

KURŞUNLU (ORTAKENT-KOYULHİSAR-SİVAS) DAMAR TİPİ Pb-Zn-Cu YATAKLARINDA KÜKÜRT İZOTOPLARI İNCELEMESİ

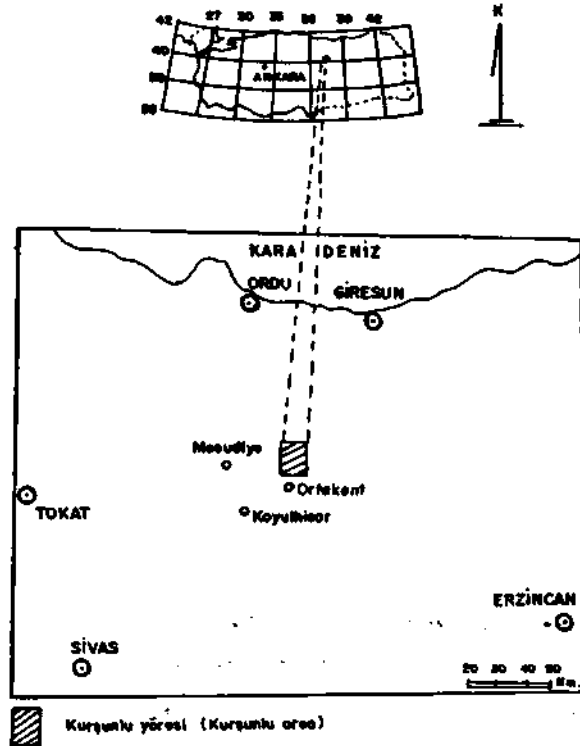
Ahmet GÖKÇE*

ÖZ.— Kurşunlu Pb-Zn-Cu yatakları Doğu Karadeniz Bölgesinin güney ve batı kesimlerinde yaygın olarak gözlenen damar tipi sülfür yataklarının tipik örneklerindedir. Üst Kretase yaşlı ve genellikle andezitik yer yer ise dasitik bileşimli volkanik ve Volkanotortul kayalarla kesen faylar boyunca yataklanmışlardır. Cevher minerali olarak galenit, sfalerit, pirit, kalkopirit, kalkosin ve hematit, gang minerali olarak ise kuvars, kalsit ve az miktarda barit içermektedirler. Cevher damarlarından alınan cevher örneklerinden ayrılmış galenit, sfalerit, pirit ve kalkopiritin yapısında bulunan kükürtün izotopsal bileşimleri ($d^{34}S_{CDT}$) sırasıyla -6.

-8.4 ‰, -4.6 - -7.6 ‰, -4.3 - -6.0 ‰ ve -3.7 - -6.3 ‰ değer aralıklarında olup, genel olarak -3.7 ile -8.4 ‰ arasında değişen negatif değerler şeklindedirler. Bu minerallerden yalnızca sfalerit ile galenit arasında olasılıkla sınırlı bir izotopsal dengenin varlığı düşünülmüş olup, kükürt izotopları ayrılma termometresine göre oluşum sıcaklığı ortalama 327°C olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre yöredeki cevher damarlarında bulunan kükürtün kökenini kesin olarak magmatik, denizel veya biyolojik olarak tanımlamak mümkün olmayıp, yapılan yorum ve yaklaşımlarla bu izotopsal bileşimde bir kükürtün; yöredeki volkanik ve volkanotortul kayalardan derine sızan yüzey kökenli sularca çözülmüş $d^{34}S$ değeri sıfıra yakın magmatik kökenli kükürtün barit gibi ağır izotopsal bileşimde kükürt kullanan sülfat mineralleri ile daha hafif izotopsal bileşimde kükürt kullanan sülfür mineralleri arasında izotopsal farklılaşma sürecine uygun olarak paylaşılması sonucu geliştiği kanısına varılmıştır.

GİRİŞ

Kurşunlu Pb-Zn-Cu yatakları Doğu Karadeniz Bölgesinde Pontidler tektonik birliğinin kuzey bölümü olarak bilinen kuşağın güney ve batı kesimlerinde yaygın olarak gözlenen damar tipi yatakların tipik örneklerindedir (Şek.1).



Şek. 1 - Kurşunlu yöresinin coğrafik konumu.

* Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas.

Yöredeki kayaç türlerinin petrografik özellikleri, litostratigrafik dizilimleri, cevher damarlarının konumları, iç yapıları ve içerikleri yazarın da aktif olarak katıldığı bazı detaylı çalışmalarla incelenmiş, yatakların oluşum ve kökenleri konusunda yaklaşımlarda bulunulmuştur (Özgüneylioğlu ve Okabe, 1981; Özgüneylioğlu, 1988; Gökçe ve Özgüneylioğlu, 1988; Gökçe, 1989). Ayrıca, bu çalışmalarda önceki çalışmaların niteliği ve sonuçları hakkında geniş özetler de bulunmaktadır.

Bu çalışmada, yöredeki arazi çalışmaları sırasında cevher damarlarından toplanmış cevher örneklerinden %100 veya çok yakın saflıkta ayrılmış sfalerit, galenit, pirit ve kalkopirit mineral ayırımı (mineral fraksiyonları) üzerinde gerçekleştirilen kükürt izotopları jeokimyası incelemelerinin sonuçları tartışılmaktadır.

TEMEL JEOLJİK ÖZELLİKLER VE CEVHERLEŞME

Kurşunlu yöresinin temel jeolojik özellikleri ve cevherleşmelerin durumu Gökçe ve Özgüneylioğlu'ndan (1988) yararlanılarak aşağıda olduğu gibi özetlenebilir:

Yataklar çevresinde, Doğu Karadeniz Bölgesinin hâkim kayaç türleri olan üst Kretase-Eosen arasında değişik zamanlarda oluşmuş volkanik ve Volkano-tortul kayaçlar ve yer yer bunları keserek yerleşmiş plutonik sokuşumlar yüzeylemektedir. Bu kayaç türlerinden üst Kretase yaşlı olanları "Kurşunludere otobreş andeziti, Geyiktepe dasiti ve tufü, Eskiköy andezit aglomerası, Evliyatpe andeziti, Deliktaş porfiroandeziti ve Menekşeli çökelileri" şeklinde 6 birime ayrılmıştır. Bu birimleri kesen granitoid kütleleri "Seğgüneytepe granitoidi" şeklinde adlandırılmış ve Eosen öncesi (Paleosen ?) yaşlı olarak kabul edilmiştir. Tüm bu birimleri uyumsuz olarak örten Eosen yaşlı bazaltlar "Leykün bazaltı" olarak adlandırılmıştır. Bölgede yamaç döküntüleri ve alüvyon örtüleri de yaygındır.

Yörede cevher damarları Kurşunlu köyü ile Melet çayı arasında, Aksu köyü yakınlarında, Taşhane sırtında ve Acıdere köyü kuzeyinde gözlenmektedir. Bu cevher damarları yukarıdaki kayaç türlerinden üst Kretase yaşlı volkanik ve Volkano-tortul birimlerini (özellikle Kurşunlu otobreş andezitini) kesen faylar boyunca yataklanmış; genellikle $K50^{\circ}-80^{\circ}B / 75^{\circ}-85^{\circ}KD$ konumlu damarlar şeklindedirler. Doğrultu ve eğim yönlerinde kalınlık, konum ve içerik bakımından çok sık değişiklikler gözlenmektedir. Yer yer damarlar çatallanmakta, yer yer ise farklı damarlar birbirleri ile kesişmekte veya birleşmektedirler. Kalın cevher damarlarının doğrultulan boyunca devamlılıkları 250 m ile 1000 m arasında, kalınlıkları ise 10 cm ile 2.5 m arasında değişmektedir.

Cevher damarlarının iç yapıları genellikle benzerdir. Damarın iki kenarında yan kayaçla sınırında yumuşak killi bir malzeme bulunmaktadır. Damar içinde değişik büyüklükte yan kayaç kırıntıları yaygın olup aralan cevher ve gang minerallerince doldurulmuştur. Alınan cevher örneklerinde cevher minerali olarak galenit, sfalerit, pirit, kalkopirit, kalkosin ve hematit, gang minerali olarak ise kuvars, kalsit ve az miktarda barit izlenmiştir. Tanımlanan sülfid mineralleri genellikle öz şekilli, yer yer yan öz şekilli kristaller şeklindedirler. Kalkosinler kalkopiritler üzerinde gelişmiş öz şekilsiz dönüşüm ürünleri şeklindedirler. Sfalerit, galenit ve kalkopirit üçlüsü genellikle eş büyüklükte kristaller şeklinde olup taneseli doku özelliği göstermektedirler. Bazı sfalerit kristallerinde saçınımlar şeklinde kalkopirit ayrılmaları bulunmaktadır. Sfalerit genellikle ilk oluşan sülfid minerali olarak gözükmeyle birlikte büyük çoğunluğu galenit ve kısmen kalkopirit ile eş zamanlı olarak oluşmuştur. Ayrıca daha sonradan oluşmuş kristallerine de rastlanabilmektedir. Dolayısıyla incelemeler sırasında bu mineralin diğerlerine göre daha uzun bir zaman aralığında ve birden fazla evrede oluştuğu her zaman göz önünde bulundurulmuştur. Hematitler ve kalkosinler en son evrenin ürünleri olup, hematitler ince uzun çubuğu, spekülaritik birincil oluşumlar şeklindedirler.

Bu özelliklere ilave olarak, Eosen yaşlı Leykün bazaltını ve Seğgüneytepe granitoidini kesen fayların cevherleşme oluşu nedeniyle cevherleşmenin bu kayaçtan etkileyen tektonizmadan daha önce oluştuğu, granitoid kütle-

leşli yakınlarındaki kuvars damarlarında, cevher minerallerinin bulunmaması ve cevher damarlarında granitoyid kütlelerine yaklaştıkça herhangi bir kalite artışının gözlenmeyişi nedeniyle cevher oluşumu ile bu granitoyid kütlelerinin yerleşimi arasında doğrudan bir ilişkinin bulunmadığı düşünülmektedir.

Anlatılan saha gözlemleri ve laboratuvar incelemelerinin sonuçları birlikte değerlendirilerek yöredeki yatakların oluşum ve kökenleri için "üst Kretase-Eosen zaman andığında olmak üzere Pb, Zn ve Cu gibi elementlerin bu elementlerce zengin olan, yöredeki volkanik ve Volcano-tortul kayaçlardan derinlere sızmış ve ısınmış yüzey kökenli sularca çözülüp bu kırık ve faylar boyunca yukarı yükselirken yeniden çökeltilmeleri şeklinde oluştukları" şeklinde bir model önerilmiştir. Cevher oluşturuvcu çözeltilerin Seğgüneytepe granitoyidinin artçı hidrotermal çözeltileri olamayacağı, ancak bu kütlelerin yerleşiminin yöredeki kırık hatlarının oluşmasında ve derine sızan yüzey kökenli suların ısınmasında etkili olabilecekleri düşünülmektedir.

KÜKÜRT İZOTOPLARI İNCELEMESİ

Analitik işlemler

Kükürt izotopları incelemeleri yöredeki cevher damarlarından alınan örneklerden %100 veya çok yakın safılıkta ayrılmış sfalerit, galenit, pirit ve kalkopirit mineral ayrımlarında yapılmıştır. Cevher örnekleri kırılıp öğütüldükten sonra tüm minerallerin serbestleşmiş gözüktüğü -125 — +80 mikron tane boyu aralığı elenip yıkanarak temizlenmiş, daha sonra ağır sıvı ve stereozoom mikroskop altında elle ayırma yöntemleri kullanılarak bu mineraller ayrılmıştır. Ağır sıvı ile ayrılan minerallerin safılıkları da stereozoom mikroskopla kontrol edilmiş, başka mineraller ile kenetli kristal taneleri büyük bir titizlikle temizlenmiştir. Ancak; cevher mikroskopisi incelemeleri sırasında bazı sfalerit kristalleri içinde gözlenen kalkopirit ayrışmalarını ve/veya bu ayrışmaları içeren sfalerit kristallerini temizlemek, ayrıca farklı evrelerde oluşmuş sfalerit kristallerini ayrı fraksiyonlar halinde ayırmak mümkün olamamıştır. Sfalerit kristalleri içindeki kalkopirit ayrışmalarının hacimsel azlığı (%1 kadar) ve sfaleritlerin büyük bir kısmının (%80 kadar) ana oluşum evresi olarak kabul edilebilecek galenit ve kısmen kalkopirit oluşumu ile eş zamanlı oluşmuş gözükmemesi nedeniyle bu safsızlıkların analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkilemeyeceği kabul edilmiştir. İzotop analizleri İngiltere'de NERC izotop Jeolojisi Merkezinde gerçekleştirilmiştir.

Bu mineraller 1050°C sıcaklıkta Cu₂O ile kavrularak yapılarında bulunan kükürt, SO₂ gazı haline dönüştürülmüş (Robinson ve Kusakabe, 1965), ³⁴S/³²S oranları VG Sıra—10 model, izotop oran tipi ve gaz kaynaklı kütle spektrometresinde analiz edilmiştir. Kükürt izotopları jeokimyası çalışmalarında analiz sonuçları genellikle Canyon Diablo Troilit Meteoritinin (CDT) izotopsal bileşimi ile karşılaştırılarak verilmekte olup, bu çalışmada da analiz sonuçları d ³⁴S_{CDT} ‰ değerleri şeklinde ifade edilmiş ve tekrarlanmış analiz sonuçlarında hata payının + 0.2 ‰ den daha az olduğu görülmüştür.

Analiz sonuçları

Analiz sonuçları örnek numarası ve mineral türü dikkate alınarak Çizelge I de gösterilmiştir. Bu değerlerden yararlanılarak aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir:

- Tüm değerler -3.7 ile -8.4 ‰ arasında değişen negatif değerlerdir.
- Galenitlere ait değerler -6.6 ile -8.4 ‰ arasında değişmekte olup, analiz edilen mineraller arasında en hafif kükürt izotopları bileşimine sahiptirler. Değerlerin dağılım aralığının darlığı, bu mineralin oluşumu süresince kükürtü sağlayan kaynağın oldukça homojen bir izotopsal bileşime sahip olduğunun işareti sayılabilir.
- Sfaleritlere ait değerler 4.6 ile -7.6 ‰ arasında değişmekte olup, diğer minerallere göre daha geniş bir dağılım aralığı sunmaktadır. Bu özellik, mikroskopik gözlemler dikkate alındığında sfaleritlerin oldukça uzun bir zaman aralığında ve olasılı olarak farklı evrelerde oluşumunun bir sonucu olmalıdır.

Çizelge 1 - İncelenmiş örneklerin kükürt izotopları bileşimi ve termometrik değerleri

$\delta^{34}\text{S}$ değerleri					Sph-Gln		Py-Sph		Py-Gln		Cpy-Gln	
Örnek No	Sfalerit	Galenit	Pirit	Kalkopirit	Δ	T°C	Δ	T°C	Δ	T°C	Δ	T°C
KS-5a	-6,1											
KS-7	-7,3											
KS-9b	-6,2	-8,4			2,2	300						
KS-11a	-7,6											
KS-13a	-6,5											
KS-19a		-7,8										
KS-31	-4,6	-6,6	-4,3		2,0	328	0,3	(-)	2,3	(-)		
KS-36	-6,4	-8,3	-6,0		1,9	344	0,4	(-)	2,3	(-)		
KS-39	-6,3	-7,1			0,8	(-)						
KS-42	-5,7	-7,6		-6,3	1,9	344					1,3	(-)
KS-50	-5,5	-7,6		-3,7	2,1	314					3,9	(-)
KS-52	-6,2	-7,3			1,1	(-)						
KS-56	-5,3	-7,3	-4,9	-5,0	2,0	328	0,4	(-)	2,4	(-)	2,3	(-)
KS-58	-6,1	-8,1	-5,8	-5,4	2,0	328	0,3	(-)	2,3	(-)	2,7	(-)

$$\Delta = \delta^{34}\text{S}_A - \delta^{34}\text{S}_B$$

Sph: Sfalerit

Gln: Galenit

Py : Pirit

Cpy: Kalkopirit

(-): İki mineralin dengede olmadığı düşünülerek kullanılmamışlardır.

Formüller Ohmoto ve Rye'dan (1979) alınmıştır.

Formüller

$$\text{Sph-Gln} \quad T = \frac{(0,85+0,03) \times 10^3}{\Delta^{1/2}}$$

$$\text{Py-Sph} \quad T = \frac{(0,55+0,04) \times 10^3}{\Delta^{1/2}}$$

$$\text{Py-Gln} \quad T = \frac{(1,01+0,04) \times 10^3}{\Delta^{1/2}}$$

— Pirit (-4.3 - -6.0 ‰) ve kalkopirite (-3.7 - -6.3 ‰) ait değerler galenit ve sfaleritlere göre daha ağır kükürt izotopları bileşimine sahiptirler.

— Pirit-sfalerit-galenit arasındaki izotopsal farklılaşma yönü Ohmoto ve Rye (1979) tarafından önerilen izotopsal farklılaşma yönü ile uyumlu (pirit en ağır, galenit ise en hafif) olmasına karşın, kalkopirite ait değerler beklenenin tersine sfaleritlere göre daha büyüktür.

Kükürt izotoptan jeotermometresi

Sülfür mineralleri arasındaki izotopsal denge ayırılma faktörleri kullanılarak bu minerallerin oluşum sıcaklıkları belirlenebilmektedir (Ohmoto ve Rye, 1979). Bu amaçla değişik mineraller arasında mineral çiftleri oluşturulmakta ve $\Delta = \delta^{34}\text{S}_A - \delta^{34}\text{S}_B$ izotopsal oran farkları hesaplanarak önerilen formüller yardımıyla oluşum sıcaklıkları belirlenmektedir.

Bu yöntemin kullanılabilmesi için çift oluşturulan minerallerin oluşum sırasında dengede olmaları, mineraler oluşuktan sonra birbirleri arasında veya çözelti ile aralarında izotopik etkileşme ve değişimler gelişmemeli ve analiz sırasında mineral ayırılmalarının birbirinden çok iyi ayrılmış olmaları gerekmektedir.

Bu çalışmada incelenen mineraller arasında oluşturulan mineral çiftlerine ait Δ_{A-B} değerleri ve hesaplanan sıcaklık değerleri Çizelge 1 de gösterilmiştir. Bu mineral çiftlerinden yalnızca sfalerit ve galenit arasında analitik işlemler bölümünde değinilen safsızlıklar dikkate alınarak olasılıkla sınırlı bir izotopsal dengenin bulunabileceği düşünülmüştür.

Farklı evrelerde oluştuklarına ilişkin cevher mikroskobisi verileri, hesaplanan sıcaklık değerlerinin çok yüksek olması ve sıvı kapanımlarında ölçülen sıcaklık değerleri ile uyuşmaması gibi nedenlerle diğer mineral çiftleri arasında izotopsal dengenin kurulmadığı ve/veya daha sonradan bozulduğu ve hesaplanan sıcaklık değerlerinin kullanılamayacağı görülmüştür. Sfalerit-galenit çifti için ortalama 327° C(300°C ile 344°C aralığı) sıcaklık hesaplanmıştır.

TARTIŞMALAR

Maden yataklarında kükürt izotopları incelemelerini konu alan yayınlardan magmatik kayaçlar ve Prekambriyen yaşlı kayaçlarda içindeki kükürtün izotopsal bileşiminin standart olarak kullanılan Canyon Diablo Troilit Meteoriti içinde saptanan kozmik kükürtün izotopsal bileşimine çok yakın olması nedeniyle yerkabuğundaki kükürtün ilksel izotopik bileşiminin $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}} 0.0 \text{ ‰}$ a çok yakın olduğu ve jeolojik devirler boyunca değişik süreçlerle bu kükürtün deniz suyu içindeki SO_4^{2-} ve H_2S ile değişik sülfatlı ve sülfütlü mineraller arasında paylaşılması sonucu bugün gözlenen farklılıkların geliştiği anlaşılmaktadır (Rye ve Ohmoto, 1974; Ohmoto ve Rye, 1979; Faure 1986; Hoefs, 1987). Bu paylaşılma sırasında özellikle deniz suyu içindeki SO_4 ün ve sülfatlı minerallerin yapısında S ün zenginleşmesi, H_2S ve sülfütlü minerallerin yapısında ise S ün zenginleşmesi nedeniyle birinci grup oluşumlarda pozitif işaretli, ikinci grup oluşumlarda ise negatif işaretli $\delta^{34}\text{S}$ değerleri ortaya çıkmaktadır. Deniz suyu içindeki SO_4 yapısındaki kükürtün izotopsal bileşimine göre bu SO_4 ten üretilen H_2S in yapısındaki kükürtün izotopsal bileşimi ‰ 50 kadar daha hafif olmaktadır (^{32}S zengin). Düşük sıcaklık koşullarında bu farklılaşmada bakteriyel süreçlerin etkili olduğu, yüksek sıcaklık koşullarında ise SO_4^{2-} Fe^{2+} ve değişik sülfatlı ve sülfütlü mineraller arasında gelişen inorganik reaksiyonların etkili olabileceği düşünülmektedir (Rye ve Ohmoto, 1979; Faure, 1986; Hoefs, 1987). Bakteriyel süreçlerle gelişen farklılaşmada $^{32}\text{SO}_4^{2-}$ iyonunun $^{34}\text{SO}_4^{2-}$ iyonuna göre daha kolay ve hızlı bir şekilde canlıların yapısına emilmesinin (kinetik ayırılma), inorganik reaksiyonlarla gelişen farklılaşmada ise $^{32}\text{S}-\text{O}$ arasındaki bağın S—O arasındaki bağa göre daha kolay parçalanmasının ve S ün yüksek oksidasyon dereceli bileşiklerin yapısına girme eğiliminin etkili olduğu kabul edilmektedir (Faure, 1986; Hoefs, 1987).

Bu açıklamaların sonucu olarak sıfıra yakın $\delta^{34}\text{S}$ değerleri magmatik kökenli, pozitif işaretli değerler denizel kökenli, negatif işaretli değerler ise bakteriyel ve/veya biyolojik kökenli kükürt olarak nitelenmektedirler (Rye ve Ohmoto, 1974; Ohmoto ve Rye, 1979; Ohmoto, 1986; Faure, 1986; Hoefs, 1987).

Diğer yandan yöredeki yataklara benzer şekilde oluşmuş hidrotermal damar tipi yataklarda oldukça değişik değerler gözlenebilmekte, kükürtün kaynağını belirlemek oldukça zor olmaktadır. Bu yataklarda bulunan minerallerin yapısındaki kükürtün izotopsal bileşimi, kükürtün sağlandığı kaynağın izotopsal bileşiminin yanı sıra çözücü ve taşıyıcı suyun içerdiği kükürtün izotopsal bileşimi, yan kayaçta bulunan kükürtün izotopsal bileşimi, kristallenme sıcaklığı, metal iyonlarının bağlı bolluğu ve oluşacak minerallerin türü, çökeltinin pH sı ve ortamın oksijen fugasitesi (f_{O_2}) veya $\text{SO}_4^{2-} / \text{H}_2\text{S}$ oranı gibi çevre koşullarından da önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu koşulların etkisiyle sıfıra yakın $\delta^{34}\text{S}$ değerli bir kükürt kaynağından -33.3 ‰ ile $+28.8 \text{ ‰}$ arasında değişen değerler ortaya çıkabilmekte, ayrıca bu yataklarda izlenen sülfat minerallerinin sülfid minerallerine göre çok daha ağır izotopsal bileşime sahip oldukları gözlenmektedir (Rye ve Ohmoto, 1974; Hoefs, 1987). Bu tip yataklarda sülfütlü minerallerin yanı sıra hematit gözlenmesi deniz suyu içindeki sülfatın yapısında bulunan kükürtün indirgenmesinde Fe^{2+} nin etkili olduğunun ve/veya kükürtün yan kayaç içinde bulunan piritin bozulması şeklinde üretildiğinin işareti sayılmaktadır (Ohmoto ve Rye, 1979; Hoefs, 1987). Açığa çıkan demir ise hematitleri oluşturmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen $\delta^{34}\text{S}$ değerleri birbirine yakın ve genellikle uyumlu, negatif işaretli ve küçük rakamlı değerler grubundadırlar. Magmatik kökenli kükürte göre daha hafif, biyolojik kökenli kükürte göre ise daha ağır bir izotopik bileşime sahiptirler. Bu tür değerler yukandaki açıklamalardan da esinlenerek ya biyolojik ve magmatik kökenli kükürtler karıştırılarak veya sifıra yakın $\delta^{34}\text{S}$ değerli magmatik kökenli bir kükürt ağır izotoptu kükürt kullanan barit gibi sülfat ve hafif izotopta kükürt kullanan sülfid mineralleri arasında izotopsal ayrılanma kuralına uygun olarak paylaşılarak ve/veya ayrılandırılarak elde edilebilir. Yöredeki tortul kayaçların organik madde ve sülfidli mineral içerikleri çok az olduğundan özellikle ikinci olasılık daha mümkün gözükmektedir.

Yöredeki cevher damarları için magmatik kökenli kükürt Seğgüneytepe granitoyidi ile ilişkili artık hidrotermal çözeltiler ve Üst Kretase yaşlı volkanik—Volcano-tortul kayaçlar olmak üzere iki farklı olası kaynaktan sağlanmış olabilir.

Seğgüneytepe granitoyidi içinde ve çevresindeki bozunma kuşağında yer yer pirit kristalleri gözlenmekle birlikte zenginleştirilip yapılarında bulunan kükürtün izotopsal bileşimini incelemek mümkün olmamıştır. Analizi denenen bir adet granitik tüm kayaç örneğinden de analiz için yeterli olabilecek miktarda SO_2 gazı elde edilememiştir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, I tipi granitoidlerde $\delta^{34}\text{S}$ değeri -3.6‰ ile $+5.0\text{‰}$ arasında, S tipi granitoidlerde ise -9.4‰ ile $+7.6\text{‰}$ arasında değişmektedir (Coleman, 1977). Seğgüneytepe granitoidini I veya S tipi olarak tanımlayacak ayrıntıda bir petrokimyasal inceleme henüz yapılmamış olmakla birlikte, koyu renkli mineral olarak hornblendin hâkim olduğu, biyotit içeriği az bir granittir. Bu nedenle içerdiği kükürtün sifıra çok yakın olması beklenebilir. Ayrıca bu granitoid kütleli cevherleşmeler ile pek yakın ilişkili olarak düşünülmemektedir (Gökçe ve Özgüneylioğlu, 1988).

Yöredeki volkanik ve Volcano-tortul kayaçlarda da sülfid minerallerini zenginleştirip analiz etmek mümkün olmamıştır. Ancak, benzer özellikteki kayaçlar içinde oluşmuş Japonya'daki Kuroko tipi yataklarda $\delta^{34}\text{S}$ değeri $+2.0\text{‰}$ ile $+8.0\text{‰}$ arasında (Ohmoto ve Rye, 1979), Şili'deki polimetalik damar tipi yataklardaki galenitlerde ise bu değer yan kayacın tortul veya volkanik oluşuna bağlı olarak -35.0‰ ile $+8.1\text{‰}$ arasında değişmektedir (Spiro ve Puig, 1988). Her iki bölgedeki yataklarda da volkanik yan kayaçlardan sıcak halde iken temas halindeki deniz sularınca çözülmüş magmatik kükürtün deniz suyundan indirgenmiş veya biyolojik kökenli kükürtlerle değişik oranlarda karışarak minerallerin yapısında bulunan kükürtün sağlandığı düşünülmektedir.

Yukarıda değinildiği gibi bölgedeki tortul kayaçlardan magmatik kükürt ile karışarak minerallerin yapısında bulunan negatif işaretli değerlerin sağlanabileceği biyolojik kökenli kükürtü sağlamak mümkün gözükmemektedir. Oysa, bölgesel olarak barit ve anhidrit gibi sülfat minerallerinin oluşumu çok yaygın olup, cevher damarlarında da bir miktar barit gözlenmektedir. Dolayısıyla sifıra yakın $\delta^{34}\text{S}$ değerli magmatik kökenli kükürt volkanik yan kayaçlardan çözüldükten sonra bileşiminde bulunan ağır izotopların sülfat minerallerince, bağlı olarak hafif izotoplarca zenginleşmiş kısmının ise sülfid minerallerince kullanılması şeklinde gelişecek bir izotopsal ayrılanma süreci yöredeki cevher damarlarında saptanmış kükürt izotoptan bileşimi için en uygun süreç olmaktadır. Yan kayaçların bozunmuş kısımlarında kısmen oksitlenmiş pirit kristallerinin gözlenmesi ve cevher damarları içinde hematit oluşumlarının yaygın oluşu bu modeli destekler niteliktedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sonuçlar

— Yöredeki cevher damarlarından alınan örneklerden ayrılmış sfalerit, galenit, pirit ve kalkopiritin bileşiminde bulunan kükürtün izotopsal bileşimi ($\delta^{34}\text{S}$) -3.7‰ ile -8.4‰ arasında değişen negatif değerler şeklindedirler.

— Galenitlere ait değerler (-6.6 — -8.4 ‰) mineraller içinde en hafif izotopsal bileşimi verirken, sfalerit, pirit ve kalkopirite ait değerler sırasıyla -4.6 ile -7.6 ‰, -4.3 ile -6.0 ‰ ve -3.7 ile -6.3 ‰ değer aralıklarındadır.

— Pirit-sfalerit-galenit arasındaki izotopsal farklılaşma yönü Ohmoto ve Rye (1979) tarafından önerilen izotopsal farklılaşma yönü ile uyumlu iken, kalkopirite ait değerler beklenenin tersine sfalerite ait değerlerden daha büyüktür.

— Bu minerallerden yalnızca sfalerit ile galenit arasında izotopsal açıdan olasılıkla sınırlı bir dengenin olabileceği, diğer mineral çiftleri arasında izotopsal açıdan bir dengenin kurulamadığı söylenebilir.

— Sfalerit-galenit mineral çifti arasındaki izotopsal ayrımlanma farkından yararlanılarak, kükürt izotoptan termometresine göre ortalama 327°C lik oluşum sıcaklığı hesaplanmıştır.

— Yapılan yaklaşımların ışığında yöredeki volkanik ve Volcano-tortul kayalardan henüz sıcak halde iken derine sızan yüzey kökenli sularca çözülmüş sifıra yakın 5 S değerli magmatik kükürtün ağır izotoplarının barit gibi sülfat minerallerince, hafif izotoplarca zenginleşmiş kısmının ise sülfid minerallerince kullanılması şeklinde gelişen bir izotopsal ayrımlanma süreci sonunda cevher damarlarında gözlenen kükürt izotopları bileşiminin geliştiği sonucuna varılmıştır.

öneriler

Bölgedeki Volcano-tortul kayalar ile bu kayalar içinde gözlenen Kuroko tipi masif sülfid yataklarının ve bunları kesen granitik sokulumların kükürt izotoptan bileşimleri incelenmeli ve damar tipi yataklara ait değerler bu incelemelerin sonuçlarına göre yeniden gözden geçirilerek hipotetik yaklaşımların yerine daha güvenilir yaklaşımlar geliştirilmelidir.

KATKIBELİRTME

Yazar, saha çalışmaları ve örnek alımı sırasında gösterdikleri yardımlar için MENKA Madencilik AŞ ne, kükürt izotoptan analizlerinin yapılmasına olanak sağlayan NERC İzotop Jeolojisi Merkezi Kararlı İzotoplar Jeokimyası Bölüm Başkanı Baruch Spiro'ya ve makalenin manüskriptini okuyarak değerli eleştirileri ile katkıda bulunan Ayhan Erler'e (ODTÜ) teşekkür eder.

Yayına veldiği tarih, 16 Ekim 1989

DEĞİNİLEN BELGELER

Coleman, M.L., 1977, Sulphur İsoptes in petrology: J. Geol. Soc. Lond., 133, 593-608, Great Britain.

Gökçe, A., 1989, Kurşunlu (Ortakent Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu yataklarında sıvı kapanım ve jeotermometre incelemeleri: TJK Bült. (incelemede).

— ve Özgüneylioğlu, A., 1988, Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu yataklarının jeolojisi: CD Muh.Fak.Derg., Seri A- Yerbilimleri, 5/1, 23-36.

Faure, G., 1986, Principles of isotope geology: John Wiley and Sons Inc., 589 p., Canada.

Hoefs, J., 1987, Stable isotope geochemistry (Third Edit.): 241 p., New York, USA, Springer Verlag.

- Ohmoto, H., 1986, Stable isotope geochemistry of ore deposits: Valley et al., ed., Stable İsootopes in high temperature geological processes da-, 491-559, Mineralogical Society of America.
- ve Rye, R.O., 1979, İsootopes of »sulfur and carbon: Barnes, H.L. ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits da., 506-567, Wiley, 798, New York.
- Özgüneylioğlu, A., 1988, Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas)Pb-Zn-Cu yataklarının jeolojisi: Cumhuriyet Univ. Fen Bil Enst., Yük.Lis. Tezi, 52, (yayımlanmamış).
- ve Okabe, K., 1981, Sivas-Koyulhisar-Sisorta-Kurşunluköy ve civan Kurşun-Çinko-Bakır madeni ayrıntılı jeoloji ve sondaj çalışmaları raporu: MTA Rap., 3855 (yayımlanmamış).
- Rye, R.O. ve Ohmoto, H., 1974, Sulphur and carbon İsootopes and ore genesis: A revievv, Econ.Geol, 69, p. 826-842, Bull of the Economic Geologist, Lancaster, USA.
- Robinson, B.W. ve Kusakabe, M., 1965, Quantitative preperation of Sulphur dioxide for $^{34}\text{S} / \text{S}^{32}$ analyses, from sulfides by combustion with cuprous oxide: Analytical Chemistry, 47, 1179-1181, Bull. of the American Chemical Soci. New York, USA.
- Spiro, B.ve Puig, A., 1988, The source of Sulphur in polymetallic deposits in the Cretaceous magmatit are, Chilean Andes: Jour. of South American Earth Sciences, 1/3, 261-266, Great Britain.