

TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Ağustos 2002 Cilt 45 Sayı 2

ISSN 1016-9164

August 2002 Volume 45 Number 2



TMMOB JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

TMMOB
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

YÖNETİM KURULU / EXECUTIVE BOARD

ÇELEBİ Aydın	Başkan / <i>President</i>
EKİNCİ Oktay	İkinci Başkan / <i>Vice President</i>
CENGİZ İsmet	Yazman / <i>Secretary</i>
ÇAĞLAN Dündar	Sayman / <i>Treasurer</i>
ECEMİŞ Buket	Mesleki Uygulamalar Üyesi / <i>Member of Professional Activities</i>
DEMİRTAŞ Ramazan	Yayın Üyesi / <i>Member of Publication</i>
ÇALAĞAN Erbay Hatice	Sosyal İlişkiler Üyesi / <i>Member of Social Affairs</i>

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ
Geological Bulletin of Turkey

Yayın Kurulu / Publication Board

Editörler / Editors

SARAÇ Cem, Hacettepe Üniversitesi
SEYİTOĞLU Gürol, Ankara Üniversitesi
ÖZCAN Ercan, Akdeniz Üniversitesi

Teknik Editör / Technical Editor

DELİBAŞ Okan, Hacettepe Üniversitesi

Yazı İnceleme Kurulu / Editorial Board

BAYHAN Hasan, Hacettepe Üniversitesi
BOZKURT Erdin, Orta Doğu Teknik Üniversitesi
BOZTUĞ Durmuş, Cumhuriyet Üniversitesi
CHOROWICZ Jean, Paris IV Üniversitesi
DEMİREL İ. Hakkı, Hacettepe Üniversitesi
DEYNOUX Max, CNRS
DIRİK Kadir, Hacettepe Üniversitesi
DOWD, Peter A., Leeds Üniversitesi
GEDİK İsmet, Karadeniz Teknik Üniversitesi
GOKTEN Ergun, Ankara Üniversitesi
GÜLEÇ Nilgün, Orta Doğu Teknik Üniversitesi
HELVACI Cahit, Dokuz Eylül Üniversitesi
İNAN Kemal, Avustralya Min. ve Enerji Bak.
LEJAY Alain, ELF Aquitaine
KELLING Gilbert, Keele Üniversitesi

OZKAN Y. Ziya, MTA Genel Müdürlüğü
PAKTUNÇ Doğan, Canmet Min. B. Lab
PEKDEĞER Asaf, Freie Üniversitesi
SAĞIROĞLU Ahmet, Fırat Üniversitesi
SATIR Muharrem, Tübingen Üniversitesi
SIREL Ercüment, Ankara Üniversitesi
ŞEN Şevket, Paris Doğa Tarihi Müzesi
TATAR Orhan, Cumhuriyet Üniversitesi
TEMEL Abidin, Hacettepe Üniversitesi
TÜYSÜZ Necati, Karadeniz Teknik Üniversitesi
USTAÖMER Timur, İstanbul Üniversitesi
ÜNLÜ Taner, Ankara Üniversitesi
ÜNLÜGENÇ Ulvican, Çukurova Üniversitesi
VAROL Baki, Ankara Üniversitesi
YALÇIN Hüseyin, Cumhuriyet Üniversitesi

Yazışma Adresi

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
PK 464 Yenışehir, 06444 Ankara
Tel: (312) 434 36 01
Faks: (312) 434 23 88
E-Posta: jmo@jmo.org.tr
URL: www.jmo.org.tr

Correspondence Address

UCTEA Chamber of Geological Engineers of Turkey
PO Box 464, Yenışehir, TR-06444 Ankara
Phone: + 90 312 434 36 01
Fax: + 90 312 434 23 88
E-Mail: jmo@jmo.org.tr
URL: www.jmo.org.tr

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Ağustos 2002 • Cilt 45 • Sayı 2
August 2002 • Volume 45 • Number 2

ISSN 1016-9164

İÇİNDEKİLER CONTENTS

- BOZKAYA, G. ve GÖKÇE, A., Kuru (Çanakkale) Kurşun-Çinko Yataklarının Ana, Eser ve Nadir Toprak Elementleri Jeokimyası İncelemeleri
Major, Trace and Rare Earth Elements Geochemistry of the Kuru (Çanakkale) Lead-Zinc Deposits 1
- YURDAGÜL, A.G. ve SARAÇ, C., Adıyaman Yöresi Rezervuar Kayaçlarının Porozite ve Hidrokarbon Doymunluğu Değerlerinin Jeostatistiksel Simülasyonu
Geostatistical Simulation of Porosity and Hydrocarbon Saturation Values of Reservoir Rocks in Adıyaman Region 19
- KUŞCU, İ., YILMAZER, E. ve DEMİRELA, G., Sivas-Divriği Bölgesi Skarn Tipi Demir Oksit Yataklarına Fe-oksit-Cu-Au (Olympic Dam tipi) Perspektifinden Yeni Bir Bakış
A New Fe-Oxide-Cu-Au (Olympic Dam Type) Perspective To Skarn Type Iron Oxide Mineralization In Sivas-Divriği Region 33
- ÖZDEN, S., KAVAK, K.Ş., KOÇBULUT, F., ÖVER, S. ve TEMİZ, H., 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depremleri
February 3, 2002 Çay (Afyon) Earthquakes 49

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

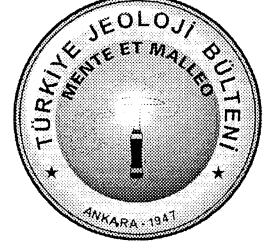
GeoRef, Geotitles, Geoscience Documentation, Bibliography of Economic Geology, Geo Archive, Geo Abstract, Mineralogical Abstract, GEOBASE, BIOSIS ve ULAKNET veri tabanlarında yer almaktadır.

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:

GeoRef, Geotitles, Geoscience Documentation, Bibliography of Economic Geology, Geo Archive, Geo Abstract, Mineralogical Abstract, GEOBASE, BIOSIS and ULAKNET

TMMOB JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI

Chamber of Geological Engineers of Turkey



Koru (Çanakkale) Kurşım-Çinko Yataklarının Ana, Eser ve Nadir Toprak Elementleri Jeokimyası İncelemeleri

Major, Trace and Rare Earth Elements Geochemistry of the Koru (Çanakkale) Lead-Zinc Deposits

Gülcan BOZKAYA

Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 SİVAS
e-posta: gbozkaya@cumhuriyet.edu.tr

Ahmet GÖKÇE

Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 SİVAS
e-posta: gokce@cumhuriyet.edu.tr

Öz

Koru (Çanakkale) baritli kurşun-çinko yatakları Biga Yarımadasında Tersiyer yaşlı volkanik kayalar içinde gözlenen kurşun-çinko yataklarının tipik örneklerinden birisidir. Yatakların yakın çevresinde yüzeyleyen volkanik kayalar; Eosen yaşlı Akçaalan andeziti, Oligosen yaşlı Adadağı piroklastikleri, Miyosen yaşlı Dededağ dasiti, Pliyo-Kuvaterner yaşlı Karaömerler bazaltı şeklinde ayrılmışlardır.

İnceleme alanı içindeki cevherleşmeler, Adadağı piroklastikleri içinde BKB-DGD konumlu fay hattı boyunca damar tipi ve üst seviyelerdeki ileri derecede breşleşmiş kesimlerde stockwork tipi oluşumlar şeklindedir. Cevherleşmelerde galenit, sfalerit ve barit hakim mineraller olup, pirit, kalkopirit, fahlerz (tennantit), markazit, kalkosin, kovellin, bornit, tenorit ve kuvars az miktarlarda bileşime katılmaktadır.

Sıvı kapanım incelemeleri sırasında ölçülen T_{FM} , T_{mC} ve T_H değerleri, mineral oluşturuvcu hidrotermal çözeltiler içinde $CaCl_2$ ve $MgCl_2$ gibi tuzların bulunduğunu, baritlerin oluşumu sırasında hidrotermal çözeltilerin tuzluluklarının biraz yüksek, sıcaklıklarının düşük olduğunu (80 °C'den daha düşük), sülfüü minerallerin oluşumu sırasında ise tuzluluğun bir miktar düştüğünü, sıcaklığın 270 °C'ye kadar yükseldiği, sfaleritlerin 120 - 160 °C sıcaklık aralığında oluştuğunu göstermektedir.

Ana element jeokimyası sonuçlarından; inceleme alanındaki volkanik kayaların erken evrede (Karaömerler bazaltı hariç) yüksek potasyumlu kaıkali bileşimli oldukları, sonraki evrelerde ise orta potasyumlu kalkakelen karakterli, levha içi bazaltlar (Karaömerler bazaltı) şeklinde oluştuıkları anlaşılmaktadır.

Eser element jeokimyası incelemeleri, yatak içinde zenginleşen kurşun ve çinkonun Akçaalan andeziti ile Adadağı piroklastiklerinden, bakırın ise Dededağ dasitinden kaynaklanmış olabileceğini düşündürmektedir. NTE incelemeleri; baritlerin deniz suyunda belirlenmiş değerlere benzediklerini göstermiştir. Örneklerin $Ce_N / Yb_N - Yb_N$ diyagramı üzerindeki konumları incelendiğinde; galenit, sfalerit ve baritlerin volkanik kayalar arasında ve deniz suyuna yakın bir yerde kümelenedikleri görülmektedir. Bu durum da, galenit, sfalerit ve baritlerin olasılıkla deniz suyunca volkanik kayalardan çözülen elementlerin zenginleşmesi sonucu oluştuıkları şeklinde yorumlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Çanakkale, Koru, Pb-Zn, barit, jeokimya, NTE

Abstract

Koru (Çanakkale) barite bearing lead-zinc deposits are typical examples of the lead-zinc deposits occurred in the Tertiary volcanic rocks outcropped in the Biga Peninsula. Volcanic rocks around the investigated deposits are distinguished as; Eocene Akçaalan andesite, Oligocene Adadağı pyroclastics, Miocene Dededağ dacite and Plio-Quaternary Karaöm e der basalt.

The investigated deposits hosted by Adadağı pyroclastics and show two different mineralization styles such as stock work ore veinlets in the upper parts and ore veins along the fault zones in WNW-ESE direction, in the lower parts. Galena, sphalerite and barite are the main minerals and accompanied by minor amounts of pyrite, chalcopyrite, fahlerz (tennantite), marcasite, chalcocite, covellite, bornite, tenorite and quartz.

T_{FM} , T_m ICE^{an} and TH values measured during the fluid inclusion studies indicate the presence of CaCl₂ and MgCl₂ in the mineralizing hydrothermal fluids, salinity of the hydrothermal solutions is rather relatively high during barite crystallisation in the early episode of mineralization, while decreased during the sulfide dominated later episode. The temperatures of fluids is low (< 80 °C) during the early stage and increased up to 270 °C during the later stage. Sulfide minerals seem to be formed in a temperature range of 120-160 °C.

Major element results show that the volcanic rocks in the study area have high potassic calcalkaline composition in the early stage, while they have medium potassic calcalkaline composition similar to within plate basalts in the later stage (Karaöm erler basalt).

Trace elements contents of the various rock units show that the lead and zinc in the ore deposits may be derived from Akçaalan andesite, while copper from Dededağ dacite. REE studies show that normalised REE values of barites resemble to sea water. The dispersion of the galena, sphalerite and barite values among those of volcanic rocks and seawater on the Ce_N/Yb_N ~ Yb_N diagram was assumed to be ore forming elements were derived from the surrounding volcanic rocks by deep circulated sea water.

Key words: Çanakkale, Koru, Pb-Zn, barite, geochemistry, REE

GİRİŞ

Koru baritini içeren kurşun-çinko yatakları, Biga yarımadasının kuzey kesiminde gözlenen çok sayıda Pb-Zn cevherleşmelerinden birisi olup, Çanakkale ile ilgili Lapseki ilçesinin güneydoğusunda, Koru köyü yakınlarında, 1:25.000 ölçekli Çanakkale H17 a3, d2, b4 ve el paftaları üzerinde bulunmaktadır (Şekil 1).

Yatakların bulunduğu bölgede, maden jeolojisi amaçlı ilk çalışma Gjelsvik (1956) tarafından yapılmış olup; daha sonraki yıllarda sırasıyla Dinçer (1958), Tolun ve Baykal (1960), Alpan (1968), Yanagiya ve Sato (1989) ile, Andiç ve Kayhan (1997) gibi araştırmacılar tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, prospeksiyon ve rezerv hesaplamalarına yönelik çalışmalar şeklinde olup, cevherleşmenin jeolojik özelliklerinin, oluşum koşullarının ve kökenlerinin belirlenmesi açısından yetersiz kalmaktadırlar.

Koru kurşun-çinko yataklarının yataklanma şekilleri, cevher-yan kayaç ilişkileri, mineralojik bileşimleri, yapısal ve dokusal özellikleri gibi temel

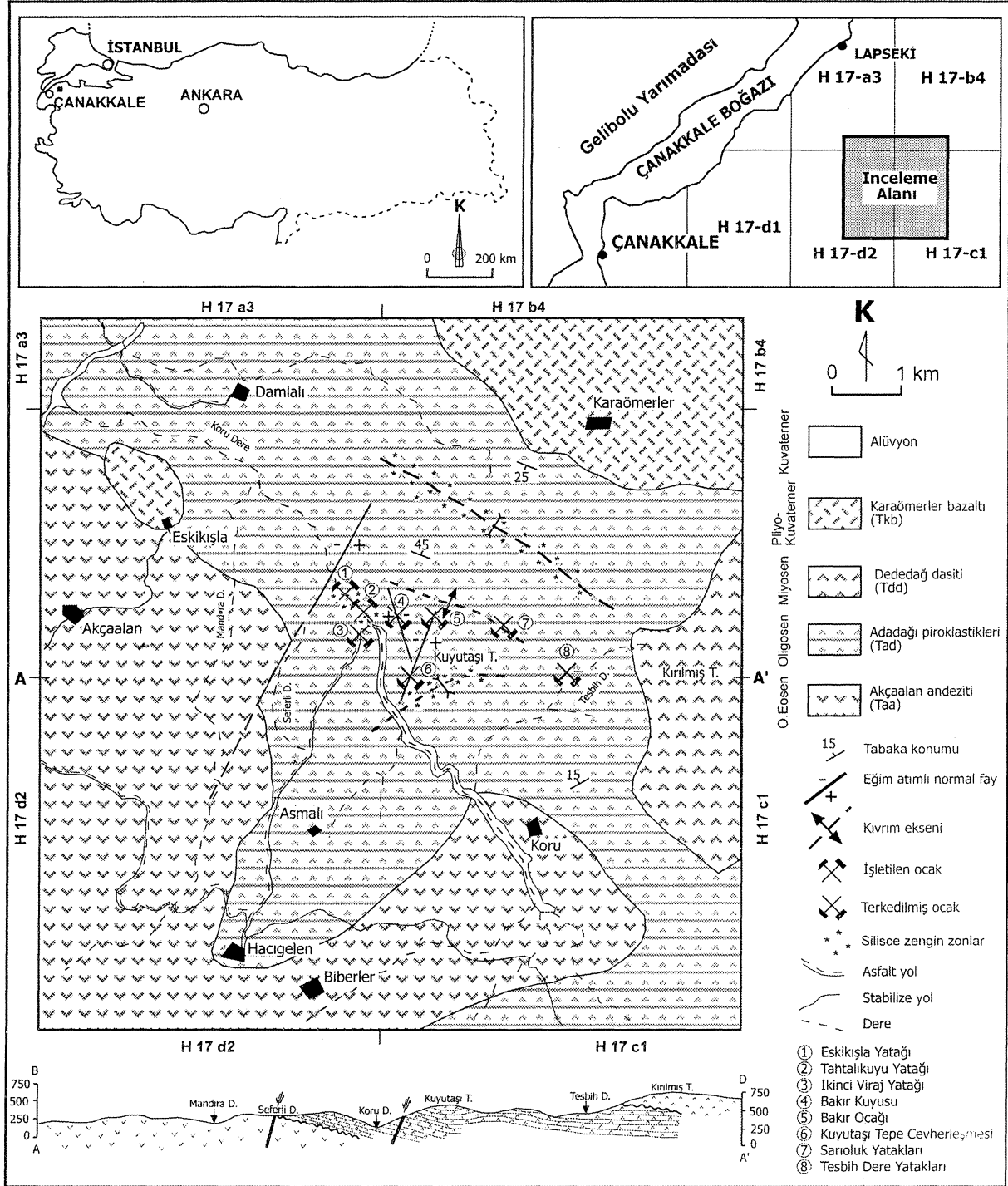
özellikleri daha önce yayınlanan bir makalede (Bozkaya ve Gökçe, 2001) ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada aynı yatakların jeokimyasal özellikleri incelenerek; elde edilen bulgularla yatakların oluşum koşulları ve kökenleri aydınlatılmaya çalışılmıştır.

GENEL JEOLJİK ÖZELLİKLER VE CEVHERLEŞME

İnceleme alanının genel jeolojik özellikleri ve cevherleşmelerin yataklanma şekli, cevher mikroskopisi ve sıvı kapanım özellikleri Bozkaya, 2001 ve Bozkaya ve Gökçe (2001)'den yararlanılarak aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

İnceleme alanının içinde bulunduğu Biga yarımadası değişik yaş ve litolojilere sahip metamorfik, plütonik, volkanik, volkanosedimanter ve sedimanter kayalardan oluşmaktadır (Ercan ve diğ., 1995, Ercan ve Türkecan, 1984, Holmes, 1966, Kopp, 1964, Okay ve diğ., 1990, Önem, 1974, Sfondrini, 1961, Siyako ve diğ., 1989, Ünal, 1967, Yanagiya ve Sato, 1989).

KORU (ÇANAKKALE) Pb-Zn YATAKLARINDA JEOKİMYASAL İNCELEMELER



Şekil 1. İnceleme alanının coğrafik konum ve jeoloji haritası.
Figure 1. Location and geology map of the study area.

İncelenen yataklar çevresinde, Tersiyer yaşlı voikano-sedimanter kayaçlar yüzeylemekte olup, kayaç türleri, yayılımları ve yaşlan dikkate alınarak; Akçaalan andeziti (Orta Eosen), Adadağı piroklastikleri (Oligosen), Dededağ dasiti (Miyosen), Karaömerler bazaltı (Pliyo-Kuvaterner) ve alüvyonlar (Kuvaterner) şeklinde ayrılmışlardır (Sekili).

Akçaalan andeziti (Taa); başlıca andezit-bazaltik andezit, ender olarak riyodasit ve dasit bileşimi i volkanik kayaçlardan oluşmaktadır. Volkanik kayaçların yanı sıra üst seviyelere doğru piroklastik arakatıklar ve kireçtaşı arabantları da gözlenmektedir. Adadağı piroklastikleri (Tad); trakit, latit, dasit, riyodasit bileşimli tüf, aglomera ve piroklastik breşler ile ender olarak andezitik ve dasitik lavlardan meydana gelmektedir. Arakatıklar şeklinde ve en üst seviyelere karşılık gelen kesimlerde silisçe zengin zonlar da yer almaktadır. Pb-Zn cevherleşmelerinin bulunduğu kesimlerde tüflerde silisleşme ve kaolinleşme türü alterasyonlar yaygındır. Dededağ dasiti (Tdd); dasitik bileşiminin yanı sıra ender olarak riyodasit bileşimli lavlar, Karaömerler Bazaltı (Tkb) ise bazaltik lav ve aglomeralardan oluşmaktadır. Alüvyonlar; akarsu yataklarında yöredeki volkanik ve voikano-sedimanter kayaçlardan türemiş kırıntılar içeren, heterojen tane boylu ve pekişmemiş yığışmalar şeklindedirler.

İnceleme alanı içerisinde Eskikişla, Tahtahkuyu, İkinci Viraj, Bakır Kuyusu, Derin Dere, Kuyutaşı Tepe, Sanioluk ve Teşbih Dere mevkilerinde zaman zaman işletilmiş cevherleşmeler bulunmakta ve bu yöre isimleri ile adlanmaktadır. Bu oluşumlar BKB - DGD doğrultulu bir hat üzerinde yer almaktadır. Bu çalışmanın saha incelemelerinin yapıldığı yıllarda yalnızca Eskikişla ve Tahtahkuyu (Sulu Mağara) yatakları işletildiğinden bu yataklar incelenebilmiş, diğer yatakların işletildiği ocaklar göçmüş olduğundan incelenmeleri mümkün olamamıştır. Bu yataklar Çanakkale Madencilik Ltd.Şti. tarafından işletilmektedir.

Tahtahkuyu ve Eskikişla yatakları birbirlerinin devamı olup, yakın çevrelerinde Adadağı piroklastikleri'ne ait piroklastik kayaçlar yüzeylemektedir. Alt seviyeleri andezitik lav arakatıklı aglomera - lapilli taşı - tüf, orta seviyeleri riyolitik silisleşmiş breş, üst seviyeleri

ise silisleşmiş riyolitik tüf ağırlıklıdır (Şekil 1). Tüfler cevherleşmelere yakın yerlerde ileri derecede breşleşmiş, silisleşmiş, kaolinleşmiş, alünitleşmiş ve kloritleşmiştir.

Tahtahkuyu ve Eskikişla yataklarında üst seviyelerde stockwork tipi, alt seviyelerde ise damar tipi olmak üzere iki farklı tip cevherleşme gözlenmektedir. Stockwork tipi (ağsı) cevherleşmeler aglomeratik kayaç parçaları ve piroklastik breşler arasındaki boşluklarda ince damar ve damarcıklar şeklinde gelişmiş olup, damar tipi cevherleşmeler ise Adadağı piroklastikleri içinde K60B / 50 GB konumlu bir fay boyunca oluşmuştur. Stockwork tipi cevher damarlarının kalınlıkları ince iken; damar tipi cevherin kalınlığı 20 cm ile 5 m arasında değişmektedir. Cevher damarı yer yer KD - GB doğrultulu normal faylarla kesilmektedir. Her iki tip cevherleşmede mineralojik bileşim aynı olup, makroskopik olarak sfalerit ve galenit ile kuvars ve barit görülmektedir. Cevherleşmelerde breş dolgusu tipi yapı hakim olup, minerallerin kenar yüzeylerden ortadaki boşluğa doğru büyümesi şeklinde gelişmiş tarak / crustiform yapısı da gözlenmektedir. Derinlere inildikçe galenit, barit ve kuvarsların kristal boyutları büyümektedir.

Her iki yatakta da altta damar tipi, üstte ise stockwork tipi cevherleşmelerin gözlenmesi voikano-sedimanter yan kayaçlı massif sülfid yataklarına benzer bir yataklanma şekli sunmaktadır. Ancak, damar tipi cevherleşmenin oluştuğu fay kırığının stockwork tipi cevher zonunu ve üstündeki tüflü seviyeyi kesip üst kotlara doğru devam etmesi, stockwork tipi cevherleşmenin oluştuğu kılcal boşlukların hidrotermal çözeltilerin iç basınçları ile oluşmuş kılcal çatlaklardan daha çok aglomeraların çakılları arasındaki boşluklar olması, stockwork tipi cevherin üstünde masif mercerler veya bantlar halinde stratiform cevher zonu ile jips, barit ve demirli çört çökellerinin bulunmaması ve sinjeuetik çökeltim işaret eden kırıntılı dokuların gözlenmemesi gibi özellikler cevherleşmelerin voikano-sedimanter çökellerden daha sonra epijenetik olarak oluştuklarına işaret etmektedir. (Bozkaya, 2001.)

Cevherleşmelerde galenit, sfalerit ve barit hakim mineraller olup, pirit, kalkopirit, fahlerz (tennantit), markazit, kalkosin, kovellin, bomit, tenorit ve kuvars az miktarlarda bileşime katılmaktadır.

Bu mineraller, birbirleriyle olan sınır ilişkileri gözönüne alınarak; erken evre (I) ve geç evre (II) oluşumları şeklinde ayrılmış olup, 5 ayrı mineral oluşum evresi tanımlanmıştır. I. evre; barit ve pirit, II. ve III. evreler; galenit, sfalerit, kalkopirit, fahlerz, bornit ve markazit, IV. evre; barit, kuvars ve kalsit, V. evre ise; kalkosin, kovellin ve tenorit oluşumu ile temsil edilmektedir.

Sıvı kapanım incelemeleri sırasında ölçülen T_{pM} değerleri (- 55.0 ile - 49.5 °C), mineral oluşturucu hidrotermal çözeltiler içinde $CaCl_2$ ve $MgCl_2$ gibi tuzların varlığını göstermekte olup, çözeltilerin ya deniz suyu kökenli olduklarına veya denizel sedimanlar içinden geçerek ortama geldiklerine işaret etmektedir. Ölçülen T_{miCE} değerlerinden itibaren hesaplanmış tuzluluk değerleri; baritlerin oluşumu sırasında hidrotermal çözeltilerin tuzluluklarının biraz yüksek olduğunu (% 11.09 ile 6.02 aralığında; ort = % 8.55 NaCl eşdeğeri), sülfürlü mineralleri oluşumu sırasında ise biraz düşüğünü (baritlerdeki ikincil kapanımlarda; % 9.47 ile 0.88 aralığında; ort = % 4.32 NaCl eşdeğeri, sfaleritlerdeki birincil kapanımlarda; % 9.99 ile 2.07 aralığında; ort = % 6.8 NaCl eşdeğeri) göstermektedir.

Ölçülen TH değerlerinden; baritlerin oluşumu sırasında çözeltilerin sıcaklıklarının düşük olduğu (80 °C'den daha düşük) ancak daha sonra, sülfürlü minerallerin oluşumu sırasında (baritlerde ikincil kapanımlar) sıcaklığın 270 °C'ye kadar yükseldiği, sfaleritlerin ise 120-160 °C arasında olduğu (sfaleritlerde birincil kapanımlar) anlaşılmaktadır. Tuzluluk ve homojenleşme sıcaklığı değerleri birlikte değerlendirildiğinde; baritlerin oluşumu sırasında çözeltilerin tuzluluklarının yüksek, sıcaklıklarının düşük olduğu, sülfürlü minerallerin oluşumu sırasında ise tuzluluklarının düşük, sıcaklıklarının yüksek olduğu sonucu çıkarılmaktadır.

JEOKİMYASAL İNCELEMELER

Bu çalışmada jeokimyasal incelemeler olarak; kayaç örneklerinde ve cevher örneklerinden ayrılmış galenit, sfalerit ve barit örneklerinde anaelement, eser element ve nadir toprak elementleri (NTE) jeokimyası incelemeleri yapılmıştır.

Kayaç örneklerinden seçilmiş temsili örnekler doğrudan öğütülüp toz haline getirilerek analiz edilmişlerdir. Cevher örnekleri ise kırılıp öğütüldükten sonra tüm minerallerin serbestleşmiş görüldüğü -250 - +125 mikron tane boyu aralığı elenip yıkanarak temizlenmiş, barit, galenit ve sfalerit mineral fraksiyonları stereo mikroskop altında elle seçilerek saf mineral fraksiyonları ayrılmıştır. Baritler içine karışmış olabilecek kuvars ve kalsit gibi mineraller ayrılmış örnekler ağır sıvıdan (metilen iodat; $d= 3.31 \text{ gr / cm}^3$) geçirilerek temizlenmişlerdir.

Ana element analizleri; Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Rigaku 3270-E (WDS) tipi ve Rh (rodyum) tüplü X-Işınları Floresans Spektrometresinde (XR.F) yapılmıştır. Analiz için yaklaşık 10 gr öğütülmüş örnek üzerine %5 polivinil prolidin (bağlayıcı olarak) içeren 10 damla saf su damlatılarak 100 cc'lik bir beher içerisinde spatul ile karıştırıldıktan sonra alüminyum kapsüle konularak hidrolik pres altında 10-12 tonluk bir basınç ile tablet haline getirilmiş ve analiz edilmiştir.

Eser element ve NTE analizleri Activation Laboratuvarında (Kanada) ICP-MS yöntemiyle yapılmıştır. Analizlerin dedeksiyon limiti ve hassasiyeti araştırma kalitesindedir (4B2 - Research).

Ana Element Jeokimyası İncelemeleri

Cevherleşmeler çevresinde yüzeyleyen birimlerden seçilmiş 10 adet temsili kayaç örneğine ait analiz sonuçları Çizelge Pde görülmektedir.

Le Maitre ve diğ. (1989) tarafından geliştirilen diyagramlarda K_2O ve SiO_2 içeriklerine göre Karaömerler bazaltının orta K'lu kalkalkali bölgeye, Akçaalanı andeziti ve Dededağı dasitinin

Çizelge 1. İnceleme alanından derlenmiş kayaç örneklerinin major oksit içerikleri.
Table I. Major oxide contents of the rocks samples from the study area.

% oksit	Akçaalan andeziti				Adadağı piroklastikleri		Dededağı dasiti		Karaömerler bazaltı	
	KR-309	KR-311	KR-318	KR-253	KR-322	KR-247	KR-248	KR-268	KR-292	KR-277
SiO ₂	59.17	59.26	57.17	60.94	62.88	64.08	62.98	56.78	50.14	60.10
TiO ₂	0.73	0.81	0.72	0.66	0.56	0.45	0.47	0.70	0.85	0.91
Al ₂ O ₃	16.92	17.40	16.62	17.64	18.42	18.03	16.74	16.00	19.62	17.48
Fe ₂ O ₃ (t)	6.42	7.18	6.53	5.58	3.56	3.22	4.29	6.60	8.30	5.30
MnO	0.10	0.09	0.13	0.22	0.08	0.18	0.10	0.12	0.15	0.14
MgO	3.24	3.13	3.99	2.76	1.88	1.26	1.78	4.60	4.08	1.38
CaO	4.84	4.24	5.87	1.88	3.27	1.33	2.45	4.96	9.90	4.63
Na ₂ O	3.10	3.12	2.59	2.89	3.57	5.46	3.97	2.53	3.35	4.87
K ₂ O	2.41	3.01	2.45	4.05	4.48	4.39	3.19	2.68	0.99	1.69
P ₂ O ₅	0.14	0.16	0.15	0.16	0.13	0.10	0.11	0.14	0.18	0.23
LOI	1.60	2.07	3.48	3.90	2.15	2.19	2.45	3.88	1.00	1.83
Toplam	98.67	100.47	99.70	100.68	100.90	100.69	98.53	98.99	98.56	98.56

yüksek K'lu kalkalkali bölgeye, Adadağı piroklastiklerinin ise şononitik bölgeye düştüğü gözlenmiştir (Şekil 2). (Na₂O+K₂O) ve SiO₂ içeriklerine göre yapılan sınıflamada Eosen yaşlı Akçaalan andezitinin andezit, Oligosen yaşlı Adadağı piroklastiklerinin dasit, traki - dasit, Miyosen yaşlı Dededağ dasitinin traki - dasit, Pliyo - Kuvaterner yaşlı Karaömerler bazaltına ait örneklerin ise bazalt ve andezit alanları içerisine düştüğü görülmektedir. Pearce ve Cann (1973) tarafından hazırlanan TixO^{m2}-Zr-Yx3 diyagramı üzerinde Karaömerler bazaltına ait örnekler plaka içi bazaltlar alanına düşmekte olup, elde edilen bu sonuçlar; inceleme alanının yakın çevresinde daha önce çalışan Ercan ve diğ.'nin (1995) Tersiyer volkanizmasına ait verileri ile de benzerlik sunmaktadır.

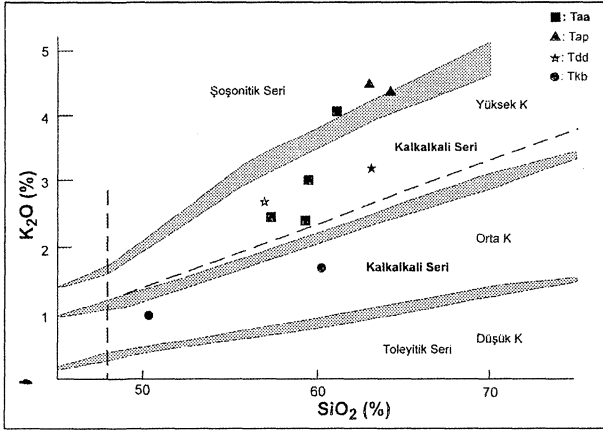
Ana element jeokimyası incelemelerinden elde edilen bulgulara göre inceleme alanındaki volkanik kayalar, Karaömerler bazaltı hariç yüksek potasyumlu kalkalkali seriyi temsil etmektedirler. Bu da gerilme sistemiyle kabuk incilmesi sonucu oluşan volkanik kayaların kıta kabuğundan malzeme olarak kirlenmeye maruz kaldığını göstermektedir. Orta potasyumlu kalkalkalen karakterli levha içi bazaltların ise daha sonraki dönemde kıta kabuğunun normal

kalınlığa dönmesi sırasında kirlenmeden yeryüzüne ulaştığını göstermektedir.

Eser Element Jeokimyası İncelemeleri

Analiz edilen eser element sonuçları ve dedeksiyon limitleri ile ilgili bilgiler Çizelge T de toplu halde görülmektedir. Cevher örneklerinin eser element içeriklerinin çok düşük olması nedeniyle birbirleriyle ve yan kayalarla karşılaştırma ve değerlendirme yapılması mümkün olamamıştır. Cevherleşme ile ilgili bazı elementlerin (Pb, Zn, Cu, Ba, Bi) inceleme alanındaki birimlerden seçilmiş örneklerdeki grafiksel dağılımları Şekil 3'de görülmektedir. Bu verilere göre kurşun, çinko, bizmut ve baryumun Akçaalan andeziti (Taa) ve Adadağı piroklastiklerinde (Tap), bakırın ise Dededağ dasitinde (Tdd) diğer birimlere göre daha yüksek değerlerde buldukları anlaşılmaktadır.

Yalnızca eser element dağılımı dikkate alındığında, yatak içinde zenginleşen kurşun ve çinkonun Akçaalan andeziti ile Adadağı piroklastiklerinden, bakırın ise Dededağ dasitinden kaynaklanmış olabileceği düşünülebilir.



Şekil 2. İnceleme alanındaki volkanitlerin Le Maitre ve diğ. (1989) tarafından geliştirilen K_2O - SiO_2 diyagramındaki konumları (Taa: Akçalalan andeziti, Tap: Adadağı piroklastikleri, Tdd: Dededağ dasiti, Tkb: Karaömerler bazaltı).

Figure 2. Plotting of the volcanic rocks in the study area on the K_2O - SiO_2 diagram

(diagram is adopted from Le Maitre ve diğ., 1989; Taa: Akçalalan andesite, Tap: Adadağı pyroclastics, Tdd: Dededağ dacite, Tkb: Karaömerler basalt)

Nadir Toprak Element Jeokimyası İncelemeleri *

Nadir toprak elementleri, benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olduklarından jeolojik olaylar sırasında dağılım beraberlikleri göstermektedirler. Miktarlarında azalma veya çoğalma olmakla birlikte oransal bollukları ve/veya dağılım grafikleri, kaynak malzeme içindeki benzediği için özellikle maden yataklarındaki mineralleri oluşturan elementlerin kökenlerinin araştırılmasında oldukça yararlı olabilmektedir. NTE analiz sonuçları değerlendirilirken, genellikle kondrit örneklerine göre veya bazı temel kayalara (Kuzey Amerika Şeyli - NASC, Avrupa Şeyli gibi) ait değerlere göre normalize edilmekte (Normalize edilmiş değerler N simgesi ile işaretlenmekte) ve sonuçlar X ekseninde elementlerin atom numaralarına göre dizildiği, Y ekseninde ise logaritmik olarak normalize edilmiş değerlerin bulunduğu X-Y dağılım diyagramları hazırlanmakta, dağılım eğrilerindeki gidişler

(pattern) çeşitli referans verileri karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılmaktadır.

İnceleme alanındaki barit ve galenitlere ait değerleri karşılaştırabilmek amacıyla değişik çalışmalardan derlenmiş bazı barit oluşumlarına ve hidrotermal sistemlere ait NTE değerleri Çizelge 3'de görülmektedir.

İnceleme alanından alınan yan kayaç ve cevherleşmeye ait barit ve galenit örnekleri ile literatürden derlenmiş benzer oluşumlara ait NTE değerleri, Boynton (1984) tarafından belirlenmiş CI kondrit ortalaması (Avg. CI Chondrite) değerlerine göre normalize edilmiş olup, normalize NTE değerleri Çizelge 4 ve 5'de görülmektedir.

Normalize edilmiş NTE değerlerinin* atom numarasına karşılık logaritmik dağılım diyagramları Şekil 4 ve 5'de görülmekte olup, farklı örnekler için dağılım eğrilerinin gidişleri basitçe; negatif Eu anomalilerine sahip, birbirlerine benzer ve/veya paralel gidişli eğriler şeklindedir.

Çevredeki kayalara ait örneklerin normalize NTE değerleri birbirleriyle karşılaştırıldıklarında; en yüksek değer Karaömerler bazaltına ait olup (TK - 92;Tkb), bunu sırasıyla Adadağı piroklastikleri (TK - 253; Tap), Akçalalan andeziti (TK - 311; Taa) ve Dededağ dasiti (TK - 248; Tdd) izlemektedir. Volkanik kayaçların değişim grafiklerindeki paralellikler, volkanitlerin aynı magma odasından geldikleri şeklinde yorumlanabilir, çoğalma olmakla birlikte oransal bollukları ve/veya dağılım grafikleri, kaynak malzeme içindeki benzediği için özellikle maden yataklarındaki mineralleri oluşturan elementlerin kökenlerinin araştırılmasında oldukça yararlı olabilmektedir. NTE analiz sonuçları değerlendirilirken, genellikle kondrit örneklerine göre veya bazı temel kayalara (Kuzey Amerika Şeyli - NASC, Avrupa Şeyli gibi) ait değerlere göre normalize edilmekte (Normalize edilmiş değerler N simgesi ile işaretlenmekte) ve sonuçlar X ekseninde elementlerin atom numaralarına göre dizildiği, Y ekseninde ise logaritmik olarak normalize

Çizelge 2. İnceleme alanından seçilmiş kayalık ve mineral örneklerinin iz ve NTE içerikleri (Taa: Akçalalan andeziti, Tap: Adadağı piroklastikleri, Tdd: Dededağ dasiti, Tkb: Karaömerler bazaltı).

Table 2. Trace and REE contents of rocks and mineral samples from the study area (Taa: Akçalalan andesite, Tap: Adadağı pyroclastics, Tdd: Dededağ dacite, Tkb: Karaömerler basalt).

Örnek No:	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U	
KR-248 (Tdd)	36.2	62.1	6.4	23.8	4.08	0.99	3.61	0.6	3.52	0.75	2.43	0.41	2.63	0.448	7.1	0.89	274	0.11	-5	-0.1	19.9	5.12	
KR-253 (Tap)	34.2	63.3	6.8	26.6	5.19	1.28	5.11	0.85	4.74	1.02	3.14	0.47	2.97	0.469	5.5	0.86	195	1.12	12	0.3	14.8	3.49	
KR-292 (Tkb)	14	29.2	3.4	15.2	3.66	1.18	3.72	0.63	3.67	0.8	2.32	0.34	2.14	0.345	2	0.2	149	-0.1	-5	-0.1	3.9	1.1	
KR-311 (Taa)	31.1	62.1	6.9	28.6	6.02	1.35	5.39	0.94	5.08	1.03	3.13	0.5	3.01	0.446	5	0.9	241	0.11	-5	-0.1	12.5	3.59	
EK-6 (Galenit)	0.33	0.45	0.1	0.21	0.03	0.01	0.04	-0	0.04	-0	0.02	-0.01	0.01	0.002	-0.1	0.01	0.9	-0.1	>10000	0.1	0.11	0.09	
TK-61 (Galenit)	0.28	0.39	0.1	0.22	0.06	0.01	0.12	0.02	0.11	0.02	0.05	0.01	0.04	0.004	-0.1	-0.01	-0.5	-0.1	>10000	0.4	0.09	0.1	
EK-6 (Sfalerit)	-0.05	-0.05	-0	-0.1	0.02	-0.01	-0	-0	-0	-0	-0.01	-0.01	-0	-0	-0.1	-0.01	0.6	-0.1	436	-0.1	0.05	-0.01	
TK-73 (Sfalerit)	-0.05	0.05	0	0.1	0.07	-0.01	0.05	-0	0.03	-0	0.02	-0.01	0.03	0.006	-0.1	-0.01	0.6	-0.1	440	-0.1	0.07	0.02	
TK-61 (Barit)	1.58	-0.05	0	-0.1	-0.01	-0.01	-0	-0	0.03	-0	0.02	-0.01	0.02	-0	0.4	1.01	-0.5	-0.1	80	-0.1	-0.05	0.06	
TK-83 (Barit)	4.11	-0.05	0.1	-0.1	-0.01	-0.01	0.33	-0	0.13	0.02	0.07	-0.01	0.04	-0	0.3	0.5	-0.5	-0.1	34	-0.1	-0.05	0.03	
Blank	-0.05	-0.05	-0	-0.1	-0.01	-0.01	-0	-0	-0	-0	-0.01	-0.01	-0	-0	-0.1	-0.01	-0.5	-0.1	-5	-0.1	-0.05	-0.01	
Standard MAG1	42.6	86.2	9.6	36.9	7.29	1.49	6.03	0.96	5.14	0.96	2.82	0.43	2.6	0.372	3.7	1.1	1.7	0.25	22	-0.1	12.4	2.78	
Certified MAG1	43*	88*	9.3	38*	7.5*	1.55*	5.8*	0.96*	5.2*	1.02*	3	0.43*	2.6*	0.40*	3.7*	1.1	1.4	(0.59)	24*	0.34	11.9*	2.7*	
Standard BIR1	0.68	1.94	0.4	2.32	1.09	0.54	1.79	0.4	2.5	0.55	1.74	0.27	1.66	0.256	0.6	0.03	-0.5	-0.1	-5	-0.1	0.18	0.03	
Certified BIR1	0.62*	1.95*	0.38*	2.5*	1.1*	0.54*	1.85*	0.36*	2.5*	0.57*	1.7*	0.26*	1.65	0.26*	0.6*	0.04	0.07	(0.01)	3	(0.02)	0.03	0.01	
Standard DNC1	3.5	8.3	1	4.53	1.35	0.58	1.88	0.4	2.59	0.58	1.9	0.3	1.87	0.295	1	0.06	-0.5	-0.1	8	-0.1	0.25	0.06	
Certified DNC1	3.8*	10.6	1.3	4.9*	1.38*	0.59*	2	0.41*	2.7	0.62	2*	(0.33)	2.01*	0.32*	1.01*	0.098*	(0.2)	(0.026)	6.3	(0.02)	(0.2)	(0.1)	
Standard GXR-2	26	53.2	5.5	20	3.74	0.68	3.27	0.52	2.95	0.59	1.83	0.29	1.83	0.286	7.5	0.79	2.1	0.72	664	0.6	8.8	2.97	
Certified GXR-2	25.6	51.4	-19	3.5	0.81	(3.3)	0.48	3.3					(0.3)	2.04	(0.27)	8.3	0.9	1.9	1.03	690	(0.69)	8.8	2.9
Standard LKSD-3	48.3	90.7	11	42.8	7.94	1.48	6.47	0.92	5	0.99	2.95	0.46	2.83	0.429	4.5	0.61	1.1	0.88	26	-0.1	10.8	4.39	
Certified LKSD-3	52	90	44	8	1.5		1	4.9					2.7	0.4	4.8	0.7	(<4)		29		11.4	4.6	
Standard MICA-Fe	181	392	44	163	30.4	0.62	20.3	2.35	9.4	1.31	3.02	0.48	2.7	0.528	25.4	36.6	15.9	16	8	0.4	159	76.5	
Certified Mica Fe	200*	420*	49*	180*	33*	0.7*	21*	2.7*	11*	1.6*	3.8*	0.48*	3.5*	0.5*	26*	35*	15	16	13*	2	150*	80*	
Standard GXR1	7.9	15.6	2	18.9	3.16	0.65	4.42	0.9	4.43	1.02	3.09	0.46	2.07	0.309	1	0.26	1.55	0.54	747	1.380	2.6	35.1	
Certified GXR1	7.5	17	-18	2.7	0.69	4.2	0.83	4.3					(0.43)	1.9	0.28	0.96	0.175	164	(0.39)	730	1.380	2.44	34.9
Standard SY3	1.340	2.220	223	674	110	17.1	105	18	118	29.7	68.4	11.7	62.3	7.96	12.8	28.8	1.8	1.66	139	0.7	1.000	650	
Certified SY3	1340*	2230*	223*	670	109	17*	105*	18	118	29.5*	68	11.6*	-62	7.9	9.7	30*	1.1*	1.5	133*	(0.8)	1003*	650*	
Standard STM-1	151	259	20	80.4	12.6	3.67	9.09	1.51	8.14	1.5	4.41	0.71	4.38	0.615	29.4	18.6	3.3	0.1	10	0.1	33.8	9.1	
Certified STM-1	150*	259*	19*	79*	12.6*	3.6*	9.5*	1.55*	8.1*	1.9	4.2*	0.69	4.4*	0.6	28*	18.6*	3.6*	0.26	17.7*	0.13	31*	9.06*	
Standard IFG-1	2.79	4.03	0.4	1.81	0.41	0.36	0.68	0.12	0.81	0.2	0.66	0.1	0.58	0.098	-0.1	0.18	220	-0.1	-5	-0.1	0.17	0.14	
Certified IFG-1	2.8*	4*	0.4*	0.2	0.4*	0.39*	0.74*	0.11*	0.8*	0.2*	0.63*	0.09*	0.6*	0.09*	0.04	0.2	220	0.02	4		0.1	0.02	

Çizelge 2. Devam ediyor
Table 2. Continued

Örnek No:	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	In	Sn	Sb	Cs	Ba
KR-248 (Tdd)	51	56	31	186	24	-30	15	-0.5	-5	83	359	22,5	290	10.1	-2	-0.5	-0.1	1	0.7	0.6	800
KR-253 (Tap)	78	-20	25	-20	-10	153	16	-0.5	-5	98	225	33.4	213	10.9	-2	-0.5	-0.1	2	0.6	3.9	1.170
KR-292 (Tkb)	255	-20	31	-20	47	41	15	-0.5	-5	17	553	22.4	69	3	-2	-0.5	-0.1	-1	0.2	0.3	342
KR-311 (Taa)	169	24	36	-20	31	-30	17	2.2	7	88	352	29.2	168	10.7	-2	-0.5	-0.1	2	0.6	1.8	629
EK-6 (Galenit)	13	-20	-1	-20	-10	69	-1	-0.5	-5	25	-2	-0.5	3	0.3	-2	-0.5	-0.1	-1	0.3	1.6	14
TK-61 (Galenit)	13	-20	-1	-20	-10	101	-1	-0.5	-5	2	2	1.3	-1	1.1	-2	-0.5	-0.1	-1	-0.2	-0.1	171
EK-6 (Sfalerit)	-5	-20	4	-20	-10	>10000	21	-0.5	-5	1	-2	-0.5	-1	-0.2	-2	-0.5	0.3	-1	-0.2	-0.1	39
TK-73 (Sfalerit)	-5	-20	4	-20	-10	>10000	10	-0.5	-5	1	3	-0.5	1	-0.2	-2	-0.5	-0.1	-1	-0.2	-0.1	217
TK-61 (Barit)	-5	-20	-1	-20	-10	-30	-1	-0.5	-5	6	5.510	1.5	-1	-0.2	-2	-0.5	-0.1	-1	-0.2	0.1	6.248
TK-83 (Barit)	-5	-20	-1	-20	-10	174	-1	-0.5	-5	-1	7.320	2.1	-1	-0.2	-2	-0.5	-0.1	-1	-0.2	-0.1	18.248
Blank	-5	-20	-1	-20	-10	-30	-1	-0.5	-5	-1	-2	-0.5	-1	-0.2	-2	-0.5	-0.1	-1	-0.2	-0.1	-3
Standard MAG1	133	97	21	53	28	121	19	2.5	10	145	137	27.7	113	14.5	-2	-0.5	-0.1	3	1.2	8.2	466
Certified MAG1	140*	97*	20.4*	53*	30*	130*	20.4*		9,2	149*	146*	28*	126*	12	1,6	0,08	(0,18)	3,6	0,96*	8,6*	479*
Standard BIR1	309	377	51	161	122	74	15	2.1	-5	-1	106	16.1	14	1.1	-2	-0.5	-0.1	-1	0.8	-0.1	7
Certified BIR1	313*	382*	51.4*	166*	126*	71*	16	1,5	(0,4)	0,25*	108*	16*	15,5	0,6	(0,5)	(0,036)		0,65	0,58	0,005	7
Standard DNC1	143	260	54	259	100	66	13	1.2	-5	4	137	17.5	37	1.7	-2	-0.5	-0.1	1	1.1	0.2	108
Certified DNC1	148*	285*	54.7*	247*	96*	66*	15	(1,3)	(0,2)	(4,5)	145*	18*	41*	3	(0,7)	(0,027)			0,96*	(0,34)	114*
Standard GXR-2	54	38	9	-20	80	574	39	0.9	26	82	159	19.3	259	11	-2	16.5	-0.1	2	49	5.7	2.260
Certified GXR-2	52	36	8,6	21	76	530	37		25	78	160	17	269	11	(2,1)	17	(0,252)	1,7	49	5,2	2,240
Standard LKSD-3	81	80	32	44	36	150	16	1	26	79	250	32.2	163	7.4	-2	2.1	-0.1	2	1.4	2.5	675
Certified LKSD-3	82	87	30	47	35	152			27	78	240	30	178	8	(<5)	2,7		3	1,3	2,3	680
Standard MICA-Fe	131	82	25	33	-10	1.320	94	3.3	-5	2.110	4	46.4	760	270	2	-0.5	0.6	70	0.4	174	139
Certified Mica Fe	135*	90*	23*	35*	5*	1300*	95*	3,2	3	2200*	5*	48*	800*	270*	1,2			0,6	70*	180*	150*
Standard GXR1	83	-40	9	45	1.110	689	14	5	426	14	301	36	33	4	18	31	0.8	59	114	3.1	697
Certified GXR1	80	12	8,2	41	1,110	760	13,8		427	-14	275	32	-38	(0,8)	18	31	0,77	54	122	3	750
Standard SY3	50	-40	8	-40	20	264	30	2	20	210	309	721	353	141	-4	-1	-0.2	8	1.1	2.8	440
Certified SY3	50	-11	8,8	11	17	244*	27*	1,4	18,8	206*	302*	718*	320	148	(1,0)	(1,5)		(6,5)	0,31	2,5	450
Standard STM-1	-5	-20	-1	-20	-10	225	32	1	-5	113	659	46	1.240	245	4	-0.5	-0.1	6	1.3	1.3	566
Certified STM-1	(8,7)	(4,3)	0,9	-3	(4,6)	235*	36*	(1,4)	4,6	118*	700*	46*	1210*	268*	5,2	0,079*	(0,12)	6,8	1,66*	1,54*	560*
Standard IFG-1	-5	-20	27	-20	13	-30	1	24.1	-5	2	4	9.3	-1	-0.2	-2	-0.5	-0.1	-1	1	0.1	5
Certified IFG-1	2	4	29*	22,5	13*	20*	0,7	24	1,5	0,4	3	9*	1	0,1*	0,7		0,2	0,3	0,63	0,06	1,5



edilmiş değerlerin bulunduğu X-Y dağılım diyagramları hazırlanmakta, dağılım eğrilerindeki gidişler (pattern) çeşitli referans verileri karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılmaktadır.

İnceleme alanındaki barit ve galenitlere ait değerleri karşılaştırabilmek amacıyla değişik çalışmalardan derlenmiş bazı barit oluşumlarına ve hidrotermal sistemlere ait NTE değerleri Çizelge 3'de görülmektedir.

İnceleme alanından alınan yan kayaç ve cevherleşmeye ait barit ve galenit örnekleri ile literatürden derlenmiş benzer oluşumlara ait NTE değerleri, Boynton (1984) tarafından belirlenmiş Cl kondrit ortalaması (Avg. Cl Chondrite) değerlerine göre normalize edilmiş olup,

normalize NTE değerleri Çizelge 4 ve 5'de görülmektedir.

Normalize edilmiş NTE değerlerinin atom numarasına karşılık logaritmik dağılım diyagramları Şekil 4 ve 5'de görülmekte olup, farklı örneklere ait dağılım eğrilerinin gidişleri basitçe; negatif Eu anomalilerine sahip, birbirlerine benzer ve/veya paralel gidişli eğriler şeklindedir.

Çevredeki kayalara ait örneklerin normalize NTE değerleri birbirleriyle karşılaştırıldıklarında; en yüksek değer Karaömerler bazaltına ait olup (TK - 92;Tkb), bunu sırasıyla Adadağı piroklastikleri (TK - 253; Tap), Akcaalan andeziti (TK - 311; Taa) ve Dededağ dasiti (TK - 248; Tdd) izlemektedir. Volkanik kayaçların değişim grafiklerindeki paralellikler, volkanitlerin aynı magma odasından geldikleri şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 3. Değişik barit oluşumlarının ve hidrotermal sistemlerin NTE değerleri.

Table 3. REE values of the various barite occurrences and hydrothermal systems.

Element	Deniz Suyu (1)	MB2 (1)	MB9 (1)	CB3 (1)	Tibet Ort. (2)	Bulg. Ort. (2)	Bulg. Ort. (2)	EPR 21 Ort. (2)	Salton Denizi (3)	Kondrit x1000 (4)
La	3,1	13	143	75	-	-	-	-	-	310,0
Ce	1,2	3,5	309	103	62,5	21,4	46,3	331,5	706	808,0
Pr	0,64	-	12,5	-	-	-	-	-	-	122,0
Nd	2,5	-	-	-	21,5	8,9	16,8	102,5	226	600,0
Sm	0,43	0,38	7,4	0,98	4,65	1,75	3,2	19	22,6	195,0
Eu	0,12	0,1	1,7	0,45	0,3	0,55	0,4	32,5	305	73,5
Gd	0,65	-	-	-	3,5	3,75	2,4	25	25	259,0
Tb	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	47,4
Dy	0,82	0,54	14	1	3,2	5,95	2	19,2	17,3	322,0
Ho	0,22	0,18	5,7	-	-	-	-	-	-	71,8
Er	0,68	-	18	-	2,2	4,1	1,2	11,7	10,6	210,0
Tm	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	32,4
Yb	0,63	-	26	-	2,2	4,2	1,25	13,3	9,33	209,0
Lu	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	32,2
Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,10*

Referanslar

- (1)Guichard ve diğ. (1979)
 (2)Michard ve Albarede (1986)
 (3)Michard (1989)
 (4)Boynton (1984)

Barit Örnekleri

- MB2 Pelajik barit
 MB9 Diagenetik barit
 CB3 Hidrotermal damar tipi barit

Hidrotermal Çözellilerdeki Örnekler

- Tibet Ort. Ortalama Tibet AH-9&AH-35 değerleri
 Bulg.Ort.1Ort.Bulg. BU-14&BU-13 değ. (pH<7,5)
 Bulg.Ort.2 Ort.Bulg.BU-26,BU-04,BU-21, değ.(pH>7,5)
 EPR21 Ort. Ort.East Pasific Rise; 21° N,SW 1149-2,1157-2

Çizelge 4. İnceleme alanından seçilmiş kayaç ve cevher örneklerinin kondrite göre normalize edilmiş NTE değerleri (NTE değerlerinin normalizasyonu için Boynton, 1984 ortalama Cl değerleri ,Y için Taylor ve McLennan, 1985 ortalama Cl değerleri kullanılmıştır.

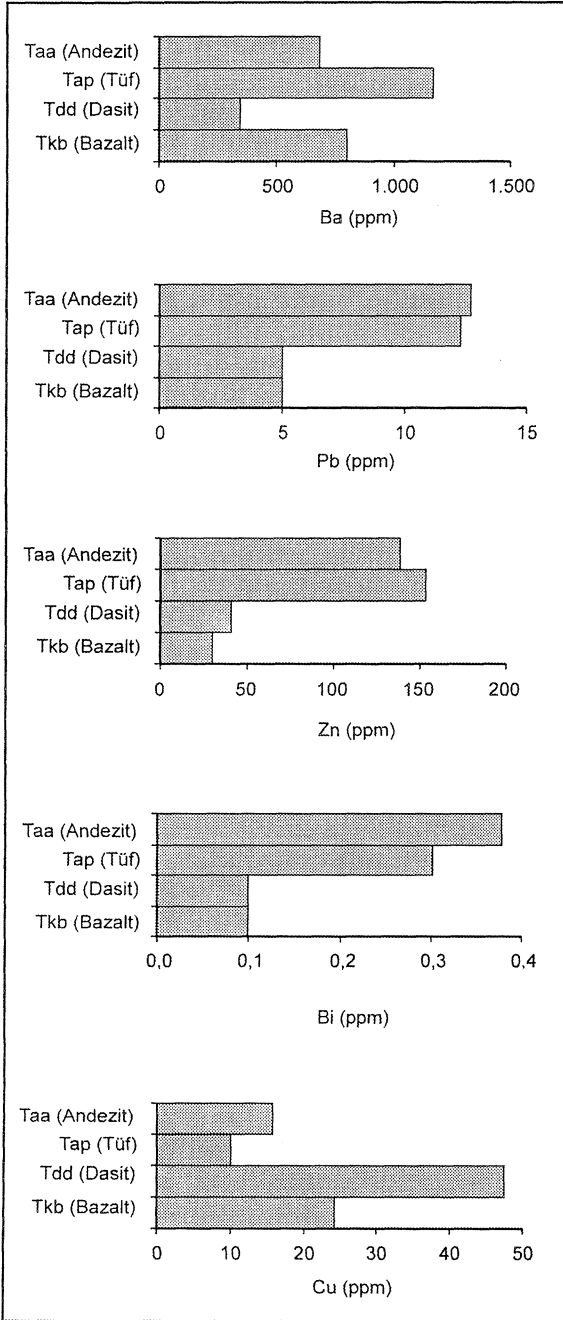
Table 4. Chondrite-normalized REE values of rocks and ore samples from the study area (NTE values were normalized using Av.Cl values of Boynton, 1984, Y values were normalized using Av. Cl values of Taylor and McLennan, 1985).

Element	1 (TK-311) (Taa)	2 (TK-253) (Tap)	3 (TK-248) (Tdd)	4 (TK-292) (Tkb)	5 (EK-6) Galenit	6 (TK-61) Galenit	7 (EK-6) Sfalerit	8 (TK-73) Sfalerit	9 (TK-61) Barit	10 (TK-83) Barit
La _N	0,1168	0,1103	0,0452	0,1003	0,0011	0,0009	0,0002	0,0002	0,0051	0,0133
Ce _N	0,0079	0,0084	0,0042	0,0085	0,00007	0,00006	0,00001	0,00001	0,00002	0,0001
Pr _N	0,0526	0,0557	0,0277	0,0566	0,0005	0,0004	0,0001	0,0001	0,0002	0,0007
Nd _N	0,0397	0,0443	0,0253	0,0477	0,0004	0,0004	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001
Sm _N	0,0209	0,0266	0,0188	0,0309	0,0002	0,0003	0,0001	0,0004	0,0001	0,0001
Eu _N	0,0134	0,0174	0,0161	0,0184	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Gd _N	0,0139	0,0197	0,0144	0,0208	0,0002	0,0005	0,00004	0,00002	0,00004	0,0013
Tb _N	0,0127	0,0179	0,0133	0,0198	0,0002	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Dy _N	0,0109	0,0147	0,0114	0,0158	0,0001	0,0003	0,00003	0,0001	0,0001	0,0001
Ho _N	0,0104	0,0142	0,0111	0,0143	0,0014	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003
Er _N	0,0116	0,015	0,011	0,0149	0,0001	0,0002	0,00005	0,0001	0,0001	0,0003
Tm _N	0,0126	0,0145	0,0106	0,0153	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Yb _N	0,0126	0,0142	0,0102	0,0144	0,00005	0,00019	0,00005	0,00014	0,00010	0,00019
Lu _N	0,0139	0,0146	0,0107	0,0139	0,00006	0,00012	0,00006	0,00019	0,00006	0,00006
Y _N	10,7143	15,905	10,667	13,905	0,2381	0,619	0,2381	0,2381	0,7143	1

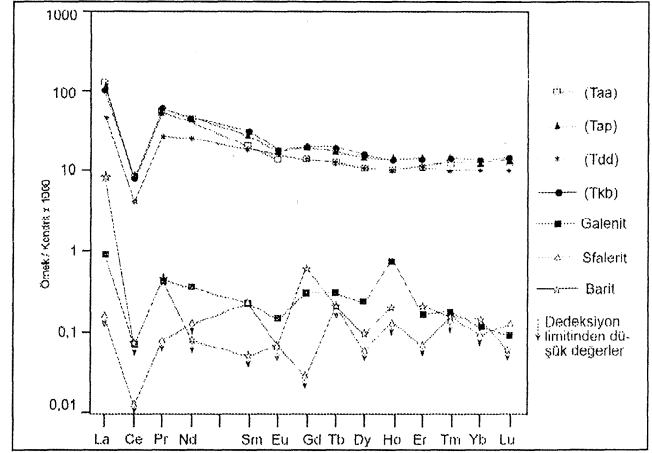
Çizelge 5. Değişik barit oluşumları ve hidrotermal sistemlerin kondrite göre normalize edilmiş NTE değerleri.

Table 5. Chondrite-normalized REE values of the various barite occurrences and hydrothermal systems.

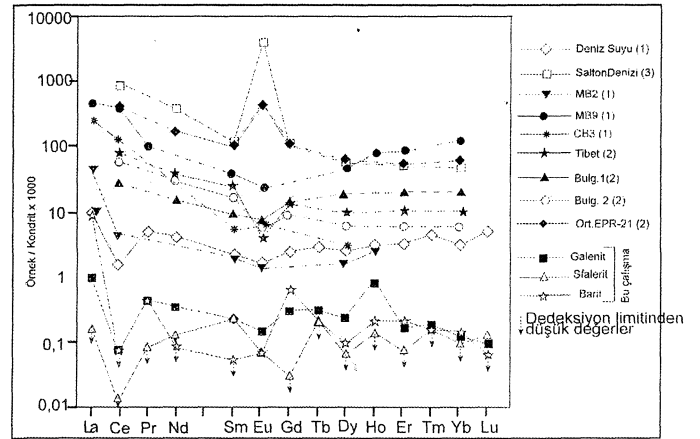
Element	Deniz Suyu (1)	MB2 (1)	MB9 (1)	CB3 (1)	Tibet Ort. (2)	Bulg. Ort. (2)	Bulg. Ort. (2)	EPR 21 Ort. (2)	Salton Den. (3)
La	10,00	41,94	461,29	241,94	-	-	-	-	-
Ce	1,49	4,33	382,43	382,43	77,35	26,49	57,30	410,27	873,76
Pr	5,25	-	102,46	102,46	-	-	-	-	-
Nd	4,17	-	-	-	35,83	14,83	28,00	170,83	376,67
Sm	2,21	1,95	37,95	37,95	23,85	8,97	16,41	97,44	115,90
Eu	1,63	1,36	23,13	23,13	4,08	7,48	5,44	442,18	4149,66
Gd	2,51	-	-	-	13,51	14,48	9,27	96,53	96,53
Tb	2,95	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy	2,55	1,68	43,48	43,48	9,94	18,48	6,21	59,63	53,73
Ho	3,06	2,51	79,39	79,39	-	-	-	-	-
Er	3,24	-	85,71	85,71	10,48	19,52	5,71	55,71	50,48
Tm	4,63	-	-	-	-	-	-	-	-
Yb	3,01	-	124,40	124,40	10,53	20,10	5,98	63,64	44,64
Lu	5,28	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Şekil 3. Cevherleşme ile ilgili elementlerin inceleme alanındaki birimlerden seçilmiş örneklerde grafiksel dağılımı.
Figure 3. Graphical dispersion of the ore forming elements within the representative rock samples of the lithologic units.



Şekil 4. İnceleme alanından derlenmiş kayaç ve mineral örneklerinin kondrite göre normalize edilmiş NTE değerlerinin değişim grafiği.
Figure 4. Chondrite-normalized REE patterns of rocks and mineral samples from the study area.



Şekil 5. İnceleme alanından derlenen galenit, sfalerit ve barit örnekleri ile değişik barit oluşumları ve hidrotermal sistemlerin kondrite göre normalize edilmiş NTE değerlerinin karşılaştırmalı değişim grafiği.
Figure 5. Comparative variation diagram of chondrite-normalized REE patterns from the galena, sphalerite and barite samples with different barite occurrences and hydrothermal systems.

+

Galenit, sfalerit ve barit örneklerinde normalize NTE değerleri birbirine çok yakın olduğundan her mineral için ortalama değerler hesaplanarak diyagrama aktarılmıştır. Bu minerallere ait değerler kayaç ördeklerine göre oldukça düşük olup, kısmen birbirine yakın oldukları söylenebilir. Barit örneklerinde (TK - 61, TK - 83) La, Pr ve Gd değerlerinde yüksek pikler oluşturacak şekilde oldukça zikzaklı bir gidiş izlenmekle birlikte diğer elementlere ait değerler düşüktür.

Galenit, sfalerit ve barit örneklerinde La, Ce ve Pr gibi hafif NTE'de değişim grafikleri birbirine paralellik göstermektedir. Ancak, diğer elementlere ait kesimlerde paralellik olduğunu söylemek zordur. Barit ve sfalerit arasındaki en önemli farklılık normalize Gd değerlerinde gözlenmekte olup, bu değer baritlerde yüksek sfaleritlerde düşüktür.

Sfaleritlere ait değerler, diyagram üzerindeki en düşük değerler olup oldukça zikzaklı bir gidiş izlenmektedir. Sfalerit ve galenit örnekleri özellikle hafif NTE değerlerindeki değişim bakımından (Ce değerinin La ve Pr değerlerine göre daha düşük oluşu) paralellik göstermektedir. Bu durum, galenit ve sfaleritlerin köken bakımından birbirleriyle ilişkili olabileceği şeklinde yorumlanabilir.

İnceleme alanındaki örneklerin benzer oluşumlara ait verilerle karşılaştırılabilmesi amacıyla yapılan literatür incelemelerinden; Guichard ve diğ. (1979), çeşitli denizel ve karasal ortamlarda oluşmuş barit oluşumlarının NTE dağılımlarını incelemiş ve derin denizel baritlerin NTE konsantrasyonlarının diğer otijenik minerallere göre daha yüksek olduğunu, kondrite göre normalize edilmiş Eu değerlerinin minimum olduğunu, fakat deniz sularında gözlenen Ce anomalisinin bulunmadığını belirlemiştir. Çoğu karasal, bazıları ise sığ denizel ortamlarda oluşmuş diğer barit oluşumlarında ise NTE konsantrasyonlarının düşük olduğu gözlenmiş olup, saptanan pozitif Eu anomalilerinin indirgeyici sedimanter ortam ve metamorfizma koşullarına işaret ettiği belirtilmektedir. Morgan ve Wandless (1980), anhidrit, barit, siderit ve galenit kristallerinin yapısında NTE bolluklarını ve kristal lografik özelliklerin dağılıma etkilerini incelemiş olup, kabuk değerlerine göre normalize

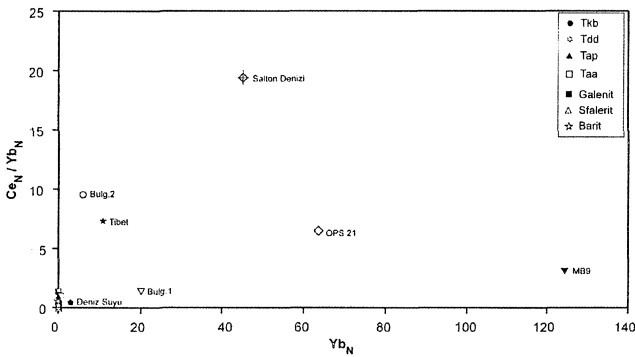
edilmiş NTE bolluklarının bu minerallerin yapısında bulunan ana katyonların iyon yarıçapları ile doğru ilişkili olarak değiştiğini belirlemiştir. Eu'un barit içinde anomali derecesinde zenginleşirken, Fe gibi +3 değerlikli olmasına ve benzer iyon yarıçapına sahip olmasına rağmen siderit içinde az bulunması aykırı bir durum olarak belirtilmiştir. Baar ve diğ. (1985), Pasifik ve Atlantik Okyanuslarının sularında NTE dağılımının, su derinliğine, oksijen içeriğine, opal ve kalsiyum karbonat içeriğine ve asılı partiküllerin adsorplanma yeteneğine bağlı olarak değiştiğini saptamışlar ve özellikle asılı partiküllerin adsorplanma yeteneklerinin NTE dağılımını etkileyen en önemli parametre olduğu sonucuna varmışlardır. Ruhlun ve Owen (1986), Doğu Pasifik Sırtı (East Pasific Rise) çevresindeki hidrotermal çökellerin NTE dağılımını incelemişler ve sırt ekseninden uzaklaştıkça çökellerin NTE değerlerinin deniz suyuna yaklaştığını belirlemiştir. Bu araştırmacılar hidrotermal bileşenlerdeki NTE dağılımının deniz suyundan etkilendiği sonucuna varmışlardır. Michard ve Albarade (1986), Doğu Pasifik Sırtı üzerinde 13° ve 21° N enlemleri üzerindeki su altı hidrotermal faaliyetleri ile Bulgaristan ve Tibet'teki sıcak su çıkışlarında NTE dağılımlarını incelemişler ve DPS çevresindeki hidrotermal çözeltilerde NTE konsantrasyonlarının deniz suyuna göre belirgin bir artış gösterdiğini, pH ve alkaliniteye bağlı olarak biraz farklılık gözlenmekle birlikte Bulgaristan ve Tibetteki sıcak sularda NTE içeriklerinin düşük olduğunu belirlemiştir. Bu çalışmalara ait değerlerle yapılan karşılaştırmalarda inceleme alanındaki örneklere ait değerlerin deniz suyuna kısmen benzerlik gösterdiği ancak diğer hidrotermal oluşumlara göre çok düşük değerler halinde oldukları ve dağılım benzerliği gösterdiği görülmektedir.

İnceleme alanına ait örneklerle çeşitli hidrotermal sistemlere ve barit oluşumlarına ait değerler ile birlikte Ce_N/Yb_N-Yb_N diyagramı üzerinde incelendiklerinde; sfalerit, galenit ve baritlerin volkanik kayaçlar arasında ve deniz suyuna yakın bir yerde kümelendikleri görülmektedir. (Çizelge 6 ve Şekil 6). Bu diyagramdan yararlanılarak sfalerit, galenit ve baritlerin olasılıkla deniz suyuna volkanik kayaçlardan çözülen elementlerin zenginleşmesi sonucu oluştuğu sonucu çıkarılmıştır.

Çizelge 6. İnceleme alanından derlenmiş kayaç ve mineral örneklerine ait $Ce_N / Yb_N - Yb_N$ değerleri.**Table 6.** $Ce_N / Yb_N - Yb_N$ values of the rocks and mineral samples from the study area.

Element	KR-248	KR-253	KR-292	KR-311	EK-6	TK-61	EK-6	TK-73	TK-61	TK-83
	Tdd	Tap	Tkb	Taa	Galenit	Galenit	Sfalerit	Sfalerit	Barit	Barit
Ce	0,0079	0,0084	0,0042	0,0085	0,00007	0,00006	0,00001	0,00001	0,00002	0,0001
Yb	0,0126	0,0142	0,0102	0,0144	0,00005	0,00019	0,0005	0,00014	0,0001	0,00019
Ce/Yb	0,627	0,5915	0,4118	0,5903	1,4	0,31579	0,02	0,07143	0,2	0,52632

Element	Deniz S.	MB9	T.Ort.	B.Ort.1	B.Ort.2	DPS 21A	Salton D.
Ce	1,49	382,43	77,35	26,49	57,3	410,3	873,76
Yb	3,01	124,40	10,53	20,10	5,98	63,64	44,64
Ce/Yb	0,495	3,0742	7,346	1,318	9,582	6,447	19,5735

**Şekil 6.** İnceleme alanından derlenmiş kayaç ve mineral örneklerine ait normalize değerlerin $Ce_N / Yb_N - Yb_N$ diyagramı üzerinde dağılımı.**Figure 6.** Plotting of the chondrite normalized values of the rock and mineral samples on the $Ce_N / Yb_N - Yb_N$ diagram.

SONUÇLAR

Koru (Çanakale) baritli kurşun - çinko yatağı, Biga Yarımadası'nda Tersiyer yaşlı volkanitler içinde yaygın olarak gözlenen kurşun - çinko yataklarının tipik örneklerinden birisi olup, inceleme alanı içindeki cevherleşmeler, Adadağı piroklastikleri içinde, BKB - DGD konumlu fay hattı boyunca damar tipi ve üst seviyelerdeki ileri derecede breşleşmiş kesimlerde stockwork tipi oluşumlar şeklindedir.

Ana element jeokimyası incelemelerinden; inceleme alanındaki volkanik kayaçların erken

evrede (Karaömerler bazaltı hariç) yüksek potasyumlu kalkali bileşimli oldukları, sonraki evrelerde ise orta potasyumlu kalkalkelen karakterli, levha içi bazaltlar (Karaömerler bazaltı) şeklinde oluştukları anlaşılmaktadır.

Eser element jeokimyası incelemelerinde kurşun, çinko, bizmut ve baryumun Akçalaan andezit ve Adadağı piroklastiklerinde, bakırın ise Dededağ dasitinde diğer birimlere göre daha yüksek değerlerde buldukları görülmektedir. Diğer veriler dikkate alınmadan yalnızca eser element dağılımı dikkate alındığında yatak içinde zenginleşen kurşun ve çinkonun Akçalaan andeziti ile Adadağı piroklastiklerinden, bakırın ise Dededağ dasitinden kaynaklanmış olabileceği düşünülebilir.

İnceleme alanındaki örneklerin normalize edilmiş NTE değerleri incelendiğinde; farklı örneklerle ait dağılım eğrilerinin gidişleri basitçe; negatif Eu anomalilerine sahip, birbirine benzer ve/veya paralel gidişli eğriler şeklinde tanımlanabilir. İnceleme alanındaki örneklerinin değişim diyagramları çeşitli hidrotermal sistemlerle karşılaştırdıklarında baritlerin deniz suyuna kısmen benzerlik gösterdikleri söylenebilir. Örneklerin $Ce_N / Yb_N - Yb_N$ diyagramı üzerindeki konumları incelendiğinde; galenit, sfalerit ve baritlerin volkanik kayaçlar arasında ve deniz suyuna yakın bir yerde kümelendikleri görülmektedir. Bu durum da, galenit, sfalerit ve baritlerin olasılıkla deniz suyuna volkanik kayaçlardan çözülen elementlerin zenginleşmesi sonucu oluştukları söylenebilir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Fonu'nca desteklenen doktora tezinden (M-150 nolu proje) hazırlanmıştır. C.Ü. Arş.Fonu yönetim kurulu üyelerine, saha çalışmaları sırasında gösterdikleri yardımlar için Çanakkale Madencilik Ltd. Şti. yetkililerine ve analizleri özenle gerçekleştiren Activation Laboratories (Kanada) çalışanlarına teşekkür ederiz.

EXTENDED SUMMARY

Koru barite bearing lead-zinc deposits, located in southeast of Lapseki (Çanakkale), are the typical examples of the lead-zinc deposits occurred in the Tertiary volcanic rocks outcropped in the Biga Peninsula. Tahtalıkuyu and Eskikışla deposits are still being mined for Pb and Zn production. Geology, ore petrography and fluid inclusion characteristics of the mentioned deposits were investigated by Bozkaya (2001) and Bozkaya and Gökçe (2001). This paper deals with the major, trace and rare earth elements geochemistry of these deposits.

Volcanic rocks around the investigated deposits are distinguished as; Eocene Akçaalan andesite (andesite, basaltic andesite, rarely rhyodacite and dacite types of volcanic rocks), Oligocene Adadağı pyroclastics (tuffs and agglomerates with trachytic, latitic, dacitic and rhyolitic compositions and rarely andesitic and dacitic lavas), Miocene Dededağ dacite (dacitic and rarely rhyodacitic lavas) and Plio-Quaternary Karaömerler basalt (basalt).

The investigated deposits are hosted by Adadağı pyroclastics and show two different mineralization styles such as stockwork ore veinlets in the upper parts and ore veins along the fault zones in WNW-ESE direction within the lower parts. There is no mineralogical differences between ore styles. Galena, sphalerite and barite are the main minerals and accompanied by minor amounts of pyrite, chalcocopyrite, fahlerz (tennantite), marcasite, chalcocine, covellite, bornite, tenorite and quartz. Five different mineralisation phases were recognized in accordance with the mineral succession. These phases are represented by the following mineral paragenesis; 1st phase by barite and pyrite, 2nd and 3rd phases by galena, sphalerite,

chalcocopyrite, fahlerz, bornite and marcasite, 4th phase by barite, quartz and calcite, and the last phase by chalcocine, covellite and tenorite.

T_M , T_{micE} and T_H values measured during fluid inclusion studies indicate the presence of CaCl₂ and MgCl₂ types of salts in the mineralizing hydrothermal solutions, salinity of the hydrothermal solutions is rather relatively high during barite crystallisation in the early episode of mineralization, while decreased during the sulfide dominated later episode of mineralization. The temperatures of fluids is low (< 80 °C) during the early phase and increased up to 270 °C during the later phase. Sulfide minerals seem to be formed in a temperature range of 120-160 °C according to the primary fluid inclusion in sphalerite crystals. The presence of CaCl₂ and MgCl₂ indicate that the mineralizing hydrothermal solutions are either originated from sea water or circulated through the marinal sediments.

Barite was occurred in the earlier mineralisation stage characterised by lower temperature and higher salinity while sulfide minerals were precipitated in the later stage characterised by higher temperature and lower salinity. This event is not similar to that of expected cooling trends of hydrothermal systems and may be explained as follows; barites of the earlier stage was formed by shallow circulated sea water, slightly warmed, only capable of dissolving Ba²⁺ and SO₄²⁻ ions and ascended in the earlier stage, while the sulfide minerals were precipitated by the deeper circulated, more heated sea water which has a higher dissolving capacity of metal ions such as Pb²⁺, Zn²⁺ and Cu²⁺ ions and ascended lately.

Major element results show that the volcanic rocks in the study area have high potassic calcalkaline composition in the early stage, while they have medium potassic calcalkaline composition similar to within plate basalts in the later stage (Karaömerler basalt).

Trace elements contents of the various rock units show that the lead and zinc in the ore deposits may be derived from Akçaalan andesite, while copper from Dededağ dacite. REE studies show that normalised REE values of barites resemble to

that of sea water. The dispersion of the galena, sphalerite and barite values among those of volcanic rocks and seawater on the $Ce_{\sqrt{YbN}}-YbN$ diagram was assumed to be ore forming elements were derived from the surrounding volcanic rocks by deep circulated sea water.

DEĞİNİLEN KAYNAKLAR

- Alpan, T., 1968. Kuru-Balcılar (Çanakale) köyleri civarının jeoloji etüdü. M.T.A. Raporu, No: 6840, 28 s.
- Andiç, T. ve Kayhan, F., 1997. Çanakale-Lapseki yöresinin genel jeokimyasal etüt raporu. M.T.A. Raporu, No: 10059.
- Baar, H.W., Bacon, M.P. ve Brewer, P.G., 1985. Rare earth elements in the Pasific and Atlantic Oceans. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 1943-1959.
- Boynnton, W.V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Rare earth element geochemistry, P.Henderson (ed.), Elsevier, 63-114.
- Bozkaya, G., 2001. Kuru (ÇANAKKALE) Baritli Kırşun-Çinko Yataklarının Jeolojisi. Doktora Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi (yayınlanmamış).
- Bozkaya, G. ve Gökçe, A., 2001. Kuru (ÇANAKKALE) Pb-Zn Yataklarının Jeolojisi, Cevher Mikroskopisi ve Sıvı Kapanım Özellikleri. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri, 18 (1), 55-70.
- Dinçer, H., 1958. Çanakale vilayeti Lapseki kazası Umurbey nahiyesi civarındaki barit cevherleşmeleri. M.T.A. Raporu. No: 2482.
- Ercan, T. ve Türkecan, A., 1984. Batı Anadolu, Ege adaları, Yunanistan ve Bulgaristan'daki plütonların gözden geçirilişi: T.J.K. Ketin Sempozyumu Kitabı, 189-208.
- Ercan, T., Satır, M., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E., Adis, C, Walter, H. ve Yıldırım, T., 1995. Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer volkanizmasının özellikleri. M.T.A. Dergisi, 117,55-86.
- Gjelsvik, T., 1956. Türkiye'nin batısında Biga yarımadası bölgesinde Alpin volkanizmaya bağlı maden yatakları üzerinde aramalar. M.T.A. Raporu No: 2480.
- Guichard, F., Church, T., Treni I, M. ve Jaffrezic, H., 1979. Rare earths in barites: Distribution and effects on aqueous partitioning. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43 (7), 983-997.
- Holmes, A.W., 1966. 1. Bölge Trakya'nın jeolojik etüdü ve stratigrafisi. T.P.A.O. Arama Grubu Raporu, No: 368.
- Kopp, K.O., 1964. Geologie Thrakiens II; Die Inseln und der Chersones. *NJb. Geol. Paleo. Abh.*, 119,172-214.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorenson, H., Streckeissen, A., Wooley, A.R. ve Zanettin, B., 1989. A classification of igneous rock and glossary of terms: Blackwell Scientific Publications, Oxford, 208 p.
- Morgan, J.W. ve Wandless, G.A., 1980. Rare earth element distribution in some hydrothermal minerals: Evidence for crystallographic control. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, 973-980.
- Michard, A., 1989. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53, 745-750.
- Michard, A. ve Albarede, R, 1986. The REE content some hydrothermal fluids. *Chemical Geology*, 55, 51-60.

KORU (ÇANAKKALE) Pb-Zn YATAKLARINDA JEOKİMYASAL İNCELEMELER

- Okay, A.İ., Siyako, M. ve Burkan, K.A., 1990. Biga yarımadasının jeolojisi ve tektonik evrimi. T.P.J.D. Bülteni, 2/1, 83-121.
- Önem, S., 1974. Gelibolu yarımadası ve Çanakkale dolaylarının jeolojisi. T.P.A.O. Arama Grubu Raporu, No: 877.
- Pearce, J., A. ve Cann, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks, determined using trace element analyses. Earth Planet Scien. Lett., 19,290-300.
- Ruhllin, D.E., ve Owen, M., 1986. The rare earth element geochemistry of hydrothermal sediments from the East Pasific Rise: Examination of a seawater scavenging mechanism. Geochim. Cosmochim. Acta, 50, 393-400.
- Sfondrini, G., 1961. Surface geological report on Ar/TPAO/1/538 and 537. T.P.A.O. Arama Grubu, Rapor No: 1429.
- Siyako, M, Burkan, K.A. ve Okay, A.İ., 1989. Biga ve Gelibolu yarımadalarının Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. T.P.J.D. Bülteni, 1(3), 183-199.
- T.olun, E. ve Baykal, F., 1960. Çanakkale-Lapseki-Umurbey-Koru Deresi Cu-Pb-Zn yataklarına ait rapor. M.T.A. Rap. No: 456.
- Ünal, O., 1967. Trakya jeolojisi ve petrol imkanları. T.P.A.O. Arama Grubu Raporu, No: 391.
- Yanagiya, K. ve Sato, J., 1989. Report on the mineral exploration in the Çanakkale area Republic of Turkey. M.T.A. Raporu, No: 8999. Phase I-II. 132 p.

Makale Geliş Tarihi: 15 Ekim 2001

Kabul Tarihi : 24 Nisan 2002

Received : October 15, 2001

Accepted : April 24, 2002



Adıyaman Yöresi Rezervuar Kayaçlarının Porozite ve Hidrokarbon Doygunluğu Değerlerinin Jeostatistiksel Simülasyonu

Geostatistical Simulation of Porosity and Hydrocarbon Saturation Values of Reservoir Rocks in Adıyaman Region

Arzu Giray YURDAGÜL

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, Ankara
e-posta: arzuy@hacettepe.edu.tr

Cem SARAÇ

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, Ankara
e-posta: cem.sarac@hacettepe.edu.tr

Öz

Bu çalışma Adıyaman Bölgesi'nin rezervuar kayalarından Karababa C Formasyonunun rezervuar özellikleri, gözeneklilik ve hidrokarbon doymunluğu değerlerinin jeostatistiksel simülasyon yöntemleri ile incelenmesini ve değerlendirilmesini kapsamaktadır. İnceleme alanında açılmış olan 11 adet sondajdan elde edilen veriler jeostatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanının 3 boyutlu değerlendirilmesi yapılmış ve variogram fonksiyonları hesaplanmıştır. Gözeneklilik ve hidrokarbon doymunluğu değerlerinden elde edilen variogramlar küresel olarak modellenerek gözeneklilik için model parametreleri $C_0=0.0003$, $C=0.0020$, $a=400$ m; hidrokarbon için $C_0=0.01$, $C=0.04$, ve $a=450$ m olarak belirlenmiştir. Model parametrelerinin doğruluğu, çapraz doğrulama tekniği kullanılarak test edilmiştir.

İnceleme alanında 3 boyutlu olarak toplam 540000 adet grid noktası belirlenerek koşullu simülasyon yöntemlerinden "annealing simülasyon" tekniği uygulanmıştır. Bu çalışma kapsamında belirtilen bölgede aynı grid noktaları için aynı parametreler kullanılarak simülasyon 40 farklı sonuç verecek şekilde tekrarlanmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen 40 farklı sonuçtan en iyi sonucu/senaryoyu veren, yani mevcut üretim alanlarıyla uyuşan ve en geniş petrol üretim alanı kaplayan simülasyon sonucu kabul edilmiştir. Gözeneklilik ve hidrokarbon doymunluğu için elde edilen 540000 adet koşullu verinin ortalama, varyans, histogram ve variogram gibi istatistiksel parametreleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları x,y,z yönlerinde belirlenen kesitler üzerinde değerlendirilerek petrol üretiminin yapılabileceği uygun alanlar belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Porozite, hidrokarbon doymunluğu, jeostatistiksel simülasyon, Adıyaman

Abstract

This study includes examination and evaluation of Karababa C Formation's reservoir characteristics, porosity and hydrocarbon saturation values which is one of the reservoir rocks of Adıyaman region by using geostatistical simulation methods. The data which were obtained from the 11 drillholes drilled in the study area were evaluated by determining the parameters geostatistically. By using geostatistical simulation softwares three dimensional evaluation of the study area was done and variogram functions were calculated. Variogram s which were obtained from porosity and hydrocarbon saturation values were modelled spherically, model parameters with $C_0=0.0003$, $C=0.0020$, $a=400$ for porosity values and $C_0=0.01$, $C=0.04$, $a=450$ for hydrocarbon values were determined. The suitability of model parameters were validated with back-kriging technique.

The study area was seperated into blocks for x direction 300x10 m, for y direction 120 x10 m and for z direction 15x10 m and evaluated conditional simulation was done by using "annealing simulation method". 40 different results

which were obtained from simulation the simulation result giving the best senario which means to he compatible of existance production area and covers the most wide area is examinated. Some statistical parameters such as mean, varince, histogram and variogram were calculated and evaluated of 540000 simulated data values which were obtained for porosity and hydrocarbon saturation. Simulation results were evaluated on cross-sections which is determined x,y,z directions and the best areas where petroleum production could be done were detennined.

Key Words: Porosity, hydrocarbon saturation, geostatistical simulation, Adıyaman

GİRİŞ

Jeoistatistiksel simülasyon yöntemleri yaklaşık 15-20 yıl önce ortaya konulmuş ve yüksek kapasiteli hızlı bilgisayarların gelişmesi ve matematiksel modellemelerin öneminin artmasıyla çok değişik alanlarda uygulanmaya başlanmıştır. Simülasyon ilk defa 1940 yılında John Neumann'ın Monte Carlo analiz yöntemini nükleer reaktörlerin yalıtımı ile ilgili problemlere uygulamasıyla kullanılmaya başlamıştır (Harbaugh ve Bonham-Carter, 1970). Özellikle yerbilimlerinde karşılaşılan değişik problemlerin çözümünde, çeşitli jeolojik özelliklerin belirlenmesinde, litolojik birimler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde, geçirimsizlik ve gözeneklilik gibi parametrelerin belirlenmesinde, maden işletme planları ve tenor, tonaj ve rezerv dağılımlarının incelenmesinde jeoistatistiksel simülasyon yöntemleri çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Saraç, 1994).

Hidrokarbon rezervuarlarının jeoistatistiksel simülasyonu rezervuarlarda jeolojik yapıların incelenmesini, gözeneklilik, geçirimsizlik, litoloji gibi değişkenlerin modellenmesini ve bu değişkenlerin simülasyonunu kapsamaktadır.

Çalışma bölgesi Adıyaman iline bağlı Kahta ilçesiyle Atatürk Barajı arasındaki alanda, Akıncılar nahiyesinin yaklaşık 4 km güney-güneydoğusunda bulunmaktadır. Şekil 1'de inceleme alanının yer bulduru haritası sunulmaktadır.

Bu çalışma kapsamında inceleme alanı ve çevresinin jeolojisi ve rezervuar özellikleri hakkında kısa bir bilgi verildikten sonra gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu değerlerine ait veriler analiz edilmiş ve jeoistatistiksel parametreleri belirlenmiştir. Bu iki parametreye ait variogram fonksiyonları hesaplanmış ve küresel olarak modellenmiştir. Belirlenen model parametrelerinin sahaya uygunluğu çapraz doğrulama tekniği kullanılarak test edildikten sonra koşullu simülasyon yöntemlerin-

den "annealing simülasyon" tekniği kullanılarak incelenen saha simüle edilmiştir.

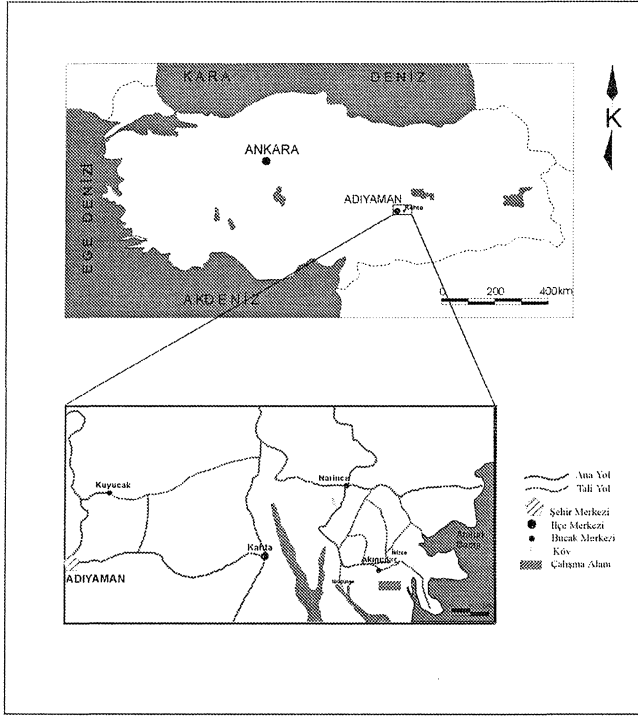
Simülasyon sonuçları değerlendirilerek gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu değerlerinin değişimi incelenmiş ve buna göre petrol üretiminin yapılabileceği en uygun alanlar belirlenmeye çalışılmıştır.

ÇALIŞMA ALANI VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ VE REZERVUAR ÖZELLİKLERİ

Güneydoğu Anadolu Bölgesinin bugünkü yapısını kazanmasında, Üst Kretase ve Miyosen sonunda gelişmiş iki deformasyon dönemi etkin olmuştur (Yılmaz ve Yiğitbaş, 1990). İlk ofiyolitik kayaçlar bölgeye Üst Kretase'de yerleşmiş ve bölge Üst Kretase döneminden başlayarak sıkışma tektoniği etkisinde kalmıştır.

Üst Kretase-Miyosen zaman aralığında Arap kıtasının kuzeyindeki farklı tektonik birlikler birleşerek nap paketi haline gelmiş ve bu nap paketleri Eosen sonuna doğru aradaki okyanusun yok olması sonucu Arap platformu ile çarpışmıştır. Daha sonraki dönemlerde napların ilerlemeleri şiddeti giderek artan deformasyonların gelişmesine neden olmuş ve bunun sonucunda doğu-batı gidişi i ters fay ve şaryaj dilimlerinden oluşan ekay zonu gelişmiştir. Denizel ortamın tamamen yok olmasından sonra da devam eden yaklaşma hareketlerinin etkileri günümüzde de sürmektedir (Bozdoğan ve Erten, 1990; Perinçek ve dig., 1991).

Çalışma sahasındaki en yaşlı birimi oluşturan Mardin Grubu karbonatları Bozdoğan ve Erten (1990)'e göre Areban, Sabunsuyu, Derdere ve Karababa Formasyonlarına ayrılarak incelenmiştir. Transgresif denizin ilk tortulları olarak çökelen Areban Formasyonu'nun temel birimi kumtaşı ve kireçtaşlarıdır ve Çelikdemir ve Dülger (1990) tarafından formasyonun yaşı Apsiyen-Albiyen



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası
Figure 1. Location map of the study area

olarak belirlenmiştir. Dolomitlerden oluşan Sabunsuyu Formasyonu'nun yaşı *Exogyra sp.*, *Orbitolina sp.*, *Hensonella cylindrica*, *Ticinella sp.* gibi fosillerle Üst Albiyen-Senomaniyen (Günay, 1991); *Tranohilus phacelosus* ve *Broinsonia enonnis* fosilleri ile de Alt Senomaniyen olarak saptanmıştır (Cros ve diğ., 1991). Sabunsuyu Formasyonu üzerinde kireçtaşları, dolomitik kireçtaşları ve dolomitlerden oluşan bir karbonat istifi ile temsil edilen Derdere Formasyonu yer almaktadır. Derdere Formasyonu'nun yaşı Köylüoğlu (1981), Erenler (1989) ve Çoruh (1983)'in saptadığı fosillere göre Üst Senomaniyen-Alt Turoniyen olarak belirlenmiştir. Mardin Grubuna ait Karababa Formasyonu ise Karababa A, Karababa B ve Karababa C olmak üzere üç üyeye ayrılarak incelenmiştir (Perinçek, 1980; Çoruh, 1983; Wagner ve Pehlivanlı, 1985; Erenler, 1989; Çelikdemir ve Dülger, 1990; Duran, 1991; Ertuğ, 1991). Karababa A üyesi koyu bej, siyahımsı kireçtaşlarından, Karababa B üyesi fosilli, dolomitleşmiş kireçtaşlarından, Karababa C üyesi ise biyoklastik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Erenler (1989) ve Çoruh (1991)'in yaptığı paleontolojik çalışmalara göre Karababa Formasyonunun

yaşı Santoniyen-Alt Kampaniyen olarak belirlenmiştir.

Mardin Grubu üzerinde yer alan Karaboğaz Formasyonu'nun temel birimi kireçtaşlıdır ve yaşı Çoruh (1983)'un yaptığı çalışmalara göre Kampaniyen olarak saptanmıştır. Açık gri, krem ve bej renkli killi kireçtaşlarından oluşan Sayındere Formasyonunun yaşı Alt-Üst Kampaniyen'dir (Tuna, 1973).

Şırnak Grubu kumtaşı-marn ardalanmasından oluşan Kastel ve şeyllerden oluşan Germav Formasyonunu içermektedir. Kastel Formasyonunun yaşı Çoruh (1991) ve Güven ve diğ. (1991)'in saptadığı fosillere göre Kampaniyen-Alt Maastrichtiyen; Germav Formasyonunun yaşı ise yaşı Üst Maastrichtiyen-Paleosen olarak belirlenmiştir (Çoruh, 1991; Güven ve diğ., 1991).

Şırnak Grubu üzerinde yer alan Midyat Grubu Hoya ve Gaziantep Formasyonlarından oluşmaktadır. Hoya Formasyonu kireçtaşları ve bunların diyajenezi sonucunda oluşmuş dolomitlerle temsil edilmektedir. Duran ve diğ., (1988)'e göre birimin Alt Eosen-Alt Oligosen aralığında çökeldiği belirlenmiştir. Şırnak grubuna ait Gaziantep Formasyonu ise beyaz, krem renkli; kireçtaşlarından oluşmaktadır ve Duran ve diğ., (1988)'in yaptığı çalışmalara göre formasyonun yaşı Oligosen-Akitaniyen olarak belirlenmiştir.

Midyat Grubu üzerine uyumsuzlukla gelmiş olan Şelmo Formasyonu ise Üst Miyosen döneminde çökelmiş olan karasal çökellerden oluşmaktadır ve Şekil 2 'de görüldüğü gibi Pliyo-Kuvaterner yaşı alüvyonlarla istif sona ermektedir.

Kampaniyen esnasında önemli bir bölümü derin deniz ortamı özelliğinde olan Güneydoğu Anadolu'nun anoksik bölgelerinde çökelen organik maddece zengin Karaboğaz Formasyonu çalışma alanında hem kaynak kaya hem de rezervuar kaya özelliği göstermektedir. Duran, (1991); Şemşir ve diğ., (1992) 'nin yaptığı çalışmalara göre formasyonun gözeneklilik değerinin % 3-15 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çalışma sahasındaki Karababa Formasyonu C üyesi ile Derdere Formasyonu ise rezervuar kaya niteliğindedir. Gözenekliliği yüksek biyoklastik

niteliğindedir. Gözenekliliği yüksek biyoklastik kireçtaşları ile temsil edilen Karababa C üyesinde gözeneklilik yukarıdan aşağıya doğru azalan bir yapı göstermektedir Duran ve Alaygut, (1992) 'nin yaptığı çalışmalara göre formasyonun gözeneklilik değerinin % 5-18 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Adıyaman dolayındaki petrol sahalarının en önemli rezervuar kayası olan Derdere Formasyonunun dolomitleri çok iyi rezervuar koşullarına sahiptir. Gözeneklilik oluşumunda dolomitleşmenin önemli bir rol oynadığı bilinmektedir ve formasyonun gözeneklilik değerlerinin % 5-15 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Duran, 1991). Ayrıca Şengündüz ve Soylu (1990)'in yaptığı çalışmalara göre formasyonun tabanında yer alan organik madde zengin seviyenin kaynak kaya özelliği taşıyabileceği belirtilmektedir.

SİSTEM	SERİ	KALINLIK (m)	GRUP	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
KRETASE	ÜST	500-950	MARDİN	AREBAN		Kumlu kireçtaşı Kumtaşı Kireçtaşı	
				SABUN SUYU	DER- DERE	Dolomit Kumlu kireçtaşı	
				KARA- BABA	KARA- BABA	Kireçtaşı	
				KARA- BOGAZ	KARA- BOGAZ	Kireçtaşı	
				SAYIN- DERE	SAYIN- DERE	Killi kireçtaşı	
	ALT	200-1300	50-100	ŞİRNAK	ŞİRNAK		Marn Kumtaşı
					PALE- ÖSEN	PALE- ÖSEN	Şeyl
					HOVA- MAV	HOVA- MAV	Dolomit
					KAS- GER- TEL	KAS- GER- TEL	Kireçtaşı
					ADİYAMAN	ADİYAMAN	Kireçtaşı
TERSİYER	MİYOCEN	200-1200	MİDYAT	GAZİ- ANTEP		UYUMSUZLUK Kireçtaşı	
				HOVA- MAV	HOVA- MAV	Kireçtaşı	
				KAS- GER- TEL	KAS- GER- TEL	Dolomit	
				ŞİRNAK	ŞİRNAK	Şeyl	
				PALE- ÖSEN	PALE- ÖSEN	Kireçtaşı	
PLİYOKUVATERNER							
						Alüvyon Çakıltı	

Şekil 2. Çalışma alanının genelleştirilmiş ölçeksiz stratigrafik kesidi (Demirel ve Güneri, 2000'den değiştirilerek alınmıştır)

Figure 2. Non-scaled stratigraphic column section of the study area (Modified Demirel and Güneri, 2000)

VERİ ANALİZİ, VARIÖGRAM HESAPLAMALARI VE MODELLEME ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada bölgede açılmış olan 11 adet sondajdan elde edilen gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğuna ait 352 adet veri değerlendirmeye alınmıştır.

Gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğuna ait veriler iki farklı değişken olarak incelenmiş ve istatistiksel parametreleri hesaplanmıştır. Buna göre gözeneklilik değerleri 0.076 ortalama ve 0.046 standart sapmaya, hidrokarbon doygunluğu değerleri ise 0.423 ortalama ve 0.244 standart sapmaya sahiptir. Gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu değerleri arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla yapılan korelasyon analizi sonucunda $r_{0,s_{1c}} = 0.71$, regresyon analizi sonucunda regresyon değerleri $a = 0.12$, $b = 3.84$ olarak bulunmuştur (Yurdagül, 2001).

Gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu için x ve y yönündeki deneysel variogramlar

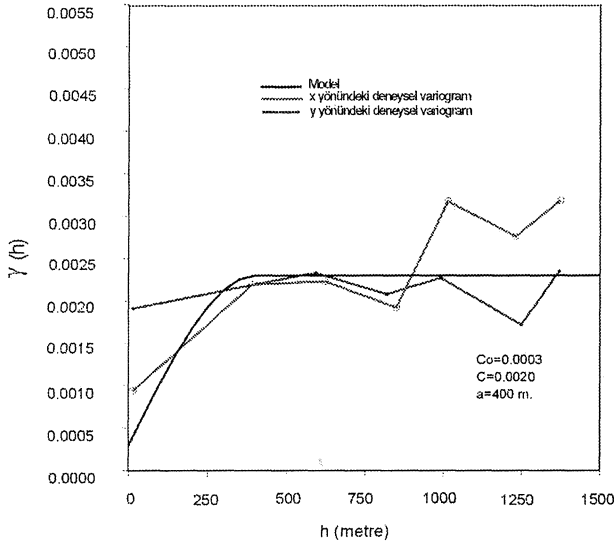
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (z(x_i) - z(x_i + h))^2$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Matheron, 1963). Eşitlikte:

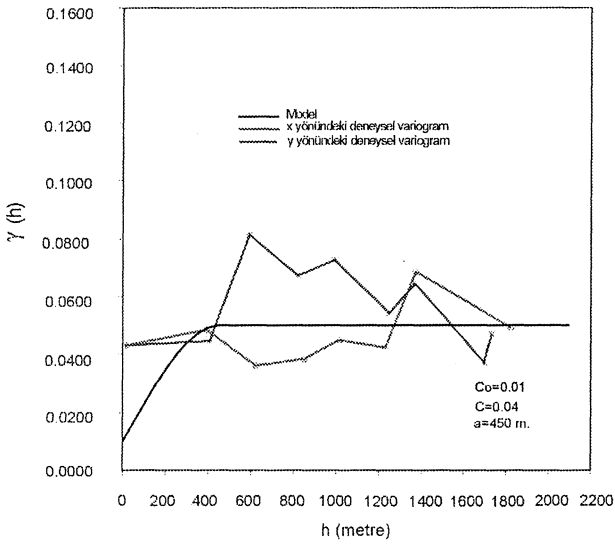
$N(h)$: h uzaklığına karşılık gelen örnek çifti sayısını

$\gamma(h)$: herbir h uzaklığına karşılık gelen deneysel variogram değerlerini göstermektedir.

Variogram fonksiyonları ve grafikleri incelenerek çalışma sahasına ait variogramlar izotrop olarak belirlenmiştir. Bu variogramların modellenmesinde küresel model kullanılmış ve model parametreleri Journel and Huijbregts (1978)'e göre belirlenmiştir. Elde edilen modeller ve belirlenen model parametreleri Şekil 3' de sunulmaktadır. Elde edilen modellerin çalışma sahasına uygunluğu çapraz doğrulama tekniği kullanılarak test edilmiştir (Tercan ve Saraç, 1998). Çizelge 1 'de sunulan çapraz doğrulama tekniği sonuçları seçilen variogram modellerinin çalışma bölgesine uyarlanabileceğini göstermektedir.



a)



b)

Şekil 3. Deneysel ve Model Variogramlar
a) Gözeneklilik b) Hidrokarbon Doygunkluğu
Figure 3. Experimental and Model Variograms
a) Porosity b) Hydrocarbon Saturation

Çizelge 1. Model Geçerliliği Değerleri
Table 1. Model Validation Values

	\emptyset	Shc
Mutlak Farklılık	0.0145	0.1049
Farklılık	-0.0003	0.0007
Kestirim Hatalarının Ortalaması	-0.0066	0.0038
Kestirim Hatalarının Varyansı	0.7293	1.4042
Korelasyon Katsayısı	0.8705	0.7919
Kest. Hatalarının Kareler Ortalaması	0.0213	0.1468
Kriging Varyansı Ortalaması	0.0250	0.1241
Orijindeki Kesişim	0.00	0.02
Eğim	0.96	0.94

SİMÜLASYON YÖNTEMİNİN ÇALIŞMA SAHASINA UYGULANMASI

Jeoistatistiksel simülasyon yöntemlerinin amacı değişkenin yapısına uyan ve gerçek değerlerle aynı değişkenliği gösteren veri seti üretmektir.

Simülasyon sonunda elde edilen değerler:

- Örnekleme noktalarında gerçek verilerle aynı değerlere,
- Gerçek verilerle aynı dağılıma yani aynı histogram, varyans ve ortalamaya,
- Gerçek verilerle aynı variogram özelliklerine,

sahip olmalıdır (Dowd, 1978).

Bu koşulları sağlayan simülasyon tekniği koşullu simülasyon olarak adlandırılır. Matheron (1973) koşullu simülasyon tekniğini aşağıdaki eşitlikle tanımlamıştır.

$$Z_c(x) = z^*(x) + [z_s(x) - z_s^*(x)]$$

$z_c(x)$: x noktasındaki koşullu simülasyon değerini,
 $z^*(x)$: x noktasındaki kestirilen değeri,
 $z_s(x)$: x noktasındaki koşulsuz simülasyon değerini,
 $z_s^*(x)$: x noktasındaki koşulsuz simülasyon değerleri kullanılarak elde edilen kestirim değerlerini ifade etmektedir.

Bu çalışma kapsamında koşullu simülasyon tekniklerinden annealing simülasyon tekniği kullanılmıştır. Annealing simülasyon tekniği gerçek verileri en yakın grid noktalarına taşımakta ve koşullu verileri içermeyen grid noktalarındaki değerleri değiştirerek (swap ederek) yeniden oluşturmaktadır. *Zamana*, bağlı olarak azalan bir sıcaklık fonksiyonu kullanılarak yansız fonksiyon koşullu simülasyona ulaşmak için sıfıra yaklaştırılır. Kullanılan yöntemle ilişkin eşitlik aşağıda verilmektedir (Deutsch and Journal, 1998).

Eşitlikte:

$$O = \sum_h \frac{[\gamma^*(h) - \gamma(h)]^2}{\gamma(h)^2}$$

yi.hr

$\gamma^*(h)$: Model variogram

$\gamma(h)$: Deneysel variogram değerlerini göstermektedir.

Simülasyona yüksek sıcaklık değeri ile başlanır ve yansız fonksiyon en aza indirildiğinde simülasyon tamamlanır.

YÖNTEMİN ÇALIŞMA BÖLGESİNE UYGULANMASI

Bu çalışma kapsamında gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğuna ait model ve model parametreleri hesaplanmış ve simülasyon için çalışma sahası

x yönünde 10 metrelik 300 bloğa,
y yönünde 10 metrelik 120 bloğa,
z yönünde 10 metrelik 15 bloğa ayrılmıştır.

Gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu değerleri için elde edilen 40 adet koşullu simülasyon sonucundan mevcut üretim alanlarıyla uyumlu ve en geniş alanı kaplayan simülasyon sonucu değerlendirilmeye alınmıştır. Simülasyon sonuçları bu şekilde hesaplanan kesit hatları boyunca değerlendirilmiştir.

Simülasyon sonucunda elde edilen gözeneklilik değerleri gerçek veriler gibi 0.076 ortalama ve 0.046 standart sapmaya, hidrokarbon doygunluğu değerleri de 0.423 ortalama ve 0.244 standart sapmaya sahiptir. Ayrıca simülasyon sonucunda elde

edilen gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu değerlerinin gerçek verilerle aynı variogram özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'de z yönünde belirlenen kesit hatları boyunca gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu değerlerine ait simülasyon sonuçları gösterilmektedir. Simülasyon sonuçlarına ait ayrıntılı bilgi Yurdagül (2001)'de sunulmaktadır.

Petrol üretiminin yapılabileceği uygun alanları belirlemek ve gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu değerlerinin değişimini ayrıntılı olarak inceleyebilmek için gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu sonuçlarından yüksek değer gösteren alanlar çakıştırılarak değerlendirilmiştir (Şekil 6-Şekil 7).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Adıyaman bölgesi ülkemizde bugün petrol üretiminin yapıldığı en önemli alanlarımızdan biridir. Çalışma bölgesinde Karaboğaz Formasyonu anakaya ve rezervuar, Karababa Formasyonu C üyesi ve Derdere Formasyonu ise rezervuar kaya niteliğindedir. Bu çalışmada Mardin Grubu'na ait Karababa C Formasyonunun gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu jeostatistiksel simülasyon yöntemlerinden "annealing simülasyon" tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir.

Sahada açılmış olan toplam 11 adet sondajdan elde edilen gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğuna ait 352 adet veri bilgisayar ortamına aktarılarak analiz edilmiş ve jeostatistiksel parametreleri hesaplanmıştır. Gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu değerlerinin alansal dağılımının matematiksel olarak incelenebilmesi için variogram fonksiyonları kullanılmıştır. Yatay ve düşey yöndeki variogram değerleri hesaplanarak grafikleri çizilmiş ve sahanın anizotropisi incelenmiştir. Modelleme kapsamında küresel bir model kullanılmış ve model parametreleri gözeneklilik için $C_0=0.0003$, $C=0.0020$, $a=400$; ve hidrokarbon için $C_0=0.01$, $C=0.04$ ve $a=450$ olarak belirlenmiştir. Seçilen model parametrelerinin doğruluğu geri kestirim yöntemi kullanılarak test edilmiş ve sahaya uygunluğu değerlendirilmiştir.

Model ve model parametreleri belirlendikten sonra çalışma sahasına koşullu simülasyon yöntemlerinden annealing simülasyon tekniği uygulanmıştır. Çalışma alanının boyutları ve sondaj

ADİYAMAN YÖRESİ REZERVUAR KAYAÇLARININ POROZİTE VE HİDROKARBON DOYGUNLUĞU

loksayonları gözönünde bulundurularak saha simülasyonu için 300 x 120 x 15 olmak üzere toplam 540000 adet gride ayrılmıştır. Grid boyutları x yönünde 10 m, y yönünde 10 m ve z yönünde 10 m olarak belirlenmiştir. Gözeneklilik ve hidrokarbon doygunluğu için elde edilen 40 farklı simülasyon sonucundan en geniş alansal dağılım gösteren simülasyon sonucu değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde Karababa C Formasyonu içinde gözeneklilik değerlerinde yukarıdan aşağıya doğru %7.3'lük bir azalma, derinlere doğru gözeneklilik değerlerinde tekrar %6.8'lik bir artma saptanmıştır. Hidrokarbon değerleri için de yukarıdan aşağıya doğru %7.2Mik bir azalma tespit edilirken bu değerlerde daha derin bölgelerde tekrar bir artış saptanmamıştır. Simülasyonla elde edilen gözeneklilik ve hidrokarbon verilerinden yüksek değer gösterenlerin çakışma bölgelerinin (ortak alanları) belirlenmesi sonucunda elde edilen alanların mevcut petrol üretim alanları ile uyum gösterdiği belirlenmiştir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar bu çalışmaya katkılarından dolayı Doç.Dr. A.Erhan Tercan (Hacettepe Üniversitesi), Doç.Dr. İ.Hakkı Demirel (Hacettepe Üniversitesi), ve Arş. Gör. Semih Özsayın (Hacettepe Üniversitesi) teşekkürü bir borç bilirlir.

EXTENDED SUMMARY

This study includes evaluation of porosity and hydrocarbon saturation values of Karababa C Formation by using geostatistical simulation methods. The study area is located in the south-east of Adiyaman region. A detailed location map of the study area is given in Figure 1. A generalized stratigraphic section of the study area are presented in Figure 2.

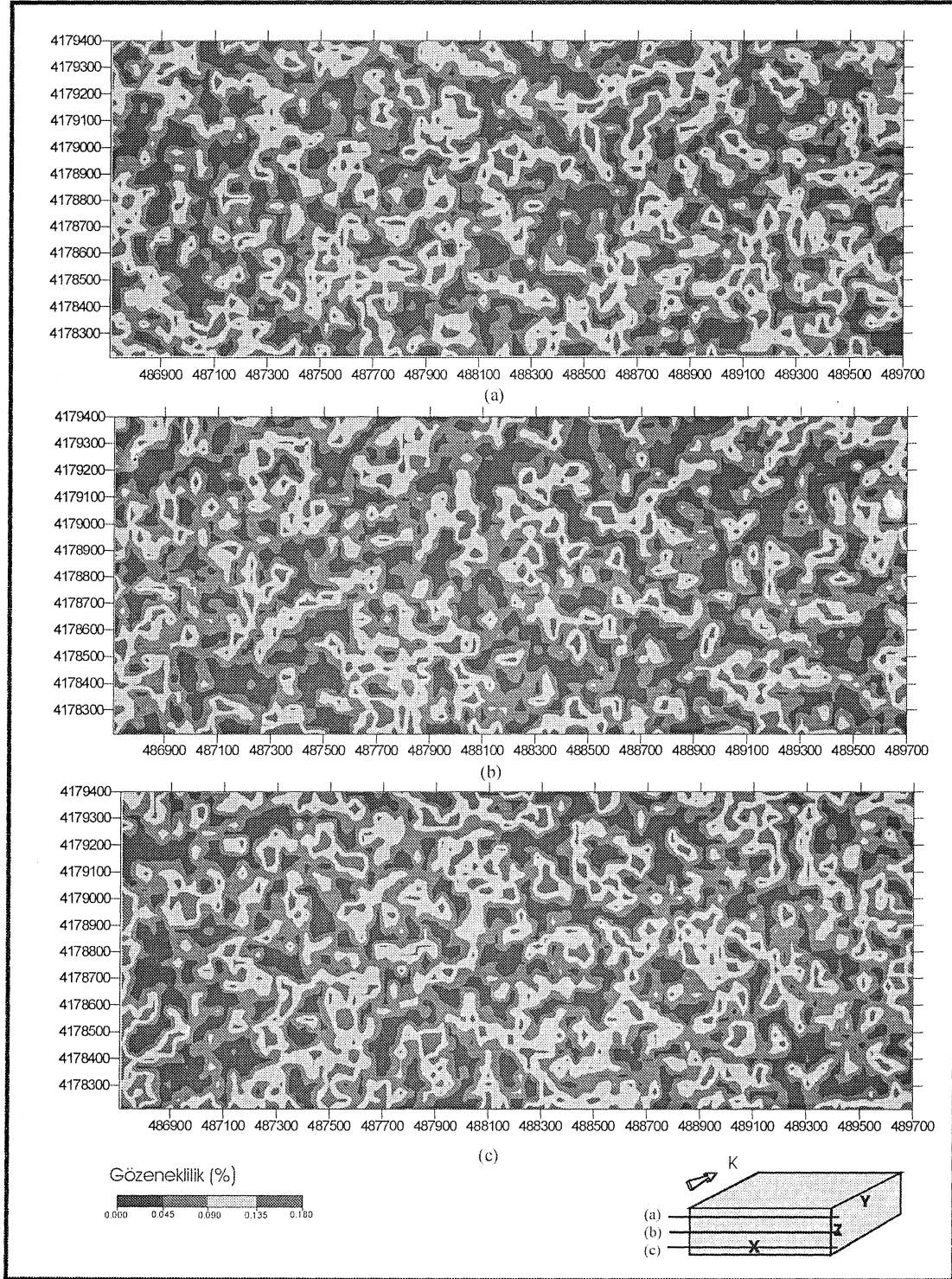
The data used in the evaluation were obtained from 11 drillholes which were drilled in the study area in different years. The 352 data for porosity and hydrocarbon saturation which were come from 11 drillholes were transferred into computer system and statistical parameters were calculated. According to this porosity values have 0.076 mean and 0.046 standart deviation, hydrocarbon

saturation values have 0.423 mean and 0.244 standart deviation. In addition, to investigate relation between porosity and hydrocarbon saturation value correlation and regression analysis were done.

In geostatistics, the spatial variability of a regionalized variable is characterized by variogram functions and variogram acts as a quantifier a summary of all the available information such as continuity, anisotropy etc. (Journel and Huijbregts, 1978).

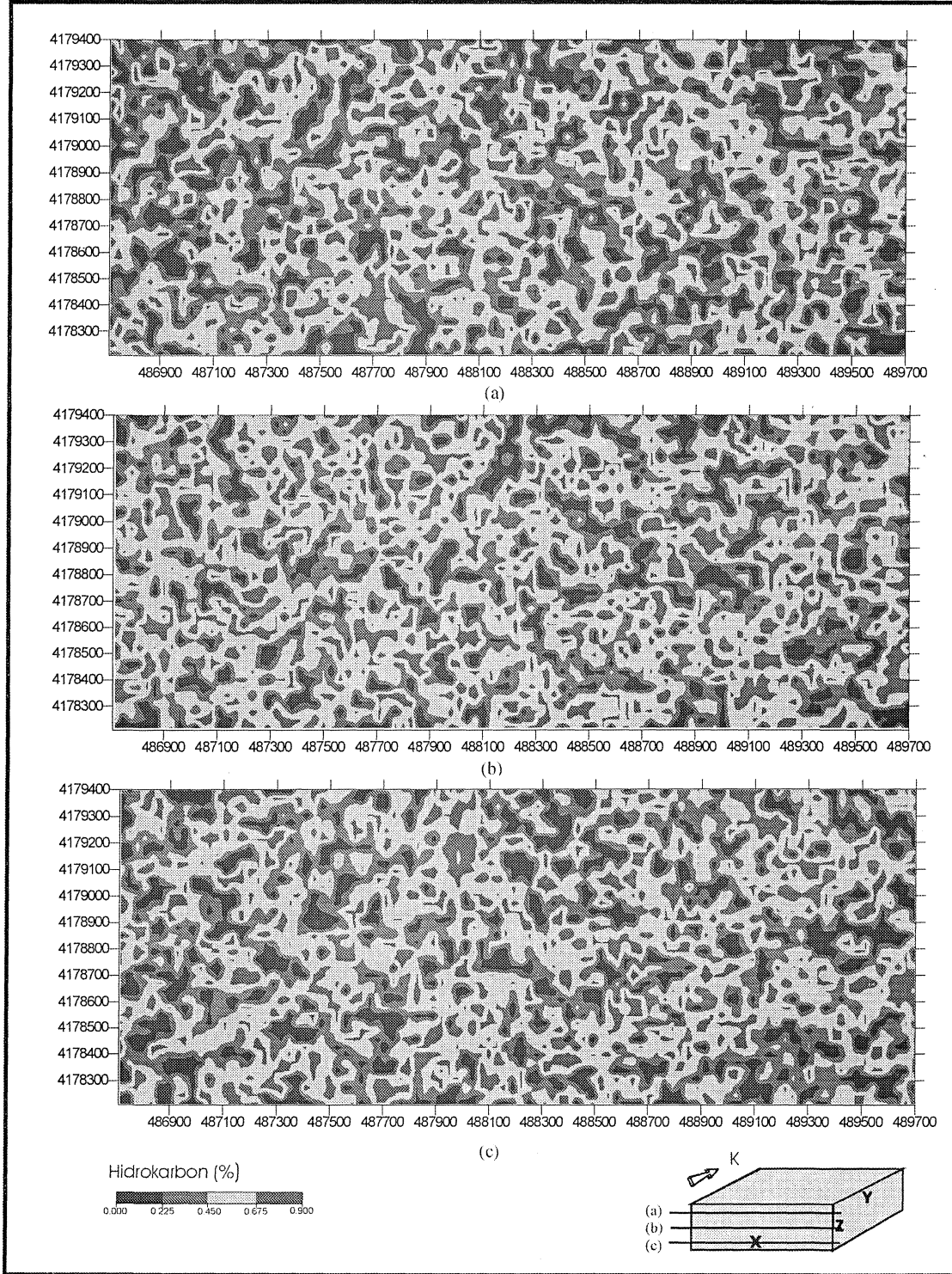
In this study three dimensional variogram functions were determined for related parameters and porosity and hydrocarbon saturation were modelled spherically. Model parameters with $C_0=0.0003, C=Q.002Q, a=400$ for porosity values and $C_0=Q.01, C=0.Q4, a=450$ for hydrocarbon values were determined. Models for porosity and hydrocarbon saturation are shown in Figure 3. The model parameters were validated by the kriging back estimation technique (Tercan and Saraç, 1998).

The study area divided into blocks for x direction 300x10 m, for y direction 120 x10 m and for z direction 15x10 m and conditional simulation was applied to the study area by using annealing simulation technique. 40 different simulation results were produced. In this study the simulation result which means to be compatible of existence production area and covers the most wide area is presented and evaluated. Statistical parameters were determined for 540000 data which were obtained from simulation. Simulation results were evaluated on several cross-sections. Variation of porosity and hydrocarbon saturation parameters were examined through z axis (Figures 4 and 5). The porosity and hydrocarbon saturation values which have showing high values were beaten and the best areas where petroleum production could be done were examined (Figures 6 and 7). In addition to this another simulation study by using covariogram for porosity and hydrocarbon saturation can be useful for determine the reservoir characteristics.



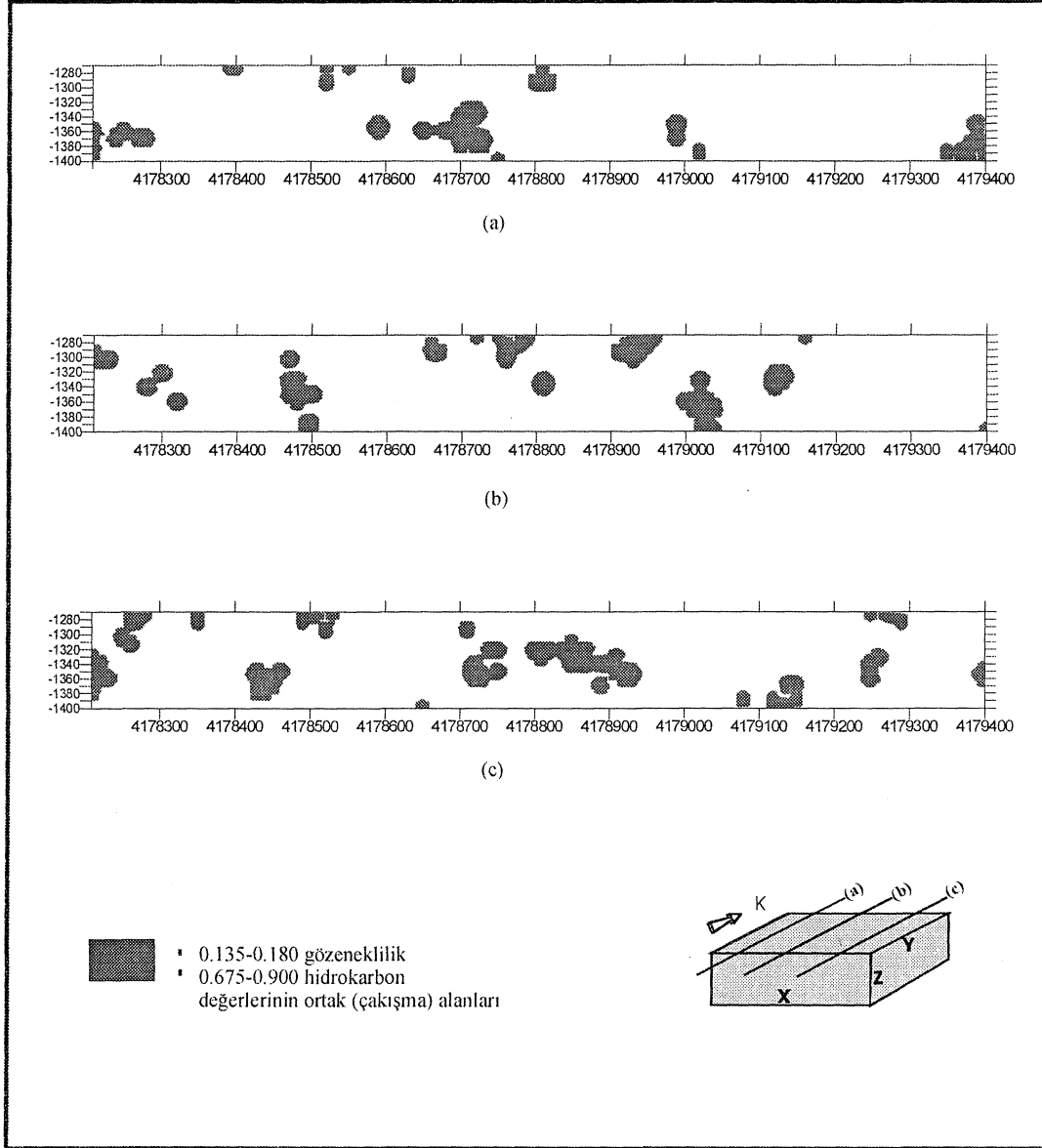
Şekil 4. Gözeneklilik için simülasyon sonuçları a) $z = -1290$ m. b) $z = -1340$ m. c) $z = -1390$ m.
*Figure 4** Simulation results for porosity values a) $z = -1290$ in. b) $z = -1340$ m. c) $z = -1390$ in.

ADİYAMAN YÖRESİ REZERVUAR KAYAÇLARININ POROZİTE VE HİDROKARBON DOYGUNLUĞU



Şekil 5. Hidrokarbon doygunluğu için simülasyon sonuçları
a) $z = -1290$ m. b) $z = -1340$ m. c) $z = -1390$ m.

Figure 5. Simulation results for hydrocarbon saturation
a) $z = -1290$ m. b) $z = -1340$ m. c) $z = -1390$ m.



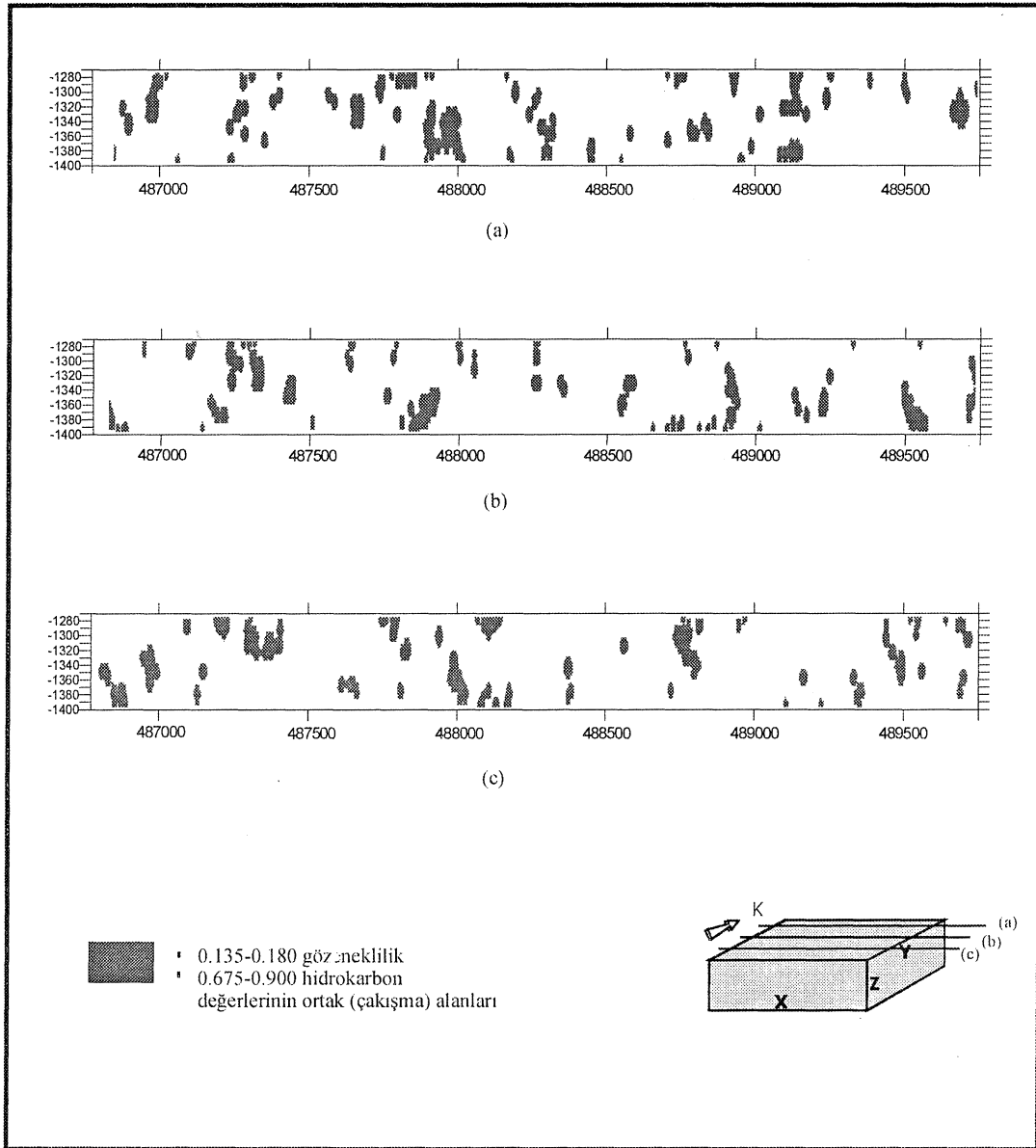
Şekil 6. Yüksek değer gösteren gözeneklilik ve hidrokarbon değerlerinin alansal dağılımı

a) $x=487200$ m. b) $x=488200$ m. c) $x=489200$ m.

Figure 6. A real distribution for porosity and hydrocarbon saturation high values

a) $x=487200$ m. b) $x=488200$ m. c) $x=489200$ m.

ADİYAMAN YÖRESİ REZERVUAR KAY AÇLARININ POROZİTE VE HİDROKARBON DOYGUNLUĞU



Şekil 7. Yüksek değer gösteren gözeneklilik ve hidrokarbon değerlerinin alansal dağılımı
a) $y=4179100$ m. b) $y=4178800$ m. c) $y=4178500$ m.

Figure 7. A real distribution for porosity and hydrocarbon saturation high values
a) $y=4179100$ m. b) $y=4178800$ m. c) $y=4178500$ m.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Bozdoğan, N. ve Erten, T., 1990. Mardin yükselminin yaşı ve etkileri, GD. Anadolu, Türkiye 8. Petrol Kongresi., 16-20 Nisan 1990, Bildiriler, 207-227.
- Cros, P., Dercourt, J., Günay, Y., Fourcade, E., Bellier, J.P., Laver, J.P., Marivit, H., ve Kozlu, H., 1991. The Arabian Platform in the Southern Turkey: an alvo-Turonian carbonate ramp collapsed during the Senonian, Bull.centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, 15, 1, 215-237.
- Çelikdemir, E. ve Dülger, S., 1990. Güneydoğu Anadolu'da Mardin Grubu karbonatlarının stratigrafisi, sedimantolojisi ve rezervuar özellikleri, TPAO Arama Rap. No:2665, 93 s.
- Çoruh, T., 1983. XII. Bölge Çemberlitaş-5,4, Adıyaman-1 ve Durukaynak-1 kuyularıyla ve İnışdere ÖSK'larındaki Derdere ve Karababa Formasyonları hakkında yeni mikropaleontolojik bulgular, TPAO Araş. Rap. No:549, 14 s.
- Çoruh, T., 1991. Adıyaman civarındaki (XL Bölge kuzeybatısı ve XII. Bölge) yüzeylenen Kampaniyen-Tanesiyen istifinin biyostratigrafisi ve paleocoğrafik evrimi, TPAO Araş. Rap. No: 1656, 94 s.
- Demirel, İ.H. ve Güneri, S., 2000. Cretaceous carbonates in the Adıyaman region, SE Turkey: An assessment of burial history and source-rock potential, Journal of Petroleum Geology, vol. 23(1), 91-106.
- Deutsch, C.V. ve Journel, A.G., 1998. GSLIB Geostatistical software library and user's guide, 2nd Edition, Applied Geostatistics series, Oxford University Press, New York, 369 p.
- Dowd, P. A., 1978. Advances in geostatistics: numerical methods and their application: PhD thesis, Leeds University, Leeds.
- Duran, O., 1991. Beşikli, Tokaris; Bakacak ve Taşlık sahalarının stratigrafisi, sedimantolojisi ve rezervuar özellikleri: TPAO Araştırma Rapor No: 1586, 43 s.
- Duran, O. ve Alaygıt, D., 1992. Adıyaman dolay rezervuar kayalarında (GD Türkiye) porozite ve permeabiliteyi denetleyen mekanizmalar: 9. Petrol Kongresi., 17-21 Şubat 1992, Bildiriler, 390-406.
- Duran, O., Şemşir, D., Sezgin, İ. ve Perinçek, D., 1988. Güneydoğu Anadolu'da Midyat ve Silvan gruplarının stratigrafisi, sedimantolojisi ve petrol potansiyeli, TPJD Bült., 11-2,99-126.
- Erenler, M., 1989. XI-XII Bölge güney alanlarındaki kuyularda Mesozoyik çökel istifi mikropaleontolojik incelenmesi, TPAO Araş. Rap. No: 1364, 44 s.
- Ertuğ, K., 1991. GDA Kretase yaşlı Mardin Grubu ve Karaboğaz Formasyonunun palinostratigrafisi, TPAO Araş. Rap. No: 1529, 49 s.
- Günay, Y., 1991. Güneydoğu Anadolu' nun Stratigrafisi, TPAO Derleme, 206 s.
- Güven, A., Dinçer, Tuna, M. E., ve Çoruh, T., 1991. Güneydoğu Anadolu Kampaniyen, Paleosen otokton istifinin stratigrafisi, TPAO Arama Rap. No:2827, 133 s.
- Harbaugh, J. W. ve Bonham-Carter G., 1970. Computer simulation in 'geology: John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Journel, A.G. ve Huijbregts, C.J.,1978. Mining geostatistics, Academic Press, London, 600s.
- Köylüoğlu, M., 1981. Körkandil ölçülmüş stratigrafik kesitinin Mesozoyik biyostratigrafisi, TPAO Araş. Rap. No:362, 14s.
- Matheron, G., 1963. Principles of geostatistics, Economic Geology, no 58, 1246-1266.
- Matheron, G., 1973. The instrinsic random functions and their applications, advances

ADİYAMAN YÖRESİ REZERVUAR KAY AÇLARININ POROZİTE VE HİDROKARBON DOYGUNLUĞU

in applied probability, December, number 5, 439-468.

Perinçek, D., 1980. Arabistan Kıtası kuzeyindeki tektonik evrimin kıta üzerinde çökelen istifteki etkileri, Türkiye 5. Petrol Kong. ve Serg., Tebliğler, 77-93.

Perinçek, D., Duran, O., Bozdoğan, N., ve Çoruh, T., 1991. Stratigraphy and Paleogeographical evolution of the Autochthonous sedimentary rocks in the SE Turkey, Ozan Sungurlu Symp., Kasım/1991, Proceedings, 274-305.

Saraç, C., 1994. Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel simülasyon yöntemlerinin kullanılması: Jeoloji Mühendisliği, sayı 44-45, 21-27.

Şemşir, D., Duran, O., A lay gut, D., Kaya, M., Kumsal, K., Güngör, H. ve Aydemir, V., 1992. XI-XII. Bölgelerde Beşikli, D. Beşikli, Tokaris, Bakacak sahaları ile İkizce ve Taşlık kuyuları civarının stratigrafisi, tektoniği, yer altı jeolojisi ile Karaboğaz Formasyonu ve Mardin Grubunun sedimentolojisi, diyajenez ve rezervuar özellikleri: TPAO Arama Rapor No:3051, 142 s.

Şengündüz, N. ve Soylu, C., 1990. Derdere Formasyonu sferoidal seviyesinin sedimentolojisi ve organik jeokimyası, Türkiye 8. Petrol Kongresi., 16-20 Nisan 1990, Bildiriler, 50-61.

Tercan, A.E. ve Saraç, C., 1998. Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınlan, No 48, Ankara, 137 s.

Tuna, D., 1973. VI Bölge litostratigrafi birimleri ad lamasın m açıklayıcı raporu, TPAO AramaRap. No:813, 131 s.

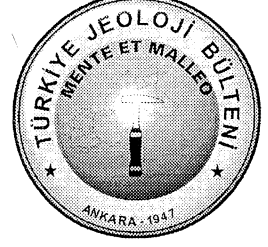
Wagner, C. ve Pehlivanlı, M., 1985. Karst geological interpretation of Mardin Carbonaites in Çemberlitaş Oil Field, A pilot study; Arama Grubu Rapor No:2051.

Yılmaz, Y. ve Yiğitbaş, E., 1990. SE Anadolu'nun farklı ofiyolitik-metomorfik birlikleri ve bunların jeolojik evrimdeki rolü, Türkiye 8. Petrol Kongresi., 16-20 Nisan 1990, Bildiriler, 128-140.

Yurdagül, A.G., 2001. Adıyaman yöresi porozite ve hidrokarbon doygunluğu değerlerinin jeostatistiksel simülasyon yöntemleriyle incelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara, 101 s.

Makale Geliş Tarihi : 05 Ağustos 2001
Kabul Tarihi : 28 Haziran 2002

Received : August 05, 2001
Accepted : June 28, 2002



Sivas-Divriği Bölgesi Skarn Tipi Demir Oksit Yataklarına Fe-oksit-Cu-Au (Olympic Dam tipi) Perspektifinden Yeni Bir Bakış

A New Fe-Oxide-Cu-Au (Olympic Dam Type) Perspective To Skarn Type Iron Oxide Mineralization In Sivas-Divriği Region

İlkay KUŞÇU

Niğde Üniversitesi, Müh. Fak. Jeoloji Müh. Bölümü, 68100 AKSARAY
(e-posta: gikuscu@ixir.com)

Erkan YILMAZER
Gökhan DEMİRELA

Niğde Üniversitesi, Müh. Fak. Jeoloji Müh. Bölümü, 68100 AKSARAY
Niğde Üniversitesi, Müh. Fak. Jeoloji Müh. Bölümü, 68100 AKSARAY

Öz

Fe-oksit-Cu-Fe-REE (Olympic Dam tipi, Avustralya) yatakları oldukça belirgin bir alterasyon süreciyle ilişkili, düşük-Ti içerikli ancak manyetit ve hematit gibi demir oksitlerce zengin yataklardır. Buna ek olarak yaygın sodik ve potasik alterasyon ve porfiri, masif sülfid ve skarn yataklarına göre yüksek REE miktarları bu yatakların ortak özellikleri olarak göze çarpmaktadır. Bu çalışma Fe-oksit-Cu-Au yatak türünün Divriği bölgesinde yer alan demir oksit yataklarıyla karşılaştırılmasıyla ilgilidir. Karşılaştırmada, çok iyi bilinen ve Fe-oksit-Cu-Au yataklarına has alkali metazomatizma, mineraloji, geç evre sülfid cevherleşmesi, plütonik kayaların tektonik ortamı ve yapısal kontrol gibi karakteristik özellikleri kullanılmıştır.

Fe-oksit-Cu-Au yataklarının Türkiye'deki varlıkları konusunda çalışmalar Divriği bölgesinde ilk kez bu makalenin yazarları tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmada, Divriği (Sivas) bölgesinde yapılan jeolojik çalışmalar, A-B-kafa cevherleşmelerinin yaygın alkali metazomatizma ve alterasyon geçirmiş plütonik kayalar içinde bulunduğunu göstermektedir. Metazomatizmanın ilk evresi sodik-kalsik alterasyonla ilgilidir. Bu evreyi daha geç ve/veya sığ potasik alterasyon evresi izler. Sodik-kalsik alterasyonun ürünleri potasik alterasyon ürünleri tarafından silinir veya maskelenir. Bu gözlemler, daha önce pirometazomatik, fels, kalk-skarn veya skarn olarak bilinen A-B-kafa cevherleşmelerinin alterasyon ürünleri ve cevherleşme tarzları bakımından, Fe-oksit-Cu-Au türü cevherleşmeler olabileceğini gösterir. A-kafa cevherleşmeleri K-feldispat ve filogopitçe zengin yan kayalar içinde skapolit ve skapolit-granat zonlarını ornatarak yerleşen masif manyetit cevherleşmeler olarak bulunur. B-kafa cevherleşmeleri martitleşmiş manyetit, limonitleşme, silisleşme ve sülfid cevherleşmelerini içerir ve geç-evre alterasyon ürünleri olarak değerlendirilir. Bunlar breş bacası ya da diatrem olarak adlandırılacak huni şekilli ve yapısal kontrollü kesimlerde gözlenir. Breşik zon yakınlarındaki granitoidler yaygın serizitleşmeye uğramıştır. Kolloform barit oluşumları özellikle breşik kireçtaşı ve serizitleşmiş kayaç dokanıkları boyunca gözlenir.

Türkiye'de Fe-oksit-Cu-Au yatak türüne benzer yataklar henüz tanımlanmamış olmasına rağmen, Divriği bölgesinde yer alan demir oksit cevherleşmelerindeki yaygın alkali metazomatizma ve cevherleşmelerle alkali metazomatizma arasındaki ilişkiler, oksit ve sülfid mineralojisi, B-kafa cevher kütlelerinin morfolojisi ve dağılımı, bu bölgede yer alan cevherleşmelerin Fe-oksit-Cu-Au yataklarına benzer özelliklerinin olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bu yataklar "Fe-oksit-Cu-Au yatakları" olarak tekrar tanımlanmalıdır. Bu tür yataklar altın ve bakır açısından zengin olduğu için bu bölgenin altın ve bakır açısından değerlendirilmesi ve arama programları bu potansiyeli araştırmaya yönelik olarak yeniden düzenlenmelidir.

Anahtar Sözcükler: Divriği (Sivas), Fe-oksit-Cu-Au, sodik-kalsik metasomatizma, manyetit, hematit, altın.

Abstract

The Fe-oxide-Cu-Au deposits are characterized by large masses of Ti-poor Fe oxides related to pervasive alteration processes such as magnetite or hematite. Besides, they are characterized by pervasive sodic and potassic alteration, and higher abundances of REE compared to porphyry and skarn types. This study deals with the comparison of the Fe-oxide-Cu-Au deposits with those of Fe-oxide mineralizations in Divriği region. In doing so, well-known alkaline metasomatism, mineralogy, late stage sulfide mineralization, tectonic setting of plutonic rocks and structural control characteristics unique to Fe-oxide-Cu-Au deposits were used.

The authors of this paper initiated the studies in recognition of Fe-oxide-Cu-Au deposit type in Turkey. This study shows that A-B-kafa mineralizations at Divriği (Sivas) occur in metasomatic plutonic rocks that were experienced an extensive and pervasive alkaline metasomatism. The early stage of metasomatism is related to sodic-calcic alteration. This stage is followed by a late and/or shallower potassic alteration. Products of potassic alteration superimpose the products of sodic-calcic alteration. Therefore, the alteration products and style of mineralization suggest that the deposits long known as pyrometasomatic, fels, calc-skarn and skarn might be of Fe-oxide-Cu-Au type. The A-kafa mineralizations occur as massive magnetite mineralizations hosted by a K-feldspar and phlogopite-rich zone superimposing scapolite-garnet zone. B-kafa mineralizations consist of martitized magnetite, limonitization, silicification, and sulfide mineralizations, and are regarded as late-stage alteration products. These are observed in a structurally controlled and funnel shaped settings that might be regarded as breccia pipes or diatremes. The granitoids close to brecciated zone is characterized by extensive sericitization. Colloform barite formations develop particularly along contacts between brecciated limestone and sericitized rocks.

Although, the examples of the similar deposit types have not been recognized yet in Turkey, pervasive alkaline metasomatism and relationships between mineralizing events and alkaline metasomatism, the oxide and sulfide mineralogy, morphology and distribution of the iron oxide deposits in and around the Divriği (Sivas) suggest that it shows characteristics similar to Fe-oxide-Cu-Au deposits. Therefore, they could be re-defined as Fe-oxide-Cu-Au type mineralizations on the basis of alteration pattern and mineralization styles. It is also proposed that these deposits have gold and copper potential, and the exploration programs should be re-designed so as to investigate this potential.

Key Words: Divriği (Sivas), Fe-oxide-Cu-Au, sodic-calcic metasomatism, magnetite, hematite, gold mineralization.

GİRİŞ

Olympic Dam (Avustralya) yatağının keşfinden hemen sonra benzer yatakların da olduğunun ortaya çıkması Fe-oksit-Cu-Au yatakları (DOBA) olarak da adlandırılan yeni bir türün varlığını ortaya koymuştur. Ancak ilk yıllarda bu yatağın nasıl oluştuğu veya ne ile temsil edildiği konularına ilişkin bilgiler sınırlı olmasına rağmen, 1983 yılında yeraltı galerilerinde Fe-oksitçe zengin "hidrotermal breş kompleksi" içinde cevher kütlelerinin bulunması (Roberts ve Hudson,1983; Reeve ve diğ., 1990) bu yatak türünün varlığı konusundaki şüphelerin giderilmesinde önemli katkılarda bulunmuştur. Bu kaçınılmaz olarak "benzer" yatakların aranmasına ve pek çok yatağın yeniden bu açıdan değerlendirilmesine yol açmıştır. Yapılan çalışmalar, dünyadaki bazı yatakların Olympic Dam yatağı ile metalojenik benzerlikler sunduğunu, ve hali hazırda bilinen çok sayıda yatağın bu türden bir yatak olduğunu ortaya koymuştur. Hitzman ve diğerleri (1992) bu tür

yataklarda gözlenen mineral topluluklarının benzerliği üzerinde durmuş, özellikle bu yatakların düşük Ti içerikli ancak manyetit ve hematit gibi demir oksitlerce zengin olduğunu, manyetit derin kesimlerde, hematitin ise daha sığ ve kenar kesimlerde gözlendiğini ortaya koymuştur. Buna ek olarak yaygın sodik ve potasik alterasyon, yüksek REE miktarları bu yatakların ortak özellikleri olarak göze çarpmaktadır (Pollard 2000; 2001).

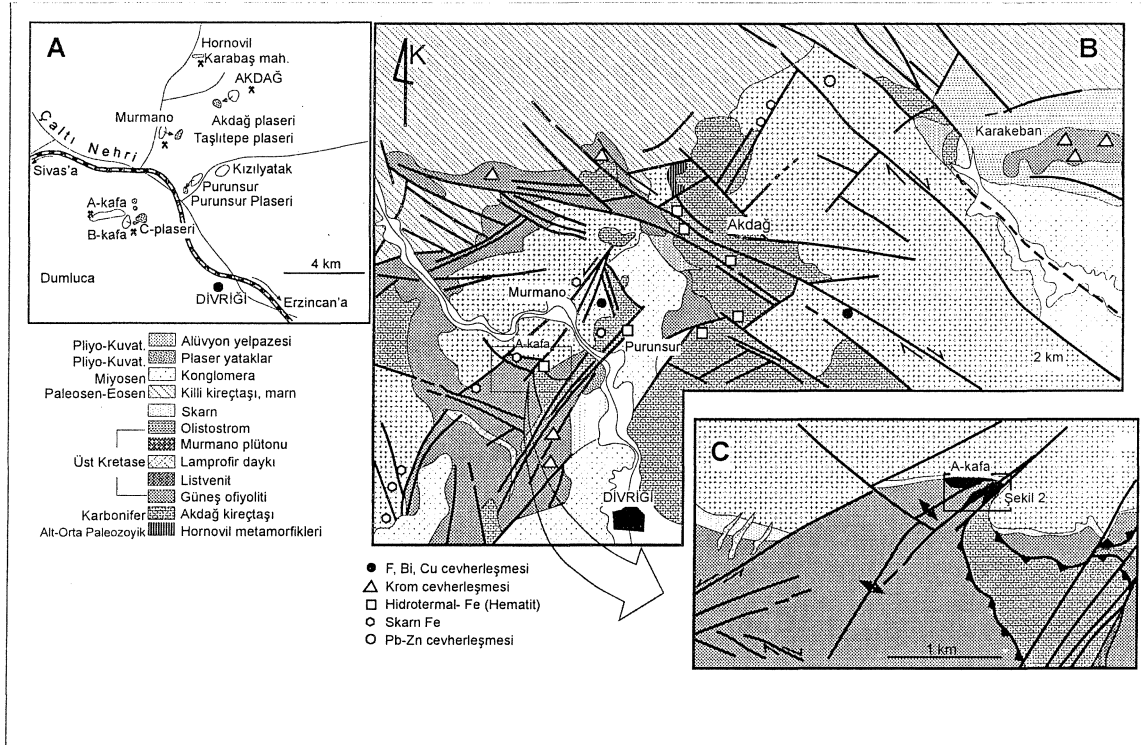
Geçmiş 10 yıl boyunca bu yatak türü tüm arama programlarının başlıca hedefi olmuş ve Candelaria (Şili) ve Ernest Henry (Avustralya) gibi iki büyük yatağın keşfedilmesini ve pek çok diğer yatağın da (Sossego ve Salobo (Brezilya)) geliştirme aşamasına gelmesini sağlamıştır. Bu tür yatakların yeni oluşu, bu yataklara yönelik arama stratejilerinin henüz tam olarak geliştirilmemiş olması, onlara yönelik bu cazibenin sürmesini sürekli kılmakta ve hem yüksek tenörlü hem de büyük rezervli "bulunacak daha çok yatak olabilir"

SİVAS-DİVRİĞİ BÖLGESİ SKARN TİPİ DEMİR OKSİT YATAKLARINA YENİ BİR BAKIŞ

umudu, arama faaliyetlerinin bu yataklarda yoğunlaşmasına neden olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ele alınan demir cevherleşmeleri bakımından önemli bir potansiyele sahip olan Divriği bölgesi, Divriği (Sivas) ilçesinin yaklaşık 20 km kuzeybatısında (Şekil 1) yer alır. Son iki yılda bu bölgede yapılan jeolojik çalışmalar, skarn, pirometasomatik, kalk-skarn ya da fels olarak adlandırılan A-B kafa cevherleşmelerinde şimdiye kadar üzerinde fazla durulmayan ve Fe-oksit-Cu-Au türü yataklarda gözlenen aberasyonların, B-kafa cevherleşmelerinde tipik örneklerine rastlanan breşik yapıların ve bu yapılar boyunca tıpkı Fe-oksit-Cu-Au yataklarında olduğu gibi sulfidli cevherleşmelerin olduğunu ortaya koymuştur. Bu tür breşik yapılarda daha önceki çalışmalarda kısmen az miktarlarda tespit edilen barit oluşumları ve en önemlisi bu yatağın içinde veya dokanağında bulunan plütonik kayadaki anormal metasomatizma ve bu metasomatizma ile oluşan

çarpıcı mineralojik zonların da bulunması, Divriği bölgesi yataklarının en azından Fe-oksit-Cu-Au-REE yataklanmaları açısından araştırılmaları gerektiği sonucunu doğurmuştur. Altın aramalarına yönelik çalışmalar giderek bu tip sistemler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ayrıca, bu tür sistemlerde bakırın porfiri sistemlerde olduğu gibi yüksek rezervli yataklar oluşturması, Divriği bölgesi demir yataklarında da Fe-oksit-Cu-Au yataklarında olduğu gibi bakır ve altın potansiyelinin araştırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Fe-oksit-Cu-Au yataklarının hemen hemen hepsinde Divriği A-B kafa cevherleşmelerinde olduğu gibi hem manyetit hem de hematit cevherleşmelerinin de bulunması manyetitin daha erken ve derin kesimlerde, hematitin ise daha geç ve alterasyonlara bağlı olarak sığ kesimlerde zenginleşmesi bu potansiyele yönelik şüpheleri daha da arttırmaktadır. Dolayısıyla, bu bölgedeki cevherleşmelerin de bu açıdan yeniden gözden geçirilmesi gereklidir. Bu çalışma ile 1999-2001



Şekil 1. (A) Divriği yöresi demir yataklarının coğrafik lokasyonu, (B) Divriği ve civarının ana yapısal hatları basitleştirilmiş Jeolojik haritası, (C) A-B-kafa civarı jeoloji haritası (Öztürk ve Öztunalı, 1983'den sadeleştirilmiştir).

Figure 1. (A) The geographical setting of iron deposits in Divriği district, (B) The simplified geological map showing the major structural lineaments in Divriği and vicinity, (C) The geological map of the A-B Kafa (Simplified from Öztürk and Tunah, 1983).

yıllan arasında Divriği bölgesi yataklarındaki çalışmalardan elde edilen verilerin Fe-oksit-Cu-Au yatakları açısından değerlendirilmesi ve bu yataklara farklı açıdan bir yaklaşım yapılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, Fe-oksit-Cu-Au yataklarına has alterasyon, mineraloji, plütonik kayaç bileşimi, tektonik ortam, yapısal jeoloji ve yaş özellikleri baz alınarak Divriği bölgesi A-B kafa cevherleşmeleri bu parametreler açısından değerlendirilecektir. Böyle bir çalışma ile Türkiye'de henüz örneği bulunmayan bir yatak türünün varlığı ve Divriği bölgesinden ayrı sahalarda da olabirliği konusu tartışmaya açılacaktır.

CEVHERLEŞMELERİN TÜRÜ VE KÖKENİ

Dünya literatürüne kontak metazomatik kalk-skarn (Bottke, 1981); kontak metazomatik (Petraschek ve Pohl, 1982; Ünlü ve Stendal, 1986) tip yataklar olarak tanıtilan Divriği skarn yataklarının oluşumu ve kökeni hakkında hala farklı görüşler mevcuttur. Yıldızeli (1977; 1998) bölgedeki demir cevherleşmelerini serpantinleşmiş ultramafik kayaç-granitoid (Murmano Plütonu) dokanağının "kontakt metamorfizma" veya "Fels'leşmesi ile oluştuğunu öne sürmektedir. Bugün bilinen ve kullanılan anlamıyla skarn terminolojisi ve onunla ilgili oluşum mekanizmalarına Klemm (1960), Koşal (1971; 1973) ve Ünlü (1983), tarafından değinilmesine rağmen skarnların iç yapıları detaylı olarak ele alınmamıştır. Bunun yanında bazı çalışmacılar yatağın oluşumunu kontak-metazomatik-pnömatolitik ve pnömatolitik hidrotermal (Koşal, 1971; 1973) gibi terimlerle ifade etmeye çalışmışlar ve büyük bir çoğunluğu cevherleşmelerin granit intrüzyonu ile ilişkili ve hidrotermal-pnömatolitik akışkanlar tarafından oluşturulmuş skarn tipi bir yatak olduğu konusunda birleşmişlerdir. Bunlar hem cevher getiren hem de cevherleşmeye sebep olan kaynağın Murmano Plütonu olduğu konusunda da birleşmektedirler. Doğrudan granit intrüzyonu ile ilişkili demir oluşumlarına karşı ilk görüş Ünlü (1983) ve Ünlü ve Stendal (1986; 1989) tarafından ortaya konmuştur. Çalışmacılar, jeokimyasal ve jeostatistiksel yöntemlerin bu çalışmada bölgedeki cevher-kayaç topluluklarına uygulanmasıyla, demirin yan kayaçlardan (serpantinleşine sırasında) remobilize olması gerektiği öne sürülmüştür. Ünlü (1983) ayrıca

bölgedeki cevherleşmeleri "*okyanus kabuğuna özgü demir yataklanmalar*" olarak sınıflamıştır. Yılmaz ve diğ. (2002) bölge cevherleşmelerinde yaptığı alterasyon ve alterasyon zonlanması çalışmalarında ise cevherleşmelerin daha çok skarn özelliklerinin bulunduğunu ancak, yataklardaki Na-Ca metasomatizmasının ve cevherleşme tarzının Fe-oksit-Cu-Au yataklarına benzer özellikler sunduğunu da belirtmiştir. Fe-oksit-Cu-Au yataklarını oluşturan magmatik hidrotermal sistemin karbonatlı kayaçlarla olan dokanaklarında skarn topluluklarının da gelişebiliyor (Pollard, 2000) olması, Divriği bölgesinde neden hem skarn mineral topluluklarının hem de Na-Ca aberasyonlarının birlikte bulunduğu sorusunu açıklayabilmektedir.

ALTERASYON

Fe-oksit-Cu-Au yataklarına yan kayaçlık eden veya onları barındıran plütonik kayaçlarda oldukça karakteristik ve şiddetli bir alterasyon gözlenir. Hatta bazı durumlarda ortaya çıkan potasik ve alkali alterasyon nedeniyle yataklarla doğrudan ilişkili kalk-alkalen plütonik kayaçlar "kızıl granit" (Red granite) veya yaygın alkali alterasyonu nedeniyle "siyenit" olarak adlandırılmaktadır. Bu yataklarla ilişkili plütonik kayaçlar çoğunlukla sodik-kalsik, potasik ya da serizitik-hidroлитik alterasyonlara maruz kalırlar. Bu alterasyonlar plütonik kayaçların yerleşme ve kristallenme evreleri ile doğrudan ilişkilidir. Hidrotermal sistemlerin ilk evrelerinde ve plütonik kayacın merkezi ya da derin kısımlarında yaygın bir sodik-kalsik alterasyon (albit ve skapolit oluşumları) gözlenir, bu alterasyon sistemin daha sığ derinliklerinde veya plütonun dış kesimlerine doğru ve daha geç evrelerde yerini potasik (K-feldspat gelişimleri) ve serizitik alterasyona bırakır. Manyetit ve hematit cevherleşmesi de bu evrede ve yaygın alterasyon zonları içinde gelişmektedir. Bu alterasyonlar onlarca hatta yüzlerce km²lik alanlar boyunca da gözlenebilir.

Çalışma alanında skarn parajenezleri olarak tanımlanabilen granat, epidot ve amfiboller gibi minerallerle birlikte, bugün dünya literatüründe Fe-oksit-Cu-Au yataklarına yan kayaçlık eden sodik-kalsik (en tipik) metasomatizmasıyla oluşan skapolit, albit, filogopit, barit, REE, hematit ve ikincil K-feldspat gibi mineraller de

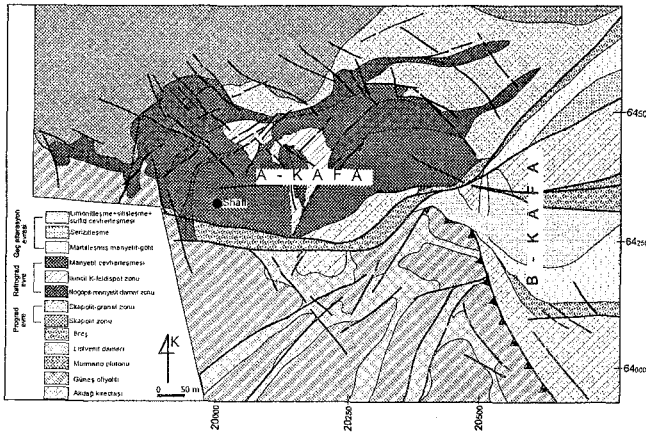
SİVAS-DİVRİĞİ BÖLGESİ SKARN TİPİ DEMİR OKSİT YATAKLARINA YENİ BİR BAKIŞ

gözlenmektedir (Kuşçu ve diğ., 2002; Yılmaz ve diğ. 2002). Bu nedenle, bölgedeki farklı mineral topluluklarının adlandırılmasında hem "alterasyon" hem de "skarn" terimlerinin de birlikte kullanılması uygun bulunmuştur.

A-kafa alterasyon zonları Murmano Plütonu'ndan itibaren serpantinleşmiş ultramafik kayalara doğru sırasıyla, skapolit, skapolit-granat, filogopit-manyetit±skapolit±granat zonları gibi belli mineral parajenezleri ile temsil edilen ve birbirleriyle ardışık gelişim süreçleri içinde olan zonlardan oluşmaktadır (Şekil 2). B kafa olarak tanımlanan (Koşal, 1971) bölgede ise skarn zonilarından çok siiperjen olaylar sonucu oluşan geç alterasyon zonları tanımlanmıştır. Bunlar fay kontrollü, hematitleşmiş-limonitleşmiş ve serizitleşmiş oluşumlardır (Şekil 2). Bu zonlardan skapolit ve skapolit-granat zonları metasomatizma ve alterasyonun ilerleyen evrelerinde, filogopit-manyetit±skapolit±granat ve B kafa alterasyonları ise gerileyen evrelerde oluşmuştur. Bu zonlar, monzonit, monzo-diyorit bileşimli Murmano Plütonu içinde birbirine paralel damarlar boyunca veya plütön içinde cepler halinde oluşan kalk-silikat kayaları ve metasomatik alterasyon ürünleri olarak gözlenir.

İLERLEYEN EVRE ALTERASYONLARI

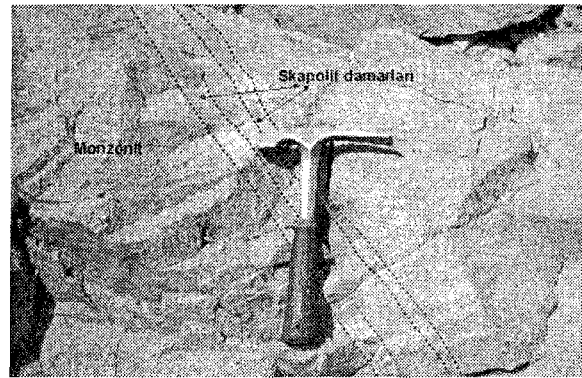
Skapolit zonu A-kafa, Cürek-Divriği yolu civarlarında hemen hemen her yerde gözlenen işinsal, iri-orta taneli skapolitlerin monomineralik



Şekil 2. Divriği A-B kafa yatak civarının jeolojik haritası (Yılmaz ve diğ., 2002'den alınmıştır).

Figure 2. The geological map of the A-B Kafa deposit (Taken from Yılmaz et al., 2002)

zenginleşmelerini tanımlamak için kullanılmaktadır. Murmano Plütönünün hemen hemen tamamında damarlar (Şekil 3) ve cepler halinde gözlenen skapolitleşme, bölgede Fe-oksit-Cu-Au yataklarına has karakteristik, etkili ve yaygın bir sodik-kalsik alterasyonun varlığını gösterir. Skapolit zonu, plütönün merkezi ve derin kesimlerinde gözlenen yüksek sıcaklıklarda oluşmuş bir zondur ve daha sonra potas i k mineral topluluklarının gözlemlendiği zonlar (filogopit ve K-feldispar) tarafından üzerlenir. Tüm sistem, önce skapolitleşmiş daha sonra sığ kesimlere veya kenar zonlara doğru skapolit damarları boyunca skapoliti ornatan başka minerallerle (önce granat daha sonra filogopit ve K-feldispat) dönüşmüştür. Sodik ve potasik alterasyon zonlarının plütönik kayalar içinde yoğunlaşması, kayanın renginin değişmesiyle ve alkali özellikler kazanmasıyla sonuçlanmıştır (Yılmaz ve diğ., 2002; Kuşçu ve diğ., 2002). Bu durum, Barton ve diğ. (1993) ve Hitzman (2000)'da vurgulanmakta ve bu tür sistemlerde bulunan plütönik kayaların "siyenit" olarak tanımlanmalarının gerçeği yansıtmadığı, bu olayın tamamen alkali metasomatizmasının bir ürünü olduğu belirtilmektedir. Bölgedeki skapolitli zonlardan toplanan örnekler için petrografik analizler bunu destekler niteliktedir. Tüm bu gözlemler, A-kafa bölgesinde oluşan cevherleşmelerin ve alterasyonların Fe-oksit-Cu-Au yataklarında olduğu gibi alkali metasomatizmasına uğramış bir kayalar üzerinde oluştuğunu ve yaygın bir sodik-kalsik alterasyonun varlığını gösterir. Granatların miktar olarak arttığı



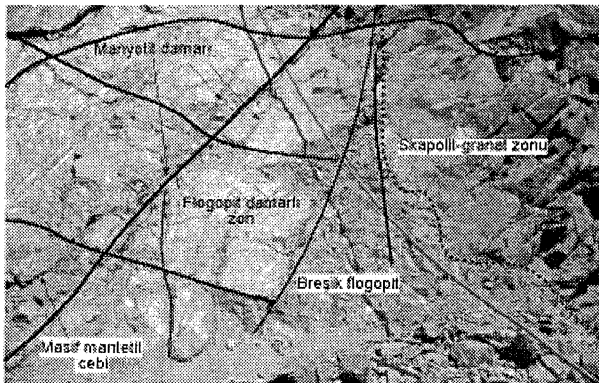
Şekli 3. Murmano plütönü içinde gelişmiş sistematik skapolit damarları.

Figure 3. Systematic skapolite veining system at the Murmano platon

skapolit-granat zonları plütonik kayacın içinde K-feldispat miktarının da biraz arttığı kesimlere karşılık gelir. Bu nedenle granat zonların, ilk kristallenme süreçleri sırasında sodyum-kalsiyum metazomatizmasma uğramış plütonik kayacın daha sonra Fe-metasomatizmasına da uğraması sonucu oluştuğu öne sürülmektedir (Yılmaz ve diğ., 2002). Skapolit ve granat-skapolit zonlardaki damarları çoğu zaman keserek yerleşen yapısal kontrollü cevherli zonlar (darter, cep ve odacıklar), önceden Na-Ca ve Fe metasomatizmasına uğramış plütonik kayalar içinde (skapolit, skapolit-granat zonları) ve onları kırık-çatlak sistemlerini kullanarak ornatır bir şekilde gözlenmektedir (Şekil 4). Özellikle granat-skapolit damarlarını kesen K-G, KD-GB ve KB-GD yönlü dike yakın düşey atımlı faylar veya eklem sistemleri yaygın filogopit ve ikincil K-feldispat oluşumlarının gözleendiği elemanlardır. K-feldispatların genellikle plütunun kenar kesimlerinde ve B-kafaya yakın alanlarda gözlenmesi, Fe-oksit-Cu-Au yataklarında olduğu gibi sığ kesimlerde etkili olan potasik alterasyon ve bu alterasyonla daha belirginleşen cevherleşme ile benzer özellikler sunar. Cevherleşme filogopitleşmenin artmasına paralel gelişmeler göstererek, masif manyetit cevherleşmelerinin gözleendiği kesimler, kayacın neredeyse tamamının filogopitleştiği lokasyonlara karşılık gelir (Yılmaz ve diğ., 2002).

GERİLEYEN EVRE ALTERASYONLARI

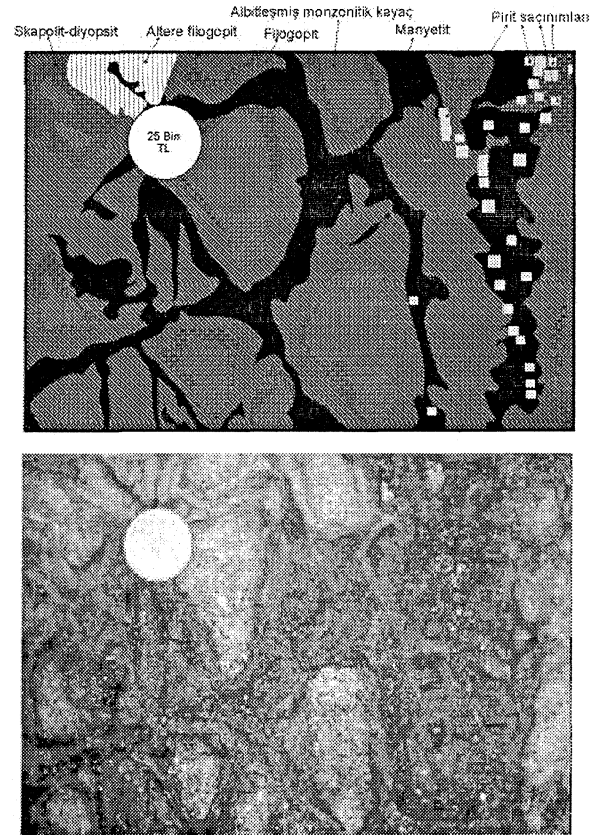
Skapolit-granat zonu içerisinde genellikle skapolit ve skapolit-granat zonlardaki damarları keser şekilde gözlenen filogopit- manyetit±skapolit



Şekil 4. Kırık sistemleri boyunca oluşan filogopitli zonlar.

Figure 4. The phlogopite zones formed along the fracture systems.

±granat damar veya odacıkları filogopit-manyetit zonu olarak adlandırılmaktadır (Yılmaz ve diğ., 2002). Bu tür damarlarda belirgin bir zonlanma vardır ve bu zonlanma taze kayaca doğru manyetit-filogopit-skapolit şeklinde bulunur (Şekil 5). Hatta bazı durumlarda granitik kayalar birbirini kesen bu tür damarlar arasında ornatılmamış "kalıntılar" halinde de gözlenmektedir. Manyetit cevherleşmesini barındıran kayalar belirgin koyu yeşil bir renk ile kendini belli eden filogopitçe zengin kayalardır. Filogopitleşme bölgede etkili olan potasik alterasyonun ikincil K-feldispat oluşumlarından başka mineral parajenezleri de oluşturduğunu göstermektedir. Tıpkı Fe-oksit-Cu-Au sistemlerinde olduğu gibi potasik alterasyon cevherleşmeyi de beraberinde getirmiştir.



Şekil 5. Breşik zonlar içinde oluşan alterasyon zonlanması (üstteki şekil alterasyon zonlarını ve ilişkilerini göstermektedir, ölçüler gerçektir).

Figure 5. The alteration zones developed along the brecciated zones (upper image illustrates the alteration zones and interrelations of the alterations, true to scale)

SİVAS-DİVRİĞİ BÖLGESİ SKARN TİPİ DEMİR OKSİT YATAKLARINA YENİ BİR BAKIŞ

Bu durum özellikle skapolit-granat damarları içinde filogopit ve K-feldspatın yanında bir üçüncü mineral olarak manyetit de gözlenmesiyle kendini belli eder. Filogopitli zonların yan kayaçlık ettiği masif manyetit cevheri, damarlarda cm kalınlıklarında, cep ve odacıklarda ise onlarca metre kalınlıklarda olabilmektedir. Yapılan sondajlara ait loğların incelenmesiyle en büyük cevher kütlelerinin, B kafa dokanağına yakın veya intrüzif kütle dokanağını izleyerek ve ona yapışık olarak yaklaşık D-B doğrultusunda ve güneye eğimli olarak geliştiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu cevher kütlelerine verev, Na-Ca veya Fe metasomatizmasma uğramış monzonitik kayaçlar içinde yaklaşık K-G doğrultusunda oldukça kalın ve ekonomik olabilecek tali cevher damarları veya cepleri de bulunmaktadır.

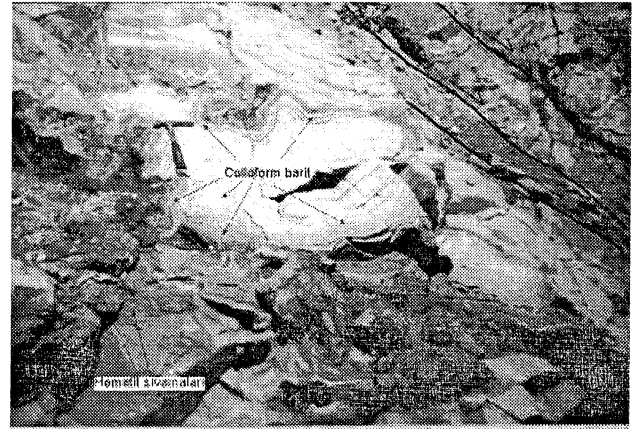
MİNERALOJİ

Fe-oksit-Cu-Au-REE yatakları zengin demir oksit mineral içerikleri ve göreceli olarak daha düşük sülfid mineral içerikleriyle belirgin bir tür oluşturur (Hitzman, 2000). Sülfidler, çoğunlukla kalkopirit, born it ve bunların süperjen türevleri olan malakit, azurit, kalkozinle, ve pirit, markazit ve pirotin gibi diğer sülfidlerle temsil edilir. Bu yataklarda yaygın karbonatlaşma, baryum (Ba), fosfor (P) ya da flüor (F) bulunmasının yanında, As, U, Ag, Co gibi minör element zenginleşmeleri de gözlenir. Bu yatakların mineralojik olarak en belirgin yanı ise Nadir Toprak Elementleri (REE) bakımından diğer tüm yataklara göre çarpıcı zenginlik sunmasıdır. Manyetit genelde erken ve yüksek sıcaklık ürünü olarak gözlenirken hematit ve sülfidli mineral fazları ise daha geç evrelerde ve yüksek oksijen fugasitesine sahip çözeltiler tarafından oluşturulur.

A-kafa'da manyetit oluşumları potasik alterasyon ile eş zamanlı veya hemen sonra ilk (erken) faz olarak oluşmaktadır. A-kafa oluşumlarından ayrı düşünülmemeyen ve martitleşmiş manyetit, limonit, silisleşme ve sülfid cevherleşmeleri ile temsil edilen oluşumlar geç alterasyon zonları olarak adlandırılmıştır (Yılmaz ve diğ., 2002). Aynı sınıflama ve zonlanma süreçleri Işık (2002)'de verilmekte, ve sülfidli fazlar olarak pirit ve kalkopiritin varlığından da söz edilmektedir. Bu zonlar daha önceki çalışmalarda B-kafa olarak tanımlanmıştır (Koşal, 1971; 1973).

Bunlar çok genel olarak serpantin kireçtaşı dokanağında ve breşik bir zon içerisinde konumlanmıştır (Şekil 2). Morfolojik olarak huni şekilli bir görünüm sergileyen bu oluşumlar, üst seviyelerde daha geniş, derinlere doğru incelerek devam etmektedir (Şekil 2). Bu tür huni şekilli oluşumlar hem morfolojik hem de alterasyon ve mineralojik olarak, Fe-oksit-Cu-Au sistemlerinde bakır ve altın cevherleşmelerinin bulunduğu "breş bacaları" veya "diatrem"lere benzer özellikler sunmaktadır. Fe-oksit-Cu-Au sistemlerinde olduğu gibi, hematitik ve limonitik zonlarda, yerel olarak korunmuş breş çakılları orta derecede yuvarlaklaşmış, mikrotaneli ve silika jeli ile çimentolanmıştır. Bu bakımdan morfolojileri de göz önünde tutularak B-kafa mineralizasyonları hidrotermal breş bacaları veya diatrem olarak tanımlanabilir. Bölgedeki rekristalize kireçtaşlarının A-kafa ile dokanakları boyunca ve silisleşmiş, dolomitleşmiş kesimleri az miktarda pirit ve malakit bulunduran breşik zonlar içermektedir. Bu zonlarda sülfidli bileşenler ile silisleşme ve kalsit damarları derinlere doğru daha yoğundur.

A-kafa ile kireçtaşları dokanağında gözlenebilen ve daha sığ kesimlerde gözlenen serizitleşmeler hem plütonik kütle hem de breşik zon içinde derinlere doğru incelerek kaybolmaktadır.



Şekil 6, M tırman o plütonik dokanakları boyunca Akdağ kireçtaşları içinde gelişmiş kolloform barit oluşumları.

Figure 6c Colloform barite occurrences along the Akdağ limestones in contact with the Murmano plüton.

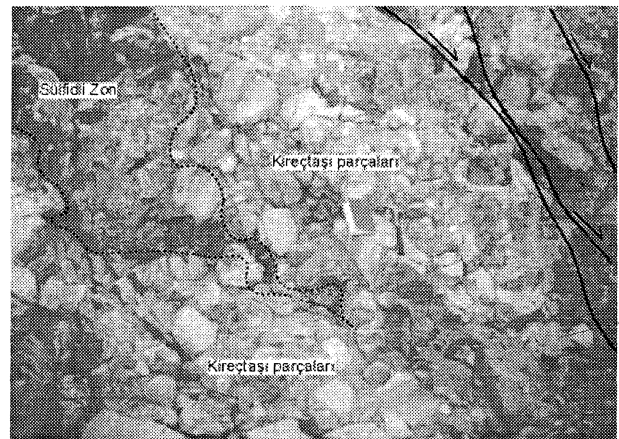
Yoğun bir silisleşmenin yanında manyetik cevherleşmesini de kesebilen kalsit damarları ile pirit- kalkopirit-markazit-malahit gibi sülfüdlü parajenezler, ayrıca serizitik zonların dokanağında yer alan rekrystalize kireçtaşları içerisinde kolloform barit (Şekil 6) oluşumları hidrotermal sistemin son evrelerini temsil eden düşük **sıcaklık** oluşumlarıdır. Divriği demir yataklarında özellikle serizitleşmiş monzonitik kayaç kireçtaşı dokanaklarında kolloform bantlı barit gelişimleri sistemdeki Ba varlığı için yeterli kanıttır, ayrıca cevherleşme ile ilgili veya cevherleşmeyi kesen ikincil kalsit ve dolomit oluşumları karbonatlaşmanın şiddetinin anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Genellikle cevher oluşturan magmatik-hidrotermal sistemin devamı olarak düşünülen geç evre alterasyon zonları sığ kesimlerde daha yoğun ve derinlere doğru azalan yoğunluktaki alterasyon dereceleri ile muhtemel meteorik kökenli suların skarn oluşturan magmatik-hidrotermal sistemle karışması sonucu oluşan hibrid (Barton ve Johnson, 1996; Barton ve diğ., 1993; Barton ve Johnson, 2000; Pollard, 2000; Hitzman, 2000) sistem olarak kabul edilmektedir. Tüm bunların ötesinde Koşal (1971)'de de belirtildiği gibi A-ve B-kafa bölgelerinde yapılan sondaj örneklerinin analizlerinde Divriği yöresinde hem de Divriği yakın civarındaki (Malatya-Hekimhan) yataklarda Th, U gibi nadir toprak elementlerindeki anormal zenginleşmeler Divriği demir yataklanmalarında etkili olan hidrotermal sistemin Fe-oksit-Cu-Au yataklarına olan benzerliğini göstermektedir. Ünlü ve Stendall (1989)'m yaptığı çalışma, A-B kafa bölgesinde hem plütonik kayaçlar hem de ofiyolitik kayaçlar içinde nadir toprak elementlerinin normal değerlerin çok üzerinde olduğunu göstermektedir. Bu ve yukarıdaki gözlemler Divriği demir oksit yataklarının mineralojik ve jeokimyasal olarak DOBA sistemlerine olan benzerliklerini göstermektedir.

BREŞİK ZONLAR

Fe-oksit-Cu-Au yataklarında Cu ve Au zenginleşmeleri genellikle diatrem ve breş zonları boyunca gözlenir (Hitzman ve diğ., 1992; Pollard ve diğ., 1998; Pollard, 2000; Hitzman, 2000). Breş zonları genellikle daha kompetant (seit) plütonik kayaç, sodik-potasik alterasyon zonlarına sahip kayaçlar ile daha az kompetant (göreceli olarak

daha az sertliğe sahip) kayaçlar arasında gelişmektedir. Olympic Dam örneğinde Cu-U-Au cevherleşmeleri hidrotermal breş bacaları boyunca gözlenmekte ve breş bacaları içinde cevherleşme serizitik hematitik bir alterasyonla belirgin hale gelmektedir (Hitzman ve diğ., 1992; Perring ve diğ., 1999). Bu tür zonlar içinde sülfid fazı ya kalkopirit, bornit (hipojen fazlar) ya da kalkozin ve pirit gibi süperjen fazlar ile temsil edilir. Bu tür sistemlerde gözlenen breş bacaları, değişik boyutlarda olmasına rağmen 200 m (Panulcillo ve Teresa De Colmo bakır yatağı; Hopper ve Correa, 2000), 300-350 m'lik ayrı zonlar halinde (Olympic Dam Cu-U-Au yatağı; Reynolds, 2000), 400 m (NICO ve the Sue-Dianne yatakları, Goad ve diğ., 2000) arasında değişmektedir. B-kafa civarında breş zonu olarak adlandırılan bölgenin boyutları da aşağı yukarı 250-300 arasında değişmektedir.

Divriği yöresinde özellikle monzonit ve kristalize kireçtaşı arasında gelişen breşik kesimler (Şekil 7) hidrotermal breş zonları olarak tanımlanmaktadır (Kuşçu ve diğ., 2002; Yilmazer ve diğ., 2002). Breş zonları içinde bulunan kayaç parçaları çoğunlukla çok ince taneli ve "kayaç tozu, rock powder" pulverize toz ve silika jeli ile çimentolanmıştır. Öztürk ve Öztunalı (1993), Eosen öncesi KD-GB doğrultulu bindirme türü yapısal hatlar boyunca kayaçların breşik yapıları kazandığını ve bu durumun cevherleşme açısından



Şekil 7, Akdağ kireçtaşları ile alterasyon zonları dokanakları boyunca gözlenen breşik zonlar
Figure 7. Brecciated zones observed along the contacts between Akdağ limestones and alteration zones.

SİVAS-DİVRİĞİ BÖLGESİ SKARN TİPİ DEMİR OKSİT YATAKLARINA YENİ BİR BAKIŞ

önemli rolü olduğunu belirtmektedir. Yapılan çalışmalarda bu zonların hem tektonik hem de hidrotermal breş özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Bu zonlar üzerinde yapılan çalışmalarda breşik zorum derine doğru incelen ancak sığ kesimlere doğru genişleyen huni şekilli morfolojiye sahip olduğu ve bu nedenle diatrem olarak adlandırılabilceği vurgulanmaktadır (Yılmaz ve diğ., 2002). Diatrem zonları içinde özellikle martitleşme yoluyla oluşan süperjen hematitleşme karbonatlı kayalara içine doğru sızan çözeltiler boyunca karbonatlı kayaların da kızıl-kahve sarı renkler kazanmasına neden olmuştur. Bu hematitik zonlar öteden beri bilinmekte ve B-Kafa olarak işletilmektedir. Ayrıca bu zonlar içinde kalkozin, pirit, markazit ve malahit oluşumları gözlenmekte, bunlar yaygın silisleşme ile belirginleşmektedir. Breş zonlarının ultramafik kayaç-monzonit dokanağında gözlemlendiği kesimlerde ise silisleşmenin şiddeti artmakta, silisleşmeye karbonatlaşma da eşlik etmekte ve piritler daha ince taneli olmaktadır. Bu kesimler aynı zamanda krom-mika türü minerallere de yataklık etmektedir. Bu ve buna benzer oluşumların Fe-oksit-Cu-Au yataklarında çok belirgin olması en azından Divriği yöresinde de bu tür yataklanmaların olabileceğini göstermektedir. Bölgeden derlenen cevher örneklerinin kimyasal analizlerinde % 0.2-1 (Koşal, 1971) bakır içeriklerinin bulunması bu savı destekler niteliktedir. Bu nedenle bölgedeki yataklanmaların altın ve bakır açısından da değerlendirilmesi ve bölgede jeolojik, jeokimyasal ve mineralojik araştırmaların yapılması önerilmektedir.

YAŞ VE TEKTONİK ORTAM

Fe-oksit-Cu-Au tipi yataklar, hem yaş hem de tektonik ortam olarak belli bir sistematik sunmazlar. Bu yataklar Proterozoyik'ten Pliyosen'e kadar değişen yaş konaklarında oluşmuştur ve oluşumları için kesin bir yaş aralığı vermek mümkün değildir. Hitzman ve diğ. (1992)'de vurgulanan Proterozoyik jeolojik ortam önerisinin aksine büyük yataklar çoğunlukla Fanerozoik yaş konağına sahip bölgelerde bulunmaktadır (Barton ve Johnson, 1996). Bilinen Fe-oksit-Cu-Au tipi yataklarının 3 değişik ortamda olduğu öne sürülmektedir (Hitzman ve diğ., 1992); (1) Kıta-içi orojenik çökme (collapse), (2) Kıta-içi anorojenik magmatizma, ve (3) Yitim-zonu

ile ilişkili kıtasal kenar boyunca gelişen gerilme rejimleri. Yukarıdaki ortamlar büyük hacimli magmatik faaliyetlerin, yüksek ısı döngülerinin ve oksidize kaynak kayaçlarının (sedimanlar ve magma) bulunduğu ortamlardır.

Bu ortamlardan yitim zonu ile ilişkili gerilme magmatizması ve anorojenik magmatizma, Orta Anadolu Kristalen Karmaşığının jeodinamik evrimi göz önüne alındığında Orta Anadolu Granitoidlerinin oluşumunu açıklayan mekanizmalara (Akıman ve diğ., 1993; Göncüoğlu ve Türel, 1994; Göncüoğlu ve diğ., 1993; Göncüoğlu ve diğ., 1997; İlbeyli ve Pearce, 1997; Aydın ve diğ., 1998; Boztuğ, 1998; Gençalioğlu Kuşçu ve diğ., 2001; Boztuğ ve diğ., 2002) benzerlikler sunmaktadır. Bu tür ortamlarda uçucularca zengin magmatik aktivitelerin, yüksek ısı döngülerinin ve oksidize kayaçların bulunması DOBA yataklarının oluşması için uygun şartlar olarak kabul edilmektedir. Murmano Plütönu Boztuğ (1998) tarafından silis bakımından aşırı doygun çarpışma sonrası alkali kayaç topluluğunun bir üyesi olarak tanımlanır. Murmano plütönunun oluşumu için ilksel magmanın fraksiyonel kristallenmesinden çok mafik karakterli ve derinlerden (manto) gelen bir magmanın bölgeye sokulumu ile başlayan farklı kökenlere sahip magmaların karışması modeli (Boztuğ, 1998) öne sürülmektedir. Bu kayaçların LIL elementleri ve REE elementler bakımından zengin olmaları, bu tür elementlerin kabuk kökenli magmalarda zenginleşmemeleri, farklı magma getirimi düşüncesini destekleyici veriler olarak değerlendirilmektedir (Boztuğ, 1998). Bu bakımdan Divriği yöresi plütönik kayaçlarının da Fe-oksit-Cu-Au yataklarının olduğu tektonik ortamlardan olan kıta-içi anorojenik magmatizma ile ilişkili veya benzer ortamlarda olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, Fe-oksit-Cu-Au sistemlerini oluşturan tektonik ortamın varlığı, ve bu ortamda oluşmuş kayaçların tıpkı Fe-oksit-Cu-Au sistemlerine benzer alterasyon ve mineralojik benzerlikler sunması, Divriği bölgesinde en azından bu yatak türünün bulunması gerektiği sonucunu doğurmaktadır.

MAGMATİK KAYAÇLARLA İLİŞKİ

Bu tür yatakların oldukça büyük bir çoğunluğu magmatizma ve magmatik v>laylarla uzay-zaman içinde belirgin bir ilişki içindedir. En azından sıvı

kapanımları ve izotop çalışmalarında bu yatakları oluşturan çözeltilerin magmatik kökenli olduğu (Hitzman ve diğ., 1992; Hitzman, 2000) ancak meteorik akışkanlarla daha geç evrelerde karşılıklı ilişkilerde bulunduğu bilinmektedir (Barton ve Johnson, 1996; 2000). Divriği bölgesi demir yataklarında monzonitik kayaların etkili olduğu, hatta cevherleşmeleri bu tür kayaların yer yer kayaçlık ettiği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Yılmaz ve diğ., 2002). Ayrıca, cevherleşmelerin potasik alterasyon nedeniyle neredeyse kırmızı renk aldığı ve filogopitçe zengin **zonlarda** oluşmuş olması bu sava en azından Divriği bölgesinde de geçerli olduğunu ortaya koymaktadır.

YAPISAL KONTROL

Fe-oksit-Cu-Au tipi yataklar doğrudan yapısal kontrollü yataklardır. Genellikle Kabuksal ölçekli (transform veya doğrultu atımlı) ana fay zonu ile ilişkili yüksek ve düşük açılı olan ikincil ve verev faylar boyunca lokalize olmaktadır. Bu faylar, bölgenin yaygın alterasyonu ve akışkan döngüsünü hızlandırıcı etkilere sahiptir. Cevher mineralleri çoğunlukla sert (skarnlar, demirce (manyetit) zengin alterasyon zonları ve sodik alterasyona uğramış (albitleşmiş) granitoidler) ve sert offnayan kayalar arasında süregelen gerilme-deformasyon etkileşimlerinden dolayı oluşan breş bacaları içinde yoğunlaşmaktadır.

Divriği A ve B kafa yataklarında yapılan incelemeler sonucunda, alterasyon ve skarn damarlarının ile cevher kütlelerinin belirgin zonlarda yoğunlaştığı saptanmıştır. Bu durum, alterasyon zonları ve skarn damarlarının KD-GB ve D-B doğrultulu faylar boyunca oluşan yapısal kontrollü oluşumlar olduğuna işaret etmektedir (Kuşcu ve diğ., 2002; Yılmaz ve diğ., 2002). Cevherleşmeler de aynı yapısal unsurlar tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 1 ve 2). Bununla birlikte Öztürk ve Öztunalı (1993), bölgede Eosen öncesi tektonik hatların KD-GB yönlü kıvrım ve kırık sistemleri oluşturduğunu, ve cevherleşmelerin yaklaşık KD-GB yönlü "bindirme" yapıları boyunca oluştuğunu öne sürmektedir. Yapılan çalışmalarda ise cevherleşmelerin genellikle KD-GB yönlü kırık-fay düzlemleri boyunca oluşan ve skapolit-granat skarn damarlarını kesen, onlara verev KB-GD yönlü veya dik konumlardaki filogopit damarları ile kökensel ilişkileri bulunduğu

tespit edilmiştir. Ancak ana cevher kütlesi yaklaşık D-B yönlüdür (Şekil 2) (Yılmaz ve diğ., 2002). Cevherleşmeler hem damarları hem de skapolit-granat zonunu kesen kırık ve çatlaklar boyunca ve özellikle bu süreksizlik düzlemlerinin keşiştiği yerlerde yoğunlaşmaktadır (Kuşcu ve diğ., 2002; Yılmaz ve diğ., 2002). Divriği yöresinde cevher kütlelerinin yaklaşık D-B doğrultulu bir hat boyunca gözlenmesi, bu hat boyunca başka potansiyel yatakların da varlığı (Ekinbaşı civarı) (Şekil 1) ve bu ana faya verev ancak bu fayla doğrudan ilişkili fayları boyunca gelişen filogopit damarları ve filogopitli zonların masif manyetit cevherleşmelerini içermesi, bu bölgede de cevherleşmelerin yapısal kontrollü olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı şekilde B-kafa cevherleşmelerinin yaklaşık 70-80° açılı fay zonu boyunca oluşması (Şekil 2), martitleşmiş manyetitin kafalar şeklinde daha sığ kesimlerde ve derinlere doğru manyetite geçiş göstermesi, bu yapısal hat boyunca devam eden geç evre hidrotermal olayların da devam ettiğini göstermektedir.

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Fe-oksit-Cu-Au yataklarının Türkiye'deki varlıkları konusunda çalışmalar Divriği bölgesinde ilk kez bu makalenin yazarları, Yılmaz ve diğ. (2002) ve Kuşcu ve diğ. (2002) tarafından başlatılmış olup, yapılan haritalama, alterasyon zonlarının tespiti ve cevherleşme ile olan ilişkisi ortaya konmuştur. Bu yapılan çalışmalarda elde edilen ön bulgular, Divriği bölgesinde zaten bilinmekte olan manyetit cevherleşmesinin sodik-kalsik alterasyon zonu içinde özellikle onları üzerleyen veya silen, yer yer damarlar halinde kesen filogopitli ve K-feldspatik zonlar içinde geliştiğini göstermektedir. A-kafa cevherleşmesinde esas cevher manyetit olmasına rağmen, zonlanmanın sığ kesimlerinde veya rekristalize kireçtaşı olan dokanaklarına doğru manyetitlerin yer yer aktinolit ve kalsit tarafında ornatıldığı ve kalsitler içinde piritlerin yaygın olarak bulunduğu gözlenmiştir (Yılmaz ve diğ., 2002). B-Kafa olarak bilinen hematiük breş zonları içinde hem barit hem de ikincil karbonat bulunur. Breşik zonların sığ kesimlerinde hidrolik-serizitik alterasyonlarla belirginleşen ve manyetitlerin martitleştiği ve yaygın silisleşme ile birlikte hem markazit, pirit hem de kalkopirit,

SİVAS-DİVRİĞİ BÖLGESİ SKARN TİPİ DEMİR OKSİT YATAKLARINA YENİ BİR BAKIŞ

kalkozin türü cevherleşmelerin gözleendiği kesimler oldukça çarpıcıdır. Breşik zonlar, özellikle tüm Divriği ve Sivas bölgesinde hakim faylanma yönü olan yaklaşık D-B ve KD-GB yönlü ana fay zonlarına paralel veya onlarla ilişkili yüksek açılı küçük ölçekli normal faylar boyunca gelişmiştir. Tüm hematit zonlarının geliştiği alanlar manyetik anomalilerin de gözleendiği lokasyonlar olup, potansiyel Cu ve Au cevherleşmeleri için yüksek manyetik anomali gösteren kesimlerin gravite metoduyla taranmaları gerektiği vurgulanmaktadır (Kuşçu ve diğ., 2002). Özellikle Ernest Henry ve Candelaria gibi yataklar bu yöntemle bulunmuştur. B-Kafa yatağı (Divriği) Fe-oksit-Cu-Au potansiyelinin en yüksek olduğu kesim olarak değerlendirilmektedir. Ancak Cu ve olası Au potansiyelinin yüksek olması beklenen B kafa cevherleşmelerinde hematit dışındaki malzeme saçınımlı kalkopirit, pirit, malahit gibi sulfid cevherleşmeleri, silisleşmiş ve karbonatlaşmış zonlar, serizitik kay açlar gang olarak değerlendirilip açık işletme sırasında örtü olarak kaldırılmış ve pasa olarak B-kafanın doğusuna dökülmüştür. Dolayısıyla, Cu ve Au gibi cevherleşmelere yankayaçlık eden kayaçların büyük bir çoğunluğu bugün paşalardadır. Ünlü (2002, sözlü görüşme) Divhan Demir İşletmeleri A.Ş.'nin atık havuzlarında 0.3 ppm altın tespit edildiğini belirtmektedir. Dolayısıyla, Divriği bölgesinde de altının varlığı konusu daha da dikkat çekici noktalara ulaşmaktadır. Pliyo-Kuvaterner zamanında etkili olan neotektonik dönemde A-B kafa yataklarının ve yan kayaçların in şiddetli erozyonel faaliyetlerle aşınmış olması (Öztürk ve Öztunah, 1993), A-kafadan derlenen iri 30-40 cm boyutlu manyetit çakıllarının C-plaseri (Şekil 1) içine taşınmasını sağladığı gibi Cu ve Au potansiyeli olan karbonatlaşmış ve silisleşmiş zonların da çakıl olarak C-plaseri içine taşınmalarına neden olmuş olabilir. Bu nedenle C-plaseri içinde de Cu-Au potansiyelinin araştırılması gereklidir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt Dairesi projelerinden "Orta Anadolu Demir ve Polimetale Aramaları Projesi" kapsamında sonuçlandırılmış bir çalışmadır. Yazarlar, bu çalışmanın yürütülmesinde her türlü maddi desteği sağlayan Maden Tetkik ve

Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt Dairesi'ne ve Sivas Bölge Müdürlüğü'ne sonsuz teşekkürlerini sunar.

EXTENDED SUMMARY

Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) systems (Olympic Dam type) are characterized by large masses of Ti-poor Fe-oxide (commonly $>10^8$ tonnes magnetite or hematite) with lesser amounts of phosphates (apatite, REE phosphates), Cu-Fe sulfides, and sporadic Au, U, Ag, and Co minerals. Proximal and deeper mineralization consists of early magnetite \pm apatite rocks commonly with abundant sodic (albite \pm scapolite + hornblende) wall-rock alteration. Superimposed or distal mineralization consists of hematite \pm Cu-Fe sulfides \pm REE minerals with hydrolytic \pm potassic alteration. Sodic alteration is a typical alteration found in all; it is typically voluminous.

The discovery of the giant Olympic Dam ore deposit in 1975, and subsequent realization of its importance, attracted keen interests from the world's exploration industry, and have become a prime exploration target in the past decade. In the early years however, there was a little information of what the deposit is represented. At that stage Olympic Dam was believed to represent a unique deposit, an example of a new style of mineralization not previously recognized. Consequently, it initiated a rush to find similar deposits. It was not until 1983 when the underground test openings were developed into the ore body that it was a Fe-oxide rich "hydrothermal breccia complex". It was accepted as a part of a class of deposits that included many ore bodies that were already known. They were recognized as a new type ore deposits as iron-oxide-copper-gold (IOCG) deposits with the publication of formation on the Olympic Dam deposits after 1983 (Roberts and Hudson, 1983; Reeve et al., 1990), and with the publication of a number of excellent published synthesis of related ore types. The synthesis underlined in particular the importance of similarities of the geochemistry and setting of the Olympic Dam deposits with "barren" iron oxide deposits in US, and in Kiruna district. The realization culminated in the seminal paper of Hitzman et al. (1992) that distilled this understanding in public domain.

Although, there are many iron-oxide deposits (magnetite+hematite), particularly in Central Anatolia, the examples of the IOCG deposit types have not been recognized in Turkey. It was not until the period between 1999-2001 when authors of this paper, (official consultants in targeting new areas for iron mineralizations for General Directorate of mineral Exploration and Mineralization (MTA in Turkish)) noticed that the some of the iron oxide deposits in Central Anatolia (Turkey) show characteristics similar to IOCG systems in terms of style of alteration, alteration zoning and space-time relationships between alteration and mineralization. The present state of knowledge regarding the IOCG deposits in Turkey is related only to recent study of Kuşçu et al. (2002) and Yılmaz et al. (2002). The authors of this paper initiated the studies in recognition of Fe-oxide-Cu-Au deposit type in Turkey. This study shows that A-B-kafa mineralizations at Divriği (Sivas) occur in metasomatic plutonic rocks that were experienced an extensive and pervasive alkaline metasomatism. Divriği (Sivas) A-B kafa mineralizations show stratigraphical and tectonical relationships to Murmano pluton, Akdağ limestones and serpentized ultramafic rocks in Güneş ophiolite. The plutonic rocks are regarded as late orogenic A-type and H-type granitoids ranging in composition from diorite to granodiorite to syenite. They were formed as a result of mixing of mantle-derived mafic magma, and a crustal felsic magma (Boztuğ, 1998). The investigations in Divriği region show that A-B kafa mineralizations are not only magnesian skarns but also show geological features similar to well-known Olympic Dam type deposits which are known as Fe-oxide-Cu deposits.

The magmatic-hydrothermal system that controls the mineralizations is related to emplacement, crystallization and cooling of the Late Cretaceous Murmano pluton. The plutonic rocks have been experienced a pervasive alkaline metasomatism resulting in scapolitization followed by a potassic alteration resulting in secondary K-feldspar formation. The magnetite mineralization is hosted by these metasomatic rocks, and by rocks that could be regarded as endoskarns. The exoskarns are not observed or are not of importance and limited to a few veinlets within the serpentized ultramafic rocks. Therefore, the alteration products and style of mineralization suggest that the deposits long known as

pyrometasomatic, fels, calc-skarn and skarn might be of Fe-oxide-Cu-Au type. The A-kafa mineralizations occur as massive magnetite mineralizations hosted by a K-feldspar and phlogopite-rich zone superimposing scapolite-garnet zone. B-kafa mineralizations consist of martitized magnetite, limonitization, silicification, and sulfide mineralizations, and are regarded as late-stage alteration products. These are observed in a structurally controlled and funnel shaped settings that might be regarded as breccia pipes or diatremes. The granitoids close to brecciated zone is characterized by extensive sericitization. Colloform barite formations develop particularly along contacts between brecciated limestone and sericitized rocks. The studies by Kuşçu et al. (2002) and Yılmaz et al. (2002), and this study shows that the Fe-oxide mineralizations at Divriği (Sivas) district, are controlled by NE-SW trending small-scale faults oblique to NW-SE trending regional-scaled faults.

For many years, these deposits have been mined mainly for iron, and the late alteration products which are mainly pyrite, chalcopyrite, chalcocite, marcasite forming in a sericitized, silicified and carbonatized rock sequences were all discarded as gangue in the dump and tailing site. Although in the recent years, sporadic exploration studies have been conducted for gold by MTA, since no detailed mapping and sampling was applied, no good results were obtained. However, the structurally controlled late alteration/supergene zones formed mainly along the ENE-WSW to E-W direction are rich in copper. The mineralization occur as disseminations, veins and supergene enrichment zones in a brecciated, silicified, carbonatized rocks. The drill assay results show that copper grade reaches up to 2% in these zones. The districts that contain these deposits have copper and gold potential, and could be the prime target for gold and copper mineralizations. For example, there is a newly discovered gold mineralization in Kangal-Çetinkaya area (Sivas). The gold occurs as visible grains ranging from 2 to 6 mm in size. The most diagnostic point in this mineralization is that the veins are conformable to the sulfide-bearing breccia zones in Divriği area, suggesting that these are southern continuum of the mineralization in Divriği (Sivas).

SIVAS-DİVRİĞİ BÖLGESİ SKARN TİPİ DEMİR OKSİT YATAKLARINA YENİ BİR BAKIŞ

Although, the examples to the similar deposit types have not been recognized yet in Turkey, pervasive alkaline metasomatism and relationships between mineralizing events and alkaline metasomatism, the oxide and sulfide mineralogy, morphology and distribution of the iron oxide deposits in and around the Divriği (Sivas) suggest that it shows characteristics similar to Fe-oxide-Cu-Au deposits. Therefore, they could be re-defined as Fe-oxide-Cu-Au type mineralizations on the basis of alteration pattern and mineralization styles. It is also proposed that these deposits have gold and copper potential, and the exploration programs should be re-designed so as to investigate this potential.

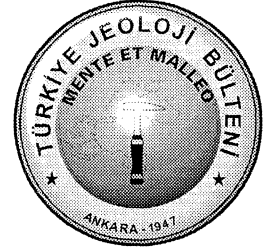
DEĞİNİLEN KAYNAKLAR

- Akıman, O., Erler, A., Göncüoğlu, M.C., Güleç, N., Geven, A., Türel, T.K., and Kadioğlu, Y.K., 1993. Geochemical characteristics of granitoids along the western margin of the Central Anatolian Crystalline Complex and their tectonic implications. *Geological Journal.*, 28, 371-382.
- Aydın, N., Göncüoğlu, M.C. ve Erler, A. 1998. Latest Cretaceous magmatism in the Central Anatolian Crystalline Complex: Brief review of field, petrographic and geochemical features. *Turkish Journal of Earth Sciences* 7, 259-268,
- Barton, M. D., Marikos, M. A., and Johnson, D. A., 1993, A comparison of felsic and mafic Fe-P(-REE-Cu) deposits: *Geological Society of America Abstracts with Programs*, v. 25, no. 3, p. 5.
- Barton, M.D., and Johnson, D.A., 1996, An evaporitic-source model for igneous-related Fe-oxide(-REE-Cu-Au-U) mineralization: *Geology*, v. 24, p. 259-262.
- Barton, M.D., and Johnson, D.A., 2000. Alternative brine sources for Fe-oxide(-Cu-Au) systems: Implications for hydrothermal alteration and metals. T.M: Porter (eds), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective* de vol. 1,43-60.
- Haynes, D., 2000. Iron-oxide-Cu-Au deposits: What, Where, When and Why. T.M: Porter (eds), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective* de vol. 1. 9,26.
- Bottke, H., 1981, *Lagerstättenkunde des Eisens.* Verlag Glückauf GmbH, 202s., Essen.
- Boztuğ, D., 1998, Post-collisional Central Anatolian Alkaline Plutonism, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7, 145-165.
- Boztuğ, D., Çevikbaş, A., Demirkol, C, Tatar, S., Akyıldız, M., ve Otlı, N., 2002. Karamadazi plütununun (Yahyalı-Kayseri) mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelemesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 45, 41-58.
- Gençalioğlu Kuşçu, G., Göncüoğlu, M.C, ve Kuşçu, İ., 2001. Post-Coilisional Magmatism on the Northern Margin of Taurides and its Geologic Implication: Geology and Petrology of the Yahyah-Karamadazi Granitoid, *Tr. J. of Earth Sci.*, 10, 103-120.
- Goad, R., E., Mumin, H.A., Duke, N.A., Neale, K.L., Mulligan, L.D., 2000. Geology of the Proterozoik iron-oxide-hosted NIC A cobalt-gold-bismuth and Sue-Dianne copper-silver deposits, Southern Great Bear Magmatic zone, Northwest Territories, Canada. T.M: Porter (eds), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective* de vol. 1,249-267.
- Göncüoğlu, M.C. ve Türel, K. 1994. Alpine collisional-type granitoids from western Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. *Journal of the Kocaeli University, Earth Sciences Section* 1, 39-46.

- Göncüoğlu, M.C., Erler, A., Toprak, G.M.V., Olgun, E., Yalınız, K., Kuşcu, İ., Koksall, S. & Dirik, K. 1993. Orta Anadolu Masifi'nin Orta Bölümü'nün Jeolojisi, Bölüm 3: Orta Kızılırmak Tersiyer Baseni'nin Jeolojik Evrimi, TPAO Rap. No. 3313, 104 p
- Göncüoğlu, M.C., Koksall, S., ve Floyd, P.A., 1997. Post-collisional A-type magmatism in the Central Anatolian Crystalline Complex: Petrology of the İdişdağı intrusive (Avanos, Turkey). Tr. J. of Earth Sciences, 6, 65-76.
- Hitzman, M. W., Oreskes, N., ve Einaudi, M. T., 1992, Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits: Precambrian Research, v. 58, p. 241-287.
- Hitzman, M.W., 2000. Iron-oxide-Cu-Au deposits: what, where, when and why. T.M: Porter (eds), Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective**de* vol. 1, 9-25.
- Hopper, D., ve Correa, A., 2000. The panulcillo and Terresa De Colmo "copper deposits: Two contrasting examples of Fe-oxide-Cu-Au mineralisation from the coastal Cordillera of Chile. T.M: Porter (eds), Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective'*de* vol. 1, 177-189.
- Işık, M.A., 2002. Divriği kontakt metazomatik demir cevherleşmelerindeki ilmenit-manyetit eksolusyon dokularının cevher oluşum koşullarının belirleme açısından önemleri. 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri özleri Kitapçığı, s, 124-125.
- İlbeyli, N. ve Pearce, J.A., 1997. Petrogenesis of the collision-related Anatolian Granitoids, Turkey. European Union of Geosciences (EUG) 9, Strasburg, s. 502.
- Klemm, D.D., 1960, Die Eisenerz vorkommen von Divrik (Anatolien), als Beispiel tektonisch angelegter pneumatolytisch-metasomatisher Lagerstätten bildung: N. Jahrbuch f. Mineralogie, Abh. 94 (Festband Ramdohr), s. 591-607, Stuttgart.
- Koşall, C, 1971, Divriği A-B-kafa demir yataklarının sondajlı aramalar jeolojik raporu. MTA rapor no. 4304, Ankara (Yayınlanmamış).
- Koşall, C, 1973, Divriği A-B-C kafa demir yataklarının jeolojisi ve oluşum üzerine çalışmalar. MTA dergisi, s. 81, 1-22.
- Kuşcu, İ., Demirela, G., ve Yılmaz, E., 2002. Sivas-Divriği Bölgesi Skarn Tipi Demir Oksit Yataklarına Fe-oksit-Cu-Au (Olympic Dam tipi) Perspektifinden Yeni Bir Bakış, 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri özleri Kitapçığı, s. 171.
- Öztürk, H., ve Öztunalı, Ö., 1993. Divriği demir yatakları üzerine genç tektonizma etkileri ve sonuçları. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 8, 97-106.
- Perring, C.S., Pollard, P.J., Blake, K.L., Dong, G., ve Nunn, A.J., 1999. Metallogeny of the Lightning Creek Cu-Au prospect. Mount Isa Inlier, Australia. CJ. Stanley, A.H. Rankin ve R.J., Bodnar (eds.) Mineral deposits: process to processing, vol. 1, Balkema, Rotterdam, 413-416.
- Petrascheck, W. ve Pohl, W., 1982, Lagerstättenlehre, B.8.V.H., 341s, Stuttgart.
- Pollard, P.J., Mark G., ve Mitchell, L.C., 1998. Geochemistry of post-1540 Ma granites in the Cloncurry district, northwest Queensland. Econ. Geol., 93, 1330-1344.
- Pollard, P.J., 2000. Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-oxide-Cu-Au mineralization. T.M: Porter (eds), Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective'^ vol. 1.27-42.
- Pollard, P.J., 2001. Sodic(-calcic) alteration in Fe-oxide-Cu-Au districts: an origin via unmixing of magmatic H₂O-CO₂-

SİVAS-DİVRİĞİ BÖLGESİ SKARN TİPİ DEMİR OKSİT YATAKLARINA YENİ BİR BAKIŞ

- NaCl±CaCl₂-KCl fluids. Mineralium Deposita, 36,93-100.
- Reeve, J.S., Cross, K.C., Smith, R.N., Oreskes, N., 1990, Olympic Dam copper-uranium-gold-silver deposit, Hughes F.E. (eds.) Geology of the mineral Deposits of Australian and Papua New Guinea: Monograph Series-Australian Institute of Mining and Metallurgy *Wde.*, 2, 1009-1035.
- Reynolds, L., 2000. Geology of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag-REE deposit. T.M: Porter (eds), Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective'de vol. 1,93-1.04.
- Roberts, D.E., ve Hudson, G.R.T., 1983. The Olympic Dam copper-uranium-gold deposit, Roxby Downs, South Australia: Econ. Geol. 78, 799-822.
- Ünlü, T., 1983, Sivas, Divriği-Akdağ; Gürün-Otüküise; Erzincan, Kemaliye, Bizmişen-Çaltı, Kümelere ve Adıyaman, Çelikhan-Bulam demir yatakları hakkında görüşler MTA Maden Etüd Dairesi, kap. No. 1901, Ankara (Yayınlanmamış).
- Ünlü, T., ve Stendall, H., 1986, Divriği bölgesi demir yataklarının element korelasyonu ve jeokimyası: Orta Anadolu, Türkiye, Jeol. Müh., 28, 127-140.
- Ünlü, T., ve Stendall, H., 1989, Divriği bölgesi demir cevheri yataklarının nadir toprak element (REE) jeokimyası; Orta Anadolu, Türkiye, Türkiye Jeoloji Bülteni, 432, 21-37.
- Yıldızeli, N., 1977, Divriği-Dumluca Sondajlı Etüd Raporu, MTA rapor no. 5986, Ankara (Yayınlanmamış).
- Yıldızeli, N., 1998, Divriği (GD Sivas) yöresinde ofiyolit-granitoyid ilişkisiyle gelişen fels tipi demir yatakları. Ofiyolit-Granitoyid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Semp. Bildiriler Kitabı, 130-138s., Sivas.
- Yilmazer, E., Kuşçu, L., ve Demirela, G., 2002. Divriği A-B Kafa Cevherleşmeleri: Alterasyon zonlanması ve zonlanma süreçleri. 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri özleri Kitapçığı, s.320.
- Makale Geliş Tarihi : 10 Mayıs 2002
Kabul Tarihi : 31 Temmuz 2002
- Received : May 10,2002
Accepted : July 31, 2002



3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depremleri

February 3, 2002 Çay (Afyon) Earthquakes

Süha ÖZDEN

Cumhuriyet Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, SİVAS
(e-posta: sozden@cumhuriyet.edu.tr)

Kaan Şevki KAVAK

Cumhuriyet Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, SİVAS

Fikret KOÇBULUT

Cumhuriyet Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, SİVAS

Semir ÖVER

Cumhuriyet Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, SİVAS

Haluk TEMİZ

Cumhuriyet Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, SİVAS

Öz

3 Şubat 2002 tarihinde, Afyon ilinin Çay ve Sultandağı ilçeleri civarında, yerel saatle 09 ¹¹ ve 11 ²⁶'da birbirini izleyen orta büyüklükte iki deprem meydana gelmiştir. Geniş bir alanda hissedilen bu depremlerde 45 kişi hayatını kaybetmiş, 300'ün üzerinde kişi yaralanmış ve yüzlerce bina yıkılmış ya da ciddi biçimde hasar görmüştür. Bu depremler; dışmerkezleri, yüzey kırıklarının durumları ve hasar dağılımları göz önüne alınarak, Çay depremleri olarak isimlendirilmiştir. USGS verilerine göre, depremlerden birincisi ve asıl yıkıcı olan depremin dışmerkezi, Çay ilçesi yakın civarında yer almaktadır. Bu deprem sonucunda gözlenen 080° doğrultulu yüzey kırığı en az 2 km uzunluğa ve 35 cm düşey yer değiştirmeye sahip bir normal faylanmayla oluşmuştur. İlk depremden iki saat sonra oluşan depremin dışmerkezi Çay'm hemen batısında yer alan Kadıköy dolayına düşmektedir. İkinci depremin odak çözümü ve arazi verileri, 020° doğrultulu ve 10 cm düşey yer değiştirmeye sahip yine bir normal fay 1 anmayı vermektedir. Çay'ın batısında yer alan Kadıköy'de gözlenen ve yaklaşık 1 km uzunluğundaki ikinci depremin yüzey kırıklarının, ilk depremin yüzey kırıklarına yaklaşık olarak dik doğrultuda olması, bu depremin ilk Çay depreminin tetiklediği farklı bir fayın hareketiyle oluştuğunu göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Batı Anadolu, Çay depremleri, aktif tektonik, normal faylanma

Abstract

The Sultandağı-Çay (Afyon) and surrounding regions were affected by two destructive earthquakes occurred on February 3, 2002 at 9.11 and 11.26 respectively. These events caused 45 deaths and damaged hundreds of buildings. These earthquakes are called as Çay earthquakes with respect to surface ruptures, epicenters and damage distributions. USGS data indicate that first destructive main shock which was located near Çay town. 080° trending observed surface rupture of this first event represents at least 2 km length and have a vertical displacement of 35 cm. The epicenter of latter, which was happened two hours later, locates around Kadıköy village. Focal mechanism solution and field evidences indicate that presence of a 020° normal faulting with a vertical displacement of 10 cm. We assume that the first event (Mw=6.2) probably have a role of triggering on the 020° trending fault movement because of the forming of two ruptures normal to the each other.

Key words: Western Anatolia, Çay earthquakes, active tectonics, normal faulting

GİRİŞ

3 Şubat 2002 tarihinde, Afyon'un Çay ve Sultandağı ilçeleri civarında, birbirlerini kısa aralıklarla takip eden ve hemen hemen tüm Orta ve Batı Anadolu'da hissedilen, 6.2 (M_w) ve 6.0 (M_w) büyüklüğündeki depremler sonucunda 45 kişi hayatını kaybetmiş, bir çok yapı yıkılmış ya da ciddi hasar görmüştür. Depremlerin meydana geldiği bölgede en çok etkilenen yerleşim birimleri, doğuda Sultandağı ilçesinden başlamak üzere batıya doğru Eber, Çay, Maltepe ve Kadıköy'dür (Şekil 1). Çay depremlerinin odak çözüm mekanizmaları, oluş zamanı, derinlik ve büyüklük gibi parametrelerine ait veriler; DAD, Kandilli, HARWARD, ETHZ ve USGS gibi bir çok farklı deprem kayıt merkezi tarafından sunulmuştur. Kandilli Rasathanesi, Çay depreminin 38.581 K enlemi ile 31.248 D boylamında, 5 km derinlikte ve 6.0 (M_d) büyüklüğünde olduğunu belirtmektedir. USGS'den elde edilen verilerde ise, birbirini takip eden iki depremden söz edilmekte, ilk depremin yerel saatle 09 ¹¹'de, ikinci depremin ise 11 ²⁶'da gerçekleştiği belirtilmektedir. USGS verilerine göre bu depremlerden birincisinin ve asıl yıkıcı olan depremin dışmerkezi, 38.521 K enlemi ile 31.156 D boylamının kesiştiği Çay ilçesi civarına düşmektedir. Odak derinliği 22 km olan bu deprem, Çay ilçesi civarında en önemli yüzey kırıklarını oluşturmuştur. İkinci Çay depreminin enlemi 38.646 K, boylamı 30.819 D olup Çay'ın hemen batısına düşmekte ve 4 km'lik bir odak derinliği sunmaktadır. En büyük yüzey kırıklarının Çay ilçesi civarında olması, ilk ve büyük depremin dış merkezinin Çay ilçesine yakın bir noktaya düşmesi nedeniyle bu depremler Çay depremleri olarak isimlendirilmiştir.

Çay depremleri ile birlikte bölgenin neotektonik dönemden günümüze nasıl şekillendiği ilgi çekmiştir. Depremlerden hemen sonra, birçok yerbilimci (örneğin Başaktır vd., 2002; Demirtaş vd., 2002; Emre vd., 2002; Özden vd., 2002 ve Ulusay vd., 2002); yüzey kırıkları, hasar dağılımı ve zemin özellikleri gibi değişik konularda bölgede incelemelerde bulunmuşlardır. Bunun yanı sıra deprem bölgesini içerisine alan ve aynı zamanda İsparta açısının doğu kesiminin tektonik yapılanmasını ele alan bir çok çalışma bulunmak-

tadır (Boray vd., 1985; Şaroğlu vd., 1987; Barka vd., 1995; Koçyiğit vd., 2000).

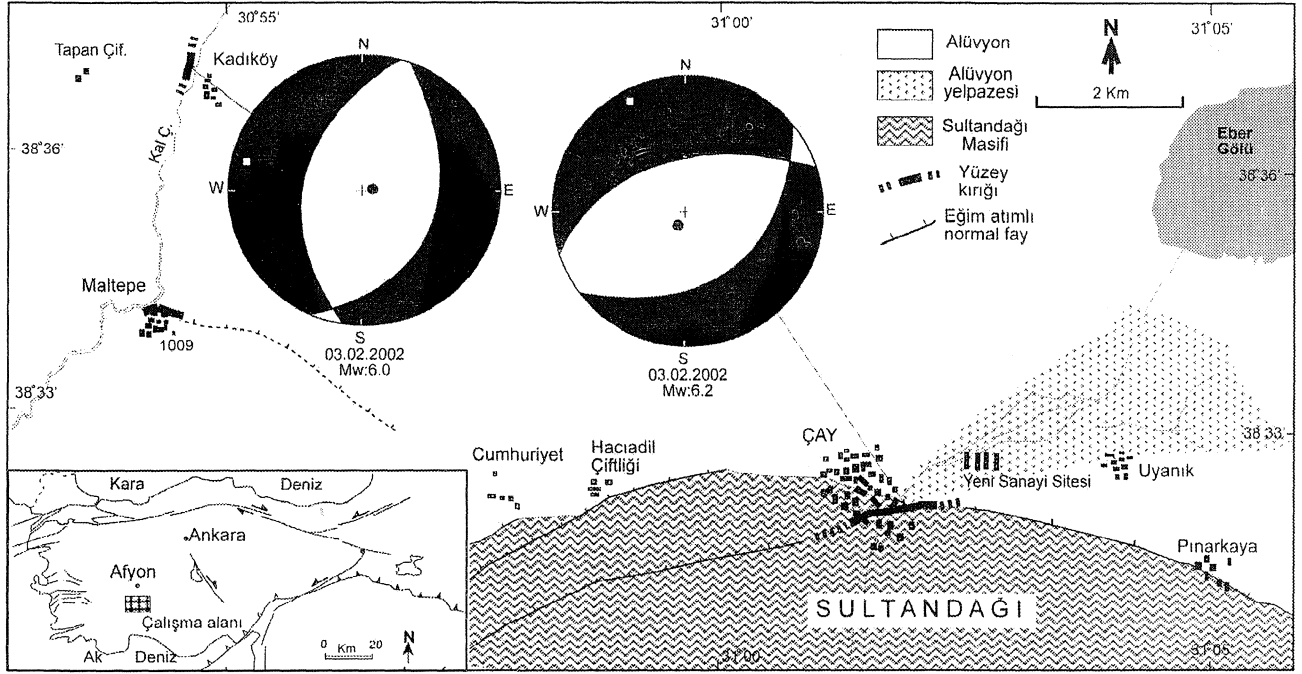
Bu çalışmada, Çay depremlerinde oluşan yüzey kırıklarının durumları, yer değiştirme miktarları ve depremleri oluşturan fayların oluşum mekanizmaları incelenmiştir.

BÖLGESEL JEOLJİK KONUM

Deprem bölgesi, Sultandağları'nın hemen kuzeydoğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Bu bölgedeki en önemli jeolojik yapılar; Sultandağı Masifi'nin oluşturduğu yükselti alanları ile bu yükseltileri kuzeyden ve doğudan sınırlayan, Eber ve Akşehir göllerini içinde barındıran yaklaşık olarak 4-20 km genişliğe ve 90 km uzunluğa sahip Akşehir havzası ya da Akşehir-Afyon Grabeni'dir (Koçyiğit vd., 2000). Yörede Sultandağı Masifi kayaları, Jura öncesi yaşa sahip, çoğunlukla mermer, kalkışist ve kuvarsitlerden oluşan metamorfik kayalarla temsil edilmektedir. Masifin kuzeydoğusunu oluşturan ova kesiminde ise Alt Miyosen ve sonrası yaşlı akarsu-göl çökelleri yüzeylemektedir (Koçyiğit vd., 2000). 1921 Argıthanı, 1946 Argıthanı-İlgın (Eyidoğan vd., 1991) ve 5,9 büyüklüğe sahip 15 Aralık 2000 Akşehir-İlgın depremleri grabende meydana gelen önemli depremleri oluşturmaktadır.

Bölgeye Orta-Batı Anadolu'nun tektoniği açısından bakıldığında; İsparta açısının doğu kesiminin neotektonik gelişimi konusunda farklı görüşlerin olduğu dikkat çekmektedir. Bu görüşlerin ilkinde, İsparta açısının doğu kenarının Sultandağı Bindirmesi ile sınırlandırıldığı ve İsparta açısının kuzey ve doğu kesiminde Pliyo-Kuvaterner'de D-B doğrultulu sıkışmanın varlığı savunulmaktadır (Boray vd., 1985; Şaroğlu vd., 1987; Barka vd., 1995). Buna karşın Koçyiğit vd. (2000) tarafından ortaya konan ikinci görüşte ise, İsparta açısının doğu kesiminin sıkışmalı bir tektonik rejimle şekillendiği ancak Neotektonik dönem yapılarının açılmalı bir tektonik rejim altında geliştiği ve Sultandağları'nın kuzey ve doğu sınırının günümüzde bir verrev atımlı normal fay karakterinde olduğu ifade edilmektedir (Şekil 1). Aynı araştırmacılar, bu faylar arasında şekillenen grabeni sınırlayan verrev atımlı Akşehir ve Karagöztepe fay zonlarının bölgedeki son açılma

3 ŞUBAT 2002 ÇAY (AFYON) DEPREMİ



Şekil 1. 3 Şubat 2002 Çay depremlerinin yüzev kırıklarının dağılımını ve USGS tarafından verilen deprem odak çözümlerini gösterir yalınlaştırılmış jeoloji haritası (1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritasından yalınlaştırılmış ve kısmen değiştirilmiştir).

Figure 1. Simplified geologic map showing the locations of surface ruptures and focal mechanism solutions obtained from USGS of the 03 February 2002 Çay earthquakes (simplified and partly modified from 1/500.000 scale geologic map of Turkey).

rejimini temsil ettiğini ve Pliyosen'den günümüze kadarda bu rejimin devam ettiğini ortaya koymuşlardır. Demirtaş vd. (2002), benzer şekilde bölgedeki en genç jeolojik yapıyı, Sultandağı fay sistemi (Sultandağı ve Üçkuyu fayları arasında) içerisinde gelişmiş bir yarı graben olarak yorumlamaktadırlar.

YÜZEY KIRIKLARI VE ATIM DAĞILIMLARI

3 Şubat 2002 tarihinde meydana gelen Çay depremleri sonrası, Sultandağı ilçesinden batıda Kadıköy'e kadar olan alan içerisinde, farklı doğrultularda ve uzunluklarda, üç farklı bölgede yüzev kırıkları gözlenmiştir (Şekil 1). İlk ve ana Çay depremi sonrası en büyük yüzev kırığı, Çay ilçesi civarında meydana gelmiştir. Bu yüzev kırığı Çay ilçe merkezi içerisinde yaklaşık 2 km kadar izlenebilmiştir (Şekil 1 ve 2a). Çay depremi yüzev kırığının en iyi gözlemlendiği Yaka mahallesindeki yol

üzerinde en büyük düşey yer değiştirme 35 cm olarak ölçülmüştür. Yüzev kırığı, bu bölgede yüzev leyan Sultandağı Masifi 'n in en üst kesimlerini oluşturan kıvrımlı kristalize kireçtaşı seviyeleri ile alüvyon yelpazesi çökellerinin dokanağı boyunca yer almaktadır (Şekil 2a).

Yüzev kırıklarının gözlemlendiği ikinci lokasyon Çay'ın batısında yer alan Maltepe köyüdür. Burada gözlenen yüzev kırıkları 080°-110° doğrultulu olup kırığın kuzeyindeki blok güneyine göre yaklaşık olarak 20 cm düşmüştür. Maltepe-Kadıköy yolunu kesen yüzev kırıkları daha batıda kollara ayrılarak bataklık alan içerisinde devam etmektedir. Maltepe köyü doğusunda 080° doğrultusunda izlenen bu kırıklar üzerinde küçük ölçekli düşey atımlar da saptanmıştır (Şekil 2b). Çay ve Maltepe yüzev kırıkları arasındaki ilişki sahada gözlenememekle birlikte aynı doğrultulu olmaları ana şokla aynı anda oluştuklarını göstermektedir.

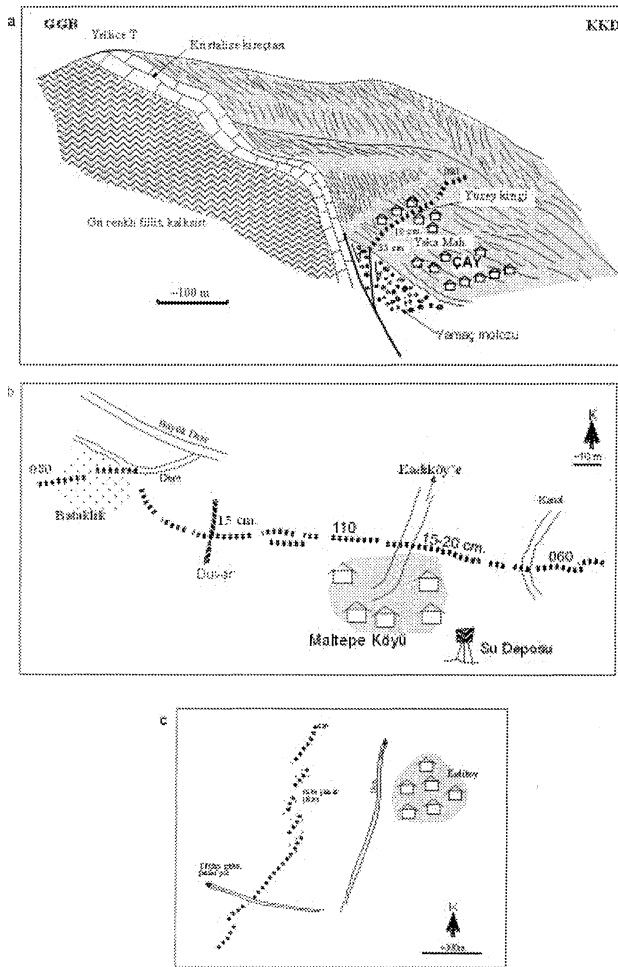
Ana Çay depreminden sonra meydana gelen ikinci depremin yüzey kırıkları, Çay ilçesinin kuzeybatısında yer alan Kadıköy'ün batısında saptanmıştır. Bu bölgede 020° doğrultusunda yaklaşık 1 km uzunluğunda gözlenen kırık üzerinde, doğudaki bloğun batıdakine göre 5-10 cm civarında düşey atımlar kazandığı gözlenmiştir. Bu yüzey kırığı Kadıköy yakın batısında, kuzey

ucunda birbirine paralel kırıklar şeklinde devam etmektedir (Şekil 2c).

İnceleme alanına oldukça yakın olan Dinar ve çevresini etkileyen 1 Ekim 1995 depreminde oluşan yüzey kırıklarının dağılımı ile Çay depremlerindekiler karşılaştırılabilir özellikler göstermektedirler. Dinar depreminde ana faya paralel olarak yaklaşık 10 km lik bir yüzey kırığı oluşmuştur (Barka ve Eyidoğan, 2000). Çay depreminde oluşan ana yüzey kırığı da benzer şekilde Sultandağı Fayı'na paralel olarak gelişmiştir. Dinar ve Çay depremleri eski bir kırığın yeniden hareketlenmesi şeklinde gelişmiş ve her iki depremde de ana fayın tavan bloğunda ve ana faya dike yakın doğrultuda yeni yüzey kırıkları oluşmuştur. Bu yüzey kırıkları Dinar'da yeni bir depremle ortaya çıkmazken, Çay civarında yeni bir depremle meydana gelmiştir.

HASAR DAĞILIMI

3 Şubat 2002 tarihinde Afyon'un güney-doğusunda yer alan Sultandağı ile Çay ilçeleri civarında oldukça geniş bir kesimi etkileyen bu depremlerde Eber, Çay ve Maltepe köylerinde hasar yoğunlaşmaktadır. Hasar dağılımı, Sultandağı Masifine ait temel kayaları ile sınırlı olan ova kesimindeki alüvyon zeminde ve kötü yapılaşmaya sahip yerleşim birimlerinde gözlenmektedir. Betonarme binalar açısından bakıldığında, en büyük hasarın Çay ilçesi yeni sanayi sitesinde olduğu belirlenmiştir. Bu sitenin yer aldığı bölgede meydana gelen hasar, sivilaşmaya neden olabilecek bir zemin özelliğine bağlı olmayıp, kullanılan malzemenin inşaat açısından yetersizliğinden ve yarı rezonans olayından kaynaklanmaktadır (Başokur vd., 2002). Kırsal alandaki yerleşim birimlerindeki yapılarda oluşan hasarlar ise birkaç farklı nedene bağlı olarak gelişmiştir. Bunların en önemlileri arasında; yapılarda kullanılan yöresel nitelikteki malzemelerin kalitesizliği, ova kesiminde yer ivmesinin daha büyük olması ve deprem sonrası oluşan yüzey kırıklarına olan uzaklık sayılabilir (Şekil 1).



Şekil 2. 3 Şubat 2002 Çay depremlerinde oluşan yüzey kırıklarının a) Çay ilçe merkezi, b) Maltepe köyü ve c) Kadıköy'deki dağılımlarını gösterir saha krokisi ve enine jeoloji kesitleri.

Figure 2. Plan view and cross-section showing the locations of surface breaks of the 03 February 2002 Çay earthquakes in a) Çay city center b) village of Maltepe and c) Kadıköy.

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

3 Şubat 2002 Çay depremleri, birbirinden bağımsız iki ana şokla meydana gelmiştir. Birinci şok, 080° doğrultusunda ve Akşehir fayına paralel olarak meydana gelen normal faylanmayı göstermektedir. Çay'ın 25 km doğusunda, Akşehir Gölü kuzey kenarında yer alan Tınas Tepe'de yapılan saha gözlemleri (Şekil 3 a ve b), aktif faylanmayı gösteren taze fay düzleminin varlığını kanıtlamaktadır. Bu fay düzlemi kristalize, breşik kireçtaşları ile bu birimden türemiş yarı pekişmiş yamaç molozlarının sınırında yer almaktadır. Bu düzlem üzerinde ölçülen fay-atım verilerinin Carey (1979) yöntemi ile değerlendirilmesi, KKB-GGD doğrultulu açılmayı vermektedir (Şekil 3 b). Çay ilçe merkezi içerisinde gözlenen yüzey kırığı da benzer açılma yönünü işaret etmektedir. USGS tarafından verilen deprem odak çözümlenmesi ve saha gözlemleri, Çay ilçesi doğusunda Akşehir Gölü'nün kuzey kenarındaki bölgede ana genişleme yönünün KKB-GGD olduğunu ortaya koymaktadır. Ana Çay şokundan sonra oluşan ikinci depremin odak çözümlenmesi ise KKD-GGB doğrultulu fay düzlemleri üzerinde BKB-DKD doğrultulu açılmayı vermektedir (Şekil 1). Saha gözlemleri, odak çözümlenmesinde belirtilen KKD-GGB doğrultulu yüzey kırıklarının Kadıköy dolayında varlığını göstermektedir. Birbirini izleyen ve yaklaşık olarak birbirine dik açılma yönleri veren depremlerin oluşumu, ilk depremden sonra Akşehir Fayı'nın tavan bloğundaki gerilme birikiminin ilk açılma yönüne paralel olan fayı tetiklemesi ile açıklanabilir (Şekil 4).

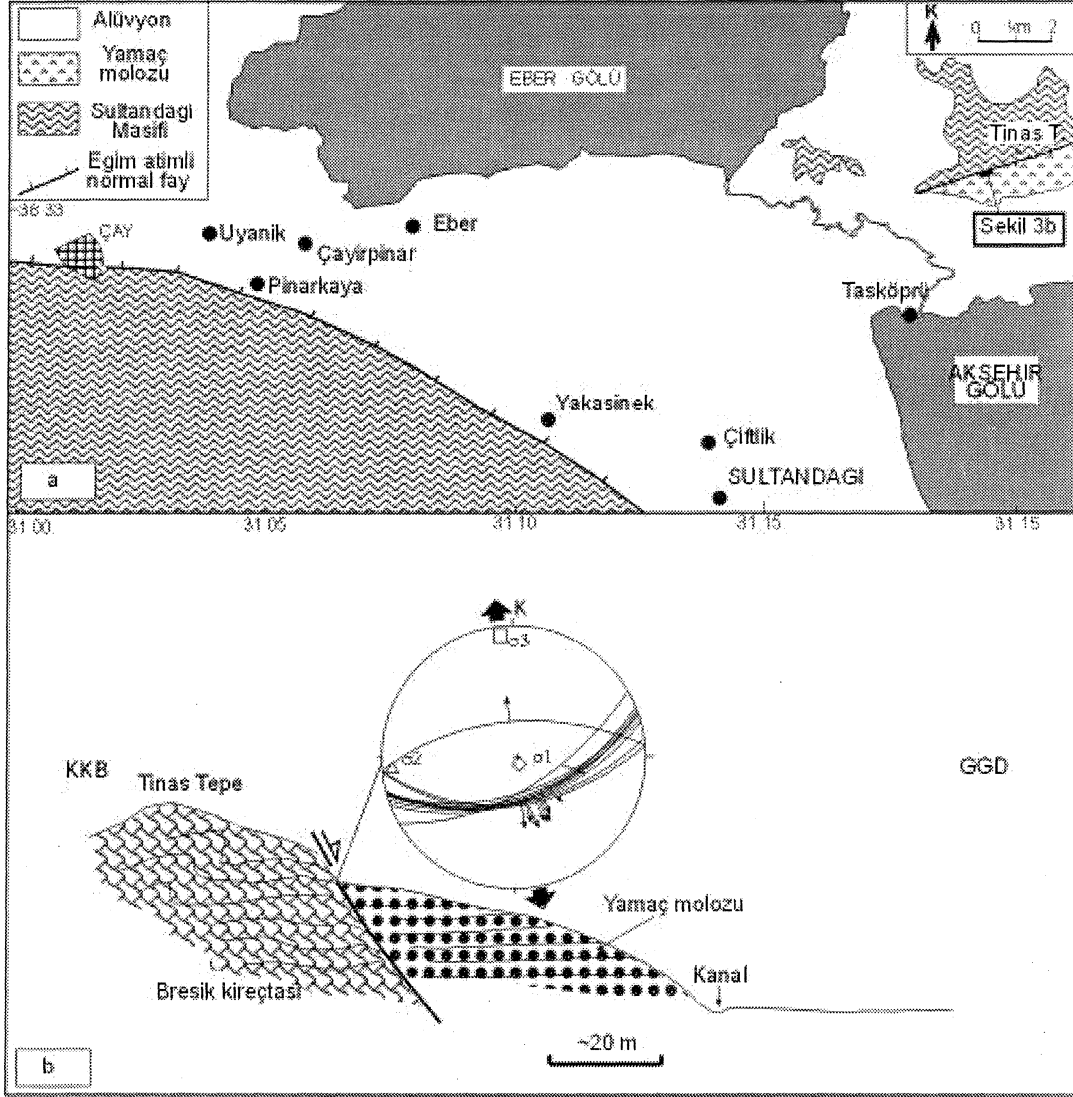
Yukarıda ayrıntılı olarak incelenen Çay depremlerinin odak çözümlenmeleri, yüzey kırıkları üzerindeki atım verileri ve taze fay düzlemlerinden elde edilen fay-atım verilerinin değerlendirilmesi, İsparta açısının doğu kenarında güncel gerilme durumunun açılma nitelikli olduğunu ortaya koymaktadır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, makalenin değerlendirilmesi aşamasında, bilimsel görüş ve katkılarından dolayı Prof Dr. Gürol SEYİTOĞLU 'na ve makaleyi inceleyen diğer hakemlere teşekkür ederler.

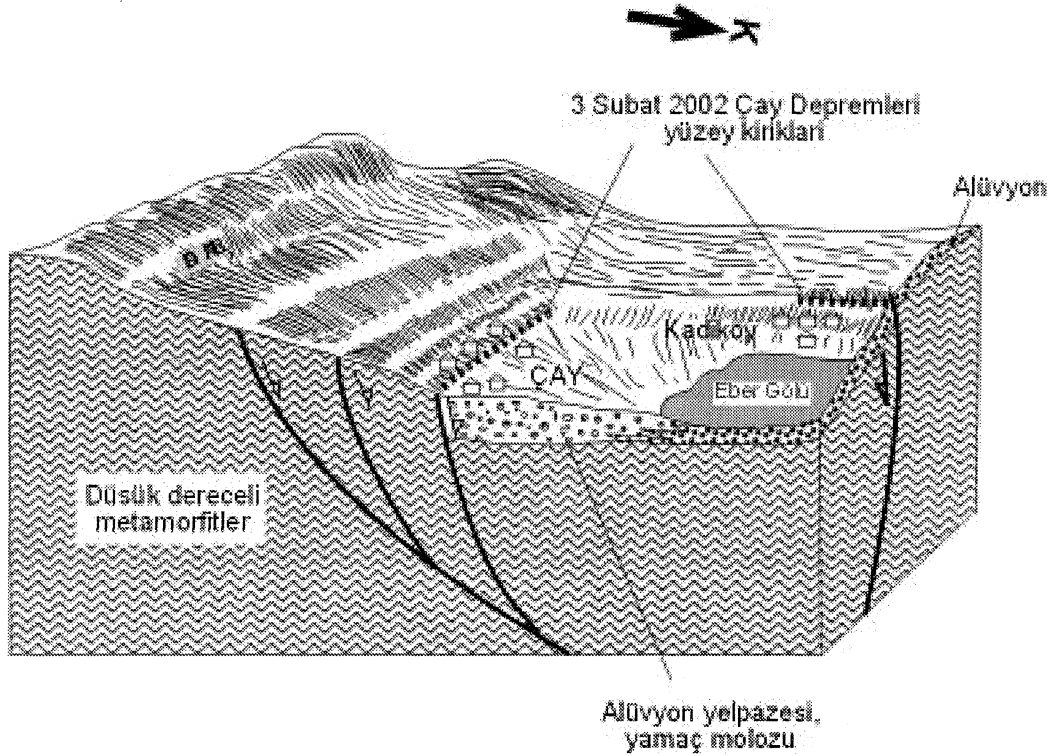
EXTENDED SUMMARY

The Sultandağ-Çay (Afyon) and surrounding regions were damaged by two destructive earthquakes, which occurred on February 3, 2002 at 9.¹¹ and 11.²⁶ respectively. They caused 45 deaths and damaged about hundred of buildings. Damage distributions which have been observed in Eber, Çay and Maltepe, were related to alluvial ground, bad constructions and collapsing of rural area buildings between the border of plains and Sultandağ Massif. According to USGS data, the first main event was located at Çay town (38.521 N - 31.156 E) which was determined have an Mw=6.2 magnitude and occurred at a depth of 22 km. The focal mechanism solution gives a normal faulting according to 080° trending surface rupture observed approximately 2 km long around Çay and Maltepe towns. The observed maximum vertical displacement is about 35 cm on the Çay segment of this surface rupture. This event was probably reactivated by an old normal fault approximately 080° trending which bordered Akşehir-Afyon graben on the east. According the USGS, the second event is located at the west of the Kadıköy village (38.646 N - 30.819 E) two hours later. It was occurred at 4 km depth having a magnitude of 6.0 (Mw). Approximately 1 km length surface rupture was created by this second shock and maximum vertical displacement measured on this 020° trending surface rupture is about 10 cm. We assume that the first event (Mw=6.2) probably played a role of triggering on the 020° trending normal fault along which the second event (Mw=6.0) was occurred.



Şekil 3 (a). Afyon ili Çay ve Sultandağı ilçeleri çevresinin yalınlaştırılmış jeoloji haritası (b)Çay'ın 25 km doğusunda yer alan Tinas tepede yüzeyleyen ve Akşehir gölünü kuzeyden sınırlayan fay düzleminin konumunu gösterir enine jeolojik kesit (Lokasyon için Şekil 3a'ya bakınız). Stereografik izdüşüm, fay düzlemi üzerinde ölçülen fay-atım verilerinin Carey (1979) yöntemiyle değerlendirilmesini göstermektedir (Wulff ağı alt yarımküre izdüşümü).

Figure 3 (a). Simplified geological map of the area around the Çay and Sultandağı towns (b)Cross-section showing a fault plane located 25 km east of Çay in Tinas hill bordering Akşehir Lake in the north (see Fig. 3 a for location). Stereo graphic plot showing determination of fault-slip data measured from this fault plane by Carey (1979) method (Wulff net lower hemisphere projection).



Şekil 4. 3 Şubat Çay depremlerinin birbirine dik iki fay üzerindeki kırılma ile oluşumunu gösterir şematik blok diyagram (Ölçeksiz).

Figure 4. Schematic block diagram showing the origin of Çay earthquakes on two faults normal to each other (not to scale).

DEĞİNİLEN KAYNAKLAR

Barka, A., Reilinger, R., Şaroğlu, F and Şengör, A.M.C., 1995, The İsparta Angle: Its importance in the neotectonics of the Eastern Mediterranean Region. International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, 9-14 October 1995, Proceedings, v.1, 3-17.

Başokur, A., Gökten, E., Varol, B., Seyitoğlu G., Uluggerli, E., Işık V., Candansayar, E., ve Tokgöz, E., 2002, Jeolojik ve jeofizik çalışmalar ışığında 03.02.2002 Çay (Afyon) depreminin mekanizması, hasarın nedenleri

ve bölgenin deprem etkinliği. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 56 sayfa, Ankara.

Boray, A., Şaroğlu, F., ve Emre, Ö., 1985, İsparta bölümlünün kuzey kesiminde Doğu-Batı daralma için bazı veriler. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 23, 9-20.

Carey, E., 1979, Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles. Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys. Paris, 21, 1, 57-66.

- Demirtaş, R., İravul, Y. ve Yaman, M., 2002, 3 Şubat 2002 Eber ve Çay depremleri ön raporu. Jeoloji Mühendisliği Haber Bülteni, 2002/1-2, 58-63.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F. ve Kuşçu, İ., 2002, 03 Şubat 2002 Sultandağı Depremi ön değerlendirme raporu, www.mta.go.tr/deprem/afyon.htm.
- Eyidoğan, H. ve Barka, A., 1996, October 1, 1995, Dinar earthquake, western Turkey, Terra Nova, 8,479-485.-
- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z. ve Değirmenci, 1991, Türkiye Büyük Depremleri Makro Sismik Rehberi (1900-1988). İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü yayını.
- Koçyiğit, A., Ünay, E. ve Saraç, G., 2000, Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west Central Anatolia and İsparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon Graben, Turkey. In: Bozkurt, E., Winchester, J.A. & Piper, J.D.A. (eds.) Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. Geological Society, London, Special Publications, 173,405-412.
- Özden, S., Kavak, K., Ş., Koçbulut, F., Över, S., ve Temiz, H., 2002, 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depremleri. 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri, sy. 218-219, Ankara.
- Şaroğlu, F., Boray, A. ve Emre, O., 1987, Active faults of Turkey. MTA raporu no. 8643, 394s (yayımlanmamış).
- Ulusay, R., Kasapoğlu, K., Dirik, K. ve Gökçeoğlu, C., 3 Şubat 2002 Sultandağı (Afyon) Depremi Saha İnceleme Raporu. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 44s.

Makale Geliş Tarihi : 06 Mayıs 2002
Kabul Tarihi : 08 Ağustos 2002
Received : May 06, 2002
Accepted : August 08, 2002

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Ağustos 2002 • Cilt 45 • Sayı 2
August 2002 • Volume 45 • Number 2

İÇİNDEKİLER CONTENTS

- BOZKAYA, G. ve GÖKÇE, A., Koru (Çanakkale) Kurşun-Çinko Yataklarının Ana, Eser ve Nadir Toprak Elementleri Jeokimyası İncelemeleri
Major, Trace and Rare Earth Elements Geochemistry of the Koru (Çanakkale) Lead-Zinc Deposits 1
- YURDAGÜL, A.G. ve SARAÇ, C., Adıyaman Yöresi Rezervuar Kayaçlarının Porozite ve Hidrokarbon Doymunluğu Değerlerinin Jeostatistiksel Simülasyonu
Geostatistical Simulation of Porosity and Hydrocarbon Saturation Values of Reservoir Rocks in Adıyaman Region 19
- KUŞCU, İ., YILMAZER, E. ve DEMİRELA, G., Sivas-Divriği Bölgesi Skarn Tipi Demir Oksit Yataklarına Fe-oksit-Cu-Au (Olympic Dam tipi) Perspektifinden Yeni Bir Bakış
A New Fe-Oxide-Cu-Au (Olympic Dam Type) Perspective To Skarn Type Iron Oxide Mineralization In Sivas-Divriği Region 33
- ÖZDEN, S., KAVAK, K.Ş., KOÇBULUT, F., ÖVER, S. ve TEMİZ, H., 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depremleri
February 3, 2002 Çay (Afyon) Earthquakes 49

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özlery:

GeoRef, Geotitles, Geoscience Documentation, Bibliography of Economic Geology, Geo Archive, Geo Abstract, Mineralogical Abstract, GEOBASE, BIOSIS ve ULAKNET veri tabanlarında yer almaktadır.

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:

GeoRef, Geotitles, Geoscience Documentation, Bibliography of Economic Geology, Geo Archive, Geo Abstract, Mineralogical Abstract, GEOBASE, BIOSIS and ULAKNET

Yazışma Adresi

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
PK. 464 Yenişehir, 06444 Ankara
Tel: (312) 434 36 01
Faks: (312) 434 23 88
E-Posta: jmo@jmo.org.tr
URL: www.jmo.org.tr

Correspondence Address

UCTEA Chamber of Geological Engineers of Turkey
PO Box 464, Yenişehir, TR-06444 Ankara
Phone: + 90 312 434 36 01
Fax: + 90 312 434 23 88
E-Mail: jmo@jmo.org.tr
URL: www.jmo.org.tr