



Çakmakkaya ve Damarköy (Murgul - Artvin) Bakır Yataklarında Sıvı Kapanımı, Oksijen ve Hidrojen İzotopları Jeokimyası İncelemeleri ve Yatakların Oluşumu Açısından Düşündürdükleri

Fluid Inclusion, Oxygen and Hydrogen Isotope Studies of the Çakmakkaya and Damarköy (Murgul - Artvin) Copper Deposits and their Significances on the Genesis of these Deposits,

Ahmet GÖKÇE, Cumhuriyet üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas
(e-posta: gokce@curnhuriyet.edu.tr)

Öz

Murgul (Artvin) Yöresi' nde bulunan Çakmakkaya ve Damarköy bakır yatakları, Doğu Karadeniz Bölgesi' nde yaygın olarak gözlenen ve Kuroko tipi yataklar olarak tanımlanan volkano-sedimanter yan kayaçlı sülfid yataklarının tipik örneklerindedirler.

Çakmakkaya ve Damarköy yatakları çevresinde yüzeyleyen kayaç türleri alttan üste doğru; Andezitik lav, Breşleşmiş dasit tüf, Örtü tüfü ve Porfiri dasit şeklinde ayrılarak haritalanmışlardır. Bu kayaç türlerinin üzerinde yer yer oldukça kaim kolüvyon örtüsü bulunmaktadır. Bu yataklarda stockwork tipi cevherleşme hakim olup, Breşleşmiş dasit tüf birimi içinde gelişmiştir. Çakmakkaya yatağında, stockwork tipi cevher zonu üst ve kenar kesimlerinde ince bir stratiform cevher zonu ile mercek şekilli bir jips zonu gözlenmekte ve üzerleri tavan tüfü ile örtülmektedir. Damarköy yatağında ise yalnızca stockwork tipi cevher zonu gözlenmekte, stratiform cevher zonu ve jips oluşumları gözlenmemektedir.

Stockwork tipi cevher damarcıklarından alınan örneklerde ana cevher minerali olarak; pirit ve kalkopirit, eser miktarlarda sfalerit, galenit, tetrahetrit ve markasit, gang minerali olarak ise yalnızca kuvars gözlenmiştir. Özellikle kılcal çatlakların kesişim yerlerinde sülfürlü minerallerin zenginleşmesi artmaktadır.

Stratiform cevher zonundan alınan örneklerde ise kırıntılı doku hakim olup, stockwork tipi cevherleşmeden veya su içine boşalan çözümlerden itibaren çökelen cevher minerallerinin, ya sonraki patlamalar etkisiyle veya su altı akıntıları ve dalga hareketleri etkisiyle kırıntılı hale gelerek su tabanında tekrar çökdükleri anlaşılmaktadır. Cevher kırıntılarının şekli ve büyüklükleri oldukça değişken olup, stockwork tipi cevherleşmede gözlenen minerallerini içermektedirler.

Sıvı kapanım incelemeleri; hidrotermal çözümlerin bileşiminde NaCl, CaCl₂ ve MgCl₂ gibi tuzların hakim olduğunu, çözümlerin tuzluluğunun cevherleşmelerin oluşumu sırasında daha yüksek olduğunu, son evrelere doğru kısmen azaldığını, cevherleşme sırasında hidrotermal çözümlerin sıcaklıklarının 254 °C ye kadar yükseldiğini, ancak son evrelere doğru 110.2 °C ye kadar düştüğünü göstermektedir.

Oksijen ve hidrojen izotopları jeokimyası incelemeleri ile belirlenen 6¹⁸O ve 5 D değerleri; hidrotermal çözümlerdeki suyun büyük çoğunluğunun meteorik kökenli, az bir kısmının ise denizel kökenli olabileğine işaret etmektedir.

Yukarıdaki bulgular ışığında; yöredeki cevherleşmelerin volkano-sedimanter istifin oluşumu sırasında, oluşum ortamının kenarlarında bulunan karalardan derinlere sızarak ısınmış meteorik suların, geri yükselirken volkano-sedimanter istif içindeki volkanik kayaçlardan metal ve kükürt iyonlarını çözdükleri ve deniz tabanının hemen altında (stockwork tipi cevherleşme) veya deniz suyu içine boşaldığı yerlerde (stratiform cevher zonu) çökeltirek cevherleşmeleri oluşturdukları ve çökeltme sırasında, meteorik suların deniz suyu ile karıştığı ve/veya etkileştiği sonucu çıkarılmaktadır.

Anahtar Kelimeler; bakır, kararlı izotoplar, massif sülfid, Murgul, sıvı kapanım

Abstract

Çakmakkaya and Damarköy copper deposits in Murgul (Artvin) area are the typical examples of Kuroko type volcanogenic sulfide deposits that widely occur in the Eastern Pontide region of Turkey.

Çakmakkaya and Damarköy deposits are occurred in volcanic rocks in an upward sequence consist of andezitik lava, brecciated dacite tuff, covering tuff and porphyry dacite. Stockwork ores are dominant in the deposits and are hosted by brecciated dacite tuff unit. A thin stratiform ore zone and a gypsum lens are occurred on the stockwork ore in the Çakmakkaya deposit, while Damarköy deposit contains only stockwork ore.

Stockwork ore veinlets contain mainly pyrite and chalcopyrite, with minor amount of sphalerite, galena, tetrahetrite and marcasite. Quartz is the only gangue mineral. Enrichment of sulfides is largely controlled by microfracturing of the dacitic tuffs. High contents occur especially at the intersections of the fractures.

Stratiform ore zone occurred within the Çakmakkaya deposit contains ore clasts which indicative of fragmentation and resedimentation of sulfide minerals during or after discharge of hydrothermal fluids onto the sea floor. Ore clasts contain the same minerals similar to that of stockwork ores.

Fluid inclusion studies indicate that the ore forming fluids contain NaCl, CaCl₂ and MgCl₂ their salinities are high during the deposition of the ore minerals and decreased toward the later episodes of mineralisation, temperature of the fluids reached up to 254.0 °C, but decreased down to 110.2 °C during the later episodes of mineralisation.

Oxygen and hydrogen isotope studies indicate that the most of the water in hydrothermal solutions are meteoric origine, however there seem to be a small amount of sea water mixing and/or interaction.

As a conclusion; it may be assumed that meteoric water, circulating through the underlying basement of the volcano-sedimentary rocks, has acted as mineralising fluid, and leached the metals (Fe, Cu, Zn, Pb etc.) and sulfur from the surrounding volcanic rocks and precipitated along the fractures within the brecciated dacitic host rocks and at the surface of the sea floor.

Key Words: copper, stable isotopes, massive sulfid, Murgul, fluid inclusion

GİRİŞ

Murgul (Artvin) Yöresi' nde bulunan Çakmakçaya ve Damarköy bakır yatakları, Doğu Karadeniz Bölgesi' nde yaygın olarak gözlenen ve Kuroko tipi yataklar olarak tanımlanan volkanosedimanter yan kayaçlı sülfid yataklarının tipik örneklerindendirler (Şekil 1).

Yöredeki yataklar üzerinde ilk jeolojik incelemeler, geçen yüzyılın başlarında başlamış olup, Oswald (1912) ve Kossmat (1910) yörede ilk jeolojik incelemeleri yapan araştırmacılar olarak belirlenmişlerdir (Pejatoviç, 1979). Ancak, cevherleşmenin yapısı, rezerv ve tenor durumu hakkında ilk incelemelerin Zimmer (1938) tarafından yapıldığı söylenebilir. Daha sonraki yıllarda, Kovenko (1942), Kleinsorge (1946), Kahrer (1958), Zankl (1959), Pollak (1961 -1962) ve Kraeff (1963) gibi araştırmacılar yatakları incelemeye devam etmişlerdir. Bunlardan Kahrer (1958)' in yörede ilk petrografik ve cevher mikroskopisi incelemelerini yaptığı ve son üç araştırmada yöredeki yatakların; yan kayaçlarla eş zamanlı olarak, eksalatif sedimanter süreçlerle oluştuğu şeklinde görüşler ileri sürüldüğü görülmektedir.

Yöredeki yataklarla ilgili ayrıntılı çalışmaların, 1969 - 1979 yılları arasında arttığı ve MTA tarafından sondajlı arama çalışmalarına başlandığı, yatakların oluşum süreçlerinin tartışılması yanında, rezerv ve tenor durumlarının da belirlenmeye çalışıldığı görülmektedir (Buser, 1970; Sawa ve Teşrekli, 1970; Altun, 1976; Mado, 1972; Buser ve Cvetic, 1973; Pejatoviç, 1971 ve 1979 gibi). Bu araştırmacılar özellikle, Buser ve Cvetic (1973), yataklar çevresinin litostratigrafisini ve tektoniğini ayrıntılı bir şekilde incelemiş olup, yatakların subvolkanik hidrotermal yataklar olduğunu belirtmektedir. Diğer araştırmacılar da benzer görüşler ileri sürmüşlerdir.

Son yıllarda Özgür ve arkadaşları tarafından bir dizi detaylı petrografi, eser element jeokimyası, alterasyon ve cevher mineralleri üzerinde kristal kimyası incelemeleri yapılmış olup, bulguları yatakların oluşumu ve kökeni açısından değerlendirilmeye çalışılmıştır (Özgür, 1985 ve 1987; Özgür ve Schneider, 1988; Schneider ve diğ., 1988; Willgallis ve diğ., 1989; Özgür ve Palacios, 1990 gibi). Bu çalışmalarda özet olarak; yöredeki

yatakların saçmımlı, stockworkumsu ve küçük merceksi tipte cevherleşmeler içerdiği, yan kay açlarda fillik / arjilik (erken evre) ve silisli (geç evre) zonlar olmak üzere iki farklı alterasyon zonunun geliştiği, alterasyon zonlarında Ti, Mn ve NTE grubu elementlerin azaldığı, F, Cu ve Au miktarlarının arttığı ve yatakların Üst Kretase yaşlı yay volkanizması ile ilişkili olarak, adacıklar üzerinde, yarı karasal koşullarda oluştuğu belirtilmektedir.

Çağatay (1993) yataklar çevresinde, içten dışa doğru, silisleşme, illit-mika oluşumu ve kaolinleşme şeklinde farklı bileşimlerde alterasyon zonlarının gözlemlendiğini ve cevherleşmelerin ada yay volkanizması ile ilgili olarak açılma evrelerinde (extensional phase) oluştuğunu belirtmektedir.

Son olarak; Gökçe (1992), Çağatay ve Eastoe (1995) ve Gökçe ve Spiro (2000) gibi araştırmacılar bölge genelindeki yatakları kapsayacak şekilde yaptıkları kükürt izotopları jeokimyası incelemelerinde yöredeki yatakların da çeşitli jeolojik özelliklerine ve kükürt izotopları bileşimine değinmişlerdir.

Gökçe (1992) tarafından başlatılan ve Gökçe ve Spiro (2000) tarafından geliştirilen kükürt izotopları jeokimyası incelemesi sırasında; yan kayaçlardaki ve değişik cevherleşme tiplerindeki pirit ve kalkopiritlere ait 8^{34}S değerlerinin birbirlerine ve sifra yakınlıkları dikkate alınarak, bileşimlerdeki kükürtün magmatik kökenli olabileceği, jips kütlesinde belirlenen 5^{34}S değerinin yatakların oluştuğu dönemdeki deniz suyu içinde çözülmesi sülfatın izotopsal bileşimini yansıttığı, baritlerdeki daha yüksek 8^{34}S değerlerinin, ya yerel olarak $34\text{S}'$ ce zenginleşme sonucu veya $32\text{S}'$ ce zengin hafif kısımların sülfürlü minerallerce kullanılması sonucu geliştiği düşünülmüştür.

Gökçe (1992) ile Gökçe ve Spiro (2000), sülfürlü minerallere ait değerlerin birbirlerine ve sifra çok yakın oluşlarını dikkate alarak magmatik ağırlıklı bir köken üzerinde dururken, Çağatay ve Eastoe (1995), barit değerlerindeki yükseklik ve bölgedeki diğer bazı yataklarda bulunan sülfürlü minerallerde gözledikleri $+6.0$ o/oo' a varan pozitif değerler nedeniyle, deniz suyu içinde çözülmesi sülfat ağırlıklı bir köken önermektedirler.

Bu yayında, yöredeki Çakmakçaya ve Damarköy yatakları üzerinde, 1989 yılından bu yana yazar tarafından yürütülmekte olan araştır-

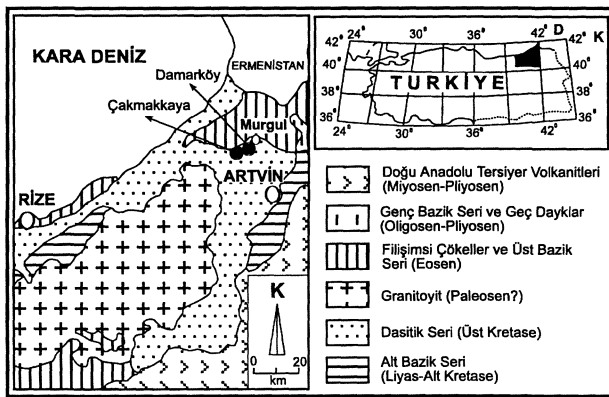
ÇAKMAKKAYA VE DAMARKÖY (MURGUL - ARTVİN) BAKIR YATAKLARINDA SIVI KAPANIMI

maların sonuçlarından bir kısmı sunulmakta olup, yataklarda gözlenen; yataklanma şekli ve yapısal özellikleri, mineralojik bileşim ve dokusal özellikler konusunda özet bilgiler verildikten sonra, cevherleşmeleri oluşturan hidrotermal çözeltilerdeki suyun kökenini belirlemeye yönelik olarak yapılmış sıvı kapammları, oksijen ve hidrojen izotopları jeokimyası incelemelerinin sonuçları tartışılmakta ve yatakların oluşum koşulları ve kökeni hakkında yaklaşımlarda bulunulmaya çalışılmaktadır.

YEREL JEOLJİ VE CEVHERLEŞME

İnceleme alanının içinde bulunduğu Doğu Karadeniz Bölgesi, Pontidler Tektonik Birliği içinde yer almakta olup, bölgede yüzeyleyen kayalar genel olarak; Mesozoyik Öncesi Temel, Liyas - Eosen yaşlı volkano-sedimanter kayalar, Tersiyer yaşlı granitoyitler ve Genç Bazik Seri ve Geç Dayklar olarak tanımlanan Oligosen - Kuaterner yaşlı volkano-sedimanter kayalar şeklinde ayrılmaktadırlar (Şekil 1). Bunlardan, Liyas - Eosen yaşlı volkano-sedimanter kayalar bölgede geniş yayılım göstermekte ve cevherleşme açısından önemli olup, Alt Bazik Seri, Dasitik Seri, Filişimsi Çökeller ve Üst Bazik Seri şeklinde alt birimlere ayrılmaktadırlar.

Genel olarak, bölgenin bir ada yayı bölgesi olduğu kabul edilmektedir (Tokel, 1973 ve 1991; Pejatovic, 1979; Akıncı, 1980 ve 1985; Bektaş, 1983; Bektaş ve diğ., 1984 gibi). Ancak, bölgenin



Şekil 1: İncelenen yatakların coğrafik konum ve bölgesel jeoloji haritası (Bölgesel jeoloji haritası; Akıncı, 1985' ten sadeleştirilmiştir)

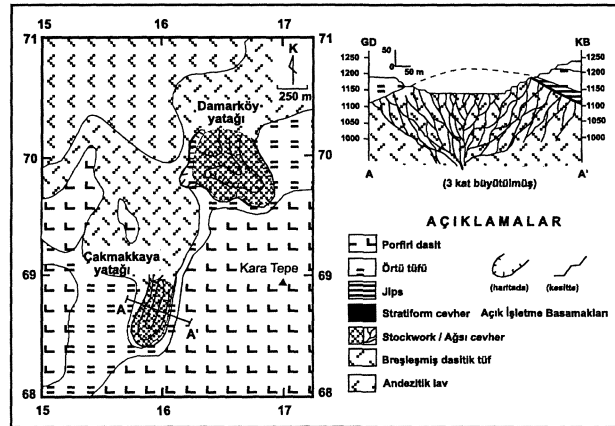
Figure 1: Location and regional geology map of the investigated deposits (Regional geology map is simplified after; Akıncı, 1985)

jeolojik ve metalojenik özellikleri, asıl yay bölgelerinden daha çok yaylarla ilişkili (yay gerisi) rift bölgelerine özgü özelliklere benzerlik göstermektedir (yazarın kendi düşüncesi).

Bölgedeki Kuroko tipi cevherleşmeler, Dasitik Seri içinde, ileri derecede breşleşmiş tüflü kesimlerde gözlenmektedirler. Cevherleşmelerin taban kesimlerinde stockwork tipi, üst kesimlerinde ise masif veya bantlı yapıli stratiform tip cevherleşmeler gelişmiştir. Cevher zonlarının kalınlığı ve büyüklüğü yataktan yatağa farklılıklar göstermektedir.

Çakmakkaya ve Damarköy yatakları çevresinde yüzeyleyen kayaç türleri alttan üste doğru; Andezitik lav, Breşleşmiş dasit tuf, Örtü tüfü ve Porfiri dasit şeklinde ayrılarak haritalanmışlardır (Şekil 2). Bu kayaç türlerinin üzerinde yer yer oldukça kaim kolüvyon örtüsü bulunmaktadır. Bu yataklarda stockwork tipi cevherleşme hakim olup, Breşleşmiş dasit tuf birimi içinde gelişmiştir. Çakmakkaya yatağında, stockwork tipi cevher zonunun üst ve kenar kesimlerinde ince bir stratiform cevher zonu ile mercək şekilli bir jips zonu gözlenmekte ve üzerleri tavan tüfü ile örtülmektedir. Damarköy yatağında ise yalnızca stockwork tipi cevher zonu gözlenmekte, stratiform cevher zonu ve jips oluşumları gözlenmemektedir.

Stockwork tipi cevherleşmede, damarcıkların kalınlıkları 1 mm ile 15 cm arasında değişmekte olup, kalınlıkları ve tenörleri iç kısımlara doğru artmaktadır. Damarcıklarda yer yer kuvars, yer yer ise kalkopirit ve piritten oluşan sülfürlü mineraller



Şekil 2: Çakmakkaya ve Damarköy yatakları yakın çevresinin basitleştirilmiş jeoloji haritası ve kesiti

Figure 2: Geology map and cross section of the closed surrounding area of the Çakmakkaya and Damarköy Deposits.

hakim olmaktadır.

Stratiform cevher zorunda yer yer masif, yer yer ise bantlı yapı hakim olup, kalınlığı 20 cm' ye kadar çıkabilmektedir. Jips merceğinin kalınlığı 10 m kadardır.

Örtü tüfü, ince bantlı, alt seviyelerinde gri, üst seviyelerinde kırmızı renkli olup, mor tuf olarak ta adlanmaktadır. Bu birim içinde öz şekilli ve iri kristaller halinde piritler yaygındır. Üzerine, kalınlığı oldukça fazla, Porfiri dasit birimi gelmektedir.

Stockwork tipi cevherleşmenin yan kayacını oluşturan, Breşleşmiş dasit tuf biriminden alınan örneklerde saçmımlar halinde, küçük boyutlu, yarı öz şekilli, yer yer parçalanmış pirit kristalleri gözlenmektedir. Bu örneklerde piritten başka sülfürlü mineral gözlenmemiştir.

Stockwork tipi cevher damarcıklarından alınan örneklerde ana cevher minerali olarak; pirit ve kalkopirit, eser miktarlarda sfalerit, galenit tetrahelit ve markasit, gang minerali olarak ise yalnızca kuvars gözlenmiştir. Özellikle kılcal çatlakların keşim yerlerinde sülfürlü minerallerin zenginleşmesi artmaktadır.

Stratiform cevher zonundan alınan örneklerde ise kırıntılı doku hakim olup, stockwork tipi

cevherleşmeden veya su içine boşalan çözeltilerden itibaren çökelen cevher minerallerinin, ya sonraki patlamalar etkisiyle veya su altı akıntıları ve dalga hareketleri etkisiyle kırıntılı hale gelerek su tabanında tekrar çökeldikleri anlaşılmaktadır. Cevher kırıntılarının şekli ve büyüklükleri oldukça değişken olup, stockwork tipi cevherleşmede gözlenen mineralleri içermektedirler. Benzer Özellikler Japonya' daki Kuroko yataklarında (Kamikata yatağı; Lee ve diğ., 1974; Franklin ve diğ., 1981) ve bölgedeki diğer yataklarda da gözlenmekte (Gökçe, 1992; Çağatay ve Eastoe, 1995; Gökçe ve Spiro, 2000) olup, cevher oluşumunda geç evreleri temsil ettiği düşünülmektedir.

Örtü tüfü biriminden alınan örneklerde ise saçmımlar halinde, iri boyutlu ve öz şekilli pirit kristalleri gözlenmiştir.

SIVI KAPANIM İNCELEMELERİ

Örnek Alımı ve Yöntem

Sıvı kapanım incelemeleri, stockwork tipi cevher damarcıklarından alınan örneklerdeki kuvars kristalleri üzerinde yapılmıştır. Örneklerden hazırlanan iki yüzü parlatılmış özel kesitler, Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği

Çizelge 1. Çakmakaya ve Damarköy bakır yataklarından alınmış örneklerde sıvı kapanımların mikrottermometrik özellikleri

Table 1: Microthermometric characteristics of the fluid inclusions within the samples of Çakmakaya and Damarköy copper Deposits

Örnek No	Kapanım Tipi	İlk Erime Sıcaklığı (°C)			Son Buz Erime Sıcaklığı (°C)			Homojenleşme Sıcaklığı (°C)		
		Aralık	n	Ortalama	Aralık	n	Ortalama	Aralık	n	Ortalama
MÇ-34	P	-54.0 - -52.0	6	-52.9	-13.4 - -11.0	6	-12.4	178.8 - 210.9	20	193.3
"	HS	-54.6 - -52.0	10	-53.0	-3.1 - -1.1	10	- 2.3	121.6 - 147.6	10	133.3
MÇ-36	P	-55.0 - -54.0	12	-54.4	-10.0 - -7.8	12	- 8.3	219.8 - 238.0	12	230.6
MÇ-40	HS	-54.9 - -53.0	8	-54.2	- 7.4 - -4.5	8	- 6.5	112.2 - 154.2	8	135.3
MÇ-42	P	-54.5 - -52.5	9	-53.9	-10.0 - -6.5	9	- 7.8	214.6 - 236.4	9	226.2
"	HS	-55.0 - -52.3	8	-53.4	- 4.4 - -0.7	8	- 2.3	124.6 - 169.1	11	137.8
MÇ-43	P	-54.8 - -54.1	11	-54.4	-14.1 - -7.3	11	- 9.4	234.6 - 254.0	11	245.6
MÇ-44	P	-55.0 - -51.9	9	-53.3	-13.0 - -11.5	9	- 12.5	237.4 - 250.2	8	247.3
MD-31	P	-54.5 - -53.7	8	-54.2	- 7.5 - -4.1	9	- 6.3	211.4 - 214.0	7	212.8
MD-35	P	-55.0 - -54.2	11	-54.5	- 6.6 - -3.9	11	- 4.8	202.6 - 234.8	10	218.1
MD-37	P	-54.8 - -54.6	5	-54.7	-12.5 - -10.2	5	- 11.3	197.3 - 210.0	5	203.9
"	HS	-54.7 - -53.1	7	-54.1	- 5.4 - -1.5	7	- 3.3	110.2 - 123.6	5	117.9
MD-38	P	-54.0 - -52.0	5	-53.2	- 12.0 - -8.0	5	- 9.2	208.5 - 220.8	5	215.0

MÇ- : Çakmakaya yatağından alınmış örnekler
MD- : Damarköy yatağından alınmış örnekler

P : Birincil kapanımlar
HS : Bölünmüş ikincil kapanımlar

ÇAKMAKKAYA VE DAMARKÖY (MURGUL ~ ARTVİN) BAKIR YATAKLARINDA SIVI KAPANIMI

Bölümü' nde bulunan ve NIKON Labophot-pol tipi mikroskoplara monte edilmiş, LINKAM THMS-600 ve TMS-92 tipi ısıtma - soğutma sisteminde incelenmiştir. İncelemeler sırasında; ilk erime sıcaklığı (TFM), son buz erime sıcaklığı (T_{ICE}) ve homojenleşme sıcaklığı (TH) ölçümleri yapılmıştır. Dondurma işlemlerinde sıvı azot gazı kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları Çizelge 1' de toplu halde görülmekte olup, tekrarlanmış analiz sonuçlarından sıcaklık ölçümlerinde hata payının ± 0.5 °C den daha az olduğu gözlenmiştir.

Kapanımların Özellikleri

Kuars kristalleri içindeki sıvı kapanımları, çok küçük boyutlu (10-50 jım), düzensiz şekilli ve iki fazlı (%85-90 sıvı; % 10-15 gaz) kapanımlar şeklindedirler. Birincil kapanımlar daha yaygın olup, mikro çatlaklar boyunca, bölünmüş ikincil kapanımlar da gelişmiştir.

İlk Erime Sıcaklığı (T_{FM}) Ölçümleri

Birincil ve ikincil kapamlara ait T_{FM} değerleri birbirlerine yakın olup, -55.0 ile 51.9 °C arasında değişmektedir (ort. -53,4 °C). Bu sıcaklık değerleri H₂O-NaCl-CaCl₂ ve H₂O-MgCl₂-CaCl₂ sistemlerinin ötektik sıcaklıklarına (birincisi; -55.0 veya -52.0, ikincisi; -52.2 °C; Shepherd ve diğ., 1985) çok yakın olup, hidrotermal çözeltiler içinde bu tuzların hakim olduğunu belirtmektedir. Değerler arasında farklılığın az oluşu ve birincil ve ikincil kapamlara ait değerlerin birbirine yakınlığı, hidrotermal çözeltilerin bileşiminin cevherleşme boyunca homojen olduğunu göstermektedir. Çözelti içinde CaCl₂ ve MgCl₂ gibi tuzların bulunması hidrotermal çözeltilerin deniz suyu kökenli olduklarına veya denizel çökeller içinde sirkülasyon yaptıklarına işaret sayılabilir.

Son Buz Erime Sıcaklığı (T_{ICE}) Ölçümleri

TICE değerleri birincil kapanımlar için -14,1 ile -6.5 °C arasında, ikincil kapanımlar için ise -7.4 ile -1.1 °C arasında değişmektedir. Bodnar (1993) tarafından geliştirilmiş hesaplama formülü yardımıyla; birincil kapanımlar için tuzluluğun % 10.2 ile 18.7 arasında (ortalama; %12.5), ikincil kapanımlar için ise % 1.7 ile 11.5 (ortalama % 5,7) NaCl eşdeğeri olduğu hesaplanmıştır (Şekil 3). Bu sonuçlardan çözeltilerin tuzluluğunun, birincil kapanımların ve dolayısıyla cevherleşmelerin

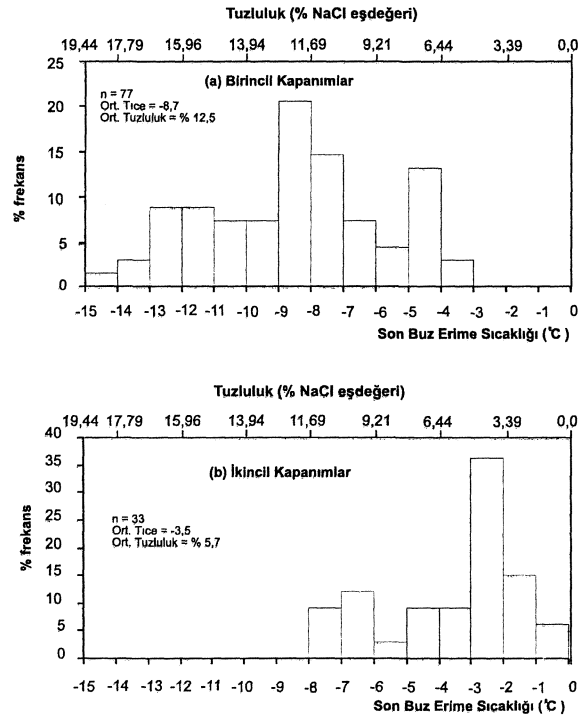
oluşumu sırasında daha yüksek olduğu, son evrelere doğru, ikincil kapanımların oluşumu sırasında ise kısmen azaldığı söylenebilir.

Homojenleşme Sıcaklığı (T_H) Ölçümleri

Basınç düzeltmesi yapılamamış T_H değerleri, birincil kapanımlarda 178.8 ile 254 °C arasında, ikincil kapanımlar için ise 110,2 ile 154.2 °C arasında değişmektedir (Şekil 4). Bu değerler, cevherleşme sırasında hidrotermal çözeltilerin sıcaklıklarının 254 °C ye kadar yükseldiğini, ancak son evrelere doğru 110.2 °C ye kadar düştüğünü göstermektedir. Japonya' daki Kuroko yataklarında da 235 ile 280 °C arasında değişen benzer değerler ölçülmüştür (Marutani ve Takenouchi, 1978).

Tuzluluk ve Homojenleşme Sıcaklığı İlişkisi

Kapanımlarda tuzluluk ve homojenleşme sıcaklığı ilişkisi incelendiğinde birincil ve ikincil kapanımların belirgin bir şekilde birbirlerinden



Şekil 3: Birincil (a) ve ikincil (b) kapanımlarda son buz erime sıcaklığı ve tuzluluk değerlerinin % frekans dağılım diyagramları

Figure 3: % frequency distribution diagrams of the last ice melting and salinity values of the primary (a) and secondary (b) fluid inclusions

ayrıldıkları, birincil kapanımların sıcaklığı ve tuzluluğu yüksek, ikincil kapanımların ise sıcaklığı ve tuzluluğu düşük topluluklar oluşturdukları görülmektedir (Şekil 5). Bu verilerden; hidrotermal çözeltilerin cevherleşmelerin oluşumu sırasında ve geç evrelerde sıcaklık ve tuzluluk bakımından farklı karakterlerde oldukları anlaşılmaktadır.

OKSİJEN VE HİDROJEN İZOTOPLARI JEOKİMYASI İNCELEMELERİ

Örnekleme ve Analiz Yöntemleri

Oksijen ve hidrojen izotopları jeokimyası incelemeleri, stockwork tipi cevher damarcıklarından alınmış örnekler arasından, sıvı kapanım incelemelerinin sonuçları da dikkate alınarak seçilmiş örneklerden ayrılmış kuvars kristalleri üzerinde yapılmıştır. Örnekler kırılıp öğütüldükten sonra değişik tane boyu fraksiyonlarına ayrılmış, serbestleşmenin en iyi olduğu tane boyu fraksiyonu iyice yıkandıktan sonra stereo mikroskop altında elle seçme ve ağır sıvı yöntemleri ile kuvars taneleri ayrılmıştır.

Örnekler iki kısma ayrılarak, bir kısmı oksijen izotopları analizi için toz haline getirilmiş, diğer kısmı ise hidrojen izotopları analizi için taneler halinde saklanmıştır.

Oksijen izotopları analizleri, toz haline getirilmiş örnekler, Clayton ve Mayeda (1963) tarafından geliştirilmiş florlama yöntemiyle analiz edilmiş ve sonuçları 5^{18}O o/oo (SMOW) değerleri şeklinde ifade edilmiştir. Hidrojen izotop analizleri ise kuvars kristalleri içindeki sıvı kapanımlarında bulunan çözeltiler ısıyla serbestleştirme yöntemiyle serbestleştirilerek, üretilen su buharı hidrojen gazına dönüştürüldükten sonra analiz edilmişler ve sonuçları 8D (SMOW) değerleri şeklinde ifade edilmiştir.

Oksijen ve hidrojen izotop analizleri, İngiltere'de NERC isotope Geosciences Laboratuvarlarında, VG SIRA 10 model izotop oran tipi kütle spektrometreleri kullanılarak yapılmıştır. Analizlerdeki hata payı ± 0.2 o/oo den daha azdır. Analiz sonuçları, çizelge 2' de toplu halde görülmektedir.

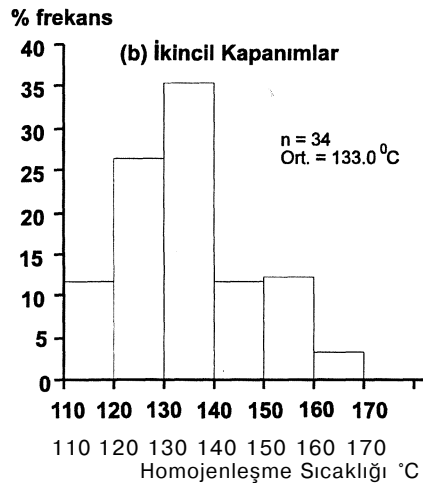
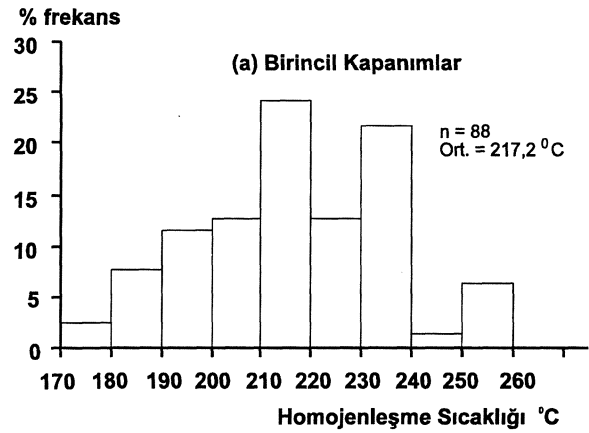
Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Örneklerin 5^{18}O değerleri, +8.8 ile +10.7 o/oo arasında değişmekte olup, magmatik kayalara ait

değerlerle (örneğin; Hoefs, 1984) uyum halindedir. Bu durum kuvarslar için gerekli silisin çevredeki magmatik yan kayaçlardan çözülmüş olabileceğini düşündürmektedir.

Sıvı kapanmaları içinde hapsolmuş ve kuvarslarla denge halinde olduğu düşünülen hidrotermal çözeltilere ait suyun 8^{18}O değerleri, sıvı kapanmalarında ölçülmüş sıcaklık değerleri dikkate alınarak, Clayton ve diğ. (1972) ve Friedman ve O'Neil (1977) tarafından geliştirilmiş diyagramlar yardımıyla hesaplanmıştır. Bu hesaplanmış 5^{18}O değerleri -2.2 ile +0.2 o/oo (SMOW) arasında oldukça dar bir alanda dağılım göstermektedir.

Sıvı kapanmaları içinde hapsolmuş suyun 5D



Şekil 4: Birincil (a) ve ikincil (b) kapanımlarda homojenleşme sıcaklığı değerlerinin % frekans dağılım diyagramları

Figure 4: % frequency distribution diagrams of the homogenisation temperature values of the primary (a) and secondary (b) fluid inclusions

ÇAKMAKKAYA VE DAMARKÖY (MURGUL - ARTVİN) BAKİR YATAKLARINDA SIVI KAPANIMI

Çizelge 2: Çakmakkaya ve Damarköy bakır yataklarında mineral oluşturuvcu hidrotermal çözeltilerin hidrojen ve oksijen izotopları bileşimi

Table 2: Hydrogen and Oxygen isotope composition of the mineralising fluid in Çakmakkaya and Damarköy copper deposits

Örnek No:	Sıvı kapanımları içindeki suyun δD değerleri (o/oo SMOW)	Kuvarlara ait $\delta^{18}O$ değerleri (o/oo SMOW)	Sıvı kapanımlarında ölçülmüş ortalama homojenleşme sıcaklıkları °C	$10^3 \cdot \ln \alpha$ (kuvars - su)	Kuvars ile denge halindeki su için hesaplanmış $\delta^{18}O$ değerleri (o/oo SMOW)
MÇ-36	-61.6	8.8	230.6	10.4	-1.6
MÇ-42	-	9.5	226.2	10.6	-1.1
MÇ-43	-60.8	8.4	245.6	9.6	-1.2
MÇ-44	-35.5	8.2	247.3	9.5	-1.4
MD-35	-66.2	10.5	218.1	11.1	-0.6
MD-37	-57.4	11.6	203.9	12.0	-0.4
MD-38	-59.1	10.7	215.0	11.2	-0.5

MÇ-: Çakmakkaya yatağından alınmış örnekler

MD-: Damarköy yatağından alınmış örnekler

$10^3 \cdot \ln \alpha$ (kuvars - su) değerleri Friedman and O' Neil, 1977¹ den yararlanılarak hesaplanmıştır.

değerleri ise -61.6 ile -57.4 o/oo arasında kümelenmekte olup, yalnızca bir değer (-35.5 o/oo) farklılık göstermektedir. Analiz sonuçları, $8^{18}O$ - $8 D$ diyagramı üzerine yerleştirildiğinde benzer yataklardan oldukça farklı bir yerde dağılım gösterdikleri görülmektedir (Şekil 6).

Özellikle, hidrojen izotopları bileşimi belirleyici olup, -60 o/oo civarında kümelenen ve hafif hidrojen izotopları bileşimini temsil eden birinci grup değerlerin meteorik kökenli suya, ağır hidrojen izotopları bileşimini temsil eden tek değer (-35.5 o/oo) ise deniz suyu ile karışmış ve/veya yan kayaçlarla reaksiyondan etkilenmiş meteorik kökenli suya işaret ettiği düşünülebilir. Bu durumda, belirlenen $8^{18}O$ ve $8 D$ değerlerine göre; hidrotermal çözeltilerdeki suyun büyük çoğunluğunun meteorik kökenli, az bir kısmının ise

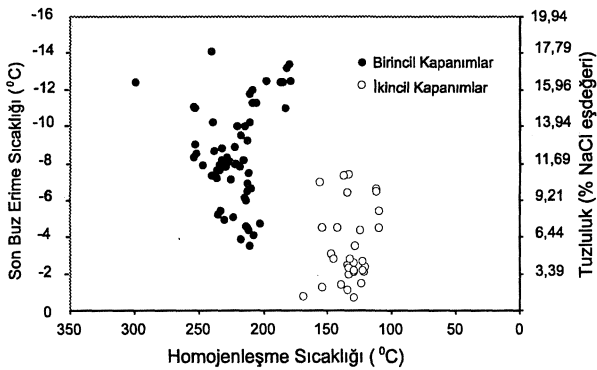
denizel kökenli olduğu ve cevherleşmelerin bu iki farklı kökenli suyun karışım zonunda ve/veya karışımı sırasında oluştukları söylenebilir.

Tartışma

Denizel ortamda oluşmuş volkano-sedimanter bir istif içinde gözlenen, yöredeki cevherleşmelerin oluşumunda meteorik kökenli suların etkili olduğu şeklinde bir yaklaşım şüpheyle karşılanabilecektir. Bu nedenle aşağıdaki tartışmaların yapılmasında yarar görülmüştür.

Volkanojenik masif sülfid yatakları (VHMS tipi) ile ilgili oksijen ve hidrojen izotopları jeokimyası incelemeleri yaygın değildir. Kızıl Deniz ve Doğu Pasifik Sırtı'ndaki hidrotermal oluşumlarda yapılan incelemelerde; deniz suyunun izotopsal bileşimine çok yakın değerler elde edilmiş ve bu cevherleşmeleri oluşturan hidrotermal çözeltilerdeki suların deniz suyu kökenli olduğu belirtilmiştir (Ohmoto ve Rye, 1979). İncelenen yataklara çok benzer özellikler gösteren Kuroko Bölgesi yataklarında ise deniz suyuna göre farklı $8 D$ ve $S 180$ değerleri saptanmış ve değişik değerlendirmeler yapılmıştır (Bkz. Ohmoto ve Rye, 1974; Sato, 1977; Urabe ve Sato 1978; Hattori ve Sakai, 1979; Pisutha-Arnond ve Ohmoto, 1983; Ohmoto, 1986).

Kuroko yatakları ile ilgili ilk veriler Ohmoto ve Rye (1974) tarafından belirlenmiş ($8 D$; -26 ile -18 o/oo arasında, $8^{18}O$; -1.6 ile -0.3 arasında) olup, hidrotermal çözeltilerdeki suyun kökeni hakkında; (i) meteorik, magmatik ve deniz suyu karışımı, (ii) yüksek sıcaklıkta yan kayaçla reaksiyona girme sonucu 180 bakımından zenginleşmiş meteorik ve deniz suyu ve meteorik su karışımı, (iii) yan



Şekil 5: Sıvı kapanımlarının homojenleşme sıcaklığı - son buz erime sıcaklığı ve tuzluluk diyagramı üzerindeki dağılımları

Figure 5: Distribution of the fluid inclusions on the homogenisation temperature versus last ice melting and salinity diagram.

kayaçla reaksiyon sonucu O ve H izotopları bileşimi değişikliğe uğramış deniz suyu olmak üzere üç alternatif görüş ileri sürmüşlerdir.

Daha sonraki yıllarda Sato (1977) ve Urabe ve Sato (1978), cevher oluşturuvcu çözeltilerdeki suyun magmatik kökenli olduğu ve cevher çökeli mi sırasında deniz suyu ile karıştıkları şeklinde bir görüşü savunmuşlardır.

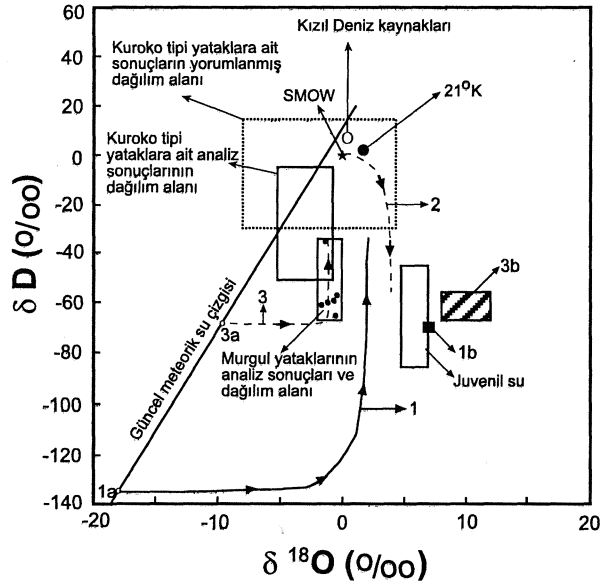
Hattori ve Sakai (1979) ve Hattori ve Muehlenbachs (1980), sıvı kapanmaları, kuvars kristalleri ve alterasyon zonlarındaki kil mineralleri üzerinde yaptıkları bazı yeni incelemelerde Ohmoto ve Rye (1974)' nin verilerine benzer veriler elde etmişler ve hidrotermal çözeltilerdeki düşük δD değerleri ile deniz suyuna göre yüksek olan tuzluluğun açıklanmasında, bu araştırmacıların i. ve ii. görüşlerini destekleyen yorumlarda bulunmuşlardır.

Ayrıca, Bryndzia ve diğ. (1983), kuroko yataklarının oluşumunda magmatik kökenli çözeltilerin etkili olduğu konusunda ısrar etmişlerdir.

Son olarak, Pisutha-Arnond ve Ohmoto (1983) yaptıkları ilave incelemelerle Kuroko yataklarını oluşturan hidrotermal çözeltilerin δD değerlerinin -51 ile -5 ‰ arasında, δD değerlerinin ise -5.3 ile -0.7 ‰ arasında değiştiğini belirlemişler ve bu kadar geniş bir dağılımın örneklerde hidrojen izotopları analizi sırasında, sıvı kapanımlarındaki suyun homojen bir şekilde serbestleştirilememesi nedeniyle gelişmiş olabileceğini düşünmüşlerdir. Bu düşünceden hareketle, δD değerleri ile çözeltilerin Na içerikleri arasındaki doğrusal ilişkiyi dikkate alarak; birincil kapanımlar için -30 ile +15 ‰ arasında, ikincil kapanımlar için ise -65 ile -40 ‰ arasında değişen δD değerleri hesaplamışlardır. Ayrıca, birincil kapanımlar için -6 ile +4 ‰ arasında değişen δD değerleri tahmin etmişlerdir. Araştırmacılar, ikincil kapanımlar için hesapladıkları δD değerlerinin bölgedeki güncel meteorik suların ve Honshu bölgesindeki sıcak suların δD değerlerine benzediklerini ifade etmektedirler. Ancak, cevher oluşumunda doğrudan etkili oldukları kabul edilen birincil kapanımlardaki sular için açık bir yaklaşımda bulunulamamakta, -30 ile +15 ‰ arasında değişen δD değerleri için zorlayıcı yorumlamalarla deniz suyu kökenli olabilecekleri ifade edilmektedir.

Hidrotermal çözeltilerin yan kayaçlarla etkileşi-

mi ve sulu minerallerle izotopsal değişim sonucu ilksel izotopsal bileşiminin değişebileceği, ayrıca sıcaklığın ve sirkülasyon derinliğinin izotopsal değişimde etkili olduğu bilinmektedir (Taylor, 1979; Ohmoto, 1986; Bowers, 1989 ve Campbell ve Larson, 1998 gibi). Bu etkileşimde kayaçların ve çözeltilerin nihai izotopsal bileşimleri; bu malzemelerin ilksel izotopsal bileşimlerine, sıcaklık, pH, Eh, basınç gibi ortam koşullarına, mineraller ile su arasındaki izotopsal ayrımlarına eğilimlerine, kayaçların geçirimsizliklerine ve etkileşen kayaç ve su kütlelerinin oranlarına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Genel eğilim hafif izotopların hareketliliği daha yüksek olan çözeltiler aynı zamanda yeni oluşacak alterasyonu ürünü minerallerin yapısına daha hızlı girme eğilimleri de göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 6: Çakmakkaya ve Damarköy yataklarını oluşturan hidrotermal çözeltilerdeki suyun $\delta^{18}O$ - δD diyagramındaki konumları (Diyagram Sheppard, 1986'dan; Kuroko, Red Sea, 21 oN oluşumlarına ait değerler Pisutha-Arnond ve Ohmoto, 1983 ve Ohmoto, 1986'dan; la ve lb değerleri ile 1 nolu eğri; Criss ve Taylor, 1983'ten alınmıştır. Açıklamalar için metne bakınız)

Figure 6: Dispersion of the $\delta^{18}O$ and δD values of the water within the hydrothermal solutions involved Çakmakkaya and Damarköy deposits on a $\delta^{18}O$ - δD diagram (Diagram is simplified after Sheppard, 1986; values of the Kuroko, Red Sea, 21 oN occurrences after Pisutha-Arnond ve Ohmoto, 1983 ve Ohmoto, 1986; la, lb values and curve 1 are after Criss and Taylor, 1983; see text for explanations)

ÇAKMAKKAYA VE DAMARKÖY (MURGUL - ARTVİN) BAKIR YATAKLARINDA SIVI KAPANIMI

Diğer yandan, hidrotermal çözeltilerle kayaçların etkileşimi sırasında izotopsal değişim reaksiyonlarının gelişimi ile ilgili tartışmalarda; suların oksijen izotopları bileşiminin öncelikle değiştiği, hidrojen izotopları bileşiminin ise geç evrelerde değiştiği anlaşılmaktadır (Campbell ve Larson, 1998). Criss ve Taylor (1983) tarafından Idaho Batoliti içindeki Atlanta kütlesinde etkili olmuş, Tersiyer yaşlı hidrotermal sistemlerin izotopsal bileşimlerinin incelendiği bir çalışmada; yerel meteorik sularla (Şekil 6 üzerinde 1a noktası) batoliti oluşturan magmatik kayaçlar (Şekil 6 üzerinde 1b noktası) arasındaki izotopsal etkileşim incelenmiş olup, hem suların hem de kayaçların izotopsal bileşimlerinin önemli ölçüde birbirinden etkilendiği, meteorik suların önce oksijen izotopları bileşiminin magmatik kütleninkine yaklaşacak şekilde ağırlaştığı, daha sonra oksijen izotopları bileşimi sabit kalırken hidrojen izotopları bileşiminin ağırlaşmaya başladığı ve izotopsal değişim eğrisinin bir yay şeklinde kıvrıldığı (Şekil 6 üzerinde 1 nolu eğri) saptanmıştır. Kayaçtaki izotopsal bileşimde de sularinkine paralel, yay şeklinde bir değişim izlenmektedir. Bu incelemeden; meteorik sularla magmatik kütleler arasındaki etkileşimlerde; meteorik suların önce oksijen izotopları bileşimi, daha sonra da hidrojen izotopları bileşimi ağırlaşacak şekilde bir farklılaşmanın geliştiği sonucu çıkarılabilir.

Benzer şekilde deniz suyunun magmatik kütlelerle etkileşimleri gözlemsel olarak incelenmiş olsaydı; önce oksijen izotopları bileşimlerinin magmatik kütleninkine yaklaşacak şekilde ağırlaşması, daha sonra da hidrojen izotopları bileşimlerinin magmatik kütleninkine yaklaşacak şekilde hafifleşmesi (Şekil 6 üzerindeki 2 nolu eğriye benzer şekilde; önce sağa doğru, daha sonra aşağıya doğru bir yönelim) beklenirdi.

Murgul ve Kuroko yataklarını oluşturan hidrotermal çözeltilerdeki suların izotopsal konumları; deniz suyu - magmatik kayaç etkileşiminden beklenen olası bir eğriden (şekil 6 üzerindeki 2 nolu eğri) daha çok, meteorik su - magmatik kayaç etkileşim eğrisine (Şekil 6 üzerindeki 1 nolu eğri) uygun gözükümlerindedir. Kuvarlarda saptanan 5 180 değerlerinden yararlanılarak, Murgul yöresindeki volkanik kayaçların olası izotopsal bileşimlerinin 3b noktası çevresinde olabileceği tahmin edilmiştir. Yöredeki cevherleşmeleri oluş-

turan hidrotermal çözeltilerdeki suyun ilksel izotopsal bileşiminin 3a noktası civarında olduğu ve 3 nolu eğri üzerinde izotopsal değişim göstererek yatakları oluşturduğu söylenebilir.

Ayrıca, deniz tabanlarından çıkan, soğuk meteorik su kaynakları dünyanın pek çok yerinde (örneğin; Off Floida, Abu Dhabi, Edremit Körfezi gibi) bilinmekte (Bjorlyke, 1983; Galloway, 1984; Çağatay ve diğ., 1996) olup, kıtasal bölgelerden beslenen iyi aküferler sularını deniz tabanında, kıyından kilometrelerce içerilerde boşaltabilmektedirler.

Murgul ve Kuroko yatakları ile Kızıl Deniz ve Doğu Pasifik Sırtı 21° K oluşumları arasındaki en önemli farklılık, jeotektonik konum olarak birinci grup yataklar yaklaşan plaka sınırlarında (asıl yay bölgesinde ve/veya yaylarla ilişkili rift bölgelerinde) oluşurken, diğerleri uzaklaşan plaka sınırlarında (kıtasal kabuğun riftleşmesi veya okyanus ortası sırt bölgesi) oluşmaktadır. Murgul ve Kuroko yataklarının oluştuğu jeotektonik ortam, volkanosedimanter istifin kıtasal kabuk üzerinde oluştuğunu ve meteorik suların devreye girmesinin daha kolay olduğunu düşündürmektedir.

Sonuç olarak; yapılan bu tartışmalar da Murgul yöresindeki cevherleşmelerin oluşumunda karalardan derinlere inerek ısınmış meteorik kökenli suların etkili olabileceği şeklindeki bulguları desteklemektedir.

SONUÇLAR

Çakmakkaya ve Damarköy yataklarında stockwork tipi cevherleşme hakim olup, Çakmakkaya yatağından, 20cm kadar kalınlıkta bir stratiform cevher zonu ile kalınlığı 10 m' ye varan bir jips merceği de gözlenmektedir. Stockwork tipi cevher zonları, breşleşmiş dasitik tüf içinde gelişmiş olup, örtü tüfü olarak tanımlanmış morumsu renkli tüfler ile örtülmektedir.

Stockwork tipi cevherleşmelerde, kalkopirit ve pirit hakim olup, eser miktarlarda da sfalerit, galemit tetrahelit ve markasit, gang minerali olarak ise yalnızca kuvars gözlenmiştir. Özellikle kılcal çatlakların kesişim yerlerinde sülfürlü minerallerin zenginleşmesi artmaktadır. Stratiform cevher zonundan alman örneklerde ise kırıntılı doku

hakimdir. Stockwork tipi cevher zonlarının, hidrotermal çözeltilerle getirilen ürünlerin, yan kayacı oluşturan breşleşmiş dasit tuf birimi içinde gelişmiş kılcal çatlaklar boyunca çökeltimesi sonucu oluştuğu, kırıntılı dokunun hakim olduğu stratiform cevher zonunun ise stockwork tipi cevherleşmeden veya su içinde boşalan çözeltilerden itibaren çökelen cevher minerallerinin, ya sonraki patlamalar etkisiyle veya su altı akıntıları ve dalga hareketleri etkisiyle kırıntılı hale gelerek su tabanında tekrar çökeltmeleri şeklinde oluştukları söylenebilir. Ayrıca yan kayalarda pirit kristalleri yaygındır.

Sıvı kapanımlarda ölçülen, ilk erime sıcaklığı (T_{FM}) değerleri; çözeltiler içinde $NaCl$, $CaCl_2$ ve $MgCl_2$ gibi tuzların hakim olduğunu belirtmektedir. Değerler arasında farklılığın az oluşu ve birincil ve ikincil kapanımlara ait değerlerin birbirine yakınlığı, hidrotermal çözeltilerin bileşiminin cevherleşme boyunca homojen olduğunu göstermektedir. Çözelti içinde $CaCl_2$ ve $MgCl_2$ gibi tuzların bulunması hidrotermal çözeltilerin deniz suyu kökenli olduklarına veya denizel çökeller içinde sirkülasyon yaptıklarına işaret sayılabilir.

Sıvı kapanımlarda ölçülen, son buz erime sıcaklığı (T_{ICE}) değerleri; birincil kapanımlar için tuzluluğun % 10.2 ile 18.7 arasında, ikincil kapanımlar için ise % 1.7 ile 11.5 $NaCl$ eşdeğeri olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlardan çözeltilerin tuzluluğunun, birincil kapanmaların ve dolayısıyla cevherleşmelerin oluşumu sırasında daha yüksek olduğu, son evrelere doğru, ikincil kapanmaların oluşumu sırasında ise kısmen azaldığı söylenebilir.

Sıvı kapanımlarda ölçülen, homojenleşme sıcaklığı (T_H) değerleri; cevherleşme sırasında hidrotermal çözeltilerin sıcaklıklarının 254 °C ye kadar yükseldiğini, ancak son evrelere doğru 110.2 °C ye kadar düştüğünü göstermektedir. Japonya'daki Kuroko yataklarında da 235 ile 280 °C arasında değişen benzer değerler ölçülmüştür (Marutani ve Takenouchi, 1978).

Gökçe (1992) ve Gökçe ve Spiro (2000) tarafından gerçekleştirilen kükürt izotopları jeokimyası incelemeleri sırasında; jips kütlesinde belirlenen 5 ^{34}S değerinin yatakların oluştuğu dönemdeki deniz suyu içinde çözümlü sülfatın izotopsal bileşimini

yansıttığı, baritlerdeki daha yüksek 8 ^{34}S değerlerinin, ya yerel olarak 34S' ce zenginleşme olduğu veya 32S' ce zengin hafif kısımların sülfürlü minerallerle kullanılmış olabileceği, yan kayalardaki ve değişik cevherleşme tiplerindeki pirit ve kalkopiritlere ait 5 ^{34}S değerlerinin birbirlerine ve sifra yakınlıkları, bileşilerindeki kükürtün magmatik kökenli olabileceği düşünülmüştür.

Oksijen ve hidrojen izotopları incelemeleri ile belirlenen 8 ^{18}O ve S D değerleri; hidrotermal çözeltilerdeki suyun büyük çoğunluğunun meteorik kökenli, az bir kısmının ise denizel kökenli olabileğine işaret etmekte olup, yöredeki cevherleşmelerin bu iki farklı kökenli suyun karışım zonunda ve/veya karışımı sırasında oluştukları söylenebilir

Yukarıdaki bulgular ışığında; yöredeki cevherleşmelerin volkano-sedimanter istifin oluşumu sırasında gelmiş hidrotermal çözeltilerin taşıdıkları ürünlerin büyük bir kısmını breşleşmiş dasit tuf birimi içinde gelişmiş kılcal çatlaklar boyunca, çok az bir kısmını ise deniz tabanına boşaltmaları şeklinde oluştukları, sülfürlü mineraller içindeki kükürtün magmatik kökenli olduğu, hidrotermal çözeltiler içindeki suyun ise büyük bir kısmının meteorik kökenli az bir kısmının ise deniz suyu kökenli olduğu anlaşılmakta olup, oluşum ortamının kenarlarında bulunan karalardan derinlere sızarak ısınmış meteorik suların, geri yükselirken volkano-sedimanter istif içindeki volkanik kayalardan metal ve kükürt iyonlarını çözdükleri ve deniz tabanının hemen altında (stockwork tipi cevherleşme) veya deniz suyu içine boşaldığı yerlerde yerlerde (stratiform cevher zonu) çökeltirek cevherleşmeleri oluşturdukları ve çökeltme sırasında, meteorik suların deniz suyu ile karıştığı ve/veya etkileştiği sonucu çıkarılmaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın arazi çalışmaları kısmen TÜBİTAK (YBAG-0008) tarafından desteklenmiştir. Örnek hazırlama çalışmalarında ve şekillerin hazırlanmasında Arş. Gör. Gülcan BOZKAYA (Cumhuriyet Univ.), sıvı kapanım incelemelerinde Merhum, Yrd. Doç. Dr. Fuat CEYHAN (Cumhuriyet Üniv.) yardımcı olmuşlardır. Kükürt, oksijen ve hidrojen izotopları analizleri, İngilterede NERC Isotope Geosciences

ÇAKMAKKAYA VE DAMARKÖY (MURGUL - ARTVİN) BAKIR YATAKLARINDA SIVI KAPANIMI

Laboratuvarlarımızda Dr. Baruch SPIRO' nun yardımları ile gerçekleştirilmiştir. Prof. Dr. Namık Çağatay (İstanbul. Univ.), Prof. Dr. Taner ÜNLÜ (Ankara Üniv.) ve Yrd. Doç. Dr. Yurdal GENÇ (Hacettepe Üniv.) makale taslağını inceleyerek değerli önerileri ile katkıda bulunmuşlardır. Bu kurum ve kişilere, katkıları için teşekkürü borç bilirim.

EXTENDED SUMMARY

Çakmakkaya and Damarköy copper deposits in Murgul Area are the typical examples of Kuroko-type volcanogenic sulfide deposits that widely occur in the Eastern Black Sea region of Turkey. A widely held view is that the region developed along a convergent plate boundary, possibly as a volcanic arc environment (e.g.; Tokel, 1973; Pejatovic, 1979; Akıncı, 1980, 1985; Bektaş, 1983; Bektaş et al., 1984). However, geological and metallogenic characteristics are more similar to those of an arc related rift environment in a back arc region.

Çakmakkaya and Damarköy deposits are hosted by tuffaceous rocks of dacitic composition. The stockwork ores are the main type in these deposits and consist of thin veinlets of sulfide and quartz within the brecciated dacite tuff (Fig. 2). The thickness and frequency of the veinlets and correspondingly ore grades increases toward the central portion, assumed to be the dome axis, because of the increased brecciation there. Moreover, the grade of the stockwork ores increase toward the upper levels. Massive ore is not present in these deposits, but very thin (up to 20cm thick) banded/stratiform ore occurs immediately beneath the Hanging Wall Tuff unit in the Çakmakkaya mining pit. A thick (up to 10 m) lens of gypsum is also seen in the hanging wall of this deposit (Fig. 2).

Stockwork ore veinlets contain mainly pyrite and chalcopyrite with minor amount of sphalerite, galena, tetrahedrite and marcasite. Quartz is the only gangue mineral. Enrichment of sulfides is largely controlled by microfracturing of the dacitic tuffs. High contents occur especially at the intersections of the fractures. Stratiform ore zone occurred within the Çakmakkaya Deposit contains ore clasts which indicative of fragmentation and resedimentation of sulfide minerals during or after discharge of hydrothermal fluids onto the sea floor.

Ore clasts have the same mineral composition of the stockwork ore veinlets. This zone represents a late phase of sulfide deposition and similar characteristics were described from the Kuroko deposits in Japan (Kamikita Mine; Lee et al., 1974, Franklin et al, 1981) and from the other deposits in Pontide region (Çağatay and Eastoe, 1995; Gökçe and Spiro, 2000). Moreover, brecciated dacite tuffaceous host rocks of stockwork ore and hanging wall tuffs contain isolated, idiomorphic and hypid-idiomorphic pyrite disseminations.

Sulfur isotope studies of the sulfide and sulfate minerals indicate a magmatic sulfur source for sulfide minerals within the various ore types and a sea water sulfate source for barite and gypsum (Gökçe and Spiro, 2000).

Fluid inclusion studies indicate that the ore forming fluids contain NaCl, CaCl₂ and MgCl₂, their salinities are high during the deposition of the ore minerals and decreased toward the later episodes of mineralisation, temperature of the fluids reached up to 254.0 °C, but decreased down to 110.2 °C during the later episodes of mineralisation.

The $\delta^{18}O$ values of inclusion water in equilibrium with quartz vary in a narrow range of -2.2 to +0.2 o/oo (SMOW). Similarly the δD values of the inclusion water are clustered around -60 o/oo (SMOW), ranging from -61.6 to -57.4 o/oo (SMOW), except a value of 35.5 o/oo (SMOW). These δD and $\delta^{18}O$ of Murgul deposits overlap the area of geothermal water of meteoric origin suggested by Sheppard, 1986 (Fig. 6). The single value of 35.5 o/oo (SMOW) may think a small amount of sea water mixing and/or interaction.

The difficulties on assuming the meteoric water activity in a submarine volcano-sedimentary environment bring about the discussions the other possible sources and processes such as mixing of waters from different sources or changing of the isotopic composition by isotope exchange reactions during fluid-rock interactions. In addition, changes in temperature of fluid and in circulation depth are also effective in changing of the isotopic composition of the fluids.

A short literature review showed that the stable isotope data on the submarine volcanogenic massive sulfide deposits are very limited. The δD and

$\delta^{18}\text{O}$ values of the mineralizing fluid in the Red Sea and East Pacific Rise 21oN Brines are dispersed in the areas of very close to SMOW and easily suggest a sea-water origin for the mineralizing fluid (Fig. 6). But, the isotopic composition of the mineralizing fluid in Kuroko deposits are characterised by more negative δ D values (Fig. 6), and more complex processes were suggested.

As summarised by Pisutha-Arnond and Ohmoto, 1983; the first set of data on the isotopic composition of the mineralizing fluid in Kuroko deposits reported by Ohmoto and Rye (1974) who suggested three alternative explanations for the δ D (-26 to -18 o/oo for six samples) and the $\delta^{18}\text{O}$ (-1.6 to -0.3 o/oo for four samples) values: (1) the ore forming fluids were mixtures of meteoric-, magmatic-, and sea-waters; (2) the fluids were mixtures of sea-water and meteoric-water that had undergone S^{18}O enrichment through high-temperature interactions with country rocks; (3) the fluids were sea-water that had undergone H and O isotope exchange reactions with country rocks at temperatures above 200oC. Sato (1977) and Urabe and Sato (1978) favored magmatic fluids as the sole source of the ore-forming fluids and concluded that the mixing of magmatic fluids with fresh sea-water at the depositional site was responsible for the observed isotopic composition of the fluids. Hattori and Sakai (1979) and Hattori and Muehlenbachs (1980) reported additional data on the ore forming fluids, which are essentially the same of those reported by Ohmoto and Rye (1974), based on the analyses of fluid inclusions, quartz in the ores, and clay minerals in the alteration zones. They preferred alternatives (1) and (2) of Ohmoto and Rye (1974) to explain the negative δ D values and observed salinities higher than seawater. Moreover the presence of magmatic component in the Kuroko fluids is strongly suggested by Bryndzia et al. (1983) to explain the high salinity values.

Finally, Pisutha-Arnond and Ohmoto (1983) reported a bulk isotopic composition of Kuroko fluids, which ranges from -51 to -5 for δ D and from -5.3 to -0.7 for $\delta^{18}\text{O}$. These authors think that the analysed values were produced as a result of the analytical procedure in accordance with the decrepitated amount of primary and secondary

inclusions and with the decrepitation temperature. Following this assumption and using the linear correlation between δ D values and Na contents of the fluid, they estimated a range of δ D values from -30 to +15 o/oo for the primary inclusions and that of -65 to -40 o/oo for low-temperature secondary inclusions. The estimated S^{18}O values are in the range of -6 to +4 o/oo for primary inclusions. They suggest that the estimated δ D values of low-temperature secondary inclusions are essentially identical to the δ D values of present-meteoric water and subaerial thermal spring waters in northern Honshu region. There is no clear estimation for the origin of the water in primary inclusion, however the authors expected a sea-water origin and made a great effort, discussing the estimated δ D (-30 to +15 o/oo) and S^{18}O (-6 to +4 o/oo) values, for the water trapped in the primary inclusion and the fluid responsible for the main mineralization episode.

In addition, various discussions on the isotope exchange reactions during the hydrothermal water - rock interaction show that S^{18}O values of the fluids become heavier while the δ D values are the same of local meteoric waters at the early episode of the interaction, the δ D values changed during the later episodes of interaction (Campbell and Larson, 1998). The changing trends of the δ D values of the hydrothermal fluids derived from the local meteoric water in Atlanta Lobe of the Idaho batholithis upward (Criss and Taylor, 1983). The trend for that of sea water is expected as downward (Fig. 6). The trend of the S^{18}O and the δ D values of the Murgul fluids is similar to that of meteoric water rather than that of sea water.

The geotectonic locations of Pontide and Kuroko deposits indicate that the volcano-sedimentary processes developed on a basement made of continental crust material and improve the possibilities of the involvement of the meteoric water in the mineralizing fluid. In addition, some examples of submarine fresh water springs are known from some places of the world (e.g., off Florida, Abu Dhabi UAE; Björklycke, 1983; Galloway, 1984; Çağatay et al, 1996) and good aquifers, recharged from the continental areas, may discharge meteoric water into the sea as much as a few hundreds km from the coast. However, there is no data about the

ÇAKMAKKAYA VE DAMARKÖY (MURGUL - ARTVİN) BAKIR YATAKLARINDA SIVI KAPANIMI

distance from the shore and about water depth of the depositional environment.

As a final conclusion; it may be assumed that meteoric water, circulating through the underlying basement of the volcano-sedimentary rocks, has acted as mineralizing fluid, and leached the metals (Cu, Pb, Zn, Au and Ag) and sulfur from the surrounding volcanic rocks and precipitated along the fractures within the brecciated dacitic host rocks and at the surface of the sea floor.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akıncı, Ö.T., 1980. The major copper metallogenic units and genetic igneous complexes in Turkey, in: S.Jankovich and R.H. Sillitoe (eds.). European Copper deposits, p. 199-208.
- Akıncı, Ö.T., 1985. The eastern pontide volcanosedimentary belt and associated massive sulfide deposits. In: J.E. Dixon and A.H.I. Robertson (eds.) The geological evolution of the Eastern Mediterranean. Special publ. of the Geological Society No 17 Blackwell Sci. Publ. Oxford p. 415-428.
- Altun, Y., 1976. Artvin-Murgul bakır yataklarının jeolojisi ve değerlendirme raporu. MTA Rap. No: 1108/1-9 (yayınlanmamış), Ankara.
- Bektas O., 1983. I-type granites and their tectonic position in the northeastern pontian magmatic arc. Abstracts of the 37 Geol Congr. of Turkey, p. 49-50.
- Bektas O., Pelin, S., and Korkmaz, S., 1984. Mantle uprising and polygenetic ophiolites in the Eastern Pontide (Turkey) back arc basin. Abstracts of the Ketin Symposium (175-188). Geol. Society of Turkey, Ankara
- Bjorlyke, K., 1983. Diagenesis in sandstones. In: A. Parker and B.W. Selwood (eds.), Sediment Diagenesis. D. Riedl, Dordrecht, pp. 169-213.
- Bodnar, R.J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57, 683-684.
- Bowers, T.S., 1989. Stable isotope signatures of water-rock interaction in mid-ocean hydrothermal systems; sulfur, oxygen and hydrogen. *Geophys. Res.*, 94, 5775-5786.
- Bryndzia, L.T., Scott, S.D., and Farr, J.E., 1983. Mineralogy, geochemistry, and mineral chemistry of siliceous ore and altered footwall rocks in the Uwamuki 2 and 4 deposits, Kosaka mine, Hokuroku district, Japan. *Economic Geology*, Mon.5, 507-522.
- Buser, S., 1970. Murgul bakır ocağı çevresinin jeolojisi. MTA Rap. No: 5073 (yayınlanmamış), Ankara.
- Buser, S. ve Civetic, S., 1973. Türkiye'deki Murgul bakır yatağı yöresinin jeolojisi. MTA Dergisi, 81,22-45.
- Campbell, A.R. and Larson, P.B., 1998. Introduction to stable isotope applications in hydrothermal systems. In: J.P. Richards and P.B.Larson (eds.), Techniques in hydrothermal ore deposits geology. *Reviews in Economic Geology*, 10, 173-193.
- Clayton, R.N. and Mayeda, T.K., 1963. The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotope analysis. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 43-52.
- Clayton, R.N, O'Neil, J.R. and Mayeda, T, 1972, Oxygen isotope exchange between quartz and water. *J. Geophys. Res.*, 77, 3057-3067.
- Criss, R.E. and Taylor, H.P.Jr, 1983. An 18O/16O and D7H study of the Tertiary hydrothermal systems in the southern half of the Idaho batholith. *Geological Society of America Bull*, 94, 640-663.
- Çağatay, M.N. 1993. Hydrothermal alteration associated with volcanogenic sulfide deposits; Examples from Turkey. *Economic Geology*, v. 88, p. 606-621.
- Çağatay, M.N. and Eastoe, C.J, 1995. A sulfur isotope study of volcanogenic massive sulfide deposits of the Eastern Black Sea province, Turkey. *Mineral. Deposita*, 30, 55-66.
- Çağatay, M.N, Saner, S. Al-Sayed, I. and Carrigan, W.J, 1996. Diagenesis of Safaniya Sandstone (mid-Cretaceous) in Saudi Arabia. *Sedimentary Geology*, 105, 221 -239.

- Franklin, J.M., Lydon, J.W., and Sangster, D.P. 1981. Volcanic-associated massive sulfide deposits. *Economic Geology*, 75th Anniv. Vol., p. 485-627.
- Friedman, I. and O'Neil, J.R., 1977. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. *Data of Geochemistry*. Geological Srv. proff. paper, 440-KK, 12p.
- Galloway, W.E., 1984. Hydrogeologic regimes of sandstone diagenesis. In: D.A. McDonald and R.C. Surdam (eds.), *Clastic Diagenesis*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Okla., pp. 3-13.
- Gökçe, A., 1992. Doğu Karadeniz Bölgesinde kuroko tipi (masif ve Stockwork) Cu-Zn-Pb sulfid yataklarının kükürt izotopları incelemesi. TÜBİTAK Projesi No: TBAG-915, 112 s. Ankara.
- Gökçe A. and Spiro, B., 2000. Sulfür izotope characteristic of the volcanogenic Cu-Zn-Pb deposits in the eastern pontide region, Ne Turkey. *International Geology Review*, 42, 565-576.
- Hattori, K., and Muehlenbachs, K., 1980. Marine hydrothermal alteration at a Kuroko deposit, Kosaka, Japan. *Contr. Mineralogy Petrology*, 74, 285-292.
- Hattori, K. and Sakai, H., 1979. D/H ratios, origin, and evolution of the ore-forming fluids for the Neogene veins and Kuroko deposits of Japan. *Economic Geology*, 74, 535-555.
- Hoefs, J., 1984. *Stable isotope geochemistry* (3rd ed.), Berlin-Heidelberg-New York, Springer Verlag, 241 p.
- Kahrer, C., 1958. Die Kupferlagerstaette Murgul in der nordöstlichen Türkei. *MTA Rap. No: 934, 9s.*, Ankara.
- Kleinsorge, H., 1946. *Geologie und Vererzung des Murgultales*. Etbank Rap. No: 432, 12s., Ankara.
- Kraeff, A., 1963. Hopa - Murgul Bölgesi jeolojisi ve maden yatakları. *MTA Dergisi*, 27, 230 - 266.
- Kossmat, E., 1910. *Geologische untersuchungen is den erzdistrikten des vilajets Trapezunt, Kleinasien*. *Mtt. d. Geol. Ges.*, Wien, s: 214-284.
- Kovenko, V., 1942. Artvin Bölgesi Kuvarshan bakır madenleri. *MTA Der.*, 3/24, Ankara.
- Lee, M.S., Miyajima, T., and Mazumoto, H., 1974. *Geology of the Kamaikita mine, Aomori Prefecture, with special reference to genesis of fragmental ore*: Soc. Mining Geologists Japan, Spec. Issue 6, p. 53-67.
- Mado, H., 1972. Kuzeydoğu Türkiye'de bulunan Murgul madenindeki bakır cevheri yataklarının jeoloji ve mineralizasyonu. *MTA Rap. No: 4883* (yayınlanmamış), Ankara.
- Marutani, M. and Takenouchi, S., 1978. Fluid inclusion study of stockwork siliceous orebodies of Kuroko deposits at the Kosaka mine, Akita, Japan. *Mining Geology*, 28, 349-360.
- Ohmoto, H., 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits. In Valley et al. (eds.), *Stable isotopes in high temperature geological processes*, *Reviews in Mineralogy*, V.16, p. 491-559.
- Ohmoto, H. and Rye, R.O., 1974. Hydrogen and oxygen isotopic compositions of fluid inclusions in the Kuroko deposits, Japan. *Economic Geology*, 69, 947-953.
- Ohmoto H. and Rye, R.O., 1979. Isotopes of sulfur and Carbon. In; H.L., Barnes (ed.), *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, p. 506-567, Wiley, Newyork.
- Oswald, F., 1912. *Handbuch der Regionalien Geologie*. H: 10, V.3, Heidelberg.
- Özgür, N., 1985. *Zur Geochemie und Genese der Kupferlagerstaette Murgul, E-Pontiden/Türkei*. PhD Thesis, Freie Univ. Berlin, 139p.
- Özgür, N., 1987. Murgul bakır yatağının jeokimyası, jenezi ve önemli indikatör elementleri. *T.J. Kurultayı - 1987 Bildiri Özleri Kitabı*, s.30.
- Özgür, N. and Palacios, C.M., 1990. Doğu Karadeniz metaloj enik kuşağında bulunan volkanojenik kökenli Murgul bakır yatağının jeokimyasal önemli indikatör elementleri. *MTA Dergisi*, 111, 119-132.
- Özgür, N. and Schneider, H.J., 1988. New metallogenetic aspects concerning the copper deposits of Murgul, NE Turkey. *Soc. Geology Applied to Mineral Deposits. Spec. Pub.*, 6 p. 229-239.
- Pejatoviç, S., 1971. Doğu Karadeniz - Küçük

ÇAKMAKKAYA VE DAMARKÖY (MURGUL - ARTVİN) BAKIR YATAKLARINDA SIVI KAPANIMI

Kafkasya Bölgesi' ndeki metalojenik zonlar ve bunların metalojenik özellikleri. MTA Dergisi, 77, 10-21.

Pejatoviç, S., 1979. Pontid tipi massif sülfid yataklarının metalojenisi. MTA Yayını No: 177, 100s., Ankara.

Pisutha-Arnond, V. and Ohmoto, H., 1983. Thermal history, and chemical and isotopic compositions of the ore-forming fluids responsible for the Kuroko massive sulfide deposits in the Hokuroku district of Japan. Economic Geology Mon., 5, 523-558.

Pollak, A. 1961. 1961 yılında Murgul'da yapılan çalışmalar hakkında muvakkat rapor. MTA Raporu No: 2907 (Yayınlanmamış), Ankara.

Pollak, A., 1962. 1961 yılında Murgul'da yapılan çalışmalara ait tamamlayıcı rapor. MTA Raporu No: 3200 (Yayınlanmamış), Ankara.

Sato, T., 1977. Kuroko deposits; Their geology, geochemistry and origine. Geol. Soc. London Spec. Pub. 7, 153-161.

Sawa, T. ve Teşrekli, M., 1970. Murgul madeni ve civarındaki bakır yatakları hakkında rapor. MTA Raporu No: 4790, 24s., Ankara.

Schneider, H.J., Özgür N., and Palacios, C.M., 1988. Relationship between alteration, rare earth element distribution and mineralisation of the Murgul copper deposit, northern Turkey. Economic Geology v. 83, p. 1238-1246.

Shepherd, T.J., Rankin, A.H., and Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, London, 235 pp.

Sheppard, S.M.F., 1986. Characterization and isotopic variations in natural waters. In: Stable isotopes in hightemperature geological processes, J.M. Valley et al. Ed., Review of Mineralogy, 16, 165-181, Miner. Soc. Am., Washington D.C., 1986.

Taylor, H.P.Jr., 1979. Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits. In Barnes, H.L., ed., Geochemistry of hydrothermal mineral deposits, 2nd edition, New York, Wiley, 798p.

Tokel, S., 1973. Doğu Pontidlerin Mesozoyik ve Tersiyerdeki gelişmesi, bu gelişmenin Kuzey Anadolu sismik zonu ile muhtemel ilişkisi.

Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebliğler Kitabı, s. 1-4.

Tokel, S., 1991. Pontidlerin jeokimyasal evrimi ve masif sülfid yataklarının jenezi. 44. T.J. Kurultayı, Bildiri Özleri, s. 63.

Urabe, T. and Sato, T., 1978. Kuroko deposits of the Kosaka mine, Northeast Honshu, Japan- Products of submarine hot springs on Miocene sea floor. Economic Geology, 73, 161-179.

Willgallis, A., Özgür, N. and Siegmann E., 1989. Murgul bakır yatağında Se ve Te içeren sülfürlü cevher minerallerine ilişkin mikrosonda çalışması. 43. T.J. Kurultayı, Bildiri Özleri, s: 8.

Zankl, H., 1959. Murgul - Çoruh - Kuvarshan bölgesinde yapılan jeolojik etüdlere dair rapor. MTA Raporu No: 3067 (yayınlanmamış).

Zimmer, E., 1938. Murgul bakır madeni. MTA Dergisi, 2, 13-21.

Makalenin geliş tarihi: 20/11/2000

Yayma kabul edildiği tarih: 14/04/2001

Received November 20, 2000

Accepted April 14, 2001

