Science History*, 30, 63-84.
- Desnoyers, J., 1829. Observations sur un ensemble de dépôts marins plus recens que les terrains tertiaires du bassin de la Seine et constituant une formation géologique distincte: précédées d'un aperçu de la non simultanéité des bassins tertiaires. *Annales Scientifiques Naturelles* 16, 171-214.
- Efe, R., Soykan, A., Cürebal, İ. ve Sönmez, S., 2008. Türkiye'de Doğal Ortam Bozulmasına Antroposen Açısından Bakış. TÜCAUM (Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi) V. Ulusal Coğrafya Sempozyumu (16-17 Ekim 2008) Bildiriler Kitabı, Ankara, 317-328.
- Ell, T., 2011. Two letters of Signor Giovanni Arduino, concerning his natural observations: first full English translation. Part 1. *Earth Sciences History*, 30(2), 267-286.
- Ell, T., 2012. Two letters of signor Giovanni Arduino, concerning his natural observations: first full English translation. Part 2. *Earth Sciences History*, 31(2), 168-192.

- Ellis, E.C., 2011. Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, 369(1938), 1010-1035.
- Ergin, M., Saydam, C., Baştürk, Ö., Erdem, E., Yörük, R., 1991. Heavy metal concentrations in surface sediments from the two coastal inlets (Golden Horn Estuary and Izmit Bay) of the northeastern Sea of Marmara. *Chemical Geology*, 91(3), 269-285.
- Ergin, M., Bodur, M.N., Yildiz, M., Ediger, D., Ediger, V., Yemeniciog, S., Yücesoy, F., 1994. Sedimentation rates in the sea of Marmara: a comparison of results based on organic carbon-primary productivity and 210 Pb dating. *Continental Shelf Research*, 14(12), 1371-1387.
- Ergin, M., Kazan, B., Eryilmaz, F.Y., Eryilmaz, M., 1998. Metal contamination in the bottom sediments of the gulf of Iskenderun. *International journal of environmental studies*, 55, 101-119.
- Erlenkeuser, H., Suess, E., Willkomm, H., 1974. Industrialization affects heavy metal and carbon isotope concentrations in recent Baltic Sea sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38(6), 823-842.
- Ertek, T.A., 2017. Antropojenik Jeomorfoloji: Konusu, kökeni ve amacı. *Türk Coğrafya Dergisi*, (69), 69-79.
- Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Pallua, I., 2014. A sociometabolic reading of the Anthropocene: Modes of subsistence, population size and human impact on Earth. *The Anthropocene Review*, 1, 8-33.
- Fowler, S.W., Oregioni, B., LaRosa, J., 1976. Trace metals in pelagic organisms from the Mediterranean Sea (Rapor: Trace metals in pelagic organisms from the Mediterranean Sea), International Nuclear Information System. Rapor No. IAEA-TECDOC--187, 110-122.
- Förstner, U., Müller, G., 1975. Factors controlling the distribution of minor and trace metals (heavy metals, V, Li, Sr) in recent lacustrine sediments. IX International Sedimentology Congress, Nice, 57-63.
- Gale, S.J., Hoare, P.G., 2012. The stratigraphic status of the Anthropocene. *The Holocene*, 22(12), 1491-1494.
- Galuszka, A., Migaszewski, Z.M., Zalasiewicz, J., 2014. Assessing the Anthropocene with geochemical methods. Geological Society, London, Special Publications, 395(1), 221-238.
- Gerland, P., Raftery, A.E., Ševčíková, H., Li, N., Gu, D., Spoorenberg, T., Alkema, L., Bailey, K.F., Chunn, J., Lalic, N., Bay, G., Buettner, T., Heilig, G.K., Wilmoth, J., 2014. World population stabilization unlikely this century. *Science*, 346(6206), 234-237.
- Gervais, P., 1848-1852. *Zoologie et paléontologie Françaises (animaux vertébrés) ou nouvelles recherches sur les animaux vivants et fossiles de la France*. Tome I, Paris: Libraire Éditeur; Arthus Bertrand, 271 s.
- Goldschmidt, V.M., 1937. The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks. The seventh Hugo Müller Lecture, delivered before the Chemical Society on March 17th, 1937, *Journal of the Chemical Society (Resumed)*, 655-673.
- Gümgüm, B., Tez, Z., Gülsün, Z., 1994. Heavy metal pollution in water, sediment and fish from the Tigris River in Turkey. *Chemosphere*, 29(1), 111-116.
- Gürbüz, A., Gürer, Ö.F., 2008. Anthropogenic affects on lake sedimentation process: a case study from Lake Sapanca, NW Turkey. *Environmental geology*, 56(2), 299-307.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975-1001.
- Haughton, S., 1865. *Manual of geology*. Longman, Green, Longman, Robersts, & Green, Londra, 360 s.
- Horowitz, A.J., Elrick, K.A., 1987. The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry. *Applied Geochemistry*, 2(4), 437-451.
- Jenkyn, T.W., 1854. *Lessons in Geology – No. L*. Chapter V. On the classification of rocks. Section IV, *Popular Educator* 4, 313–316.
- Jones, H.L., 1923. *Geography of Strabo*. Vol. II. (cover Book III – V), William Heinemann, Londra, 480 s.
- Jowett, M.A., 1892. *The Dialogues of Plato Translated Into English with Analyses and Introductions*, Third editon, Vol. 3, Clarendon Press, Oxford, 543s.

- Karadede, H., Ünlü, E., 2000. Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere*, 41(9), 1371-1376.
- Lin, S., Hsieh, I.J., Huang, K.M., Wang, C.H., 2002. Influence of the Yangtze River and grain size on the spatial variations of heavy metals and organic carbon in the East China Sea continental shelf sediments. *Chemical Geology*, 182(2), 377-394.
- Lyell, C., 1830. *Principles of Geology*, First ed., Vol. I. John Murray, Londra, 511 s.
- Lyell, C., 1833. *Principles of Geology*, First ed., Vol. III, John Murray, Londra, 109 s.
- Marsh, G.P., 1864. *Man and nature; or, physical geography as modified by human action*. Charles Scribner, New York, 560 s.
- Morgan, J.W., Higuchi, H., Takahashi, H., Hertogen, J., 1978. Chondritic eucrite parent body - inference from trace-elements. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42(1), 27-38.
- Murozumi, M., Chow, T.J., Patterson, C., 1969. Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dusts and sea salts in Greenland and Antarctic snow strata. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 33(10), 1247-1294.
- Müller, G., 1979. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins-Veränderungen seit 1971. *Umschau*, 79(24), 778-783.
- Müller, G., 1986. Schadstoffe in Sedimenten-Sedimente als Schadstoffe. *Mitt. Österreichische Geologische Gesellschaft*, 79, 107-126.
- Oldfield, F., 2015. When and how did the Anthropocene begin?. *The Anthropocene Review*, 2(2), 101.
- Ongbu, J.A., Kokogbo, M.A., 1993. Determination of Zn, Pb, Cu and Hg in soils of Ekpan, Nigeria. *Environment International*, 19, 611-612.
- Orhon, S., 1984. İzmit Körfezi'nde sediment-kor analizi ile demir, mangan ve organik karbon tayini. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, 49 s., (yayımlanmamış).
- Önder, S., Dursun, S., 2006. Air borne heavy metal pollution of *Cedrus libani* (A. Rich.) in the city centre of Konya (Turkey). *Atmospheric Environment*, 40(6), 1122-1133.
- Özkan, E.Y., Büyükişık, B., 2012. Geochemical and statistical approach for assessing heavy metal accumulation in the southern Black Sea sediments. *Ekoloji*, 21(83), 11-24.
- Özmen, M., Güngördü, A., Kucukbay, F.Z., Güler, R.E., 2006. Monitoring the effects of water pollution on *Cyprinus carpio* in Karakaya Dam Lake, Turkey. *Ecotoxicology*, 15(2), 157-169.
- Özşahin, E., Eroğlu, İ., 2017. Tekirdağ İlinin Antropojenik Biyomlarının (Antronomların) Zamansal Ve Mekânsal Değişimi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (35), 218-227.
- Ray, A.K., Tripathy, S.C., Patra, S., Sarma, V.V., 2006. Assessment of Godavari estuarine mangrove ecosystem through trace metal studies. *Environment International*, 32(2), 219-223.
- Reboul, H., 1833. *Géologie de la période quaternaire et introduction a l'histoire ancienne*. F.G. Levrault, Paris, 222 s.
- Ruddiman, W.F., 2003. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climatic Change*, 61(3), 261-293.
- Rudnick, R.L., Gao, S., 2003. *Composition of the Continental Crust*, (Treatise On Geochemistry, Volume 3: The Crust, Editörler: Holland, H.D., Turekian, K.K.), Elsevier Ltd., 1-64.
- Sakai, H., Kojima, Y., Saito, K., 1986. Distribution of heavy metals in water and sieved sediments in the Toyohira river. *Water Research*, 20(5), 559-567.
- Salomons, W., Förstner, U., 1984. *Metals in the hydrocycle*. Springer, Berlin, 653 s.
- Sarasiab, A.R., Mirsalari, Z., Hosseini, M., 2014. Distribution and Seasonal Variation of Heavy Metal in Surface Sediments from Arvand River, Persian Gulf. *Journal of Marine Science: Research & Development*, 4(3; 150), 1-6.
- Sarı, E., Çağatay, M.N., Acar, D., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Arslan, T.N., Tutay, A., Kurt, M.A., Sezer, N., 2018. Geochronology and sources of heavy metal pollution in sediments of Istanbul Strait (Bosporus) outlet area, SW Black Sea, Turkey. *Chemosphere*, 205, 387-395.
- Schlütz, F., Lehmkuhl, F., 2009. Holocene climatic change and the nomadic Anthropocene in Eastern Tibet: palynological and geomorphological results from the Nianbaoyeze Mountains. *Quaternary Science Reviews*, 28, 1449-1471.

- Slaughter, R.A., 2012. Welcome to the Anthropocene. *Futures*, 44(2), 119-126.
- Starodubtseva, I.A., 2006. Aleksei Petrovich Pavlov (1854–1929) – The propagator of Sueß’ ideas in Russia. *Berichte der Geologischen Bundesanstalt*, 69: 65.
- Steffen, W., Crutzen, P.J., McNeill, J.R., 2007. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(8), 614-621.
- Stoffers, P., Glasby, G.P., Wilson, C.J., Davis, K.R., Walter, P., 1986. Heavy metal pollution in Wellington Harbour. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 20, 495-512.
- Stoppani, A., 1873. *Corso di Geologia*, Vol. II, *Geologia Stratigrafica*, (Editörler: G. Bernardoni, EG Brigola), Milan, 868 s.
- Suess, E., 1862. *Der Boden der Stadt Wien nach seiner Bildungsweise, Beschaffenheit und seinen Beziehungen zum Bürgerlichen Leben. Eine geologische Studie*. Wilhelm Braumüller, Viyana, 326 s.
- Sutherland, R.A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39(6), 611-627.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33(2), 241-265.
- Taymaz, K., Yigit, V., Özbal, H., Ceritoglu, A., Müftügil, N., 1984. Heavy metal concentrations in water, sediment and fish from Izmit Bay, Turkey. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 16(4), 253-265.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., Jeffrey, D.W., 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33(1-4), 566-575.
- Tuncer, G., Karakas, T., Balkas, T.I., Gökçay, C.F., Aygnn, S., Yurteri, C., Tuncel, G., 1998. Land-based sources of pollution along the Black Sea coast of Turkey: concentrations and annual loads to the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 36(6), 409-423.
- Turekian, K.K., Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth’s crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72(2), 175-192.
- Tyler, G., 1972. Heavy metals pollute nature, may reduce productivity. *Ambio*, 1(2), 52-59.
- Upadhyay, A.K., Gupta, K.K., Sircar, J.K., Deb, M.K., Mundhara, G.L., 2006. Heavy metals in freshly deposited sediments of the river Subernarekha, India: an example of lithogenic and anthropogenic effects. *Environmental Geology*, 50(3), 397-403.
- Upadhyay, A.K., Gupta, K.K., Sircar, J.K., Deb, M.K., Mundhara, G.L., 2007. Dominance of lithogenic effect for nickel, cobalt, chromium and mercury as found in freshly deposited sediments of the river Subernarekha, India. *Environmental Geology*, 51(8), 1447-1453.
- von Cotta, B., 1866. *Die geologie der gegenwart dargestellt und beleuchtet*. JJ Weber, Leipzig, 424 s.
- Waters, C.N., Zalasiewicz, J.A., Williams, M., Ellis, M.A., Snelling, A.M., 2014. A stratigraphical basis for the Anthropocene?. *Geological Society, Londra, Special Publications*, 395(1), 1-21.
- Waters, C.N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A.D., Poirier, C., Galuszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E.C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Richter, D.D., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Wagemrich, M., Williams, M., Zhisheng, A., Grinevald, J., Odada, E., Oreskes, N., Wolfe, A.P., 2016. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene, *Science*, 351(6269), aad2622,1-10.
- Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(7), 1217-1232.
- Wilkinson, I.P., Poirier, C., Head, M.J., Sayer, C.D., Tibby, J., 2014. Microbiotic signatures of the Anthropocene in marginal marine and freshwater palaeoenvironments. *Geological Society London Special Publications*, 395(1), 185-219.
- Wolfe, A.P., Hobbs, W.O., Birks, H.H., Briner, J.P., Holmgren, S.U., Ingólfsson, Ó., Kaushal, S.S., Miller, G.H., Pagani, M., Saros, J.E., Vinebrooke, R.D., 2013. Stratigraphic expressions of the

- Holocene–Anthropocene transition revealed in sediments from remote lakes. *Earth Science Reviews*, 116, 17-34.
- Yatkin, S., Bayram, A., 2008. Determination of major natural and anthropogenic source profiles for particulate matter and trace elements in Izmir, Turkey. *Chemosphere*, 71(4), 685-696.
- Yücesoy, F., Ergin, M., 1992. Heavy-metal geochemistry of surface sediments from the southern Black Sea shelf and upper slope. *Chemical Geology*, 99(4), 265-287.
- Zalasiewicz, J., Waters, C.N., Williams, M., Barnosky, A.D., Cearreta, A., Crutzen, P., Ellis, E., Ellis, A.M., Fairchild, J.I., Grinevald J., Haff, K.P., Hajdas, I., Leinfelder, R., McNeill, J., Odada, E.O., Poirier, C., Richter D., Steffen, W., Summerhayes, C., Syvitski, P.M.J., Vidas, D., Wagnreich, M., Wing, S.L., Wolfe, S.L.A., Zhisheng, A., Oreskes, N., 2015. When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. *Quaternary International*, 383, 196-203.
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Haywood, A., Ellis, M. 2011. The Anthropocene: a new epoch of geological time?. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, 369, 835-841.
- Zhang, C., Wang, L., Li, G., Dong, S., Yang, J., Wang, X., 2002. Grain size effect on multi-element concentrations in sediments from the intertidal flats of Bohai Bay, China. *Applied Geochemistry*, 17(1), 59-68.



Eckernförder ve Geltinger Körfezlerinin Antropojenik Ağır Metal Kirliliğinin Karot Sedimentlerinde Araştırılması, Batı Baltık Denizi, Almanya
Investigation of Anthropogenic Heavy Metal Pollution in Core Sediments from the Eckernförder and Geltinger Bays in the Western Baltic Sea, Germany

Mustafa Ergin 

Camikebir Mah., 83/1 Sok., 2, D Blok, Daire 1, Seferihisar, İzmir 35460, Türkiye

Geliş/Received : 11.07.2019 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 21.10.2019 • Kabul/Accepted : 13.11.2019
• Çevrimiçi Yayın/Available online : 15.01.2020 • Baskı/Printed : 31.01.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Bu çalışma, Baltık Denizi'nin batısında 1800'lü yıllardan önce ve sonra artarak gelişen insan faaliyetlerinin (tarım, ziraat, kentleşme, yerleşim, savaşlar, sanayileşme gibi) ve soğuk iklimsel dönemlerin izlerini araştırmak amacı ile yapılmış olup, 1978 yılında Almanya'nın Eckernförder (EB) ve Geltinger (GB) körfezlerinden "SENCKENBERG" Araştırma Gemisi ile sediment örnekleri alınmıştır. Vibrasyon çekiçleme yöntemi ile alınan bozulmamış 2 kutu karotun sedimentleri üzerinde tane boyu, karbonat, organik karbon, element, Pb-210 tarihlendirme ve SEM-EDAX analizleri yapılmış ve sonuçlar istatistiksel yöntemler ile de yorumlanıp tartışılmıştır.

Körfezlerin zaman zaman suboksik-anoksik koşullarında çökelen gri-siyahımsı balçık çamuru ("schlick") çoğunlukla silikat-alüminyum silikat minerallerinden oluşmaktadır. Karbonat miktarları her iki karotda da düşük (çoğunlukla <3%) iken, EB sedimentleri GB sedimentlerine göre nisbeten daha ince tanelidir. Bölgesel özgün kaynak ve ortamsal koşullar her iki körfez sedimentlerinde de yüksek organik madde birikimine (%2-6) neden olmaktadır. Ana element miktarlarının çoğu (Si, Al, K, Mg, Fe, P) karotlar boyunca önemli değişimler göstermemekte ve litojenik-jeojenik kaynağa işaret etmektedir. Mn, Co ve kısmen P miktarlarının karot boyunca değişimi ise, sedimentde diyajenez ile izah edilmektedir. Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd ve Hg miktarları karotların üst seviyelerine doğru artış göstermektedir. Karotlarda üst seviye metal miktarlarının alt seviye değerlerine bölünmesi ile hesaplanan kirlilik faktörleri Hg için 18-76 (çok yüksek kirlilik); Cd için 3,5-4,7 (belirgin, yüksek kirlilik); Zn ve Pb için 2,1-2,9 (orta-az derecede kirlilik) ve Cu, Cr, Ni, Co, Mn, Fe için 0,7-1,7 (çok az derecede kirlilik) arasında değişen değerlere işaret etmektedir. Özellikle yüksek metal miktarları (CF>2) bölgede 1800'li yıllardan itibaren antropojenik etkilerin varlığını göstermektedir. Karotların üst 4-22 cm derinliklerinde tesbit edilen kömür, kül ve metalik cürufarın varlığında bu görüşü desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: Baltık Denizi; Almanya; Sediment; Antropojen; Kirlilik

Abstract: The main purpose of this study was to investigate the effects of increasing human activities (agriculture, urbanization, settlement, wars, industrialization) and cold climatic periods that occurred pre-and post-1800 in and around the western Baltic Sea. To investigate this, sediment box cores were collected onboard the R/V SENCKENBERG in 1978 from two bights of Eckernförder (EB) and Geltinger (GB). Vibration hammer technology was used to obtain undisturbed core sediments and grain size, carbonate, organic carbon, element, SEM-EDAX and Pb-210 dating analysis were carried out. The results were then interpreted using statistical methods.

The greyish to black colored mud ("schlick") sediments deposited under suboxic to anoxic conditions in the bights mainly consists of silicate-aluminosilicate minerals. Carbonate contents in both cores are low (generally <3%) but

EB sediments are finer grained than the GB sediments. Regional characteristic source and depositional conditions caused the accumulation of high organic matter (2-6%) in core sediments from both bights. Major element concentrations (Si, Al, K, Mg, Fe, P) largely do not display any significant changes throughout the cores and indicate lithogenic-geogenic sources. The downcore changes in Mn, Co and in part, P, concentrations can be related to sediment diagenesis in the cores. Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd and Hg contents showed increases towards the upper core sections. The contamination factors obtained from division of metal concentrations in the upper sections to those from the lowest sections of the cores were 18-76 for Hg (very high contamination), 3.5-4.7 for Cd (considerable, high contamination), 2.1-2.9 for Zn and Pb (low to moderate pollution), and 0.7-1.7 for Cu, Cr, Ni, Co, Mn and Fe (very low to no contamination). In particular, high contamination factors (CF>2) showed the effects of anthropogenic activities present in the region since the 1800s. The presence of coal, ash and metallic slag particles in the sand fractions of the upper 4-22 cm core sections also confirmed anthropogenic effects in the two bights.

Keywords: *Baltic Sea; Germany; Sediment; Anthropogenic; Pollution*

GİRİŞ

1800'lü yıllardan itibaren artan sanayileşme, tarım ve ziraat, kentsel faaliyetler sonucu ortaya çıkan antropojenik kaynaklı organik ve inorganik kirleticiler dolaylı ya da doğrudan hava, su ve toprakta birikerek kirlilik düzeyine ulaşmakta ve canlı hayatını olumsuz etkilemektedirler (Förstner ve Wittman, 1979; Siegel, 2002; Komatina, 2004; Güven ve Öztürk, 2005; Crutzen, 2006; Atabey, 2010). Antropojenik kaynaklı ağır metal birikimleri ile ilgili araştırmalara dünya denizlerinden çok sayıda örnek verilebilir (Abu-Hilal ve Badran, 1990; Bodur ve Ergin, 1994; Aksu vd. 1998; Algan vd. 2004; Adamo vd. 2005; Lorenzo vd. 2007; Wang, vd. 2007; Alak ve Sümer, 2017). Nitekim; Norveç, İsveç, Danimarka, Almanya, Polonya, Litvanya, Letonya, Estonya, Rusya Federasyonu ve Finlandiya arasında ve genelde GB-KD yönünde uzanan Baltık Denizi yüzlerce yıldır bu ve yakın ülkelerden kaynaklanan antropojenik etkilere maruz kalmıştır (Szefer, 2002; HELCOM; 2007; Garnaga, 2012). Özellikle de iklimsel değişimler (tekrar eden buzul dönemler), yaygın yerleşim ve şehirleşmeler, savaşlar, makinalaşma, odun ve kömür kullanımı, sanayileşme devrimi

ve bağlı süreçlerin/gelişmelerin (Çizelge 1) Baltık Denizindeki kronolojik izleri kısmende olsa günümüzde sediment analizleri ile tesbit edilebilmektedir (örneğin; Erlenkeuser vd. 1974; Kuijpers, 1974; Brüggemann vd. 1980; Leivuori vd. 2000; Szefer, 2002; HELCOM, 2007; Remeikaite-Nikiene vd. 2018).

Her ne kadar, mevcut verilere göre (örneğin, Çizelge 1) antropojenik kaynaklı olay ve süreçlerin etkileri Baltık Denizi'nin batısında yer alan ve Federal Almanya Cumhuriyeti'ne ait Eckernförder (EB) ve Geltinger (GB) Körfezlerinde çok yoğun olmuş ise de, bu körfezlerde sedimentde antropojen üzerine yapılan çalışmalar kapsamı ile hem azdır ve hemde sınırlıdır (Erlenkeuser vd. 1974; Kuijpers, 1974; Müller vd. 1980; Ergin, 1982; 1988; 1990). Bu nedenle; doktora tez çalışmasından (Ergin, 1982) kaynaklanan bu makalenin amacı, karot sedimentleri üzerinde yapılan tane boyu, toplam karbonat, toplam organik karbon, SEM görüntüleme, AAS jeokimyasal ve Pb-210 radyoizotop tarihlendirme yöntemleri ile bölge körfezlerinde antropojenik etkileşimlerin ve izlerinin araştırılmasıdır.

Çizelge 1. Çalışma alanını etkileyen süreçlerin geçmiş tarihçesi (Fagan, 2000; Hahn, 2011; Balsved, 2019).

Table 1. Historical processes/activities affected the study area (Fagan, 2000; Hahn, 2011; Balsved, 2019).

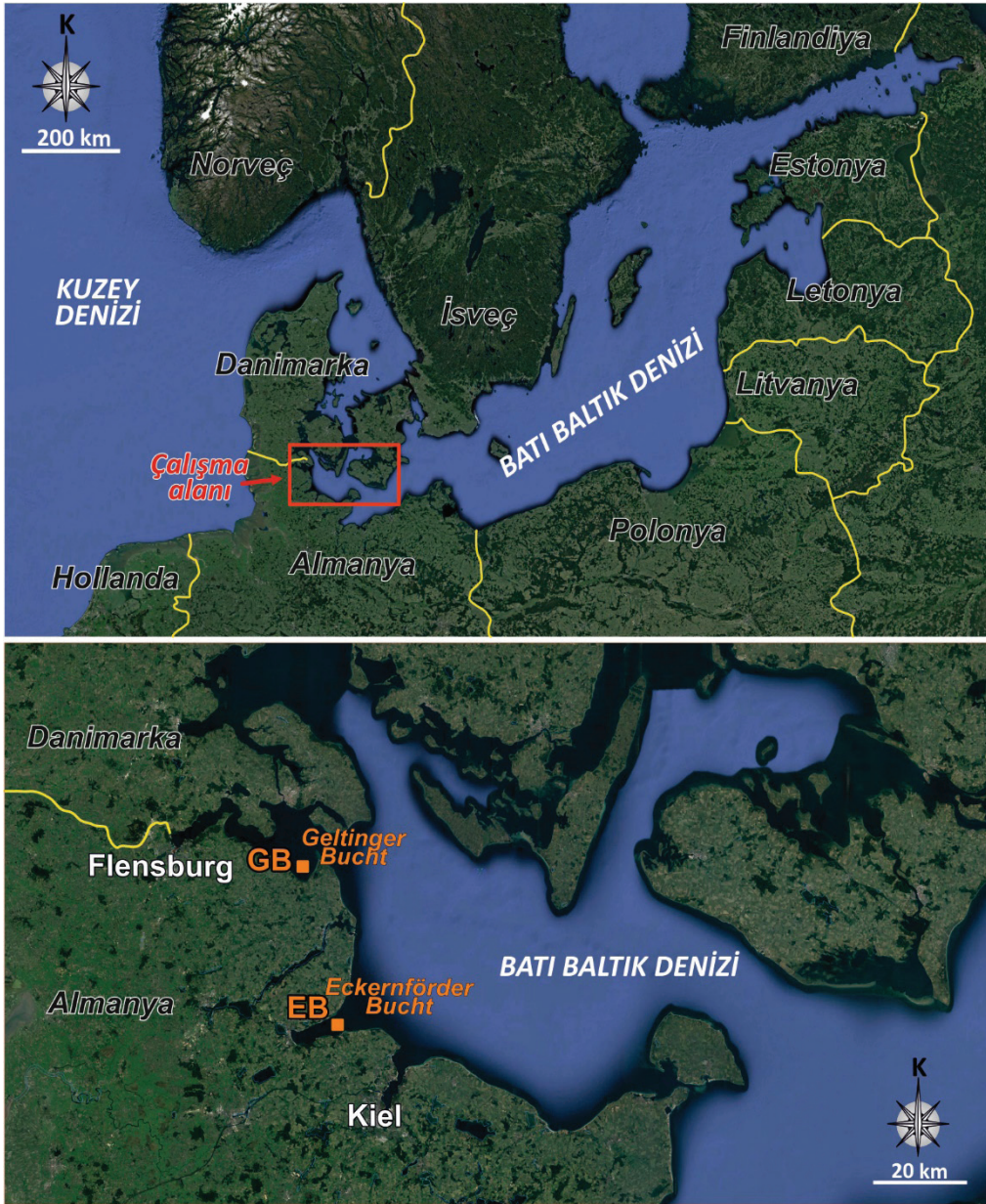
Yıllar, M.S.	Olaylar ve etkileri; kömür ve metal kullanımı; erozyon ve yüksek sedimentasyon
1300-1850	Küçük Buzul Çağı ("Little Ice Age"); ağaç ve ormanların kesilip yok edilmesi, artan erozyon ve yüksek sedimentasyon
1850-1950	Sıcak iklimler ve SANAYİLEŞME ÇAĞI
1628-1647; 1655-1721	Kuzey savaşları; Danimarka-İsveç-Schleswig, Holstein; Eckernförder ve Geltinger Körfezlerinde deniz savaşları
1825-1835	Sanayileşme dönemi; tekstil, demir, çelik endüstri, demir yolları, kömürün fosil yakıt olarak artan kullanımı, silah üretimi
1819	İlk buharlı gemi ve makinalaşma
1827	Yoğun demir döküm ve metal işletmeleri
1844	İlk demir yolları ağı ve makine tezgah imalatları
1850-1860	Ağır sanayi ve demir yolları
1858-1864	1. ve 2. Schleswig-Holstein Savaşları; Almanya, Danimarka, İsveç, Avusturya
1867	Artan gemicilik
1871-1945	Kaiserreich; 1. Dünya Savaşı; 1918 Weimarer Republik; 1939-1945 2. Dünya Savaşı

Çalışma Alanı ile İlgili Genel Bilgiler

Kuzey Avrupa'da 53° ile 66° kuzey enlemleri ve 20° ile 26° doğu boylamları arasında bulunan ve ortalama 1700 km uzunlukta ve 190 km genişlikte olan Baltık Denizi batıda Kattegat ve Skagerrak boğazları ile önce Kuzey Denizi'ne (Şekil 1) ve buradan da bir yan deniz olarak Atlantik Okyanusu'na bağlanmaktadır (Seibold, 1970). Bir iç deniz olan Baltık Denizi'nin ortalama derinlikleri 55-65 arasında değişmekte ve en derin yeri 550 metredir. Önemli akarsuların taşıdığı su miktarları Baltık Denizi'nin tuz oranını orta ve doğu bölgelerinde %1'e kadar düşürmekte ve Kuzey Denizi'ne açılan batıda bu değerler %28'e kadar çıkmaktadır (Magaard ve Rheinheimer, 1974). Bu farklı tuzluluk yoğunluğunun sonucu olarak ve kuzey rüzgarlarının etkisi ile üstte az tuzlu sular Kuzey Denizi'ne, buna karşın tuzlu sular alt tabaka olarak Baltık Denizi'nin iç kısımlarına doğru hareket etmektedir. Diğer taraftan, farklı yoğunluk nedeni ile çoğu zaman alt ve üst su kütleleri arasında su döngüsü zayıflamakta ve koy ve körfezlerin su ve sedimentlerinde anoksik çökme koşulları gelişmektedir (Hartman, 1964; Magaard ve Rheinheimer, 1974; Djafari, 1977; Voipio, 1981). Baltık Denizi'ni su ve sediment ve

özellikle de antropojenik kirleticiler ile besleyen çok sayıda akarsu drenaj havzaları bulunsa da incelenen iki körfezde de akarsu girdileri yok denecek kadar azdır (Nilsson, 2006) ve bu ufak dereler ile ilgili verilere rastlanılmamıştır.

Batıda çalışma alanını (Şekil 1) oluşturan Eckernförder Körfezi "Eckernförder Bucht" 17 km uzunlukta ve 3-8 km genişliktedir. Flensburger Förde'nin dış kısmında yer alan Geltinger Körfezi "Geltinger Bucht" ise 5 km uzunlukta ve 7 km genişliktedir. Körfezlerin su derinlikleri 20-25 metreyi geçmemektedir. Morfolojik olarak bugünkü Baltık Denizi koy ve körfezlerinin oluşum ve gelişimi geç Kuvaterner buzlaşma (ilerleme) ve buzularası (gerileme) süreçlerine bağlanmaktadır (Edgerton vd. 1966; Prange, 1978). Bu çalışma körfezlerinin tabanı ve kıyıları ile kıyıardı karasal kütleleri günümüzde kilden çakıla farklı tane boyu ve oranlarda pekleşmemiş sedimentler (buzullar ile taşınmış moren, till gibi çökeller) ile örtülü olup bunların kaynağı çoğunlukla farklı jeolojik zamanlara ait İskandinavya kara kütlelerinin magmatik, metamorfik ve sedimenter kayalarından (Seibold vd. 1971; Kaufhold vd. 2012).



Şekil 1. Google Earth Uydu görüntüsü üzerinde (<http://www.google.com/maps/12> Haziran 2019) Almanya'nın Baltık Denizi Eckernförder ve Geltinger Körfezlerinden alınan sediment karotlarının (Karot EB ve Karot GB) yer bulduru haritası.

Figure 1. Google Earth Satellite map (<http://www.google.com/maps/12> June 2019) showing the sampling stations for the two sediment cores from the Eckernförder Bucht (core EB) and Geltinger Bucht (core GB) in the German Baltic Sea.

MATERYAL VE METOT

Örnek Alımı

Küçük buzul dönemlerinin, kuzey savaşlarının, devrimsel sanayileşmenin ve şehirleşmenin etki ve izlerini araştırmak amacıyla 1978 yılında Batı Baltık Denizi'nin seçilen iki körfezinde (Eckernförder ve Geltinger Bucht) ve 20 m su derinliklerinde sediment örnekleri alınmıştır (Çizelge 2; Şekil 1). Deniz tabanının balçıklı olması nedeni ile sediment örnekleme için vibrasyon çekiçlemeli ve 10cm x 10cm kutu karotiyerler kullanılmıştır. Sediment karotları Frankfurt/Almanya'da Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft'a bağlı "SENCKENBERG" araştırma gemisi ile alınmış olup, Eckernförder Körfezi'nde 204 cm ve Geltinger Körfezi'nde 258 cm kalınlığında sediment kazanılmıştır (Çizelge 2). Karotlar gemi güvertesinde 2 cm'lik dilimlere (0-2 cm, 2-4 cm, 4-6 cm gibi) ayrılmış ve örnekler plastik torbalara konulmuş ve Fe ve Mn gibi elementlerin oksitlenmesini engellemek için havası alınarak dondurulmuştur. Karot sedimentlerinin üst birkaç mm'lik seviyeleri yeşilimsi kahverenkli olup, tabanda oksidasyona işaret ederken, bu seviyelerin daha derin kısımları gri-yeşilimsi-siyah renklindedir. Demir monosülfid indirgenme, suboksik-anoksik koşullara işaret etmektedir.

Analitik Yöntemler

Örneklerin bir kısmı distile su ile deniz tuzundan arındırılmış ve Atterberg çöktürme silindirleri ve elek takımı ile tane boyu analizlerine (Müller, 1964) tabi tutulmuştur. Toplam karbonat miktarları

volumetrik yöntemle ölçülmüştür; kurutulmuş örneğin %12,5 HCl ile çözülmesi ve çıkan CO₂ gazın ölçülmesi prensibine dayanmaktadır (Scheibler yöntemi; Müller, 1964). Sedimentin toplam organik karbon miktarı ise CHN+O/S Elemental Analyzer ile gazometrik yöntemle tesbit edilmiştir. Karotların üst 40 cm seviyeleri Pb-210 tekniği (yavru Po-210 α aktivitesinin ölçümü) ile tarihlendirilmiş olup, yöntemin ayrıntıları Müller vd. (1980)'de belirtilmiştir. Element miktarlarının tesbit edilmesi için iki farklı örnek çözümleme yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada yorumlanan ana (majör ya da esas) elementler (Si, Al, Fe, Mn, Ca, Mg, K gibi) için 100 mg örnekler altın-platin karışımı kap içinde lityummetaborat ile 950°C de karıştırılmış ve elde edilen eriyik ve sonradan soğutulan cam pelet 10%-nitrik asit ile çözülmüş ve Beckmann 1288 model alevli Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi (AAS) ile ölçümler yapılmıştır. Mikroskobik incelemeler bazı örneklerin silt ve kum tane boyunda antropojenik kökenli kömür ve metal cürufları içerdiklerini gösterdiğinden ve kapta berrak ve homojen olmayan eriyik bıraktıklarından bu örneklerde analize hazırlık işlemleri eriyiklerde tam berraklık elde edilinceye kadar defalarca tekrar edilmiştir. İz (minör ya da eser) elementlerden Co, Zn, Cr, Ni, Cu, Pb ve Cd miktarları için 200 mg kuru örnek derişik HNO₃+HClO₄ asitler karışımı ile 150-160°C de kum banyosunda ısıtıldıktan sonra çözüldüğü Zn, Cr, Ni, Cu, Pb ve Co miktarları alevli, Cd ise alevsiz yöntemle tesbit edilmiştir. Hg miktarları ise alevsiz AAS ve P ise spektralfotometre ile ölçülmüştür. Seçilmiş taneler üzerinde Cambridge Steroscan S 4-10 model EDR-SEM kullanılarak

Çizelge 2. Batı Baltık Denizi'nden alınan iki sediment karotuna ait örnekleme bilgileri.

Table 2. Sampling information from the two sediment cores taken from the western Baltic Sea.

Lokasyon	Karot	Koordinatlar		Su derinliği (m)	Karotda sediment kalınlığı (cm)
		Enlem, K	Boylam, D		
Eckernförder Bucht	Karot EB	54° 28' 58.79"	9° 57' 37.05"	20	202
Geltinger Bucht	Karot GB	54° 47' 11.15"	9° 51' 25.08"	20	258

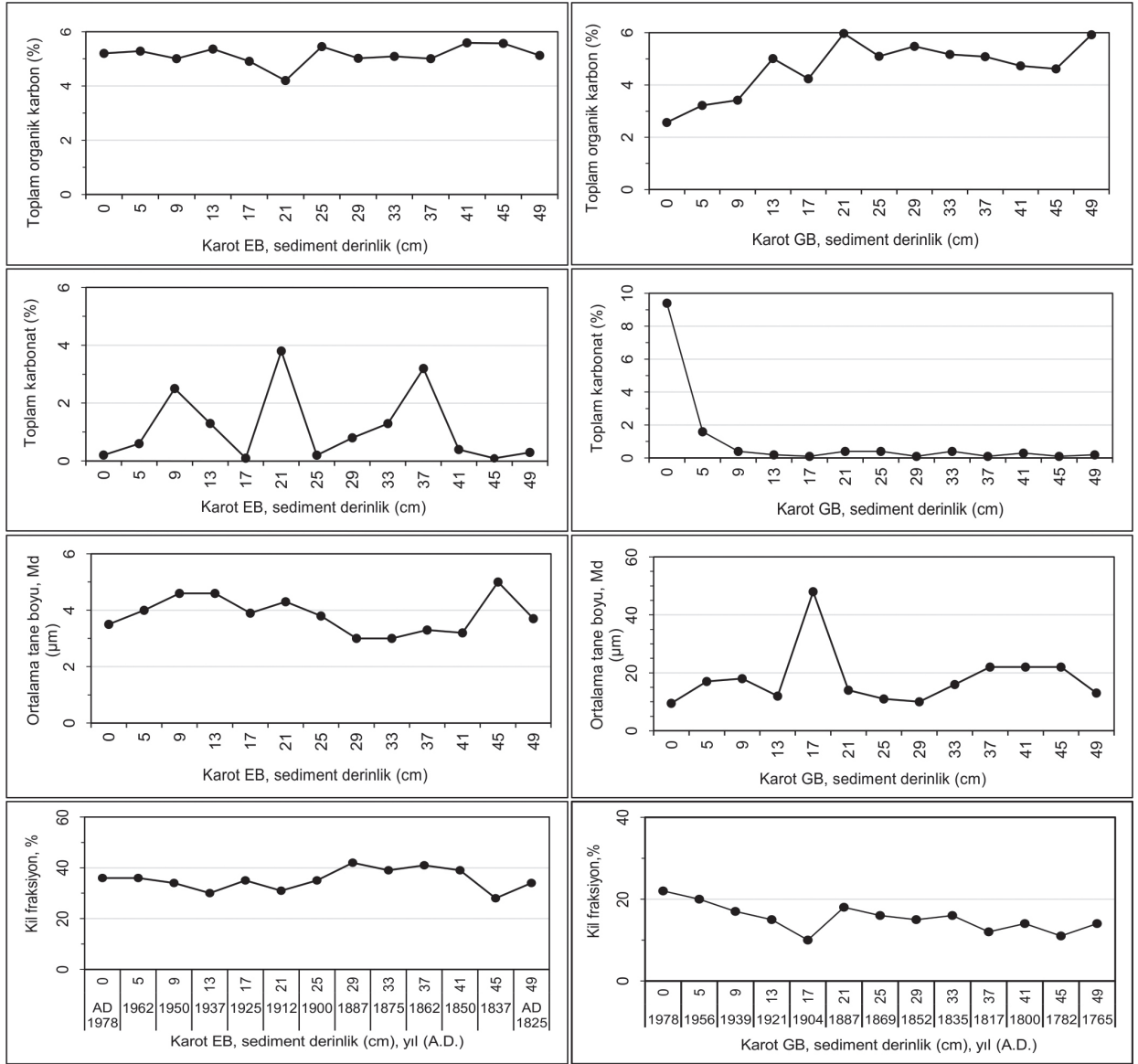
dokusal ve bileşim çalışmaları yapılmıştır. Tüm jeokimyasal analiz sonuçları, “Estuar-Sediment” ve “Rhein-Sediment” standart referanslar ile kontrol edilmiş olup, analitik yöntemler ayrıca daha geniş olarak Ergin (1982)’de sunulmuştur.

Karotlarda özellikle ağır metal kirliliğinin seviyesini ve kronolojik gelişimini saptamak amacı ile bazı istatistiksel yöntemlerden faydalanılmıştır. Bunlardan Element Zenginleşme Faktörü (EF) antropojenik (insan türümsel) ve jeojenik (doğal) metal kaynak ve katkılarını sedimentde ayırt edebilmek için yaygın kullanılan (Kemp vd. 1976; Covelli ve Fontolon, 1997; Birch ve Davis, 2003) bir hesaplama türüdür $[EF=(Met/Al)_{\text{örnek}}/(Met/Al)_{\text{şeyl}}]$. Burada; EF, Element Zenginleşme faktörünü, $(Met/Al)_{\text{örnek}}$: incelenen sediment örneğinde tesbit edilen ağır metal miktarının aynı örneğin alüminyum miktarına oranlamayı ve $(Met/Al)_{\text{şeyl}}$ ise ortalama şeyl kayaçlarına ait ağır metal/alüminyum miktarları arasındaki oranlamayı temsil etmektedir. Bu çalışmada kullanılan diğer bir yöntem ise, Kirlilik Faktörünün $(CF=Met_{\text{örnek}}/Met_{\text{Ardalan}})$ hesaplanmasıdır (Hakanson, 1980; Tomlinson vd. 1980; Shen vd. 2019) ve burada incelenen sediment örneğindeki metal miktarı, herhangi bir doğal (antropojenik etkiye maruz kalmamış, jeolojik/jeojenik) kaynağın metal miktarına oranlanmaktadır. Her ne kadar arda alan malzeme olarak şeyl ve yer kabuğu ortalamaları da değerlendirilmekte ise de, bu çalışmada kullanılan karotların derin seviyelerinde (40-50 cm) ölçülen metal miktarları Met_{Ardalan} değerlerini temsil etmektedir. Sedimentde metal zenginleşmesinin veya antropojenik metal kirliliğinin seviye veya derecesini saptamak için Hakanson (1980) ve Tomlinson vd. (1980) sınıflandırması kullanılmıştır. Buna göre; $CF \leq 1$, az veya çok az kirliliğe; $CF=1-3$ orta derecede kirliliğe; $CF=3-6$ belirgin ya da yüksek kirliliğe; $CF \geq 6$ çok yüksek kirliliğe işaret etmektedir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tane Boyu, Toplam Karbonat ve Toplam Organik Karbon Dağılımları

Karot EB ve GB sedimentlerinde tane boyu, toplam karbonat (inorganik) ve toplam organik karbon miktarlarının derinlikle ve kronolojik dağılımları Şekil 2’de gösterilmektedir. Karot EB’de kil fraksiyonu ($<0,002$ mm) sedimentin ortalama %35’ini (%28-42) oluşturmaktadır fakat değerler 29 cm derinlik altında %42’ye ulaşmaktadır. Bu durum ortalama tane boyu dağılımında da kendini göstermektedir. Nitekim, sedimentin ortalama tane boyu 29 cm altında çoğunlukla 0,003-0,004 mm iken, 25 cm üstünde 0,0038-0,0046 mm’ye kadar artmaktadır. Sedimentde toplam karbonat %0,1-3,8 arasında (ort. %1,13) oldukça düşük miktarlarda tesbit edilmiştir. %2-4 arasında seyreden salınımlı nisbeten yüksek karbonat miktarları bu seviyelerdeki midye kabuklarından kaynaklanmıştır. Toplam organik karbon miktarları (%4,2-5,6) oldukça yüksek olup, bu durum bölgedeki oksijensiz ve durgun suların (suboksik-anoksik) varlığından ve organik maddenin parçalanmadan fazla birikmesinden kaynaklanmaktadır. Çalışma alanında ve özellikle de bu çalışmada H_2S üreten bu erken diyajenez süreçlerine ait pirit oluşumlarına sıkça rastlanılmaktadır (Hartman, 1964; Djafari, 1977; Voipio, 1981; Ergin, 1982). Karot GB sedimentleri nisbeten daha kaba tanelidir (Şekil 2). Bu karotda, sedimentler %10-22 kil boyu taneler (ort. %15) içermekte ve ortalama tane boyu (17 cm’deki bir örnek hariç, %48) çoğunlukla 0,010-0,022 mm arasında (ort. 0,018 mm) bulunmaktadır. Karot GB’nin üst ve alt seviyelerinde tane boylarında az da olsa salınımlar görülmektedir. Toplam karbonat miktarları en üst seviyeler hariç (%9,4), çoğunlukla %1’den azdır (Şekil 2). Toplam organik karbon Karot GB’de %2,5-6 arasında salınmakta olup (ort. %4,65), karotun 21 cm seviyesinden (%5,97) yukarıya doğru (0-2 cm; %2,57) azalan değerler sergilemektedir (Şekil 2). 21 cm derinlikten 45 cm derinliğe doğru ise değerler %4,62’ye kadar düşmektedir.



Şekil 2. Eckernförder Bucht (Karot EB) ve Geltinger Bucht (Karot GB) sedimentlerinde kil tane boyu, ortalama tane boyu, toplam karbonat ve toplam organik karbon dağılımları. Sediment derinlikleri Pb-210 yöntemi ile tarihlendirilmiştir. 1978 örnekleme yılıdır.

Figure 2. Distribution of clay-sized fraction, median grain size, total carbonate and total organic carbon concentrations of sediments from the Eckernförder Bucht (Core EB) and Geltinger Bucht (Core GB). Sediment depths are dated by the Pb-210 method. 1978 is the time of sediment sampling in the study area.

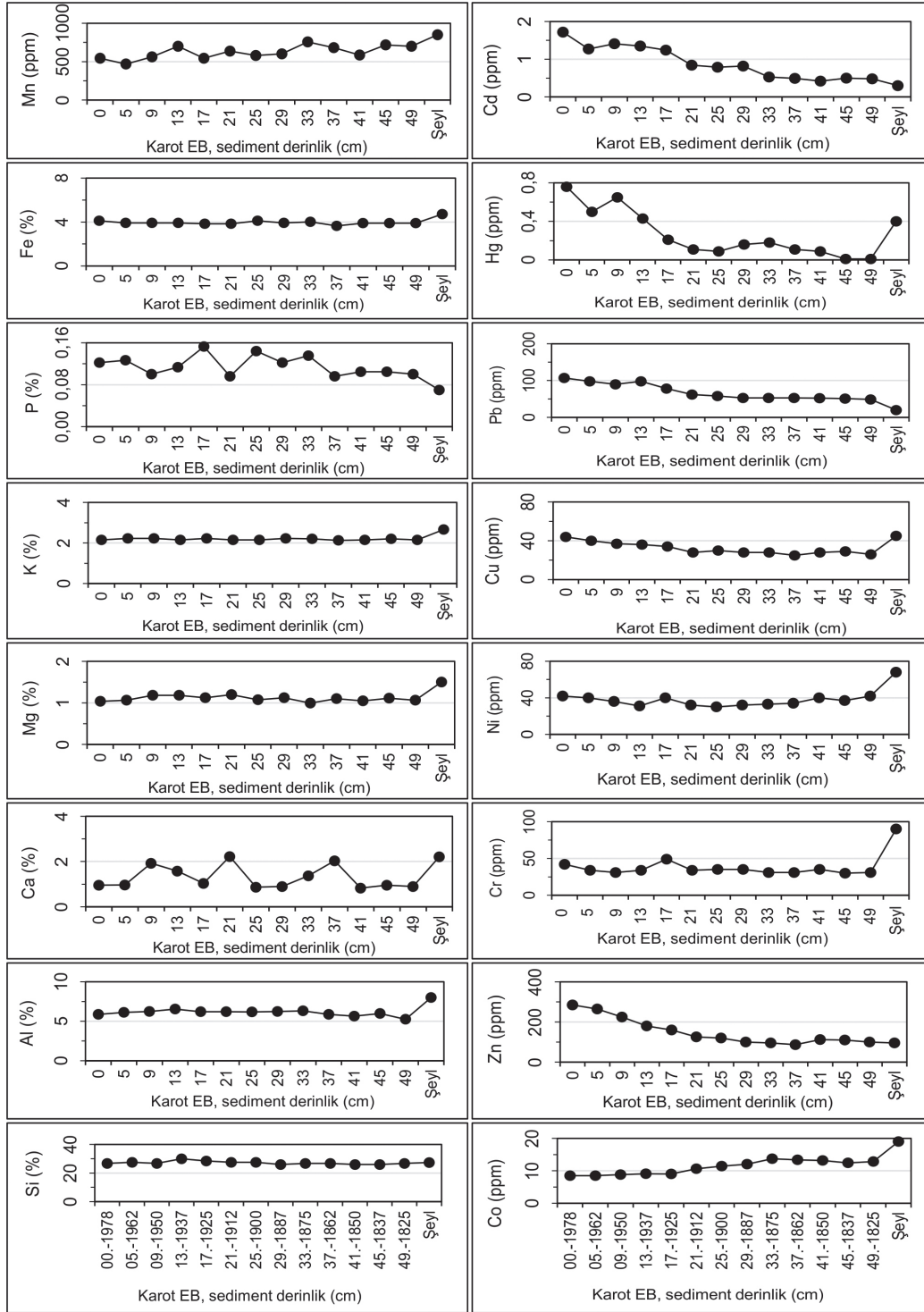
Bir taraftan takriben son 150 yılda zamanla değişen atmosferik-iklimsel koşullar (soğuk-sıcak-kuru-yağışlı; Çizelge 1) ve diğer taraftan bölgesel farklı dokusal özellikler gösteren ve bu çalışmanın sediment kaynakları (kuzey Avrupa buzul çökelleri; Seibold vd. 1971; Prange, 1978) EB ve GB karot sedimentlerinde değişen tane boyu dağılımına işaret etmektedirler. Toplam organik karbon miktarlarındaki değişimler ise değişen organik madde kaynakları, oksik-anoksik ortamsal koşullar, sedimentde diyajenez süreçlerindeki farklılıklar (Djafari, 1977) ise, karotlarda farklı organik madde birikimine neden olabilmektedir.

EB ve GB Karotlarında Ana ve İz Elementlerin Jeokimyası

Ana ve iz elementlerin EB ve GB karotlarında düşey dağılımları

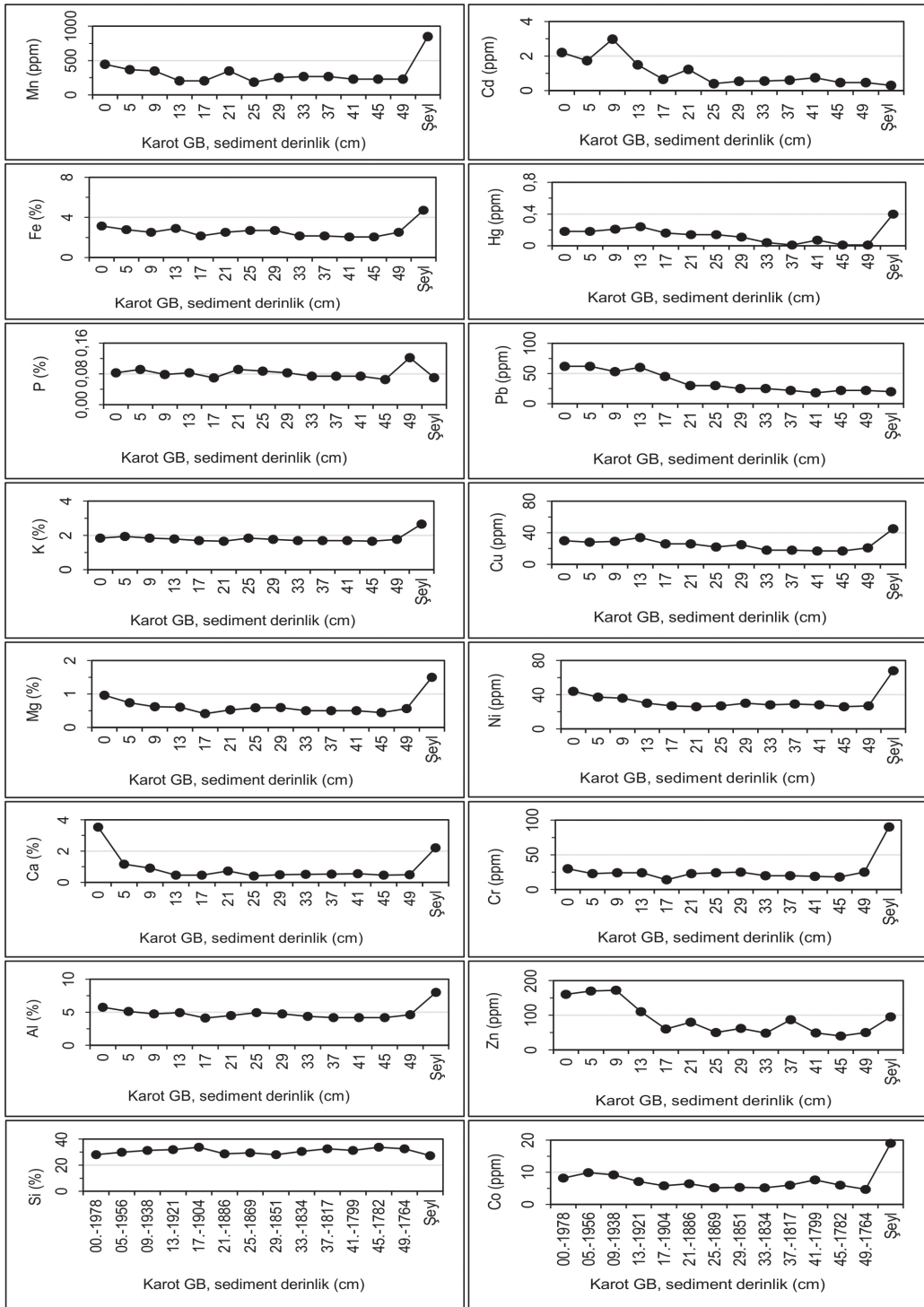
EB ve GB karotlarındaki sedimentlerde tesbit edilen ana ve iz element miktarlarının P düşey dağılım profilleri sırasıyla Şekil 3 ve 4'te gösterilmiştir. Karot EB'de Si, Al, Mg, K, Fe ve çoğunlukla Mn ve Co miktarları 48-50 cm (49 cm) derinliklerden üste doğru (0-2 cm) önemli bir salınım ya da değişim göstermemektedir. Bu ana elementlerin çoğunlukla silikat ve alüminyum silikatlara bağlı olduğu önceki çalışmalar (Ergin, 1982; Ergin, 1988) ile de desteklenebilir. Bu çalışmalara göre; hem EB ve hem GB sedimentlerinde kuvars, kil mineralleri (illit, smektit, kaolinit ve klorit), feldspatlar (mikroclin, ortoklaz, albit), mika (biyotit, muskovit ve klorit) sedimentin %90'dan fazlasını oluşturmaktadır. Çok az da olsa otijenik glaukonit

pellet ve pirit ile biyojenik kalsit ve aragonit, genelde %5'den az miktarlarda hornblend, almandin, ojit, epidot, rutil, apatit, magnetit, ve ilmenit gibi ağır minerallere de rastlanılmıştır (Ergin, 1982; Ergin, 1988). Kaba silt ve kum tane boyu malzemelerin mikroskop incelemeleri, sediment kaynağının İskandinavya'dan buzullar ile taşınmış çökeller (til, moren gibi) olduğuna işaret etmektedir. Salımlı element miktarlarına az da olsa Ca ve P profillerinde rastlanılmaktadır fakat Ca miktarları herhangi bir yoruma gerek göstermeyecek kadar azdır. P miktarları 37 cm derinlik altında %0,10 civarında olup, üst seviyelerde %0,15'e kadar artmaktadır (Şekil 3). Normalde açık deniz sedimentlerine karşın, karottaki nisbeten yüksek organik karbon değerleri (ort. %5,14) türlü (karasal, denizel gibi) organik madde girişi ve sedimentde diyajenezi farklı P miktarlarının göstergesi olabilir. Nitekim indirgenme-yükseltgenme gibi değişen redoks koşullarına daha hassas olan Co ve kısmen de Mn miktarları karotun 33 cm derinliklerinden yukarıya doğru azalma göstermektedirki, bu suboksik-anoksik koşullarının günümüze doğru daha da arttığının göstergesi olabilir. Şeyl genelde organik madde içeren ve güncel çamurdan oluşan ve antropojenik etkileşime maruz kalmamış sedimentler için jeolojik referans kaynak (doğal, Antroposen öncesi) malzeme kabul edilmektedir. Bu durumda, Şekil 3 element profillerinin tabanında şeyl değerlerinede yer verilmiş olup, bu çalışma sonuçları çoğu ana elementler için az da olsa şeyl değerlerinden farklılıklar göstermektedir. Kaynak, taşınma ve depolanma koşullarındaki farklılıklar bunun göstergesi olabilmektedir.



Şekil 3. Eckernförder Bucht (Karot EB) sedimentlerinde derinlik ile ana ve iz element dağılımları. Sediment derinlikleri Pb-210 yöntemi ile tarihlendirilmiştir. 1978 örnekleme yılıdır.

Figure 3. Major and trace element concentrations in core sediments from the Eckernförder Bucht (core EB) with depth. Sediment depths are dated with the Pb-210 method and 1978 is the time of sediment sampling.



Şekil 4. Geltinger Bucht (Karot GB) sedimentlerinde derinlik ile ana ve iz element dağılımları. Sediment derinlikleri Pb-210 yöntemi ile tarihlendirilmiştir. 1978 örnekleme yılıdır.

Figure 4. Major and trace element concentrations in core sediments from the Geltinger Bucht (core GB) with depth. Sediment depths are dated with the Pb-210 method and 1978 is the time of sediment sampling.

Çizelge 3. Bu çalışmada incelenen Karot EB ve Karot GB sedimentlerinin element miktarlarına ait minimum ve maksimum değişim aralıkları, ortalamaları, karotların üst ve alt seviyelerine/derinliklerine ait değerler ile şeyl ortalamasına göre karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Element Zenginleşme Faktörleri (EF) ve Kirlilik Faktörleri (CF) herbir karot ve element için ayrı hesaplanmıştır. Şeyl ortalaması (Turekian ve Wedepohl, 1961).

Table 3. Element concentrations in the studied core EB and core GB sediments with values for maximum, minimum, averages and values from upper and lower core sections together with average shale composition for comparison. Element Enrichment Factors (EF) and Contamination Factors (CF) were calculated for each metal and element. Average shale data from Turekian and Wedepohl (1961).

Element	Bu çalışmanın Karot EB ve Karot GB sedimentleri				Şeyl ortalama	Zenginleşme faktörü, EF	Kirlilik Faktörü, CF
	Değişim aralığı	Ortalama	Yüzeysel sediment (0-4 cm)	Derin sediment (44-50 cm)			
Al (%)					8		
Karot EB	5,24-6,54	6,05	5,86	5,64			1,04
Karot GB	4,11-5,74	4,64	5,75	4,61			1,25
Fe (%)					4,72		
Karot EB	3,65-4,12	3,92	4,12	3,9		1,2	1,06
Karot GB	2,05-3,15	2,48	3,15	2,52		0,9	1,25
Mn (ppm)					850		
Karot EB	468-756	621	544	700		0,9	0,78
Karot GB	187-444	276	444	231		0,7	1,92
Co (ppm)					19		
Karot EB	8,5-13,7	11	8,5	12,4		0,6	0,68
Karot GB	4,7-9,9	6,7	8,2	4,7		0,6	1,74
Cr (ppm)					90		
Karot EB	30-49	35	42	31		0,6	1,35
Karot GB	14-30	22	30	25		0,5	1,2
Ni (ppm)					68		
Karot EB	30-42	36	42	40		0,8	1,05
Karot GB	26-44	30	44	27		0,9	1,63
Cu (ppm)					45		
Karot EB	25-44	32	44	26		1,3	1,69
Karot GB	17-34	24	30	21		0,9	1,43
Pb (ppm)					20		
Karot EB	49-107	69	107	49		7,3	2,18
Karot GB	18-62	37	62	22		4,3	2,81
Zn (ppm)					95		
Karot EB	87-285	151	285	100		4,1	2,85
Karot GB	40-172	87	160	55		2,3	2,91
Cd (ppm)					0,3		
Karot EB	0,42-1,72	0,91	1,72	0,48		8,0	3,58
Karot GB	0,4-2,98	1,08	2,21	0,47		10,3	4,7
Hg (ppm)					0,4		
Karot EB	0,01-0,76	0,25	0,76	0,01		2,6	76
Karot GB	0,01-0,24	0,11	0,18	0,01		0,6	18

Karot EB’de iz elementlerden Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd ve Hg miktarlarının karotun takriben alt (48-50 cm) ve orta seviyeleri (16-22 cm) arasında nisbeten homojen fakat üste (0-2 cm) doğru artış göstermektedirler. Cr, Ni ve Cu değerleri istisna, iz elementler genelde şeyl değerlerinden de fazladır. Karot EB sedimentlerinde element miktarlarının değişim aralığı, ortalama değerleri, karotun yüzeysel (0-2 cm) ve derin (44-50 cm) seviyelerindeki değerler, şeyl ortalaması Çizelge 3’de gösterilmiştir. Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd ve Hg derişim profillerindeki artış ana elementlere ait profiller ile benzerlik ya da paralellik göstermediğinden (Şekil 3), bu artışların çoğunlukla litojenik ya da jeojenik kaynaklı olduğu söylenemez. Burada başka faktörlerin (antropojenik gibi) etkisi olmuş olabileceği büyük olasıdır.

Karot GB sedimentlerinde, Karot EB’de de olduğu gibi Si, Al, K, P, Fe ve Si gibi ana element miktarlarının büyük bir kısmı göze çarpan bir şekilde karotun alt seviyelerinden üst seviyelerine doğru değişim göstermemektedir (Şekil 4). İstisna olarak Si, Al, Mg, P, Fe ve Mn miktarları genelde 16-18 cm (17 cm) üstünde çok az azalan veya artan eğilimler gösterebilir bu durum litojenik/jeojenik kaynaklı olabilir. Örneğin; GB karotu sedimentlerinde kil fraksiyonlarının üst seviyelere doğru artışı (Şekil 2), toplam organik karbon miktarlarının azalması gibi. Üst seviyedeki Ca artışı biyojenik karbonat kökenli olup, Mn ve Co miktarlarındaki artışlar büyük olasılıkla diyajenetik süreçlere işaret edebilir. Ana elementlerin kaynağının genelde silikat ve alüminyum silikatlara bağlı olduğu ve hangi mineral bileşimlerine işaret edebileceği daha önceden Karot EB de de belirtilmiştir (Ergin, 1982; Ergin, 1988). GB karotunda da (Şekil 4), ana element miktarları şeyl ortalamasından da farklılıklar göstermektedir ki bu bölgesel litolojik koşullardaki (kaynak, taşınma, depolanma gibi) farklılıklara yorumlanabilir.

Karot GB sedimentlerinde iz elementlerden Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd ve Hg miktarları alt ve orta seviyelerde nisbeten sabit ve salınımsız derişim profilleri sergiler iken, takriben 12-26 cm derinliklerden üst seviyelere (0-2 cm) doğru artış göstermektedirler (Şekil 4). Çizelge 3 ayrıca Karot GB sedimentlerine ait element miktarlarının değişim aralığı, ortalama değerleri, karotun yüzeysel (0-2 cm) ve derin (44-50 cm) seviyelerindeki değerler ve şeyl ortalamasını da göstermektedir. Cr, Ni, Cu, Mn, Fe, Mg ve kısmen Al derişim profillerinin karotun üst kısımlarında çok az da olsa benzerlik göstermesi çeşitli mikaca zengin metamorfik kaynak kayalılara işaret edebileceğini düşündürmektedir. Bununla beraber, GB karotunun üst seviyelerine doğru görülebilen Zn, Pb ve Cd miktarlarındaki artışlar ana element derişim profillerine paralellik göstermediğinden (Şekil 4), bu karotda da antropojenik etkilerin varlığı izlenebilmektedir.

EB ve GB karotlarında bazı iz elementlerin zenginleşme (EF) ve kirlilik (CF) faktörleri

EB ve GB karotlarına ait element zenginleşme ve kirlilik faktörleri hesaplanarak Çizelge 3’de verilmiştir. Burada doğal yani bölgesel antropojenik etki öncesi (şehirleşme, sanayileşme öncesi; Çizelge 1) temel element değerleri olarak karotun derin seviyeleri ve şeyl ortalaması alınarak karotun üst seviyesine ait değerlere göre hesaplanmıştır. Ayrıca karotların üst ve alt seviyelerindeki element miktarları da birbirlerine göre oranlanmıştır (CF, Çizelge 3) . Buna göre; EB karotun kendi doğal ve derin seviye element miktarları ile karşılaştırıldığında (Çizelge 3) yüzeysel sedimentlerinde kirlilik faktörü Co için (0,68), Mn (0,78), Al (1,04), Ni (1,05), Fe (1,06), Cr (1,35), Cu (1,69), Pb (2,18), Zn (2,85), Cd (3,58) ve Hg için 76 olarak hesaplanmıştır. Benzer zenginleşme faktörleri metal/Al oranlanmasından da elde edilmektedir (Çizelge 3). EB karotunda, sedimentlerin bir taraftan karot boyunca

mineralojik bileşiminde önemli değişimler göstermemesi (Ergin, 1982; 1988) ve diğer taraftan ise iz element miktarı artışları ile silikat-aluminyumsilikat elementleri arasında bir derişim paralelliği bulunmaması (Şekil 3) bazı iz element artışlarındaki kaynağın çoğunlukla jeolojik kökenli olmadığı yorumunu desteklemektedir. Karot GB'de elementlerin kirlilik faktörleri karotun alt ve üst seviyelerindeki miktarlar ile karşılaştırılıp oranlandığında, yüzeysel sedimentlerde Al 1,25 misli, Cr (1,2), Fe (1,25), Cu (1,43), Ni (1,63), Co (1,74), Mn (1,92), Pb (2,81), Zn (2,91), Cd (4,7) ve Hg 18 defa daha fazla zenginleşmiştir (Çizelge 3). Özellikle, Pb, Zn, Cd ve Hg miktarlarının nisbeten yüksek zenginleşme/kirlilik faktörlerine sahip olması kısmen antropojenik bir köken yorumuna imkan verebilmektedir. Hakanson (1980) ve Tomlinson vd. (1980) sınıflandırmasına göre, çalışılan Eckernförder ve Geltinger körfezlerinde Hg miktarları çok yüksek kirliliğe, Cd belirgin yüksek kirliliğe, Zn ve Pb orta-az derecede kirliliğe ve Cu, Cr, Ni, Co, Mn ve Fe ise çok az derecede kirliliğe işaret etmektedir.

Pb-210 kronolojisine göre; Eckernförder Körfezinin (EB) dip sedimentlerinde ağır metal zenginleşmeleri Zn, Cd ve Hg ile takriben 1887-1912 yıllarında, daha kuzeydeki Geltinger Körfezi'nde (GB) ise bu artış (Pb dahil) takriben 1886-1904 yıllarında başlamaktadır (Şekiller 3 ve 4). Daha az belirgin olmasına rağmen, Eckernförder Körfezi'nde tahminen 1925 yılından itibaren Cu ve Pb miktarlarında artış sergilemektedir. Ni artışları ise, Geltinger Körfezi'nde 1921 yılından sonra dikkati çekmektedir.

Mevcut veriler ve gözlemlere göre, Baltık Denizi'nin batısındaki Eckernförder ve Geltinger körfezlerinin karot sedimentlerinde

tesbit edilen ve nisbeten yüksek zenginleşme ve kirlilik faktörlerine sahip ağır metallerin çok farklı kaynaklardan ve taşıma yollarından gelmiş olduğu tahmin edilmektedir. Bunlara; bölgede geçmişte (1800'lü yıllardan itibaren artan) yeterince arıtılmamış tarımsal, kentsel, sanayileşme su ve deşarjları, körfezlerde liman ve gemicilik faaliyetleri, savaşlar, kömür, petrol gibi fosil yakacaklar, Baltık Denizi'nde yakın diğer ülkelerin akarsu, deniz ve atmosfer ile taşınan kirleticileri, özel hidrografik koşullar (Baltık ve Kuzey Denizleri'nin açıktan gelen kuzey ve batı rüzgarlar ve yüzeysel akıntular ile körfez içlerine taşınan su kütleleri ve beraber taşıdıkları ağır metalce zengin kirleticili yüklerini) dahil edilebilir.

EB ve GB karot sedimentlerinde elementler ve diğer parametreler arası ilişkiler

İncelenen karot sedimentlerinde elementlerarası ve elementler-kil boyu-toplam karbonat-toplam organik karbon arası ilişkiler Çizelge 4 (Karot EB) ve Çizelge 5'de (Karot GB) gösterilmektedir. Karot EB sedimentlerinde ana elementler arasında ilişkiler ve ana elementlerin kil tane boyu, toplam karbonat ve toplam organik karbon parametrelerine bağımlılığı oldukça zayıftır (Çizelge 4; $r < 0,50$). Elementlerin Ca ile negatif ilişkileri karbonatların sedimentlerin metal derişimlerini seyreltme etkisi ile izah edilebilir. Bu nedenle, karbonatça zengin sedimentlerin metal miktarları şeyl kayaçlar ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Karot EB sedimentlerinde nisbeten yüksek-çok yüksek pozitif ilişkiler ($r > 0,90$) bazı iz elementler arasında (Pb-Zn-Hg-Cu-Cd) tesbit edilmiştir. Bu gözlem antropojenik kaynak ya da süreçlerin izlerini desteklemektedir.

Çizelge 4. Karot EB sedimentlerinde elementlerarası ve toplam organik karbon (OC), kil fraksiyonu (<0,002 mm) ve toplam karbonat (CO₃) ile ilişkileri gösteren Pearson ilişkilendirme katsayısı matrisi. Negatif değerler negatif ilişkileri göstermektedir. Pozitif ve kalın rakamlar ($r>0,85$; güvenilir olasılık $\alpha>95\%$) yüksek-çok yüksek pozitif ilişkiye işaret etmektedir.

Table 4. Pearson's correlation coefficient matrix showing relationships between the concentrations of elements, total organic carbon (OC), clay fractions (<0.002 mm) and total carbonate (CO₃) in Core EB sediments. Negative values show negative relationships. Positive and bold numbers ($r>0.85$; probability and reliability $\alpha>95\%$) indicate high-very high correlations.

Karot EB	Al	Ca	Mg	K	P	Fe	Mn	Co	Zn	Cr	Ni	Cu	Pb	Hg	Cd	OC	Kil	CO ₃
Al	1,00																	
Ca	0,34	1,00																
Mg	0,44	0,62	1,00															
K	0,40	-0,22	0,06	1,00														
P	0,39	-0,50	-0,37	0,40	1,00													
Fe	0,12	-0,52	-0,43	0,08	0,49	1,00												
Mn	-0,05	-0,25	-0,02	-0,34	-0,33	-0,19	1,00											
Co	-0,42	-0,08	-0,40	-0,32	-0,25	-0,23	-0,67	1,00										
Zn	0,19	-0,05	0,04	0,25	0,16	0,37	-0,68	-0,88	1,00									
Cr	0,13	-0,30	-0,02	0,17	0,63	0,14	-0,54	-0,52	0,36	1,00								
Ni	-0,67	-0,45	-0,40	0,11	-0,04	0,10	-0,36	-0,19	0,41	0,34	1,00							
Cu	0,29	-0,12	0,02	0,28	0,29	0,45	-0,63	-0,89	0,98	0,45	0,35	1,00						
Pb	0,37	0,08	0,19	0,18	0,19	0,28	-0,55	-0,92	0,95	0,41	0,24	0,96	1,00					
Hg	0,31	0,12	0,08	0,22	0,09	0,36	-0,53	-0,79	0,93	0,26	0,24	0,92	0,92	1,00				
Cd	0,43	0,07	0,28	0,26	0,28	0,34	-0,60	-0,95	0,90	0,63	0,17	0,93	0,95	0,91	1,00			
OC	-0,19	-0,67	-0,47	-0,02	0,17	0,36	0,01	0,15	0,06	-0,14	0,21	0,13	0,01	0,01	-0,12	1,00		
Kil	-0,15	-0,14	-0,48	0,04	0,18	-0,09	-0,18	0,37	-0,19	0,07	0,01	-0,21	-0,25	-0,04	-0,21	0,01	1,00	
CO ₃	0,24	0,96	0,56	-0,24	0,56	-0,55	0,20	0,05	-0,14	-0,37	0,46	-0,24	-0,05	0,02	-0,06	-0,71	0,01	1,00

Karot GB sedimentlerinde ise Al, Mg, Fe, Cr, kil tane boyu ve kısmen Ni arasındaki yüksek-çok yüksek ilişkiler (Çizelge 5; $r>0,85$) çoğunlukla litojenik yani silikat-aluminyumsilikat birlikteliğine işaret etmektedir. Toplam karbonat, Mg, Ni ve Ca arasında pozitif yüksek ilişki görülmektedir ve buda karbonat kaynağı ile izah edilebilir. Zn, Ni, Pb, Cu, Cd ve Hg arasındaki pozitif ve yüksek-çok yüksek ilişkiler bu elementler için aynı ya da benzer kaynağa bağlanabilir. Bununla beraber, bu elementlerin birlikteliğinde kil tane boyu, toplam karbonat ve toplam organik karbon gibi faktörlerin önemli rol almadığıda pozitif fakat düşük ilişkilendirme katsayılarından ($r<0,80$) tesbit edilebilmektedir.

EB ve GB karot sedimentlerinin silt ve kum fraksiyonlarında kömür ve metal cürüfları

Daha öncede belirtildiği gibi, bazı örneklerin kimyasal element analizlerine hazırlanma

sürecinde gerek asit karışımı gerek ise eritme ile tam çözilememiştir. Mikroskop ve SEM incelemelerinde özellikle karotların üst 22 cm derinliklerinde (ve özellikle 1887-1912 yılları arasında çökelmeye başlayan sedimentlerin) silt ve kum tane boylarında bazı malzemelere rastlanılmıştır (Şekil 5). Yanmış ve yanmamış kömür kalıntıları, küller, metal cürüfları gibi malzemeler içeren bu sediment örnekleri defalarca lityummetaborat ile eritilmiş ve sonuçta homojen ve berrak eriyik elde edilerek analiz edilmiştir. Çizelge 6'da sunulan analiz sonuçlarına göre, seçilen bu örneklerin Si, Al, Fe ve Mn miktarları nisbeten fazla olup, antropojenik bir katkı olarak belirlenmiştir. Özellikle metal üretiminde ve kömürün yakıt olarak kullanımında bu ve diğer birçok elementin kullanıldığı literatürlerde yaygın olarak bilinmektedir.

Çizelge 5. Karot GB sedimentlerinde elementlerarası ve toplam organik karbon (OC), kil fraksiyonu (<0,002 mm) ve toplam karbonat (CO₃) ile ilişkileri gösteren Pearson ilişkilendirme katsayısı matrisi. Negatif değerler negatif ilişkileri göstermektedir. Pozitif ve kalın rakamlar ($r>0,85$; güvenilir olasılık $\alpha>95\%$) yüksek-çok yüksek pozitif ilişkiye işaret etmektedir.

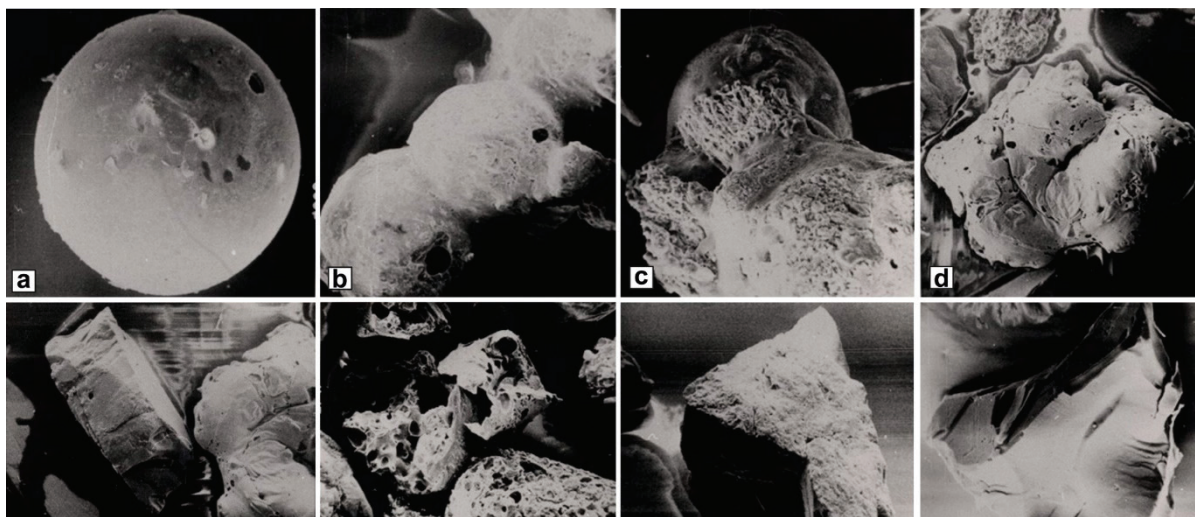
Table 5. Pearson's correlation coefficient matrix showing relationships between the concentrations of elements, total organic carbon (CO), clay fractions (<0.002 mm) and total carbonate (CO₃) in Core GB sediments. Negative values show negative relationships. Positive and bold numbers ($r>0.85$; probability and reliability $\alpha>95\%$) indicate high-very high correlations.

Karot GB	Al	Ca	Mg	K	P	Fe	Mn	Co	Zn	Cr	Ni	Cu	Pb	Hg	Cd	OC	Kil	CO ₃
Al	1,00																	
Ca	0,77	1,00																
Mg	0,96	0,88	1,00															
K	0,80	0,42	0,74	1,00														
P	0,35	-0,04	0,27	0,36	1,00													
Fe	0,95	0,61	0,85	0,75	0,44	1,00												
Mn	0,60	0,80	0,74	0,40	0,09	0,47	1,00											
Co	0,46	0,49	0,56	0,59	-0,13	0,35	0,67	1,00										
Zn	0,68	0,62	0,74	0,72	0,06	0,61	0,78	0,87	1,00									
Cr	0,87	0,82	0,84	0,61	0,54	0,87	0,55	0,25	0,51	1,00								
Ni	0,81	0,87	0,92	0,70	0,02	0,67	0,81	0,74	0,87	0,63	1,00							
Cu	0,68	0,41	0,58	0,58	0,17	0,79	0,40	0,51	0,71	0,49	0,57	1,00						
Pb	0,70	0,56	0,67	0,70	0,01	0,69	0,52	0,72	0,85	0,38	0,75	0,89	1,00					
Hg	0,60	0,34	0,49	0,60	-0,03	0,67	0,33	0,60	0,68	0,34	0,52	0,92	0,86	1,00				
Cd	0,58	0,58	0,64	0,57	0,01	0,52	0,74	0,84	0,92	0,48	0,79	0,71	0,78	0,71	1,00			
OC	-0,54	-0,72	-0,65	-0,58	0,30	-0,35	-0,62	-0,79	-0,77	-0,20	-0,86	-0,42	-0,74	-0,50	-0,71	1,00		
Kil	0,85	0,71	0,86	0,66	0,32	0,76	0,81	0,57	0,69	0,79	0,75	0,51	0,56	0,50	0,64	-0,47	1,00	
CO ₃	0,76	0,99	0,86	0,38	0,04	0,61	0,72	0,38	0,52	0,61	0,82	0,37	0,52	0,29	0,47	-0,67	0,67	1,00

EB ve GB karot sedimentlerine ait metal verilerinin diğer çalışma verileri ile karşılaştırılması

Bu çalışmada EB ve GB karot sedimentlerinde elde edilen element ve özellikle de ağır metal sonuçları Çizelge 7'de diğer araştırmacıların verileri ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu tabloya göre, antropojenik kaynaklı çevre kirliliği etkisinde kalan deniz sedimentlerinde ağır metal miktarları oldukça yüksektir. Bu miktarlar şeyl, yerkabuğu, ya da bölgesel gibi doğal jeojenik ortalamalara göre nisbeten fazladır (Çizelge 7). Nitekim

sedimentlerde; %8,8'e varan miktarlarda Fe, 600 ppm Cr, 167 ppm Ni, 3900 ppm Cu, 702 ppm Pb, 8750 ppm Zn, 639 ppm Cd ve 3 ppm Hg (Çizelge 7) antropojenik kaynaklı olarak belirtilmiştir. Diğer taraftan gerek dünya ortalaması ve Türkiye verilerine bakıldığında (Çizelge 7), çeşitli kömür ve uçucu küller nisbeten yüksek oranlarda ağır metal içermekte ve bu malzemelerin deniz tabanına ulaşması durumunda (örneğin batı Baltık Denizi'ndeki iklimsel ve antropojenik gelişmelere bağlı olarak; Çizelge 1) sedimentlerin ağır metal içeriklerini önemli miktarlarda etkileyebileceği düşünülmelidir.



Şekil 5. Karot EB ve Karot GB sedimentlerinin kum tane boyu ($>0,063$ mm) malzemelerinde antropojenik kömür, kül ve metalik cürüflar. a) İçi boş demir küresi, Karot GB, 16-18 cm, resim genişliği 0,5 mm, b) demirce zengin içi boş cüruf küreleri, Karot GB, 12-14 cm, resim genişliği 1 mm, c) Taşkömürü kırıntısı ve demirce zengin cüruf küreleri, Karot EB, 4-6 cm, resim genişliği 0,5 cm, d) Cüruf parçası, Karot GB, 16-18 cm, resim genişliği 5 mm, e) Kömür kırıntısı (solda) ve cüruf parçası sağda, Karot GB, 16-18 cm, resim genişliği 5 mm, f) Süngerimsi demir cürufu, Karot GB, 16-18 cm, resim genişliği 2 mm, g) Taş kömürü parçası, Karot GB, 18-20 cm, resim genişliği 2 mm, h) Linyit kömür kırıntısı, Karot EB, 18-20 cm, resim genişliği 1 mm.

Figure 5. Anthropogenic coal, ash and metallic slag particles in sand-sized fractions of core EB and core GB sediments. a) hollow iron sphere, Core GB, 16-18 cm, image width 0.5mm, b) iron-rich hollow slag spheres, Core GB, 12-14 cm, image width 1 mm, c) Coal pieces and iron-rich slag spheres, Core EB, 4-6 cm, image width 0.5 cm, d) Slag particle, Core GB, 16-18 cm, image width 5 mm, e) Coal fragment (left) and slag piece (right), Core GB, 16-18 cm, Image width 5 mm, f) Spongy iron slag, Core GB, 16-18 cm, image width 2 mm, g) Coal fragment, Core GB, 18-20 cm, image width 2 mm, h) Lignite coal fragment, Core EB, 18-20 cm, image width 1 mm.

EXTENDED SUMMARY

The western Baltic Sea with its coastal inlets (bays and bights) has long been known as a marine region subject to increased environmental pollution since the 1800s (Erlenkeusser et al. 1974; Suess and Erlenkeusser, 1975; Brüggmann et al., 1980; Müller et al., 1980; Ergin, 1982; HELCOM, 2007). Many wars, agriculture, settlement, urbanization, and industrialization as well as several little ice ages resulted in the contribution of not only organic but also inorganic pollutants delivered to this sea directly or indirectly. This knowledge led to detailed sedimentological, mineralogical, and geochemical investigations in two selected bights in the western Baltic Sea. During June 1978, long box cores were used to obtain sediment from the

Eckernförder and Geltinger Bights with 204 cm and 258 cm sediment recovery, respectively, onboard the R/V SENCKENBERG of the Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft from Frankfurt/Germany. Sediment cores were split at 2 cm intervals and grain size, total carbonate, total organic carbon, microscopic (incl. SEM-EDAX) and elemental analyses were performed. In this study, the results from only the upper 50 cm Pb-210 dated core sections are presented and discussed. The uppermost 2 to 3 cm sediment intervals in the cores are reddish to brownish in color, indicating rather oxidizing conditions compared to lower sediment sections which are greyish to black due to prevailing suboxic-anoxic depositional conditions.

Çizelge 6. Kömür ve metal cürufolarınca zengin seçilmiş örneklerin tekrarlanan analiz sonuçları (kalın ve italik değerler) örneklerin lityummetaborat ile tamamen çözümlenene kadar eritilmesinden elde edilmiştir. Karot EB sonuçları üstte, Karot GB sonuçları alttadır.

Table 6. Results of repeated analysis of some selected sediment samples rich in coal remains and metal slag (bold and italic values) recovered by complete melting of samples with lithium metaborate. Core EB data above and Core GB data below.

Karot EB	Sediment derinliği	Si	<i>Si</i>	Al	<i>Al</i>	Fe	<i>Fe</i>	Mn	<i>Mn</i>
Yaş/Yıl	cm	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)
1978	0.-2.	26,74	26,91	5,86	5,98	4,12	4,15	544	615
1962	4.-6.	27,49	29,16	6,12	6,63	3,92	4,1	468	551
1950	8.-10.	26,74	27,74	6,24	6,81	3,92	4,12	562	645
1937	12.-14.	29,97	31,05	6,55	6,90	3,92	4,28	700	758
1925	16.-18.	28,47	30,03	6,22	6,75	3,83	4,25	545	604
1912	20.-22.	27,49	28,50	6,20	6,65	3,83	4,2	637	662

Karot GB	Sediment derinliği	Si	<i>Si</i>	Al	<i>Al</i>	Fe	<i>Fe</i>	Mn	<i>Mn</i>
Yaş/Yıl	cm	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)
1978	0.-2.	28,10	29,75	5,75	5,79	3,15	3,7	444	465
1956	4.-6.	29,97	31,15	5,12	5,40	2,77	2,98	368	403
1939	8.-10.	31,23	32,65	4,75	4,97	2,52	2,68	350	385
1921	12.-14.	31,84	33,84	4,93	5,18	2,9	3,25	206	296
1904	16.-18.	33,71	34,2	4,12	4,68	2,15	2,7	206	290
1887	20.-22.	28,70	30,05	4,50	4,8	2,52	2,86	350	375

Sediments from EB core contained 24-42% clay, 56-75% silt and 1-3% sand fractions with a median grain size of 0.003-0.007 mm (avg. 0.004). The core GB sediments were slightly coarser-grained where clay fraction constituted 9-33%, silt 45-69%, sand 8-44% and the median grain size (0.005-0.048 mm) averaged 0.012 mm. The differences in grain size in the two cores mainly reflect variations in source, morphology and hydrography of the two bights. However, slight changes in grain size above and below about 28-30 cm core depths, corresponding to the 1800's, likely suggest perhaps in part, climatic or anthropogenic changes resulting in deforestation of trees (for urbanization and settlement, burning trees as fuel), coastal and soil erosion, etc. Sediments are poor in carbonates (<3%) which are derived from shell remains of mollusks. Total organic carbon contents are remarkably high (2%-6%) when compared with other marine

sediments (<2%; Ergin et al., 1993). The higher C/N ratios in sediments from the EB and GB cores (8-12) suggest (Ergin, 1982) that the organic carbon contents in sediments from the studied two bights must be partly derived from land-based sources (C/N>6), in addition to marine organic production (C/N<6). The soils of the Schleswig-Holstein (formed from glacial sediments in the coastal hinterland of the EB and GB) showed higher C/N ratios (10-25; Schlichting, 1960). However, the decreasing organic carbon contents in core GB, from 5.97% at 20-22 cm down to 2.57 % at 0-2 cm, are possibly an indication of other additional factors, such as changes in source type or/and diagenetic conditions in sediments.

The concentrations of major elements (Si, Al, K, Mg, Fe, P) in both cores predominantly reflect the overwhelming presence of silicate-aluminosilicates in sediments (Ergin, 1982;1988)

Çizelge 7. Bu çalışmada batı Baltık Denizi'nden alınan ve Pb-210 ile tarihlendirilen iki sediment karotuna ait element miktarlarının diğer araştırma verileri ile karşılaştırılması.

Table 7. Element concentrations of the two Pb-210 dated sediment cores in this study from the western Baltic Sea compared with other research data.

Lokasyon	Al	Fe	Mn	Co	Cr	Ni	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	Kaynak
	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
BALTIK DENİZİ												
Karot EB	5,24-6,54	3,65-4,12	468-756	8,5-13,7	30-49	30-42	25-44	49-107	87-285	0,42-1,72	0,01-0,76	1
Karot GB	4,11-5,74	2,05-3,15	187-444	4,7-9,9	14-30	26-44	17-34	18-62	40-172	0,4-2,98	0,01-0,24	1
Arkona Havzası	-	2,8-3,6	325-744	3-13	47-68	37-55	20-28	13-47	48-132	0,3-2,9	-	2
Mecklenburger K.	-	3,1-4,4	326-712	6-21	57-93	32-55	18-35	22-41	66-145	0,4-2,0	0,02-0,09	2
Bornholm H.	-	3,4-4,8	-	4,4-9,5	-	34-88	25-65	13-105	96-270	0,5-2,2	-	3
Riga, Bothnian, Finland Körfezler	3,3-9,9	1,3-8,8	5600-20000	-	31-117	14-81	18-80	17-121	44-320	0,1-2,2	0,05-0,48	4
DİĞER BÖLGE												
KB Karadeniz	-	4,93	7223	83	135	207	107	50	185	3,9	-	5
Güney Karadeniz	-	0,2-4,9	112-1064	1-20	8-224	9-202	15-82	6-66	24-138	0,1-0,2	-	6,7
İstanbul Haliç	2,3-6,6	2,6-3,8	333-565	17-31	242-485	98-167	333-3900	124-702	450-8750	-	-	8
İzmit Körfezi	4,4-9,9	3,4-6,1	228-999	11-60	110-406	24-108	20-77	20-61	25-240	0,1-1,0	0,4-1,0	9
Gemlik Körfezi	-	3,5-6,3	300-1560	13-24	71-181	35-165	23-58	1-67	88-185	-	-	10
Marmara Denizi	1,1-11	0,6-7,7	100-5720	3-32	11-486	8-173	3-107	10-92	33-410	-	0,04-3	11,12,13
Evros, Ege Denizi	3,95-10,2	1,11-6,64	264-1010	-	22-117	9-63	9-75	12-148	30-192	88-639	-	14
İskenderun Körf.	1,1-9,4	1,5-9,0	281-1130	6-99	70-694	179-808	9-39	10-61	30-117	-	-	15
İzmir Körfezi	-	-	-	-	29-600	-	15-80	14-113	50-300	0,02-0,82	0,05-1,5	16,17
Napoli, İtalya	-	-	95-535	1,9-7,2	10-161	-	40-415	37-314	41-1196	0,2-2,5	-	18
Kömür, Dünya ort	0,03-6,35	0,18-8,8	70	5	20	20	15	20	50	0,5	0,1	19
Uçucu küller Türk	1,6-14,3	2,1-11,2	218-1589	-	79-695	79-1986	39-136	39-118	71-404	4-9	-	20
Şeyl ortalaması	8,0	4,7	850	9	90	68	45	20	90	0,3	0,4	21

1) Bu çalışma; 2) Brügmann vd. (1980); 3) Stuess ve Erlenkeuser (1975); 4) Leivuori vd. (2000); 5) Secieru ve Secieru (2002); 6) Yücesoy ve Ergin (1992); 7) Alak ve Sümer (2017); 8) Ergin vd. (1991); 9) Yaşar vd. (2001); 10) Ünlü vd. (2007); 11) Algan vd. (2004); 12) Bodur ve Ergin (1994); 13) Balkis ve Çağatay (2001); 14) Kanelopoulos vd. (2006); 15) Ergin vd. (1996); 16) Aksu vd. (1998); 17) Kucuksegin vd. 2006; 18) Adamo vd. (2005); 19) Swaine (1990). İtalik kömür değerleri ortalama Türkiye Tersiyer linyitlerine aittir ve Tuncalı vd. (2002)'den alınmıştır. 20) Bayat (1998); 21) Turekian ve Wedepohl (1961).

although slight differences are present among the cores. The relatively coarser-grained sediments of core GB displayed mostly lower element concentrations compared to those from the finer-grained sediments of core EB. With a few exceptions, the concentrations of major elements were almost stable with no significant changes down the cores. This would suggest nearly the same lithogenic-geogenic sources for the studied sediments and/or homogenous contribution by mineral components deposited since 1800's on the sea floor. Low amounts of Mn and Co decreased upward in the cores which can likely be explained by diagenetic processes in reducing sediments (Hartman, 1964; Djafari, 1977). The slightly higher and fluctuating P contents above 36-38 cm depths ($>0,07\%$) must also result from changing conditions of source and type, as well as decomposition conditions for organic matter.

Most of the trace elements Cr, Ni, Cu, Pb, Zn and Hg accumulated after 1886-1912, and showed more or less upward-increases in their concentrations in the upper core sections. In core EB, generally, concentrations of Cu, Pb, Zn, Cd and Hg were found to be 1.69; 2.18; 2.85; 3.58 above 22 cm sediment depth respectively; and were 76 times more enriched at the surface (0-4 cm) compared to the geogenic/natural background level at 44-50 cm core depths. This contamination or more or less enrichment factors do not follow the parallel trends of major element profiles which would strongly suggest significant additional contribution of metal from sources other than geogenic/lithogenic sources, such as anthropogenic sources. Likewise, sediments from core GB were marked by increasing metal contents in the upper core section. Compared with geogenic, natural background levels obtained from 44-50 cm core depths, Ni, Pb, Zn, Cd and Hg were enriched at the surface (2-4 cm) by factors of 1.63, 2.81, 2.91, 4.7 and 18, respectively. Also in core GB, no considerable relationships were apparent between the concentrations of

lithogenic/geogenic elements and these trace metals with higher enrichment factors. Moreover, the positive and high to very high correlations ($r>0.85-0.96$) among Pb-Zn-Cu-Hg-Cu and Cd strongly indicate common sources or/and similar enrichment processes within sediment. It is very obvious that the higher concentrations of these trace metals are mainly of anthropogenic origin. The presence of various coal, ash and metallic slag particles especially at depths of 4-22 cm in both cores provides additional evidence that the Eckernförder and Geltinger Bights in the western Baltic Sea are under the strong influence of coal combustion and metal production since 1800s. One may conclude that deforestation due to climatic change and colder periods, land and coastal erosion, urbanization and settlement, many North European wars, and industrialization must all have left traces in natural sedimentation processes in the two studied bights in the western Baltic Sea. Similar conclusions were also drawn by other studies (Erlenkeusser et al. 1974; Suess and Erlenkeusser, 1975; Brüggmann et al., 1980; Müller et al., 1980).

KATKI BELİRTME

Kısmen doktora tezini oluşturan bu çalışma, Frankfurt/Almanya'daki "Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft" tarafından desteklenmiş olup, sediment karotlarının alımında desteklerini esirgemiyen ve bu kuruma bağlı "SENCKENBERG" araştırma gemisi ve personeline çok teşekkür ederim. Eski adı ile "Institute für Sedimentforschung der Universitaet Heidelberg" te gerçekleştirilen bu tez çalışmasında danışman Prof.Dr. German Müller ve eşdanışman Prof. Dr. Peter Stoffers tezin her aşamasında önemli katkılarda bulunmuşlardır. Karotların Pb-210 tarihlendirilmesi Dr. J. Dominik tarafından yapılmıştır. M. Gastner, U. Kaestner, J. Schoer ve F. Wolf laboratuvarlarda sedimentolojik, mineralojik ve kimyasal analizlerde yardımcı

olmuşlardır. Eckernförde, Flensburg ve Kiel Müzelerinde çok sayıda kişilerin bölgesel yerleşim, sanayileşme ve savaşlar üzerine bilgileri önemli destek oluşturmuştur. Tez çalışmasına maddi destek “Institute für Begabtenförderung der Konrad Adenauer-Stiftung in Bonn” ve “Centrum für Internationale Migration und Entwicklung-CIM in Frankfurt” tarafından sağlanmıştır. Veri değerlendirilmesinde “ODTÜ-Erdemli Deniz Bilimleri Enstitüsü-İçel” imkanlarından faydalanılmıştır. Yazar, makalenin hakemliğini yapan ve ismini açıklamayan hakemlere değerli görüş ve önerilerinden dolayı teşekkürlerini sunar.

ORCID

Mustaf Ergin  <https://orcid.org/0000-0002-2094-4936>

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

- Abu-Hilal, A.H., Badran, M.M., 1990. Effect of Pollution Sources on Metal Concentration in Sediment Cores from the Gulf of Aqaba (Red Sea). *Marine Pollution Bulletin*, 21(4), 190-197.
- Adamo, P., Arienzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., Stanzione, D., 2005. Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port. *Chemosphere*, 61 (6), 800-809.
- Alak, A., Sümer, Ö., 2017. Marmara ve Karadeniz Kıyılarındaki Güncel Sedimanlar İçinde Antroposen'in Varlığına Ait Yeni Bulgular. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60, 145-168.
- Aksu, A.E., Yaşar, D., Uslu, O., 1998. Assessment of marine pollution in İzmir Bay: Heavy metal and organic compound concentrations in surficial sediments. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 22(5), 387-416.
- Algan, O., Balkıs, N., Çağatay, M.N., Sarı, E., 2004. The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Geology*, 46, 932-950.
- Atabey, E., 2010. Türkiye’de İnsan Kaynaklı (Antropojenik) Unsurlar ve Çevresel Etkileri. MTA Yer Bilimleri ve Kültür Serisi-7, Ankara, 286 s.
- Balkıs, N., Çağatay, M.N., 2001. Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey. *Environment International*, 27, 1-13.
- Balsved, J.E., <http://www.navalhistory.dk>.
- Bayat, O., 1998. Characterisation of Turkish fly ashes. *Fuel*, 77 (9/10), 1059-1066.
- Birch, G.F., Davies, K.P., 2003. A scheme for assessing human impacts on coastal aquatic environments using sediments, (Coastal GIS 2003: an integrated approach to Australian coastal issues, (371-380), Editörler: Woodcoffe, C.D., R.A. Furness). Wollongong University Papers in Center for Maritime Policy No:14, Australia.
- Bodur, M.N., Ergin, M., 1994. Geochemical characteristics of the recent sediments from the Sea of Marmara. *Chemical Geology*, 115, 73-101.
- Brügmann, L., Bublitz, G., Hennings, U., 1980. Der Gehalt von Spurenmetallen in Sedimentkernen der westlichen Ostsee. *Zeitschrift für Angewandte Geologie*, 26(8), 398-405.
- Covelli, S., Fontolan, G., 1997. Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines. *Environmental Geology*, 30 (1-2), 34-45.
- Crutzen, P.J., 2006. The “Anthropocene”, (Earth System Science in the Anthropocene, Editörler: Ehlers E., Kraft, T.). Springer, Berlin, Heidelberg, 13-18.
- Djafari, D., 1977. Mangan-Eisen-Akkumulate in der Kieler Bucht. *Meyniana*, 29, 1-9.
- Edgerton, H.E., Seibold, E., Vollbrecht, K., Werner, F., 1966. Morphologische Untersuchungen am Mittelgrund (Eckernförder Bucht, westliche Ostsee). *Meyniana*, 16, 37-50.
- Ergin, M., 1982. Mineralogisch-Sedimentologische und Geochemische Untersuchungen an Zwei Sedimentkernen Aus Schlickgebieten der Westlichen Ostsee- Einfluss klimatischer und anthropogener faktoren auf die sedimentation in den Meeresbuchten Schleswig-Holsteins. Doktora Tezi, Ruprecht-Karls-Universitaet Heidelberg, Almanya, 180 s.

- Ergin, M., 1988. Mineralogy and petrology of Holocene sediments from the western Baltic Sea. *Bollettino Di Oceanologia Teorica Ed Applicata*, 6(4), 227-242.
- Ergin, M., 1990. Pre-Civilizational and Civilizational Layers in Two Sediment Cores from the Western Baltic Sea. *Bollettino Di Oceanologia Teorica Ed Applicata*, 8 (1), 41-50.
- Ergin, M., Saydam, C., Baştürk, Ö., Erdem, E., Yörük, R., 1991. Heavy metal concentrations in surface sediments from the two coastal inlets (Golden Horn Estuary and Izmit Bay) of the northeastern Sea of Marmara. *Chemical Geology*, 91(3), 269-285.
- Ergin, M., Bodur, M.N., Ediger, D., Ediger, V., Yılmaz, A., 1993. Organic carbon distribution in the surface sediments of the Sea of Marmara and its control by the inflows from adjacent water masses. *Marine Chemistry*, 41, 311-326.
- Ergin, M., Kazan, B. ve Ediger, V., 1996. Source and depositional controls on heavy metal distribution in marine sediments of the Gulf of Iskenderun, Eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 133, 223-239.
- Erlenkeuser, H., Suess, E. ve Willkomm, H., 1974. Industrialization affects heavy metal and carbon isotope concentrations in recent Baltic Sea sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38 (6), 823-842.
- Fagan, B., 2000. *The Little Ice Age: How Climate Made History 1300-1850*. Basic Books, New York, 272 s.
- Förstner, U., Wittmann, G.T.W., 1979. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer-Verlag, Berlin, 486 s.
- Garnaga, G., 2012. Integrated assessment of pollution in the Baltic Sea. *Ekologija*, 58(3), 331-355.
- Güven, K.C., Öztürk, B., 2005. *Deniz Kirliliği-Temel Kirlenmeler ve Analiz Yöntemleri*. Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV) Yayınları No.21, İstanbul, 512 s.
- Hahn, H.-W., 2011. *Die Industrielle Revolution in Deutschland (Enzyklopaedi deutscher Geschichte)*. Band 491, 193 s.
- Hakanson, L., 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975-1001.
- Hartman, N., 1964. Zur Geochemie von Mangan und Eisen in der Ostsee. *Meyniana*, 14, 3-20.
- HELCOM, 2007. *Heavy Metal Pollution to the Baltic Sea in 2004*. HELCOM Baltic Sea Environment Proceedings No. 108, 33s. <http://www.google.com/maps/> 12 Haziran 2019. Image Landsat/Copernicus, 2009 GeoBasis-DE-BKG.
- Kanellopoulos, T.D., Angelidis, M.O., Karageorgis, A.P., Kaberi, H., Kapsimalis, V. ve Anagnostou, C., 2006. Geochemical composition of the uppermost prodelta sediments of the Evros River, northeastern Aegean Sea. *Journal of Marine Systems*, 63, 63-78.
- Kaufhold, H., Burbaum, B., Grube, A., 2012. *Geologische Übersichtskarte von Schleswig-Holstein 1:250.000*. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein. Geologischer Dienst.
- Kemp, A.L.W., Thomas, R.L., Dell, C.I., Jacquet, J.M., 1976. Cultural impact on the geochemistry of sediments in Lake Erie. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 33(3), 440-462.
- Komatina, M.M., 2004. *Tıbbi Jeoloji-Jeolojik Ortamların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri*. (Medical Geology Effects of Geological Environments on Human Health'ten Türkçeye çeviri: Örgün Y., Bayrak D. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Çeviri Serisi No.2). Elsevier, Amsterdam, 498 s.
- Kucuksezgin, F., Kontas, A., Altay, O., Uluturhan, E., Darılmaz, E., 2006. Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Nutrient, heavy metal and total hydrocarbon concentrations. *Environment International*, 32, 41-51.
- Kuijpers, A., 1974. Trace elements at the depositional interface and in sediments of the outer Parts of the Eckernförder Bucht, Western Baltic. *Meyniana*, 26, 23-38.
- Leivuori M., Joksas, K., Seisuma, Z., Kulikova, I., Petersell, V., Larsen, B., Pedersen, B., Floderus, S., 2000. Distribution of heavy metals in sediments of the Gulf of Riga, Baltic Sea. *Boreal Environment Research*, 5, 165-185.
- Lorenzo, F., Alonso, A., Pellicer, M.J., Pages, J.L., Perez-Arlucea, M., 2007. Historical analysis of heavy metal pollution in three estuaries on the North coast of Galicia (NW Spain). *Environmental Geology*, 52, 789-802.

- Magaard, L., Rheinheimer, G., 1974. Meereskunde der Ostsee. Springer, Berlin-Heidelberg, 269 s.
- Müller, G., 1964. Methoden der Sedimentuntersuchungen. Schweizert Verlag, Stuttgart, 303 s.
- Müller, G., Dominik, J., Reuther, R., Malish, R., Schulte, E., Acker, L., Irion, G., 1980. Sedimentary record of environmental pollution in the western Baltic Sea. *Naturwissenschaften*, 67(12), 595-600.
- Nilsson, S., 2006. International river basins in the Baltic Sea region. European Union, BSR INTERREG III B Programme Project Report 14.
- Prange, W., 1978. Der letzte weichselzeitliche Gletschervorstoss in Schleswig-Holstein-das Gefüge überfahrener Schmelzwassersande und die Entstehung der Morphologie. *Meyniana*, 30, 61-75.
- Remeikaite-Nikiene, N., Garnaga-Budre, G., Lujanienė, G., Joksas, K., Stankevicius, A., Malejevas, V., Bariseviciute, R., 2018. Distribution of metals and extent of contamination in sediments from the South-eastern Baltic Sea (Lithuanian zone). *Oceanologia*, 60, 193-206.
- Schlichting, E., (1960). Typische Böden Schleswig-Holsteins, P.Pray, Hamburg, 140 s.
- Secieru, D., Secieru, A., 2002. Heavy-Metal Enrichment of Man-made Origin of Superficial Sediment on the Continental Shelf of the North-western Black Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54, 513-526.
- Seibold, E., 1970. Nebenmeere im humiden und ariden Klimabereich. *Geologische Rundschau*, 60(1), 73-105.
- Seibold, E., Exon, N., Hartmann, M., Kögler, F.C., Krumm, H., Lutze, G.F., Newton, R.S., Werner, F., 1971. Marine Geology of Kiel Bay. In: *Sedimentology of Parts of Central Europe*. VIII. International Sediment. Congress, Heidelberg, 209-23.
- Shen, F., Mao, L., Sun, R., Du, J., Tan, Z., Ding, M., 2019. Contamination Evaluation and Source Identification of Heavy Metals in the Sediments from the Lishui River Watershed, Southern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (3-336), 1-14.
- Siegel, F.R., 2002. *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 218 s.
- Suess, E., Erlenkeuser, H., 1975. History of metal pollution and carbon input in Baltic Sea sediments. *Meyniana*, 27, 63-75.
- Swaine, D.J., 1990. Trace elements in Coal. Butterworths, Londra, 294s.
- Szefer, P., 2002. Metal pollutants and radionuclides in the Baltic Sea- an overview. *Oceanologia*, 44(2), 129-178.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., Jeffrey, D.W., 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33, 566-575.
- Tuncalı, E., Çiftçi, B., Yavuz, N., Toprak, S., Köker, A., Gencer, Z., Ayçık, H., Şahin, N., 2002. Türkiye Tersiyer Kömürlerinin Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 401 s.
- Turekian, K.K., Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72(2), 175-192.
- Ünlü, S., Topçuoğlu, S., Alpar, B., Kırbaşoğlu, Ç., Yılmaz, Y.Z., 2007. Heavy metal pollution in surface sediment and mussel samples in the Gulf of Gemlik. *Environmental monitoring and assessment*, 144, 169-178.
- Voipio, A., 1981. *The Baltic Sea*. Elsevier, Amsterdam, 418 s.
- Wang, X.C., Feng, H. ve Ma, H.Q., 2007. Assessment of Metal Contamination in Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Qingdao, China. *Clean*, 35(1), 62-70.
- Yaşar, D., Aksu, A.E., Uslu, O., 2001. Anthropogenic Pollution in İzmit Bay: Heavy Metal Concentrations in Surface Sediments. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 25(4), 299-313.
- Yücesoy, F., Ergin, M., 1992. Heavy-metal geochemistry of surface sediments from the southern Black Sea shelf and upper slope. *Chemical Geology*, 99, 265-287.



**Antropojenik Kaynaklı Metal Kirliliğinin Çevresel Etkilerinin Azaltılmasında
Uçucu Kül Kullanımı**
*Mitigation of Environmental Effects of Anthropogenic Metal Contamination
Using Fly Ash*

Deniz Şanhyüksel Yücel^{1*} , Burcu İleri² 

^{1*}*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Maden Mühendisliği Bölümü, 17100 Çanakkale*

²*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Bölümü, 17100 Çanakkale*

Geliş/Received : 17.07.2019

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 12.09.2019

• Kabul/Accepted : 12.11.2019

• Çevrimiçi Yayın/Available online : 15.01.2020

• Baskı/Printed : 31.01.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Antropojenik etki ile oluşan asit maden drenajı (AMD) düşük pH, yüksek konsantrasyonda metal, sülfat, çözülmüş ve askıda katı madde içermektedir. Türkiye'nin kuzeybatısındaki Çan kömür havzasında bulunan Etili kömür madeninde 1980'li yıllardan günümüze AMD'nin neden olduğu çevresel sorunlar yaşanmaktadır. Madencilik faaliyetleri neticesinde kömür ocaklarının çevresinde oluşan tane boyutu ince ve yüksek sülfür içerikli pasalar geniş alana yayılmakta ve AMD oluşum süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu çalışmada, Etili kömür madeninde oluşan AMD'nin nötralizasyonu ve çevresel etkilerinin azaltılmasında akışkan yataklı termik santral atığı olan uçucu külün etkisinin laboratuvar ölçeğinde belirlenmesi amaçlanmıştır. Kimyasal analiz sonuçları, çamur pH'ı ve asit-baz hesaplama testlerine göre Etili maden sahasındaki pasaların efektif olarak AMD üretimini önlemek için ağırlıkça en az %30 uçucu kül ile karışması gerektiği saptanmıştır. Belirlenen optimum karışım oranına göre hazırlanan liç testleri sonucunda liçin pH değerinin arttığı, elektriksel iletkenlik, metal (Al, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) ve sülfat konsantrasyonunun azaldığı belirlenmiştir. 24 saatin sonunda karışım liçinin metal konsantrasyonu Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği limit değerlerini sağlamış ve 720 saat boyunca liçin metal konsantrasyonunda artış olmamıştır. 720 saatin sonunda liçteki metal konsantrasyonun %72-97 arasında azaldığı tespit edilmiştir. Bu çalışma ile uçucu kül kullanılarak AMD'nin çevresel etkilerinin minimize edilebileceği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asit maden drenajı, Çan kömür havzası, çevresel etki, metal liçi, pasa, uçucu kül.

Abstract: Acid mine drainage (AMD) generated by anthropogenic effects has low pH and contains high concentrations of metals, sulfate, dissolved and suspended solids. The Etili coal mine, located within the Çan Coal Basin, northwestern Turkey, has been facing environmental problems caused by AMD since the 1980s. As a result of mining activities, fine grain size mine waste with high sulfur content is distributed over large areas around the coal mines and accelerates the AMD formation process. In this study, the aim was to determine the effect of using the fluidized bed thermal power plant waste of fly ash to neutralize AMD and reduce environmental effects caused by mine wastes at the laboratory scale. Based on the results of chemical analysis, paste pH and acid-base accounting tests, it was identified that mine wastes need to be mixed with at least 30% fly ash by weight in order to prevent AMD production. The leach tests prepared according to the determined optimum mixing ratio showed that as the pH value of leachate increased, the electrical conductivity, metal (Al, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn) and sulfate concentrations decreased. At the end of 24 h, the metal concentrations of the leachate fell below the permissible limits in the Turkish

*Yazışma / Correspondence: denizsyuksel@comu.edu.tr

Water Pollution Control Regulation and there was no increase in metal concentrations of the leachate during 720 h. At the end of 720 h, reductions of 72-97% were identified for the metal concentrations in leachate. In this research, it was determined that the environmental effects of AMD could be minimized by using fly ash.

Keywords: Acid mine drainage, Çan Coal Basin, environmental effect, metal leaching, mine waste, fly ash.

GİRİŞ

Geçmiş binlerce yıla dayanan madencilik faaliyetleri özellikle açık ocak işletmeleri ile maden sahası ve çevresinde büyük hacimlerde pasa ve maden atıklarının oluşmasına neden olmaktadır. Madencilik faaliyetleri sırasında veya sonrasında parçalanıp ufalanan sülfür minerallerinin (çoğunlukla pirit) atmosferik oksidasyonu sonucunda oluşan asit maden drenajı (AMD) uluslararası çevresel bir problemidir. AMD, düşük pH ve yüksek elektriksel iletkenlik değerlerinin yanı sıra yüksek konsantrasyonda çözülmüş metal (Al, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn vb.) ve sülfat içermektedir (Şanlıyüksel Yücel ve Baba, 2013; Yolcubal vd., 2016). Ayrıca bölgesel (iklim, hidrojeoloji), jeolojik, mineralojik (minerallerin türü, kristal yapıları, tane şekilleri, tane boyutları ve tenörleri), biyolojik, fiziksel ve kimyasal faktörler asit üretim prosesini geliştirici ya da engelleyici yönde etki etmektedir (Karadeniz, 2008; 2011). Bir maden sahasında AMD oluştuğunda yüzey akışı ile nehirlerle ve göllere, süzülme ile ise yeraltı sularına taşınarak karışmaktadır. Yüksek asidite ve metal konsantrasyonu içeren AMD maden sahası ve çevresinin fiziksel, kimyasal, ekolojik ve biyolojik özelliklerinde tahrip yaratmaktadır (Okumuşoğlu ve Gündüz, 2013; Balcı vd., 2014). Bu maden sahalarının rehabilitasyonunda uzun süreli ve yüksek maliyetli iyileştirme tekniklerinin uygulanması gerekmektedir. AMD kaynaklı çevresel sorunlar uzun yıllardır bilinmesine karşın asidik drenaj oluşum mekanizmalarının anlaşılmasına ve sahanın rehabilitasyonu için yeni yaklaşımlar geliştirilmesine yönelik araştırmalar halen sürmektedir. Maden yataklarının kendine özgü niteliklere sahip olması, AMD'nin değişkenlik sergilemesi sonucunu doğurarak, genel yaklaşım aynı olmakla birlikte, her maden

alanında özel çalışmalar yapmayı gerektirmektedir (Akçıl ve Koldaş, 2006; Karadeniz, 2008).

AMD'nin önlenmesi için birçok aktif ve pasif arıtma yöntemi kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan aktif arıtma yöntemlerden biri alkali materyalleri (kireçtaşı, kireç, kostik soda, klinoptilolit, sodyum bikarbonat, uçucu kül vb.) pasalar ile karıştırarak asit üretimini engellemek ve asidi yerinde nötralize etmektir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda uçucu küllerin pasalar ile farklı deneysel yöntemler kullanılarak karıştırılması sonucunda AMD'nin pH değerini arttırdığı ve metal konsantrasyonunu azalttığı tespit edilmiştir (Perez-Lopez vd., 2007, Yehesis vd., 2009; Qureshi vd., 2016, 2019; Jones ve Çetin, 2017). Türkiye İstatistik Kurumu (2017) verilerine göre Türkiye'de 2016 yılında termik santrallerden yaklaşık olarak 14,26 milyon ton uçucu kül, kül barajına atılarak depolanmıştır. Termik santral atığı olan uçucu küllerin çok az bir kısmı çimento fabrikalarında katkı maddesi olarak kullanılmakta, geriye kalan kısmı ise termik santral çevresinde yağma usulü ile dağ oluşturularak ya da sulu sistem ile kül barajlarına akıtılarak depolanmaktadır (Sayılğan ve Kürklü, 2018).

Etili kömür madeni Türkiye'nin kuzeybatısında, Çanakkale il merkezine yaklaşık 50 km uzaklıkta, Çan kömür havzasında yer almaktadır. 1980'li yılların başından beri çeşitli özel işletmeler tarafından açık ocaklarda işletilen Etili kömür madeninden çıkarılıp, torbalanan yüksek kükürt içerikli kömürler termik santralde enerji üretimi amacıyla kullanılmış, nadir olarak ısıtma amaçlı çevre halkın kullanımı için satışa sunulmuştur. Günümüzde bu maden sahası herhangi bir rehabilitasyon önlemi alınmadan terk edilmiştir. Sahada yüzlek veren kömür,

altere volkanik kayalar ve pasalarda en yaygın olarak gözlenen sülfür minerali pirit olup, piritin atmosferik oksijen ve su ile oksidasyonu sonucunda AMD oluşmaktadır (Şanlıyüksel Yücel vd., 2016). Açık ocak kömür madenciliği neticesinde oluşan çukurluklar zaman içerisinde yağış ve yeraltı suyu sızması gibi drenaj ile dolup, asit maden göllerine dönüşmüştür. Dokuz tane asit maden gölü bulunan Etili kömür madeni, Türkiye’de asit maden drenajı/göllerini oluşumunun en yoğun gözlemlendiği sahadır. Asit maden gölleri oldukça asidik olup, yüksek konsantrasyonda çözülmüş metal (Al, Fe, Mn, Zn vb.) içermektedir (Şanlıyüksel Yücel ve Baba, 2013; Şanlıyüksel Yücel vd., 2014). Etili kömür madeni çevresinde bulunan pasaların toplam alanı 2016 yılı 50 cm mekansal çözünürlüklü Pleiades uydu görüntülerine göre 102,33 hektar olarak hesaplanmıştır (Şanlıyüksel Yücel, 2019). Antropojenik etkiler sonucunda oluşan pasaların tane boyutunun küçülmesi ile yüzey alanı artarak, AMD oluşum süreçleri hızlanmaktadır. Şanlıyüksel Yücel ve Yücel (2017) tarafından Etili kömür madeninde yapılan hidrokimyasal çalışmada, madenin akış aşağısındaki derelerin pH değerinin 3,25 ile 4,9 arasında olup, Al, Fe, Mn ve Ni konsantrasyonunun Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (2015) limit değerlerinin üzerinde olduğu saptanmıştır. Yerleşim alanlarına yakın olan asidik yüzey sular hem toprak hem de yeraltı sularının kirlilik seviyesinin artmasına neden olabilir.

Bu çalışmada, (i) Etili kömür madeninde antropojenik etki ile oluşan pasanın karakterizasyonunun ve AMD üretme potansiyelinin hesaplanması, (ii) uçucu külün karakterizasyonunun belirlenerek AMD’ni nötrleştirme potansiyelinin saptanması, (iii) pasa ve uçucu külün optimum karışım oranının kimyasal analiz sonuçları ve statik testler ile belirlenmesi, (iv) optimum pasa ve uçucu kül karışımının nötrleşmesi ve metal konsantrasyonunun değişiminde uzun süreli etkinin laboratuvar ölçeğinde araştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı ve Örnekleme

Pasa örnekleri Etili kömür madeninde 0-20 cm derinlikten, temsili olarak sahayı karakterize eden şekilde 15 farklı noktadan, yaklaşık 1’er kg olarak alınmıştır. Uçucu kül Çanakkale’de akışkan yataklı yakma teknolojisi kullanan bir termik santralden temin edilmiştir. Termik santralde yaklaşık olarak 65000 ton/yıl uçucu kül oluşmaktadır. Bu çalışmada uçucu kül herhangi bir modifikasyon olmadan doğal hali ile kullanılmıştır.

Fiziksel, Kimyasal ve Mineralojik Analizler

Uçucu külün tane boyut dağılımı Mastersizer 3000 PSA Hydro (Malvern Panalytical) markalı lazer difraksiyonu partikül boyut analiz cihazı ile Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Kimya Bölümü Polimer laboratuvarında belirlenmiştir. Uçucu külün spesifik yüzey alanı sıvı azot ortamında azot gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak Brunauer-Emmett-Teller (BET) (Quadasorb SI, Quantachrome) yöntemi ile tespit edilmiştir. Pasa ve uçucu külün mineralojik bileşimi X-ışını kırınım (XRD) analizi ile Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Mineraloji ve Petrografi Araştırma Birimi’nde yaptırılmıştır. Standart kalitatif XRD analizinde Philips PW 1830 Ni filtreli Cu X-ışın tüplü cihazı kullanılarak çekimler 2-70° arasında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi International Centre for Diffraction PDF-2 Data Base kullanılarak karşılaştırma metodu ile yapılmıştır. XRD grafiklerinde tespit edilen mineraller çoktan aza doğru sıralanmıştır. Pasa ve uçucu külün kristal yapılarını ve elemental içeriğini belirlemek amacıyla termal alan emisyonu taramalı elektron mikroskopu (SEM) (JEOL JSM-7100F) ve X-ışını spektroskopisi (EDX) (Oxford Instruments X-Max) analizleri birlikte yaptırılmıştır. SEM analizi öncesinde pasa ve uçucu kül örneklerinin iletkenlik özelliklerini artırarak net görüntü alınabilmesi amacıyla Quorum kaplama cihazında

8×10^{-1} mbar/Pa ve 10 mA voltaj uygulanarak altın-paladyum ile kaplanmıştır. Kaplama kalınlığı yaklaşık 3-4 nm'dir. SEM görüntüleri 20 kV uygulanarak çekilmiştir. SEM-EDX ve BET analizleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yaptırılmıştır. Pasa ve uçucu külün majör ve iz element bileşimi LiBO_2 füzyon metodu ve STD SO-18 standart materyali kullanılarak indüktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) (Elan 9000, PerkinElmer SCIEX) ile saptanmıştır. Pasanın maksimum asit üretme potansiyelini (MAÜP) ve uçucu külün nötralizasyon potansiyelini (NP) doğrudan etkileyen toplam kükürt ve karbon oranı, dedeksiyon limiti %0,02 olan bir karbon-kükürt belirleyici (LECO CS230) kullanılarak kızılötesi adsorpsiyon yoluyla belirlenmiştir. ICP-MS ve LECO analizleri Bureau Veritas Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.

Statik Testler

Çamur pH'ı testi

Çamur pH'ı testinde Smart vd. (2002) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Pasa ve uçucu külün tane boyutu $75 \mu\text{m}$ 'nin altına indirilmiştir. Pasa ve uçucu kül örneklerinin yanı sıra pasa ve uçucu kül homojen karışımları ağırlıkça %3, 6, 9, 12, 15, 20, 25, 30, 40 ve 50 oranında uçucu kül kullanılarak hassas terazide toplam 25 g olacak şekilde tartılmıştır. Örnekler 100 ml hacimli cam beherlere yerleştirildikten sonra üzerlerine dijital büret yardımı ile 50 ml ultra saf

su eklenerek, cam baget ile 1 dakika süresince karıştırılmıştır. Çözeltilerin pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değeri 12 saat sonunda WTW 340i markalı multiparametre kullanılarak ölçülmüştür. Propların günlük kalibrasyonları tampon çözeltiler kullanılarak yapılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş, her numune için üç paralel deney yapılmıştır.

Standart asit-baz hesaplama testi

Pasanın tane boyutu $250 \mu\text{m}$ 'un altına indirildikten sonra, pasa ve uçucu kül homojen karışımlarının ağırlıkça %3, 6, 9, 12, 15, 20, 25, 30, 40 ve 50 oranında uçucu kül kullanılarak hazırlanmıştır. Karışımın MAÜP değeri toplam sülfürün 31,25 katsayısı ile çarpılarak saptanmıştır. Sobek vd. (1978) içeriğinde kütleli olarak toplam %1 oranında kükürdün nötrale edilmesi için 31,25 kgCaCO_3/t nötralizasyon materyali gerektiğini ifade etmiştir. NP değerinin saptanması için Sobek vd. (1978) tarafından önerilen standart asit-baz hesaplama (ABH) testi kullanılmıştır. İlk aşamada, deneylerde kullanılan asidin hacim ve molaritesini, buna bağlı olarak da bazın molaritesini saptamak için fişirdama testi uygulanmış, teste tabi tutulan numuneden 0,5 g örnek alınıp saat camı üzerine birkaç damla %25'lik HCl damlatılmak suretiyle asitle muamele edilmiştir. Asit çözeltisi numune ile temas ettiğinde gelişen tepkimelerle oluşan kabarcıkların yoğunluğu ve büyüklüğü izlenerek Çizelge 1'de verilen asit miktar ve şiddetine göre her numune için asidin uygun hacim ve molaritesi saptanmıştır.

Çizelge 1. Fişirdama testi için HCl miktar ve şiddetinin belirlenmesi (Sobek vd., 1978; Karadeniz, 2011).

Table 1. Description of fizz rating and amounts and strengths of HCl (Sobek et al., 1978; Karadeniz, 2011).

Fişirdama hızı	Gözlem	Asit miktarı (ml)	Asit şiddeti (M)
Yok	Tepkime yok	20	0,1
Hafif	Çok az tepkime, saniyede birkaç baloncuktan çok sayıda küçük baloncuğu kadar	40	0,1
Orta Şiddette	Küçük sıçramayla beraber aktif baloncuklaşma	40	0,5
Kuvvetli	Esaslı sıçramalar içeren son derece aktif baloncuklaşma	80	0,5

Fııırdama testleri tamamlanınca, numunelerin NP değerlerinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Önce 2 g'lık numune 250 ml'lik erlene koyulup üzerine, o numune için Çizelge 1'den saptanan miktar ve molaritede asit ilave edilmiş ve ardından sıcaklığı 85°C'a sabitlenen su banyosuna erlen yerleştirilmiştir. Erlen, tepkimeler tamamlanincaya kadar su banyosunda tutulmuştur. Sonrasında, toplam hacim 125 ml olacak biçimde ultra saf su eklenip, erlenin ağzı kendi kapağı ile sıkıca kapatılıp, oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan çözeltili, manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak, malzemenin muamele edildiği asit şiddetindeki NaOH çözeltilisi ile dijital büret vasıtasıyla pH 7 değerine geri titre edilerek test tamamlanmıştır. Her numune için üç paralel deney yapılmıştır. NP değeri hesaplanırken eşitlik 1 kullanılmıştır.

$$NP = \frac{50 \times [(a_M \times v_A) - (b_M \times v_B)]}{n_A} \quad (1)$$

Burada;

NP: nötrleştirme potansiyeli, kgCaCO₃/t,

a_M: asidin molaritesi, M,

b_M: bazın molaritesi, M,

v_A: ilave edilen asidin hacmi, ml,

v_B: ilave edilen bazın hacmi, ml,

n_A: numune ağırlığı, g'dır.

Liç Testler

Modifiye sentetik yağış liç testi

Pasa, uçucu kül ve optimum pasa ve uçucu kül karışımının liç karakteriştiği Hageman vd. (2015) tarafından önerilen modifiye sentetik yağış liç testi ile belirlenmiştir. Bu testte kullanılan örneklerin tane boyutunun 2 mm'den küçük olması gerektiği için pasa örnekleri elenmiştir. İki inorganik asitle (H₂SO₄ ve HNO₃) hazırlanan ekstraksiyon sıvısı asidik yağmur suyunu simule etmektedir. Ekstraksiyon sıvısının pH değeri 5'e 60:40 oranında H₂SO₄:HNO₃ kullanılarak sabitlenmiştir.

Katı ve sıvı oranı 1:20 (100 g katı:2000 ml ekstraksiyon sıvısı) olacak şekilde döner karıştırıcı ile 30 rpm'de 18 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Liçin pH ve EC değerleri örnekler filtrelenmeden ölçölmüştür. Metal ve sülfat analizleri için örnekler 0,45 µm membran filtre kullanılarak 50 ml'lik sert plastik örnek kabına filtrelenmiştir. Metal analizi için örnekler HNO₃ ile asitlendirilmiş (pH<2) ve analizler PerkinElmer Optima 8000 markalı indüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) ile yapılmıştır. Analizi yapılan metallerin dedeksiyon limiti µg/l olarak şu şekildedir: Al (25), Fe (25), Mn (50), Ni (50), Pb (50) ve Zn (25). Liçin SO₄²⁻ konsantrasyonu Shimadzu LC-20A SP markalı iyon kromatografisi (IC) cihazı ile ölçölmüş olup, dedeksiyon limiti 0,1 mg/l'dir. ICP-OES ve IC analizleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yaptırılmıştır.

Uzun süreli çamur pH'ı testi

Tane boyutu 75 µm'dan küçük olan optimum pasa ve uçucu kül karışımı 10 g olarak hazırlanmış, üzerine 200 ml ultra saf su eklenmiş ve karışım 1 dakika boyunca cam baget ile karıştırılmıştır. Çözeltilinin pH ve EC değerleri 24, 120, 240, 360, 480, 600 ve 720 saat sonunda düzenli olarak ölçölmüştür. Deneyler sırasında buharlaşmayı engellemek amacı ile beherin ağzı saat camı ile kapatılmıştır. 720 saatin sonunda, karışım 0,45 µm filtre kullanılarak filtrelenmiş ve liçin metal ve SO₄²⁻ konsantrasyonu ICP-OES ve IC analizleri ile tespit edilmiştir. Deneyler oda sıcaklığında gerçeleştirilmiş ve üç paralel deney yapılmıştır.

Seri liç testi

Saha koşullarını yansıtmak amacıyla seri liç testinde pasa ve uçucu külün tane boyutuna müdahale edilmemiştir. 10 g optimum pasa ve uçucu kül karışımının yanı sıra kontrol deneyi

için 10 g pasa örneği hazırlanmıştır. 250 ml'lik erlenlerin içine konulan örnekler üzerine 200 ml ultra saf su eklenerek, orbital çalkalayıcıda 100 rpm'de karıştırılmıştır. 24, 120, 240, 360, 480, 600 ve 720 saatin sonunda karışımın pH ve EC değerleri direk ölçülmüş ve sonrasında 20 ml liç örneği otomatik pipet yardımı ile çekilmiş ve erlene 20 ml ultra saf su ilave edilerek deneye devam edilmiştir. Örnekler 0,45 µm membran filtre ile filtrelenmiş ve liçin metal ve SO_4^{2-} konsantrasyonu ICP-OES ve IC analizleri ile tespit edilmiştir. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş, her numune için üç paralel deney yapılmıştır.

BULGULAR

Pasanın ve Uçucu Külün Karakterizasyonu

Jeokimyasal analiz sonuçlarına göre pasa %48,37 SiO_2 , %17,03 Al_2O_3 , %7,68 Fe_2O_3 ve %0,79 CaO'ten oluşmaktadır (Çizelge 2). Ayrıca kükürt ve karbon oranı sırasıyla %1,24 ve %0,95'tir. Pasanın mineralojik bileşimi kuvars, kristobalit, jarosit, jips, feldspat, alunit, kaolinit, natrojarosit, pirit ve illit/mika minerallerinden oluşmaktadır. XRD analiz sonuçlarında asit üretimini sağlayan pirit minerali saptanmış olmasına rağmen asit nötralizasyonunu sağlayan kalsit ve dolomit gibi karbonat grubu mineraller saptanmamıştır. Pasa örneklerinde belirlenen jips, alunit, jarosit ve natrojarosit mineralleri ikincil olarak oluşmaktadır. Pasadaki metal konsantrasyonu dizilimi sırasıyla $Al > Fe > Mn > Pb > Cu > Zn > Cr > Co > Ni > Cd$ olarak saptanmıştır. Pasanın içerdiği Al, Fe ve Pb konsantrasyonunun Krauskopf ve Bird (1995) tarafından belirlenen kıtasal kabuk ortalamasının üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Pasanın SEM görüntülerinde boyutları 1 µm'dan küçük, pseudo-kübik jarosit ve natrojarosit mineralleri gözlenmiştir (Şekil 1a). EDX analiz sonuçlarına göre pasa O, Si, Fe, S, Al, Na ve K'dan oluşmaktadır.

Uçucu külün karakterizasyonu santral tipi, işletim biçimi, yakılan kömürün kimyasal bileşimi, yanma biçimi, kömür kompozisyonu ve yakma sistemine göre değişir (Görhan vd., 2009; Şanhyüksel Yücel, 2017). Koyu gri renkteki uçucu külün partikül boyutu 1,28 ile 163 µm arasında olup, ortalama değeri 42,1 µm'dur. Külün spesifik yüzey alanı genellikle içerdiği karbon oranı ile ilişkilidir (Wang vd., 2004). Uçucu külün spesifik yüzey alanı ve karbon içeriği sırasıyla 4,05 m²/g ve %8,3 olarak belirlenmiştir. Külün mineralojik bileşimi kuvars, anhidrit, kalsit, kireç, hematit, plajyoklas ve aragonit minerallerinden oluşmaktadır. Uçucu külün başlıca bileşenleri SiO_2 (%49,11), Al_2O_3 (%15,12), CaO (%13,75) ve Fe_2O_3 (%5,49)'tir. Ateşte zayıf değeri %11,5'tir. Külün içerdiği metal konsantrasyonu sırasıyla $Cr > Zn > Ni > Cu > Co > Pb > Cd$ olarak saptanmıştır. Külün Cd ve Cr konsantrasyonlarının kıtasal kabuk ortalamasının üzerinde olduğu tespit edilmiştir. SEM görüntülerinde taneler genellikle düzensiz şekilli ve köşelidir (Şekil 1b). Yanmamış karbon mikro gözenekli yapıda olup, mikro gözenek çapının genellikle 1 ile 8 µm arasında değiştiği saptanmıştır. Uçucu külün EDX sonuçlarında C, O, Si, Al, Ca, Fe, K ve Mg tespit edilmiştir.

Jeokimyasal Statik Testler

Çamur pH'ı testi

Pasanın pH değeri oldukça asidik (3,26) olup, EC değeri 1,41 mS/cm olarak belirlenmiştir. Alkali karakterdeki uçucu külün pH ve EC değerleri sırasıyla 12,22 ve 4,85 mS/cm olarak saptanmıştır. Artan uçucu kül ilavesine bağlı olarak pasa ve uçucu kül karışımının pH değeri artmaktadır (Şekil 2). Karışımın bazik pH değeri (7,58) %12 uçucu kül ve %88 pasa karışımı ile elde edilmiştir. %20 uçucu kül ilavesine kadar pH değerinde (8,95) hızlı bir artış, sonrasında daha yavaş bir artış gözlenmiş, %50 uçucu kül ilavesi ile karışımın pH değeri 10,88 olarak ölçülmüştür. EC değeri %30 uçucu kül ilavesine kadar 1,41 mS/cm değerinden

1,05 mS/cm değerine azalmıştır. Daha sonra uçucu kül ilavesi ile EC değerinde az miktarda artış gözlenmiş ve %50 uçucu kül ilavesiyle bu değer 1,18 mS/cm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 2. Pasa ve uçucu külün majör ve iz element içeriği.

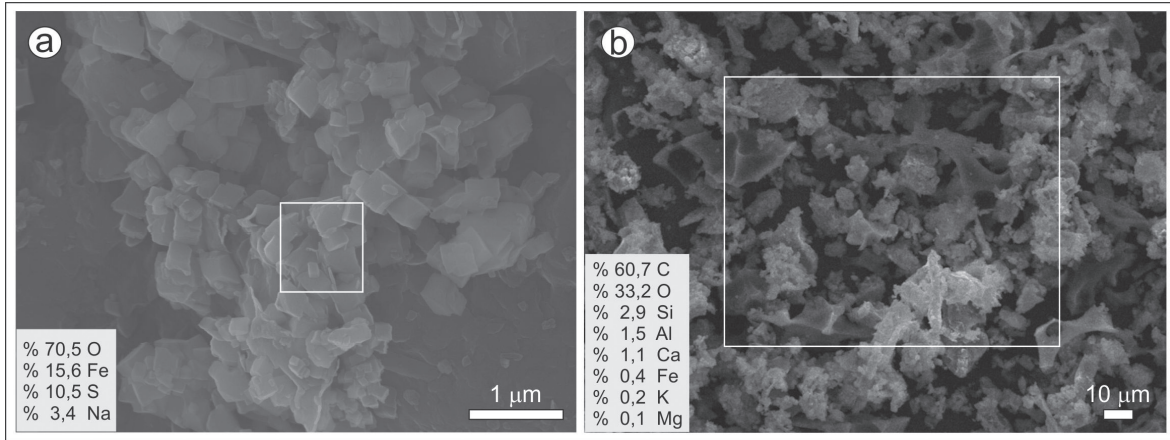
Table 2. Major and trace element composition of mine waste and fly ash.

Bileşen	Birim	Pasa	Uçucu kül	Kıtasal kabuk*
SiO ₂		48,37	49,11	59,3
Al ₂ O ₃		17,03	15,12	15,36
CaO		0,79	13,75	5,08
Fe ₂ O ₃		7,68	5,49	7,15
K ₂ O		1,22	1,64	3,12
MgO	%	1,64	1,31	3,47
MnO		0,02	0,06	0,1
Na ₂ O		0,98	0,78	3,81
P ₂ O ₅		0,17	0,15	0,25
TiO ₂		0,55	0,64	0,73
A.Z.		21,34	11,5	-
Toplam	%	99,79	99,55	98,28
S	%	1,24	1,03	0,026
C		0,95	8,3	0,02
Cd		0,1	0,4	0,2
Co		6,1	18	25
Cr		20	140	100
Cu	mg/kg	33,9	18,4	55
Ni		3,51	23,6	75
Pb		50,75	8,3	12,5
Zn		32	35	70

A.Z. = Ateşte zayıyat, *Krauskopf ve Bird (1995)

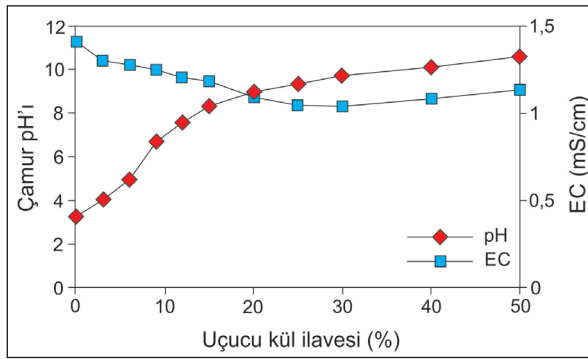
Standart asit-baz hesaplama testi

Pasayı nötralize etmek için gerekli olan uçucu kül miktarı ABH testi ile tespit edilmiştir. Net nötralizasyon potansiyeli (NNP), jeolojik bir birimin asit üretip üretmediğini belirlemek için kullanılır (Lapakko, 1992; Villeneuve vd., 2003). Bu değer NP değerinden MAÜP değeri çıkartılarak hesaplanır. NNP değeri eğer -20 kgCaCO₃/t'dan küçük ise "asit üretir", eğer -20 ile +20 kgCaCO₃/t aralığında ise "belirsiz" ve eğer +20 kgCaCO₃/t'dan büyük ise "asit üretmez" sınıfında yer alır (Lottermoser 2010; Şanlıyüksel Yücel ve Baba, 2016). Pasanın NP ve MAÜP değeri sırasıyla -4,65 ve 38,75 kgCaCO₃/t'dur. Pasanın NNP değeri -43,4 kgCaCO₃/t olarak hesaplanmış olup, bu değer asit üretir sınıfında yer almaktadır. Uçucu külün NP değeri 144,45 kgCaCO₃/t olarak saptanmıştır. Yüksek NP değeri uçucu külün mineralojik bileşiminde bulunan ve hızlı reaksiyona giren CaO'ten kaynaklanmaktadır. Uçucu külün MAÜP değeri 32,18 kgCaCO₃/t olup, bu değer sebebi uçucu külün mineralojik bileşiminde bulunan ve asit üretmeyen bir mineral olan anhidrittir. NNP değerine (112,27 kgCaCO₃/t) göre uçucu kül asit üretmez sınıfında yer almaktadır. Şekil 3'te artan uçucu kül ilavesinin NNP değeri üzerindeki etkisi sunulmuştur. Karışımın NNP değeri %30 uçucu kül ilavesi ile -43,4 kgCaCO₃/t'dan 20,23 kgCaCO₃/t'a çıkmıştır. ABH testi sonuçlarına göre Etili maden sahasındaki pasaların asit üretmez sınıfında (NNP > 20 kgCaCO₃/t) olması için ağırlıkça en az %30 uçucu kül ilavesi gereklidir.



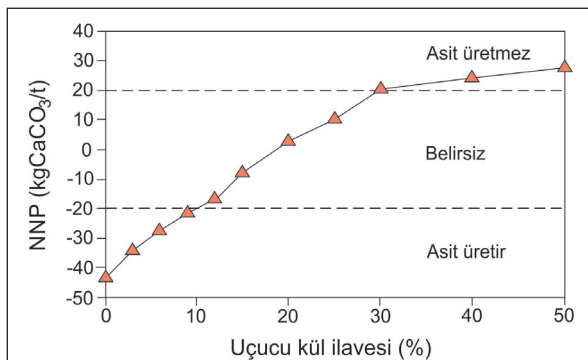
Şekil 1. a) Pasada saptanan natrojarosit mineralinin SEM görüntüsü ve EDX analiz sonucu. b) Uçucu külün SEM görüntüsü ve EDX analiz sonucu.

Figure 1. a) SEM image and EDX analysis of natrojarosite in mine waste. b) SEM image and EDX analysis of fly ash.



Şekil 2. Artan uçucu kül ilavesine bağlı olarak karışımın pH ve EC değişimi.

Figure 2. pH and EC variation of mixture due to increased fly ash addition.



Şekil 3. Pasa ve uçucu kül karışımının NNP değerinin değişimi.

Figure 3. NNP of mine waste-fly ash mixture.

Liç Testler

Modifiye sentetik yağış liç testi

Modifiye sentetik yağış liç testi ile optimum koşullarda karışan uçucu kül (%30) ve pasa (%70) metal liçinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Pasa liçinin pH ve EC değerleri sırası ile 3,58 ve 1,27 mS/cm olarak ölçülmüştür (Çizelge 3). Pasa liçinin Al, Fe, Mn ve Pb konsantrasyonu Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (2015) limit değerlerinin üzerindedir. Uçucu kül liçinin pH ve EC değerleri sırasıyla 12,09 ve 4,96 mS/cm olarak saptanmıştır. Uçucu kül liçinin metal konsantrasyonu limit değerlerini sağlamaktadır. Ancak uçucu kül liçinin yüksek pH ve EC değerleri ve SO_4^{-2} konsantrasyonu nedeni ile su kaynakları üzerinde olumsuz etkisi olabilir. Optimum uçucu kül ve pasa karışım liçinin pH ve EC değerleri sırası ile 8,37 ve 1,25 mS/cm olarak ölçülmüştür. Optimum oranda pasa ve uçucu kül karışım liçinin pH değeri artmış ve limit değer sağlanmıştır. Karışım liçinin metal konsantrasyonu da limit değerler içerisinde olup, metal konsantrasyonunda %47-94 arasında azalma tespit edilmiştir. Uçucu külün içeriğindeki yüksek SO_4^{-2} konsantrasyonu, karışım liçinin SO_4^{-2} konsantrasyonunun yüksek olmasının sebebidir. 18 saatin sonunda liçin SO_4^{-2} konsantrasyonunun %6 oranında azaldığı fakat limit değerleri sağlamadığı tespit edilmiştir.

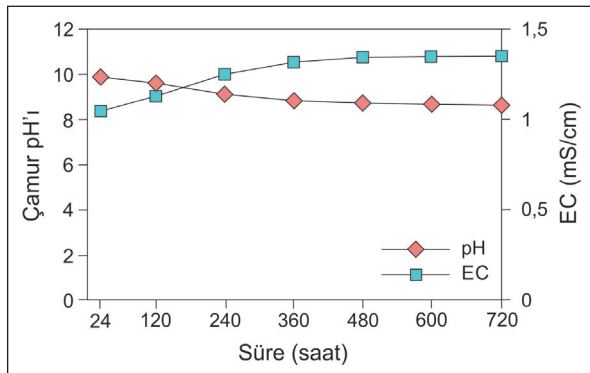
Çizelge 3. Liçin fizikokimyasal karakterizasyonu ve kimyasal bileşimi.

Table 3. Physicochemical characterization and chemical composition of leachates.

Liç testi	Örnek adı	Deney süresi	pH	EC	Al	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	SO ₄ ⁻²
		saat	-	mS/cm	µg/l						mg/l
Modifiye sentetik yağış liç testi	Pasa		3,58	1,27	2515	1650	152	14,2	17,6	93,47	330
	Uçucu kül	18	12,09	4,96	178,5	67,7	39,3	0,7	1,53	1,74	680
	Uçucu kül (%30)-pasa (%70)		8,37	1,25	277,2	95,05	80,1	6,28	7,95	28,39	310
Uzun süreli çamur pH'ı testi	Uçucu kül (%30)-pasa (%70)	720	8,45	1,38	292	108,63	94,74	7,17	8,44	47,41	290
	Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (2015)		6,5-8,5	0,4	300	300	100	20	10	200	200

Uzun süreli çamur pH'ı testi

Optimum karışım oranına göre hazırlanan pasa ve uçucu kül liçinin zamana bağlı olarak pH değeri azalan ve EC değeri artan bir eğilim göstermiştir (Şekil 4). Karışımın pH ve EC değerleri 480 saat sonrasında sabit kalmıştır. 720 saat sonunda karışım liçinin pH ve EC değerleri sırası ile 8,45 ve 1,38 mS/cm olarak ölçülmüştür. 720 saat sonunda metal konsantrasyonunun Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne (2015) göre belirlenen limit değerleri sağladığı fakat liçin SO₄⁻² konsantrasyonunun ise limit değeri sağlamadığı tespit edilmiştir (Çizelge 3).



Şekil 4. Zamana bağlı olarak uçucu kül ve pasa liçinin pH ve EC değişimi.

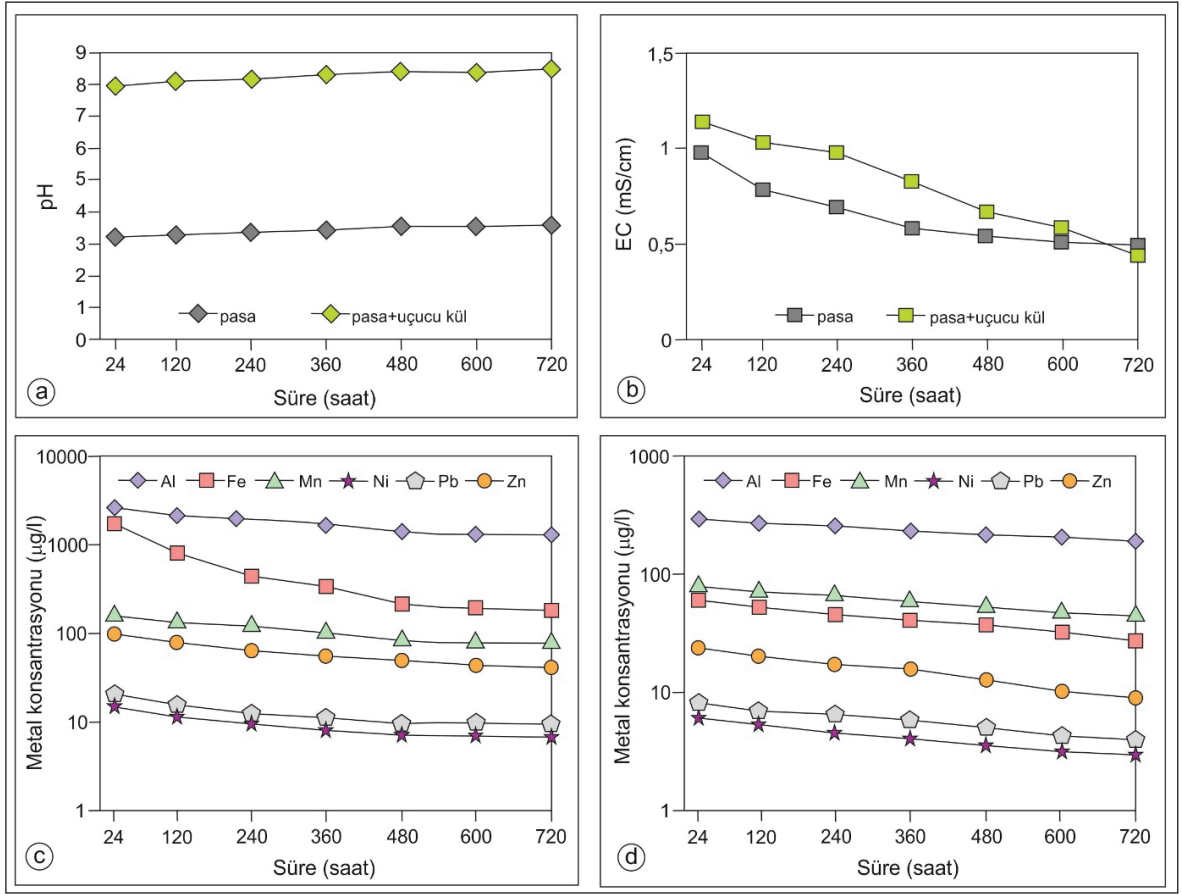
Figure 4. Changes in pH and EC of leachate of mine waste-fly ash mixture over time.

Seri liç testi

Seri liç testinde, uzun süreli çamur pH'ı ve modifiye sentetik yağış liç testlerinden farklı olarak pasa ve uçucu külün tane boyutuna müdahale edilmemiş, her seride 20 ml ultra saf su eklemesi yapılmış ve örnekler 720 saat boyunca aralıksız olarak karıştırılmıştır. Qureshi vd. (2019) pasaların tane boyutunun sülfür minerallerinin reaktivitesinde kritik bir rol oynaması nedeni ile liç testlerinde pasaların tane boyutuna müdahale edilmemesi gerektiğini vurgulamıştır. 720 saatin sonunda, kontrol deneyi olan pasa liçinin seyrelmenin etkisi ile pH değeri 3,2'den 3,53'e artmış, EC değeri ise 0,98'den 0,55 mS/cm'e azalmıştır (Şekil 5a ve b). 720 saatin sonunda karışım liçinin pH değeri 7,97'den 8,34'e artmış ve EC değeri 1,14'den 0,46 mS/cm'e azalmıştır. Pasa liçinin metal konsantrasyonu 480 saat boyunca azalmış ve bu sürenin sonunda analiz sonuçlarında metallerin yaklaşık olarak stabil değerler gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 5c). Benzer stabil sonuçlar pasa liçinin pH ve EC değerlerinde de tespit edilmiştir. 720 saat boyunca pasa ve uçucu kül karışım liçinin metal konsantrasyonu zamana bağlı olarak azalmış ve bu sürede karışımdan metal liçinin olmadığı saptanmıştır (Şekil 5d). 24 saatin sonunda karışım liçinin metal konsantrasyonu limit değerleri sağlamış ve liçin metal konsantrasyonunun %50-95 arasında azaldığı belirlenmiştir. 720 saatin sonunda ise liçteki metal konsantrasyonu %72-97 arasında azalmıştır. Pasa ile karıştırılan ince taneli uçucu

kül pasanın doku ve gözenek yapısını değiştirmiş ve mikron boyutundaki CaO tanecikleri pasanın pH'nın artmasına neden olarak nötralizasyonu ve metal konsantrasyonunun azalmasını sağlamıştır. Pasa liçinin SO_4^{-2} konsantrasyonu saf su ilavesine bağlı olarak azalmış ve 315 mg/l'den 40 mg/l'ye düşmüştür. Karışım liçinin SO_4^{-2} konsantrasyonu 360 mg/l'den 70 mg/l'ye azalmıştır. Karışım sonucunda yeni mineral formları oluşabilmektedir, örneğin metaller metal hidroksit, sülfatlar ise jips

oluşturarak çökebilir. Şanlıyüksel Yücel ve İleri (2018) modifiye ettikleri uçucu külü adsorban olarak kullanarak asidik drenajın nötralizasyonunu ve Al, Fe gibi metallerin giderimini 2 saat gibi kısa bir sürede sağlayarak XRD ve SEM-EDX analizleri ile yeni bir mineral formu olan jips oluşumunu saptamıştır. Jips oluşumu asidik drenajın SO_4^{-2} konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 5. a) Pasanın ve karışım liçinin zamana bağlı olarak pH değişimi. b) Pasanın ve karışım liçinin zamana bağlı olarak EC değişimi. c) Pasa liçinin zamana bağlı olarak metal konsantrasyonu değişimi. d) Karışım liçinin zamana bağlı olarak metal konsantrasyonu değişimi.

Figure 5. a) pH changes of leachate. b) EC changes of leachate. c) Metal concentration of mine waste leachate. d) Metal concentration of mixture leachate.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sürdürülebilir kalkınma için en önemli şartlardan biri madencilik faaliyetlerinin sona ermesinden sonra yapılan maliyetli rehabilitasyon çalışmalarıdır. Bu çalışmalarda en önemli amaç açık ocak madenciliği sonucu ortaya çıkan büyük hacimli pasaların su ve hava ile temaslarının kesilerek sahada oluşan ya da oluşabilecek olan AMD gelişimini engellemektir. Jones ve Çetin (2017) pasaların sebep olduğu AMD'ni nötralize etmek için pasa ve uçucu külü karıştırarak hazırladığı kolon liç testlerinde, uçucu kül ilavesinin karışımının pH değerini arttırarak, AMD'nin Cr, Cu, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonunu azalttığını ifade etmiştir. Bu çalışmada, Etili kömür madeninde antropojenik etki ile oluşan AMD'nin çevresel etkilerinin minimize edilmesi için akışkan yataklı termik santral atığı uçucu küllerin etkinliği belirlenmiştir. Uçucu kül yüksek pH ve CaO içeriğinin yanı sıra yüksek NP değerine sahiptir. Optimum karışım oranına göre hazırlanan seri liç testi sonucunda uçucu külün AMD'ni nötralize ederek, metal ve sülfat konsantrasyonunu azalttığı saptanmıştır. Alkali pH'daki ince tane boyutlu uçucu kül, pasadaki oksijenin taşınmasını önleyerek, sülfür tanelerinin yüzeyini kaplamış, sülfür oksidasyonunu engellemiştir. Pasa ve uçucu külün tane boyutu değişimi, pasa ve uçucu kül karışım oranı, pH ve deney süresi gibi faktörlerin karışımın nötralizasyonunu ve metal liçini etkilediği saptanmıştır. Seri liç testinde 24 saatin sonunda karışım liçinin metal konsantrasyonu limit değerleri sağlamış ve 720 saat boyunca liçin metal konsantrasyonunda artış olmaması, uçucu kül ve pasa karışımının saha uygulamalarında kullanılabilirliğini vurgulamıştır. Uçucu kül ayrıca pasanın boşluklarındaki su akışını engelleyerek AMD üretiminde azalmaya neden olur, metaller yavaş olarak zamanla seyrelir. Benzer sonuçlar literatürde Perez-Lopez vd. (2007), Yehesis vd. (2009), Qureshi vd. (2016) tarafından da tespit edilmiştir. Uçucu kül su ile temas ettiğinde çimentolanarak sertleşir, bu nedenle geçirgenliği

de azaltacağından saha uygulamalarında örtü ya da geçirimsiz malzeme olarak da kullanılması mümkündür. Ayrıca uçucu külün pasalar ile karışımı stabilizasyonu sağlayacağı için su ve rüzgarın sebep olduğu erozyonu da önleyebilir. Depolanması ve bertaraf edilmesi çevresel sorun teşkil eden uçucu külün maden sahalarının rehabilitasyonunda değerlendirilmesi sonucunda atık hacmi minimize edilebilir. Akışkan yataklı termik santralin konumunun Etili kömür madenine yakın olması da önemli bir avantajdır. Laboratuvar ölçeğindeki uygulamaların gelecek çalışmalarda saha uygulamalarına dönüştürülmesi hedeflenmektedir.

EXTENDED SUMMARY

Acid mine drainage (AMD) is the principal mining-associated environmental contamination problem, which is mainly caused by the exposure of pyrite and other sulfides to oxygen and water. AMD is typically characterized by low pH, high concentration of metals, sulfate, dissolved and suspended solids (Şanlıyüksel and Baba, 2013; Yolcubal et al., 2016). Mining activities can lead to the generation of large quantities of mine waste, increase the specific surface area of sulfide minerals in mine waste and accelerate AMD generation processes (Şanlıyüksel Yücel et al., 2014). AMD is an increasing concern because it not only negatively affects surface and groundwater pollution but is also responsible for the degradation of soil quality, for harming aquatic sediment and for allowing metals to leach into the environment. Environmental pollution with AMD requires the application of long-term and high-cost mitigation techniques. Every mine is unique in terms of its AMD potential; thus, the nature and size of the associated risk and feasibility of mitigation vary from site-to-site (Akçıl and Koldaş, 2006; Karadeniz, 2008).

Nowadays, one of the most widely used methods to neutralize AMD is by mixing alkaline

materials (e.g. limestone, clinoptilolite, fly ash) with mine waste. In an effort to reduce the toxic effects of AMD, interest has grown in various environmental applications of low-cost waste products such as fly ash (Jones and Çetin, 2017). Previous studies have clearly shown that mixing fly ash with mine waste can effectively increase pH and decrease metal concentrations in AMD (e.g. Stouraiti et al., 2002; Perez-Lopez et al., 2007; Yehesis et al., 2009; Qureshi et al., 2016; 2019). Etili open-pit coal mine is located in Çan Coal Basin (NW Turkey) and has faced an AMD problem since the 1980s. The aim of this study was to minimize environmental effects of AMD generated by Etili mine waste using fly ash at the laboratory scale.

Mine waste covers large land areas and, according to a Pleiades satellite image (50 cm spatial resolution) from July 2016, the Etili mine waste area was calculated as 102.33 ha (Şanlıyüksel Yücel, 2019). The Al, Fe, Mn and Pb concentrations of the mine waste were higher than the continental crust average determined by Krauskopf and Bird (1995). At low pH, metals in mine waste mix with surface and groundwater when exposed to atmospheric conditions. AMD causes damage to physical, chemical, biological and ecological features in the Etili mine site and surroundings. The sulfur content of mine waste was 1.24 wt%. The paste pH and EC of the mine waste was measured as 3.26 and 1.41 mS/cm, respectively. The mine waste was classified as acid-generating using the paste pH and standard acid-base accounting (ABA) tests. The fly ash was highly alkaline and the pH and EC of the fly ash were 12.22 and 4.85 mS/cm, respectively. The NP of the fly ash was identified as 144.45 kgCaCO₃/t. Based on the results of chemical analysis, paste pH and ABA tests, mass ratio equal to or greater than 30% of fly ash needs to be added to Etili mine wastes to prevent AMD formation.

The pH of the mine waste was 3.26 prior to the experiments, after 720 h, the pH of the optimum

mine waste and fly ash mixture was 8.34. Fly ash proved to be effective in neutralizing the acidity of AMD by raising the pH because of the high CaO content. Regarding the 30:70 fly ash:mine waste ratio, reductions of 88, 95, 50, 65, 63, and 76% were observed in the Al, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn contents, respectively, after 24 h of leaching. Fly ash showed the highest removal capacity for the selected metals and permissible limits determined by Turkish Water Pollution Control Regulation (2015) were obtained within 24 h. In addition, there was no metal transition into leachate for 720 h. Fly ash prevented the transport of oxygen and water in the mine waste, thus reduced the sulfur oxidation and metal leaching by covering the surface of the sulfur grains. The pH, reaction time, grain size and mixing ratio of fly ash and mine waste are factors that play a crucial role in affecting metal leaching of the mixture. The AMD treatment process using fly ash would be an advantage for thermal power plants as it constructively uses the large volumes of waste that they generate. Fly ash is economically promising solutions for coal mining companies facing AMD because a fluidized bed thermal power plant is situated close the coal mines. The long-term effectiveness and feasibility of using fly ash in remediating AMD in in-situ conditions should be assessed by conducting field scale applications.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2018-2649 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar görüş ve önerilerinden dolayı hakemlere teşekkürlerini sunar.

ORCID

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL  <https://orcid.org/0000-0001-6546-5624>
Burcu İLERİ  <https://orcid.org/0000-0001-6609-9048>

DEĞİNİLEN KAYNAKLAR / REFERENCES

- Akçil, A., Koldaş, S., 2006. Acid mine drainage (AMD): Causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, 14, 1139–1145.
- Balcı, N., Gül, S., Kılıç, M.M., Karagüler, N.G., Sarı, E., Sönmez, M.Ş., 2014. Balya (Balıkesir) Pb-Zn madeni atık sahasının biyojeokimyası ve asidik maden drenajı oluşumuna etkileri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 57(3), 1–24.
- Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, M.S., Demir, İ., 2009. Uçucu Kül bölüm II: Kimyasal, mineralojik ve morfolojik özellikler. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2), 33–42.
- Hageman, P.L., Seal, R.R., Diehl, S.F., Piatak, N.M., Lowers, H.A., 2015. Evaluation of selected static methods used to estimate element mobility, acid-generating and acid-neutralizing potentials associated with geologically diverse mining wastes. *Applied Geochemistry*, 57, 125–139.
- Jones, S.E., Çetin, B., 2017. Evaluation of waste materials for acid mine drainage remediation. *Fuel*, 188, 294–309.
- Karadeniz, M., 2008. Sülfürlü Madenlerin Sorunu Asit Maden Drenajı ve Çözümü. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Oda Yayın No: 146, Ankara, 231 s.
- Karadeniz, M., 2011. Balıkesir Balya kurşun-çinko madeni flotasyon artıklarının asit maden drenajı oluşum potansiyelinin derinlikle değişiminin araştırılması. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 228 s.
- Krauskopf, K.B., Bird, D.K., 1995. *Introduction to Geochemistry*, Third Edition. McGraw-Hill, New York, 647 s.
- Lapakko, K., 1992. Recent literature on static predictive test. *Proceedings of the Symposium on Emerging Process Technologies for a Cleaner Environment*, Phoenix, AZ., 24-27 February 1992, S. Chander (ed.), Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, 109–119.
- Lottermoser, B.G., 2010. *Mine wastes: Characterization, Treatment, and Environmental Impacts*, Third Edition. Springer Heidelberg, Berlin, 410 s.
- Okumuşoğlu, D., Gündüz, O., 2013. Hydrochemical status of an acidic mining lake in Can-Canakkale, Turkey. *Water Environment Research*, 85(7), 604–620.
- Perez-Lopez, R., Nieto, J.M., Almodovar, G.R., 2007. Utilization of fly ash to improve the quality of the acid mine drainage generated by oxidation of a sulphide-rich mining waste: Column experiments. *Chemosphere*, 67(8), 1637–1646.
- Qureshi, A., Jia, Y., Maurice, C., Öhlander, B., 2016. Potential of fly ash for neutralisation of acid mine drainage. *Environmental Science Pollution Research*, 23(17), 17083–17094.
- Qureshi, A., Maurice, C., Öhlander, B., 2019. Effects of the co-disposal of lignite fly ash and coal mine waste rocks on AMD and leachate quality. *Environmental Science Pollution Research*, 26(4), 4104–4115.
- Sayılgan, E., Kürklü, K., 2018. Uçucu kül örneğinden demir ve alüminyum gideriminde Taguchi yaklaşımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(3), 133–142.
- Smart, R., Skinner, W.M., Levay, G., Gerson, A.R., Thomas, J.E., Sobieraj, H., Schumann, R., Weisener, C.G., Weber, P.A., Miller, S.D., Stewart, W.A., 2002. *ARD Test Handbook: Project P387A Prediction and Kinetic Control of Acid Mine Drainage*. AMIRA International Ltd, Ian Wark Research Institute, Melbourne, 43 s.
- Sobek, A.A., Schuller, W.A., Freeman, J.R., Smith, R.M., 1978. *Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Minesoils*. Environmental Protection Technology Series, United States Environmental Protection Agency EPA-600/2-78-054. Washington, 204 s., (yayımlanmış).
- Stouraiti, C., Xenidis, A., Paspaliaris, I., 2002. Reduction of Pb, Zn and Cd availability from tailings and contaminated soils by the application of lignite fly ash. *Water Air and Soil Pollution*, 137, 247–265.
- Şanlıyüksel Yücel, D., Baba, A., 2013. Geochemical characterization of acid mine lakes and their effect on the environment, NW of Turkey. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 64(3), 357–376.
- Şanlıyüksel Yücel, D., Yücel, M.A., Baba, A., 2014. Change detection and visualization of acid mine

- lakes using time series satellite image data in geographic information systems (GIS): Can (Canakkale) County, NW Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 72(11), 4311–4323.
- Şanlıyüksel Yücel, D., Baba, A., 2016. Prediction of acid mine drainage generation potential of various lithologies using static tests: Etili coal mine (NW Turkey) as a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(473), 1–16.
- Şanlıyüksel Yücel, D., Balcı, N., Baba, A., 2016. Generation of acid mine lakes associated with abandoned coal mines in NW Turkey. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 70(4), 757–782.
- Şanlıyüksel Yücel, D. 2017. Removal of heavy metals from aqueous solution using fly ash: Can Thermal Power Plant, NW Turkey as a case study. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 7(1), 291–298.
- Şanlıyüksel Yücel, D., Yücel, M.A., 2017. Determining hydrochemical characteristics of mine lakes from abandoned coal mines and 3D modelling of them using unmanned aerial vehicle. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(6), 780–791.
- Şanlıyüksel Yücel, D., İleri, B., 2018. Evaluation of ultrasound-assisted modified fly ash for treatment of acid mine drainage. In: S.A. Akinyemi (ed.), *Coal Fly Ash Beneficiation- Treatment of Acid Mine Drainage with Coal Fly Ash*, InTech: Croatia, 53–77.
- Şanlıyüksel Yücel, D., 2019. Characterization and comparison of mine wastes in Can Coal Basin, northwest Turkey: A case study. *Environmental Earth Sciences*, 78, 154.
- Villeneuve, M., Bussière, B., Benzaazoua, M., Aubertin, M., Monroy, M., 2003. The influence of kinetic test type on geochemical response of low acid generating potential tailings. 10th International Conference on Tailings and Mine Waste: Tailings and Mine Wastes'03, Vail, Colorado, USA, 12-15 October 2003, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, 269–279.
- Wang, J., Teng, X., Wang, H., Ban, H., 2004. Characterizing the metal adsorption capability of a Class F coal fly ash. *Environmental Science & Technology*, 38(24), 6710–6715.
- Yeheşis, M.B., Shang, J.Q., Yanful, E.K., 2009. Long-term evaluation of coal fly ash and mine tailings co-placement: A site-specific study. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 237–244.
- Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 2015. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150415-18.htm> 17 Temmuz 2019.
- Yolcubal, İ., Demiray, A.D., Çiftçi, E., Sangu E., 2016. Environmental impact of mining activities on surface water and sediment qualities around Murgul copper mine, Northeastern Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1415.



Erdek Körfezi Karot Çökellerinin Ağır Metal Dağılımı ve Zenginleşme Derecesi
Distribution of Heavy Metal and Enrichment Degree in Core Sediments from Erdek Gulf

Tuğçe Nagihan Arslan Kaya^{1*}, **Erol Sarı¹**, **Mehmet Ali Kurt²**, **Dursun Acar³**

¹*İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Bölümü, 34134 İstanbul*

²*Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 33343 Mersin*

³*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölüm, 34469 İstanbul*

Geliş/Received : 10.05.2019

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 29.07.2019

• Kabul/Accepted : 15.10.2019

• Çevrimiçi Yayın/Available online : 15.01.2020

• Baskı/Printed : 31.01.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Erdek Körfezi Marmara Denizi'nin güneybatısında yer almaktadır. Ortalama ve maksimum derinliği sırasıyla yaklaşık 34 ve 55 m'dir. Çalışma alanı Marmara Denizi'ndeki diğer körfezlere (İzmit, Gemlik) kıyasla antropojenik kökenli kirleticilere daha az maruz kalmıştır. Körfeze başlıca tatlı su ve çökel taşınımı Karabiga ve Gönen nehirleriyle gerçekleşmektedir. Bu nehirler Gönen ve Biga ilçelerinin evsel, tarımsal ve endüstriyel (seramik fabrikaları ve deri sanayi) kaynaklı atık sularını bünyelerine alarak Marmara Denizi'ne boşalırlar. Bu çalışmada, Gönen Nehri ağızı -16 m su derinliğinden alınan 174 cm uzunluğundaki karot çökel örneğinde geçmişten günümüze antropojenik ve/veya doğal kökenli ağır metal miktarındaki değişimler incelenmiştir. Bölgenin ağır metal zenginleşmesi; ağır metal (Cu, Pb, As, Zn, Cr ve Co), tane boyutu ve toplam organik karbon (TOK) analizleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, karot boyunca ortalama Cu, Pb, As, Zn, Cr ve Co değerleri sırasıyla 16, 68, 10, 26, 111 ve 4 mg.kg⁻¹'dir. Ortalama çakıl, kum, silt ve kil içerikleri sırasıyla %0,1, 1, 28,5 ve 70,4'tür. TOK değerleri %0,5 ile 1,9 arasında değişim göstermektedir. Çalışma alanının ağır metal birikim tarihçesini daha net değerlendirmek için karot boyunca zenginleşme faktörü (EF) değerleri hesaplanmıştır. Karot düşey profili boyunca ortalama EF değerleri; EF-Pb 12,2, EF-As 4,8, EF-Cr 3,3, EF-Zn 1,1, EF-Cu 0,9 ve EF-Co 0,7'dir. Sutherland (2000) zenginleşme faktörü kirlilik derecesi sınıflamasına göre karot çökel örnekleri Cr ve As ile orta derecede, Pb ile de önemli derecede kirletilmiştir. Çalışma alanı Co, Cu ve Zn bakımından kirletilmemiştir. EF-Pb, EF-As ve EF-Cr değerleri körfeze tarımsal ve endüstriyel kökenli (deri sanayi) artılmamış antropojenik kaynaklı atık suların deşarj edildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, antropojenik kirlilik, Gönen Nehri, karot çökeli, zenginleşme faktörü.

Abstract: The Gulf of Erdek is located in southwest Marmara Sea. Average and maximum depths are around 34 and 55 m, respectively. The study area is less polluted by pollutants of anthropogenic origin than the other gulfs (İzmit, Gemlik) in the Marmara Sea. The main source of fresh water and sediments in the gulf are the Gönen and Karabiga Rivers. These rivers, which receive pollution load from domestic, industries (ceramic factories and leather industry) and agricultural waste water from Gönen and Biga towns, drain into the Marmara Sea. In this study, distribution of historical heavy metal contamination derived from anthropogenic and/or natural origin was investigated in a 174-cm long core sediment collected from the mouth of the Gönen River at -16 m water depth. Heavy metal enrichment in the region was determined by analysing heavy metal (Cu, Pb, As, Zn, Cr and Co), grain size and total organic carbon (TOC) contents. According to the results obtained, average Cu, Pb, Zn, Cr and Co values in the core are 16, 68, 10, 26, 111 and 4 mg.kg⁻¹, respectively. The mean distribution of gravel, sand, silt and clay are 0.1, 1, 28.5 and 70.4%, respectively. TOC values range between 0.5 and 1.9%. Enrichment factor (EF) was calculated throughout

the core to reveal the pollution history of the study area more clearly. Mean EF values through the vertical profile of the core are EF-Pb 12.2, EF-As 4.8, EF-Cr 3.3, EF-Zn 1.1, EF-Cu 0.9, and EF-Co 0.7. Based on Sutherland's (2000) enrichment factor contamination categories, core sediments were moderately contaminated with Cr and As, and contaminated significantly with Pb. The study area was not contaminated with Co, Cu and Zn. The EF-Pb, EF-As and EF-Cr values indicate that untreated anthropogenic waste water with agricultural and industrial origin (leather industry) was supplied into the gulf.

Keywords: Heavy metal, anthropogenic pollution, Gönen River, core sediment, enrichment factor.

GİRİŞ

Türkiye’de ve dünyada teknolojiye olan ihtiyacın artması sanayileşme, endüstrileşme ve kentleşmeyi zorunlu kılmıştır. Gelişme ve sanayileşmeyle birlikte birçok sanayi kuruluşu daha çok hammadde kullanımına gereksinim duymuştur. Bu ihtiyaçları karşılamak için doğal kaynaklar hızlı bir şekilde insan eliyle tahribata uğramış ve doğal ekoloji gün geçtikçe daha çok zarar görmüştür (Akyüz vd., 2007; Hallı vd., 2014). Sanayi üretimi, enerji kaynakları, madensel faaliyetler, tarımsal aktiviteler, evsel ortamlar ve diğer kirletici kaynaklardan ortaya çıkan atıklar ve/veya kimyasalların çeşitli yollarla alıcı ortama verilmesi; akarsu, göl ve denizlerin hızla kirletilmesine neden olmuştur (Sarı, 2008).

Sanayi kuruluşlarının birçoğu üretim aşamasında ve sonrasında çevreye toksik etki oluşturabilecek düzeyde ağır metal içeren kimyasal ürünleri kullanmaktadır. Ağır metaller sucül ortama endüstriyel ve tarımsal kökenli kirleticilerin yanı sıra doğal süreçler (kayaçlardaki minerallerin çözünmesi) ile de geçerler. Demir, Zn, Cu ve Mn gibi bazı ağır metaller gerekli (faydalı) besinlerken, Cd, Hg ve Pb gibiler ise gerekli olmamakla beraber yüksek miktardaki bileşenleri toksik etki oluşturmaktadır (Tchounwou vd., 2012; Mohsen vd., 2019). Ağır metaller deniz tabanında minerallerin ve karbonatların kristal yapılarına, organik madde ve killerin üzerlerine absorbe olarak depolanırlar (Çağatay vd., 2006). Deniz tabanından alınan karot çökellerinin jeokimyasal ve sedimentolojik yöntemlerle incelenmesiyle denizlerin ağır metal tarihçesi ve geçirdikleri jeolojik süreçler hakkında önemli

bilgilere ulaşılmaktadır (Çağatay vd., 2002; Sarı vd., 2013).

Erdek Körfezi, Marmara Denizi’nin diğer körfezlerine (Gemlik, İzmit) kıyasla sanayi ve endüstri yoğunluğunun az olduğu bir bölgedir. Erdek Körfezi ve civarında yüzey çökellerinin mevcut kirlilik durumunu ortaya çıkarmaya yönelik araştırmalar yapılmıştır (Balkıs ve Çağatay, 2001; Mülâyim vd., 2012; Yümün vd., 2019). Fakat çalışma alanının kirlilik tarihçesi ve çökkel kalitesine yönelik literatürde son 10 yılda ayrıntılı bir çalışma bulunmamaktadır. Balkıs ve Çağatay (2001), Erdek Körfezi yüzey çökellerinde Fe, Mn, Pb, Cu, Ni, Cr, Zn ve Hg içeriklerini tespit ederek, çökellerdeki metal zenginleşmesinin büyük oranda kara kökenli doğal ve az miktarda da antropojenik kaynaklı kirleticilerin neden olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, araştırmacılar Erdek Körfezi’nde yüksek konsantrasyondaki Pb, Zn, Cu ve Hg’nin ana kaynağını nehirlerin drenaj alanlarındaki mineralize olmuş kayaçlardan taşıdıkları, benzer bir şekilde Cu, Ni ve Cr’daki yüksek metal değerlerinin ofiyolitik ve volkanik kökenli mafik ve ultramafik kayaçlardan kaynaklandığını belirlemiştir. Mülâyim vd. (2012), Erdek ve Bandırma Körfezleri’nde 1-30 m arası değişen su derinliklerinden aldıkları yüzey çökellerinde Al, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb ve Hg içeriklerini Krauskopf (1979) şeyl değerleri ile kıyaslayarak, çökellerdeki metallerin zenginleşme boyutunu tartışmıştır. Her iki körfezde Pb (20 mg.kg⁻¹) ve Cd (0,2 mg.kg⁻¹) içerikleri şeyl değerlerinden yüksek gözlenirken çalışılan diğer metallerin (Ni, Cu, Zn, Cr ve Hg) içerikleri düşük gözlenmektedir.

Literatür çalışmaları yüzey çökellerinde yapıldığından kısıtlı bir zaman aralığını kapsamaktadır. Yüzey çökel örnekleri ile metal zenginleşme boyutu değerlendirilirken bölgenin daha eski metal değerlerine ulaşılmamakta ve dolayısıyla paleokirlilik boyutu net olarak ortaya çıkarılmamaktadır. Bu makale ile Erdek Körfezi'nde karot çökellerinde sedimentolojik ve jeokimyasal analizler yapılarak geçmişten günümüze metal birikimi ortaya çıkarılmış ve körfezin Cu, Pb, As, Zn, Cr ve Co ile zenginleşme derecesi boyutlandırılmıştır. Bu kapsamda elde edilen bulgular ile literatürdeki boşluk tamamlanmıştır. Çalışmanın amacına uygun olarak Erdek Körfezi'nden -16 m su derinliğinden ($40^{\circ}20'0.60''K$, $27^{\circ}38'4.20''D$) alınan karot örneğinde (GD1) metal analizi, toplam organik karbon (TOK), toplam inorganik karbon (TİK) ve tane boyu analizleri yapılmıştır. Ayrıca zenginleşme faktörü (EF) hesaplanarak ortamın kirlilik derecesi boyutlandırılmıştır. Erdek Körfezi'nin çökel niteliği ve kirlilik tarihçesi ortaya çıkarılmıştır.

MATERYAL ve METOT

Çalışma Alanı ve Örneklem

Marmara Denizi toplam 11500 km^2 'lik alana ve 3378 km^3 'lük bir hacme sahip olup, maksimum uzunluğu (Gelibolu-İzmit) 276 km, maksimum genişliği 76 km'dir (Ünlüata vd., 1990; Yüce ve Türker, 1991; Akkaya, 2004). Marmara Denizi iki tabakalı su sistemine sahiptir. Üstte düşük yoğunluktaki (tuzluluk 22 ppt) Karadeniz kökenli su tabakası, altta ise yüksek yoğunluktaki (tuzluluk 36 ppt) Akdeniz kökenli su tabakası bulunur (Çağatay vd., 2003). Erdek Körfezi, Marmara Denizi'nin güneybatısında bulunmakta ve körfezin doğusunda Kapıdağ Yarımadası, kuzeyinde Avşa, Paşalimanı ve Marmara Adaları yer almaktadır (Şekil 1). Bölgede seramik endüstrisi, deri sanayi ve tarımsal aktiviteler dışında büyük ölçüde kirliliğe katkıda bulunacak kaynaklar bulunmamaktadır. Ancak tarımda kullanılan gübre

ve ilaçlar akarsularla bu körfeze taşınmaktadır (Çağatay vd., 2006). Körfezi besleyen iki temel akarsu (Karabiga ve Gönen) mevcuttur (Şekil 2). Karabiga Nehri 97 ton/yıl ve Gönen Nehri 78 ton/yıl askıda çökel taşımaktadır (EİE, 1993). Bu akarsuların drenaj alanları sırasıyla 2100 ve 1200 km^2 'dir (Balkıs ve Çağatay, 2001).

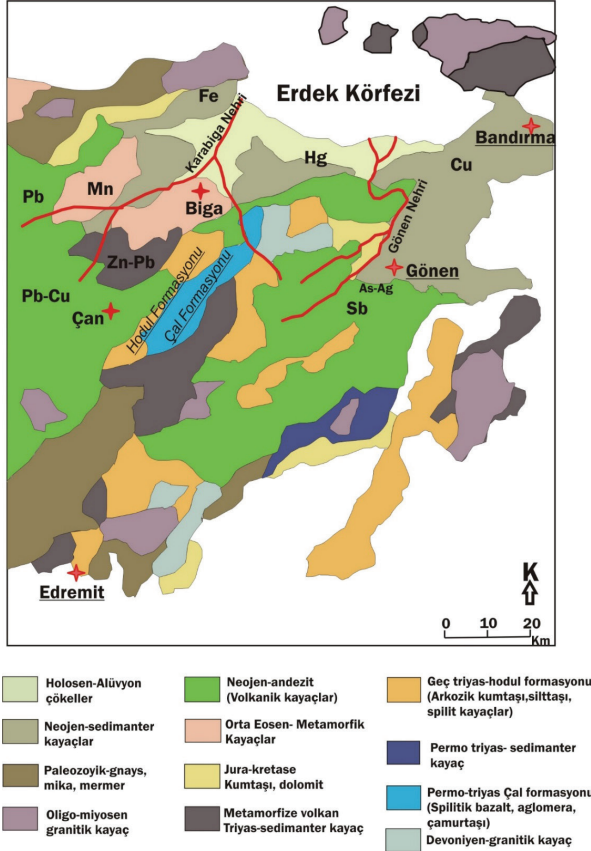


Şekil 1. Çalışma alanında karot yerini gösteren yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map showing the study area and core site.

Biga, Çan ve Gönen ilçelerinde çok sayıda Pb, Mn, Fe, Hg, Cu ve Zn maden yatakları ve cevherleşme zonları bulunmaktadır (Şekil 2). Biga Yarımadası'nda Ni, Cr ve Co yüksek temel (background) değerleri içeren mafik ve ultramafik kayalar yer almaktadır (Çağatay vd., 2006). Karabiga ve Gönen Nehri'nin denize döküldüğü alan Holosen yaşlı alüvyon çökellerden oluşmakta ve bu çökeller bölgenin en genç birimini temsil etmektedir. Nehirlerin beslenme alanında Neojen yaşlı karasal çökeller, Pb ve Cu mineral zonları içeren andezit kayalar, Permo-Triyas yaşlı Çal Formasyonu ve Geç Triyas yaşlı Hodul

Formasyonu yüzeylenmektedir. Çal Formasyonu spilitik bazalt, aglomera ve çamurtaşından oluşurken, Hodul Formasyonu arkozik kumtaşı, moloz akıntısı, silttaşı, bazik (spilit) kayalar ve bunlara eşlik eden kireçtaşlarından oluşmaktadır (Karabulut, 2004).



Şekil 2. Erdek Körfezi ve çevresinin mineral zon, drenaj sistemi ve kayaçlarını gösteren jeolojik haritası (Ternek vd., 1987; Akyüz, 1995; Balkıs ve Çağatay, 2001'den değiştirilerek).

Figure 2. Geological map showing mineral zones, drainage system and lithology of Erdek Gulf and its surroundings (modified from Ternek et al., 1987; Akyüz, 1995; Balkıs and Çağatay, 2001).

ALEMDAR II R/V gemisi ile 2014 yılı Temmuz ayında Erdek Körfezi -16 m su derinliğinden, 174 cm uzunlukta karot çökeli

alınmıştır (Şekil 1). Alınan karot çökeli İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü soğuk deposunda (-5 ile +5) analiz edilinceye kadar bekletilmiştir. GD1 karotu uzunlamasına iki eş parçaya bölünerek yüzeyi temizlenmiş, fotoğraflanmış ve ardından litolojik tanımlaması yapılmıştır. Tane boyu analizi için karot çökelinin yarısı 2'şer cm aralıklarla örneklenirken, diğer yarısı jeokimyasal analizler için 0-30 cm arası 1 cm, 30-60 cm arası 2 cm, 60-100 cm arası 5 cm ve 100 cm altı için 10 cm alt örneklemeleri yapılmıştır. Jeokimyasal analizler için örnekler 50°C de kurutulmuş ve agat havanda öğütülmüştür.

Tane Boyu Analizi

Çökelin tane boyu içeriği ve dağılımı, örneğin istatistiksel anlamda tanımlanması, taşıyıcı ajanın gücü hakkında fikir vermesi, depolanma ortamının incelenmesi açısından önemlidir (Hallı, 2014). Ayrıca tane boyu ile metal birikim arasında ters bir orantı olup, yüzey alanı arttıkça çökelin metal tutma kapasitesi artmaktadır. Tane boyu analizi İstanbul Üniversitesi, Deniz Jeolojisi laboratuvarında yapılmıştır. Bu çalışmada Galehouse (1971) ve McManus (1991) metodunu kullanarak, çökel de bulunan çakıl, kum, silt ve kil miktarları belirlenmiştir. Bu metodun ayrıntılı açıklaması Hallı (2014) yüksek lisans tezinden verilmiştir. Bu teze göre: çökelerde bulunan çözünabilir tuzlar, kil boyutundaki materyalin topaklanmasına (tanelerin bir araya gelip çökmesi) neden olarak analizi hatalı sonuca götürür. Bu nedenle örnekler öncelikle tuzlardan arındırılmak amacıyla saf suda bekletilmiş, sifonlama ile birkaç kez yıkanmıştır. Islak örnek 100°C etüvde kurutularak toplam ağırlığı kayıt edilerek, %10'luk kalgonlu saf suda 24 saat bekletilmiştir. Kalgonlu ıslak örnek 0,063 mm'lik elek üzerinde musluk altında yıkanarak kaba taneli fraksiyonların (çakıl+kum), ince taneli (silt+kil) çökellerden ayrılması sağlanmıştır. Bu yıkama işlemini yaparken eleğin altına toplayıcı

bir kap konulmuş, yeteri miktarda ince taneli çökel içeren sıvı toplandıktan sonra, eleğin üzerindeki kaba tanelilerin yıkanmasına devam edilmiştir. Yıkama işlemi eleğin altından akan suyun berrak oluşuna kadar sürdürülmüştür. Eleğin üzerindeki kaba taneli kısım bir kaba aktarılarak, etüvde 100 °C de kurutulmuş. Kurutulmuş örnek tartıldıktan sonra; çakıl ve kum boyutu malzeme elek takımı (Retsch, As 200 marka) ile silt ve kil boyutu malzemede bilgisayar kontrollü lazer saçılımlı Sedigraph 5120 aleti ile ölçülmüştür.

Toplam Organik Karbon ve Toplam İnorganik Karbon Analizleri

Toplam organik karbon (TOK) ve toplam inorganik karbon (TİK) analizleri İstanbul Üniversitesi, Deniz Jeolojisi laboratuvarında yapılmıştır. TOK analizi, Walkley Black yöntemi (Gaudette vd., 1974; Loring ve Rantala, 1992) ile yapılmıştır. Bu işlem organik maddenin potasyum dikromat ile oksidasyonunu ve demir amonyum sülfat ile titre olmasını içerir. TİK analizi, Loring ve Rantala (1992) tarafından önerilen metoda göre yapılmıştır. Metot, örneklerin 4 N HCl ile muamele edilip çıkan CO₂ gazının hacimsel olarak ölçülmesi prensibine dayanır.

Metal Analizi

Karot çökellerinin metal içerikleri; toplam çözünürleştirme işleminden sonra indüktif eşleşmiş plazma ve kütle spektrometresi (ICP-MS, Agilent 7500ce) kullanılarak Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nde belirlenmiştir. Toplam çözünürleştirme için kurutulmuş ve öğütülmüş çökel örneklerinden yaklaşık 0,2 g tartılmıştır. Çözünürleştirme yöntemi kapalı sistemde hidroflorik asit ve kral suyu (3:1 oranında hidroklorik asit ve nitrik asit) karışımında, sabit basınç ve sıcaklıkta (180°C) mikrodalga fırında (CEM MARS 240/50) gerçekleştirilmiştir. Analizlerin doğruluğu SRM 2710 no'lu referans materyal ile test edilmiştir.

Zenginleşme faktörü

Zenginleşme faktörü (EF) antropojenik kökenli kirlilik derecesini ve boyutunu göstermede kullanılan bir parametredir (Sakan vd., 2009; Malvandi, 2017). Ölçümü yapılan elementlerin ve temel değerlerin Al ve Fe gibi (Karbassi vd., 2008; Amin vd., 2009) referans elementlere oranlanmasıyla belirlenir. Bu çalışmada EF değerleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlik (1)'de referans element olarak Al tercih edilmiştir.

$$EF = \frac{(X/Al)_{\text{çökel}}}{(X/Al)_{\text{background}}} \quad (1)$$

Hesaplama Krauskopf (1979) şeyl değerleri background (temel) değerler olarak kullanılmıştır. Eşitlikte $(X/Al)_{\text{çökel}}$, örnekteki metalin alüminyuma oranı, $(X/Al)_{\text{background}}$ ise şeyldeki metalin Al ile oranıdır.

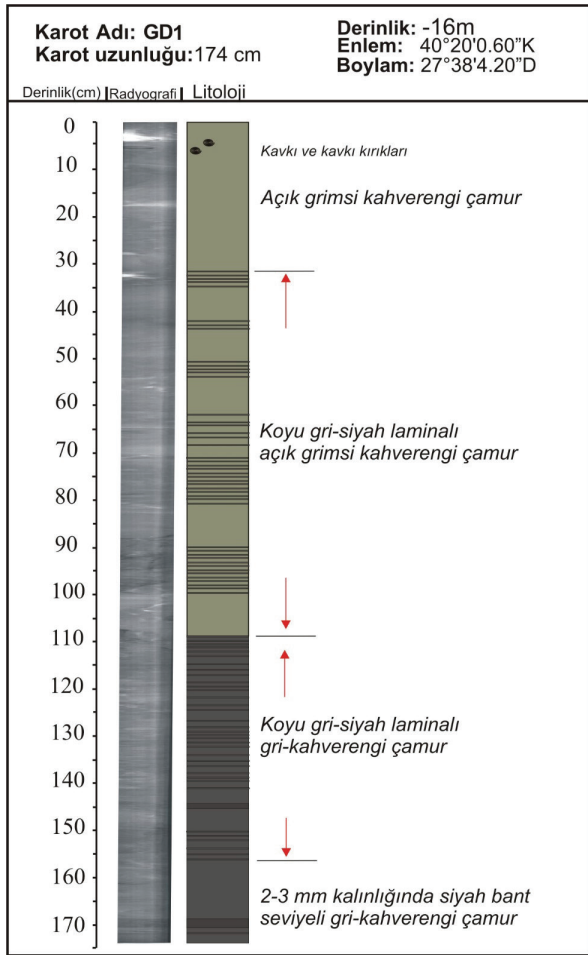
Bu çalışmada elde edilen zenginleşme faktörü verileri Sutherland (2000) sınıflamasına göre değerlendirilmiştir. Buna göre $EF \leq 2$ ağır metal zenginleşmesinin minimum değerden küçük olduğu; $2 < EF < 5$ orta derece zenginleşme; $5 < EF < 20$ önemli derecede zenginleşme; $20 < EF < 40$ çok yüksek miktarda zenginleşme ve $EF > 40$ aşırı miktarda zenginleşme olarak yorumlanmaktadır.

BULGULAR

Karot Litolojisi ve Tane Boyu Dağılımı

Körfezin sığ kesiminden alınan (-16 m) GD1 karot çökel örneği 174 cm uzunluğunda olup, karotun ilk 98 cm'yi açık grimsi kahverengi çamurdan, alt seviyeleri (98-174 cm) koyu gri-kahverengi çamurdan oluşmaktadır (Şekil 3). Karotun bazı seviyelerinde yer yer lamine birimler olduğu radyografik görüntülerle tespit edilmiştir (Şekil

3). Ayrıca karot yüzeyinde biyojenik kavkı ve kavkı kırıkları da gözlemlenmiştir. Karotun üst seviyesinde (0-6 cm) kaba kum boyutu malzemelerin (çakıl ve kum) artışı (%3,5) kavkı ve kavkı kırıklarından kaynaklanmaktadır (Şekil 4). GD1 karotu genel olarak kil fraksiyonundan oluşmaktadır (Şekil 4). Karot boyunca ortalama çakıl, kum, silt ve kil içerikleri sırasıyla %0,1, 1, 28,5 ve 70,4'tür. Karotun tane boyutu dağılımında kil içeriğinin %60,4 ile %81,7 arasında değişmesi, Gönen Nehri'nin çalışma alanına süspansiyon halde daha çok kil malzemesi taşıdığını göstermektedir.



Şekil 3. GD1 karot çökelinin radyografik görüntüsü ve litolojisi.

Figure 3. Radiographic image and lithology of GD1 core sediment.

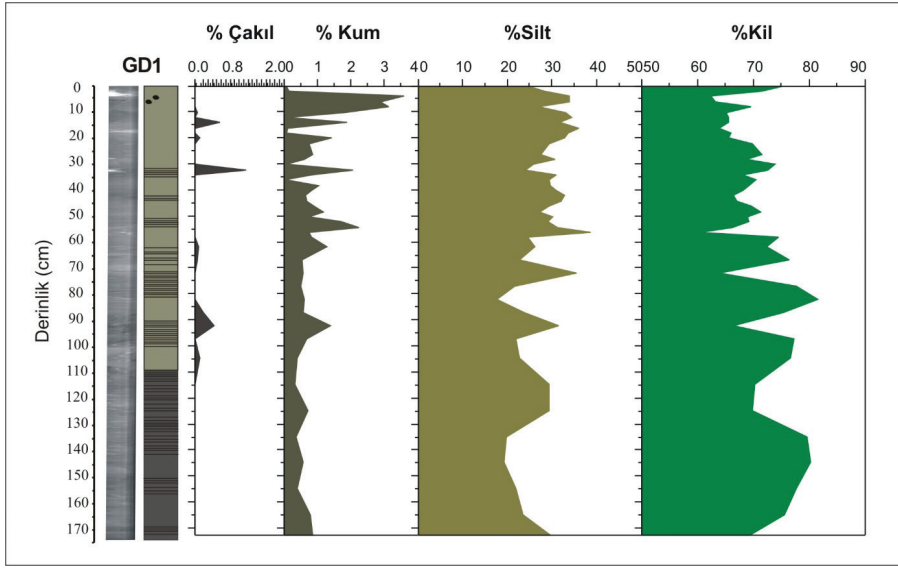
Çökel Jeokimyası

GD1 karotunda TİK değeri %5,1 ile %17,1 arasında değişmekte olup, ortalama TİK değeri %10,3'tür. Çalışılan çökel karotunun ilk 37 cm'inde TİK değeri yüksek (>%10) iken, bu seviyeden itibaren karot tabanına doğru TİK değerinin azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 5). TOK değeri GD1 karotunda %0,5 ile %1,9 arasında değişmektedir. Ölçümü yapılan bütün seviyelerde ortalama TOK değeri %1,4 olarak hesaplanmıştır. GD1 karotunun ağır metal içeriklerinin karot boyunca değişimleri Şekil 5'te verilmiştir. Çökel karotundaki Al, Cr, Pb, Cu, Zn, As ve Co konsantrasyonlarının değişim aralıkları sırasıyla 10433-49611, 21-430, 48-88, 10-20, 15-36, 4-25 ve 3-5,3 mg.kg⁻¹'dir. Ortalama Al, Cr, Pb, Cu, Zn, As ve Co konsantrasyonu 26587, 111,7, 68,4, 16, 26,4, 9,7 ve 3,9 mg.kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Metal dağılım profili incelendiğinde karotun üst seviyesinde (0-50 cm) metal konsantrasyonlarının alt seviyelere kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmektedir (Şekil 5). Özellikle Pb, Zn ve Cr konsantrasyonunda belirgin bir değişim görülmektedir (Şekil 5).

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

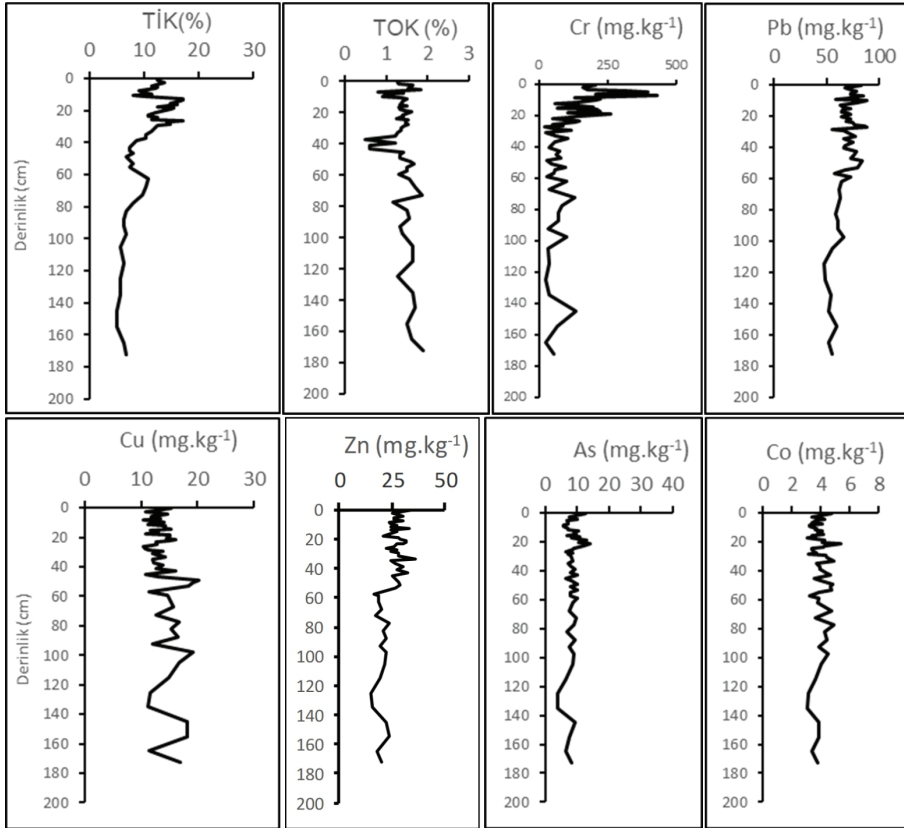
Karot Çökel Niteliği ve Ağır Metal Kirlilik Tarihçesi

Karot boyunca ölçümü yapılan ağır metal verileri kullanılarak çalışma alanının çökel niteliği EF verileriyle aydınlatılmıştır. GD1 karotunun ortalama EF değerleri büyükten küçüğe doğru sırasıyla EF-Pb 12,2, EF-As 4,8, EF-Cr 3,3, EF-Zn 1,1, EF-Cu 0,9 ve EF-Co 0,7'dir. Karot çökelinin düşey profili boyunca Cu ve Co bir zenginleşme gözlenmezken, 0 ile 40 cm arası EF-Zn değerinde belirgin bir artış olmasına rağmen sadece iki seviyede (12,5 ve 27,5 cm) eşik değeri (EF>2) aşmıştır (Şekil 6). Bu seviyeden itibaren EF-Zn değeri azalmakta ve kirlenici unsur olarak görülmemektedir. Krom, As ve Pb EF değerleri karot boyunca genellikle 2'nin üzerinde değerler



Şekil 4. GD1 karotu çakıl, kum, silt ve kil dağılımı.

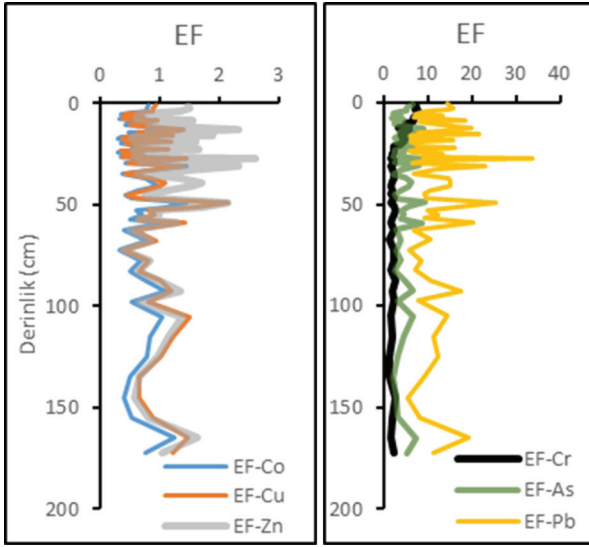
Figure 4. Gravel, sand, silt and clay distribution in core GD1.



Şekil 5. GD1 karotu düşey derinlik boyunca TİK, TOK, As ve ağır metal dağılımları.

Figure 5. TIC, TOC, As and heavy metal distributions in GD1 core through vertical depth.

almaktadır. Bölgenin jeolojisi dikkate alındığında As ve Pb'daki bu ciddi zenginleşmenin boyutu sadece antropojenik girdiler ile değil aynı zamanda doğal girdilerinde etkili olduğu karot tabanındaki yüksek EF değerleriyle desteklenmektedir. Erdek Körfezi ve çevresinde As ve Pb mineral zonları ve mafik, ultramafik kayaların bulunması, karot tabanında yüksek EF-As ve EF-Pb zenginleşmesi, doğal süreçlerin As ve Pb zenginleşmesi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. GD1 karotu düşey profil boyunca zenginleşme faktörü (EF) dağılımı.

Figure 6. Enrichment factor (EF) distribution in GD1 core through the vertical profile.

Karotun üst seviyesindeki çökeller yakın zamanda depolandığı için genelde güncel kirliliği gösterir. GD1 karotunun 0-12 cm arasında Cr değerleri oldukça yüksektir. Kromdaki bu artış Gönen ilçesindeki irili ufaklı deri işleme tesislerinden kaynaklanmaktadır. Özellikle deri işleme tesislerinden arıtılmamış atık suların Gönen Nehri'ne deşarj edilmesi ile çalışma alanı Cr açısından zenginleşmiştir. Sarı (2008), Gönen ve Biga Nehir çökellerindeki yüksek Cr değerlerinin

deri işleme tesislerinden kaynaklandığını ileri sürmüştür. Cr ile Al arasında gözlenen orta düzeydeki korelasyon katsayısı ($r=0,6$), Cr elementinin zenginleşmesinde kara kaynaklı (litojenik) malzemelerinde etkisinin olduğunu göstermektedir. Co ile Zn ve Co ile As çiftleri arasında orta düzeyde korelasyon katsayısı ($r=0,6$) tespit edilirken, Co ile Cu arasında nispeten daha yüksek korelasyon katsayısının ($r=0,7$) bulunması; bu ağır metallerin aynı kayaktan ve/veya aynı süreçlerden etkilendiğini göstermektedir (Çizelge 1). Yüksek Pb ve Zn içeren sedimanter kayaların aşınma ürünleri muhtemel Karabiga Nehri ile denizel ortama taşınmakta ve depolanmaktadır (Şekil 2). Pb ile Zn arasında gözlenen orta düzeyde korelasyon katsayısı ($r=0,6$) olası Pb ile Zn zenginleşmesinde litojenik kaynakların etkili olduğunu göstermektedir. Karotun üst seviyelerindeki yüksek ağır metal değerleri antropojenik kirleticiler ile temsil edilirken, karotun alt seviyelerindeki genel olarak düşük metal değerleri endüstriyel dönem öncesini ve muhtemel daha eski dönemleri yansıtmaktadır (Sarı vd., 2018).

Bölgede antropojenik kirliliğe etki edecek muhtemel kaynaklar mevcut olup bunlar; (1) seramik endüstrisi, (2) deri işleme tesisleri (3) tarımsal ilaçlar ve gübrelerdir. Seramik imal eden tesisler çevreye (havaya, suya ve toprağa) toz ve partikül halinde kirleticilerin salınmasına sebep olmaktadır. Bu kirleticilerden suya salınanlar; mineral bileşenler (çözünmez partikül madde), küçük miktarlarda çeşitli organik materyaller ve ayrıca bazı ağır metaller içermektedir (MET Referans Dokümanı BREF, 2007). Bölgenin bir diğer önemli ağır metal kaynağı tarımda kullanılan pestisitler ve ilaçlardır. Pestisit kullanımı 19. yüzyılın son dönemlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Yıldız vd., 2005). İdeal bir pestisit kullanımı sadece hedef organizmayı etkilerken, yüksek dozda ve bilinçsizce kullanımı ekosistemi etkileyebilmekte ve kirliliğe neden olabilmektedir.

Çizelge 1. Elementlerin pearson korelasyon analizi.**Table 1.** Pearson correlation matrix of elements.

	Al	Cr	Zn	Co	As	Pb	Cu
Al	1						
Cr	0,6	1					
Zn	0,1	0,3	1				
Co	0,1	-0,1	0,6	1			
As	0,1	0,1	0,5	0,6	1		
Pb	0,1	0,3	0,6	0,3	0,3	1	
Cu	0	-0,1	0,2	0,7	0,5	-0,1	1

Erdek Körfezi Metal Sonuçlarının Diğer Çalışmalar ile Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında GD1 karot çökeli metal değerleri daha önceki çalışmalar ile karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 2). Elde edilen sonuçlara göre Erdek Körfezi Cr değerleri (21-430 mg.kg⁻¹) Çizelge 2'deki diğer bölgelere göre daha yüksektir. Kromun diğer körfezlere göre bu kadar yüksek çıkması Gönen Nehri drenaj alanındaki deri işleme tesislerinin atık sularından kaynaklanmaktadır (Sarı, 2008). Gönen ve Karabiga nehir çökellerinin yüksek Cr ile karakterize olduğu, Cr'un çökellerde organik ve Fe-Mn oksihidroksitlerde bulunduğu Sarı (2008)

tarafından belirlenmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde mevcut çalışmada Zn ve Co sırasıyla 15-36 mg.kg⁻¹ ve 3-5.3 mg.kg⁻¹ aralığında değişirken, diğer çalışmalardaki Zn ve Co değerleri oldukça yüksek konsantrasyon aralığında kalmaktadır. Çalışma alanındaki As verileri İzmit ve İzmir Körfezleri ile benzer sonuçlar göstermektedir (Çizelge 2). Kurşun konsantrasyonu genel olarak Erdek, Bandırma, İzmit ve İzmir körfezlerinde yüksek gözlenmektedir. İzmit Körfezi yarı kapalı bir havza olması ve çevresinin sanayi ve endüstri kuruluşları ile çevrili olması nedeniyle litojenik ve/veya antropojenik kaynaklı Pb ile kirlenme olasılığı oldukça yüksektir. Mevcut çalışmada Pb karot yüzeyinde zenginleşmesi kirliliğinin antropojenik kaynaklı olduğunu göstermektedir. Pekey vd. (2004), İzmit Körfezi çökellerinin Pb ile kirlendiğini ve kökeninin endüstriyel atık suyun yanı sıra motorlu araçlardan kaynaklandığını belirtmiştir. Ortalama şeyl değerine göre Erdek Körfezi çökellerinin bakırca bir zenginleşme göstermediğini söyleyebilir. Bakır, mevcut çalışmada 10-20 mg.kg⁻¹ arası değerler alırken, bölgede daha önceden yapılan çalışmada (Balkıs ve Çağatay, 2001) nispeten daha yüksek Cu değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 2. Erdek Körfezi metal değerlerinin literatürdeki metal değerleri ile karşılaştırılması (mg.kg⁻¹).**Table 2.** Comparison of Erdek Gulf metal values with metal values in the literature (mg.kg⁻¹).

Lokasyon	Cr		Zn		Co		As		Pb		Cu	
	min	maks	min	maks	min	maks	min	maks	min	maks	min	maks
Erdek Körfezi (Bu çalışma)	21	430	15	36	3	5,3	4	25	48	88	10	20
Erdek Körfezi (Balkıs ve Çağatay, 2001)	11	238	34	272	6	29	X	X	19	61	3	52
Bandırma Körfezi (Mülayim vd., 2012)	3,2	229	25	80	X	X	X	X	17	35	0,008	27
Gemlik Körfezi (Ünlü vd., 2008)	71	181	88	185	13	24	X	X	<0,1	67	22	58
İzmit Körfezi (Pekey, 2006)	38,9	112,4	440	1900	X	X	13,5	28,2	55,2	172	24,5	102,4
İzmir Körfezi (Atgın vd., 2000)	208	308	99	260	X	X	25	30	36	62	32	70
Ortalama Şeyl (Krauskopf, 1979)	100		80		20		6,6		20		57	

X: sonuç yok, min: minimum, maks: maksimum; X: not determined, min: minimum, maks: maximum

Gönen Nehri önünden alınan GD1 karot çökeli çeşitli antropojenik kökenli kirleticiler ile zenginleştiği ICP-MS ağır metal analiz sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Fakat ağır metal kirlilik boyutu diğer körfezlere (İzmit ve Gemlik) kıyasla daha düşüktür. Karotun üst seviyesi (0-12 cm) ortalama EF sonucuna göre Cr, As ve Pb ile önemli derecede zenginleşmiştir. Arsenik ve Pb de karot boyunca gözlenen yüksek EF değerler (As:4,8, Pb:12,2) kirlilik kaynağının sadece antropojenik kaynaklı olmadığı bunun yanında litojenik kaynaklı zenginleşmenin olduğu çevre kayaların jeolojisi ile açıklanmaktadır. Karot çökelinin üst seviyesinde Cr'daki yüksek değerler deri işletme tesislerin atık sularından kaynaklanmaktadır. Erdek Körfezi çökelleri Co ve Cu ağır metallerince düşük derecede zenginleşirken, Zn ile karotun üst kısmında birkaç seviyede (12,5 ve 27,5 cm'lerde) orta derecede bir zenginleşme görülmektedir.

EXTENDED SUMMARY

This study investigates GD1 core sediment that was recovered from Erdek Gulf at -16 m water depth. We examined the heavy metal pollution history of sediments with anthropogenic and/or natural origin pollutant source. The pollution level in the region was determined by analysis of heavy metals (Cu, Pb, As, Zn, Cr and Co), grain size and total organic carbon (TOC) contents. Many researchers have investigated the metal distribution in Erdek Gulf surface sediments (Balkıs and Çağatay, 2001; Mülayim et al., 2012; Yümün et al., 2019) but this paper is the first study in the literature to reveal the historical heavy metal pollution in Erdek Gulf. Erdek Gulf is located in southwest Marmara Sea, with an average and maximum depth of around 34 and 55 m, respectively. Karabiga and Gönen rivers are the major drainage systems that receive pollution load from domestic, industries (ceramic factories and leather industry) and agricultural waste water in Gönen and Biga towns and drain into the Marmara Sea. According the metal results,

average Cu, Pb, Zn, Cr and Co values through the core are 16, 68, 10, 26, 111 and 4 mg.kg⁻¹, respectively. The mean distribution of gravel, sand, silt and clay are 0.1, 1, 28.5 and 70.4% respectively. TOC content values ranged between 0.5 and 1.9%. The upper part (0-50 cm) of the GD1 contains higher metal values than the lower part, which we might infer to be the presence of anthropogenic input. This idea is also supported by Sarı et al. (2018). Mean EF values show that the upper part (0-12 cm) of core sediment was significantly contaminated by Cr, As and Pb. The study area was not contaminated with Co, Cu and Zn. There are many Pb, Cu, Fe, Hg, and Zn mineral deposits and zones around Biga, Çan and Gönen towns and mafic-ultramafic rocks with high background values for Ni, Cr, and Co (Çağatay et al., 2006). It is known that Karabiga and Gönen rivers transport these detritus materials into the Erdek Gulf. We can say that increasing metal contents are due not only to anthropogenic origin but also detritus inputs. The moderate Pearson correlation observed between Cr and Al ($r=0.6$) shows that detrital materials have the effect of increasing the Cr element.

ORCID

Tuğçe Nagihan Arslan Kaya  <https://orcid.org/0000-0003-2655-1436>

Erol Sarı  <https://orcid.org/0000-0002-4037-9305>

Mehmet Ali Kurt  <https://orcid.org/0000-0001-7255-2056>

Dursun Acar  <https://orcid.org/0000-0003-3336-1534>

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

- Akkaya, E., 2004. Marmara Denizi'nin mevcut kirlenme durumu ve çözüm önerileri. 1. Ulusal Çevre Kongresi, 13-15 Ekim 2004, Sivas.
- Akyüz, H.S., 1995. Manyas-Susurluk-Kepsut (Balıkesir) civarının jeolojisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi, 202 s (yayımlanmış).
- Akyüz, T., Mukhamedshina, N., Akyuz, S., Sarı, E., Mirsagatova, A.A., 2007. Toxic and trace element analysis of surface sediments from the Gulf of Saros by INAA and XRF methods. Journal of

- Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 273 (3), 747-751.
- Amin, B., Ismail, A., Arshad, A., Yap, C.K., Kamarudin, M.S., 2009. Anthropogenic impacts on heavy metal concentrations in the coastal sediments of Dumai, Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148, 291-305.
- Atgın, R.S., El-Agha, O., Zararsız, A., Kocataş, A., Parlak, H., Tuncel, G., 2000. Investigation of the sediment pollution in İzmir Bay: Trace elements. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 55 (7), 1151-1164.
- Balkıs, N., Çağatay, M.N., 2001. Factors controlling metal distributions on the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey. *Environment International*, 27 (1), 1-13.
- Çağatay, M.N., Balkıs, N., Sancar, Ü., Çakır, Z., Yücesoy, F., Eryılmaz, M., Sarı, E., Erel, L., Akçer, S., Biltekin, D., 2006. Marmara Denizi çökel jeokimyası atlası, TÜBİTAK Projesi, 103Y053, İstanbul (Yayınlanmış).
- Çağatay, M.N., Görür, N., Polonia, A., Demirbağ, E., Sakiç, M., Cormier, M.H., Capotondi, L., McHugh, C.M.G., Emre, Ö., Eriş, K., 2003. Sea-level changes and depositional environments in the Izmit Gulf, eastern Marmara Sea, during the late glacial-Holocene period. *Marine Geology*, 202, 159-173.
- Çağatay, M.N., Keigwin, L.D., Okay, N., Sarı, E., Algan, O., 2002. Variability of clay-mineral composition on Carolina Slope (NW Atlantic) during marine isotope stages 1-3 and its paleoceanographic significance. *Marine Geology*, 189 (1-2), 163-174.
- EİE. 1993. Türkiye akarsularında sediment gözlemleri ve sediment taşınım miktarları. *Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü*, No: 93-59, Ankara (yayınlanmış).
- European Commission, 2007, MET referans dokümanı (BREF), (<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/>), 30 Nisan 2019.
- Galehouse, J.S., 1971. *Sedimentation Analysis, (Procedures in sedimentary petrology, Editör: Carver, R.E., Wiley-Interscience, New York, 69-94.*
- Gaudette, H.E., Flight, W.R., Tonner, L., Folger, D.G., 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentary Research*, 44, 249-253.
- Hallı, M., 2014. Ergene Nehri'nin Ege Denizi'ne Olan Kirlilik Etkisinin Güncel Çökel Jeokimyası ve Sedimantolojik Yöntemlerle Araştırılması. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86 s., (yayımlanmamış).
- Hallı, M., Sarı, E., Kurt, M.A., 2014. Assessment of arsenic and heavy metal pollution in surface sediments of the Ergene River, Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 1581-1590.
- Karabulut, A.T., 2004. Biga Yarımadasında Jura Öncesi Muhtemel Bir Ofiyolit Topluluğu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans tezi, 41 s., (yayımlanmış).
- Karbassi, A.R., Monavari, S.M., Bidhendi Gh. R., Nouri, J., Nematpour, K., 2008. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environmental Monitoring and Assessment*, 147, 107-116.
- Krauskopf, K.B., 1979. *Introduction to Geochemistry, 2nd edition. International series in the Earth and Planetary Sciences. McGraw-Hill, New York, 617 s.*
- Loring, D.H., Rantala, R.T.T., 1992. *Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. Earth-Science Reviews*, 32 (4), 235-283.
- Malvandi, H., 2017. Preliminary evaluation of heavy metal contamination in the Zarrin-Gol River sediments, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 117, 547-553.
- McManus, J., 1988. Grain size determination and interpretation, (Techniques in Sedimentology, Editör: Tucker, M.). Blackwell Scientific Publication, Oxford, 63-85.
- Mohsen, M., Wang, Q., Zhang, L., Sun, L., Lin, C., Yang, H., 2019. Heavy metals in sediment, microplastic and sea cucumber *Apostichopus japonicus* from farms in China. *Marine Pollution Bulletin*, 143, 42-49.
- Mülayim, A., Balkıs, N., Balkıs, H., Aksu, A., 2012. Distributions of the metals in the surface sediments of the Bandırma and Erdek Gulfs, Marmara

- Sea, Turkey. Toxicological and Environmental Chemistry, 94 (1), 56-69.
- Sakan, S.M., Dordevic, D.S., Monojlovic, D.D., Predrag, P.S., 2009. Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. Journal of Environmental Management, 90, 3382-3390.
- Sarı, E., 2008. Source and distribution of heavy metals in river sediments from the southern drainage basin of the Sea of Marmara, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 17 (12), 2007-2019.
- Sarı, E., Ünlü, S., Apak, R., Balci, N., Koldemir, B., 2013. Evaluation of contamination by selected elements in a Turkish Port. Polish Journal of Environmental Studies, 22, 841-847.
- Sarı, E., Çağatay, M.N., Acar, D., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Arslan, T.N., Tutay, A., Kurt, M.A., Sezer, N., 2018. Geochronology and sources of heavy metal pollution in sediments of Istanbul Strait (Bosporus) outlet area, SW Black Sea, Turkey. Chemosphere, 205, 387-395.
- Sutherland, R.A., 2000. A comparison of geochemical information obtained from two fluvial bed sediment fractions. Environmental Geology, 39 (3-4), 330-341.
- Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K., Sutton, D.J., 2012. Heavy metals toxicity and the environment. EXS 101 (101), 133-164.
- Ternek, Z., Erentöz, C., Pamir, H.N., Akyürek, B., 1987. 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, İstanbul Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Ünlü, S., Topçuoğlu, S., Alpar, B., Kırbaşoğlu, C., Yılmaz, Y.Z., 2008. Heavy metal pollution in surface sediment and mussel samples in the Gulf of Gemlik. Environmental Monitoring and Assessment, 144, 169-178.
- Ünlüata, Ü., Oğuz, T., Latif M.A., Özsoy, E., 1990. On The Physical Oceanography of The Turkish Straits. The Physical Oceanography of the Sea Straits. NATO/ASI Series, 25-60.
- Yıldız, M., Gürkan, M.O., Turgut, C., Kaya, Ü., Ünal, G., 2005. Tarımsal savaşımında kullanılan pestisitlerin yol açtığı çevre sorunları (Environmental problems of pesticides used in plant protection), VI. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi, 3-7 Ocak 2005, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Ankara.
- Yüce, H., Türker, A., 1991. Marmara Denizi'nin fiziksel oşinografik özellikleri ve Akdeniz suyunun Karadeniz'e girişi. Uluslararası Çevre Sorunları Sempozyumu Tebliğleri, İstanbul Marmara Rotary Kulübü, İstanbul, 284-303.
- Yümün, Z.Ü., Kam, E., Önce, M., 2019. Analysis of toxic element with ICP-OES and libs methods in marine sediments around the sea of Marmara in Kapıdağ Peninsula. Journal of Engineering Technology and Applied Sciences, 4 (1), 43-50.



Kentsel Faaliyetlerin Kıyı Akiferlerine Etkileri: Doğu Karadeniz Havzası Örneği
Effects of Urban Activities on Coastal Aquifers: Case Study in the Eastern Black Sea Basin

Fatma Gültekin^{1*}, Esra Hatipoğlu Temizel¹

¹*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon*

Geliş/Received : 29.05.2019

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 01.08.2019

• Kabul/Accepted : 15.10.2019

• Çevrimiçi Yayın/Available online : 15.01.2020

• Baskı/Printed : 31.01.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Ortalama yağış yüksekliği 1300 mm olan Doğu Karadeniz Havzası ülkemizin en fazla yağış alan bölgesidir. Ancak bu bölge, topoğrafyasının aşırı derecede eğimli, havzada yüzeyleyen kayaların geçirimsiz-az geçirimli olmasına bağlı olarak kaynak ve yeraltısuyu potansiyeli açısından ülkemizin en fakir bölgeleri arasında yer alır. Doğu Karadeniz kıyı şeridi boyunca kuzeyden güneye doğru derin vadiler oluşturarak akan akarsuların taşıdığı alüvyonlar denize yakın kısımlarda yeraltısuyu bakımından önem taşımaktadır. Kalınlıkları ve genişlikleri kuzeyden güneye gidildikçe azalan alüvyonların uzunlukları 1 km ile 16 km ve genişlikleri ise 50 m ile 1500 m arasında değişmektedir. Kalınlıkları en fazla 60 m olan bu alüvyonlarda açılmış olan kuyulardan içme-kullanma suyu sağlanmaktadır. DSI (2015) verilerine göre statik su seviyesi 0,3 m ile 1 m, dinamik su seviyesi 5 m ile 15 m arasında değişmektedir. Doğu Karadeniz Havzası kıyı akiferlerinde depolanan su hacmi 238 hm³'tür. Bu akiferlerin bir kısmı geçmişte bir kısmı ise halen içme-kullanma suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ancak dar vadiler arasındaki kısmen düz alanları oluşturan bu akiferler üzerinde son yıllarda sanayi siteleri, kum-mıdır gibi taş ocakları ürünleri, kömür depolama ve paketlenme tesisleri, depolar ve bazı kamu kurum ve kuruluşlarının binaları gibi yapılaşmalar artmaktadır. Bu çalışmada bu yapıların akiferler üzerinde kapladığı alanlar tespit edilmiş ve akiferlerin tamamında yapılaşmanın olduğu, çoğunluğunda çeşitli depolama faaliyetlerinin, yarısında ise sanayi sitelerinin yer aldığı, bir kısmında da beton üretim faaliyetlerinin olduğu belirlenmiştir. Havzadaki akiferler havzanın en önemli yeraltısuyu kaynaklarıdır ve 4 ilin içme-kullanma suyunu karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Geçmişte içme-kullanma suyu sağlayan Değirmendere ve Taşlıdere akiferleri tamamen kentleşme baskısı altında kalmış ve yeraltısuyu kullanımı sonlanmıştır. Yerleşim yeri içerisinde kalan Melet, Civil, Pazarsuyu (Ordu) ve Batlama ve Keşap (Giresun) akiferlerinde kentsel faaliyetler artarak devam etmektedir. Havzada birçok kuyu yerleşim yeri içerisinde kalması sebebiyle, Giresun Pazarsuyu akiferinde ise mangan konsantrasyonunun fazla olması nedeniyle kullanım dışı bırakılmıştır. Yeraltısuyu bulundurma kapasiteleri diğerlerine göre fazla olan Curi, Yağlıdere, İyidere ve Fırtına akiferleri kentleşmenin etkilerinin en az olduğu akiferlerdir. Daha uzun yıllar kullanılabilmesi için Doğu Karadeniz kıyı akiferlerinin kalite ve beslenme açısından korunması kaçınılmazdır.

Anahtar Kelimeler: Kıyı akiferleri, Doğu Karadeniz Havzası, kentsel faaliyetler.

Abstract: The Eastern Black Sea Basin is the highest rainfall area in Turkey with an average rainfall of 1300 mm. However, this region is one of the poorest regions in terms of spring and groundwater potential due to its topography having extremely high slopes, and impermeable-less permeable rocks exposed in the basin. Alluvium, which is carried by streams flowing from north to south along the Eastern Black Sea coastline, are important in terms of groundwater. Alluvium, of which thickness and width decrease from north to south, has a length of 1-16 km and a width of 50-1500 m. Water is provided from wells that are drilled in alluvium with a thickness of up to 40 m. According to DSI (2015) data, the static water level is between 0.3 and 1 m, while the dynamic water level is between 5 and 15 m. The volume of water stored in the coastal aquifers of the Eastern Black Sea Basin is 238 hm³. Some of

*Yazışma / Correspondence: fatma@ktu.edu.tr

these aquifers are still used and some were used in the past as drinking water sources. However, in recent years, construction such as industrial sites, quarries, coal storage and packaging facilities, warehouses and buildings of some public institutions and organizations has been increasing on these aquifers, which form partially flat areas between narrow valleys. This construction adversely affects both the quantity and quality of shallow groundwater stored in alluvium. The aquifers are the most important groundwater sources in the basin and are used to supply drinking and potable water for 4 cities. Değirmendere and Taşlıdere aquifers, which provided drinking-potable water in the past, were completely under stress by urbanization and the use of groundwater was terminated. The urban activities on Melet, Civil, Pazarsuyu (Ordu) and Batlama and Keşap (Giresun) aquifers, which are located in the settlement area, continue to increase. The aquifers of Curi, Yağlıdere, Gelevera, Akhisar, Yanbolu, Baltacı, İyidere and Fırtına are less affected by urban activities. Among them, Curi, Yağlıdere, İyidere and Fırtına aquifers are aquifers with high groundwater capacities. In order to be able to use the Eastern Black Sea coastal aquifers for many years, it is necessary to protect them in terms of quality and recharging.

Keywords: Coastal aquifers, Eastern Black Sea Basin, urban activities.

GİRİŞ

Ülkemizde yerleşim birimlerinin su havzaları içerisinde dağınık bir şekilde bulunması en önemli sorunlardan biridir. Havzada bulunan yerleşim yerleri ve burada yaşayan nüfusun suyun miktarı ve kalitesi üzerinde pek çok olumsuz ve kalıcı etkileri vardır. Su kaynakları çevresinde bulunan yerleşim alanları ve buralardaki yapılaşma kaynakların etrafında yeterli koruma bantları oluşturulmasına engel olmaktadır. Geçmişten günümüze kadar su kaynaklarının etrafında ve su havzalarında iyi bir planlama yapılmadığı için artan nüfusun havzalardaki su kaynakları üzerinde oluşturduğu baskılar da artarak devam etmektedir (Yüksek, 2004). Kentsel alanların genişlemesi su kaynakları gibi doğal kaynaklar, hidrolojik dinamikler ve çevresel kalite üzerinde istenmeyen baskılar oluşturmuştur. Kentsel faaliyetler beslenme miktarını ve beslenme kanallarını değiştirerek, yeni drenaj kanalları oluşturarak yeraltı suyunun miktarını ve kalitesini etkilemektedir (Foster vd., 1998). Birçok büyük kent su ihtiyacının yeraltısuları ile karşılandığının ve kentsel aktivitelerin bu akiferler üzerindeki etkilerinin incelendiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunların çoğunluğunu yeraltısularının kalitesinin bozulması üzerine yapılan çalışmalar (Long ve Saleem, 1974; Fusillo vd., 1985; Nazari vd., 1993; Diaz-Fierros vd., 2002; Choi vd., 2005; McGrane vd., 2014) oluşturur. Yeraltısuyu seviyesinin

değişmesi ile ilgili çalışmalar (Brassington ve Rushton, 1987; Knipe vd., 1993; Trivedi vd., 2001) ve kentsel alanların hidrolojik süreçlere etkilerinin incelendiği çalışmalar da (Niemczynowicz 1999; Vörösmarty vd., 2000; Naik vd., 2008; Hayashi vd., 2009; Fletcher vd., 2013; McGrane, 2016) giderek önem kazanmaktadır.

Kentlerde nüfusun artışı, su kaynakları üzerindeki baskıyı artırırken su gereksiniminin artmasını ve yeni su kaynaklarının aranmasını da gündeme getirmiştir. Doğu Karadeniz'deki şehir ve ilçe merkezlerinin tamamı 2000'li yıllara kadar içme-kullanma suyu gereksinimlerini etrafında yerleştikleri nehir veya dere alüvyonlarından karşılamıştır. İlçe merkezlerinin tamamına yakını halen yeraltı suyunu kullanmaktayken bazı şehir merkezleri ve ilçeler artırılmış yüzey sularını kullanmaya başlamıştır. Rize'de Poşut, Çağırnkaya ve Ilıca Derelerinden alınan su Andon İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde artırıldıktan sonra içme-kullanma suyu olarak kullanılmaktadır. Trabzon ilinin içme-kullanma suyu ilin 17 km güneyinde, Değirmendere'nin bir kolu olan Galyan Deresi üzerinde yer alan Atasü Barajı'ndan sağlanmaktadır. Giresun ili içme-kullanma suyunun tamamını, Ordu ili ise büyük bir kısmını yeraltısularından elde etmektedir (DSİ, 2015).

Ancak Doğu Karadeniz Havzası'nda halen birçok yerleşim yerine içme-kullanma suyu sağlayan alüvyon akiferler yerleşim alanları

içerisindedir ve kentleşmenin etkisi altında kalmaktadır. Yerleşim yerlerinin tamamında genişlikleri en fazla bir kilometre uzunlukları birkaç kilometre olan bu alüvyon yüzeylemeler üzerinde sanayi siteleri, çeşitli depolama işlemleri, ulaşım faaliyetleri, mıcır-kum gibi malzeme üretim alanları gibi yapılaşmalar giderek artmaktadır. Bu faaliyetler alüvyon akiferlerde alan ve hacim kaybına neden olarak yeraltısuyu miktarına, üzerindeki faaliyetlerin yeraltısuyuna kısa sürede ulaşması sonucunda da kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu alüvyon akiferlerle ilgili çalışmalar çoğunlukla kuyu açılmasına ilişkin İller Bankası veya DSİ raporları şeklindedir. Bunların dışında kıyı şeridi boyunca Trabzon ili ve doğusundaki alüvyonların yeraltısuyu olanakları (Dilek, 1979), Aksu Deresi (Somel, 1988) ve Curi Irmağı (Yanbay, 1995) Alüvyonlarının hidrojeolojisi, Trabzon ili yeraltı ve yerüstü sularının kalitesi (Celep, 2009) gibi az sayıda akademik çalışma mevcuttur. Bu çalışmada bu tür kentsel faaliyetlerin Doğu Karadeniz kıyı akiferlerine geçmişten günümüze olumsuz etkileri araştırılmıştır.

ÇALIŞMA ALANI

Türkiye'nin kuzeydoğu kesiminde yer alan Doğu Karadeniz Havzası; kuzeyde Karadeniz, batıda Yeşilırmak ve doğuda Çoruh Havzaları ile çevrelenmiştir. Havza, Ünye'den başlayarak Hopa'ya kadar uzanan ve Doğu Karadeniz Dağları ile sınırlandırılmış bir kuşağı kapsamaktadır (Şekil 1). Doğu Karadeniz Havzası Artvin (Hopa ve Arhavi ilçeleri), Rize, Trabzon, Gümüşhane (Torul ve Kürtün ilçeleri), Giresun ve Ordu illerini içerisine almaktadır. Toplam yağış alanı 22844 km² (İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, 2016) olan Doğu Karadeniz Havzası'nın yıllık ortalama yağış yüksekliği 1300 mm'dir. Havzanın en önemli akarsuyu 160 km uzunluğunda olan Harşit Çayı'dır. Diğer en önemli akarsular Curi Irmağı, Melet Irmağı, Bolaman Çayı, Elekçi Deresi, Turnasuyu, Pazarsuyu, Aksu Çayı, Yağlı Dere, Fol Deresi, Değirmendere (Maçka Deresi), Yanbolu Deresi, Manahoz Deresi (Gürçay), Solaklı Deresi, İyidere, Fırtına Deresi ve Kabisre Deresi'dir. Güney-kuzey yönünde uzanan akarsuların çoğu birbirinden bağımsız olarak kuzey yönünde Karadeniz'de sonlanmaktadır.



Şekil 1. Doğu Karadeniz Havzası'nın konumu

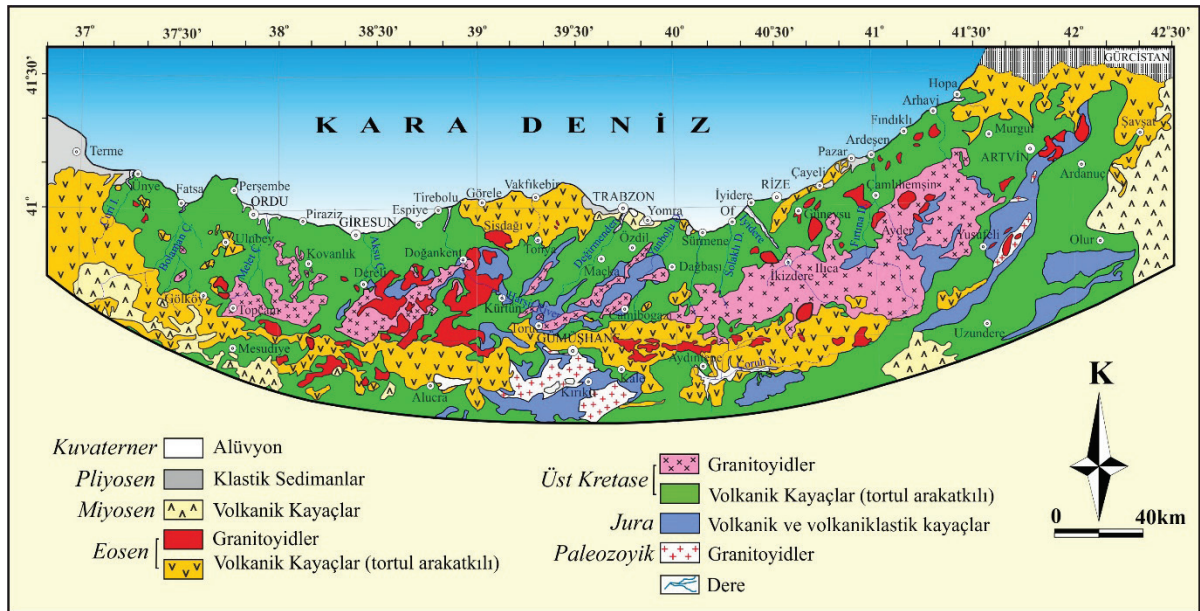
Figure 1. Location map of the Eastern Black Sea Basin

Doğu Karadeniz Havzası, yıllık yağış miktarının Türkiye ortalamasının (623 mm) üzerinde olması, yüksek eğime sahip olması, akarsuların kısa mesafede yüksek düşümlere olanak vermesi, irili ufaklı birçok küçük akarsuyun, birbirinden bağımsız olarak Karadeniz'e boşalması, yaygın olarak volkanik birimlerin yüzeylenmesi gibi özellikleri ile kendine özgü karaktere sahiptir. Jeolojik ve topografik yapıya bağlı olarak, derelerin Karadeniz'e boşalım noktasına yakın bölgelerde, taşınan malzemelerin çökmesi ile çok sayıda alüvyon akifer gelişmiştir. Akarsu vadilerinin genişlediği ve akışın yavaşladığı yerlerde silt, kum, çakıl ve küçük blok boyutunda malzemelerden oluşan alüvyon çökelleri oluşmuştur. Akışın hızlı olduğu vadilerin dar kesimlerinde ve vadi tabanında iri çakıl, blok ve büyük bloklardan oluşan malzemeler depolanmaktadır. Ayrıca bütün akarsulara yan kolların katıldığı kesimlerde ince kum, silt ve kil gibi ince malzeme birikimi olmaktadır. Doğu Karadeniz Havzası'nda DSİ tarafından rasatları devamlı yapılan kaynak suyu bulunmamaktadır.

Ancak özellikle volkanik kayaların kırık ve çatlaklarından süzülen sulardan beslenen çok fazla küçük debili kaynaklar bulunmaktadır. Bu kaynaklar sürekli akan dereleri oluşturmakta ve beslemektedir.

Jeolojik ve Hidrojeolojik Özellikler

Doğu Karadeniz Havzası'nın kuzey kesimlerinde çoğunlukla bazalt, andezit, bazaltik- andezitik tüf ve aglomeralar, dasit ve riyodasit gibi volkanik kayalar yüzeylenmektedir. Bu volkanik kayalar yer yer kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marn, kireçtaşı gibi ara katkılar içermektedir. Güney kesimlerinde ise dağ silsilesini oluşturan granit, diyorit, granodiyorit gibi magmatik kayaların oluşturduğu granitoidler ile kireçtaşı ve fiş özelliğinde olan tortul kayalar yüzeylenir. Akarsu aşındırması ve tektonik etkinliğe bağlı olarak gelişmiş yaklaşık kuzey-güney uzanımlı vadilerin denize yakın kısımlarında taşıdıkları alüvyon malzemeler yüzeylenmektedir (Şekil 2).



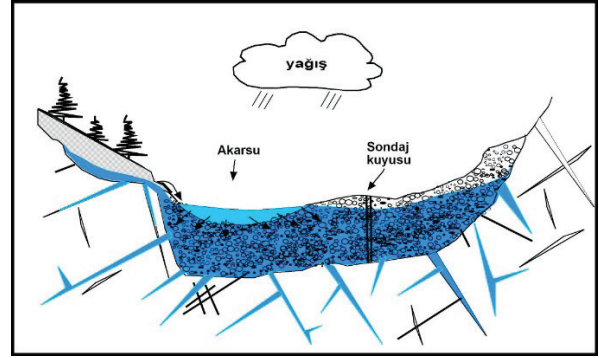
Şekil 2. Doğu Karadeniz Havzası'nın jeoloji haritası (Güven, 1993; Arslan vd., 2013; Yücel, 2013 ve Temizel vd., 2016'dan sadeleştirilerek)

Figure 2. Geological map of the Eastern Black Sea basin (Simplified from Güven, 1993; Arslan et al., 2013; Yücel, 2013 and Temizel et al., 2016)

Karadeniz kıyı şeridi gerisinde tortul ara katkılı volkanik kayalar geniş yüzeyler verir. Genellikle bazalt, andezit ve bazaltik, andezitik aglomeralar şeklinde bulunan volkanik kayalar yerel olarak farklı hidrojeolojik özelliklere sahiptir. Volkanik kayalarda yüzeyde çabuk soğuma ve gaz kaçıışı soğuma çatlaklarının ve kabarcık şeklinde gözeneklerin oluşmasına sebep olmaktadır. Lav akıntıları sonucu oluşan volkanik kayalar çoğunlukla bloklu kaya kütlesi oluştururlar ve bu tür bazaltlarda çok yüksek bir yığınsal geçirgenlik oluşur (Freeze ve Cherry, 1979). Kül katmanları ve sokulum dayakları gibi volkanik kayalarda ise hidrolik iletkenlik çok düşüktür (Fetter, 2001). Doğu Karadeniz kıyı şeridinde yüzeylenen volkanik kayalar litolojik olarak farklılık göstermesine rağmen çoğunlukla lav akıntıları sonucu oluşmuş bazaltlar, bazaltik aglomera ve tüfler şeklindedir. Bu volkanik kayaların gözeneklilikleri tüflerde %4-5 (Ersoy vd., 2014); bazaltlarda %2-3 (Çevik, 2012) arasında değişir.

Kıyı şeridinin daha güneyinde ve sarp topoğrafya ile yüzeylenen magmatik kayaları genellikle granit, granodiyorit, diyorit ve monzonitler oluşturur. Çatlaksız olduklarında poroziteleri nadiren %2'nin üzerinde (Freeze ve Cherry, 1979) olan bu tür magmatik kayalar çatlaklı olduklarında yüksek porozite değerlerine sahip olurlar. Çalışma alanında yüzeylenen magmatik kayalardan granit ve granodiyoritlerin poroziteleri %0,6-1,2 arasındadır (Acar, 2015). Gözenek boyutlarının küçük ve gözeneklerin birbiri ile bağlantısız olmasından dolayı bu kayaların birincil geçirgenlikleri son derece düşüktür. Bu tür kaya örneklerinde yapılan ölçümler birincil geçirgenlik değerlerinin 10^{-11} - 10^{-13} m/s arasında olduğunu göstermiştir (Freeze ve Cherry, 1979). Bu tür kayalarda yeraltısuyunun depolanabilmesi için çatlaklanma, faylanma veya ayrışma yoluyla gelişmiş açıklıkların bulunması gereklidir. Plütonik kayalarda yüzeyden itibaren birkaç on metrelik bazen yüz metrelik kısımda

gelişen çatlaklılık durumlarından dolayı yüksek geçirgenlik gelişebilmektedir. Bu geçirgenlik artan derinliğe bağlı olarak azalmaktadır. Çatlaklı ve çatlakların birbirleriyle ilişkili oldukları alanlarda yeraltısuyu bulunduran volkanik kayalar çatlaksız oldukları alanlarda geçirimsiz özelliktedir. Bu ortamlardan yeraltısuyu elde edilmesi açılacak sondajın çatlakları kesmesi ile ilişkilidir Alüvyon akiferlerin beslenimi büyük çoğunlukla akıştan ve kısmen de çevresinde yüzeylenen volkanik kayalardan süzülme veya bu kayaların üzerinde ayrışma ürünü olarak bulunan geçirimli kısımdaki yüzey altı akışından olmaktadır (Şekil 3). Alüvyonlardaki yeraltısuyu seviyesi genellikle akarsu seviyesinde veya çok sığ (0,3-1 m) derinliklerde olup, yeraltısuyu akımı yüzey suyuna benzer şekilde yaklaşık güneyden kuzeye doğrudur.



Şekil 3. Doğu Karadeniz kıyı akiferlerinin enine kesiti.

Figure 3. Cross section of the Eastern Black Sea coastal aquifers.

Alüvyon Akiferler

Doğu Karadeniz kıyı şeridi boyunca Hopa'dan başlayarak Samsun il sınırına kadar uzanan alanda yeraltısuyu bakımından önem taşıyan birimler akarsu alüvyonlarıdır. Bu bölgede her mevsim su taşıyan ancak debileri yıl içerisinde değişiklik gösteren yaklaşık 100 civarında akarsu mevcuttur. Akarsuların taşıdığı alüvyon malzemeler yatak

eğimlerinin düştüğü denize yakın kısımlarda vadi içerisinde depolanmıştır. Bu alüvyon malzemelerin kalınlıkları ve yayılımları da farklılık gösterir. Yayılımları ve kalınlıkları fazla olan alüvyonlar yeraltısuyu rezervi bakımından önem taşırken bir kısmı çok dar şeritler şeklinde yüzeyletiği ve kalınlıkları 1-3 m gibi az olduğu için ekonomik miktarda yeraltısuyu içermezler. Doğu Karadeniz Havzası'nda yer alan ve yeraltısuyu bakımından önemli olan alüvyonlar ve değişik kaynaklardan derlenen özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Alüvyonların genişlikleri ve kalınlıkları kuzeyde deniz kıyısında en yüksek değerde iken güneye doğru gidildikçe azalmaktadır. Kıyı akiferlerinin herbiri için en düşük ve en yüksek kalınlık ve genişlik değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Uzunlukları 1 km ile 16,5 km arasında değişen alüvyonların genişlikleri 50 m ile 1500 m, kalınlıkları 10 m ile 60 m arasındadır. Kil, silt, kum, çakıl ve blok karmaşığından oluşan heterojen yapıli alüvyonlar kısa aralıklarla yanal ve düşey yönlere yapısal değişiklikler gösterir (Yavuz, 2004). Özellikle akarsuların yan kollarla birleşme yerlerinin yakınlarında silt ve kil gibi geçirimsiz özellikte olan ince malzeme birikimi akarsuyun diğer kesimlerine göre daha fazladır. Serbest akifer özelliğinde olan akarsu kıyı akiferlerinin bazılarında bantlar ve merccekler şeklinde biriken bu geçirimsiz malzemelerin kalınlıkları 1-10 m arasında değişmektedir.

Trabzon, Rize ve Artvin sınırları içerisinde kalan kıyı akiferlerini oluşturan alüvyon malzemelerin laboratuvarında hesaplanan porozite değerleri (n) %18,6-27, geçirgenlik katsayıları (K) 10^{-3} - 10^{-5} m/s arasındadır (Dilek, 1979). Havzada kil, silt, kum, çakıl ve blok karışımından oluşan 40-50 adet kıyı akiferinde depolanan su hacmi porozite değerleri %25 alınıp ve akifer geometrisinden yararlanarak DSİ (2015) tarafından hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre kıyı akiferlerinde depolanan su hacmi 0,5-24,45 hm³ arasında değişmekte olup, toplam 238 hm³tür. Havzada alüvyon akiferlerde açılan DSİ

tarafından ruhsatlı toplam kuyu sayısı yaklaşık 660 adettir. Geçmiş yıllarda bu kıyı akiferlerinin bir kısmında, yerleşim alanlarının içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarını karşılamak üzere 56 adet keson su kuyusu açılmıştır. Açılan keson su kuyularının derinlikleri 4-12 m; verimleri 5-57 l/s arasında değişmektedir (Yavuz, 2004). Zaman içinde akarsu akiferlerinin mansap kesimlerinde su sondaj kuyularının açılması sonucu keson kuyuların birçoğu terk edilmiştir. Sondaj kuyularında ölçülen statik su seviyeleri 1-10 m, dinamik su seviyeleri 4-30 m, kuyu verimleri ise 2-75 l/s arasında değişir (DSİ, 2015).

Yeraltısuyu Kimyası

Doğu Karadeniz Havzası alüvyon akiferlerinin tamamının su kimyası ve kalitesine yönelik ayrıntılı çalışmalar bulunmamaktadır. Ancak 2000 yılına kadar açılmış bazı kuyular için DSİ Genel Müdürlüğü'nün verileri ile kimyasal açıdan bir sınıflama yapılmıştır (DSİ, 2015). Yapılan sınıflamaya göre Ordu (Curi, Bolaman, Melet, Turnasuyu, Civil), Giresun (Aksu, Harşit Çayı), Trabzon (Fol, Değirmendere, Yomra, Şana) alüvyon akiferlerinde açılan kuyu sularının genel olarak kimyasal açıdan CaHCO₃ tipinde, tuzluluk açısından C2S1 sınıfında olduğu belirtilmiştir. 2000'li yıllarda Trabzon Değirmendere akiferinde yapılan çalışmalarda yeraltısuyunun sertlik değerinin yüksek olduğu (33°F), Cr konsantrasyonunun içme kullanma suyu yönetmeliğinde önerilen değer üzerinde olduğu belirtilmiştir (Gültekin vd., 2005). Celep (2009) tarafından Trabzon il sınırları içerisinde kalan kıyı akiferlerinde su kalitesinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, Kıtaiçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına (2004)'e göre yeraltısularının Cu, Pb, Mn ve Ni iz elementleri açısından II. sınıf (az kirlenmiş su), PO₄⁻³, NO₂⁻ ve Cl⁻ açısından III. sınıf (kirlenmiş su) ve IV. sınıf (çok kirlenmiş su) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 1. Doğu Karadeniz Havzası kıyı akiferlerine ait bilgiler.**Table 1.** Information about the coastal aquifers of the Eastern Black Sea Basin.

	Uzunluğu (km)	Alüvyon malzemenin					Kuyu Adedi ^d	St. Su Sev. ^d (m)		Din. Su Sev. ^d (m)		Kuyu Verimi (l/s)		Su Dep.Hac. ^d (hm ³)		
		Genişliği (m)		Kalınlığı (m)		Porozitesi n (%)		Permeabilitesi K (m/sn)	min.	mak.	min.	mak.	min.		mak.	
		min.	mak.	min.	mak.											
Ordu	Curi I.	7,5	100 ^c	500	10	30	26 ^c	2,46x10 ^{-4c}	20	3	5	7	15 ^c	30	4,9	
	Ceviz D.	8,2	250	300	20	50			16						17,81	
	Elekçi D.	3,2	150	450	35				14						4,9	
	Bolaman Ç.	16,5	180	500			25 ^d		32						23,08	
	Civil I.	6,5	200	400					12						9,75	
	Melet Ç.	12	100	900	25	60	25 ^d		32	3	5	6	16	13	50	24,45
	Turnasuyu	3	100	200					1							2,25
Giresun	Pazarsuyu	4	200	1000	20	40			10	2-5	10	6	11,2	40	55	6,88
	Batlama D.	9	250	700	15	30			6	3	5	8	11	12	22	4,5
	Aksu Ç.	12	250	1000	20	50	25 ^b	3,38x10 ^{-4b}	32	5	10	9	16	60	74	10,5
	Keşap Ç.	2,5	75	300	15	20			---							1,56
	Yağlı D.	8	200	1000	20	32			11	3,4	8,5	6,5	11	15	35	7,88
	Harşit Ç.	6	300	1000	22	50	25 ^d		3	2,5	3,5	4,6	8	50	50	15,31
	Gelevera D.	3,5	200	1000	24	32			---	3		4,5			30	3,75
Görel Ç.	3	70	250	18	26			----	4		15				1,5	
Trabzon	Akhisar D.	3	250	350	10	40 ^a	27		18	3,2	12,5	15,2	20,2	10	20	2,34
	Fol D.	5	150	250	17	32	25 ^d	1,3x10 ^{-4d}	18	1,4	2,5	6	18	15	45	3
	İskefiye D.	5	100	300	16	34		0,9x10 ^{-5d}	18	1,3	2	15	24	4	7	2,19
	Söğütlü D.	14	50	500	12	42	25 ^a	0,3x10 ^{-4d} -9,8x10 ^{-5a}	20	2	4,3	13	21	10	40	3,47
	D.Dere (K)	1	300	1000	25	40		4,2x10 ^{-4d}	50	3,5	8,54	5,1	29,7	5	63	
	D.Dere (G)	3	300	600	14	20			28	1,06	5,15	12,85	18,8	8	38	
	Şana D.	1,5	150	200	6	11 ^a	24 ^a	1,4x10 ^{-4a}	5	0,3	1,5 ^a	4,5	5,5 ^a	2	8 ^a	0,53
	Yomra D.	3,5	50	200	16	22	23,6 ^a	3x10 ^{-3a}	1	2,4	4,2	11	17	9	11	1,13
	Yanbolu D.	7	60	250	13	28		3x10 ⁻⁴	11	0,9	4,35	4,55	12	29	34	3,38
	Karadere	7	250	750	20	34	22,4 ^a	5,4x10 ^{-4a}	25	2,9	4,5	8,27	10,5	15	51	5,63
Sürmene D.	3	100	250	10	24	21,5 ^a	4,7x10 ^{-4a}	5	2,3	4,2	6,5	7,4	12	18	1,25	
Solaklı D.	6,5	250	400	22	44	23,4 ^a	4x10 ^{-5a}	11	2,8	4,8	4,9	6,05	45	50	6,88	
Baltacı D.	4	200	300	18	35			5	3	4,6	5,1	7,2	22	26	2,73	
Rize	İyidere	9	500	800	24	45	23 ^a	4x10 ^{-4a}	28	2,4	3,5	5,4	6,5	33	45	20,25
	Taşlı D.	8	25	700	20	24	20 ^b	2,4x10 ⁻⁴	9	5,4	6,7	1,5	12,7	10	20	7,5
	Büyük D.	6	150	300	10	34	18,6 ^a	1,4x10 ^{-4a}	17	3,45	4,25	8,4	18,2	30	53	6,75
	Hemşin D.	5	200	1500	12	24	23,7 ^a	4,2x10 ⁻³	11	2,8	3,6	13	17,9	6	21	2,5
	Fırtına D.	6	300	1500	22	34	25	2,4x10 ⁻⁴ -8,3x10 ^{-5a}	12	3,2	5,1	11,2	13,65	36	51	18
	Çağlayan D.	6	300	400	15	20	27 ^a	5,5x10 ^{-4a}	2							9
Artvin	Kapisre D.	6	250	1500	18	33 ^c	20,6 ^a	2,3x10 ⁻⁴	1	3,8	4,3	6,15	7,2	36	48	11,25
	Hopa Ç.	3	130	600	25 ^a		25 ^a		1							3,61

a: Dilek, 1979; b: Somel, 1988; c: Yanbay, 1995, d: DSI, 2015

KENTSEL FAALİYETLER

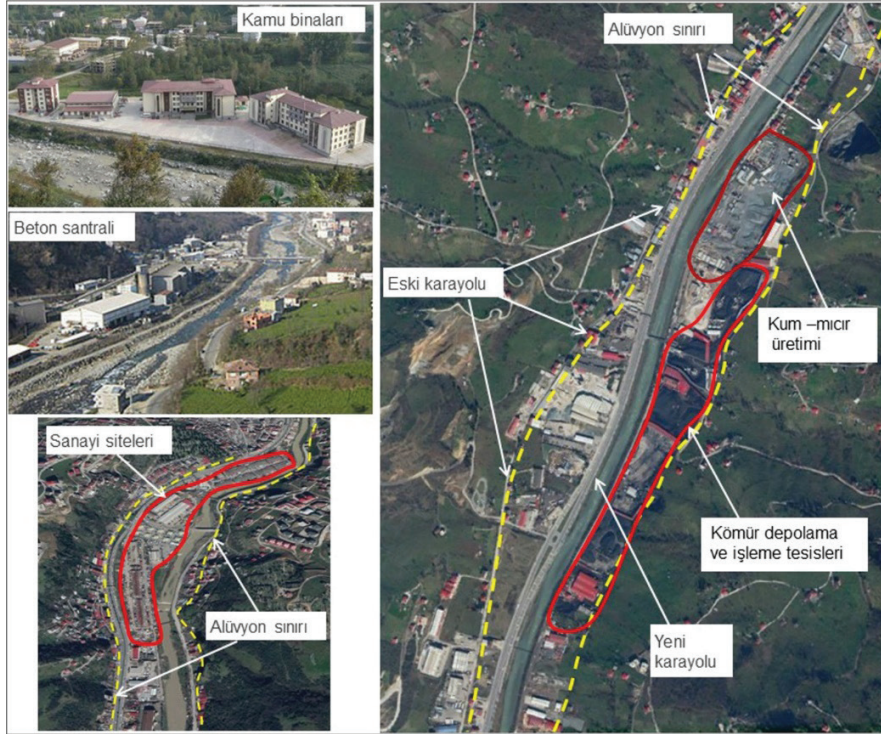
Kırsal kesimden kentlere göçün artması kentlerde nüfus artışına neden olmuş ve imar alanları da genişlemiştir. Engebeli topoğrafyanın hakim olduğu Doğu Karadeniz Havzası'nda vadi içlerinde düz alanları oluşturan alüvyonlar, okul, yol, otopark, spor alanları gibi genel hizmet alanlarına,

çeşitli depolama faaliyetleri, konaklama tesisleri, düğün salonları gibi konut dışı kentsel çalışma alanlarına ve sanayi siteleri gibi ticari faaliyet alanlarına ayrılmıştır. Engebeli bir topoğrafyaya sahip Doğu Karadeniz Havzası'nda sahilten iç kesimlere ulaşım çoğunlukla dere yatakları boyunca inşa edilen yollarla sağlanmaktadır.

Vadilerin oldukça eğimli yamaçları yol inşaatını zorlaştırmakta, süresini uzatmakta ve maliyetini artırmaktadır. İlgili kurumlar için en uygun yol güzergâhı vadiler boyunca uzanan alüvyonların oluşturduğu az eğimli arazilerdir. 1990'lı yıllara kadar taşkından etkilenmemek için kara yolları genellikle vadi yamaçlarında yapılan küçük kazılarla yamaca bitişik olarak inşa edilmiştir. Nüfusun ve trafikteki araç sayısının artması mevcut yolların genişlemesini gerektirmiş, dere kenarlarına taşkın koruma amaçlı beton-betonarme duvarlar inşa edilerek yollar alüvyonlar üzerinde genişletilmiştir.

Kırsal kesimden göçün etkisi ulaşımın kolay olabileceği alanlarda bölge okullarının inşasını gerektirmiş, bu okullar için çoğunlukla vadi tabanlarındaki alüvyon alanlar kullanılmıştır. Benzer şekilde konaklama tesisleri ve çeşitli toplantı faaliyetlerinin gerçekleştirileceği konut dışı yapılar da ulaşım rahatlığı nedeniyle alüvyon

akiferler üzerine inşa edilmiştir. Özellikle 1990'lı yıllarda konutlarda kömür kullanımının artışı kentlerde kömür kırma eleme ve depolama tesislerinin artmasına neden olmuştur. Bu tür tesisler de alüvyon akiferler üzerinde inşa edilmiştir (Şekil 4). Kentlerde nüfusun hızlı artışı her türlü yapılaşmanın artmasına neden olmuştur. Özellikle inşaat sektöründeki artış beton santrallerinin çoğalmasına, beton için gerekli malzemenin üretiminin artmasına neden olmuş ve ulaşım rahatlığı nedeniyle beton santralleri de alüvyon akiferler üzerinde yerini almıştır. Vadi yamaçlarında açılan taş ocaklarından üretilen çakıl, kum gibi malzemeler de yine alüvyon akiferler üzerine depolanmaktadır. Kentlerde sanayileşmenin artması yeni sanayi sitelerinin oluşturulmasını gerektirmiştir. Sanayi siteleri için geçmişten günümüze akarsu yatakları kullanılmaktadır. İl ve ilçe bazındaki tüm yerleşim yerlerinin sanayi siteleri alüvyon akiferler üzerinde yer almaktadır.



Şekil 4. Kıyı akiferleri üzerinde yer alan kentsel faaliyetler.

Figure 4. Urban activities on the coastal aquifers.

İl merkezlerinin yer aldığı vadilerdeki akiferler kentleşmenin yoğun baskısı altındadır. Ordu il merkezinin yerleşim alanında yer alan Melet ve Civil alüvyonlarının büyük bir kısmı çok yoğun yapılaşmaya maruz kalmıştır. Benzer şekilde Giresun ili yerleşim alanında kalan Batlama, Aksu ve Keşap alüvyonları da kentleşmenin yoğun olduğu akiferlerdir. Trabzon il yerleşim alanı içerisinde kalan ve 1992 yılına kadar Trabzon ilinin içme ve kullanma suyunu sağlayan Değirmendere alüvyonları ise tamamen kentleşmenin etkisi altında kalmış ve yeraltısuyu sağlayan kuyular terk edilmiştir. Diğer alüvyon akiferlerin de çoğunluğu ilçe merkezlerinin yerleşim alanı içerisinde kalmakta ve akiferler üzerindeki kentsel baskılar giderek artmaktadır. Kentleşmenin etkilerinin en az olduğu akiferler Curi, Yağlıdere, Gelevera, Akhisar, Yanbolu, Baltacı, İyidere ve Fırtına akiferleridir. Bunlardan Curi, Yağlıdere, İyidere ve Fırtına akiferlerinin yeraltısuyu bulundurma kapasiteleri diğerlerine göre fazladır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Doğu Karadeniz Havzası'nda akarsu vadileri boyunca yüzeylenen alüvyonlar havzanın yeraltısuyu taşıyan tek akiferleridir. Genişlikleri 50-1500 m, uzunlukları 3-16,5 km ve kalınlıkları 10-50 m arasındadır. Porozite değerleri %19 ile %27, geçirgenlik katsayıları 10^{-3} - 10^{-5} m/s arasında olan akiferlerde depolanan toplam su hacmi minimum 238 hm^3 'tür. Yayılımları ve kalınlıkları kuzeyden güneye doğru azalan bu akiferlerin beslenimi büyük çoğunlukla üzerlerinden akan akarsulardan süzülme ile gerçekleşir ve yeraltısuyu akımı akarsuya uyumlu olarak yaklaşık güneyden kuzeye doğrudur.

Havzada alüvyon akiferler vadileri drene eden akarsuların etrafında dar şeritler şeklinde yüzeylenmektedir. Ünye'den Hopa'ya kadar uzanan kıyı şeridi boyunca hemen hemen her vadi boyunca bir yerleşim yeri bulunmaktadır.

Bu yerleşim yerleri iç kesimlere ulaşım için vadileri kullanmaktadır. Ulaşım ağlarını oluşturan karayollarının bir kısmı her bir vadede alüvyon akiferler üzerinde yer almaktadır. Ortalama yol genişliği ve akifer üzerindeki uzunlukları dikkate alındığında bu ulaşım ağının akiferler üzerinde yaklaşık %10-25'lik alan kapladığı görülmektedir. Karayollarının üzerinden geçtiği birimlerin taşıdığı yeraltısularına etkileri olabileceği gibi yeraltısularının da karayollarına etkileri olmaktadır (Brencic, 2006). Karayolları geçirimsiz yüzey oluşturarak akiferin beslenmesini engellediği gibi yol inşasında ve trafikte araçlardan çevreye yayılan ağır metal, petrol türevleri, çeşitli organik maddeler ve tuzlar aracılığıyla da yeraltısuyu kirlenmesine neden olmaktadır (Choi vd., 2005; Leitao, 2005; McGrane vd., 2014). Karayollarının inşası esnasında yapılan kazılar ve beton perde gibi inşaatlar yeraltısuyu beslenmesini ve hareketini engellemekte, yol için kullanılan malzeme ek yük oluşturarak akifer basıncını azaltacak şekilde etki etmektedir. Doğu Karadeniz Havzası kıyı akiferleri akarsudan, yağıştan ve yamaçlardan süzülen yüzey ve yüzeyaltı suları ile beslenmektedir. Yamaca bitişik inşa edilen karayolları akifer üzerinde geçirimsiz zon oluşturarak yağış yoluyla yüzeyden ve yamaçlardan beslenmeyi engellemektedir. Ayrıca geçirimsiz yüzey oluşturan karayolları havzanın üst kesimlerinde meydana gelen yağışların hızlı bir şekilde akarsuya ulaşmasını sağlayarak havzanın aşağı kesimlerinde oluşacak taşkınlarla katkıda bulunmaktadır. Akarsuyun rejimi bozulduğu için havzanın iç kesimlerinde alüvyon birikiminin azalmasına veya yok olmasına neden olmaktadır.

Havzadaki alüvyon akiferler havzanın en önemli yeraltısuyu kaynaklarıdır. Aritilmiş yüzey suyunu kullanan Rize ve Trabzon il merkezleri dışındaki tüm il ve ilçeler su gereksinimini karşılamak amacıyla yeraltısuyunu kullanmaktadır. Ancak şehir merkezlerindeki nüfus artışı yerleşim alanlarının alüvyonlar üzerinde genişlemesine neden olmaktadır. Havzada yer alan alüvyon

akiferlerin tamamında son yıllarda özel ve kamuya ait konut artışı olduğu görülmektedir. Kent merkezinden kısmen uzaklaştıkça sanayi siteleri ve malzeme depolama alanları da alüvyonlar üzerinde yer almaktadır. Özellikle kömür kırma-eleme-paketleme işlemi yapan tesislerin gözenekliliği yüksek olan bu alüvyon akiferler üzerinde yer alması su kalitesini de tehdit etmektedir. Yayılımları ve derinlikleri küçük olan bu alüvyon akiferlerin üzerine yapılacak her türlü yapı akiferde alan ve hacim kaybına neden olmakta, yeraltısını beslenmesini olumsuz etkilemekte ve akifer rezervinde azalmalara neden olmaktadır.

Eski yıllara ait haritalar ve fotoğraflar incelendiğinde alüvyon akiferler üzerine inşa edilen konut dışı yapıların sayısının gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Uydu fotoğraflarından yararlanarak bu tür yapıların alüvyon akiferler üzerinde kapladıkları alanlar yaklaşık olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir havzada farklılık göstermekle birlikte akifer alanının yaklaşık %10-30'unu bu tür yapıların kapladığı belirlenmiştir. Bu tür yapılaşmalar kazı gerektirdiği için alüvyonda hacim azalmasına ek yük oluşturarak gözenekliliğin düşmesine neden olmaktadır.

Havzada bazı vadilerde bulunan kömür depolama alanlarının da bulunduğu havzalarda yaklaşık %3-5'lik bir alan kapladığı belirlenmiştir. Alüvyon malzeme üzerinde ek yük oluşturan bu tür yapılar alüvyon malzemenin gözenekliliğini azaltarak depolanan yeraltısını miktarını olumsuz etkilemektedir. Bu alanlardan akiferlere ulaşan sızıntı suyunun yeraltısının kalitesi üzerine nasıl bir etkisi olduğu yönünde çalışmalar bulunmamaktadır. Ancak akiferlerin porozitelerinin yüksek ve yeraltısının çok sığ olduğu dikkate alınır su kalitesi üzerine de olumsuz etkilerinin olabileceği göz ardı edilmemelidir. Ayrıca akarsu yataklarında veya yakınlarında inşa edilen her türlü yapının akiferlere dolaylı etkileri bulunmaktadır. Taşkından korunmak amaçlı yapılan beton duvarlar jeolojik

tarihçe boyunca devam eden alüvyon birikimi sürecini kesintiye uğratmaktadır.

Doğu Karadeniz kıyı akiferlerinde mevcut kentsel faaliyetler incelendiğinde akiferlerin tamamında yapılaşmanın olduğu, çoğunluğunda çeşitli depolama faaliyetlerinin, yarısında ise sanayi sitelerinin yer aldığı, bir kısmında da beton üretim faaliyetlerinin olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Kentleşmenin getirdiği bu tür baskılar giderek artmakta ve akiferlerin sürdürülebilir kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkilerin sonuçları ne yazık ki Trabzon ve Rize il merkezlerinin içme-kullanma suyunu sağlayan Değirmendere ve Taşlıdere akiferlerinde yeraltısını kullanımını sonlandırmıştır. Yeraltısını kullanımı devam eden diğer akiferlerde, akiferin beslenmesini ve su kalitesini etkileyecek faaliyetlerin artarak devam ettiği görülmektedir. Yıllık yağış miktarının ve akarsudan beslenmenin fazla olması ve yağışın kısa sürede akifere ulaşması nedeniyle henüz kimyasal açıdan önemli bir kirlilik görülmemektedir. Ancak birçok kuyunun yerleşim yeri içerisinde kalması sebebiyle, Giresun Pazarsuyu akiferinde ise mangan konsantrasyonunun fazla olması nedeniyle kuyuların kullanım dışı bırakıldığı DSİ 22. Bölge Müdürlüğü elemanlarınca belirtilmiştir. Akiferler üzerindeki bu tür faaliyetler devam ettikçe ileriki yıllarda yeraltısını kirliliği de dikkat çekecek boyutlara ulaşacaktır. Kentleşmenin etkisi altında kalan Melet, Civil ve Pazarsuyu (Ordu), Batlama ve Keşap (Giresun) akiferlerinin sürdürülebilir kullanımını için kentsel faaliyetlerin etkilerinden korunmaları önemlidir. Temiz suya olan gereksinimin gün geçtikçe arttığı dikkate alınır Doğu Karadeniz havzasındaki bu kısıtlı akiferlerin sürdürülebilir kullanımını için kentleşmenin getirdiği bu tür baskıların önlenmesi ve/veya kontrol altına alınması gereklidir. Gerektiği gibi korunup takip edilmezse ileride kullanacak temiz ve kaliteli suya sahip olmak oldukça zor veya pahalı olacaktır. Ayrıca akarsuların akış rejimine yapılacak herhangi bir müdahalenin

büyük oranda akarsu akışından beslenen alüvyon akiferlerin beslenmesine olumsuz etki yapacağı da unutulmamalıdır.

Havzadaki yerel yönetimler kent merkezlerindeki artan nüfusun su gereksiniminin gelecek yıllarda bu alüvyonlarda depolanan yeraltı sularıyla karşılanamayacağını düşünerek ileriki yıllar için yüzey sularının depolanıp arıtılarak kullanılması yönünde planlamalar yapmaktadırlar. Ancak akarsuların debi ve kalite bakımından mevsimsel değişiklik göstermeleri ve her türlü kirlenmeye açık oldukları dikkate alınırsa alüvyon akiferlerin ve mevcut kuyuların gerekli durumlarda kullanılabilmesi için korunmaları son derece önemlidir.

EXTENDED SUMMARY

All living organisms need water from the hydrological cycle for their living activities. However, the amount of water per capita will be reduced in future years, since water demands of the growing population will be met by the constant amount of water in the cycle. Fresh water resources, with a ratio of about 3% in the water cycle, are increasingly polluted and the amount of water available is reduced over time. As a result of the rapid growth of the world population, industrialization and expansion of water use, water consumption in the world is increasing rapidly.

Çizelge 2. Doğu Karadeniz kıyı akiferlerini etkileyen kentsel faaliyetler.

Table 2. Urban activities affecting the Eastern Black Sea coastal aquifers.

	Akifer adı	Ulaşım	Konutlaşma		Sanayi siteleri	Kömür işleme	Beton üretimi	Malzeme depolanması
			Özel	Kamu				
Ordu	Curi	x	x	x				
	Ceviz	x	x			x		x
	Elekçi	x	x	x				
	Bolaman	x	x					x
	Civil	x	x	x				
	Melet	x	x	x	x			x
Giresun	Turnasuyu	x	x					
	Pazarsuyu	x	x					
	Batlama	x	x	x	x			x
	Aksu	x	x	x				x
	Keşap	x	x	x				
	Yağlı	x	x	x				
	Gelevera	x	x				x	x
Harşit	x	x				x	x	
Trabzon	Görele	x	x					x
	Akhisar	x	x					
	Fol	x	x	x				
	İskefiye	x	x					
	Söğütlü	x	x	x	x			x
	D. Dere(Kuzey)	x	x	x	x			
	D. Dere(Güney)	x	x				x	x
	Şana	x	x		x			
	Yomra	x	x					x
	Yanbolu	x	x					
	Karadere	x	x	x			x	x
	Sürmene	x	x	x	x			x
Solaklı	x	x	x	x			x	
Rize	Baltacı	x	x					
	İyidere	x	x		x		x	x
	Taşlı	x	x	x	x	x	x	x
	Büyük	x	x	x	x		x	
	Hemşin	x	x	x				
	Fırtına	x	x		x			x
Artvin	Çağlayan	x	x	x				
	Kapisre	x	x		x	x		
	Hopa	x	x	x	x	x		

Alluvial materials deposited in almost every valley along the coastline from Ünye to Hopa have different widths and thicknesses. While the width and thickness of alluvium deposits are highest in the north along coast line, they decrease towards the south. Alluvium aquifers vary in length from 1 km to 16.5 km and have widths of 50 - 1500 m and thicknesses of 10 - 60 m. The volume of water stored in these coastal aquifers ranges from 0.5 to 24.45 hm³, with a total of 238 hm³ (Table 1). The city and town centers in the Eastern Black Sea region obtain all of their drinking and potable water requirements from the aquifers formed by alluvium. Almost all of the town centers still use groundwater, while Rize and Trabzon cities have started to use treated surface water. Giresun city obtains all of its water from groundwater, whereas Ordu city obtains a large part of its drinking water from groundwater (DSİ, 2015).

The increase in migration from rural to urban areas has caused population growth in cities and necessitated expansion of urban areas. Alluvium that forms flat areas inside valleys in the Eastern Black Sea basin, which has rugged topography, are divided into general service areas such as schools, roads, car parks, sports fields, various storage activities, accommodation facilities, urban facility areas such as wedding halls and commercial areas such as industrial sites. Growth of cities creates undesirable stress on natural resources such as water resources, hydrological dynamics and environmental quality. Numerous studies have examined the impact of urban activities on aquifers, where the water needs of many large cities are supplied by groundwater. Most of these studies were conducted on the deterioration of groundwater quality (Long and Saleem, 1974; Fusillo et al., 1985; Nazari et al. 1993; Diaz-Fierros et al., 2002; Choi et al., 2005; McGrane et al., 2014). Studies about the change in groundwater level (Brassington and Rushton, 1987; Knipe et al., 1993; Trivedi et al., 2001) and the effects of urban areas on hydrological


processes (Niemczynowicz 1999; Vörösmarty et al., 2000; Naik et al., 2008; Hayashi et al., 2009; Fletcher et al., 2013; McGrane, 2016) are becoming increasingly important.


Construction is observed on all of the Eastern Black Sea coastal aquifers, including the majority of various storage activities, half of the industrial sites and some concrete production activities (Table 2). Such stresses arising from urbanization are increasing and adversely affect the sustainable use of aquifers. The results of these effects unfortunately ended the use of groundwater from the Değirmendere and Taşlıdere aquifers. In other aquifers where groundwater usage is continuing, activities that will affect the recharging of the aquifer and water quality continue to increase. Melet, Civil, Pazarsuyu (Ordu), Batlama and Keşap (Giresun) aquifers, which are all located within the settlement area, are mostly influenced by urban activities. The aquifers of Curi, Yağlıdere, Gelevera, Akhisar, Yanbolu, Baltacı, İyidere and Firtına are less affected by urban activities. Among them, Curi, Yağlıdere, İyidere and Firtına are aquifers with high groundwater capacities. Considering that the need for fresh water is increasing day by day, such stresses caused by urbanization should therefore be prevented and/or controlled to ensure the sustainable use of these aquifers in the Eastern Black Sea Basin.

KATKI BELİRTME

Yazarlar makaledeki verilerin sağlanması konusundaki yardımlarından dolayı DSİ 22. Bölge Müdürlüğü elemanlarından Jeoloji Mühendisi Songül CEVAHİR'e ve Jeoloji Mühendisi Güven Köksal KUTLU'ya teşekkür eder.

ORCID

Fatma Gültekin  <https://orcid.org/0000-0002-6409-7054>

Esra Hatipoğlu Temizel  <https://orcid.org/0000-0001-7680-1152>

DEĞİNİLEN BELGERLER / REFERENCES

- Acar, S., 2015, Petrografik ve Fiziksel Özelliklerin Granitik Kayaçların Dayanımına Etkisinin Araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 154 s, (yayımlanmamış).
- Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D., Şen, C. 2013. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of post-collisional Eocene volcanic rocks in the southern part of the Eastern Pontides (NE Turkey): Implications for magma evolution in extension-induced origin. Contribution to Mineralogy and Petrology, 166, 113-142.
- Brassington, F. K., Rushton, K., 1987. Rising water table in central Liverpool. Quarterly Journal of Engineering Geology, 20, 151-158.
- Brencic, M., 2006. Groundwater and highways interaction: past and present experiences of highway construction in Slovenia. Environmental Geology, 49, 804-813.
- Celep, S., 2009. Trabzon İli Yeraltı ve Yerüstü Sularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal İncelemesi ve Su Kalitesinin İzlenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 165 s., (yayımlanmamış).
- Choi, B., Yun, S., Yu, S., Lee, P., Park, S., Chae, G., 2005. Hydrochemistry of urban groundwater in Seoul, South Korea: effects of land use and pollutant recharge. Environmental Geology Journal, 48 (8) 979-990.
- Çevik, L., 2012. Aydınlık (Trabzon) Yöresindeki Bina Temel Zemininin Jeoteknik Özelliklerinin Araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Lisans Tezi, 32 s., (yayımlanmamış).
- Diaz-Fierros, T.F., Puerta, J., Suarez, J., Diaz-Fierros, F.V., 2002. Contaminant loads of CSOs at the wastewater treatment plant of a city in NW Spain. Urban Water, 4 (3) 291-299.
- Dilek, R., 1979. Trabzon-Hopa Kıyı Şeridinin Yeraltı Suyu Olanakları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon, No: 99, 103 s., (yayımlanmamış).
- DSİ, 2015. Devlet Su İşleri 22. Bölge Müdürlüğü, Doğu Karadeniz Havzası Master Plan Çalışmaları
- İşi, Doğu Karadeniz Havzası Hidrojeoloji Raporu, 551 s, (yayımlanmamış).
- Ersoy, H., Yalçınalp, B., Babacan, A.E., 2014. Sarraftepe (Trabzon) Tefrit Silinin Jeolojik ve Jeomekanik Özelliklerinin Araştırılması. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 38 (1) 39-50.
- Fetter, C.W., 2001. Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, 612 s.
- Fletcher, T.D., Andrieu, H., Hamel, P., 2013. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: a state of the art. Advances in Water Resources, 51, 261-279.
- Foster, S.S.D., Lawrence, A.R., Morris, B.M., 1998. Groundwater in urban development, Assessing Management Needs and Formulating Policy Strategies. World Bank Technical Paper no 390, Washington DC., 74 s., (yayımlanmış).
- Freeze, R.A., Cherry, J.A., 1979. Groundwater. Prentice-Hall, New Jersey, USA, 562 s.
- Fusillo, T.V., Hockreiter, J.J., Lord, D.G., 1985. Distribution of volatile organic compounds in a New Jersey coastal plain aquifer. Ground Water, 23, 354-360.
- Gültekin F., Dilek, R., Fırat Ersoy, A., Ersoy, H., 2005. Aşağı Değirmendere (Trabzon) Havzasındaki Suların Kalitesi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 29 (1) 21-35.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu. Maden Tetkik Arama Yayınları, Ankara, 65 s.
- Hayashi, T., Tokunaga, T., Aichi, M., Shimada, J., Taniguchi, M., 2009. Effects of human activities and urbanization on groundwater environments: An example from the aquifer system of Tokyo and the surrounding area. Science of the Total Environment 407 (9), 3165-3172.
- İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, 2016. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai Raporu, Ek 24-Doğu Karadeniz Havzası, 120 s, (yayımlanmamış).
- Knipe, C.V., Lloyd, J.W., Lerner, D.N., Gresswell, R., 1993. Rising groundwater levels in Birmingham and the engineering implications. Construction

- Industry Research and Information Association Special Publication, 92, 114 s.
- Leitao, T.E., 2005. Impact of road runoff in soil and groundwater. Synthesis of Portuguese and other European case-studies. The Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources, Guimaraes, Portugal, July, 11-14, 2005.
- Long, D.T., Saleem, Z.A., 1974. Hydrogeochemistry of carbonate groundwaters of an urban area. *Water Resources Research*, 10, 1229-1238.
- McGrane, S.J., Tetzlaff, D., Soulsby, S., 2014. Influence of lowland aquifers and anthropogenic impacts on the isotope hydrology of contrasting mesoscale catchments. *Hydrological Processes*, 28 (3) 793-808.
- McGrane, S.J., 2016. Impacts of urbanisation on hydrological and waterquality dynamics, and urban water management:a review. *Hydrological Sciences Journal*, 61 (13), 2295-2311.
- Naik, P.,K., Tambe J.A., Dehury, B.N., Tiwari, A.N., 2008. Impact of urbanization on the groundwater regime in a fast growing city in central India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 146, 339-373.
- Nazari, M.M., Burston, M.W., Bishop, P.K., Lerner, D.N., 1993. Urban ground-water pollution: A case study from Coventry, United Kingdom. *Ground Water*, 31 (3) 417-424.
- Niemczynowicz, J., 1999. Urban hydrology and water management – Present and future challenges. *Urban Water*, 1 (1) 1-14.
- Somel, N., 1988. Aksu Vadisi (Giresun) Alüvyonlarının Hidrojeolojisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 46 s., (yayımlanmamış).
- Temizel, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, E., Ruffet, G., 2016. Geochronology and geochemistry of Eocene-aged volcanic rocks around the Bafra (Samsun, N Turkey) area: Constraints for the interaction of lithospheric mantle and crustal melts. *Lithos*, 258-259, 92-114.
- Trivedi, S.M., Yadav, B., Gupta, R.N., Chandrasekharan, H., Ramachandran, K., 2001. Effects of urbanization on changes in groundwater quantity and quality in Delhi State, India, (Impact of Human Activity on Groundwater Dynamics, Editörler: Gehrels, H., Peters, N.E., Hoehn, E., Jensen, K., Leibundgut, C., Grif, J.). IAHS Publication no. 269, 147-153.
- Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J., Richard, B., Lammers, R.B., 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Nature*, 289, 284-288.
- Yanbay, H., 1995. Curi Irmağı (Ünye-Ordu) Alüvyonlarının Hidrojeolojisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 80 s., (yayımlanmamış).
- Yavuz, H., 2004. Giresun – Trabzon – Rize İllerinin Sahil Kesimlerinin Hidrojeolojik Etüt Raporu, Devlet Su İşleri 22. Bölge Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Şube Müdürlüğü, Trabzon, (yayımlanmamış).
- Yücel, C., 2013. Trabzon-Giresun arasındaki Tersiyer volkanitlerinin petrografisi, ⁴⁰Ar-³⁹Ar jeokronolojisi, petrokimyası, Sr-Nd-Pb izotop jeokimyası ve petrolojisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi, 406 s, (yayımlanmamış).
- Yüksek, T., 2004. Türkiye'nin Su Kaynakları ve Havza Planlamasına Dönük Genel Değerlendirmeler. Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi (1-2), 71-83.



Pertek (Tunceli) Jeotermal Alanının Antropojenik Kirliliğinin Değerlendirmesi
Anthropogenic Pollution Assessment of Pertek (Tunceli) Geothermal Field

Tuğbanur Özen Balaban¹ , Özlem Öztekin Okan² , Taylan Sançar³ ,
Ayten Öztüfekçi Önal⁴ 

¹*İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarları
Uygulama ve Araştırma Merkezi, İzmir*

²*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ*

³*Munzur Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Tunceli*

⁴*Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tunceli*

Geliş/Received : 19.07.2019

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 05.11.2019

• Kabul/Accepted : 15.11.2019

• Çevrimiçi Yayın/Available online : 15.01.2020

• Baskı/Printed : 31.01.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Çalışma alanı, Doğu Anadolu'daki Tunceli ilinin Pertek ilçesinde bulunmaktadır. İnceleme alanının jeolojisi, Doğu Toroslar'ın jeodinamik evrimi içinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Çalışma alanındaki jeolojik formasyonlar yaşlıdan gence doğru, Paleozoik Keban Metamorfikleri, Üst Kretase Harami Formasyonu, Orta-Üst Eosen Kırkgeçit Formasyonu, Üst Miyosen Karabakır Formasyonu, Kuvaterner yaşlı alüvyondur. Çalışma alanında yüzlek veren birimler, litolojik, yapısal ve hidrojeolojik özelliklerine göre üç ana başlık altında ele alınmıştır. Çalışma alanının temelini oluşturan Keban Metamorfikleri içinde yer alan kireçtaşı, mermer, dolomitik mermer seviyeleri oldukça kırılmalı ve karstlaşmış olmaları nedeniyle termal suların rezervuar kayaçlarıdır. Kırkgeçit ve Karabakır formasyonları geçirimsiz özellikleri ile jeotermal alanın örtü kayaları olarak ortaya çıkmaktadır. Keban metamorfikleri içerisindeki kireçtaşı birimlerinin bazı seviyeleri basınçlı/serbest soğuk su akifer özelliği gösterir. Bölgedeki Kuvaterner Alüvyon birim, soğuk yeraltı suyu üretimi için en önemli ve uygun birimdir. Keban Baraj Gölü, hidroelektrik enerji üretimi, taşkın kontrolü ve sulama açısından bölgede oldukça önemlidir.

Termal ve maden suları genellikle yüksek mineral içeriğine sahip olmaları nedeniyle, yüzey ve yeraltı suları ile boşaldıkları alanlardaki tortullarda kirlenmeye neden olabilmektedirler. Bölgenin su kaynaklarının içme ve sulama amaçlı kullanılması nedeniyle, bu çalışmanın özünde suların kalitesi değerlendirilmiştir. Bu sebeple, kirlenmenin ölçümünü göstermek için su ve sediment numuneleri bor, arsenik ve diğer kirlenme maddeleri (Pb, Fe, Sb, Sn ve Hg) için analiz edilmiştir. Su örneklerinin analizinden elde edilen sonuçlar, bazı örneklerde B, As ve Pb konsantrasyonlarının TSE içme suyu standartları sınır değerlerini aştığını göstermektedir. Sediment örneklerinde Fe konsantrasyonu 2,16 ppm, Hg ve Sb konsantrasyonları ise 0,05 ppm'dir. Ayrıca Singeç Çayı'nda bulunan kaplıcalara toplanan tortul örneklerinden bazıları, B, As, Sb, Hg ve Pb gibi jeotermal akışkanlardan kaynaklanan diğer kirlenme maddeleriyle kirlenmiştir. Bu çalışmada, Pertek Jeotermal Sahası'nda ve etrafındaki alanda bulunan sediment ve sularda, jeotermal faaliyetlerden kaynaklanan B, As ve diğer kirlenme maddelerinin (Pb, Fe, Sb, Sn ve Hg) mevcudiyetinin jeokimyasal değerlendirmeleri tartışılarak, bölgedeki antropojenik kirlilik değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pertek, jeotermal, hidrojeokimya, antropojenik kirlilik

Abstract: The study area is located in Pertek town in Tunceli province in Eastern Anatolia. The geology of the study area is very important for the geodynamic evolution of the Eastern Taurus. Geological formations in the study area are Paleozoic Keban metamorphics, Upper Cretaceous Harami Formation, Middle-Upper Eocene Kırkgeçit

Formation, Upper Miocene Karabakir Formation, and Quaternary alluvium, from the oldest to the youngest, respectively. Hydrogeological units were divided into three units in accordance with lithological, structural and hydrogeological properties. The basement of the study area of sandstone, marbles and dolomitic marbles in the Keban metamorphic rocks are highly fractured and karstified and act as the main reservoir in particular for thermal waters in the study area. Kırkgeçit and Karabakır Formations occur as barrier rocks in the geothermal area due to impermeable properties. Some levels of limestone units within the Keban metamorphics are aquifers for freshwater. Alluvium is the most important and suitable unit for cold groundwater production. In the study area, streams and rivers flow from southwest to northeast towards Keban Dam Lake. The lake is very important in the region from the point of view of hydroelectric power production, flood control, and irrigation.

The thermal and mineral waters generally have high mineral contents. When they are discharged onto the surface, they can cause contamination in surface water, ground water, and of soil. Because of the fact that the water resources in the region are used for drinking and irrigation purposes, the quality of the water is evaluated within the scope of this study. For this reason, water and sediment samples were analyzed for boron, arsenic and other contaminant (Pb, Fe, Sb, Sn and Hg) substances to measure the contamination. The results acquired from the analysis of water samples suggest that concentrations of B, As and Pb in some of the samples exceed the limits of the TSE drinking-water standards (>100 ppb). Fe concentration is 2.16 ppm, Hg and Sb concentrations are also 0.05 ppm. Moreover, some of the sediment samples collected from thermal springs in Singeç Creek are contaminated with B, As, Sb, Hg and Pb and other elements sourced from geothermal fluids. In this study, the geochemical evaluation of the presence of B, As, and other contaminants (Pb, Fe, Sb, Sn) derived from geothermal activities within sediment and water in the Pertek Geothermal Field and surrounding area were discussed.

Keywords: Pertek, geothermal, hydrogeochemistry, anthropogenic pollution.

GİRİŞ

Pertek Jeotermal Alanı Toros Orojenik Kuşağı içerisinde Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümü'nün, Aşağı Murat bölgesinde Tunceli il sınırları içerisinde yer almaktadır. Kuzeyinde Doğu Toroslar'ın uzantısı olan Sakaltutan dağları, güneyinde ise doğudan batıya doğru uzanan Keban Baraj Gölü yer alır. Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalardan Elazığ K42-a2, K42-a3, K42-b1 ve K42-b4 paftalarında yaklaşık 40 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Doğu Anadolu bölgesindeki jeotermal kaynaklar volkanik ve tektonik aktivitelere bağlı olarak genellikle Doğu ve Kuzey Anadolu fay hatlarının kesişim noktaları veya yakınında gelişmiştir. Pertek jeotermal alanı da Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı arasında, bu fayların etkileşimi ile oluşmuş fay kollarının denetiminde gelişmiştir. Bu yapıların en önemlisi Bingöl (1984) tarafından adlandırılan

Pertek bindirme fayıdır (Aksoy, 1994). Bu fay yaklaşık doğu-batı doğrultusunda uzanan ve 10° gibi düşük bir açıyla kuzeye eğimli bindirme fayıdır. Buna ek olarak, sıkışma gerilmesiyle ilişkili olarak gelişen makaslama kırıkları şeklinde gelişmiş faylarla atıma uğratılmıştır (Bingöl, 1984; Aksoy, 1993).

Bu fayın oluşumunun Geç Kretase sonrası Üst Paleosen öncesi olduğu belirtilmektedir (Bingöl, 1984; Hempton, 1984; Sağıroğlu, 1992; Aksoy, 1993; Turan vd., 1993). Mutlu ve Güleç (1998), Doğu Anadolu Bölgesi'nin maruz kaldığı sıkışma rejimine bağlı olarak genç volkanik etkinliğe ve ısı kaynağı olabilecek derindeki soğumuş magma odalarına rağmen, bu bölgedeki düşük sıcaklıklı jeotermal potansiyelin, termal akışkanı getiren iyi gelişmiş fay sistemlerinin eksikliğinden olabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 1. İnceleme alanının yeri ve örnekleme yerleri.

Figure 1. Location map of the study area and sampling points.

MATERYAL VE METOT

İnceleme alanı içerisindeki Singeç Vadisi'nden 9 adet su ve 10 adet sediment ve çamur örneklemleri yapılmıştır (Şekil 2). Suların majör analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarı'nda, ağır metal ve eser element analizleri ACME (Bureau Veritas) Analitik Laboratuvarı ve İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Uygulama ve Araştırma Merkezi (İKÇÜ-MERLAB) Kromatografi Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.

Sediment örnekleri laboratuvarda oda sıcaklığını geçmeyen bir ortamda kurutulmuştur. Kurutulan örnekler taş, cam ve diğer atıklardan temizlenmiş ve 2 mm'lik elekten geçirilmiştir. Bu işlem sonrasında örnekler titanyum halkalı öğütücüde öğütülmüştür. Örnekler daha sonra çeyreklemeye yöntemiyle 10 ve 30 gr'lık poşetlerde analize hazır hale getirilmiştir.



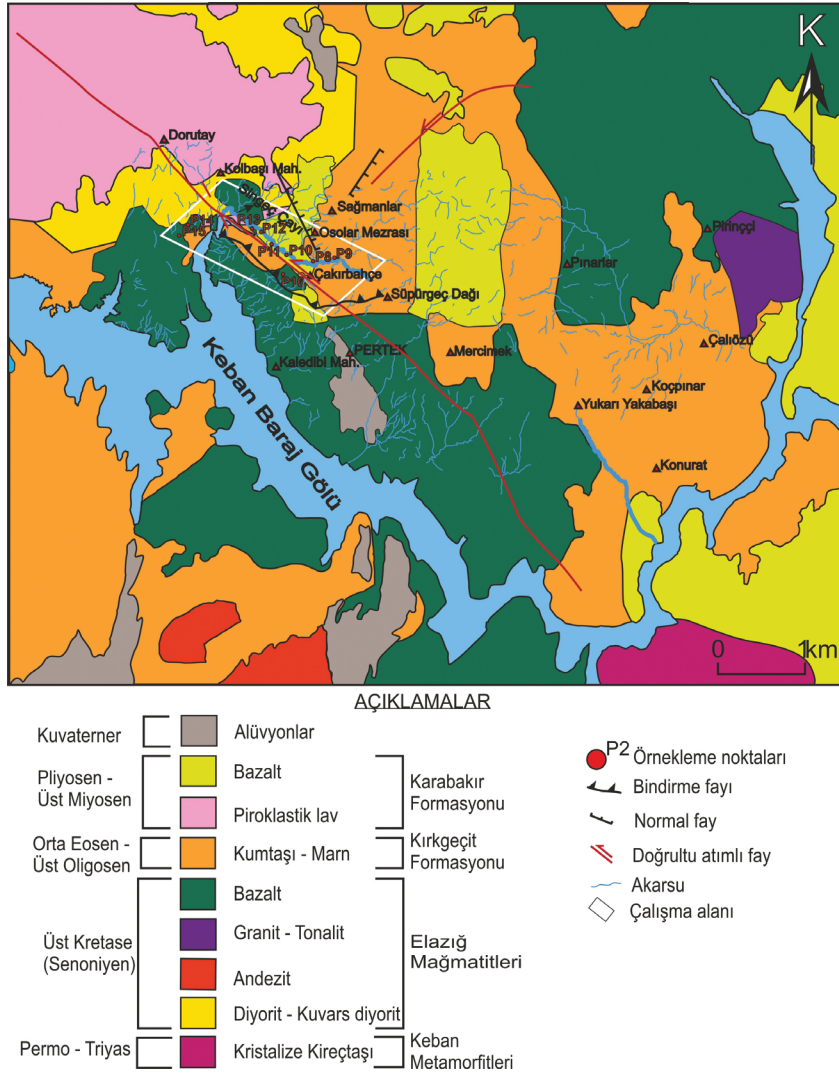
Şekil 2. Singeç Çayı'nın faya paralel olarak KB-GD akışa sahip olduğu yerde ortaya çıkan yeraltı suları ve örnekleme noktalarının yeri (taban görüntü, Google Earth'den alınmıştır).

Figure 2. Location of groundwater and sampling points where Singeç Creek flows NW-SE parallel to the fault (base image taken from Google Earth).

GENEL JEOLojİ

Pertek ve çevresinde Paleozoyik'ten Senozoyik'e kadar uzanan yaş aralığında farklı özellikte olan metamorfik, magmatik ve sedimenter kayalar bulunmaktadır. Aksoy (1994) tarafından bu birimler yaşlıdan genç doğru Keban Metamorfitleri (Permiyen-Triyas), Elazığ Magmatitleri (Üst Kretase), Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen-Üst Oligosen), Karabakır Formasyonu (Üst Miyosen-Pliyosen) ve alüvyonlar (Kuvaterner) olarak

sıralanmıştır (Şekil 3). Çalışma alanında Keban Metamorfitleri'ne ait, amfibolit, kristalize kireçtaşı ve mermer birimleri, Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşı, kumtaşı-marn ardalanmalı çakıltaşları ile Karabakır Formasyonuna ait andezitik/bazaltik lav, tüf ve volkanoklastitler yer almaktadır. Çalışma alanındaki en genç birimi ise Singeç Vadisi yamaçlarında gözlenen traverten, taraça ve Pertek ilçe merkezi ve Singeç Vadisi boyunca birikmiş Kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturmaktadır.



Şekil 3. İnceleme alanı ve çevresinin jeolojisi (Bingöl, 1984 ve MTA, 2002'den değiştirilerek hazırlanmıştır).

Figure 3. Geology of the study area and surroundings (modified from Bingöl, 1984 and MTA, 2002).

Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Değerlendirmesi

Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarının hazne kayacı, Keban Metamorfittleri'nin kristalize kireçtaşları ve mermerleridir. Sular kristalize kireçtaşı ve mermerlerin kırıklı zonlarından, Singeç Çayı taban kotundan ve akarsu tabanındaki alüvyondan yüzeye çıkmaktadır. Kristalize kireçtaşlarının birincil gözenekliliği oldukça

düşüktür. Ancak bölgede meydana gelen etkin tektonizmaya bağlı olarak oldukça çatlaklı ve kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Bu yoğun çatlaklı ve kırıklı yapı karstlaşmayı da geliştirmiştir. Bu nedenle bu kayalarda geçirimsizlik ve ikincil porozite oldukça yüksektir (Çetindağ, 1989). Singeç Vadisi çevresinde Keban Metamorfittleri, D-B uzanımlı bindirme fayı ile Pertek Magmatitleri üzerine itilmiştir. Metamorfittlerin en kalın yüzlekleri Singeç Vadisi boyunca gözlenmektedir.

Jeotermal sistemin örtü kayaçları Kırkgeçit ve Karabakır Formasyonları'nın geçirimsiz birimleridir. Singeç Vadisi boyunca Keban Metamorfitleri'nin üzerlerinde örtü birim bulunmaz. Bu nedenle Pertek jeotermal sistemi açık sistem özelliğindedir. Ancak birim, Singeç Vadisi'nin kuzeyinde gösel kireçtaşı seviyeleri içeren tuf, aglomera ve lav akıntılarında oluşan Karabakır Formasyonu tarafından örtülmektedir.

İnceleme alanı dışında, kuzeybatıda (Demürek kuzeyi), Karabakır Formasyonu'nun altında kumtaşı, marn, kireçtaşından oluşan Kırkgeçit Formasyonu yer almaktadır. Kırkgeçit Formasyonu'nun tavan birimlerini oluşturan kireçtaşları, çatlaklı ve karstik boşluklu olmaları nedeniyle soğuk suların akifer özelliğindedirler. Karabakır Formasyonu'nun bazaltları ile gösel kireçtaşları da çatlaklı ve kırıklı olmaları nedeniyle akifer niteliği taşımaktadır (Çetindağ, 1985, Öztekin Okan, 2004).

HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRME

Suda başlıca çözülmüş (en çok çözünen) maddeler (Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{-2} , SiO_2); ikincil çözülmüş maddeler (K^+ , Fe^{+3} , B^{+3} , As^{+3}) ve az çözülmüş maddeler (örneğin, Li^+ , Cu^+ , Mn^{+2} , Pb^{+2}) arasındaki ilişkiler de hidrojeokimyasal değerlendirmelerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Çalışma alanı içerisinde bulunan Singeç Vadisi içerisinde başta termal kaynak ve Singeç çayı olmak üzere 9 adet su noktasının majör ve minör kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

Çalışma alanındaki tüm suların su tipleri Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) sınıflamasına göre belirlenmiştir. Soğuk ve sıcak su tipleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Çizelge 1). IAH sınıflamasına göre belirlenen hidrokimyasal fasiyes tipi, Ca-Mg- HCO_3 'dir. Bu alandaki soğuk sular Ca-Mg- HCO_3 ve Ca- HCO_3 tipindedir. Termal ve mineralli suların iz element konsantrasyonları

soğuk sulara oranla daha yüksektir (Çizelge 2). Genel olarak incelenen termal sularda As, B, Li, Ba, Fe, Mn, Sr, Al, Cu, Zn, Cd ve Pb konsantrasyonları yüksektir. Sular ulusal ve uluslararası içme suyu standartlarına göre değerlendirildiğinde suların neredeyse tamamında As ve B konsantrasyonları içilebilir su standartlarına göre yüksektir. Bazı sularda da Fe, Al ve Pb konsantrasyonları diğer sulara oranla yüksektir (Çizelge 2). İnceleme alanındaki suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ile ilişkisini ortaya koymak, anyon ve kation miktarlarının görsel olarak kolaylıkla değerlendirilebilmesi için yarı logaritmik Schoeller (1962) diyagramı kullanılmıştır (Şekil 3). Schoeller yarı logaritmik diyagramda benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer pik verirler. Bu diyagramda soğuk ve termal sular değerlendirilmiştir. Bu diyagrama göre termal sular ve soğuk sular kendi aralarında benzer kökenlidir (Şekil 4). Kationlar arasındaki $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ dizilimi ve anyonlar arasındaki $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^-$ dizilimi rezervuar kayacın Keban Metamorfitleri'nin kristalize kireçtaşı ve mermer birimleri olduğunu desteklemektedir. Suların grafiklerde gösterilmesi toplu halde bir arada görülebilmesi, sınıflandırılması, birbirleriyle ilişkilerinin araştırılması ve karşılaştırılması gibi amaçlar için kullanılan yöntemlerden biri de Piper (1944, 1979) üçgen diyagram yöntemidir (Tarcan, 2003; Özen, 2009; Şekil 5). Piper diyagramına göre inceleme alanındaki sular, karbonat sertliği %50'den fazla olan, alkali toprak elementler ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) > alkali elementler ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) ve zayıf asit kökleri ($\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-$) > güçlü asit kökleri ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{-2}$) olan sularlardır (Şekil 5). Termal ve mineralli suların soğuk yeraltı suları ile aynı alanda olması, bu suların karışım tipini yansıttığını göstermektedir.

Çizelge 1. Majör iyon kimyasal analizleri ve su tipleri (IAH, 1979).

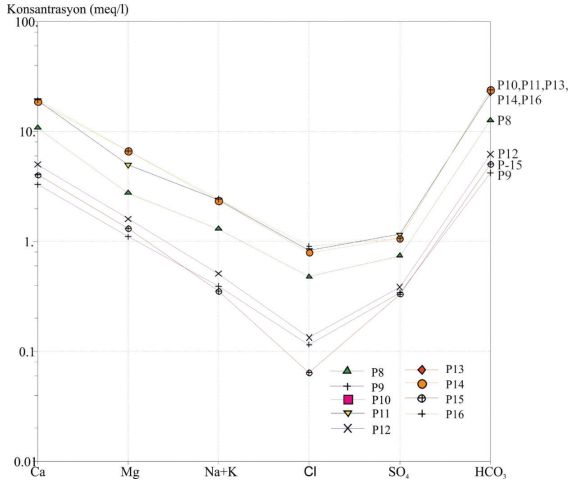
Table 1. Major ion chemical analyses of the sampled waters and water types (IAH, 1979).

Örn. No	Örnekleme Yeri	T (°C)	pH	EC											Su Tipi	
				(µS/cm)	Na	K	Ca	Mg	SiO ₂	SO ₄	Cl	HCO ₃	ΣAnyon	ΣKasyon		%Hata
P8	Termal su kaynağı	22,3	5,74	943	25,72	7,26	216,98	33,62	81,88	35,64	16,98	773,40	13965,00	14917,00	3,3	Ca-HCO ₃
P9	Mineral su kaynağı	15,6	7,46	353	7,94	1,82	65,94	13,42	71,75	16,38	4,091	255,98	4688,00	4803,00	1,21	Ca-Mg-HCO ₃
P10	Soguk- termal karışım	15,8	7,4	377,1	6,73	4,93	94,09	15,49	76,89	17,81	2,73	348,57	6202,00	6388,00	1,47	Ca-Mg-HCO ₃
P11	Termal su havuz	37,3	5,36	2707	47,30	12,63	387,07	60,62	72,18	55,70	29,71	1372,50	24579,00	26721,00	4,18	Ca-HCO ₃
P12	S.Ç.-termal kaynak	19,2	6,72	520	9,88	3,15	100,66	19,54	225,64	18,57	4,76	381,25	6827,00	7143,00	2,26	Ca-Mg-HCO ₃
P13	S.Ç. termal kaynak	22,4	6,04	1105	22,23	4,17	172,74	50,49	38,79	35,67	7,86	718,931	12790,00	13859,00	4,01	Ca-Mg-HCO ₃
P14	Keban göl. miner. su	30,5	6,03	2738	48,16	10,12	374,33	81,00	63,51	51,30	28,16	1459,65	25880,00	27744,00	3,48	Ca-Mg-HCO ₃
P15	S.Ç.-Keban göl. kar.	23,4	6,39	1441	17,89	3,61	91,21	23,88	14,54	24,90	12,27	359,47	6780,00	7393,00	4,32	Ca-Mg-HCO ₃
P16	Termal kuyu	36,7	5,93	2204	48,99	12,10	389,45	81,53	64,84	51,20	32,00	1459,65	25980,00	28594,00	4,79	Ca-Mg-HCO ₃

Çizelge 2. Suların eser element kimyasal analizleri ve içme suyu standartları TS266, 2005, WHO, 2004 ve Kaplıca Yönetmeliği 2001'e göre değerlendirilmesi.

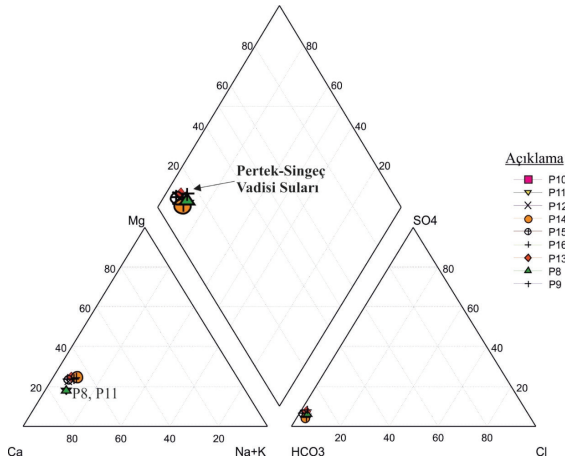
Table 2. Trace element chemical analyses of the sampled waters and maximum admissible concentrations given in Turkish Drinking Water Standards (TS-266) 2005, Turkish Water Pollution Control Regulation 2005, WHO 2004 and Turkish Spa Standards 2001.

Örnek No	As	B	Li	Ba	Fe	Mn	Sr	F	Al	Cu	Zn	Cd	Sb	Hg	Pb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
P8	1,66	1,43	0,127	0,23	10,52	0,46	3,18	0,964	7646	13,1	28,1	0,14	0,1	<0,1	4,2
P9	0,01	0,05	0,0026	0,09	13,37	0,47	1,10	0,13	10532	18,1	37,9	0,15	0,15	<0,1	6,3
P10	0,01	0,09	0,0051	0,31	20,61	1,15	2,87	0,12	17234	30,3	82,5	0,56	0,07	<0,1	20,3
P11	2,57	2,79	2,23	0,44	0,00	1,50	5,26	1,50	47	1,8	11,4	0,15	<0,05	<0,1	0,7
P12	0,18	0,34	0,1	0,29	48,89	1,54	2,48	0,27	45043	57,6	123,2	0,52	0,06	<0,1	19,4
P13	0,01	0,45	0,003	0,09	1,71	0,10	1,09	0,15	879	2,1	5,6	<0,05	<0,05	<0,1	1,7
P14	1,01	2,44	0,2	0,20	0,00	0,18	4,19	1,57	95	1,5	9,3	<0,05	<0,05	<0,1	2,1
P15	0,07	0,36	0,0025	0,06	0,24	0,051	0,88	0,26	6900	10,8	30,7	0,06	0,07	<0,1	4,4
P16	1,22	2,47	0,2	0,24	0,00	0,045	4,78	1,446	19	3,1	10,2	<0,05	<0,05	<0,1	2,4
TS-266, 2005	0,001	1	-	-	0,2	-	-	-	200	3000	5000	5	5	1	10
WHO, 2004	0,001	0,3	-	-	0,2	-	-	-	200	2000	-	3	5	0,1	10
Kap. Yön., 2001	-	1	-	-	0,5	-	-	-	200	-	-	3	5	1	10



Şekil 4. İnceleme alanındaki suların Schoeller sınıflaması.

Figure 4. Schoeller classification/diagram for waters in the study area.



Şekil 5. İnceleme alanındaki suların Piper sınıflaması.

Figure 5. Piper classification of the waters in the study area.

JEOKİMYASAL DEĞERLENDİRME

İnceleme alanı içerisindeki kaynak çevresi çamur, akarsu sediment örneklerinin kimyasal analizleri Çizelge 3'te verilmiştir. Sediment ve çamur örneklerinin analizleri çeşitli sınıflandırmalar kullanılarak ağır metal içeriği bakımından değerlendirilmiştir. Bu sınıflamalardan biri jeo-akümülyasyon (I_{geo}) indeksidir. Müller (1981) tarafından geliştirilen bu yöntemle özellikle sedimentlerin içerdikleri iz element yoğunlukları bağlı olarak geniş bir aralıkta belirlenebilmektedir. Jeo akümülyasyon indeksi:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5B_n}$$

formülüyle hesaplanabilmektedir. C_n , elementin kimyasal analizler ile hesaplanan konsantrasyonu; B_n , elementin kıtasal kabuktaki konsantrasyonudur. B_n değeri (referans değeri) her element için ayrı olup bu çalışmada kullanılan kıtasal kabuk değerleri As (1,5), B (10), Cd (0,3), Sb (1,5), Hg (0,089), Li (13), Cu (25), Zn (95), Pb (20) olarak alınmıştır. Jeo-akümülyasyon indeksine göre sınıflandırma şu şekildedir (Müller, 1981, Yaşın vd., 2008).

Çizelge 3. İnceleme alanındaki sediment örneklerinin kimyasal analiz sonuçları (örnek numaraları Çizelge 1 ile aynıdır).
Table 3. Chemical analysis results for sediment samples in the study area (sample numbers are the same as Table 1).

Örnek No	Örnekleme Yeri	Li	B	Na	Mg	Al	K	Ca	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Ba	Hg	Pb
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb
SN-1	Singeeç Çayı sediman	53,6	74,2	6246	16299,7	24484,4	9888,5	149100,1	35,1	56	16,4	2,8	48,2	210,6	2294,7	17,9
SN-2	Singeeç Çayı sediman	40,8	114,3	13335,4	9181,5	9980,1	10416,2	106970,2	29,7	40	19,2	2,8	41,9	271	1037,2	17,8
SN-3	Singeeç Çayı sediman	42,6	122,5	8281,4	11160	8434,8	9494,5	131120,4	30,5	48,2	43,8	2,7	31,5	213,2	809,2	17,5
SN-4	Singeeç Ç. ter. hav. çamur	34,4	122,1	9014,1	10149,5	7173,4	8845,4	125690,6	29,6	41,6	18,1	2,6	23,9	205	618,3	16,7
SN-5Y	Singeeç Çayı sediman	28,6	113	8411,8	8320,7	3716,5	5865,8	144010,8	25,4	53,2	253,8	2,6	20,5	167,6	530,4	14,6
SNY-6	Singeeç Çayı sediman	33,4	122,4	12201,9	13196,3	13265	7858,8	142730,4	31,8	53,5	81,4	3	19,9	199,9	491,5	25,6
SNÇ-6	Singeeç Çayı çamur	25	156,1	15750,7	8674,6	4563,2	7978,8	116830,2	27,9	49,1	25,5	3,3	19,7	200,5	412,3	24,7
SN-8	Ter. hav. Keban sediman	37,9	134,9	6822,2	10925,4	22317,2	8884,3	77620,9	27,1	52,3	15	2,6	7,9	298	218,9	26,8
SN-21	Ter. kay. sediman	24,6	92,7	13752,4	7872,7	3933,9	8824,8	121660,2	17,5	39,4	136,6	2,2	7,9	224,3	136,5	17,9
SNÇ-21	Ter. kay. çamur	39,6	138,3	10676,1	11212,3	7565,3	9798,6	121010,4	22,2	37,7	52,5	2,7	7,2	222,3	179	21,6

$I_{geo} < 0$ ise kirlenmemiş; $0 < I_{geo} < 1$ ise az-orta kirli; $1 < I_{geo} < 2$ ise orta kirli; $2 < I_{geo} < 3$ ise orta-çok kirli; $3 < I_{geo} < 4$ ise çok kirli; $4 < I_{geo} < 5$ ise şiddetli-son derece kirli; $I_{geo} > 5$ ise son derece kirli olduğunu göstermektedir.

Bu sınıflamaya göre Şekil 6'daki grafiklerde de görüleceği gibi inceleme alanında kurak ve yağışlı dönemlerde örnekleme yapılan noktalarda I_{geo} değerleri seçilen elementlere göre aşağıdaki şekilde değişmektedir:

As: $3 < As-I_{geo} > 7$ çok kirli-son derece kirli

B: $2 < B-I_{geo} > 4$ orta-çok kirli

Cd: $5 < Cd-I_{geo} > 8$ şiddetli-son derece kirli

Sb: $3 < Sb-I_{geo} > 6$ çok-son derece kirli

Hg: $0 < Hg-I_{geo} > 4$ kirlenmemiş-az-orta-çok kirli

Li: $0 < Li-I_{geo} > 2$ kirlenmemiş-az-orta kirli

Cu: $0 < Cu-I_{geo} > 1$ kirlenmemiş-az-orta kirli

Zn: $Zn-I_{geo} < 0$ kirlenmemiş

Pb: $Pb-I_{geo} < 0$ kirlenmemiş

Kirlilik indeksine (PI=pollution index) göre sınıflama, Nishida vd. (1980) tarafından yapılmıştır. $PI = C_{örnek} / C_{ref}$ ($C_{örnek}$: Kimyasal analiz değeri; C_{ref} : kıtasal kabuk bolluk değeri)

$$PI = (As/20 + Cd/3 + Cu/100 + Hg/2 + Pb/100 + Sb/5 + Zn/300) / 7$$

Bu sınıflamaya göre As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb ve Zn elementleri için hesaplanan değerler 1'in altında olmalıdır (Chon vd., 1996; Sponza ve Karaoğlu, 2002). Bu müsaade edilebilir değerler üzerindeki zenginleşme insan veya doğal jeolojik kaynaklara bağlıdır (Nimick ve Moore, 1991).

İnceleme alanından alınmış sediment örneklerinin ağır metal ve eser element değerleri PI kirlilik indeksine göre değerlendirilmiş (Çizelge 4) ve seçilen elementlerce SN-4, SNÇ-6, SN-8 ve SN-21 dışındaki örnekleme yerlerinde PI değerinin 1'in üstünde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. Sediment örneklerinin PI değerlendirmesi.**Table 4.** PI evaluation of sediment samples.

Örnekleme Yeri	PI	PI Değerlendirmesi
SN-1 Singeç Ç. sediment	1,47	Kirlenmiş
SN-2 Singeç Ç. sediment	1,40	Kirlenmiş
SN-3 Singeç Ç. sediment	1,16	Kirlenmiş
SN-4 Singeç Ç. ter. hav. çam.	0,83	Kirlenmemiş
SNY-5Y Singeç Ç. sediment	2,06	Kirlenmiş
SN-6 Singeç Ç. sediment	1,12	Kirlenmiş
SNÇ-6 Singeç Ç. çamur	0,80	Kirlenmemiş
SN-8 Term.Hav.Keban B.sedi.	0,44	Kirlenmemiş
SNÇ-21 Ter. kay. çamur	1,07	Kirlenmiş
SN-21 Ter. kay. sediment	0,62	Kirlenmemiş

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Pertek Jeotermal Sistemi'nde termal kaynakların yoğun olarak gözlemlendiği Singeç Vadisi içerisindeki termal suların akarsuya ve çevreye olan etkisi incelenmiştir. Proje kapsamında, seçilen örnekleme noktalarından yapılan su, sediment ve çamur örneklerinin majör ve minör kimyasal analizleri jeokimyasal olarak değerlendirilmiştir.

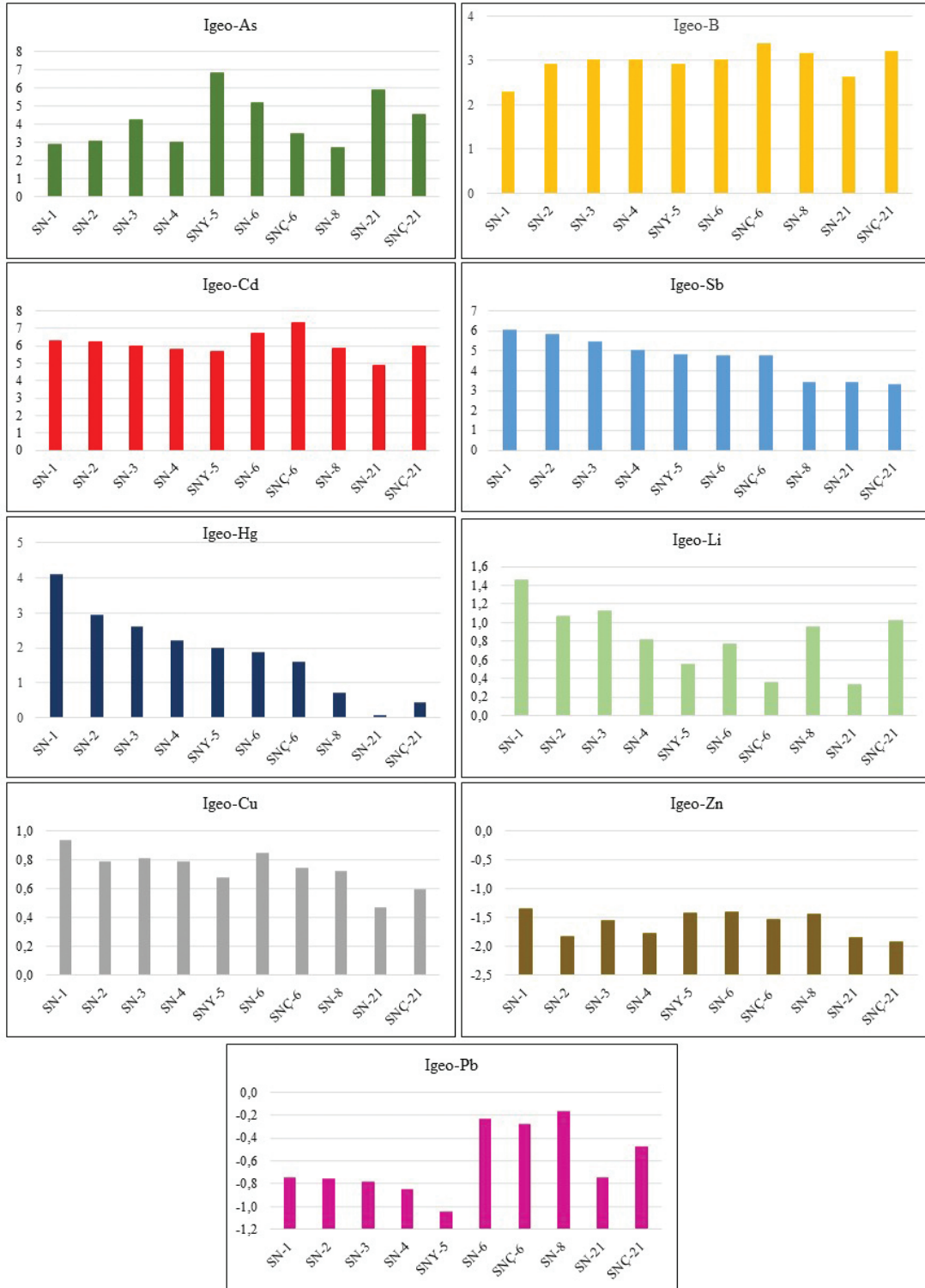
İnceleme alanındaki termal su kaynaklarının hazne kayacı, Keban Metamorfite'lerinin kristalize kireçtaşları ve mermerleridir. Sular kristalize kireçtaşı ve mermerlerin kırıklı zonlarından, Singeç Çayı taban kotundan ve akarsu tabanındaki alüvyondan yüzeye çıkmaktadır. Metamorfite'lerin en kalın yüzlekleri Singeç Vadisi boyunca gözlenmektedir. Jeotermal sistemin örtü kayaçları Kırkgöçer ve Karabakır Formasyonları'nın geçirimsiz birimleridir. Ancak, Singeç Vadisi boyunca Keban Metamorfite'lerinin üzerlerinde örtü birim bulunmaz. Bu nedenle Pertek jeotermal sistemi açık sistem özelliğindedir. Singeç Vadisi çevresinde Keban Metamorfite'leri, D-B uzanımlı bindirme fayı ile Pertek Magmatitleri üzerine

itilmiştir. Singeç vadisi içerisindeki bindirme fayını öteleyen, KB-GD uzanımlı sağ yanal doğrultu atımlı bir fay (Pertek Fayı) ve bu faya bağlı çok sayıda makaslama kırık ve çatlakları oluşmuştur. Söz konusu makaslama yapıları Pertek jeotermal alanındaki soğuk ve sıcak su kaynaklarının yüzeye ulaşmasını denetlemektedir.

Singeç Vadisi içerisinde yüzeyleyen termal sular Ca-HCO₃ ve Ca-Mg-HCO₃ su tipindedir. Soğuk sular ise Ca-Mg-HCO₃ su tipindedirler. Ayrıca termal sular karışım su tipini yansıtmaktadırlar. Termal ve soğuk sular benzer kökenli sularlardır. Bu durum termal suların yüzey ve/veya yeraltı suları ile karıştığını göstermektedir. Sular ulusal ve uluslararası içme suyu standartlarına göre değerlendirildiğinde genel olarak As ve B konsantrasyonları sınır değerlerin üstündedir. Bazı sularda da Fe, Al ve Pb konsantrasyonları diğer sulara oranla yüksektir.

Sediment örneklerinin Singeç Çayı ve Keban gölüne birleşme noktalarından alınan örneklerde I_{geo} sınıflamasına göre sular As elementince çok kirli-son derece kirli; B elementince orta-çok kirli; Cd ve Sb elementince son derece kirli; Hg, Li ve Cu elementlerince kirlenmemiş-az-orta kirli; Zn ve Pb elementlerince kirlenmemiş olarak sınıflandırılmıştır. Suların kirlilik indeksi (PI) değerleri de genel olarak 1'in üstündedir ve kirlenmiş sınıfındadır. Tüm bu sınıflamalar doğal (ayrışma, hidrotermal alterasyon vb.) ve hidrojeolojik (su-kayaç etkileşimi, yıkanma ve taşınma) süreçlerin etkili olduğu termal suların çevreyi olumsuz etkilediklerini göstermektedir.

Termal sular, kaplıca uygulamalarında içme kuru şeklinde tedavi amaçlı kullanılsa da bu suların zengin iyon içerikleri sebebiyle özellikle içerisinde bulunan As ve B konsantrasyonlarının yüksek olmasından dolayı insan sağlığına olumsuz etkilerinin olacağı düşünüldüğünden uzun süreli kullanılmaması önerilmektedir.



Şekil 6. İnceleme alanından alınan sediment örneklerinin seçilmiş ağır metal ve eser element I_{geo} grafikleri.

Figure 6. I_{geo} graphics for selected heavy metal and trace elements in the sediment samples taken from the study area.

EXTENDED SUMMARY

The basement units in the study region are Paleozoic-Mesozoic Keban metamorphics and Upper Cretaceous Elazığ magmatics (Fig. 1). The Keban metamorphics are represented by marble and amphibolite in the study area. The younger (Coniacian–Campanian) Elazığ Magmatic Complex intruded into the Keban metamorphics. The Keban Metamorphic Formation was thrust over the Elazığ Magmatic Complex (Herece and Acar, 2016). In the study area, diorite is the most common magmatic rock, and granite and gabbro only outcrop locally. The other units are the Karabakır Formation (Upper Miocene–Pliocene) which comprises continental volcanics and volcanoclastics, and the Upper Cretaceous–Paleogene Harami and Karabakır Formations. The upper part of the Harami Formation comprises carbonate cemented sandstone with plenty of nummulites and ophiolitic fragments. The Kırkgeçit Formation, early Bartonian–early Chattian in age, comprises sandstone-siltstone-limestone intercalations. During the Maastrichtian, the Anatolian plate, which is bounded in the E-SE by the East Anatolian Fault, began moving westward. In the study area the Pertek fault started to move as a right-lateral strike-slip fault (Herece and Acar, 2016).

The most important reservoir rocks for thermal water in the study area are the Keban metamorphics because of high porosity and permeability. Impermeable layers (marl and clay) of the Middle Eocene–Upper Oligocene and Upper Miocene–Pliocene units are cap rocks for the thermal water aquifer. The heat source for the thermal waters is magma intrusions at depth related to Upper Miocene–Pliocene volcanism. Highly fractured and karstified metamorphic rocks, fractured limestones, basalts and alluvium are aquifers for cold ground waters in the study area.

Thermal waters are classified as Ca-Mg-HCO₃ water type according to IAH (1979). Cold mineral water and stream water have Ca-Mg-HCO₃ type. The high concentrations of Ca, Mg and HCO₃ in thermal waters are probably due to a combination of mixing cold groundwater and/or water-rock interaction and ion exchange reactions in the reservoir.

Generally, As, B, Li, Ba, Fe, Mn, Sr, Al, Cu, Zn, Cd and Pb concentrations are high in thermal waters. When the waters are evaluated according to national and international drinking water standards, As and B concentrations are high in almost all waters. Fe, Al and Pb concentrations are higher in some waters compared to others (Table 2).

The Schoeller diagram shows common trends and gives an overall idea of absolute cation (Ca²⁺, Na⁺ and Mg²⁺) and anion (Cl⁻, SO₄²⁻ and HCO₃⁻) distribution in waters as a semi logarithmic function of the concentration (meq/L). The thermal waters and cold waters display similar trends and the waters have similar origin (Fig. 4).

Some of the sediment samples collected from thermal springs in Singeç Creek are contaminated with B, As, Sb, Hg and Pb and other elements sourced in geothermal fluids. In this study, the geochemical evaluations of the presence of B, As, and other contaminants (Pb, Fe, Sb, Sn) derived from geothermal activities within sediment and water in the Pertek geothermal field and surrounded area were discussed using the geoaccumulation index and pollution index.

The I_{geo} allows benchmarking of present and pre-industrial concentrations for contamination, though it is generally difficult to obtain preindustrial sediment deposits (Özen et al., 2017). In this study, the I_{geo} for selected soil samples was calculated using the formula shown below:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5B_n}$$

where C_n is the measured concentration of the element in soil and B_n is the geochemical background value. The constant value of 1.5 allows detection of very small anthropogenic influences. I_{geo} was defined in seven grades or classes indicating almost hundred-fold enrichment above background values (Müller 1981; Yaşin et al. 2008). This classification is as follows: practically uncontaminated ($I_{geo} \leq 0$), uncontaminated to moderately contaminated ($0 < I_{geo} < 1$), moderately contaminated ($1 < I_{geo} < 2$), moderately to strongly contaminated ($2 < I_{geo} < 3$), strongly contaminated ($3 < I_{geo} < 4$), strongly to extremely contaminated ($4 < I_{geo} < 5$), and extremely contaminated ($I_{geo} \geq 5$).

According to the I_{geo} classification, the waters were very polluted by the As element in the sediment samples taken from the junction points of Singeç Creek and Keban Lake (Fig. 6). The samples moderate-very polluted with B; extremely polluted by Cd and Sb; and uncontaminated-less-moderately polluted with Hg, Li and Cu elements. The samples are classified as not contaminated by Zn and Pb elements. Water pollution index (PI) values are generally above 1 and in the polluted class (Table 4).

Pollution indices are calculated using the following equation:

$$PI = C_i / C_{ref}$$

where, C_i is the measured value of element at each sampling point, and C_{ref} is the regional background value of the heavy metal. This empirical index provides a simple, comparative means for assessing the level of heavy metal pollution. When $PI > 1$, it means that pollution exists; otherwise, if $PI < 1$, there is no metal pollution. Water pollution index (PI) values are generally above 1 and in the polluted class in the study area.

All of these classifications show that thermal waters, which are affected by natural (weathering, hydrothermal alteration, etc.) and hydrogeological





(water-rock interaction, bathing and transport) processes, affect the environment negatively. In addition, the study area is affected by not only pollution sourced from thermal waters but also from geological formations.

In summary, although thermal waters are used for therapeutic purposes in spa treatments, it is recommended that these waters should not be used for a long period of time because of their high ionic content and high concentrations of As and B, which could have negative effects on human health.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma TÜBİTAK 105Y466 No'lu proje tarafından desteklenmiştir. Yazarlar arazi ve büro çalışmalarında destek veren bursiyerler Jeoloji Mühendisleri Gamze KARVAR ve Latif EREN'e, arazi çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen bölge halkına ve önerileriyle makalenin geliştirilmesine katkıda bulunan hakemlere teşekkür ederler.

ORCID

Tuğbanur Özen Balaban  <https://orcid.org/0000-0002-2067-2774>
Özlem Öztekin Okan  <https://orcid.org/0000-0003-2934-2170>
Taylan Sançar  <https://orcid.org/0000-0002-2500-9787>
Ayten Öztüfekçi Önal  <https://orcid.org/0000-0003-2185-4884>

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

- Aksoy, E., 1993. Elazığ batı ve güneyinin jeolojik özellikleri. TÜBİTAK Yerbilimleri Dergisi, 1, 113-123.
- Aksoy, E., 1994. Pertek (Tunceli) Çevresinin Jeolojik Özellikleri ve Pertek Bindirme Fayı. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6, 1-18.
- Bingöl, A.F., 1984. Geology of the Elazığ area in the Eastern Taurus region. Geology of the Taurus Belt. Proceedings of International Symposium, Ankara, 26-29 Eylül 1983, editörler: Tekeli O., Göncüoğlu, M.C., Ankara, 209-216.

- Chon, H.T., Cho, C.H, Kim, K.W., Moon, H.S., 1996. The occurrence and dispersion of 453 potentially toxic elements in areas covered with black shales and slates in Korea. *Applied Geochemistry*, 11, 69-76.
- Çetindağ, B., 1985. Palu-Kovancılar (Elazığ) dolayının hidrojeoloji incelemesi., Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elazığ, Yüksek Lisans Tezi, 110 s., (yayımlanmamış).
- Çetindağ, B., 1989. Elazığ-Ören Çayı çevresinin hidrojeoloji incelemesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elazığ, Doktora Tezi, 270 s., (yayımlanmamış).
- Hempton, R.M., 1984. Result of detailed mapping near Lake Hazar (Eastern Taurus Mountains). *Geology of the Taurus Belt. Proceedings of International Symposium, Ankara, 26-29 Eylül 1984*, editörler: Tekeli O., Göncüoğlu, M.C., Ankara, 223 -228.
- IAH., 1979. Map of mineral ve thermal water of Europe. Scale 1:500.000, International Association of Hydrogeologists, United Kingdom.
- Kaplıcalar Yönetmeliği, 2001. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, Resmi gazete sayısı: 24472.
- MTA, 2002. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 1/500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Erzurum Paftası. Düzenleyen: Tarhan N., Editör: Şenel, M., Ankara.
- Mutlu, H., Güleç, N., 1998. Hydrogeochemical outline of thermal waters and geothermometry applications in Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 495-515.
- Müller G., 1981. Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme. *Chemiker-Zeitung*, 105: 157-164.
- Nimick, D.A., Moore, J.M., 1991. Prediction of water soluble metal concentrations in fluviially deposited tailings sediments, upper Clark ork Valley, Montana, USA, *Applied Geochemistry*, 6, 635-646.
- Nishida, H., Tada, F., Suzuki, S., 1980. Computation of the index of pollution caused by heavy metals of river sediment: Report of Research Nippon Institute of Technology, No: 10, 87-93.
- Özen, T., 2009. Salihli Jeotermal Alanlarının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 239 s.,(yayımlanmamış).
- Öztekin Okan, Ö., 2004. Kolan (Karakoçan) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı'nın Hidrojeokimyasal İncelenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Doktora Tezi 114s., (yayımlanmamış).
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Transactions. American Geophysical Union*, 25(6) 914-923.
- Piper, A.M., 1979. Interpretation of water analyses. U.S. Geological Survey Ground Water Notes, *Geochemistry*, no. 12, 14 s.
- Sağıroğlu, A., 1992. Pertek-Demürek (Tunceli) Skarn Tipi Manyetit ve İlişkili Bakır Cevherleşmeleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 35 (2), 63-70.
- Schoeller, H., 1962. Les eaux souterraines. Masson et Cie, Paris, 1, 642 s.
- Sponza, D., Karaoğlu, N., 2002. Environmental geochemistry and pollution studies of Aliğa metal industry district. *Environmental International*, 27, 541-553.
- Tarcan, G., 2003. Jeotermal Su Kimyası Ders Notları. Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir, yayımlanmamış.
- TS 266, 2005. Sular-insani tüketim amaçlı sular. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turan, M., Aksoy, E., Bingöl, A.F., 1993. Doğu Toroslar'ın Jeodinamik Evriminin Elazığ Civarındaki Özellikleri. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7, 1-23.
- WHO, 2004. Guidelines For Drinking-water Quality, Third Edition, Volume 1. Recommendations. World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü), Cenevre. 515 s.
- Yaqin, JI., Yinchang, F., Jianhi, WU., Tan, ZHU., Zhipeng, B.,Chiqing, D., 2008. Using geoaccumulation index to study source profiles of soil dust in China. *Journal Environmental Sciences*, 20, 571-578.



Kestanbol Jeotermal Akışkanının Hidrokimyasının ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi
Hydrochemistry and Environmental Impacts of Kestanbol Geothermal Fluid

Harika Marmara¹, Deniz Şanlıyüksel Yücel^{2*}, Süha Özden³, Mehmet Ali Yücel⁴

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Jeoloji Mühendisliği A.B.D., 17100 Çanakkale
²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Maden Mühendisliği Bölümü, 17100 Çanakkale
³Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 17100 Çanakkale
⁴Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Harita Mühendisliği Bölümü, 17100 Çanakkale

Geliş/Received : 09.08.2019

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 04.10.2019

• Kabul/Accepted : 12.11.2019

• Çevrimiçi Yayın/Available online : 15.01.2020

• Baskı/Printed : 31.01.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Alexandria Troas Antik Kenti'nde yer alan Kestanbol jeotermal alanı, Biga Yarımadası'nın plütonik yükselimleri ile komşu metamorfik kayaların kontakta bulunmaktadır. Bu alan aynı zamanda Kuzey Anadolu Fayı'nın güney kolunun batıya olan uzantılarını temsil eden DKD-BGB uzanımlı sağ yanal doğrultu atımlı bir fay segmenti ile kontrol edilmekte olup, Biga Yarımadası'ndaki en yüksek sıcaklığa sahip jeotermal alanlardan biridir. Kestanbol jeotermal alanında bulunan sondajdan çıkan jeotermal akışkan tesisin ısıtılması, termal turizm ve balneolojik uygulamalarda kullanılmaktadır. Jeotermal akışkan çevreye düşük debi ile sürekli olarak sızmakta ve ayrıca kaplıcanın atık suyu Ilıca deresine deşarj edilmektedir. Bu çalışmada, Kestanbol jeotermal alanında yer alan sondaj ve kaynakların hidrokimyasal karakteristiği belirlenerek, toprak ve dere sedimenti üzerindeki çevresel etkileri ve antropojenik kirlilik yaratma potansiyeli değerlendirilmiştir. Kestanbol jeotermal akışkanının sıcaklık, elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri sırasıyla 59,5-74,1°C, 30,3-35,5 mS/cm ve 6,45-6,71 arasındadır. Jeotermal kaynaklar NaCl su tipinde olup, ortalama NaCl konsantrasyonu 19511 mg/l'dir. Kestanbol jeotermal akışkanının yüksek EC değeri ve toplam çözülmüş katı madde içeriğinin yanı sıra Na⁺, Cl⁻, B, Ba, Fe ve Mn konsantrasyonu bakımından TS 266'ya göre izin verilen maksimum değerlerin üzerindedir. Ayrıca jeotermal akışkanın EC değeri ve Na⁺, Cl⁻, B ve Fe konsantrasyonu Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre çok kirlenmiş su (IV. sınıf) kalitesindedir. Kestanbol jeotermal alanında kabuklaşma problemi vardır. XRD ve SEM-EDX analizleri ile kabuğu oluşturan minerallerin kalsit, halit ve siderit olduğu tespit edilmiştir. Jeokimyasal analiz sonuçlarına göre kabuk, toprak ve dere sedimentindeki As, Fe ve Mn konsantrasyonunun Dünya kıtasal kabuk ortalama değerinden yüksek olduğu saptanmıştır. Zenginleşme faktörü ve jeobirikim indeksi değerlerine göre yoğun kayaç etkileşiminde kalan jeotermal akışkanın deşarjı sonucunda toprak ve dere sedimenti As ve Mn metal(loid)leri açısından zenginleşmiştir. Kestanbol jeotermal akışkanın ve tesisin atık suyunun çevresindeki toprağa ve Ilıca deresine deşarj edilmemesi önerilir.

Anahtar Kelimeler: Kestanbol jeotermal akışkanı, çevresel etki, hidrokimya, kabuklaşma.

Abstract: Kestanbol geothermal field, located in the ancient town of Alexandria Troas, is at the contact between plutonic intrusions and neighboring metamorphic rocks in the Biga Peninsula. This area is also controlled by an ENE-WSW striking right lateral strike-slip fault segment representing the extension of the southern branch of the North Anatolian Fault to the west and is one of the geothermal fields with highest temperature in the Biga Peninsula. Kestanbol geothermal fluid from a well is used to heat facilities for thermal tourism and balneological purposes. The

geothermal fluid continuously seeps into the environment with low flow rate and additionally, wastewater from the facility is discharged into Ilıca stream. This study was conducted to determine the hydrochemical characteristics of the well and springs located in Kestanbol geothermal field and to evaluate the environmental effects of geothermal fluids on the soil and stream sediment. The temperature, electrical conductivity (EC) and pH of Kestanbol geothermal fluids are 59.5-74.1°C, 30.3-35.5 mS/cm, and 6.45-6.71, respectively. The geothermal fluids are NaCl water type, with mean NaCl concentration of 19511 mg/L. In addition to higher EC values, and total dissolved solid content, Na⁺, Cl⁻, B, Ba, Fe and Mn concentrations of the Kestanbol geothermal fluid are above the tolerance limit of TS 266. Moreover, the geothermal fluid is heavily polluted water (class IV) according to the Turkish Inland Water Quality Regulations in terms of EC, Na⁺, Cl⁻, B and Fe. There is a scaling problem in the Kestanbol geothermal field. XRD and SEM-EDX analyses identified the minerals causing scale as calcite, halite and siderite. Arsenic, Fe and Mn concentration of scale, soil and stream sediment samples are higher than the mean value of world continental crust. According to the enrichment factor and geoaccumulation index, the geothermal fluid with intense rock interaction enriches soil and stream sediment in terms of As and Mn metal(loid)s as a result of discharge. It is recommended that geothermal fluids and waste waters from the facility should not be discharged into the soil and Ilıca stream.

Keywords: Kestanbol geothermal fluid, environmental impact, hydrochemistry, scaling.

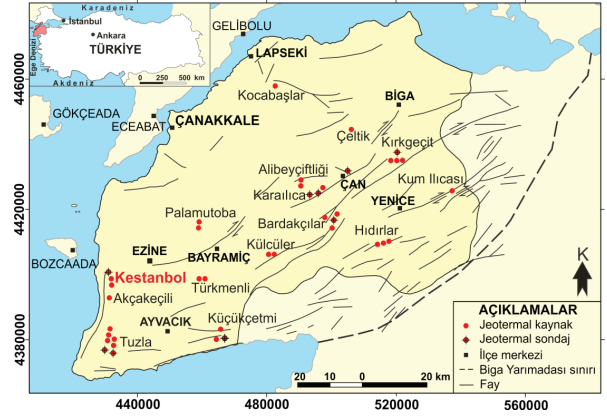
GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerji son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. 2015 yılı itibariyle, Dünya'daki elektrik üretiminde toplam santral kurulu gücü 12635 MWe'e ve doğrudan kullanım için ısı üretimi 70329 MWt'a ulaşmıştır (Bertani, 2015; Şimşek, 2015). Alp-Himalaya dağ kuşağında bulunan Türkiye, jeolojik ve aktif tektonik yapısı nedeniyle yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahiptir. Türkiye'de sıcaklıkları 20 ile 287°C arasında değişen 227 jeotermal alan ve yaklaşık 2000 adet sıcak ve mineralli su kaynağı saptanmıştır (Mertoğlu vd., 2015; Lund ve Boyd, 2016). Jeotermal akışkan tarih öncesi devirlerden günümüze kadar banyo yapmak, yemek pişirmek, bulaşık ve çamaşır yıkamak, termal turizm, balneolojik uygulamalar, seracılık, konut ısıtması, elektrik enerjisi üretimi gibi jeotermal akışkanın sıcaklığına ve kimyasına bağlı olarak çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır (Şanlıyüksel ve Baba, 2011). Gerekli önlemler alınmadığı takdirde; jeotermal akışkanın içindeki yüksek çözünmüş madde içeriği, deşarj sonrasında meydana gelen ısıl değişimler ve limit değerlerin üzerindeki metal(loid) konsantrasyonu nedeniyle çevresindeki su kaynaklarında ve tarım arazilerinde çevresel kirliliğe neden olabilmektedir (Birkle ve Merkel,

2000; Kristmannsdottir ve Armannsson, 2003; Özen Balaban vd., 2017). Türkiye'de jeotermal akışkanın deşarjı ile çevresel kirliliğe maruz kalan birçok jeotermal alan vardır. Gemici ve Tarcan (2002) Batı Anadolu'daki Germencik, Salihli, Kızıldere ve Seferhisar gibi jeotermal alanlarda yüksek bor (B) konsantrasyonu içeren jeotermal atık suyun çevreye deşarjı sonucunda yüzey ve yeraltı sularında ve tarım arazilerinde kirlenmeye neden oluşunu saptayarak, çevresel kirliliğin önlenmesi için reenjeksiyonun en uygun yöntem olduğunu vurgulamıştır. Denizli-Kızıldere jeotermal alanında yüksek B konsantrasyonu içeren jeotermal akışkanın kullanıldıktan sonra Büyük Menderes Nehri'ne deşarjı nehirde ötrofikasyona neden olup, suda yaşayan canlı hayatını olumsuz etkilemekte ve çevresindeki tarım arazilerine zarar vermektedir (Şimşek vd., 2005; Erkul, 2012). Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal alanlarında kullanılan jeotermal akışkanın Akarçay deresine deşarjı, Akarçay deresinin döküldüğü Eber Gölü'nde kirliliğe neden olmaktadır. Akarçay Havzası'nda bulunan yeraltı sularında yüksek arsenik (As), yüzey sularında ise yüksek B konsantrasyonu tespit edilmiştir (Doğdu ve Bayarı, 2005). Simav'daki Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal akışkanlarının As, B, demir (Fe) ve mangan (Mn) konsantrasyonu limit değerlerin

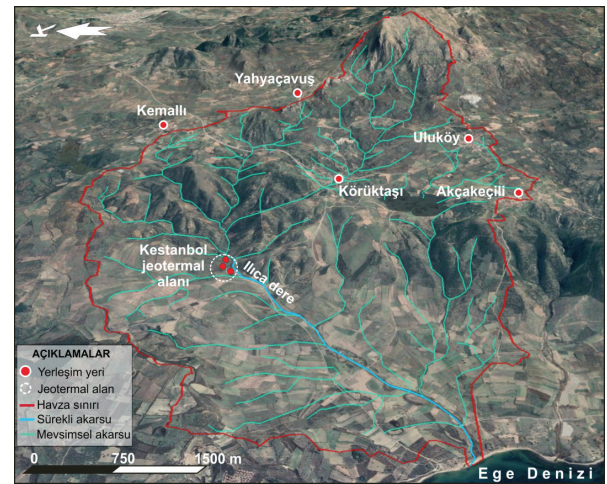
üzerinde olup, akışkanların yüzey sularına deşarj edilmesinin çevresindeki derelerde ısıl ve kimyasal kirlenmeye neden olduğu saptanmıştır (Gündüz vd., 2010; Çardak vd., 2019).

Magmatik, tortul ve metamorfik kayaların hemen hemen her türünün gözlemlendiği Biga Yarımadası, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güney segmentinde yer alması nedeni ile sismik açıdan oldukça aktif bölgelerin başındadır. Biga Yarımadası'ndaki en önemli yapısal öğeler Kuzey Anadolu Fayı'nın batı uzantıları olan KD-GB yönlü doğrultu atımlı sağ yönlü faylar, KB-GD yönlü doğrultu atımlı sol yönlü faylar, D-B yönlü normal faylar, açılma çatlakları ve diğer kırıklardır (Sarp vd., 1998). Biga Yarımadası'ndaki jeotermal kaynakların çıkış noktası fay sistemlerine ve genç volkanizmaya çoğunlukla paraleldir (Şimşek, 1997). Biga Yarımadası'nın güneydoğusunda yer alan ve Marmara Bölgesi'ndeki ikinci en önemli yükselti olan Kazdağı (1771 m) yüksek yağış miktarı ve tektonik açıdan aktif yapılarla sınırlı olması nedeniyle jeotermal sistemler için önemli bir beslenme alanı oluşturmaktadır (Yalçın, 2007). Biga Yarımadası'nın büyük bir bölümünü oluşturan Çanakkale ilinde yüzey sıcaklıkları 23-96,2°C arasında değişen 14 jeotermal alan bulunmaktadır (Şanlıyüksel Yücel vd., 2013) (Şekil 1). Koçak (2002) sınıflamasına göre orta sıcaklıklı (70-150°C) jeotermal alan sınıfında yer alan Kestanbol jeotermal alanı Çanakkale ilindeki en yüksek sıcaklığa sahip üçüncü jeotermal alandır. Kestanbol jeotermal alanının deniz seviyesinden yüksekliği 31-37 m arasında, Ege Denizi'ne olan uzaklığı ise yaklaşık 3,3 km'dir. Kestanbol jeotermal alanı 38,43 km²'lik bir havzadan beslenmekte olup, havzanın içerisinde Körüktaş, Uluköy ve Akçakeçili köyleri bulunmaktadır (Şekil 2). Alexandria Troas Antik Kenti'nde yer alan Kestanbol jeotermal alanı, M.Ö. 310 yılında Büyük İskender'in komutanlarından Antigonos Monophthalmos tarafından Helenistik Çağ'da kurulmuş ve tarihi açıdan birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır (Karagülle ve Doğan, 2002).



Şekil 1. Çanakkale ilindeki aktif faylar (Şaroğlu vd., 1992) ve jeotermal alanlar.

Figure 1. Active faults (Şaroğlu et al., 1992) and geothermal fields in Çanakkale.



Şekil 2. Kestanbol jeotermal alanının beslenme alanı.

Figure 2. Catchment area of Kestanbol geothermal field.

Kestanbol jeotermal alanında düşük debili birden çok jeotermal kaynak ve MTA tarafından 1975 yılında açılan bir sondaj bulunmaktadır. Sondajdan temin edilen jeotermal akışkan tesisin ısıtılması, termal turizm ve balneolojik amaçlar için kullanılmaktadır. Tesisin atık suyu doğrudan Ilıca deresine, sondajdan sızan jeotermal akışkan ise toprağa deşarj olmaktadır. Çalışma sahasında yapılan önceki çalışmalar çalışma alanının

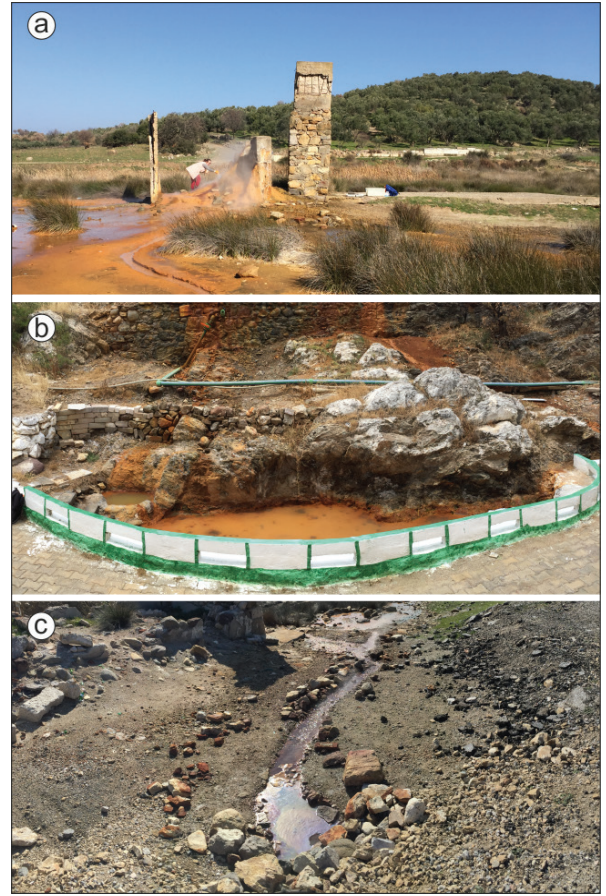
jeolojik, hidrojeolojik ve hidrokimyasal özellikleri ile jeotermal akışkanın kökeninin belirlenmesine yönelik araştırmalardan oluşmuştur (Çağlar, 1947; Yenal vd., 1975; Gevrek vd., 1986; Balderer, 1994; Mützenberg, 1997; Çağlar ve Demirörer, 1999; Baba ve Ertekin, 2007; Yalçın ve Sarp, 2012; Mutlu vd., 2014). Bu çalışmada, (i) Kestanbol jeotermal akışkanının hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi, (ii) jeotermal akışkanın sebep olduğu kabuklaşmanın karakterizasyonunun saptanması, (iii) çevreye deşarj edilen jeotermal akışkanın toprak ve dere sedimenti üzerindeki etkileri ve antropojenik kirlilik yaratma potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Saha Çalışmaları

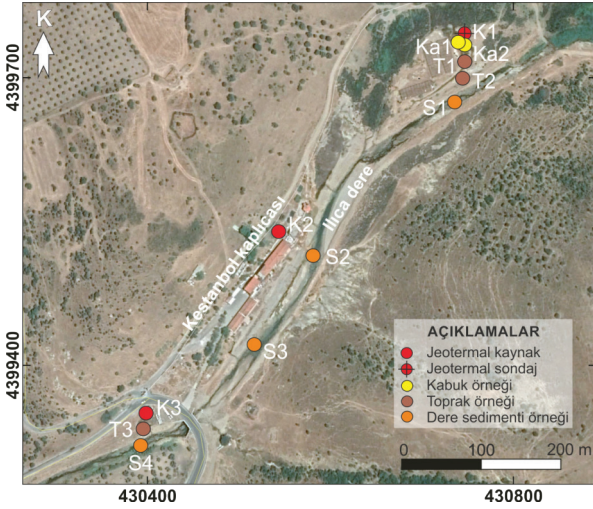
Kestanbol jeotermal alanında yer alan bir jeotermal sondaj (K1) ve iki jeotermal kaynaktan (K2 ve K3) üç farklı dönemde (Temmuz, Ekim 2018 ve Ocak 2019) örnekleme yapılmıştır (Şekil 3). Jeotermal sondaj ve kaynakların konum ve yükseklik bilgileri Garmin GPSMAP 62s el tipi GPS kullanılarak saptanmıştır. Koordinatlar Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyonu World Geodetic System 1984 (WGS84) datumu 35. dilimdedir. Jeotermal akışkanın fizikokimyasal parametrelerinden sıcaklık, elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri WTW Multi 340i cihazı kullanarak arazide ölçülmüştür. Propların günlük kalibrasyonları tampon çözeltiler kullanılarak yapılmıştır. İndüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) analizi için alınan su örnekleri, 0,45 µm gözenekli filtre ile filtrelenerek ilk kez kullanılan polietilen 50 ml'lik kaplara alınmıştır. Elementlerin dibe çökmelerini ve yüzeye tutunmalarını önlemek amacıyla, su örneklerinin pH'nın 2'nin altına düşmesi için 0,2 ml derişik nitrik asit (HNO₃) ilave edilmiştir. Filtreleme işlemi, iyon kromatografisi (IC) analizleri için alınan örneklerde de tekrarlanmıştır ancak, HNO₃ ilavesi yapılmamıştır. Tüm örnekler

su kabında hava kabarcığı kalmayacak şekilde doldurularak arazi tipi buzdolabında (+4°C) saklanmıştır. Ayrıca jeotermal akışkanın çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla Ocak 2019 tarihli arazi çalışmasında kabuktan, topraktan ve dere sedimentinden örnekler alınmıştır (Şekil 4). Kabuk örnekleri (Ka1 ve Ka2) jeotermal sondajın çıkış noktasındaki farklı birikimlerden temsili olacak şekilde yaklaşık 1 kg olarak alınmıştır. Toprak (T1-T3) ve dere sedimenti (S1-S4) örnekleri kürek yardımı ile 0-20 cm derinlikten, 7 farklı lokasyondan yaklaşık 1 kg olarak alınmıştır.



Şekil 3. a) Kestanbol jeotermal sondajı (K1). b) ve c) Kestanbol jeotermal kaynakları (K2 ve K3).

Figure 3. a) Kestanbol geothermal well (K1). b) and c) Kestanbol geothermal springs (K2 and K3).



Şekil 4. Jeotermal akışkan, kabuk, toprak ve dere sedimenti örneklerinin konumu.

Figure 4. Sampling locations for geothermal fluid, scale, soil and stream sediment.

Laboratuvar Çalışmaları

Jeotermal akışkanın sodyum (Na^+), potasyum (K^+), kalsiyum (Ca^{+2}), magnezyum (Mg^{+2}), B, baryum (Ba), Fe ve Mn analizleri PerkinElmer Optima 8000 markalı ICP-OES cihazı ile yaptırılmıştır. Sülfat (SO_4^{-2}) ve klorür (Cl^-) analizleri Shimadzu LC-20A SP markalı IC cihazı ile ölçülmüştür. ICP-OES ve IC analizleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yaptırılmıştır. Jeotermal akışkanın bikarbonat (HCO_3^-) tayini örneklemelerin yapıldığı günde Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Laboratuvarı'nda titrasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Kabuk, toprak ve dere sedimenti örneklerinin majör ve iz element bileşimi LiBO_2 füzyon metodu ve STD SO-18 standart materyali kullanılarak induktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) (Elan 9000, PerkinElmer SCIEX) ile saptanmıştır. ICP-MS analizi Bureau Veritas Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Kabuk, toprak ve dere sedimenti örneklerinin mineralojik bileşimi X-ışını kırınım (XRD) analizi ile Maden Tetkik ve

Arama Genel Müdürlüğü Mineraloji ve Petrografi Araştırma Birimi'nde yaptırılmıştır. Standart kalitatif XRD analizinde Philips PW 1830 Ni filtreli Cu X-ışın tüplü cihazı kullanılarak çekimler $2-70^\circ$ arasında gerçekleştirilmiştir. Kabuk, toprak ve dere sedimenti örneklerinin kristal morfolojisi ve elementel içeriğini belirlemek amacıyla alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (SEM) (JEOL JSM-7100F) ve X-ışını spektroskopisi (EDX) (Oxford Instruments X-Max) analizleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yaptırılmıştır.

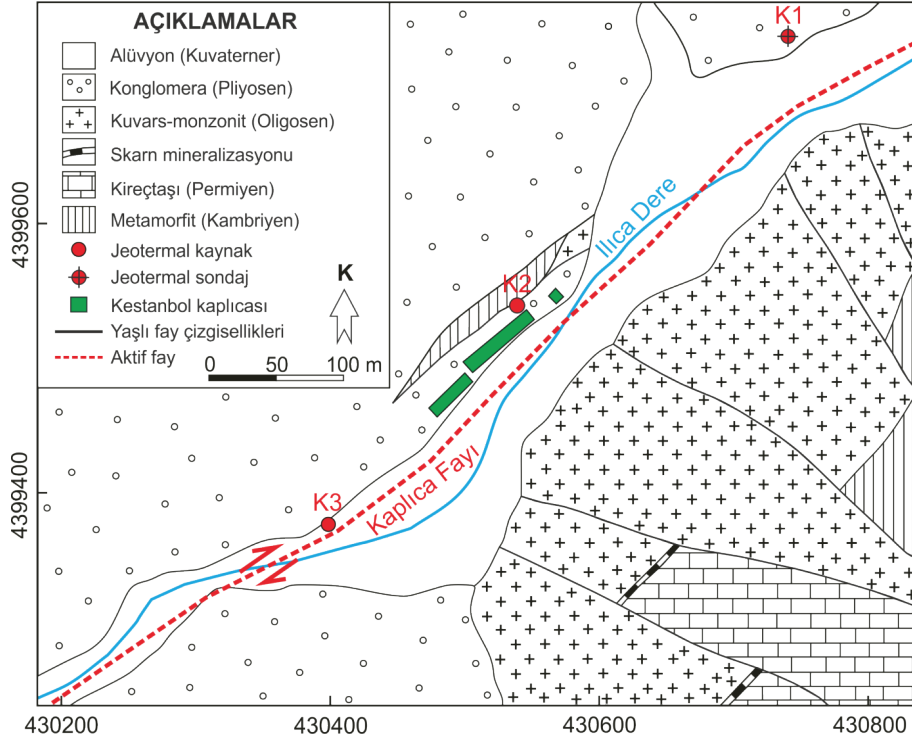
BULGULAR

Çalışma Sahasının Jeolojisi

Kestanbol jeotermal alanın temelinde düşük dereceli metamorfizmaya uğramış klorit, muskovit, fillit, şist ve mermer türü kayalardan oluşan Kambriyen yaşlı Geyikli Metamorfitleri (Beccalotto, 2003) yer almaktadır (Şekil 5). Permien yaşlı Bozalan Formasyonu bu birimi uyumsuz olarak üzerlemektedir. Bu birim ilk kez Kalafatçıoğlu (1963) tarafından Permien kalkerleri olarak adlandırılmış, daha sonra Beccalotto ve Jenny (2004) tarafından, rekristalize kireçtaşları, düşük dereceli metamorfizmaya uğramış meta-kumtaşları ve meta-çamurtaşlarından oluşan Geç Permien yaşlı Bozalan Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı kuvars monzonit, monzonit, monzonit porfir ve granit türü kayalardan oluşan Kestanbol Plütону, Geyikli Metamorfitleri ve Bozalan Formasyonu'nu keserek bölgeye yerleşmiştir (Gözler vd., 1984). Arazi çalışmalarında Kestanbol jeotermal alanı ve çevresinde yüzlek veren granitlerin alterasyon sonucu yer yer arenileşmiş olduğu gözlenmiştir. Mützenberg (1997) Kestanbol Plütону'nun temel kayaların içine sokulmuş ve temel kayalarla dokanağında kontakt metamorfizma zonu ve skarn mineralizasyonu geliştiğini ifade etmiştir. Bu birimler Siyako vd. (1989) tarafından

adlandırılan Pliyosen yaşlı konglomera, kumtaşı ve yer yer kireçtaşlarıyla temsil edilen Bayramiç Formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Kuvaterner yaşlı tutturulmamış kil, kum ve çakıldan oluşan, Ilıca deresinde yüzlek veren alüvyon çalışma alanındaki tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir.

segmentleri (Tuzla, Kestanbol Fayları vb.) bölgenin küçük-orta büyüklükteki deprenselliğinin kaynakları konumundadır. Kestanbol jeotermal alanında MTA tarafından 1975 yılında 290,7 m derinliğinde bir sondaj açılmış olup, jeotermal akışkanın debisi 25 l/sn olarak saptanmıştır. Sondajın 100-139 m ve 237-290 m arasında



Şekil 5. Kestanbol jeotermal alanının jeoloji haritası (Mützenber, 1997'den değiştirilerek).

Figure 5. Geological map of the Kestanbol geothermal field (modified from Mützenber, 1997).

Kestanbol jeotermal alanı çevresinde Miyosen'den günümüze kadar gelişen tektonik aktiviteler farklı doğrultulardaki faylanmalar bölgedeki etkinliğini göstermektedir (Şamilgil, 1966). Çalışma alanında Ilıca deresine paralel olarak uzanan DKD-BGB uzanımlı sağ yönlü doğrultu atımlı Kaplıca Fayı bulunmaktadır. Fay, doğuda metamorfite ile granitlerin dokanağında başlayıp, batıda muhtemelen denizin içinde de devam ederek son bulurken yaklaşık 10 km uzunluğa ulaştığı düşünülmektedir. Farklı doğrultularda uzanan bu fay ve benzeri aktif fay

iki basınçlı akifer vardır ve jeotermal akışkan artezyen etkisi ile yüzeye ulaşmaktadır (Ölmez, 1976). Çağlar ve Demirörer (1999), Kestanbol jeotermal alanında jeolojik çalışmalar ve doğal gerilim yöntemi ile jeofizik kesitler hazırlayarak jeotermal akışkanının debisini arttırmak için jeotermal alanının güneybatısında 100-150 m derinlikte yeni bir sondaj yeri önermiştir. Şimşek (1997), Kestanbol jeotermal alanındaki rezervuar kayacın granit, siyenit ve gnays, örtü kayacın ise kumtaşı, konglomera, masif gnays ve granitten oluştuğunu ifade etmiştir. Baba ve Sözbilir (2012),

Kestanbol jeotermal alanının ısıtıcı kayacının Kestanbol Plütönu olduğunu vurgulamıştır. Yalçın ve Sarp (2012), Kestanbol jeotermal akışkanının kökenini derine yerleşmiş hareketsiz sıcak fosil suyun yükseklerden yeraltına sızan soğuk sular ile seyrelip, soğuması sonucunda oluştuğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, Kestanbol jeotermal akışkanı ısıtıcı kaynağının plütönik kayalar ve jeotermal gradyan olduğu düşünülmektedir. Jeotermal akışkan, orta-derin dolaşımında ısınarak yeryüzüne yakın bölgedeki temel birimlerin dokanakları, kayalar içerisindeki çatlakları ve aktif fay segmentlerini kullanarak yüzeye çıkmaktadır. Ilıca deresi boyunca uzanan Kaplıca Fayı bu alanda jeotermal kaynağı kontrol eden temel unsurdur. Jeotermal kaynakların DKD-BGB doğrultulu bu fay boyunca sıralanması bunun en önemli göstergesidir.

Jeotermal Akışkanın Hidrokimyası

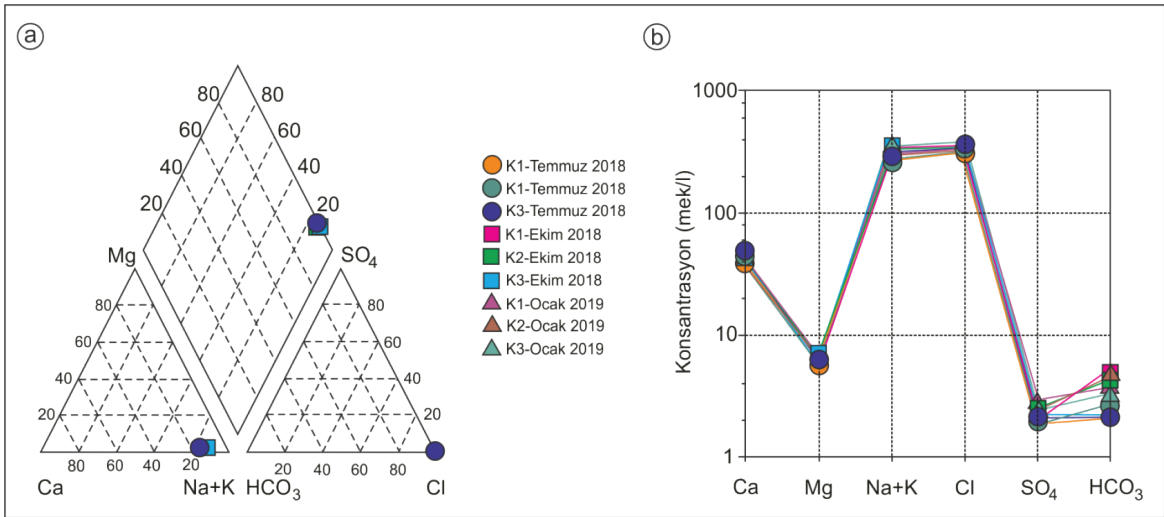
Kestanbol jeotermal sondaj ve kaynaklarının yüzey sıcaklık ve pH değerleri sırasıyla 59,5 ile 74,1°C ve 6,45 ile 6,71 arasındadır (Çizelge 1). Jeotermal akışkanın EC değeri 30,3 ile 35,5 mS/cm arasında olup, ortalama değeri 32,96 mS/cm'dir. Jeotermal akışkanın EC değerleri Erguvanlı ve Yüzer (1973) tarafından yapılan sınıflamada "kullanılmayacak sular" sınıfındadır. Sudaki çözülmüş toplam iyon miktarı ile EC değerleri arasında genellikle doğrusal bir ilişki vardır (Şahinci, 1991; Şanlıyüksel Yücel ve Yücel, 2017). Kestanbol jeotermal akışkanının EC değeri TS 266 (2005) tarafından izin verilen maksimum değer olan 2,5 mS/cm'in yaklaşık 13 kat üzerindedir. Toplam çözülmüş katı madde miktarı (TDS) EC değerinin 0,55 ile 0,75 arasında bir değer ile (genellikle 0,67) çarpılmasıyla hesaplanır (Chapman ve Kimstach, 1996). Hesaplanan TDS değeri 20,3 ile 23,79

mg/l arasında olup, ortalama değeri 22,08 mg/l'dir. Jeotermal akışkanının kimyasal karakteristiği belirlenerek elde edilen analiz sonuçları jeotermal akışkanın litoloji ile ilişkileri ve dolaşım sistemleri boyunca meydana gelen hidrojeokimyasal süreçler hakkında bilgi vermektedir. Su fasiyesini belirlemek amacı ile majör iyon analiz sonuçları Piper (1944) diyagramında gösterilmiştir (Şekil 6a). Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) su sınıflamasına göre Kestanbol jeotermal akışkanının su tipi NaCl olup, ortalama NaCl konsantrasyonu 19511 mg/l'dir. Jeotermal akışkanın majör katyon dizilimi $Na^+ > Ca^{+2} > K^+ > Mg^{+2}$, anyon dizilimi $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$ şeklindedir. Schoeller (1955) diyagramına göre çizgilerin birbirine paralel olması akışkanın benzer kökenli beslenme alanı ve rezervuara sahip olduğunu göstermektedir. Schoeller diyagramında jeotermal sondaj ve kaynaklar birbirine paralel bir dizilimdedir (Şekil 6b). Jeotermal akışkanın ortalama Na/K oranı 8,79'dur. Düşük Na/K oranı (<15), daha az soğuk su ile karışarak, yüzeye kısmen hızla ulaşan yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynaklarda ortaya çıkma eğilimindedir (Nicholson, 1993). Yalçın ve Sarp (2012) tarafından Kestanbol jeotermal akışkanının rezervuar sıcaklığı SiO_2 , Na/K, Na/K/Ca ve Na/Li jeotermometrelerine göre sırasıyla 156, 251, 239 ve 139°C olarak hesaplanmıştır. Baba ve Ertekin (2007) K1 no'lu jeotermal sondajın trityum içeriğinin 0,22 TU olduğunu belirtmiştir. Jeotermal akışkanın düşük trityum içeriği dolaşım yaşının 55 yıldan fazla olduğunu göstermektedir. Yüksek Cl^- konsantrasyonu doğrudan, derinden ve yüksek debili bir beslenmeyi, düşük Cl^- konsantrasyonu ise yüzey sularının giriş doğrultularını belirtir (Eroğlu ve Aksoy, 2003). Düşük trityum içeriği, yüksek EC değeri ve Cl^- konsantrasyonu Kestanbol jeotermal akışkanının derin dolaşım sular olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. Kestanbol jeotermal akışkanının hidrokimyasal özellikleri.

Table 1. Hydrochemical characterization of Kestanbol geothermal fluid.

Örnek Adı	Örnekleme tarihi	Yüze sıcaklığı °C	pH	EC		TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	B	Ba	Fe	Mn
				mS/cm	mg/l												
K1		72,3	6,71	30,9	20,7	5921	670	785	64	11389	133	90	10,66	1,24	6,8	1,1	
K2	Temmuz 2018	63,1	6,6	32,8	21,98	6130	720	845	69	11921	166	90	10,43	1,41	3,06	1,34	
K3		69,5	6,45	35,2	23,58	6893	810	961	67	13339	133	100	11,76	1,85	8,8	1,45	
K1		74	6,5	30,3	20,3	7457	862	812	72	12706	300	98	11,64	1,35	9,04	1,79	
K2	Ekim 2018	59,5	6,61	32,9	22,04	7340	802	819	80	12415	266	122	19,11	1,5	5,13	1,65	
K3		69,4	6,5	35,2	23,58	7552	936	795	87	13427	166	108	9,31	1,75	10,96	1,83	
K1		74,1	6,61	31,9	21,37	7123	709	879	73	12387	240	140	15,17	1,23	5,08	1,07	
K2	Ocak 2019	60,6	6,53	32	21,44	6544	684	956	79	12018	266	120	16,8	1,41	2,94	1,25	
K3		68,9	6,47	35,5	23,79	7566	915	1034	71	13472	200	120	16,9	1,5	10,03	1,31	
Minimum		59,5	6,45	30,3	20,3	5921	670	785	64	11389	133	90	9,31	1,23	2,94	1,07	
Maksimum		74,1	6,71	35,5	23,79	7566	936	1034	87	13472	300	140	19,11	1,85	10,96	1,83	
Ortalama		67,93	6,55	32,96	22,08	6947,33	789,78	876,22	73,55	12563,78	207,77	109,77	13,53	2,12	6,87	1,42	
TS 266 (2005)		25	6,5-9,5	2,5	-	200	-	-	-	250	-	250	1	-	0,2	0,05	
Yerüsti Su Kalitesi Yönetmeliği, Su Kalite Sınıfı (2015)		IV	I	IV	-	IV	-	-	-	IV	-	I	IV	II	IV	III	



Şekil 6. a) Kestanbol jeotermal akışkanın Piper diyagramında değerlendirilmesi. b) Kestanbol jeotermal akışkanın Schoeller diyagramında değerlendirilmesi.

Figure 6. a) Piper diagram for Kestanbol geothermal fluid. b) Schoeller diagram for Kestanbol geothermal fluid.

Jeotermal Akışkanın Çevresel Etkileri

Kestanbol jeotermal alanında K1 no'lu sondajdan çıkan jeotermal akışkan çevreye düşük bir debi ile sürekli olarak sızmaktadır. Bu nedenle sondajın çevresindeki toprağın rengi değişerek kırmızı-kahverengi olmuştur (Şekil 7a). Kaplıcanın atık suyu Ilıca deresine deşarj edilmektedir ve arazi çalışmalarında deşarj sonucunda Ilıca deresinde sıcaklık artışı ve renk değişimleri gözlenmiştir (Şekil 7b). Ocak 2019 tarihinde jeotermal atık suyun Ilıca deresine karıştığı yerlerde sıcaklık 26,9-32,2°C arasında ölçülmüştür. Kestanbol jeotermal akışkanı sıcaklık ve EC değerlerinin yanı sıra Na⁺, Cl⁻, B, Fe ve Mn konsantrasyonu bakımından TS 266'ya (2005) göre izin verilen maksimum değerlerin üzerindedir. Ayrıca Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne (2015) göre jeotermal akışkan sıcaklık, EC, Na⁺, Cl⁻, B ve Fe çok kirlenmiş (IV. sınıf) su olarak sınıflanmıştır. Ayrıca jeotermal akışkan Mn konsantrasyonuna göre III. sınıf su kalitesinde, Ba konsantrasyonuna göre II. sınıf su kalitesindedir. Şanlıyüksel Yücel vd. (2013), Kestanbol jeotermal akışkanının B, Ba, Fe, lityum (Li), Mn ve stronsiyum (Sr)

konsantrasyonun sırası ile 15,01, 1,8, 14,99, 13,96, 1,69 ve 60,64 mg/l olduğunu saptamıştır. Baba ve Sözbilir (2012), Kestanbol jeotermal akışkanındaki As konsantrasyonunun 184,3 µg/l olduğunu ve TS 266 (2005) limit değeri olan 10 µg/l'den oldukça yüksek olduğunu ifade etmiştir.

Bor, bitkilerin büyümesi için temel element olmasına rağmen, sınır değerini aşılması durumunda bitkiler ölmekte ve birikerek toprağın çoraklaşmasına yol açmaktadır. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde (2015) B için belirtilen limit değer 1 mg/l'dir. Biga Yarımadası'nda Tuzla, Kestanbol, Kepekler, Gönen, Manyas, Çan, Alibey, Palamutoba, Güre, Şanlı-Ilıca gibi jeotermal alanlarda belirlenen B konsantrasyonu limit değerden yüksektir (Yalçın ve Sarp, 2012). Tarım arazilerinin bulunduğu ovalarda derindeki jeotermal akiferden yüzeye yakın kesimlerdeki soğuk su akiferine sızıntı ile karışan sular bu akiferlerde B konsantrasyonunun artmasına neden olabilmektedir. Tarım arazilerinin bu akiferlerden beslenen sondajlarla sulanması sırasında B toprağa karışarak toprağın verimsizleşmesine sebep olmaktadır. Kestanbol kaplıcasında kullanılan

jeotermal akışkan kullanıldıktan sonra Ilıca deresine deşarj edilmekte ve batıya doğru Ilıca dere ile taşınarak Ege Denizi'ne drene olmaktadır. Ayrıca Ilıca deresi yüzey akım yolu boyunca, alüvyon akiferden geçmekte ve mevsimsel olarak alüvyon akiferi beslemektedir. Kestanbol jeotermal akışkanı yüksek konsantrasyonda As, B, Fe ve Mn içermesi nedeni ile alüvyon akiferi kirletebilir özelliktedir.

olursa suda yüksek oranda Na^+ bulunduğunu ve sulama için uygun olmadığını gösterir. Yüksek Na^+ konsantrasyonu topraktaki geçirgenliği azaltarak, bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir. Hesaplanan KI değeri 5,25 ile 7,01 arasında olup, ortalama değer 6,1'dir. Elde edilen sonuçlara göre Kestanbol jeotermal akışkanının çevreye deşarjı uygundur.



Şekil 7. a) Sondajdan toprağa sızan jeotermal akışkan. b) Kaplıcanın atık suyunun Ilıca deresine deşarjı.
Figure 7. a) Leakage from the well to soil. b) Discharge of waste geothermal fluid into Ilıca stream.

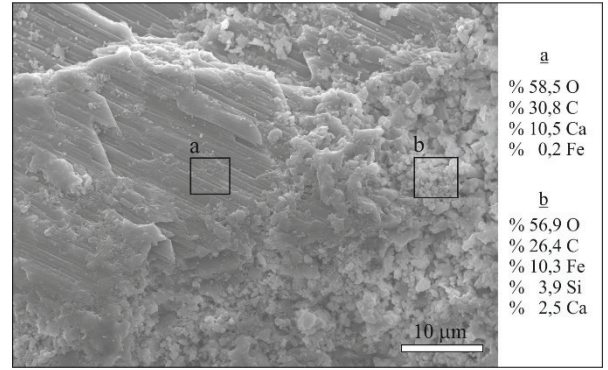
Bu çalışmada, hidrokimyasal analiz sonuçları sodyum absorpsiyon oranı (SAR) (Richards, 1954) ve Kelly indeksi (KI) (Kelly, 1963) kullanılarak jeotermal akışkanın çevreye deşarjının uygunluğu değerlendirilmiştir (Eşitlik 1 ve 2). Hesaplamalarda kullanılan tüm iyon konsantrasyonları mek/l'dir. SAR değeri 26'dan büyük ise sulama için uygun olmayan su sınıfını göstermektedir. Kestanbol jeotermal akışkanının SAR değeri 54,52 ile 67,89 arasında olup, ortalama SAR değeri 60,67 olarak hesaplanmıştır. Kelly indeksi 1'den küçük ise sulama için uygun olup, bu değer 1'den büyük

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})}{2}}} \quad (1)$$

$$\text{Kelly indeksi (KI)} = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}} \quad (2)$$

Yüksek sıcaklık ve yüksek basınç ortamında kayaç ile akışkanın etkileşimde olmaları, minerallerin çözünerek jeotermal akışkanın toplam çözünmüş madde miktarının artmasına

yol açmaktadır. Çözünen mineraller belirli termodinamik koşullarda duraylıdır, ancak bu koşulların değişmesiyle mineraller akışkanda doygun hale gelerek çökebilir (Haklıdır Tut, 2017). Kabuklaşma (mineral çökmesi) jeotermal akışkanın geçtiği kıyı, boru hattı vb. yerlerde akışkanın içerisindeki element ve bileşiklerin uygun koşullar sağlandığı takdirde çökerek mineral ve katı bileşikler oluşturması olarak tanımlanmaktadır (Aksoy, 2007). Kestanbol jeotermal akışkanı yüzeye ulaştığında değişen sıcaklık ve basınç koşulları ile mineral çökmesi meydana gelmektedir. Kestanbol jeotermal akışkanın sebep olduğu kabuklaşma arazide genellikle sarı ve turuncu, yer yer beyaz renklere gözlenmiştir. ICP-MS analiz sonuçlarına göre kabuk %30,35 Fe₂O₃, %25,19 CaO, %12,65 SiO₂, %1,04 Na₂O, %0,44 MnO, %0,23 K₂O, %0,22 MgO ve %0,01 Al₂O₃ bileşimindedir. Metal(loid) konsantrasyonu Fe>Mn>As>Al>Zn>Pb>Ni diziliminde olup, As, Fe ve Mn konsantrasyonu Krauskopf (1979) tarafından belirlenen Dünya kıtasal kabuk ortalama değerinden yüksektir (Çizelge 2). XRD analizine göre kabuk, kalsit ve halit minerallerinden oluşmaktadır. SEM-EDX analizi ile kabuk örneklerinde kalsit ve halit minerallerinin yanı sıra XRD analizi ile tespit edilmeyen siderit olduğu düşünülen FeCO₃ mineralleri saptanmıştır (Şekil 8). EDX analiz sonuçlarına göre siderit mineralinin bileşimi %10,3 Fe, %26,4 C ve %56,9 O'den oluşmaktadır. Ayrıca kabuk örneklerinin EDX analizlerinde O, C, Fe, Ca, Si, Na, Cl, Al, Mg ve Mn saptanmıştır. Kestanbol jeotermal sondajındaki kabuklaşma problemi tesise ısıtma ve balneolojik amaçlar için taşınan akışkanın boruların daralması veya tıkanması ile debinin ve ısı transferinin azalmasına ve verim kaybına sebep olabilir.



Şekil 8. Kabuk örneğinde saptanan kalsit ve siderit minerallerinin SEM görüntüsü ve EDX analiz sonuçları.

Figure 8. SEM image of calcite and siderite minerals in scale and EDX analyses.

Toprak örnekleri ICP-MS analizine göre %43,88CaO,%8,2Fe₂O₃,%6,64SiO₂,%1,21Na₂O,%0,68Al₂O₃ ve %0,65MnO'ten oluşmaktadır. Toprağın metal(loid) konsantrasyonu dizilimi sırası ile Fe>Mn>Al>As>Zn>Pb>Ni olup, As, Fe ve Mn konsantrasyonu kıtasal kabuk ortalama değerinden yüksektir. Toprak mineralojik olarak kalsit, halit, plajioklas ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır. SEM analizi ile toprak örneklerinde kalsit mineralleri saptanmış olup, EDX analizi ile kalsitin %9,5 Ca, %29,6 C ve %60,4 O'den oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 9a). Toprak örneklerinin EDX analizinde O, C, Ca, Fe, Si, Na, Cl, Al, Mn, Mg ve K elementleri tespit edilmiştir. Ayrıca SEM-EDX analizleri ile toprak örneklerinde farklı türlere ait 2-4 µm genişliğinde ve 8-12 µm uzunluğunda silindir şeklinde, gözenekleri 250-330 nm çapında diyatom kavkuları saptanmıştır (Şekil 9b). Diyatom, kavkuları amorf silisten oluşan, ökaryotik, tek hücreli, her türlü sucul ortamda yaşayabilen mikroskobik algdir. Bu amorf silis çeşitli oranlarda Al, Fe, Ca, Mg, Na, K elementlerinin silikatları ile birlikte bulunmaktadır

Çizelge 2. Kabuk, toprak ve sediment örneklerinin metal(loid) konsantrasyonları, zenginleşme faktörü (EF) ve jeobirikim indeksi (I_{geo}) değerleri.

Table 2. Metal(loid) concentrations of scale, soil and sediment, and degree of contamination.

		Al	As	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Kabuk (n=2)		100	462,6	212300	3400	0,1	0,45	5,5
Toprak (n=3)	mg/kg	3600	76,45	57400	5000	1,85	4,9	5,25
Sediment (n=4)		63000	231,85	90700	1100	20,7	35,8	46
Dünya kıtasal kabuk ortalaması*		81000	1,8	54000	1000	75	12,5	70
Zenginleşme faktörü (EF)	Kabuk	0,0003	65,36	-	0,86	0,0003	0,009	0,01
	Toprak	0,041	40,05	-	4,7	0,02	0,36	0,07
	Sediment	0,46	76,68	-	0,65	0,16	1,7	0,39
Jeobirikim indeksi (I_{geo})	Kabuk	-10,24	7,42	1,39	1,18	-10,13	-5,38	-4,25
	Toprak	-5,07	4,82	-0,49	1,73	-5,92	-1,93	-4,32
	Sediment	-0,94	6,42	0,16	-0,44	-2,44	0,93	-1,19

*Krauskopf (1979)

(Özbey ve Atamer, 1987). Diyatomlar ekosistemdeki değişiklikleri yansıtmaları sebebi ile biyoizleme çalışmalarında biyoindikatör olarak kullanılmaktadır (Cattaneo vd., 2011; Şanlıyüksel Yücel ve Baba, 2018). EDX analiz sonuçlarında diyatomun kimyasal bileşimi temel olarak %68,5 O ve %15,3 Si'dan oluşmaktadır. Dere sedimentinin kimyasal bileşimi SiO_2 (%49,75), Fe_2O_3 (%12,97), Al_2O_3 (%11,9), CaO (%6,11), Na_2O (%3,18), K_2O (%3,06) ve MgO 'ten (%1,47) oluşmaktadır. Dere sedimentinin metal(loid) konsantrasyonu $Fe > Al > Mn > As > Zn > Pb > Ni$ diziliminde olup, As, Fe ve Mn konsantrasyonu kıtasal kabuk ortalama değerinden yüksektir. XRD analiz sonuçlarında dere sedimentinin kuvars, illit/mika, aktinolit-tremolit, plajiolklas, alkali feldspat, pirit, smektit grubu mineral, kalsit, kaolen grubu mineral, halit minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir. EDX analizi ile dere sedimentinde O, C, Si, Fe, Al, Ca, Na, K, Mg ve Mn tespit edilmiştir.

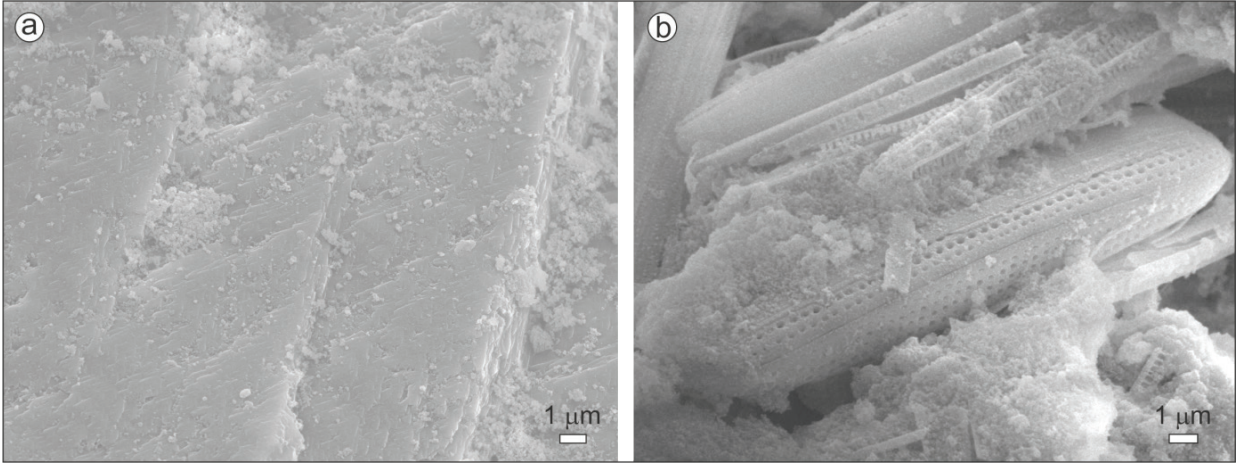
Jeotermal akışkanın toprak ve dere sedimenti üzerindeki antropojenik kaynaklı metal(loid) kirliliğinin saptanmasında kantitatif indekslerden olan zenginleşme faktörü (EF) ve

jeobirikim indeksinden (I_{geo}) yararlanılmıştır (Eşitlik 3 ve 4). EF, ölçümü yapılan elementlerin ve background (temel) değerlerin referans elementlere oranlanması ile hesaplanır. Kullanılan referans elementler genellikle Al, Fe ve Mn'dır (Liu vd., 2005; Şanlıyüksel Yücel, 2019). Bu çalışmada zenginleşme faktörü hesaplanırken referans element olarak Fe kullanılmıştır. EF ve I_{geo} hesaplamalarında Dünya ortalama kıtasal kabuk değerleri background değerler olarak kullanılmıştır. Sutherland (2000), EF değerini beş ayrı kirlilik sınıfında değerlendirmiştir (Çizelge 3). Müller (1979; 1986) I_{geo} sonuçlarını yedi ayrı sınıfta değerlendirmiştir (Çizelge 4).

$$EF = \frac{(C_x/C_{ref})_{örnek}}{(C_x/C_{ref})_{background}} \quad (3)$$

$(C_x/C_{ref})_{örnek}$: Örnekte ölçülen metal(loid) konsantrasyonunun aynı örnekte ölçülen Fe konsantrasyonuna oranı,

$(C_x/C_{ref})_{background}$: Kıtasal kabuktaki metal(loid)in Fe konsantrasyonuna oranıdır.



Şekil 9. a) Toprak örneklerinde saptanan kalsit mineralinin SEM görüntüsü. b) Toprak örneklerinde saptanan diatom morfolojilerinin SEM görüntüsü.

Figure 9. a) SEM image of calcite mineral in soil. b) SEM image of diatom morphologies in soil.

Çizelge 3. Zenginleşme faktörü sınıflaması (Sutherland, 2000).

Table 3. Classification of enrichment factor (Sutherland, 2000).

Değer aralıkları	Sediment kalitesi
EF < 2	Az zenginleşme
2 ≤ EF < 5	Orta derecede zenginleşme
5 ≤ EF < 20	Önemli derecede zenginleşme
20 ≤ EF < 40	Çok yüksek miktarda zenginleşme
EF ≥ 40	Aşırı miktarda zenginleşme

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1,5B_n} \quad (4)$$

C_n : Örnekte ölçülen metal(loid) konsantrasyonu,
 B_n : İlgili metal(loid) konsantrasyonunun kıtasal kabuktaki background değeridir. Hesaplama kullanılan 1,5 sabit değeri background değerindeki litojenik etkilere bağlı olarak olası küçük değişimlerin etkisini en aza indirmek için kullanılmaktadır (Salah vd., 2012; Şanlıyüksel Yücel ve Baba, 2018).

Çizelge 4. Jeobirikim indeksi sınıflaması (Müller, 1979; 1986).

Table 4. Classification of geoaccumulation index (Müller, 1979; 1986).

Değer aralıkları	Sınıf	Sediment kalitesi
$I_{geo} < 0$	0	Kirlenmemiş
$0 < I_{geo} < 1$	1	Kirlenmemiş-orta kirlenmiş
$1 < I_{geo} < 2$	2	Orta kirlenmiş
$2 < I_{geo} < 3$	3	Orta-çok kirlenmiş
$3 < I_{geo} < 4$	4	Çok kirlenmiş
$4 < I_{geo} < 5$	5	Çok-aşırı kirlenmiş
$I_{geo} > 5$	6	Aşırı kirlenmiş

Kabuk, toprak ve dere sedimenti örneklerinde hesaplanan EF-As değerleri 40'tan büyük olduğu ve Sutherland (2000) EF sınıflamasına göre örneklerin As açısından aşırı miktarda zenginleşme gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 2). Toprak örneği için hesaplanan EF-Mn değeri 4'ten büyük olup, Mn orta derecede zenginleşme göstermektedir. Diğer metallerin EF değeri 2'den küçük olarak hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama I_{geo} sonuçlarına göre metal(loid) birikim düzeyleri

sıralaması; kabukta $As>Fe>Mn>Zn>Pb>Ni>Al$, toprakta $As>Mn>Fe>Pb>Zn>Al>Ni$ ve dere sedimentinde $As>Pb>Fe>Mn>Al>Zn>Ni$ diziliminde olduğu tespit edilmiştir. Müller (1979; 1986) sınıflamasına göre kabuktaki I_{geo} -As değeri sınıf 6'da, I_{geo} -Fe ve Mn değeri sınıf 2'de yer almaktadır. Topraktaki I_{geo} -As değeri sınıf 5'te ve I_{geo} -Mn ise sınıf 2'dedir. Dere sedimentindeki I_{geo} -As sınıf 6'da ve I_{geo} -Fe ve Pb sınıf 1'de yer almaktadır. Tüm örneklerde I_{geo} -Al, Ni ve Zn değerlerinin 0'ın altında olması nedeni ile bu metaller herhangi bir kirlilik sunmamaktadır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kestanbol jeotermal alanı jeolojik ve morfolojik özellikleri, jeotermal kaynakları, Ege Denizi'ne olan yakın konumu gibi farklı özelliklerine bağlı olarak tarih boyunca ilgi odağı olmuştur. Bu çalışmada Kestanbol jeotermal alanında bulunan bir jeotermal sondaj ve iki jeotermal kaynağın hidrokimyasal özellikleri belirlenerek, çevre üzerindeki etkileri saptanmıştır. Jeotermal akışkanın sıcaklığı 59,5 ile 74,1°C arasında değişmektedir. Yüksek EC değerine sahip akışkan NaCl su tipinde olup, toplam ortalama NaCl konsantrasyonu 19511 mg/l'dir. Kestanbol jeotermal akışkanının EC değeri ve Na^+ , Cl^- , B, Ba, Fe ve Mn konsantrasyonu bakımından TS 266'ya göre izin verilen maksimum değerlerin üzerindedir. Bu nedenle içilerek tüketilmesi uygun değildir. Tesisin jeotermal atık suyunu Ilıca deresine deşarj etmesi sonucunda ısıl ve kimyasal kirlenmeye neden olmaktadır. Ayrıca Kestanbol jeotermal akışkanı yüksek oranda çözünmüş iyon içermesi nedeni ile alüvyon akiferi kirletebilir özelliktedir. Saha çalışmalarında Kestanbol jeotermal akışkanının sebep olduğu kabuklaşma problemi tespit edilmiştir. XRD ve SEM-EDX analizleri ile kabuğu oluşturan minerallerin kalsit, halit ve siderit olduğu saptanmıştır. Jeotermal sondajdaki kabuklaşma problemi tesise ısıtma

ve balneolojik amaçlar için taşınan akışkanın boruları daraltması veya tıkanması ile debinin ve ısı transferinin azalmasına sebep olmaktadır. Jeokimyasal analiz sonuçlarına göre kabuk, toprak ve dere sedimentindeki As, Fe ve Mn konsantrasyonunun Dünya kıtasal kabuk ortalama değerinden yüksek olduğu saptanmıştır. Hem jeotermal akışkanda hem de kabuk örneklerinde saptanan yüksek metal(loid) konsantrasyonunun sebebi su-kayaç etkileşimidir. Toprak ve dere sedimentindeki As ve Mn zenginleşmesi antropojenik etki ile jeotermal akışkanın çevreye deşarjı ile ilişkilidir. Isıl ve kimyasal kirliliğin önlenmesi için jeotermal akışkanın Ilıca deresine deşarj edilmemesi gerekmektedir. Gelecek çalışmalarda Kestanbol jeotermal alanındaki soğuk yüzey ve yeraltı sularından örneklemeler yapılarak jeotermal akışkan ile soğuk suyun hidrokimyasal ilişkisinin ortaya konması önerilir. Tesisin ısıtılması, termal turizm ve balneolojik uygulamalarda kullanılan Kestanbol jeotermal akışkanının konut ve sera ısıtması gibi kullanım alanlarının geliştirilmesi ile bölgenin ekonomisine ve çevreye olumlu yönde katkı sağlayacaktır.

EXTENDED SUMMARY

Turkey, located in the Alpine-Himalayan orogenic belt, has high geothermal energy potential due to geologic and active tectonic structure. In Turkey, 227 geothermal fields with temperature varying from 20 to 287°C and nearly 2000 hot and mineral springs have been identified (Mertoğlu et al., 2015; Lund and Boyd, 2016). The Kestanbol geothermal field located in the ancient city of Alexandria Troas is one of the geothermal areas with highest temperature in the Biga Peninsula, affected by the western extension of the North Anatolian Fault and Western Anatolia Graben Systems. Kestanbol geothermal field contains several geothermal springs with low flow and a well drilled by MTA in 1975. The geothermal fluid obtained from the well

is used to heat facilities for thermal tourism and balneological aims. The waste geothermal fluid from the facility is discharged into Ilıca stream and the geothermal fluid seeping from the well is discharged into soil. In this study, hydrochemical characterization of Kestanbol geothermal fluid was determined, and the environmental effects of geothermal fluid on soil and stream sediment were evaluated.

The Kestanbol geothermal well and springs have surface temperature, pH and electrical conductivity (EC) values of 59.5 to 74.1°C, 6.45 to 6.71, and 30.3 to 35.5 mS/cm, respectively. According to International Association of Hydrogeologists (IAH, 1979) water classification, the Kestanbol geothermal fluid is NaCl water type, with mean NaCl concentration of 19511 mg/L. The major cation sequence in Kestanbol geothermal fluids is $Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+}$, with anion sequence of $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$. Yalçın and Sarp (2012) calculated the reservoir temperature for Kestanbol geothermal fluid as 156, 251, 239 and 139°C using SiO_2 , Na/K, Na/K/Ca and Na/Li geothermometers, respectively. Baba and Ertekin (2007) stated the tritium content of the geothermal well was 0.22 TU. Low tritium, high EC and Cl concentration indicate the Kestanbol geothermal fluid has deep water circulation.

The temperature and EC of Kestanbol geothermal fluid, in addition to Na^+ , Cl, B, Ba, Fe, and Mn concentrations, are above the maximum values permitted by the TS 266 (2005). Additionally, according to the Turkish Inland Water Quality Regulations (2015), the temperature, EC, Na^+ , Cl, B and Fe in the geothermal fluid are classified as heavily polluted water (class IV). The Kestanbol geothermal fluid has very high B, Ba, Fe, Li, Mn, and Sr concentrations identified as 15.01, 1.8, 14.99, 13.96, 1.69, and 60.64 mg/L, respectively (Şanlıyüksel Yücel et al., 2013). Baba and Sözbilir (2012) stated the As concentration of

Kestanbol geothermal fluid was 184.3 µg/L and this far exceeds the TS 266 limit value of 10 µg/L. After the geothermal fluid is used in the Kestanbol facility it is discharged into Ilıca stream and the geothermal fluid is carried west by the stream to drain into the Aegean Sea. Additionally, the surface flow path of the stream passes through an alluvium aquifer and occasionally feeds the aquifer. Due to the elevated concentrations of As, B, Fe and Mn, Kestanbol geothermal fluid can contaminate the alluvium aquifer.

One of the most important problems in Kestanbol geothermal field is scaling. Scale samples are generally observed to have yellow and orange, or occasionally white color in the field. According to XRD and SEM-EDX analysis, the scale comprises calcite, halite and siderite minerals. ICP-MS analysis results of scale found 30.35% Fe_2O_3 , 25.19% CaO, 12.65% SiO_2 and 1.04% Na_2O composition. The metal(loid) concentration sequence is $Fe > Mn > As > Al > Zn > Pb > Ni$ and As, Fe and Mn concentrations are above the mean values for continental crust determined by Krauskopf (1979). As scaling reduces the well diameter, continuous flow reduction causes production and efficiency loss. The scaling in Kestanbol geothermal well also causes narrowing or blockage of pipes carrying fluid to the facility and a reduction in flow and heat transfer.

Soil samples mineralogically comprise calcite, halite, plagioclase and quartz. ICP-MS analysis of soil samples found 43.88% CaO, 8.2% Fe_2O_3 , 6.64% SiO_2 , 1.21% Na_2O , 0.68% Al_2O_3 , and 0.65% MnO. The metal(loid) concentration sequence for soil is $Fe > Mn > Al > As > Zn > Pb > Ni$ with As, Fe and Mn concentrations above the mean value for continental crust. The SEM-EDX analysis of soil identified different species of diatoms. As diatoms reflect changes in the ecosystem, they are used as bioindicators in biomonitoring studies (Cattaneo et al., 2011; Şanlıyüksel Yücel and

Baba, 2018). The EDX results showed that the chemical composition of diatoms is 68.5% O and 15.3% Si. XRD analysis results identified quartz, illite/mica, actinolite-tremolite, plagioclase, alkali feldspar, pyrite, smectite group minerals, calcite, kaolin group minerals and halite minerals in stream sediment. The chemical composition of stream sediment comprised SiO₂ (49.75%), Fe₂O₃ (12.97%), Al₂O₃ (11.9%), CaO (6.11%), Na₂O (3.18%), K₂O (3.06%), and MgO (1.47%). The metal(loid) concentration of stream sediment is Fe>Al>Mn>As>Zn>Pb>Ni, with As, Fe and Mn concentrations above the mean value for continental crust.

In this study, the geoaccumulation index (I_{geo}) and enrichment factor (EF) were used to assess the levels of metal(loid) contamination in scale, soil and stream sediment. The EF-As calculated for scale, soil and stream sediment samples were identified to be above 40. According to Sutherland (2000) classification, scale, soil and stream sediment were determined to be extremely enriched in As. The EF-Mn calculated for the soil sample was greater than 4 and Mn showed moderate enrichment. The EF values for Al, Ni, Pb and Zn indicate minimal enrichment. Among the studied metal(loid)s, the I_{geo} values were in increasing order of As>Fe>Mn>Zn>Pb>Ni>Al, As>Mn>Fe>Pb>Zn>Al>Ni and As>Pb>Fe>Mn>Al>Zn>Ni in the scale, soil and stream sediment, respectively. From the I_{geo} -As values, scale and stream sediment samples were determined to be “extremely contaminated”. For scale, the I_{geo} -Fe and Mn were calculated as 1.39 and 1.18, respectively, which indicates moderate metal contamination. In soil, I_{geo} -As and Mn was determined as class 5 (strongly to extremely strongly contaminated) and 2 (moderately contaminated), respectively. I_{geo} -Fe and Pb values of stream sediment were class 1 (uncontaminated to moderately contaminated). For all samples, the I_{geo} -Al, Ni and Zn values were less than 0 and defined as “practically uncontaminated”.

Arsenic, Fe and Mn enrichments in scale, soil and stream sediments are due to interactions between geothermal fluids and reservoir rocks. Discharged into the environment with anthropogenic effects, the geothermal fluids cause metal(loid) pollution in soil and stream sediments. To prevent environmental pollution, it is recommended that geothermal fluids and waste waters from the facility should not be discharged into the soil and Ilica stream. Sampling should be performed for cold surface waters and groundwater in the Kestanbol geothermal field to reveal the hydrochemical relationship between geothermal fluid and cold water. Areas of use, such as residential-greenhouse heating, etc., should be developed for the Kestanbol geothermal fluid, currently used to heat facilities for thermal tourism and balneological purposes, which will positively contribute to the economy and environment in the region.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FHD-2019-2877 no’lu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar görüş ve önerileri için hakemlere teşekkürlerini sunar.

ORCID

Harika MARMARA  <https://orcid.org/0000-0001-8044-715X>

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL  <https://orcid.org/0000-0001-6546-5624>

Süha ÖZDEN  <https://orcid.org/0000-0001-6321-0812>

Mehmet Ali YÜCEL  <https://orcid.org/0000-0001-6956-5219>

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

- Aksoy, N., 2007. Jeotermal sahalarda kabuklaşma ve çözüm yöntemleri. Jeotermal Enerji Semineri, 143–153.
- Baba, A., Ertekin, C., 2007. Determination of the source and age of the geothermal fluid and its effects on groundwater resources in Kestanbol (Çanakkale-

- Turkey). GQ07: Securing Groundwater Quality in Urban and Industrial Environments, 7th International Groundwater Quality Conference, Fremantle, Western Australia, 2–7 December 2007, 1–8.
- Baba, A., Sözbilir, H., 2012. Source of arsenic based on geological and hydrogeochemical properties of geothermal systems in Western Turkey. *Chemical Geology*, 334, 364–377.
- Balderer, W., 1994. A multidisciplinary approach for the study of the effects of active tectonics along the North Anatolian fault zone: possibilities for the application of the electrical self potential method. *Annals of Geophysics*, 37(5), 1269–1282.
- Beccaletto, L., 2003. Geology, correlations, and geodynamic evolution of the Biga Peninsula (NW Turkey). Lozan Üniversitesi, İsviçre, Doktora tezi, 140 s., (yayımlanmamış).
- Beccaletto, L., Jenny, C., 2004. Geology and correlation of the Ezine zone: a Rhodope fragment in NW Turkey?. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13 (2), 145–176.
- Bertani, R., 2015. Geothermal power generation in the World-2010-2014 update report. World Geothermal Congress (WGC2015), Proceedings of World Geothermal Congress, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015, R. Horne ve T. Boyd (eds.), International Geothermal Association, Melbourne, 1–19.
- Birkle, P., Merkel, B., 2000. Environmental impact by spill of geothermal fluids at the geothermal field of Los Azufres, Michoacán, Mexico. *Water, Air, & Soil Pollution*, 124(3-4), 371–410.
- Cattaneo, A., Couillard, Y., Wunsam, S., Fortin, C., 2011. Littoral diatoms as indicators of recent water and sediment contamination by metals in lakes. *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 572–582.
- Chapman, D., Kimstach, V., 1996. Selection of water quality variables. In: D. Chapman (ed.), *Water Quality Assessments-A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*, 2nd ed., Chapman & Hall: E&FN Spon, Cambridge, 59–126.
- Çağlar, K.Ö., 1947. Türkiye maden suları ve kaplıcaları. Maden Tetkik Arama Yayınları, Ankara, Fasikül 2, Seri B, No 11, 249–250.
- Çağlar, I., Demirörer, M., 1999. Geothermal exploration using geoelectric methods in Kestanbol, Turkey. *Geothermics*, 28(6), 803–819.
- Çardak, M., Şanlıyüksel Yücel, D., Ay, M., Söküt Acar, T., Erol Tınaztepe, Ö., 2019. Jeotermal akışkanın hidrokimyasal karakterizasyonunun belirlenmesi: Simav (Kütahya) örneği. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1–15.
- Doğdu, M.S., Bayarı, S., 2005. Environmental impact of geothermal fluids on surface water, groundwater and streambed sediments in the Akarcay Basin Turkey. *Environmental Geology*, 47, 325–340.
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1973. Yeraltı Suları Jeolojisi (Hidrojeoloji). İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, Sayı 967, 339 s.
- Erkul, H., 2012. Jeotermal enerjinin ekonomik katkıları ve çevresel etkileri: Denizli-Kızıldere jeotermal örneği. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10(19), 1–30.
- Eroğlu, A., Aksoy, N., 2003. Jeotermal suların kimyasal analizi. VI. Ulusal Tesisat Kongresi, İzmir, Türkiye, 8-10 Ekim 2003, Jeotermal Enerji Semineri Kitapçığı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 149–183.
- Gemici, U., Tarcan, G., 2002. Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey, and examples of their environmental impacts. *Environmental Geology*, 43, 87–98.
- Gevrek, A.İ., Şener, M., Ercan, T., 1986. Çanakkale-Tuzla jeotermal alanının hidrotermal alterasyon etüdü ve volkanik kayaların petrolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 103-104, 55–81.
- Gündüz, O., Şimşek, C., Hasözbeke, A., 2010. Arsenic pollution in the groundwater of Simav Plain, Turkey: its impact on water quality and human health. *Water Air & Soil Pollution*, 205, 43–62.
- Gözler, M.Z., Ergül, E., Akçaören, F., Genç, Ş., Akat, U., Acar, Ş., 1984. Çanakkale boğazı doğusu-

- Marmara Denizi güneyi-Bandırma-Balıkesir-Edremit ve Ege Denizi arasındaki alanın jeolojisi ve kompilasyonu. MTA Rapor No: 7430, (yayımlanmamış).
- Haklıdır Tut, F.S., Batı Anadolu'da Yüksek Sıcaklıklı Jeotermal Sistemlerde Gözlenen Kabuklaşma Türleri ve Kabuklaşma Oluşumunun Kontrolünün Sağlanmasında Kullanılan Sistemler; Kızıldere-II (Denizli) Jeotermal Güç Santrali Örneği. Türkiye Jeoloji Bülteni, 60 (3), 363–382.
- IAH, 1979. Map of mineral and thermal water of Europe. Scale 1:500.000, International Association of Hydrogeologists, Paris, France.
- Kalafatçıoğlu, A., 1963. Ezine civarının ve Bocaada'nın jeolojisi, kalker ve serpantinlerinin yaşı. MTA Dergisi, 60, 61–70.
- Karagülle, M.Z., Doğan, M.B., 2002. Kaplıca Tıbbi ve Türkiye Kaplıca Rehberi. Nobel Tıp Kitapevi, İstanbul, 48 s.
- Kelly, W.P., 1963, Use of saline irrigation water. Soil Science, 95, 355–391.
- Koçak, A., 2002. Jeotermal uygulamalar ve MTA. Jeotermalde Yer bilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Notları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeotermal Enerji ve Araştırma Merkezi, İzmir, 119–131.
- Krauskopf, K.B., 1979. Introduction to Geochemistry, 2nd edition. McGraw-Hill International series in the Earth and Planetary Sciences, 617 s.
- Kristmannsdottir, H., Armannsson, H., 2003. Environmental aspects of geothermal energy utilization. Geothermics, 32(4-6), 451–461.
- Liu, W.H., Zhao, J.Z., Ouyang, Z.Y., Soderlund, L., Liu, G.H., 2005. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. Environment International, 31(6), 805–812.
- Lund, J.W., Boyd, T.L., 2016. Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. Geothermics, 60, 66–93.
- Mertoğlu, O., Şimşek, Ş., Başarır, N., 2015. Geothermal country update report of Turkey (2010–2015). Proceedings of World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-24 April 2015, International Geothermal Association, Bonn, 1–7.
- Mutlu, H., Güleç, N., Hilton, D.R., 2014. Chemical and isotopic constraints on the origin of thermal waters in Anatolia, Turkey: fluid-mineral equilibria approach, (Geothermal Systems and Energy Resources: Turkey and Greece, Editörler: Baba, A., Bundschuh, J., Chandrasekharam, D.), Sustainable Energy Development Series, CRC Press, Taylor & Francis, 39–50.
- Müller, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seit 1971. Umschau, 79, 778–783.
- Müller, G., 1986. Schadstoffe in Sedimenten-Sedimente als Schadstoffe. Mitt, Österreichische Geologische Gesellschaft, 79, 107–126.
- Mützenber, S., 1997. Nature and origin of the thermal springs in the Tuzla area, Western Anatolia, Turkey. (Active Tectonics of Northwestern Anatolia-The Marmara Poly-Project, Editörler: Schindler, C., Pfister, M.). VDF Hochschul Verlag AG an der ETH Zurich, 301–320.
- Nicholson, K., 1993. Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques. Springer-Verlag, Berlin, 263 s.
- Ölmez, E., 1976. Çanakkale-Ezine Kestanbol sıcak su 1. sondajı kuyu bitirme raporu. Manden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 5595, 3 s., (yayımlanmamış).
- Özbey, G., Atamer, N., 1987. Kizelgur (Diatomit) hakkında bazı bilgiler. 10. Türkiye Madencilik Bilimsel Teknik Kongresi, 11-15 Mayıs 1987, Ankara, 493–502.
- Özen Balaban, T., Bülbül, A., Tarcan, G., 2017. Review of water and soil contamination in and around Salihli geothermal field (Manisa, Turkey). Arabian Journal of Geosciences, 10, 523.
- Piper, A.M., 1944. A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Transactions of the American Geophysical Union, 25, 914–928.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural hand book

- 60, U.S. Deptment of Agriculture, Washington D.C., 160 s.
- Salah, E.A.M., Zaidan, T.A., Al-Rawi, A.S., 2012. Assessment of heavy metals pollution in the sediments of Euphrates River, Iraq. *Journal of Water Resource and Protection*, 4, 1009–1023.
- Sarp, S., Burçak, M., Yıldırım, T., Yıldırım, N., 1998. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları ile Balıkesir-Havran-Derman kaplıca sahasının detay jeotermal etüdü ve gradyan sondajları. MTA Rapor No: 10537, (yayımlanmamış).
- Schoeller, H., 1955. *Geochimie des Eaux Souterraines*. Revue de l'Institut Francais du Petrole, Paris, 10 (3), 181–213, 10 (4), 219–246.
- Siyako, M., Burkan, K.A., Okay, A.I., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadaı'nın Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği (TPJD) Bülteni*, 1 (3), 183–199.
- Sutherland, R.A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39, 611–627.
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, Beyler, İzmir, 548 s.
- Şamilgil, E., 1966. Çanakkale'nin Tuzla ve Kestanbol sıcak su havzalarında jeotermik enerji araştırması yönünden hidrojeolojik etüt. MTA Rapor No: 4274, 53 s., (yayımlanmamış).
- Şanlıyüksel, D., Baba, A., 2011. Hydrogeochemical and isotopic composition of a low temperature geothermal source in northwest Turkey: Case study of Kirkgeçit geothermal area. *Environmental Earth Sciences*, 62, 529–540.
- Şanlıyüksel Yücel, D., Karaca, Z., Yücel, M.A., 2013. Determining hydrogeochemical characteristics of geothermal resources in Biga Peninsula (city of Canakkale), NW Turkey. 40th International Association of Hydrogeologists Congress, 15-20 September 2013, Perth, Australia, 261.
- Şanlıyüksel Yücel, D., Yücel, M.A., 2017. Determining hydrochemical characteristics of mine lakes from abandoned coal mines and 3D modelling of them using unmanned aerial vehicle. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23 (6), 780–791.
- Şanlıyüksel Yücel, D., Baba, A., 2018. Determining water and sediment quality related to lead and zinc mining activity. *Archives of Environmental Protection*, 44 (3), 19–30.
- Şanlıyüksel Yücel, D., 2019. Characterization and comparison of mine wastes in Can Coal Basin, northwest Turkey: a case study. *Environmental Earth Sciences*, 78, 154.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., 1992. Türkiye Diri Fay Haritası (Ölçek 1/2.000.000). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şimşek, Ş., 1997. Geochemical potential in northwestern Turkey. (Active Tectonics of Northwestern Anatolia-The Marmara Poly-Project, Editörler: Schindler, C., Pfister, M.). VDF hochschulverlag AG an der ETH Zurich, 111–123.
- Şimşek, Ş., Yıldırım, N., Gülgör, A., 2005. Developmental and environmental effects of the Kızıldere geothermal power project, Turkey. *Geothermics*, 34 (2), 234–251.
- Şimşek, Ş., 2015. Dünya'da ve Türkiye'de jeotermal gelişmeler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası III. Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu, 4-6 Kasım 2015, Ankara, 1–17.
- TS 266, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Resmî Gazete Tarihi: 17.02.2005, Resmî Gazete Sayısı: 25730.
- Yalçın, T., 2007. Geochemical characterization of the Biga Peninsula thermal waters (NW Turkey). *Aquatic Geochemistry*, 13 (1), 75–93.
- Yalçın, T., Sarp, S., 2012. Biga Yarımadası Termal Sularının Jeokimyasal ve Jeotermal Potansiyeli. Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi, E. Yüzer ve G. Tunay (Editörler), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi, Ankara, 289–301.
- Yenal, O., Kanan, E., Bilecen, L., Öz, G., Öz, Ü., Göksel, A., Alkan, H., Kutluat, S., Yassa, K., 1975.

Türkiye Maden Suları: Marmara Bölgesi, İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Hidroklimatoloji Kürsüsü, İstanbul, 212 s.

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 2015. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, Resmî Gazete Tarihi: 15.04.2015, Resmî Gazete Sayısı: 29327.



Güllük Körfezi (Muğla-Türkiye) YüzeY Sedimentlerinde Toksik Metal Kirliliği
Toxic Metal Pollution in the Surface Sediments from Güllük Bay (Muğla-Turkey)

Nuray Çağlar (Balkıs)^{1*}, **Abdullah Aksu¹**, **Gülşen Altuğ²**

^{1*}*İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul*

²*İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi, İstanbul*

Geliş/Received : 01.07.2019

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 07.08.2019

• Kabul/Accepted : 15.10.2019

• Çevrimiçi Yayın/Available online : 15.01.2020

• Baskı/Printed : 31.01.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Bu çalışmada yaz aylarında yoğun nüfusa, kış aylarında ise düşük nüfusa sahip, yakın çevresinde termik santral bulunan Güllük Körfezi'ndeki yüzeY sedimentlerinin kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), çinko (Zn), arsenik (As) ve alüminyum (Al) içerikleri incelenmiştir. Bu amaçla körfezden 2011-2012 yılları arasında Mayıs, Haziran, Temmuz ve Eylül aylarında yüzeY sediment örnekleri alınmıştır. Liyoflizatörde kurutulan örneklerle mikrodalgada kuvvetli asit (HNO₃+HF+HClO₄) çözünürleştirilmesi uygulanmıştır. Güllük Körfezi yüzeY sedimentlerinde atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile belirlenen toplam metal konsantrasyonları sırasıyla Pb için 1 ile 209 µg/g; Zn için 10 ile 259 µg/g; Cu için 1 ile 59 µg/g; Cr için 0,1 ile 46 µg/g; Cd için <0,01 ile 2,8 µg/g, As için <0,01 ile 0,4 µg/g ve Al için %0,6 ile %5,9 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm ölçüm dönemlerinde körfez sedimentlerinin Cu, Cr ve As elementleri yönünden kirlenmemiş olduğu, buna karşılık Pb, Cd ve Zn elementleri yönünden ise orta derecede kirlenmiş olduğu belirlenmiştir. YüzeY sedimentlerindeki yüksek Pb, Cd ve Zn değerleri Güllük Körfezi'ne özellikle Sarıçay deresi olan karasal kaynaklı antropojenik (evsel+endüstriyel) girdilere, limanlardaki deniz taşımacılığına ve turizm aktivitelerine işaret etmektedir. Artan nüfus yoğunluğuna (283,6 kişi/m²) (TÜİK, 2018) bağlı olarak insan aktiviteleri de körfezdeki metal kirliliğini etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Metal kirliliği, sediment, Güllük Körfezi.

Abstract: In this study, total lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As) and aluminum (Al) contents were investigated in surface sediments in order to determine the current pollution in Güllük Bay, which has dense population in summer; low population in winter; and a thermal power plant in the vicinity. For this purpose, surface sediments were collected from the bay seasonally in 2011 and 2012. Strong acid (HNO₃+HF+HClO₄) digestion was used for metal analysis after drying in a freeze-dryer. Total metal concentrations were measured by atomic absorption spectrophotometer. The total metal contents changed between 1 and 209 µg/g; 10 and 259 µg/g; 1 and 59 µg/g; 0.1 and 46 µg/g; <0.01 and 2.8 µg/g, <0.01 and 0.4 µg/g and 0.6% and 5.9% for Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, As and Al, respectively. Cu, Cr and As concentrations were lower than the background values, contrary to higher Pb, Cd and Zn contents in bay surface sediments during all sampling periods. These high metal values indicate the presence of anthropogenic (domestic and industrial) inputs via Sarıçay creek and both maritime transport and tourism waste in Güllük Bay. As a result, it was found that population growth and human activities affected metal contamination.

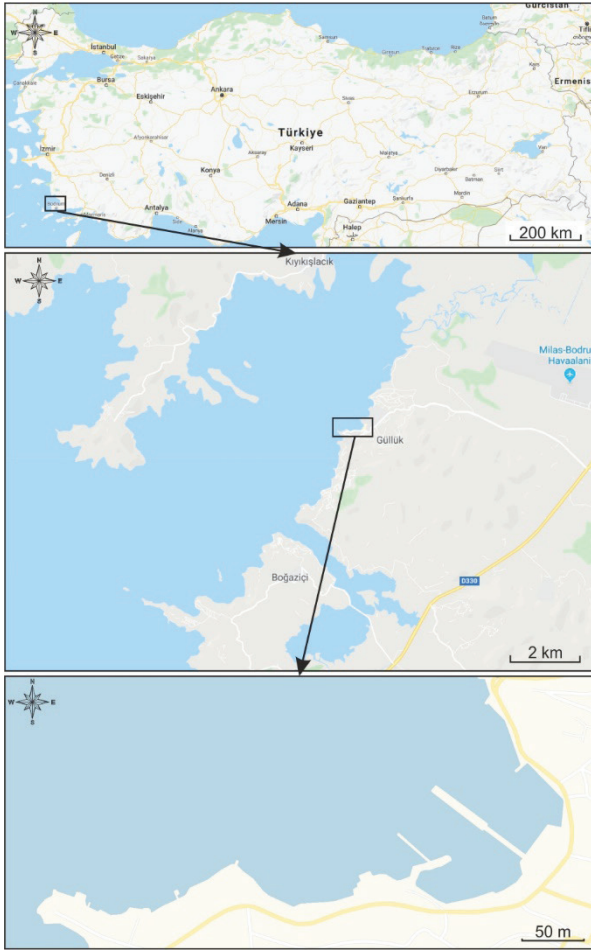
Keywords: Metal pollution, sediment, Güllük Bay.

GİRİŞ

Deniz suyunda metallerin kaynağı doğal ya da antropojenik kökenlidir. Bunlar; karalar üzerindeki zengin metal kaynaklarından atmosfer yoluyla olan taşınımlar, akarsularla olan girdiler, denizaltı hidrotermal ve volkanik aktiviteler, diyajenez gibi doğal ve jeokimyasal prosesler ve hızla artan nüfus ile insan aktiviteleridir. Maden cevherlerinin erozyonu, volkanik aktiviteler, toz bulutları, orman yangınları ve tarım gibi doğal kaynakların ve insan aktiviteleri sonucu oluşan girdilerin etkileri değerlendirildiğinde ise metal girdileri karmaşık bir hal alır (Balkis ve Algan, 2005). Bunun yanı sıra metalik maden sahalarından sızan metallerin nehir bünyesine ve oradan da denizlere taşınması ile metal birikimine önemli ölçüde katkıda bulunur. Ayrıca kentsel ve endüstriyel bölgelerden geçen nehirlere atıkların deşarjı sonucu metalleri bünyesine alır. Bir diğer metal kaynağı ise atmosferik girdilerdir. Metalleri diğer toksik maddelerden ayıran en önemli özellikleri ise insanlar tarafından ne oluşturulabilir ne de yok edilebilir olmalarıdır. Tüm canlıların yaşamsal faaliyetlerini normal olarak sürdürebilmeleri için, ortamlarında bulunan Cu, Mn, Zn ve diğer metallere (Cd, Cr, Fe, Mo, Ni, Sn ve V) belirli düzeylerde gereksinim duymaktadır. Bu metaller organik moleküllerle ve daha çok proteinlerle birleşerek metal-protein komplekslerini oluştururlar. Bunun yanında, birçok enzimin yapılarına katılırlar. Örneğin, Fe kanı kırmızı olan canlılarda, Cu ise renksiz kan sıvısı olan omurgasızlarda ve deniz organizmalarında oksijen taşınmaları ve bunların yanında diğer birçok enzim aktivitelerine direkt olarak metalloprotein olarak katılırlar (Gailer, 2007). Bununla beraber, bazı metaller de vitaminlerin yapı taşlarını oluştururlar (Güler ve Çobanoğlu, 1994). Esansiyel olan metaller, eksikliklerinde olduğu gibi fazla miktarlarda alındıklarında da toksik etki oluşturabilmektedirler. Toksiklik düzeyi her metalde farklılık göstermektedir. Metallerin toksiklik düzeyleri çoktan aza doğru

As, Hg, Ag, Cu, Cd, Zn, Pb, Cr, Ni ve Co şeklinde olmakla beraber bu sıralama kesin değildir. Yüksek konsantrasyonlardaki metaller organizma için faydalı olsun olmasın toksiktir (Brayn, 1971; 1976). Bu nedenle hızla gelişen endüstrileşme ve artan nüfusla birlikte özellikle kıyısularda ve körfezlerde oluşan metal kirlenmesi dünyanın çeşitli bölgelerinde önemli halk sağlığı sorunları yaratmıştır. Ege Denizi'nde yapılan kirlilik çalışmalarında midyede oldukça yüksek poliaromatik hidrokarbon değerlerine rastlanmıştır (Balcıoğlu vd., 2014). Ayrıca evsel ve endüstriyel atıklar Marmara Denizi'ndeki Pb ve Cr kirliliğini tetiklemektedir (Aksu ve Taşkın, 2012). Sadece toksik metaller değil Al, Fe, Mn gibi metallerin dağılımı da evsel ve endüstriyel aktivitelerden redoks değişimleri sonucunda etkilenmektedir (Taşkın vd., 2011).

Güllük Körfezi, Torba, Güvercinlik ve Güllük gibi küçük yerleşim yerlerine sahip olup, çevresinde endüstriyel faaliyetler bulunmamaktadır (Şekil 1). Buna karşılık Güllük Limanı, özellikle çevredeki boksit ve feldspat rezervlerinin sevk noktası olması sebebiyle hayli işlek ve gelişmiştir. Limanın dışında balıkçılık ve turizm önemli faaliyet alanları ve geçim kaynaklarıdır. Kentin kuzeyine kurulu dalyanda ve denizde iyi balık çıkmakta, en çok, çipura, levrek, sargoz, mercan, lüfer, kefal, dil balığı, istavrit, palamut, yılanbalığı ve daha birçok türde balık avlanmaktadır. Ayrıca çevredeki koyların çoğunda kültür balıkçılığı da yapılmakta, çipura ve levrek yetiştirilmektedir. (Altuğ vd., 2013). Ancak, körfez tarım ve turizme ait aktiviteler, evsel atıklar, limanlardaki özellikle de Güllük Limanı'ndaki yoğun maden taşımacılığı ve Sarıçay deresinin getirdiği karasal girdiler sonucunda son yıllarda kirlenme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bu çalışmada Güllük Körfezi'nden 2011-2012 yılları arasında örnekleme yapılan yüzey sedimentlerinde kurşun (Pb), çinko (Zn), bakır (Cu), krom (Cr), kadmiyum (Cd) ve arsenik (As) gibi bazı toksik metallerin güncel kirlenme seviyeleri ve kökenleri belirlenmeye çalışılmıştır.

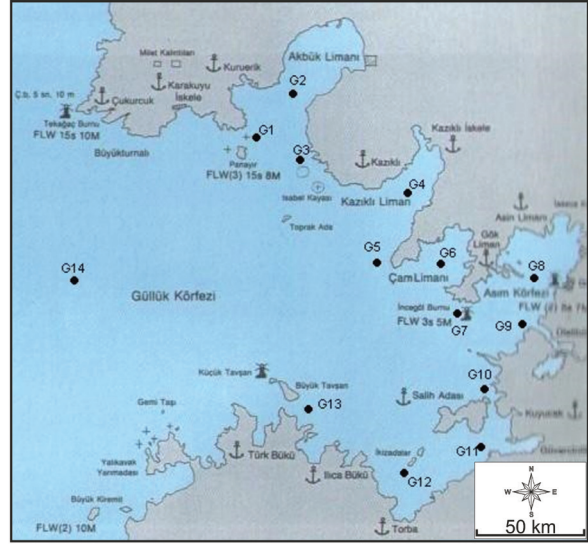


Şekil 1. Güllük Körfezi'nin konumu ve çalışma alanı.
Figure 1. Location map for Güllük bay and study area.

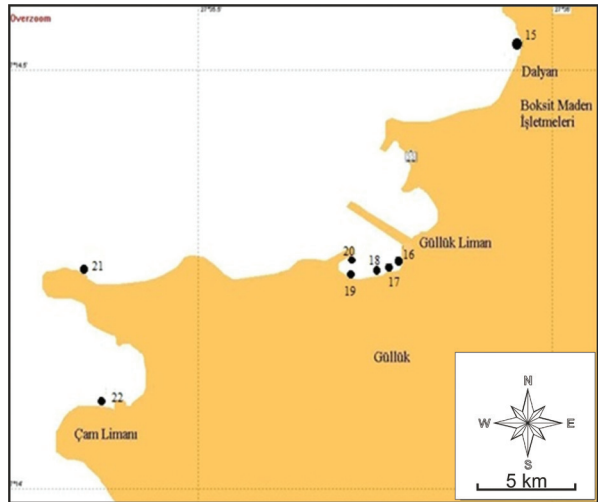
MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Güllük Körfezi'nden 2011-2012 yılları arasında Mayıs, Haziran, Temmuz ve Eylül dönemlerinde yüzeY sediment örnekleme yapılmıştır (Şekil 2 ve 3). Sediment örnekleri liman, koy (14 adet) ve kıyısıl alandan (9 adet) Ekman Grab (Hydrobios 15x15) ile alınmış ve laboratuarda analiz edilinceye kadar +4°C'de saklanmıştır. Daha sonra liyoflizatörde kurutulmuş örneklere mikrodalgada kuvvetli asit ($\text{HNO}_3 + \text{HF} + \text{HClO}_4$) çözünürleştirilmesi uygulanmıştır (Loring ve Rantala, 1992; Li vd., 2000). Elde edilen örnekler 1 M HCl ile 10 ml'ye tamamlandıktan sonra Cr,

Cu, Pb ve Zn analizi İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı'nda bulunan atomik absorpsiyon spektrofotometresinde (Shimadzu AA-6701-F, Japonya) hava-asetilen alevinde, Al analizi N_2O -asetilen alevinde, As analizi alevli hidrür ünitesinde analiz gerçekleştirilmiştir.



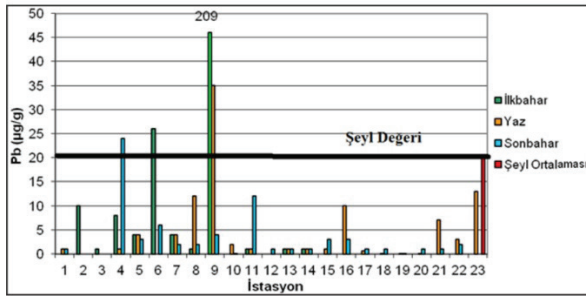
Şekil 2. Örnekleme istasyonları
Figure 2. Sampling stations



Şekil 3. Kıyısıl alan örnekleme istasyonları.
Figure 3. Sampling stations in the coastal area.

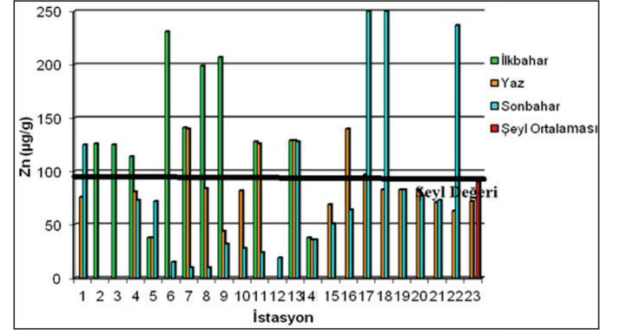
BULGULAR

Güllük Körfezi'nin liman, koy ve kıyıl alanlarından toplanan yüzey sediment örneklerinde toplam Pb, Cu, Zn, Cr, Cd, As ve Al içerikleri grafikler halinde verilmiştir. Buna göre; körfezde alınan sediment örneklerinin toplam Pb içerikleri 1 ile 209 $\mu\text{g/g}$ arasında değişmektedir (Şekil 4). En yüksek Pb içeriği Sarıçay deresi ağzında ilkbahar ve yaz mevsimlerinde, en düşük değer ise tüm örnekleme dönemlerinde (ilkbahar-yaz-sonbahar) Akbük Limanı açığı Panayır Adası kuzeyinde tespit edilmiştir. Ayrıca Kazıklı ve Çam Limanı içlerinde de şeyl ortalamasının (20 $\mu\text{g/g}$) üzerinde Pb birikimleri belirlenmiştir. Krauskopf (1979) tarafından belirtilen şeyl değerlerine göre tüm metal değerleri karşılaştırılmıştır. Buna karşılık körfezin genelinde ise Pb konsantrasyonunun 20 $\mu\text{g/g}$ değerinin altında olduğu görülmüştür. Körfezde alınan sediment örneklerinin toplam Zn içerikleri 10 ile 259 $\mu\text{g/g}$ arasında değişmektedir (Şekil 5). En yüksek Zn değeri sonbaharda Güllük Limanı halk plajlarında belirlenirken, en düşük değer İncegöl Burnu'nda ölçülmüştür. Körfezin büyük bölümünde de şeyl ortalaması olan 90 $\mu\text{g/g}$ değerinin üzerinde tespit edilmiştir.



Şekil 4. Güllük Körfezi yüzey sedimentlerinde Pb içerikleri ($\mu\text{g/g}$).

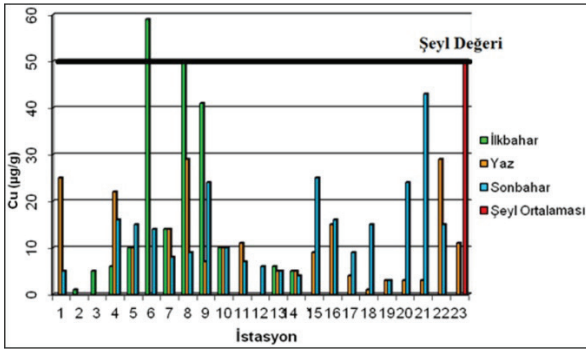
Figure 4. Pb contents in surface sediments from Güllük Bay ($\mu\text{g/g}$).



Şekil 5. Güllük Körfezi yüzey sedimentlerinde Zn içerikleri ($\mu\text{g/g}$).

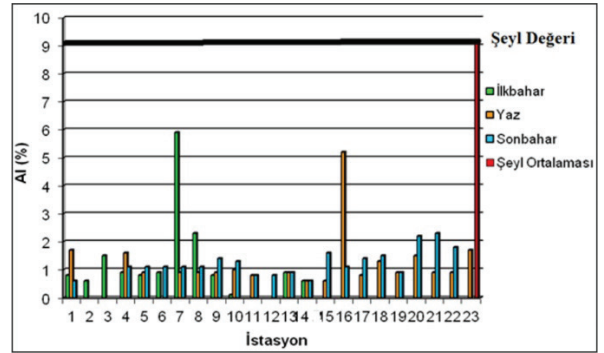
Figure 5. Zn contents in surface sediments from Güllük Bay ($\mu\text{g/g}$).

Körfez sedimentlerinde toplam Cu içerikleri 1 ile 59 $\mu\text{g/g}$ arasında değişmektedir (Şekil 6). Bakır konsantrasyonları en yüksek değerde ilkbaharda Çam Limanı içinde ölçülürken, en düşük değerde yine aynı mevsimde Akbük limanı içinde belirlenmiştir. Özellikle Çam limanı içi, Asım Körfezi ve Sarıçay deresi ağzı dışında ise Cu değerleri şeyl ortalaması olan 50 $\mu\text{g/g}$ 'ın altında tespit edilmiştir. Körfezde toplam krom içerikleri 0,1 ile 46 $\mu\text{g/g}$ arasında değişmekte olup, şeyl ortalaması olan 100 $\mu\text{g/g}$ değerinin oldukça altındadır (Şekil 7). Yüzey sedimentlerinde toplam Cd içerikleri <0,01 ile 2,8 $\mu\text{g/g}$ arasında değişmektedir (Şekil 8). Bunun yanı sıra Cd değerlerinin Güllük Limanı'ndaki kıyıl alanın büyük bir bölümünde ve referans istasyonda ölçüm limitlerinin (<0,01 $\mu\text{g/g}$) altında olduğu görülmüştür. Özellikle en yüksek değerde Pb değişimlerine benzer şekilde Sarıçay deresi ağzında ölçülmüştür. Ayrıca Çam Limanı ve Güvercinlik'te de şeyl ortalaması olan 0,2 $\mu\text{g/g}$ değerinin oldukça üzerinde tespit edilmiştir. Körfez sedimentlerinde toplam As içerikleri körfezin tamamında şeyl ortalamasının (<10 $\mu\text{g/g}$) altında ölçülmüştür. Güllük Körfezi yüzey sedimentlerinde Al içeriklerinin %0,6 ile %5,9 arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 9). Buna göre Al değerleri tüm istasyonlarda şeyl ortalamasının (%9,2) altındadır ve sedimentler ağırlıklı olarak kaba taneli malzemeden oluşmaktadır.



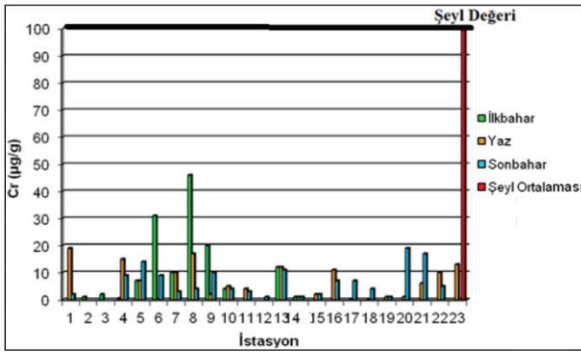
Şekil 6. Güllük Körfezi yüzeY sedimentlerinde toplam Cu içerikleri (µg/g).

Figure 6. Cu contents in surface sediments from Güllük Bay (µg/g).



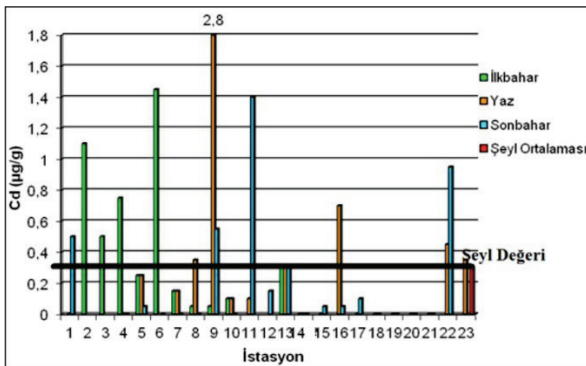
Şekil 9. Güllük Körfezi yüzeY sedimentlerinde toplam Al içerikleri (%).

Figure 9. Al contents in surface sediments from Güllük Bay (%).



Şekil 7. Güllük Körfezi yüzeY sedimentlerinde toplam Cr içerikleri (µg/g).

Figure 7. Cr contents in surface sediments from Güllük Bay (µg/g).



Şekil 8. Güllük Körfezi yüzeY sedimentlerinde toplam Cd içerikleri (µg/g).

Figure 8. Cd contents in surface sediments from Güllük Bay (µg/g).

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Denizel ortamlarda yüzeY sedimentleri kirlenme faktörü (CF) değerine göre sınıflandırılmaktadır (Li vd., 2000; Pekey vd., 2004). Buna göre CF değeri 4 ayrı grupta sınıflandırılır. $CF < 1$ ise kirlenmemiş, $1 < CF < 3$ ise orta derecede kirlenmiş, $3 < CF < 6$ ise önemli derecede kirlenmiş ve $CF > 6$ ise oldukça yüksek derecede kirlenmiş olarak yorumlanmaktadır (Hakanson, 1980). CF değeri aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$CF = C_{\text{metal}} / C_0$$

C_{metal} : Sediment örneğindeki metal konsantrasyonu

C_0 : Metalin dünya şeyl ortalama değeri

formülüne göre hesaplanır. Formüle göre yapılan hesaplamalarla tüm ölçüm dönemlerinde bütün istasyonlarda yüzeY sedimentlerinin Cu, Cr ve As elementleri yönünden kirlenmemiş olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu elementlerin toplam içeriklerinin şeyl ortalamasının altında olduğunun belirlenmesi de bu sonucu desteklemektedir. Buna karşılık, Pb yönünden ilkbahar döneminde Çam Limanı'nın orta derecede, Sarıçay deresi ağzında oldukça yüksek ve yaz döneminde ise yine Sarıçay deresi ağzında orta derecede kirlenmiş olduğu

belirlenmiştir. Cd yönünden Kazıklı açığı, Kazıklı ve Çam Limanlarının, yaz döneminde Asım Körfezi ve Sarıçay deresi ağzının, sonbaharda ise Panayır Adası Kuzeyi ve Sarı Çay deresi ağzının orta derecede kirlenmiş olduğu görülmüştür. Zn yönünden ise ilkbahar döneminde Teke Burnu ve referans istasyonu dışında orta derece bir kirlenme belirlenirken, yaz döneminde İncegöl Burnu, Güvercinlik ve Büyük Tavşan Adası güneyinde ve sonbaharda Yük Limanı'nda orta derecede kirlenme tespit edilmiştir. Benzer şekilde Pb, Cd ve Zn metalleri yönünden kirlenmelerin görüldüğü aynı dönemlerde toplam Pb, Cd ve Zn içerikleri de şeyl ortalamasının üzerinde bulunmuştur. Dolayısıyla analizler ve hesaplamalar sonucu elde edilen veriler birbirini desteklemektedir. Bu çalışma, Güllük Körfezi'nde Dalman vd. (2006) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında

sonuçların genel olarak uyumlu olduğu; farklı olarak Sarıçay deresi ağzındaki örneklerde özellikle Pb, Cd ve Zn konsantrasyonlarının yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 1). Ayrıca Gökova Körfezi ve Muğla ili ve çevresinde yapılan kirlilik izleme çalışmalarında metal birikimlerinde termik santrallerin de etkili olduğu dikkati çekmektedir (Baba vd., 2003; Tuna vd., 2005; Balkıs vd., 2010). Sonuç olarak, yüzey sedimentlerindeki yüksek Pb, Cd ve Zn değerleri Güllük Körfezi'ne özellikle Sarıçay deresi olan karasal kaynaklı antropojenik girdilere, limanlardaki deniz taşımacılığına ve turizm aktivitelerine işaret etmektedir. Buna karşılık, körfez sedimentlerinde şeyl ortalaması altındaki Al içerikleri ise yüzey sedimenti örneklerinin kaba taneli yani karbonatça zengin olmasından kaynaklanmakta olup, körfeze yakın olan mermer yatakları ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 1. Yüzey sedimentlerinde toksik metal kirliliği.

Table 1. Toxic metal pollution in surface sediments

Çalışma Alanları	Al	Cr	Cu	Zn	Pb	Cd
	%			µg/g		
Erdek Körfezi (Mülayim vd., 2012)	1,14-8,61	2,2-172	<0,01-24	18-106	2-172	0,52-0,77
Bandırma Körfezi (Mülayim vd., 2012)	1,83-5,64	3,2-229	0,08-27	25-80	17-36	0,57-0,86
Erdek Körfezi (Balkıs ve Çağatay, 2001)	1,1-9,2	11-238	3-52	34-272	19-61	-
Gemlik Körfezi (Algan vd., 2004)	3,7-8,7	53-152	6-107	33-410	17-85	-
İzmit Körfezi (Balkıs vd., 2007)	2,3-11,4	34-77	11-42	84-306	23-52	-
İstanbul Şehri Kıyıları (Algan vd., 1999)	0,8-8	11-509	5-80	48-237	12-58	-
İzmir Körfezi (Küçüksezgin vd., 2006)	-	29-316	13-49	45-114	14-113	0,01-0,33
Gökova Körfezi (Balkıs vd., 2010)	5-34	18-1012	0,01-52	38-55	2-40	<0,01-1,6
Güllük Körfezi (Dalman vd., 2006)	-	-	20-30	34-159	19-21	0,45-0,69
Güllük Körfezi (Bu çalışma)	0,1-5,9	0,1 - 46	1-59	10-259	0,1-209	<0,01-1,8

EXTENDED SUMMARY

Güllük Bay is surrounded by small settlements such as Torba, Güvercinlik and Güllük. There are no industrial activities in the vicinity. Fishery and tourism are the main livelihood activities around the bay. Güllük Port is a dense transport location for bauxite and feldspar minerals in the bay. In this study, total lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As) and aluminum (Al) contents were investigated in the surface sediments in order to determine current contamination in Güllük Bay. For this purpose, surface sediments were collected with Ekman Grab (Hydrobios 15x15) seasonally from the bay (May, June, July and September) in 2011 and 2012. Strong acid (HNO₃, HF+HClO₄) digestion was used for metal analysis after drying in a freeze-dryer. Total metal concentrations were measured by atomic absorption spectrophotometer. It was observed that total metal contents changed between 1 and 209 µg/g; 10 and 259 µg/g; 1 and 59 µg/g; 0.1 and 46 µg/g; <0.01 and 2.8 µg/g, <0.01 and 0.4 µg/g, 0.6% and 5.9% for Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, As and Al, respectively. Copper, Cr and As concentrations were lower than the background values, contrary to higher Cd, Pb and Zn contents of the bay surface sediments in all the sampling periods. In other words, Güllük bay is an unpolluted area for As, Cr and Cu, while it is moderately polluted with Cd, Pb and Zn. These high metal values indicate that there are anthropogenic (domestic and industrial) inputs via Sarıçay creek and both maritime transport (especially at Kazık, Yük and Çam Ports) and tourism wastes in Güllük Bay. In contrast, the low Al content could indicate both natural and anthropogenic terrestrial inputs from a marble mining zone close to the bay.


KATKI BELİRTME

Makalenin üretildiği bilimsel veriler TÜBİTAK tarafından desteklenen 110Y243 no'lu proje kapsamında elde edilmiştir.

ORCID

Nuray Çağlar (Balkıs)  <https://orcid.org/0000-0001-7608-6339>

Abdullah Aksu  <https://orcid.org/0000-0003-1368-5689>

Gülşen Altuğ  <https://orcid.org/0000-0003-3251-7699>

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

- Aksu, A., Taşkın, Ö.S., 2012. Organochlorine residue and toxic metal (Pb, Cd and Cr) levels in the surface sediments of the Marmara Sea and the coast of Istanbul, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 64 (5), 1060-1062.
- Algan, O., Çağatay, N., Sarıkaya, H.Z, Balkıs, N., Sarı, E., 1999. Pollution monitoring using marine sediments: A case study on the Istanbul metropolitan area. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23 (1), 39-48.
- Algan, O., Balkıs, N., Çağatay, M. N., Sarı, E. 2004. The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Geology*, 46, 932-950.
- Altuğ, G., Balkıs, N., Çardak, M., Gürin S., Çiftçi Türetken, P.S., Kalkan, S., Hulyar, O., 2013. Güllük Körfezi Ekosisteminin Bakteriyolojik Analizlerle Araştırılması. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Proje No: 110Y243, (yayımlanmamış).
- Baba, A., Kaya, A., Birsoy, Y.K., 2003. The effect of Yatağan Thermal power plant (Muğla, Turkey) on the quality of surface and groundwaters. *Water Air and Soil Pollution*, 149 (1-4), 93-111.
- Balcıoğlu, E.B., Aksu, A., Balkıs, N., Öztürk, B., 2014. T-PAH contamination in Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) at various stations of the Turkish Straits System. *Marine Pollution Bulletin* 88 (1-2), 344-346.
- Balkıs, N., Çağatay M.N., 2001. Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey. *Environment International*, 27, 1-13.
- Balkıs, N., Algan O., 2005. Marmara Denizi Yüzev Sedimentlerinde (Şelf Alanı) Metallerin Birikimi ve Denetleyen Mekanizmalar, (Deniz Kirliliği Analiz Yöntemleri İlgili Uluslararası Sözleşmeler, Editörler: Güven, K.C., Öztürk, B.). TÜDAV Yayınları No:21, 177-204.

- Balkıs, N., Senol, E., Aksu, A., 2007. Trace metal distributions in water column and surface sediments of Izmit Bay (Turkey) after Marmara (Izmit) earthquake. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16 (8), 910-916.
- Balkıs, N., Aksu A., Okuş E., Apak, R., 2010. Heavy metal concentrations in water, suspended matter, and sediment from Gökova Bay, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 167 (1-4), 359-370
- Brayn, G.W., 1971. The effects of heavy metals on marine and estuarine organisms. *Proceedings of the Royal Society of London*, 389-410.
- Brayn, G.W., 1976. Heavy metal contamination in the sea, (Marine Pollution, Editör: Johnson R.). Academic Press, London 185-302.
- Dalman, Ö., Demirak, A., Balcı, A., 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the Southeastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 95 (1), 157-162.
- Gailer, J. 2007. Arsenic-selenium and mercury-selenium bonds in biology. *Coordination Chemistry Reviews* 251 (1-2), 234-254.
- Güler Ç., Çobanoğlu Z., 1994. Çocuk ve Çevre. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:23, T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 24.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. *Water Research*, 14 (8), 975-1001.
- Krauskopf, K.B. 1979. *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill, New York, 617 s.
- Küçüksezgin, F., Kontas, A., Altay, O., Uluturhan, E., Darılmaz, E., 2006. Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Nutrient, heavy metal and total hydrocarbon concentrations. *Environment International*, 32(1), 41-51.
- Li, X., Shen, Z., Wai, O.W.H., Li, Y., 2000. Chemical partitioning of heavy metal contaminants in sediments of the Pearl River Estuary. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 12, 17-25.
- Loring, D.H. ve Rantala, R.T.T., 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews*, 32, 235-283.
- Mülayim, A., Balkıs, N., Balkıs, H., Aksu, A., 2012. Distributions of total metals in the surface sediments of the Bandırma and Erdek Gulfs, Marmara Sea, Turkey. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 94 (1), 56-69.
- Pekey, H., Karakaş, D., Ayberk, S., Tolun, L., Bakoğlu, M., 2004. Ecological risk assessment using trace elements from surface sediments of Izmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 946-953.
- Taşkın, Ö.S., Aksu, A. ve Balkıs, N., 2011. Metal (Al, Fe, Mn and Cu) distributions and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the surface sediments of the Marmara Sea and the coast of Istanbul, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 62 (11), 2568-2570.
- Tuna, L.A., Yağmur, B., Hakerlerler, H., Kılınc, R., Yokas, İ., Bürün, B., 2005. Muğla Bölgesi'ndeki Termik Santrallerinden Kaynaklanan Kirlilik Üzerine Araştırmalar. Muğla Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi-Kesin Raporu, Muğla, 79 s.
- TÜİK, 2018. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1047



**GAP'ın En Büyük Sulama Sahasında Jeotermal Sulardan Kaynaklanan
Potansiyel Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması**
*Investigation of Potential Heavy Metal Pollution Caused by Geothermal Waters in GAP's Largest
Irrigation Area*

Perihan Derin^{1*} , Ayşegül Demir Yetiş² , M. İrfan Yeşilnacar³ , Pelin Yapıcıoğlu³ 

¹Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 63000 Şanlıurfa

²Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 13000 Bitlis

³Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 63000 Şanlıurfa

Geliş/Received : 30.09.2019

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 08.11.2019

• Kabul/Accepted : 13.11.2019

• Çevrimiçi Yayın/Available online : 15.01.2020

• Baskı/Printed : 31.01.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Karaali jeotermal alanı, Türkiye'deki jeotermal alanlardan biri olup, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Şanlıurfa ilinin 45 km güneydoğusunda ve Akçakale grabeni içerisindeki Karaali köyünde yer almaktadır. Karaali jeotermal alanı ülkemizin kalkınmasında çok önemli tarımsal potansiyele sahip Harran Ovası'nda bulunması, Şanlıurfa ilinin tek termal turizmi ve sera ısıtma kaynağı olması sebebiyle büyük önem taşımaktadır. Jeotermal kaynakların kullanıldıktan sonra doğrudan ya da dolaylı olarak denetimsiz bir şekilde en yakın drenaj kanallarına deşarj edilmesi, yeraltı suları ile beraberinde toprağı ve bitkileri ağır metal kirlenmesi anlamında olumsuz etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında, jeotermal kaynaklı ağır metal kirliliğinin insan sağlığı bakımından doğrudan ve dolaylı maruziyeti tespit etmek amacıyla Karaali jeotermal akışkanı (KJ) ve yakınındaki drenaj kanalları (D9, D10, D11, D12 ve D13) olmak üzere toplamda 6 noktadan Şubat ve Ekim 2018 tarihleri arasında mevsimsel örnekleme yapılmıştır. Su örneklerinin Al, As, Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se ve V gibi ağır metal parametreleri belirlenmiştir. Sonuç olarak drenaj kanallarındaki suların tarımsal amaçlı sulama suyu olarak yeniden kullanılması için dikkate alınması gereken ilgili yönetmelikteki değerleri Al, Cr, Fe, Mo, Ni, Se ve V parametrelerinde aştığı tespit edilmiştir. Bunun yanında drenaj kanallarının yakınındaki iki kuyuda ise TSE 266, EPA ve WHO içme suyu kriterlerine göre sınır değeri Al ve Fe parametrelerinde aştığı saptanmıştır. Nihai olarak drenaj kanallarındaki Al, Cr, Fe, Mo, Ni, Se ve V gibi ağır metal kirliliği, yeraltı sularını sadece Al ve Fe bakımından etkilemiştir. Sulama suyunun yeniden kullanılması ile toprak, bitki ve yeraltı suyuna taşınan ağır metal kirliliği nedeniyle insan sağlığına olacak dolaylı maruziyetin şu an için yeraltı suyunun tüketimi ile doğrudan olacak maruziyetten daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak ilerleyen zamanda yeraltı sularında ağır metal bakımından sınır değerleri aşacak parametrelerde artışın söz konusu olması da muhtemeldir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal sular, ağır metal kirlenmesi, Harran Ovası, Karaali, Şanlıurfa

Abstract: The Karaali Geothermal field, one of the geothermal areas in Turkey, is located 45 km south-east of Şanlıurfa province in southeastern Anatolia. It also covers the area including Karaali village within the Akçakale graben. In addition, Karaali geothermal area is of great importance for Şanlıurfa not only because of thermal tourism and being a greenhouse heating source, but also because it is located in the Harran Plain which has very important agricultural potential for the development of Turkey. In recent studies, direct or indirect uncontrolled discharge of geothermal waters into the nearest drainage channels was shown to adversely affect soil and plants in terms of heavy metal contamination. This study aims to determine the direct and indirect exposure to heavy metal pollution originating in geothermal waters with respect to human health. Seasonal sampling was carried out between

February - October 2018 at 6 points in total, including the drainage channels (D9, D10, D11, D12 and D13) in the vicinity of Karaali geothermal fluid (KJ). Heavy metal parameters were measured such as Al, As, Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se and V. As a result, it was concluded that the sampling values exceed the values for Al, Cr, Fe, Mo, Ni, Se and V in the regulations that should be taken into consideration for the reuse of water in the drainage channels. Additionally, in nearby 2 groundwater wells (K7 and K8), the limit values were exceeded for Al and Fe parameters according to TSE 266, EPA and WHO drinking water criteria. Finally, heavy metal pollution in the drainage channels affected the wells only in terms of Al and Fe. It was also concluded that the indirect exposure impact due to heavy metal that is carried to soil, plants and groundwater by the re-use of irrigation water is more serious for human health than direct exposure caused by groundwater consumption. However, over a certain period of time an increase in parameters exceeding the limit values in terms of heavy metal may also occur.

Keywords: Geothermal water, Harran Plain, heavy metal pollution, Karaali, Şanlıurfa.

GİRİŞ

Yüzey ve yeraltı sularındaki inorganik kirleticilerin en önemli kaynağını ağır metaller oluşturur. Ağır metallerin sucul ortamlardaki bulunuş özellikleri, taşınım ve birikim mekanizmaları birçok farklı parametreye bağlı olup, oldukça karmaşık proseslerdir (Güven ve Öztürk, 2005). Ağır metaller çevreye doğal kaynaklı ve insan aktiviteleri sonucunda (antropojenik) olmak üzere iki farklı yoldan bırakılırlar (Sabiha-Javied vd., 2009; Derin, 2019). Bazı ağır metaller çevreye yayıldıkça, buldukları ortamdaki derişimlerine bağlı olarak bitki gelişimi, hayvan ve insan yaşamı üzerinde olumsuz etkilere sebep olabilirler. Ağır metallerin ve metal(loid) içeren bileşiklerin birçoğu zehirlidir, bu sebeple çok küçük derişimlerde dahi istenmeyen etkilere ve sorunlara neden olabilirler (Kara, 2005; Arora vd., 2008; Derin, 2019). Bu kirleticilerin topraktaki ve canlı organizmalardaki birikiminin etkileri kısa sürede görülemeyebilir, bu yüzden ağır metal birikiminin yakından takip edilmesi gereklidir.

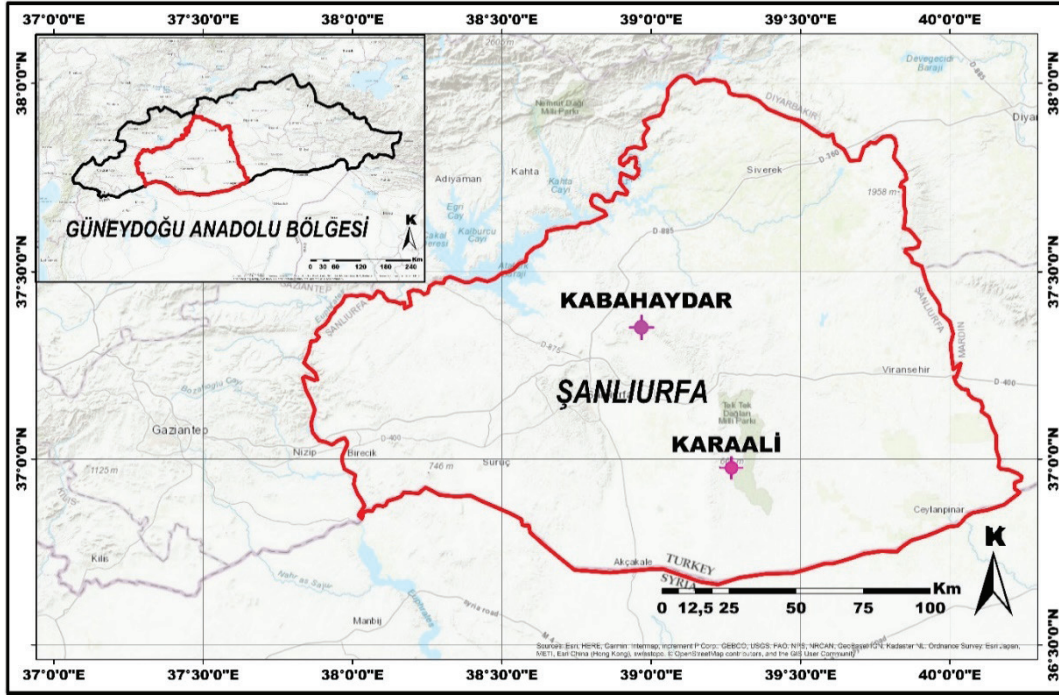
Harran Ovası'nda 1995 yılında yüzey sulamasının başlamasıyla birlikte yoğun tarımsal faaliyetler, aşırı ve kontrolsüz sulama ve yetersiz drenaj sisteminden dolayı önemli

çevresel sorunların ortaya çıktığı rapor edilmiştir (Yeşilnacar vd., 2007). Bu çalışmanın amacı, ovada yer alan Karaali jeotermal akışkanın kullanıldıktan sonra drenaj kanallarına kontrolsüz bir şekilde deşarj edilmesi ile drenaj kanallarındaki sulama suyuna ve bu drenaj kanallarına yakın kuyulara olan etkisini belirlenmesidir.

MATERYAL ve METOT

Çalışma Alanının Konumu

Şanlıurfa ili sınırları içerisinde bulunan Harran Ovası, 141500 ha sulama alanı, 3700 km² drenaj alanı ve 1500 km² ova alanıyla GAP'ın en büyük ovasıdır (Yeşilnacar vd., 2007). Şanlıurfa ilinde Karaali ve Kabahaydar olmak üzere iki adet jeotermal alan bulunmakta olup, Karaali jeotermal alanı Harran Ovası sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Karaali jeotermal alanı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Şanlıurfa ilinin 45 km güneydoğusunda ve Akçakale grabeni içerisindeki Karaali köyündedir. Karaali jeotermal alanında 1993 yılından beri 17'si özel idare, 15'i özel sektör tarafından olmak üzere toplam 32 adet jeotermal arama amaçlı sondaj çalışması gerçekleştirilmiş, 39-58 °C arasında değişen sıcaklıkta akışkan üretimi sağlanmıştır.



Şekil 1. Şanlıurfa ili jeotermal kaynakları.

Figure 1. Geothermal fields in Şanlıurfa.

Jeolojik ve Tektonik Özellikler

Karaali jeotermal sahası, alüvyon dolgulı düzlükler ile aralarında yüzeylenen Eosen ve daha genç çökellerden meydana gelen ve Akçakale grabeni diye tanımlanan graben içerisinde yer almaktadır.

Hidrojeolojik Özellikler

GAP idaresinin kurulması ile birlikte Harran Ovası'nda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Harran ovasındaki sulama 1993 yılına kadar tamamen yeraltı suyu ile sağlanmıştır. Karaali jeotermal alanının yer aldığı Harran Ovası'nda 1995 yılında yüzey sulamasına geçilmesine rağmen alan hala yeraltı sularına bağlıdır. Harran Ovası'nda, sulama amaçlı olarak hem özel hem de kamu kurumları tarafından açılmış yaklaşık 10000 adet kuyu bulunmaktadır. Karaali jeotermal alanı akifer kaynağını, çevresinde yüzlek veren Paleosen yaşlı tortul kayaçlar taşımaktadır.

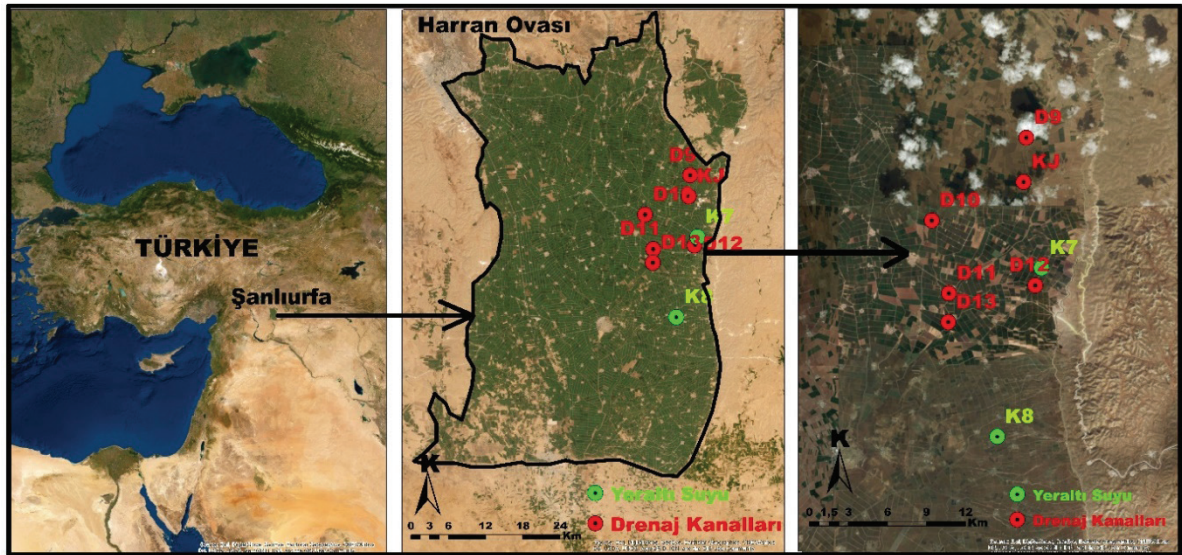
Aynı zamanda, alanda bariyer görevini de göstermektedir. Özellikle Paleosen birimler üzerinde yüzlek veren kireçtaşları ise yeraltı suyu açısından zengindir. Karaali jeotermal alanının çevresinde yüzlek veren Eosen yaşlı kireçtaşları karstik özelliğe sahiptir (Yetiş vd., 2019). Ovanın kuzeyinde, kuzeydoğusunda ve kuzey batısında Eosen yaşlı kireçtaşları, ovanın doğusunda geniş bir alanda ise Miyosen kireçtaşları, batısında ise Oligo-Miyosen yaşlı kireçtaşları yüzlek vermiştir (Baba vd., 2015).

Örnekleme Çalışmaları ve Metodoloji

Bu çalışmada, Harran Ovası'nda Şubat ve Ekim 2018 tarihleri arasında 4 dönem olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Karaali jeotermal kaynağından (KJ) 1 adet (sera ve kaplıca turizminde kullanılan sudan), kaynağına yakın farklı drenaj kanallarındaki sulardan (D9, D10, D11, D12 ve D13) 5 adet olmak üzere toplamda 6 ayrı noktadan örnekleme

yapılmıştır. Bunun yanında OSİB (2017) tarafından yapılan çalışmada drenaj kanallarının potansiyel etkisi altında olan 2 adet yeraltı suyunun (K7 ve K8) analiz sonuçları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, örnekleme noktalarının seçimlerinde dikkate alınan hususlara ait bilgiler Çizelge 1’de detaylı olarak yer almaktadır. Drenaj kanallarındaki sular, Karaali jeotermal kaynağı ile tarımsal sulamadan dönen sulardan meydana gelmektedir. Kaplıca ve sera ısıtılmasında kullanılan jeotermal kaynaklı suların denetimsiz bir şekilde Harran Ovası’nda bulunan en yakın drenaj kanalına deşarj edildiği ve örnekleme noktalarından biri olan D11 örnekleme noktası özellikle jeotermal suyun drenaj kanalına ilk karıştığı nokta olması sebebiyle seçilmiştir.

Alınan su numunelerinde; Al, As, Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se ve V gibi ağır metal parametrelerinin ölçümleri yapılmıştır. Su örnekleri APHA(1998) “1060 C. Sample storage and preservation” metoduna göre 250 ml’lik polietilen şişelere alınarak, nitrik asitle muamele edilmiş ve +4 °C’de muhafaza edilerek ölçümü yapılmak üzere akredite laboratuvara gönderilmiştir. Ağır metal parametrelerinin ölçümleri induktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) cihazı ile ISO 17025 kalite sistemiyle akredite edilmiş laboratuvarında yaptırılmıştır. Örnekleme yapılan noktaların koordinat ve lokasyon bilgileri Çizelge 1’de ve örnekleme noktalarının konumu Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Çalışma alanına ait coğrafik görünüm ve örnekleme noktalarının konumu.

Figure 2. Geographic view of the study area and location of sampling points.

Çizelge 1. Örnekleme noktalarına ait lokasyonlar ve seçilme nedenleri.**Table 1.** Location of sampling points and reasons for selection.

Örnek No	Lokasyon	Seçilme Nedeni	Koordinat	
			X	Y
D9	Yaşar	Jeotermal kaynakların membasında yer almasından dolayı seçilmiştir.	513607	4099237
D10	Vergili	HT 10-1 ana tahliye kanalı üzerinde olması nedeni ile seçilmiştir.	507815	4094181
D11	Küpeli	Jeotermal kaynaklar sonrası durumun tespiti amacıyla seçilmiştir.	508870	4089751
D12	Vergili	Fırat suyuyla sulanan arazilerden elde edilen taze drenaj suyunu temsil etmektedir.	514174	4090239
D13	Banarlı	Bereket Sulama Birliği suyunu temsil etmektedir.	508830	4087997
KJ	Karaali	Karaali jeotermal alanında sera ve kaplıca turizminde kullanılan suyu temsil etmektedir.	513439	4096533
K7	Olgunlar	Örnekleme noktalarının orta kesimindeki kirliliği temsil etmektedir.	514560	4091310
K8	Yaygılı	Bütün örnekleme noktalarından gelen kirliliği temsil etmektedir.	511860	4081017

Drenaj kanallarındaki örnekleme noktalarından elde edilen ağır metal verileri, taslak “Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik” ekinde yer alan EK-1’in Tablo 2 “Sulamada Kullanılacak Sularda Kabul Edilebilen Maksimum Eser Element Konsantrasyonları” listesinde yer alan kriterlere göre mukayese edilmiştir. Drenaj kanallarında ölçülen ağır metal düzeylerinin yeraltı suyuna, toprağa ve bitkiye olan dolaylı etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca OSİB (2017) tarafından tamamlanan “Sulamadan geri dönen suların kontrolü ve yeniden kullanımı için iyileştirilmesinin araştırılması projesi” kapsamında drenaj kanallarının yakınındaki yeraltı sularında ölçülmüş ağır metal konsantrasyonlarından yola çıkarak yeraltı sularına doğrudan etkisi de içme suyu kriterlerine göre irdelenmiştir. K7 ve K8 no’lu kuyulara ait Mart ve Ekim 2016 tarihlerinde yapılan ölçümler, TSE 266 (2005), EPA (2012) ve WHO (2017) gibi ulusal ve uluslararası mevzuatlardaki içme suyu kriterlerine göre mukayese edilerek değerlendirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Harran Ovası’ndaki drenaj kanallarında Şubat ve Ekim 2018 tarihleri arasında mevsimsel olarak

izlenen jeotermal kaynak ve drenaj kanallarındaki 6 farklı örnekleme noktasına ait Al, As, Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se ve V gibi ağır metal parametrelerinin ölçümleri yapılmıştır. Örnekleme noktalarından elde edilen veriler “Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik” taslak ekindeki sınır değerlerle mukayese edilerek değerlendirilmiştir. Bunun yanında tarımsal üretim amaçlı drenaj kanallarındaki bu suların çiftçiler tarafından yeniden kullanımının toprağa, bitkiye ve yeraltı suyuna etki ederek ağır metal bakımından insan sağlığına olan dolaylı etkisi irdelenmiştir.

Drenaj kanallarındaki sular, Karaali jeotermal kaynak suları ile tarımsal sulamadan dönen suların meydana gelmektedir. Dolayısıyla insana olan doğrudan maruziyetin boyutlarını ortaya koyma adına OSİB (2017) tarafından yapılan çalışmada akışın kuzeyden güneye olduğu düşünüldüğünde (Çelik ve Gülersoy, 2013) drenaj kanallarının potansiyel etkisi altında olan K7 ve K8 no’lu kuyulardan alınan verilerin de ağır metal sonuçları içme suyu kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

Drenaj kanallarında ölçülen ağır metal parametreleri için minimum ve maksimum değerler ve sulamada kullanılacak sularda

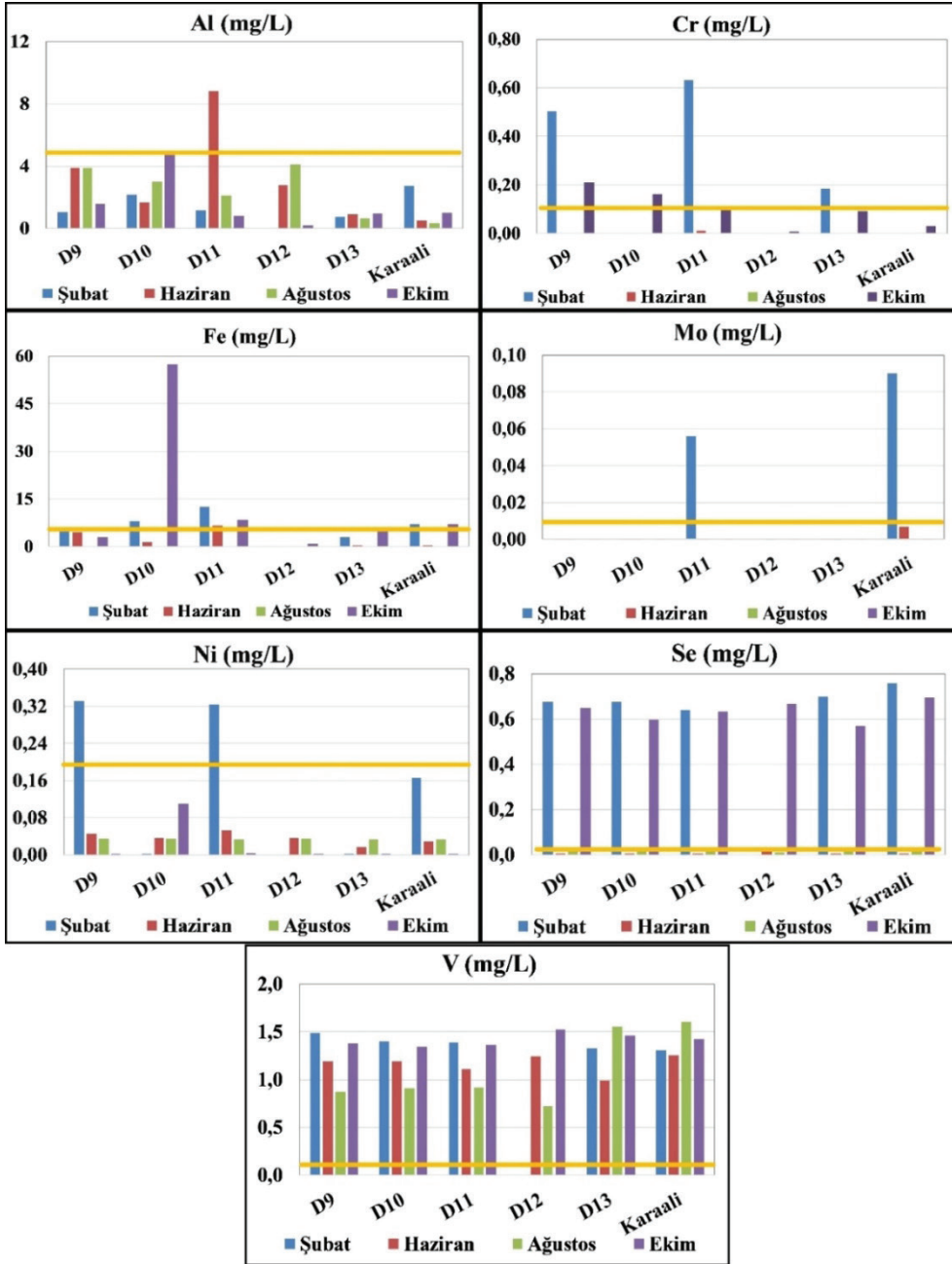
kabul edilebilen maksimum eser element konsantrasyonları Çizelge 2’de görülmektedir. Buna göre Al için 1 adet örnekleme noktasında (D11), Cr için 4 örnekleme noktasında (D9, D10, D11 ve D13), Fe için 5 örnekleme noktasında (D9, D10, D11, D12 ve Karaali), Mo için 2 örnekleme noktasında (D11 ve Karaali), Ni için 2 örnekleme noktasında (D9 ve D11), Se ve V için tüm noktalarda ölçülen değerler Çizelge 2’de yer alan toplam 7 parametrede sınır kriterlerini aşmıştır. As, Co, Mn ve Pb değerleri açısından ise Çizelge 2’de yer alan sınır değerler aşılmamıştır. Sb parametresi için mevzuatta sınır değer yer almadığı için değerlendirme yapılamamıştır.

Harran ovasında tarımsal sulamadan sonra drenaj kanallarına verilen suların sulamada yeniden kullanıldığı dikkate alındığında ölçüm yapılan bütün ağır metal parametreleri bakımından örnekleme noktaları arasında en kirli olan noktanın D11 no’lu nokta, en temiz noktanın ise D12 no’lu nokta olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3). D11 no’lu nokta jeotermal kaynaklar sonrasında gelen sular ile sulamadan dönen kirli sulardan oluşmaktayken, D12 no’lu nokta Fırat suyuyla sulanan arazilerden elde edilen taze nispeten daha temiz drenaj suyunu temsil etmektedir.

Çizelge 2. Drenaj kanallarında izleme sonuçlarına ait minimum (min) ve maksimum (max) değerler ile kalite sınıfları ve nihai durumu.

Table 2. Minimum and maximum values of monitoring results in drainage channels, quality classes and final status.

Parametre (mg/L)	Min Değer (Gözlenen Nokta-Dönem)	Max Değer (Gözlenen Nokta-Dönem)	Sınır Değer (mg/L)	Nihai Durum
Al	0,209 (D12-Ekim)	8,827 (D11-Haziran)	5	Aşıldı
As	0,00001 (D10-Ağustos)	0,00081 (D11-Şubat)	0,1	Aşılmadı
Co	0,00010 (D11-Haziran)	0,0008 (Karaali-Haziran)	0,05	Aşılmadı
Cr	0,0001 (D9-Haziran)	0,632 (D11-Şubat)	0,1	Aşıldı
Fe	0,019 (Karaali-Ağustos)	57,58 (D10-Ekim)	5	Aşıldı
Mn	0,014 (Karaali-Haziran)	0,156 (D11-Haziran)	0,2	Aşılmadı
Mo	0,000136 (D11-Haziran)	0,757 (Karaali-Şubat)	0,01	Aşıldı
Ni	0,00017 (D9-Ekim)	0,331 (D9-Şubat)	0,2	Aşıldı
Pb	0,0001 (Karaali-Ağustos)	0,728 (D11-Şubat)	3	Aşılmadı
Sb	0,00014 (D11-Haziran)	0,531 (D13-Şubat)	-	-
Se	0,00017 (D9-Ekim)	0,331 (D9-Şubat)	0,02	Aşıldı
V	0,719 (D12-Ağustos)	1,606 (Karaali-Ağustos)	0,1	Aşıldı



Şekil 3. Ağır metaller bakımından sınır değerleri aşan izleme sonuçlarının Karaali jeotermal ve drenaj kanallarındaki örnekleme noktalarına göre dönemsel değişimi.

Figure 3. Periodic change in monitoring results exceeding the limit values for heavy metals according to sampling points in Karaali geothermal field and drainage channels.

Jeotermal kaynakların sonrasında özellikle bahçe sulaması ve kaplıca turizminden çıkan sulara yapılan Karaali örnekleme Fe, Mo, Se ve V olmak üzere 4 parametre bakımından kirlilik olduğu görülmektedir. Dolayısıyla jeotermal kaynaktan gelen suyun; bahçe sulamasında, kaplıca turizminde ve sulamada kullanıldıktan sonra ağır metal değerlerinde artış olduğu ve böylece kirlendiği ifade edilebilir. Diğer parametrelerin izleme sonuçlarının drenaj kanallarına ait örnekleme noktalarına ve Karaali jeotermal örnekleme noktasına göre dönemsel değişimine ait detay Şekil 3'te sunulmuştur. Fe parametresinin dönemsel değişimi değerlendirilecek olursa D10 no'lu örnekleme noktasında Ekim döneminde sınır değeri aşılmıştır. D10 no'lu nokta HT 10-1 ana tahliye kanalı üzerinde bulunup, sulamada dönen suları kullanan sulama birliklerinin drenaj sularını toplamaktadır. Bu noktada özellikle Ekim döneminde Fe değerinin yüksek çıkmasının sebeplerinin çevreden taşınan volkanik kayalar ve kireçtaşlarını bağlı olduğu düşünülmektedir (OSİB, 2017). Ayrıca suya doygun topraklarda demir iyonlarının derişiminin artması ve kullanılan pesitistin drenaj kanallarına yüzey akışla taşınması ile de açıklanabilir (Bahçeci, 2019). Mo parametresinin dönemsel değişimi değerlendirilecek olursa D11 ve Karaali örnekleme noktalarında Şubat döneminde sınır değeri aşılmıştır. Karaali örnekleme noktası jeotermal sahasında sera ve kaplıca turizminde kullanılan sudan oluşmaktayken D11 ise jeotermal kaynaklar sonrası durumun tespiti amacıyla seçilen noktadan oluşmaktadır. Bu noktalarda jeotermalden çıkan sıcak suyun volkanik kayaları ve kireçtaşlarını çözmesine bağlı olarak Mo değerini etkilediği düşünülmektedir (OSİB, 2017). Ni ve Cr parametrelerinin dönemsel değişimi değerlendirilecek olursa D9 ve D11 no'lu (Cr'da Karaali) örnekleme noktalarında Şubat döneminde sınır değeri aşılmıştır. D9 no'lu nokta jeotermal kaynakların membasında ve

D11 ise jeotermal kaynaklar sonrası durumun tespiti amacıyla seçilen noktadır. Bu noktalarda özellikle jeotermalden çıkan sıcak suyun volkanik kayaları ve kireçtaşlarını çözmesine bağlı olarak Ni ve alaşımı olan Cr değerlerini etkilediği düşünülmektedir (OSİB, 2017).

Drenaj kanallarında ölçüm yapılan 12 adet ağır metal parametresinin 5 drenaj kanalındaki durumuna bakıldığı zaman bu suların tarımsal sulamada yeniden kullanımı toprağa, bitkiye ve yeraltı suyuna doğrudan etki ederken, insana ve insan sağlığına ise dolaylı olarak etki etmektedir. Ağır metaller bitkilerde ve diğer canlıların yapısında doğal olarak belirli limit değerlerde bulunurlar ve yapısal anlamda metabolizmada çeşitli görevler üstlenen elementlerdir. Bunun yanında bazı ağır metallerin ise metabolizmada hiçbir fonksiyonu yoktur ve vücut için zararlıdır. Normal koşullarda insan bünyesinde belirli oranlarda bulunması gayet doğal olan bu metallerin aşırı olan değerleri diğer canlılarda olduğu gibi insanlarda da toksik etki gösterir (Özyürek, 2016).

İnsana olan doğrudan maruziyeti değerlendirmek adına drenaj kanallarının potansiyel etkisi altındaki K7 ve K8 no'lu kuyulara ait OSİB (2017) tarafından Mart-2016 ve Ekim-2016 dönemlerinde yapılan ölçümler, TSE 266 (2005), EPA (2012) ve WHO (2017) gibi ulusal ve uluslararası içme suyu kriterlerine göre mukayese edilerek değerlendirilmiştir. Buna göre; jeotermal kaynak kullanımı sonucu ve tarımsal amaçlı sulama suyunun yeniden kullanılması ile yeraltı suyunda ağır metal bakımından 3 farklı içme suyu kriterine göre içme suyu sınır değerlerini aşan parametreler Al ve Fe olmakla birlikte, 7 ağır metal parametresi ise sınır değerlerin altında kalmıştır (Çizelge 3). Nihai olarak drenaj kanallarındaki Al, Cr, Fe, Mo, Ni, Se ve V gibi ağır metal kirliliği yeraltı sularını sadece Al ve Fe bakımından etkilemiştir. Ancak ilerleyen zamanda sınır değerleri aşacak parametrelerde artışın olacağı da kaçınılmazdır.

Çizelge 3. Kuyularda Mart ve Ekim 2016 dönemi izleme verileri ile içme suyu kriterlerine göre nihai durumları (OSİB, 2017).

Table 3. Monitoring data from wells for March and October 2016 and their final status according to drinking water criteria (OSİB, 2017).

Parametre (mg/L)	Mart 2016		Ekim 2016		Sınır Değer			Nihai Durum
	K7	K8	K7	K8	TSE-266	EPA	WHO	
Al	0,088	0,232	0,21	0,01	0,2	0,05	0,1	Aşıldı
As	0,0002	0,0002	0,001	0,001	0,01	0,01	0,01	Aşılmadı
Co	0,0001	0,00034	0,0004	0,00002	-	-	-	-
Cr	0,0135	0,0036	0,0065	0,0026	0,05	0,1	0,05	Aşılmadı
Fe	0,135	0,230	0,25	0,03	0,2	0,3	0,3	Aşıldı-TSE
Mn	0,0022	0,0100	0,008	0,001	0,05	0,05	0,1	Aşılmadı
Mo	0,002	0,002	0,003	0,003	-	-	0,07	Aşılmadı
Ni	0,0009	0,002	0,005	0,001	0,02	-	0,07	Aşılmadı
Pb	0,0010	0,0011	0,001	0,000	0,01	0,015	0,01	Aşılmadı
Se	0,0033	0,0067	0,001	0,001	0,01	0,05	0,04	Aşılmadı
V	0,015	0,045	0,01	0,01	-	-	-	-

Tarımsal topraklarda, metallerin varlığı endişe vericidir, çünkü bunlar daha az çözünür formlarda birikme, toprak çözeltisine aktarılma ve daha sonra yeraltı sularını ve mahsul kalitesini bozma potansiyeline sahiptir (Marrugo-Negrete vd., 2017). Tarımsal topraklar ağır metaller bakımından kirlendiği zaman, bunlar bitkiler tarafından alınır ve sonuç olarak bitki dokularında birikir. Bu tür kirlenmiş bitkilerde otlayan ve kirli sulardan içilen hayvanların yanı sıra ağır metal ile kirlenmiş içme sularını ve metallerle kirlenmiş tarım ürünlerini tüketen insanların dokularında biriken metaller doğrudan ve dolaylı olarak toksik etkiye neden olmaktadır (Verma vd., 2013).

SONUÇLAR

Yeşilnacar vd. (2007) yaptıkları çalışmada Harran Ovası yeraltı suyu kalitesi ve kirlenme potansiyelinin belirlenmesi ve kirlilik haritasının oluşturulmasıyla bir nebze de olsa ovadaki sorunun boyutunu ortaya koymuşlardır. Ovada yapılan bir diğer çalışma ise OSİB (2017) GAP Bölgesi'nde sulamadan dönen suların kontrolü ve yeniden

kullanımı için iyileştirilmesinin araştırılması projesidir. Mevcut çalışmada, Harran Ovası'nda bulunan ve Şanlıurfa ilinin tek jeotermal kaynağı Karaali jeotermalinde ve jeotermal suyun deşarj edildiği drenaj kanallarında ağır metal kirliliğinin araştırılması ve yakınındaki yeraltı suyuna olan etkisinin belirlenmesidir. Drenaj kanallarındaki sulama suyunun yeniden kullanılması ile toprak, bitki ve yeraltı suyu ile insan sağlığına olan doğrudan ve dolaylı etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Drenaj kanallarında ölçülen ağır metal parametrelerinden Al, Cr, Fe, Mo, Ni, Se ve V değerleri açısından ilgili taslak yönetmeliğin Tablo 2 listesinde yer alan kriterler aşılmıştır. Ağır metal değerinin yüksek çıkmasının nedeni özellikle çevreden taşınan volkanik kayalar ve kireçtaşlarına bağlı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bir diğer sebep olarak tarımsal ilaçlama ile toprakta biriken metallerin yüzeysel akışla drenaj kanallarına taşınmış olma ihtimali de söz konusu olabilir. As, Co, Mn ve Pb değerleri açısından ise sınır değerler aşılmamıştır. Sb parametresi

için mevzuatta sınır değer yer almadığı için değerlendirme yapılamamıştır. Harran ovasında ölçüm yapılan bütün ağır metaller bakımından örnekleme noktaları arasında en kirli olan noktanın D11 no'lu nokta, en temiz noktanın ise D12 no'lu nokta olduğu tespit edilmiştir. D11 no'lu nokta jeotermal kaynaklar sonrasında gelen sular ile sulamadan dönen kirli sulardan oluşmaktayken, D12 no'lu nokta Fırat suyuyla sulanan arazilerden elde edilen taze ve nispeten temiz drenaj sularını temsil etmektedir.

Yeraltı sularında ait yapılan ölçümler, TSE 266 (2005), EPA (2012) ve WHO (2017) gibi ulusal ve uluslararası içme suyu kriterlerine göre mukayese edildiğinde jeotermal kaynak kullanımı sonucu ve tarımsal amaçlı sulama suyunun yeniden kullanılması ile içme suyu sınır değerlerini aşan parametreler Al ve Fe olmakla birlikte, 7 ağır metal parametresi ise sınır değerlerin altında kalmıştır (Çizelge 3). Nihai olarak drenaj kanallarındaki Al, Cr, Fe, Mo, Ni, Se ve V gibi ağır metal kirliliği yeraltı sularını sadece Al ve Fe bakımından etkilemiştir.

Bu çalışma insan maruziyeti bakımından değerlendirildiğinde; sulama suyunun yeniden kullanılması ile toprak, bitki ve yeraltı suyuna taşınan ağır metal kirliliği ile insana ve insan sağlığına dolaylı maruziyetin şu an için yeraltı suyunun tüketimi ile doğrudan maruziyetten daha fazla etki edeceği düşünülmektedir. Ancak ilerleyen süreçte bu ağır metal kirliliğinin yeraltı suyunu da etkileyeceği bir gerçektir. Ova genelinde drenaj kanalları ve özellikle de yakınındaki yeraltı sularında periyodik izlemelere devam edilmesinin yanında toprakta ve bitkilerde ise ağır metal birikimleri için düzenli kontrollerin yapılması önerilmektedir.

EXTENDED SUMMARY

In Turkey, geothermal resource research shows that there is significant geothermal energy

potential that can be considered an alternative because of advantages provided by utilization possibilities, even if not as many as fossil energy resources. Karaali Geothermal Area, which is one of two geothermal springs in Şanlıurfa province is located 45 km southeast of Şanlıurfa province in the southeastern Anatolia region and includes the village of Karaali in the Akçakale graben. Karaali geothermal area is located in Harran Plain which has very important agricultural potential for the development of our country. At the same time, it is of great importance because of being the only thermal tourism location and source of greenhouse heating in Şanlıurfa.

Recent studies show that geothermal water is discharged directly or indirectly into the nearest drainage channels after use without control. Therefore, it affects the soil and plants together with groundwater in terms of heavy metal pollution. As some heavy metals spread to the environment, they cause severe disorders in plants, animals and humans depending on their concentration in the environment. Many of the heavy metals and metal-containing compounds (metalloids) are toxic. Therefore, they can cause undesirable effects and problems even at very low concentrations. The effects of the accumulation of these pollutants in the soil and living organisms may not be immediately (acutely) visible. Therefore, heavy metal accumulation should be closely monitored.

In this study, the aim is to determine the direct and indirect exposure on human health of heavy metal pollution sourced from geothermal area. In this context, seasonal sampling was carried out between October-February 2018 at 6 points in total, including the Karaali geothermal fluid and nearby drainage channels. Heavy metal parameters such as Al, As, Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se and V were measured.

As a result, it was determined that Al, Cr, Fe, Mo, Ni, Se and V parameters exceed the limit values in the relevant draft regulations that

should be taken into consideration for the reuse of water in the drainage channels as agricultural irrigation water. In addition, in K7 and K8 wells near the drainage channels, the limit values were exceeded for Al and Fe parameters according to TSE 266, EPA and WHO drinking water criteria. Finally, heavy metal pollution such as Al, Cr, Fe, Mo, Ni, Se and V in the drainage channels affected the wells only in terms of Al and Fe. It was concluded that at present the indirect exposure of humans and human health due to heavy metal pollution carried to soil, plant and groundwater by reuse of irrigation water is more effective than direct exposure due to consumption of ground water. However, it is also possible that there will be an increase in parameters exceeding the limit values in terms of heavy metal. It is recommended to carry out periodic monitoring of the drainage channels and especially in the nearby wells across the plain and to conduct regular investigations for heavy metal accumulation in soil and plants.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (HÜBAP) tarafından 18081 no'lu proje ile desteklenmiştir.

ORCID

Perihan DERİN  <https://orcid.org/0000-0002-4920-9804>

Ayşegül DEMİR YETİŞ  <https://orcid.org/0000-0003-4745-2445>

M. İrfan YEŞİLNACAR  <https://orcid.org/0000-0001-9724-8683>

Pelin YAPICIOĞLU  <https://orcid.org/0000-0002-6354-8132>

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

- APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, Editörler: Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Eaton, A.D. United Book Press, Baltimore, MD, USA, 4-103.
- Arora, M., Kiran, B., Rani, S., Rani, A., Kaur, B., Mittal, N., 2008. Heavy Metal Accumulation in Vegetables Irrigated with Water from different Sources. Food Chemistry, 111, 811-815.

- Baba, A., Akkuş, İ., Şaroğlu, F., Özel, N., Yeşilnacar, M.İ., Nalbantçılar, M.T., Demir, M., Gökçen, G., Arslan, Ş., Dursun, N., Yazdani, H., 2015. GAP İlleri Jeotermal Kaynakları Araştırma Projesi. GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Şanlıurfa.
- Bahçeci, İ., 2019. Tarımsal Drenaj Sistemleri Ders Notları. Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü – Şanlıurfa [http://web.harran.edu.tr/assets/uploads/other/files/Ziraat_Fak%C3%BCltesi/SULAMA/TARIMSAL_DRENAJ_M%C3%9CH.pdf Erişim Tarihi: 08.11.2019]
- Çelik, M.A., Gülersoy, A.E., 2013. Güneydoğu Anadolu Projesi'nin (GAP) Harran Ovası tarımsal yapısında meydana getirdiği değişimlerin uzaktan algılama ile incelenmesi. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 6 (28), 46-54.
- Derin, P., 2019. Karaali (Şanlıurfa) Jeotermal Sahasının Ağır Metal Kirliliği Açısından Araştırılması. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Yüksek Lisans Tezi, 73 s., (yayımlanmış).
- EPA (United States Environmental Protection Agency), 2009. National Primary Drinking Water Regulations, EPA 816-F-09-004.
- Güven, K.C., Öztürk, B., 2005. Deniz Kirliliği. TÜDAV Yayınları, No: 21, İstanbul, 512 s.
- Kara, Y., 2005. Bioaccumulation of Cu, Zn and Ni from the Wastewater by Treated Nasturtium Officinale. International Journal of Environmental Science and Technology, 2, 63-67.
- Marrugo-Negrete, J., Pinedo-Hernández, J., Díez, S., 2017. Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia. Environmental Research, 154, 380-388.
- OSİB, 2017. GAP Bölgesi'nde sulamadan dönen suların kontrolü ve yeniden kullanımı için iyileştirilmesinin araştırılması proje nihai raporu. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, TÜBİTAK-MAM, Gebze, Kocaeli.
- Özyürek, F., 2016. Nevşehir'de Farklı Su Kaynaklarıyla Sulanan Sebzelerde Ağır Metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) Birikimi. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, Yüksek Lisans Tezi, 118 s., (yayımlanmış).

- Sabiha-Javied, M.T., Tufai, M., Irfan, N., 2009. Heavy metal pollution from phosphate rock used for the production of fertilizer in Pakistan. *Microchemical Journal*, 91, 94-99.
- TS-266, 2005. Sular-İnsani tüketim amaçlı sular, Türk Standartları Enstitüsü. Nisan. ICS 13.060.20
- Verma, R., Dwivedi, P., 2013. Heavy metal water pollution-A case study. *Recent research in Science and Technology*, 5(5), 98-99.
- WHO (World Health Organization), 2017. *Guidelines for Drinking Water Quality: Fourth Edition. Incorporating the First Addendum*. Geneva. ISBN 978-92-4-154995-0
- Yeşilnacar, M.İ., Demir, F., Uyanık, S., Yılmaz, G., Demir, T., 2007. Harran Ovası Yeraltı Suyu Kalitesi ve Kirlenme Potansiyelinin Belirlenmesi. TÜBİTAK Proje No: 104Y188.
- Yetiş, R., Atasoy, A.D., Demir Yetiş, A., Yeşilnacar, M.İ., 2019. Hydrogeochemical characteristics and quality assessment of groundwater in Balıklıgol Basin, Sanliurfa, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 78, 331.



Assessment of Harran Plain Groundwater in Terms of Arsenic Contamination
Arsenik Kirliliği Bakımından Harran Ovası Yeraltı Sularının Değerlendirilmesi

Pelin Yapıcıoğlu^{1*}, Perihan Derin², M. İrfan Yeşilnacar¹

¹Harran University, Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, 63000 Şanlıurfa

²Harran University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Environmental Engineering Department, 63000 Şanlıurfa

Geliş/Received : 16.09.2019

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 05.10.2019

• Kabul/Accepted : 15.10.2019

• Çevrimiçi Yayın/Available online : 15.01.2020

• Baskı/Printed : 31.01.2020

Research Article/Araştırma Makalesi

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Abstract: Arsenic (As) contamination in water, especially in groundwater, has led to major health problems. Due to the recognition that As at low concentrations in potable water causes crucial health effects, As removal methods have gained significant importance in recent years. In this study, As concentration was monitored in October and March in ten observation wells located in Harran Plain, which has the largest groundwater reserves in the Middle East. The main aim of this study is to select the proper treatment method for remediation of a groundwater resource polluted with As. According to the analyses, there was no well that exceeded the limit for As concentration (10 ppb). The results revealed that As concentrations in October were lower than in March. In March, the highest As concentration was observed in Yaygılı well with the value of 4.12 ppb. Ozanlar well had the lowest As concentration with the value of <0.5 ppb. In October, the highest As concentration was 2.39 ppb in Çamlidere well. For Çamlidere and Yaygılı wells, As removal methods (coagulation and flocculation, adsorption, membrane processes, advanced oxidation processes, electrocoagulation, biochar) were investigated and discussed. As a result of the assessment, it was estimated that the best available As removal method could be biochar application considering its advantages.

Keywords: Arsenic, biochar, groundwater, Harran Plain, removal methods.

Öz: Suda özellikle yeraltı suyunda arsenik (As) kirliliği, majör sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Arsenik konsantrasyonu içme suyunda düşük konsantrasyonda bulunsa bile ciddi sağlık etkilerine sebep olabilir ve bunun sonucunda son zamanlarda As giderim metotları önem kazanmıştır. Bu çalışmada, Ortadoğu'nun en büyük yeraltı suyu rezervlerine sahip olan Harran Ovası'nda yer alan on kuyuda Ekim ve Mart aylarında As konsantrasyonu izlenmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, As ile kirlenmiş bir yeraltı suyunun doğru arıtım yöntemiyle iyileştirilmesi için uygun arıtım metodunu seçmektir. Analizlere göre, As konsantrasyonunu sınır değerini (10 ppb) aşan hiçbir kuyu yoktur. Sonuçlar göstermektedir ki, Ekim ayındaki As konsantrasyonu Mart ayındakinden daha düşüktür. Mart ayında, en yüksek As konsantrasyonu Yaygılı kuyusunda 4,12 ppb olarak tespit edilmiştir. Ozanlar kuyusu Ekim ve Mart aylarında <0,5 ppb değerleriyle en düşük As konsantrasyonuna sahiptir. Ekim ayında en yüksek As konsantrasyonu 2,39 ppb olup Çamlidere kuyusundadır. Çamlidere ve Yaygılı kuyuları için As giderim metotları araştırılmış ve giderim metotları (koagülasyon ve flokülasyon, adsorpsiyon, membran prosesleri, ileri oksidasyon prosesleri, elektrokoagülasyon, biyoçar) tartışılmıştır. Değerlendirmenin sonunda, en iyi As giderim metodunun avantajları düşünüldüğünde biyoçar uygulaması olabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arsenik, biyoçar, yeraltı suyu, Harran Ovası, giderim metotları.

INTRODUCTION

Arsenic (As) is a heavy metal that occurs in the environment in different oxidation states and various forms that include As(V), As(III), As(0) and As(-III) (Choonga et al., 2007). Arsenic cannot be easily degraded and can only be converted into different forms or transformed into insoluble compounds. Inorganic As generally occurs in two major oxidation states of arsenite and arsenate, both of which are toxic to flora and fauna. The presence of As in fresh water is due to leaching from source rocks and sediments containing As (Robertson, 1989; Hering and Elimelech, 1995; Choonga et al., 2007; Derin, 2019).

Arsenic contamination in natural water especially in groundwater is a worldwide problem and has become a significant issue and environmental challenge (Choonga et al. 2007). The World Health Organization recommended that As concentration should be lower than 10 ppb for the potable water resources standard (WHO, 2011). The toxicology of As is a complex phenomenon and is generally categorized in acute and chronic types. Acute As poisoning requiring prompt medical attention usually occurs through ingestion of contaminated food or drinking water. The major early manifestation of acute As poisoning involves burning and dryness of the mouth and throat, dysphasia, colicky abdominal pain, projectile vomiting, profuse diarrhea, and hematuria. Also, As has carcinogenic effect (Choonga et al., 2007; Jain and Ali, 2000). Arsenic formation at low concentrations in potable water leads to severe health problems so the technologies for As removal from water have become increasingly important. From this point of view, As contamination should be removed from groundwater using proper and adequate treatment methods. There are several methods for

As removal from water. These methods include coagulation and flocculation, precipitation, adsorption and ion exchange, membrane filtration, etc. Alternative methods like ozone oxidation, advanced oxidation process, bioremediation and electrochemical treatments are also used for the removal of As (Choonga et al., 2007). Innovative treatment methods such as biochar applications can be used for removal of As from groundwater.

Harran Plain has the largest groundwater reserves in the Middle East. In this study, As concentrations in ten observation wells located in Harran Plain were monitored in October (post irrigation) and in March (before irrigation). Then, treatment methods were investigated and discussed to remove As from groundwater. This paper aims to select the proper treatment method for remediation of a groundwater resource polluted with As.

MATERIALS AND METHODS

Study Area

Harran Plain has the largest irrigation area in southeastern Turkey and the largest groundwater reserves in the Middle East. Harran Plain is located in the southeast of Şanlıurfa province. The drainage area is 3,700 km², the lowland area is 1,500 km² and the irrigation area is 141,500 ha in Harran Plain. Ten wells called Çamlıdere, Yardımcı, Kısas, Uğurlu, Ozanlar, Kızıldoruç, Olgunlar, Yaygılı, Bolatlar and Uğraklı are observation wells for As concentration in Harran Plain. Figure 1 shows the location map of the study area. The main reasons to select these wells are that they are vulnerable and located in the superficial aquifer and nearby agricultural fields. The other reasons are accessibility and many previous studies were performed in this superficial aquifer.

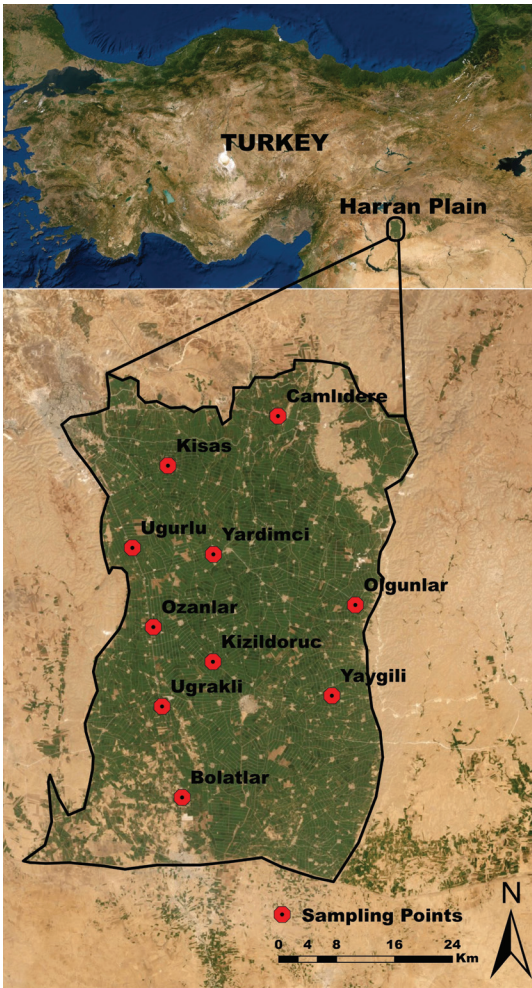


Figure 1. Location map of the study area.

Şekil 1. Çalışma alanının konumu.

Harran Plain is composed of Eocene limestone, occurring in a graben structure bordered by large N–S striking faults. Geological units in the study area and their main geological and hydrogeological properties are described below. From bottom to top, the area is composed of Paleocene, Eocene, Miocene, Pliocene and Pleistocene aged units. There are two types of aquifer in the study area. The first is a deep aquifer also called the confined aquifer, lower aquifer or Eocene aquifer. The second is an upper aquifer, also called the unconfined aquifer, shallow aquifer or Pleistocene aquifer (DSİ, 1972; 2003; Yeşilnacar

and Güllüoğlu, 2008). Geological formations in the region consist of sedimentary and volcanic rocks. Only basalts are found as igneous rocks. Basalts are seen locally on some hills surrounding the plain. These basalts are the result of eruptions of Karacadağ volcanism (DSİ, 1972; 2003). It can be considered that As in the water wells may originate from basalt composition. It can be said that it is a geogenic formation. Figure 2 shows the geologic structure of the sampling points. The wells are fed from the limestone aquifer with basalt intrusions.

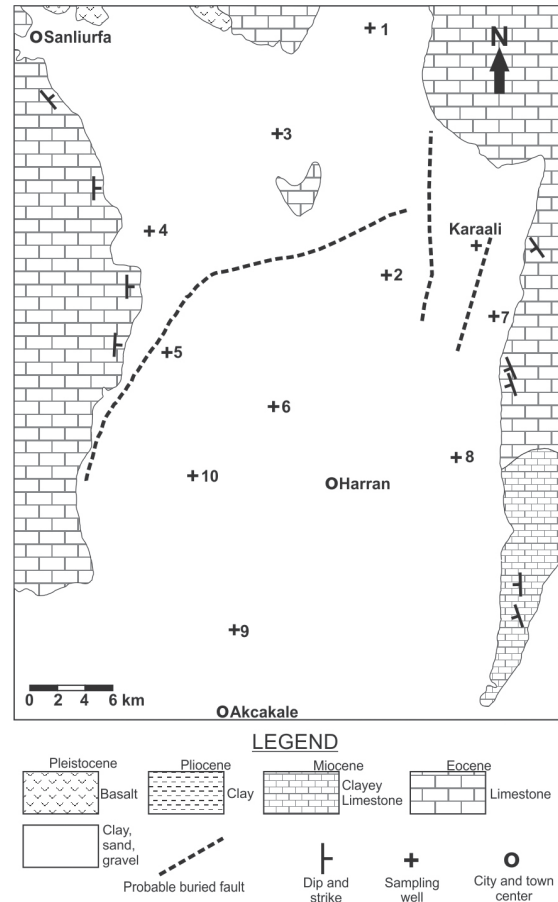


Figure 2. Geological map of the study area and sampling points (DSİ, 2003; Yeşilnacar and Güllüoğlu, 2008).

Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası ve örnekleme noktalarının konumu (DSİ, 2003; Yeşilnacar and Güllüoğlu, 2008).

Experimental Planning

In this study, As analyses were performed according to the Standard Methods (APHA, 1995) using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) technique by an outsourcing service for the sampling points Çamlıdere (1), Yardımcı (2), Kısas (3), Uğurlu (4), Ozanlar (5), Kızıldoruç (6), Olgunlar (7), Yaygılı (8), Bolatlar (9) and Uğraklı (10) wells. Arsenic analyses were performed in March (before irrigation) and in October (post irrigation).

Removal Methods

Coagulation and flocculation, adsorption, membrane processes, advanced oxidation processes (AOPs), electrocoagulation, and biochar application were investigated and discussed in this study. Among As treatment processes, coagulation and flocculation are among the most common methods applied. Ferric salts are common for use as a coagulant for this purpose (Choonga et al., 2007). Yuan et al. (2003) studied a combination system of a ferric sulfate coagulation system for As removal from potable water. This method is economic and effective. Zouboulis and Katsoyiannis (2002) studied As removal by implementing modifications to a conventional coagulation/flocculation process. In adsorption processes, contaminated water is passed through a medium in which As is adsorbed and removed from the water (Choonga et al., 2007). Egeuz and Cho (1987) applied this process to remove As from water. Membrane processes can be used for As removal from potable water (Choonga et al., 2007). Especially, nanofiltration (NF) and reverse osmosis (RO) are the major membrane processes for As removal from water. Saitúa et al. (2005) studied the impacts of operating conditions on the removal of As from water by nanofiltration. Kang et al. (2000) studied the impact of pH on removal of As using reverse osmosis. Advanced oxidation processes (AOPs) are the main advanced removal

techniques for contaminants in potable water. Especially oxidant materials such as ozone, UV, and hydrogen peroxide are used for As removal. Frank and Clifford (1986) implemented this process for As removal from water.

The electrocoagulation (EC) process is a separation process that involves several chemical and physical mechanisms for contaminant removal from water (Mollah et al., 2004, Nidheesh and Singh, 2017). The EC process is regarded as a very efficient method for removing various water contaminants (Nidheesh and Singh, 2017). The removal of As from water by the EC process was reported by several authors (Ucar et al., 2013; Vasudevan et al., 2010). Biochar can be applied for carbon sequestration, soil amendment, waste management, wastewater treatment, groundwater remediation, and greenhouse gas emission minimization (Qambrani et al., 2017). Biochar can be produced from many types of biomass such as plants, sewage sludge, animal manures, and agro-industrial biomass by various generation methods that include slow pyrolysis, fast pyrolysis, gasification or combustion (Yuan et al., 2016). The production method is a type of renewable energy because biomass is a renewable energy resource. Biochar applications have become very popular for water treatment in recent years. Niazi et al. (2018) and Bakshi et al. (2018) tried to remove As from water with biochar applications.

RESULTS AND DISCUSSION

According to the assessment results, As concentrations in March (before irrigation) were higher than in October (post irrigation). It is estimated that irrigation decreases the As concentrations in groundwater. Precipitation may increase the dilution of As concentrations. There was no well that exceeded the As concentration of the WHO (2011) drinking water standard limit value (10 ppb) in Harran Plain. However, it can be said that there is As contamination in Harran Plain. Table 1 shows the results of As analyses.

Table 1. Arsenic concentrations in observation wells in March and October.

Çizelge 1. Mart ve Ekim aylarında gözlem kuyularındaki As konsantrasyonu.

Sample name	Observation well	As concentration (ppb)	
		March	October
1	Çamlıdere	2.5	2.39
2	Yardımcı	1.06	0.85
3	Kıyas	0.6	0.63
4	Uğurlu	0.9	0.82
5	Ozanlar	0.49	0.47
6	Kızıldoruç	1.3	1.05
7	Olgunlar	1.32	1.24
8	Yaygılı	4.12	1.2
9	Bolatlar	1.07	0.81
10	Uğraklı	0.79	0.58

The highest As concentration was monitored in Yaygılı well with the value of 4.12 ppb in March. The lowest average As concentration corresponds to Ozanlar well with the value of <0.5 ppb in March. Figure 3 shows the variation of As concentration in March. The highest As concentration was observed in Çamlıdere well with the value of 2.39 ppb in October. The lowest As concentration corresponds to Ozanlar well in October, similar to March, with the value of <0.5 ppb. The variation of As concentration in October is given in Figure 4. Figure 5 shows the comparison of As concentration variations of the sampling points. Baba et al. (2019) found that As concentrations of geothermal fluid near Harran Plain ranged from 13.4 to 3000 ppb, with the increased As in geothermal fluid originating from water-rock interaction associated with As-containing formations.

The results revealed that As contamination which is under the limit (10 ppb) was observed in Harran Plain. So, As removal should be applied for some wells such as Yaygılı well and Çamlıdere well. Coagulation and flocculation, adsorption, membrane processes, advanced oxidation

processes (AOPs), electrocoagulation, and biochar applications were investigated and discussed in this study. Table 2 shows the assessment of As removal methods.

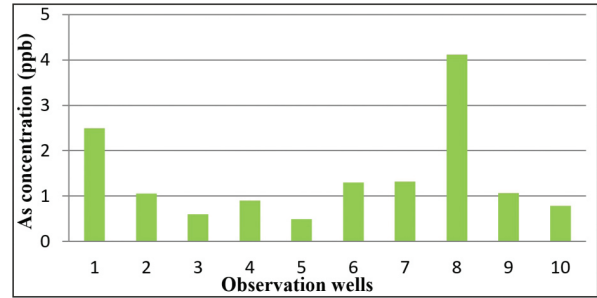


Figure 3. Variation of As concentration in March.

Şekil 3. Mart ayında gözlem kuyularındaki As konsantrasyonu değişimi.

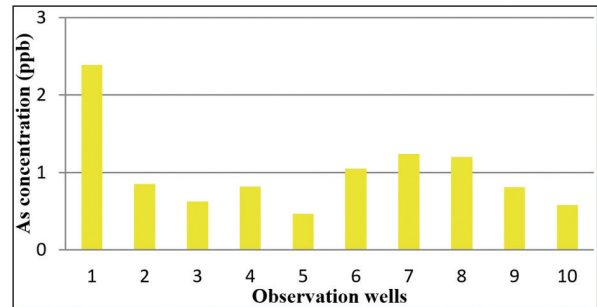


Figure 4. Variation of As concentration in October.

Şekil 4. Ekim ayında gözlem kuyularındaki As konsantrasyonu değişimi.

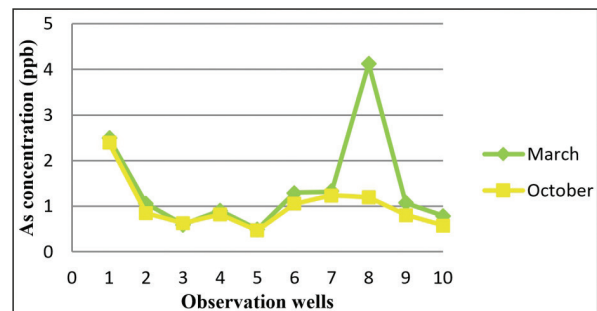


Figure 5. Comparison of As concentration variations in wells.

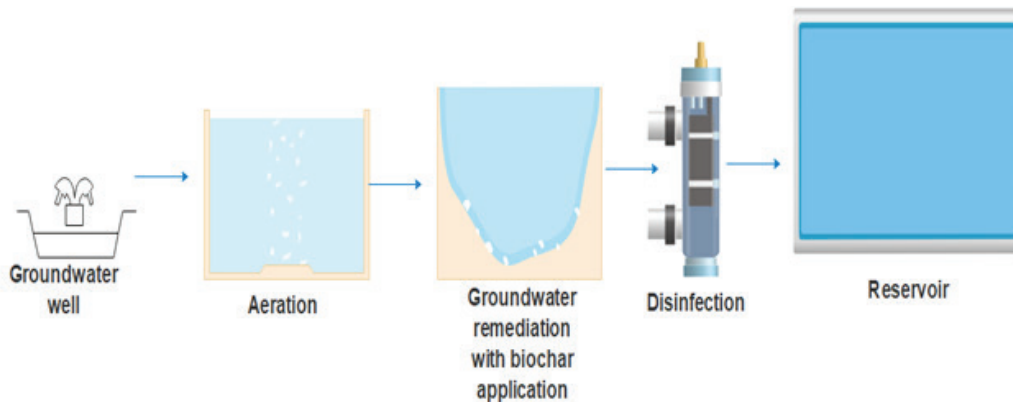
Şekil 5. Gözlem kuyularındaki As konsantrasyonu değişimlerinin karşılaştırılması.

Table 2. Assessment of As removal methods.**Çizelge 2.** Arsenik giderim metotlarının değerlendirilmesi.

Removal Method	Assessment	Reference
Coagulation and flocculation	Coagulation with disinfection is one of the commonly used treatment methods. Disinfection can have an adverse impact on other water quality parameters such as the formation of by-products and the release of taste and odor compounds.	McNeill and Edwards, 1995
Adsorption	Regeneration and backwashing process has many challenges for adsorption process. Also, the adsorbent is considered hazardous waste.	Eguez and Cho, 1987
Membrane processes	To operate this system is very difficult; for membrane backwashing and cleaning processes large amounts of fresh water are required.	Kang et al., 2000
AOPs	An expensive and efficient treatment method.	Frank and Clifford, 1986
Electro-coagulation	An expensive and efficient treatment method.	Nidheesh and Singh, 2017
Biochar	A cheaper, more environmentally-friendly and efficient method.	Bakshi et al., 2018; Niazi et al., 2018

Among treatment methods, biochar appears to be the feasible method to remove As from groundwater because of its advantages. It is cheaper than the other techniques, and biochar can adsorb As immediately. Biochar has gained significant attention recently due to its role in many environmental management issues and environmental challenges (Qambrani et al., 2017). It can also minimize greenhouse gases released into the atmosphere from groundwater.

For this region, biochar can be generated from Urfa red peppers with the pyrolysis method. The recommended remediation method is described in Figure 6. Firstly, aeration should be applied to treat the groundwater from Yaygılı well and Çamlıdere well. Then biochar applications can be implemented to remove As from the groundwater before the disinfection process. Arsenic removal should be provided by biochar application for both wells.

**Figure 6.** Recommended As treatment flow scheme.**Şekil 6.** Önerilen As arıtımı akım şeması.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Arsenik (As), farklı oksidasyon durumlarında ve As (V), As (III), As (0) ve As (-III) içeren çeşitli formlarda oluşan bir ağır metaldir (Choonga vd., 2007). Arsenik kolayca suda parçalanmaz ve sadece farklı formlara dönüştürülerek sudan uzaklaştırılır. İnorganik As türlerinden olan arsenit ve arsenat, flora ve fauna için toksiktir ve oksidasyon sonucu meydana gelirler. Arseniğin içme suyundaki varlığı, As içeren kayaç ve sedimentlerden sızma nedeniyledir. Bu sebeple yüzey sularından daha çok yeraltı sularında As konsantrasyonu gözlemlenmektedir. Arsenik yeraltı suyunda eser konsantrasyonlarda olsa bile ciddi sağlık sorunlarına sebep olabilmektedir. Bu nedenle, son zamanlarda dünya genelinde As giderim metotları popülerite kazanmıştır.

Harran Ovası, güneydoğu Türkiye'nin en büyük sulama alanına ve Orta Doğu'nun en büyük yeraltı suyu rezervlerine sahiptir. Harran Ovası Şanlıurfa il merkezinin güneydoğusunda yer almaktadır. Harran Ovası'nda drenaj alanı 3700 km², ova alanı 1500 km² ve sulama alanı 141500 hektardır. Bu çalışmada, Ortadoğu'nun en büyük yeraltı suyu rezervlerine sahip olan Harran Ovası'nda yer alan on kuyuda Ekim ve Mart aylarında As konsantrasyonu izlenmiştir. Bu kuyular Çamlıdere (1), Yardımcı (2), Kısas (3), Uğurlu (4), Ozanlar (5), Kızıldoruç (6), Olgunlar (7), Yaygılı (8), Bolatlar (9) ve Uğraklı (10) kuyularıdır. Bu kuyuların seçilmesinin sebebi ana akifere ve tarımsal alanlara yakın olmasıdır. Ayrıca kuyulara ulaşım kolaylığı ve şehir merkezine yakın olmaları tercih sebebidir.

Bu çalışmanın temel amacı, As ile kirlenmiş bir yeraltı suyunun doğru arıtım metoduyla iyileştirilmesi için uygun arıtım metodunu seçmektir. Mart ayında (sulama öncesi) ve Ekim ayında (sulama sonrası) numuneler alınıp As konsantrasyonu ICP-MS yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Analizlere göre, yeraltı sularındaki As konsantrasyonu WHO (2011) içme suyu sınır değerini (10 ppb) aşmadığı tespit edilmiştir. Ekim ayında yeraltı suyundaki As konsantrasyonu Mart ayındakinden daha düşüktür. Bunun sebebinin sulama sonucu seyrelmenin etkisiyle yeraltı


suyunda As konsantrasyonundaki derişimin azalması olabileceği öngörülmektedir. Mart ayında, en yüksek As konsantrasyonu Yaygılı kuyusunda 4,12 ppb olarak gözlemlenmiştir. Ozanlar kuyusu, Ekim ve Mart aylarında <0,5 ppb değerleriyle en düşük As konsantrasyonuna sahiptir. Ekim ayında en yüksek As konsantrasyonu 2,39 ppb olup Çamlıdere kuyusundadır.


Çamlıdere ve Yaygılı kuyuları için, As giderim metotları araştırılmıştır ve giderim metotları arasından koagülasyon ve flokülasyon, adsorpsiyon, membran prosesleri, ileri oksidasyon prosesleri, elektrokoagülasyon ve biyoçar uygulaması tartışılmıştır. Biyoçar (biyokömür), çeşitli biyomaslardan (hayvan gübresi, atık bitki, orman atıkları, arıtma çamuru) termal yöntemlerle yüksek sıcaklık altında üretilmektedir. Biyoçar, su arıtımı, atık yönetimi, atık su arıtımı, toprak remediasyonu, yeraltı suyu arıtımı gibi birçok alanda uygulanabilmektedir. Biyoçar aynı zamanda iyi bir adsorbenttir ve sudaki kirleticileri (NO₃⁻, As vb.) adsorplama kapasitesi çok yüksektir. Bununla beraber karbondioksit gazını bünyesinde depolama özelliği vardır. Bu sebeple sera gazı emisyonu azaltıcı etkisi de bulunmaktadır. Değerlendirmelerin sonucunda, en iyi As giderim metodunun, avantajları düşünüldüğünde biyoçar uygulaması olabileceği öngörülmektedir. Bunun sebebi biyoçar uygulamasının daha ucuz ve çevre dostu teknoloji olması gösterilebilir. Bununla beraber biyoçar Şanlıurfa'da atık isot biberinden piroliz yöntemiyle ekonomik bir şekilde üretilebilir. Arseniği bünyesinde kolayca adsorplayabileceği için ideal bir uygulamadır.


ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by Harran University Scientific Research Council (HUBAK) with project number 18081. Also, the authors are grateful to Dr. Ayşegül Demir Yetiş for her support to this study.

ORCID

Pelin YAPICIOĞLU  <https://orcid.org/0000-0002-6354-8132>

Perihan DERİN  <https://orcid.org/0000-0002-4920-9804>

M.İrfan YEŞİL NACAR  <https://orcid.org/0000-0001-9724-8683>

REFERENCES

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, USA.
- Baba, A., Saroglu, F., Akkuş, İ., Ozel, N., Yesilnacar, M.I., 2019. Geological and hydrogeochemical properties geothermal systems in the southeastern region of Turkey. *Geothermics*, 78, 255-271.
- Bakshi, S., Banik, C., Rathke S.J., Laird, D.A., 2018. Arsenic sorption on zero-valent iron-biochar complexes. *Water Research*, 137, 153-163.
- Choonga, T.S.Y., Chuaha, T.G., Robiaha, Y., Koaya, F.L.G., Aznib, I., 2007. Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview. *Desalination*, 217, 139-166.
- Derin, P., 2019. Karaali (Şanlıurfa) Jeotermal Sahasının Ağır Metal Kirliliği Açısından Araştırılması. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Yüksek Lisans Tezi, 73 s., (yayımlanmış).
- DSI, 1972. Harran Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSI Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 49 s.
- DSI, 2003. Harran Ovasında Tuzluluk ve Drenaj Problemi, Özet Rapor. Devlet Su İşleri, Şanlıurfa, 10 s.
- Eguez, H.E., Cho, E.H., 1987. Adsorption of arsenic on activated charcoal, *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, 39, 38-41.
- Frank, P., Clifford, D., 1986. Arsenic III oxidation and removal from drinking water. US Environ Protection Agency Report. EPA-600-52-86/021.
- Hering, J.G., Elimelech, M., 1995. International perspective on arsenic in groundwater: problems and treatment strategies. *Proc. AWWA, Annual Conference*.
- Jain, C.K. and Ali, I., 2000. Arsenic: occurrence, toxicity and speciation techniques. *Water Research*, 34 (17), 4304-4312.
- Kang, M., Kawasaki, M., Tamada, S., Kamei, T., Magara, Y., 2000. Effect of pH on the removal of arsenic and antimony using reverse osmosis membranes. *Desalination*, 131, 293-298.
- McNeill, L.S., Edwards, M., 1995. Soluble arsenic removal at water treatment plants. *Journal American Water Works Association (AWWA)*, 87, 105-113.
- Mollah, M.Y.A., Morkovsky, P., Gomes, J.A.G., Kesmez, M., Parga, J., Cocke, D.L., 2004. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 114, 199-210.
- Niazi, N.K., Bibi I., Shahid, M., 2018. Arsenic removal by perilla leaf biochar in aqueous solutions and groundwater: An integrated spectroscopic and microscopic examination. *Environmental Pollution*, 232, 31-41.
- Nidheesh, P.V., Singh, T.S.A., 2017. Arsenic removal by electrocoagulation process: Recent trends and removal mechanism. *Chemosphere*, 81, 418-432.
- Qambrani, N.A., Rahman, M.M., Won, S., 2017. Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 255-273.
- Robertson, F.N., 1989. Arsenic in ground water under oxidizing conditions, south-west United States. *Environmental Geochemistry Health*, 11, 171-176.
- Saitúa, H., Campderrós, M., Cerutti, S., Pérez, A., 2005. Padilla effect of operating conditions in removal of arsenic from water by nanofiltration membrane. *Desalination*, 172, 173-180.
- Ucar, C., Baskan, M.B., Pala, A., 2013. Arsenic removal from drinking water by electrocoagulation using iron electrodes. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 30, 1889-1895.
- Vasudevan, S., Lakshmi, J., Sozhan, G., 2010. Studies relating to removal of arsenate by electrochemical coagulation: optimization, kinetics, coagulant characterization. *Separation Science and Technology*, 45, 1313-1325.
- WHO (World Health Organization), 2011. Guidelines for Drinking-water Quality. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44584/9789241548151_eng.pdf?sequence=1 10 October 2019.
- Yeşilnacar, M.I., Güllüoğlu, M.S., 2008. Hydrochemical characteristics and the effects of irrigation on groundwater quality in Harran Plain, GAP Project, Turkey. *Environmental Geology*, 54, 183-196.
- Yuan, T., Luo, Q.F., Hu, J.Y., Ong, S.L., Ng, W.J., 2003. A study on arsenic removal from household drinking water. *Journal of Environmental Science and Health; Part A*, 38, 1731-1744.
- Yuan, H., Lu, T., Wang, Y., Chen Y., Lei, T., 2016. Sewage sludge biochar: Nutrient composition and its effect on the leaching of soil nutrients. *Geoderma*, 267, 17-23.
- Zouboulis, A., Katsoyiannis, I., 2002. I. Removal of arsenates from contaminated water by coagulation-direct filtration. *Separation Science and Technology*, 37, 2859-2873.



TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ YAZIM KURALLARI

Yazıların Hazırlanması

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

Makale Sunum Süreci ve Etik Bildirimi

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

Yazılar aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır:

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

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

Metinde kullanılan değişik türde başlıklar farklı şekillerde ve tüm başlıklar sayfanın sol kenarında verilmelidir. Ana başlıklar büyük harflerle ve koyu yazılmalıdır. İkinci derece başlıklar alt başlık olarak değerlendirilmeli ve birinci ve ikinci derece alt başlıklar küçük harfle (birinci derece alt başlıklarda her kelimenin ilk harfi büyük) ve koyu, üçüncü derece alt başlıklar ise italik olmalıdır. Başlıkların önüne numara veya harf konulmamalıdır. Yazılar (öz, metin, katkı belirtme, kaynaklar, ekler ve şekiller dizini) A4 (29.7 cmX21 cm) boyutundaki sayfaların bir yüzüne, kenarlardan en az 2,5 cm boşluk bırakılarak, 1,5 cm aralıkla ve 12 puntoyla (Times New Roman) yazılmalı, ayrıca tüm sayfalara numara verilmelidir.

Başlıklar şu şekilde olmalıdır:

ÖZ

ABSTRACT

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

İkinci derece alt başlık

Üçüncü derece alt başlık

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

EXTENDED SUMMARY/GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

KATKI BELİRTME

KAYNAKLAR

Kapak Sayfası

Yazıdan ayrı olarak sunulacak kapak sayfasında aşağıdaki bilgiler yer almalıdır:

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

Başlık ve Yazarlar

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

Yazarlara ilişkin bilgi ise aşağıdaki örneklere uygun olarak verilmelidir.

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

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

ÖZ

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

Anahtar Kelimeler

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

EXTENDED SUMMARY/GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

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

KATKI BELİRTME

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

DEĞİNİLECEK BELGELER (KAYNAKLAR BÖLÜMÜ)

Aşağıdaki örnekler ile kesinlikle uyumlu olmalıdır.

A. Süreli yayınlar:

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Makalenin başlığı. Süreli yayının/derginin adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), sayfa numaraları.

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

B. Bildiriler:

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

Ünal, E., Özkan, İ., Ulusay, R., 1992. Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses.

ISRM Symposium: Eurock'92 – Rock Characterization, Chester, UK., 14-17 September 1992, J. A. Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 330-335.

C. Kitaplar:

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın adı (ilk harfleri Büyük). Yayınevi, Basıldığı Şehrin Adı, sayfa sayısı.
Goodman, R.E., 1998. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley and Sons, New York, 562 s.
Ketin, İ., Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı 869, 520 s.

D. Kitapta Bölüm ise:

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bölüm Adı, (Kitap adı, Editör(ler):). Kitap yayınevi, basıldığı şehrin adı, Bölüme ait sayfa nolar.

Altunel, E., D'Andria, F., 2019. Pamukkale Travertines: A Natural and Cultural Monument in the World Heritage List (Landscapes and Landforms of Turkey, Eds.: Kuzucuoğlu, C., Çiner A., Kazancı N.). Springer Nature Switzerland AG, Cham, Switzerland, 219-229.

E. Raporlar ve Tezler:

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

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

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

F. Kişisel Görüşme:

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

G. İnternette İndirilen Bilgiler:

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

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

Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır.

Eşitlikler ve Formüller

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

Burada; makaslama dayanımı, c kohezyon, normal gerilme ve içsel sürtünme açısıdır". Eşitliklerde kullanılan alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterle yazılmalıdır (örneğin; I_d , x_2). Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır (örneğin; $c_{mass}=s0.5$). Çarpım işlemi göstermek için herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak gerekli durumlarda "*" işareti tercih edilmelidir (örneğin; $y=5*10-3$). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" işareti kullanılmalıdır. Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca^{++} ve CO_3^{--} -yerine $Ca(2+)$ ve $CO_3(2-)$ tercih

edilmelidir. Metinde eşitliklere “eşitlik (1)” şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Gerekiyorsa, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.

Çizelgeler

Çizelgeler, başlıklarıyla birlikte, Dergi'nin sayfalarındaki baskı alanını (15,8 x 22,5) aşmayacak şekilde hazırlanmalı ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısımlarında hem Türkçe, hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır (Çizelge başlıkları ayrı bir sayfada liste halinde verilmemelidir.). Makalenin Türkçe yazılması halinde İngilizce başlık italik harflerle Türkçe başlığın altında yer almalı, İngilizce makalelerde ise, italik yazılmış Türkçe başlık İngilizce başlıktan sonra verilmelidir. Çizelgeler, “Çizelge 1” vb. şeklinde sunulmalıdır. Metinde çizelgelere Çizelge 1 veya Çizelge 1 ve 2 (eğer birden fazla sayıda çizelgeye atıfta bulunulacaksa) şeklinde değinilmelidir. Çizelgeler, metinde kullanılan karakterlerden daha küçük (10 veya 11 punto) karakterle yazılmalı ve Dergi'nin tek (7,3 cm-Genişlik) veya çift (15,8 cm-Genişlik) kolonuna sığacak şekilde düzenlenmelidir. Çizelgelerde düşey çizgiler kullanılmamalı, yatay çizgiler ise sadece çizelgenin alt ve üstünde, ayrıca çizelgedeki başlıklar ile bunların altında listelenen rakamları ayırmak için kullanılmalıdır (Bunun için Dergi'nin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Her çizelge ayrı sayfalara bastırılarak metnin sonunda (Kaynaklar dizininden sonra) sunulmalıdır. Çizelgelerdeki kısaltma ve simgeler daha küçük karakterlerle çizelgenin altında verilmelidir (örneğin: c:tek eksenli sıkışma dayanımı vd.).

Şekiller

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller yüksek kalitede basılmış olarak “Şekil” başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekil numaraları sayfanın sağ üst köşesine yazılmalı, ayrıca şekiller küçültülüp büyütülebilecek halde sunulmalıdır. Şekil açıklamaları; şekillerin altına yazılmamalı ve ayrı bir sayfaya yazılarak “Şekiller Dizini” başlığıyla verilmeli, ayrıca “Şekil 1” olarak başlamalıdır. Çizelgeler için yukarıda belirtilen yazım kurallarına benzer şekilde, şekil başlıkları hem Türkçe, hem de İngilizce hazırlanmalıdır. Ayrı sayfalara bastırılmış olan şekiller, çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15,8 cm (Genişlik) x 22,5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin Dergi'nin tek veya çift kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması ve mümkünse daha çok tek kolona göre tasarlanması önerilir. Özellikle haritalar, arazi ile ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25000 vb.) yerine, metrik sisteme uygun çubuk ölçekle verilmelidir. Tüm haritalarda kuzey yönü gösterilmelidir. Bölgesel haritalarda, uygun olduğu takdirde, ulusal grid veya enlem/boylam değerleri verilmelidir. Harita açıklamaları, şekil başlığıyla birlikte değil, şeklin üzerinde yer almalıdır. Fotoğraflar, çizimler veya bunların birlikteliğinden oluşan şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Bu tür sunumlarda (örneğin; Şekil 5a ve 5b) a,b,c vb. gibi tek bir şekle ait çizimler veya fotoğraflar, ayrı sayfalarda basılması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır. Şekillerde açık gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen grafiklerde bu hususa dikkat edilmelidir. Gölgeleme belirgin, fotoğraflar siyah-beyaz ve iyi bir kontrasta sahip olmalıdır. Tüm şekiller, Şekil 1 veya Şekil 1 ve 2 (birden fazla şekle değiniliyorsa) gibi ve metinde anıldıkları sırayla numaralandırılmalıdır. Bir dizi fosil fotoğraflarını içeren şekiller levha olarak değerlendirilmelidir. Levha sayısı mümkün olduğunca az tutulmalıdır. Levhalara ilişkin açıklamalar, hem Türkçe hem de İngilizce olarak aynı sayfada verilmelidir.

MAKALELERİN EDITÖRLÜĞE GÖNDERİLMESİ

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

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ EDITÖRÜ

Prof. Dr. Erdiñ YİĞİTBAŞ

Tel: 286 2180018-2130

e-posta: eyigitbas@comu.edu.tr

YAYIMA KABUL EDİLEN MAKALELERİN SUNUMU

Yazarlar, makalelerinin yayıma kabulü halinde, makalenin düzeltilmiş son halini DergiPark Sistemi üzerinden Editör'e göndermelidir. Makaleler *DOCX biçiminde hazırlanmalıdır. Tüm şekiller Corel Draw ile çizilmelidir. Bununla birlikte, şekillerin çözünürlükleri 300 dpi den az olmamalıdır. Hem çizim (CDR) hem de resim (JPG) dosyaları DergiPark Sistemi üzerinden gönderilmelidir.

PROVA BASKILAR

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

TELİF HAKLARI

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



GEOLOGICAL BULLETIN OF TURKEY INSTRUCTIONS FOR CONTRIBUTORS

Preparation of Manuscripts

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

Submission Process and Ethical Statement

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

Manuscripts should generally be structured as follows:

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

- (g) Results and Discussion or Conclusions and Recommendations
- (h) Extended Summary / Genişletilmiş Özet
- (i) Acknowledgements (if necessary)
- (j) References
- (k) Tables
- (l) List of figure captions
- (m) Figures
- (n) Plates (if any)

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

Examples for headings:

ABSTRACT

INTRODUCTION

PRIMARY HEADING

Primary Sub-Heading

Secondary sub-heading

Tertiary sub-heading

CONCLUSIONS

EXTENDED SUMMARY

ANCKNOWLEDGEMENTS

REFERENCES

Cover Page

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

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

Title and Authors

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

The information related with authors should be given as follow:

Ahmet Ahmetoğlu Ankara University, Engineering Faculty, Geological Engineering
Department Tandoğan 06100 Ankara

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

ABSTRACT

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

Key Words

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

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET / EXTENDED SUMMARY

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

ACKNOWLEDGEMENTS

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

REFERENCES

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

A. Journals:

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

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

B. Proceedings and Abstracts:

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

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

C. Books:

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

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

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

D. Chapter in book:

Author(s), Date. Chapter Name, (Name of Book, Editor(s):) Name and Location of Publisher, Page numbers of the chapter.

Altunel, E., D'Andria, F. 2019. Pamukkale Travertines: A Natural and Cultural Monument in the World Heritage List (Landscapes and Landforms of Turkey, Eds.: Kuzucuoğlu, C., Çiner A., Kazancı N.). Springer Nature Switzerland AG, Cham, Switzerland, 219-229.

E. Unpublished Reports and Thesis:

Author(s), Date. Title of report or thesis. Name of the Organization or Institution , Report No. (if any), PhD or Msc Thesis, total pages, (published or unpublished).

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

Beccaletto L., 2004. Geology, Correlations and Geodynamic Evolution of the Biga Peninsula, Northwest Turkey. University of Lousanne, PhD Dissertation, 187 p. (Unpublished)

F. Personal Communications:

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

G. Information Downloaded from the Internet

Name of the Organization, Date. Web address, date of access to website.

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

Turkish references can also be given directly in Turkish. For such references please use Turkish characters.

Mathematical Expressions

Mathematical symbols and formulae should be typed. Equation numbers should appear in parentheses at the right-hand side of the equations and be numbered consecutively. For Greek or other non-Roman letters, identify the symbol in words in the left-hand margin just below the equation the first time it is used. In addition, the meaning of symbols used in equations should be given below the equations.

“Where is the shear strength, c is cohesion, σ is normal stress and, ϕ is internal friction angle.” Subscripts and superscripts should be given clearly and written in smaller character (e.g. I_d , x_2). Instead of square-root symbol, an indice of 0.5 should be used (e.g. $y=5x^{0.5}$). For the of multiplication sign do not use any symbol, however if necessary, the symbol “*” can be preferred (e.g. $y=5*10^{-3}$). Please use “/” for division instead of a horizontal line between numerator and denominator. In the expression of chemical reactions, ions should be given as Ca^{2+} and CO_3^{2-} instead of Ca^{++} and CO_3^{--} . In the text, equations should be referred to as equation (1). Computer program listings, if appropriate, must be very clear in an Appendix.

Tables

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

Illustrations

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

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

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

SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

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

EDITOR IN-CHIEF

Prof. Dr. Erdinç YİĞİTBAŞ

Tel: 286 2180018-2130

e-mail: eyigitbas@comu.edu.tr

SUBMITTING ARTICLES ADMITTED TO PUBLICATION

In cases where authors' manuscripts are admitted to publication, authors should send revised final copies of their manuscripts to Editor through the DergiPark System. Manuscripts should be issued in *DOCX format. All images, should be issued in Corel Draw. Besides, the resolution of the figures should not be less than 300 dpi. Both drawing (CDR) and image (JPG) files must be submitted through the DergiPark System.

PROOFING

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

COPYRIGHT

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

TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Ocak 2020 Cilt 63 Sayı 1
January 2020 Volume 63 Issue 1

Ökmen Sümer, Akın Alak, Arman Tekin

Antropojen ve Antroposen Kavramlarının Tarihsel Gelişimine Yerbilimsel Bir Bakış

A Geological Overview of Historical Development of the Anthropogene and Anthropocene Concepts1

Mustafa Ergin

Eckernförder ve Geltinger Körfezlerinin Antropojenik Ağır Metal Kirliliğinin Karot Sedimentlerinde Araştırılması, Batı Baltık Denizi, Almanya

Investigation of Anthropogenic Heavy Metal Pollution in Core Sediments from the Eckernförder and Geltinger Bays in the Western Baltic Sea, Germany21

Deniz Şanlıyüksel Yücel, Burcu İleri

Antropojenik Kaynaklı Metal Kirliliğinin Çevresel Etkilerinin Azaltılmasında Uçucu Kül Kullanımı

Mitigation of Environmental Effects of Anthropogenic Metal Contamination Using Fly Ash43

Tuğçe Nagihan Arslan Kaya, Erol Sarı, Mehmet Ali Kurt, Dursun Acar

Erdek Körfezi Karot Çökellerinin Ağır Metal Dağılımı ve Zenginleşme Derecesi

Distribution of Heavy Metal and Enrichment Degree in Core Sediments from Erdek Gulf57

Fatma Gültekin, Esra Hatipoğlu Temizel

Kentsel Faaliyetlerin Kıyı Akiferlerine Etkileri: Doğu Karadeniz Havzası Örneği

Effects of Urban Activities on Coastal Aquifers: Case Study in the Eastern Black Sea Basin69

Tuğbanur Özen Balaban, Özlem Öztekin Okan, Taylan Sançar, Ayten Öztüfekçi Önal

Pertek (Tunceli) Jeotermal Alanının Antropojenik Kirliliğinin Değerlendirmesi

Anthropogenic Pollution Assessment of Pertek (Tunceli) Geothermal Field83

Harika Marmara, Deniz Şanlıyüksel Yücel, Süha Özden, Mehmet Ali Yücel

Kestanbol Jeotermal Akışkanının Hidrokimyasının ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi

Hydrochemistry and Environmental Impacts of Kestanbol Geothermal Fluid97

Nuray Çağlar (Balkıs), Abdullah Aksu, Gülşen Altuğ

Güllük Körfezi (Muğla-Türkiye) Yüze Sedimentlerinde Toksik Metal Kirliliği

Toxic Metal Pollution in the Surface Sediments from Güllük Bay (Muğla-Turkey) 117

Perihan Derin, Ayşegül Demir Yetiş, M. İrfan Yeşilnacar, Pelin Yapıcıoğlu

GAP'ın En Büyük Sulama Sahasında Jeotermal Sulardan Kaynaklanan Potansiyel Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması

Investigation of Potential Heavy Metal Pollution Caused by Geothermal Waters in GAP's Largest Irrigation Area 125

Pelin Yapıcıoğlu, Perihan Derin, M. İrfan Yeşilnacar

Assessment of Harran Plain Groundwater in Terms of Arsenic Contamination

Arsenik Kirliliği Bakımından Harran Ovası Yeraltı Sularının Değerlendirilmesi 137

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

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

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:

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

Yazışma Adresi

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

Corresponding Address

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