

BİR DİJİTAL MADEN YATAKLARININ KÖKEN VE OLUŞUM KOŞULLARININ ARAŞTIRILMASINDA KARARLI İZOTOPLAR JEOKİMYASI İNCELEMELERİ VE TÜRKİYE'DEN ÖRNEKLER*

Ahmet GÖKÇE Cumhuriyet Üniversitesi Jeolojisi Müh. Bölümü, SİVAS

ÖZ: Bu incelemelerde kararlı izotopları olan S, H, O ve C en çok kullanılan elementlerdir. Bunlardan kükürtü 34g/32g, hidrojenin D/H, oksijenin $^{18}O/^{16}O$, karbonun ise $^{13}C/^{12}C$ izotop oranları analiz edilmekte sonuçlar 0 sapına değerleri (0/00) şeklinde (0.34‰, a D, er 18Q ve 0.13‰) ifade edilmektedir. Bu değerler çeşitli ortamlar için karakteristik bazı değerler ile karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılmaktadır,

S izotopları incelemeleri sülfürle minerallerin yapısında bulunan kükürtün kökeni ve mineraller arası izotopsal ayırtılma özelliklerinden yararlanılarak minerallerin oluşum sıcaklıkları hakkında bilgiler vermektedir. Analiz sonuçları mineraller arası ayırtılma durumları da dikkate alınarak magmatik (0.34‰ ~ 0.00‰), deniz suyu içindeki sülfat (0.34‰ > +8 - 10.00‰) ve bakteriyel indirgenmiş (biyolojik) (0.34‰ < -10.00‰) kökenli gibi değerlendirilmektedir.

H ve O izotoplarından mineral oluşturuç çözeltilerdeki suyun kökeninin araştırılmasında yararlanılmakta olup, analiz sonuçları denizel ($^{18}O = 0$, a D = 0.00‰), meteorik ($^{18}O < 0$, a D < 0.00‰; a D = 8 a $^{18}O + 10$ o/oo), magmatik (a $^{18}O = +5.5 - +10.1$, a D = -50 - 85 o/oo), metamorfik (a $^{18}O = +5 - +25$, a D = -20 - -65 o/oo) kökenli sularla karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Ancak kökeni ne olursa olsun tüm hidrotermal suların içinden geçtikleri kayalarla su/kayaç oranına bağlı olacak etkileşmekte ve özellikle oksijen izotopları bakımından değişimler gelişmektedir.

C izotopları incelemeleri ise karbonatlı minerallerin ve sıvı kapağından içindeki CO₂ ve CH₄ gibi gazların yapısındaki karbonun, kökenlerinin, araştırılmasında yararlı olmaktadır.

Türkiye'den örnekler olarak; Turhal (Tokat) ve Muratdağı (Gediz-Ktllahya) antimon yataklarında antimonit bileşimindeki köktrtin magmatik kökenli, hidrotermal suların oluşturduğu meteorik kökenli, Ödemiş (İzmir) yöresindeki antimon ve civa yataklarında antimonit ve sinnoberin bileşimindeki kikiirtin magmatik-biyolojik kükürt karışımı, Kurşunlu (Koyulbisar-Sivas) Cu-Pb-Zn yataklarında sülfürlü mineralimin yapısındaki kükürtün magmatik kökenli, Doğu Karadeniz Bölgesindeki stockwork ve stratiform tipi Cu-Pb-Zn yataklarında sülfürlü minerallerin yapısındaki köktrton magmatik kökenli olduğu şeklinde sonuçlar elde edilmiştir.

GİRİŞ

İzotoplar jeokimyası incelemeleri başta maden jeolojisi ve petrolep olmak üzere jeolojinin pek çok konusunda uygulama alanı bulmuş ve çok sayıda problemin çözümünde katkısı olmuş bir araştırma konusudur. Ancak ülkemizde şu ana kadar kurulmuş bir izotoplar jeokimyası araştırma merkezinin ve laboratuvarlarının bulunmaması oldukça üzücüdür. Diğer yandan yurt dışında lisans üstü öğrenim, görme veya kısa süreli burslarla yurt dışına çıkma, şansını bulabilmiş az sayıda akademisyen dışında bu konuya ilgi duyan meslektaşlarımızın sayısı da oldukça

azdır. Üniversitemizde de bu kanunun öğretimine fazla ilgi gösterildiğini ve öğrencilerimize tanıtıldığına da söylemek zordur. Ülkemizde bazı laboratuvarların kısa bir gelecekte kurulması ve araştırmaların yapılabilmesi en büyük dileğimizdir.

İzotop bir elementin eğer varsa farklı atom ağırlıklı atomları ve/veya türevleridir. Bir elementin izotopları doğal olarak otapabileceği gibi yapay olarak elde edilmektedir. Yalnızca bir izotopu bulunan elementler mono izotoplu, birden fazla izotopu bulunan elementler ise poli izotoplu elementler olarak nitelendirilmektedir.

Elementlerin izotoplarına ait atomlar zamanla parçalanarak veya başka bir elementin atomuna dönüşerek yok oluyorsa bu tür izotoplar radyoaktif/kararsız izotoplar, zamanla yok olmuyorsa kararlı izotoplar olarak tanımlanmaktadır.

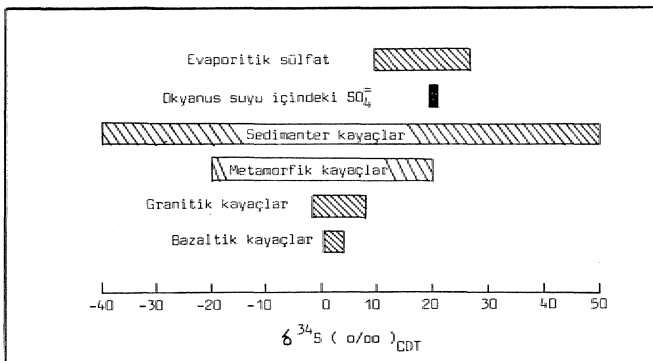
15-19 Şubat 1993 tarihleri arasında TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası tarafından Ankara'da düzenlenen 46. Türkiye Jeoloji Kurultayı'nda Konferans olarak sunulmuştur.

Diğer yandan hidrotermal maden yatakları; sıcaklıktan 50° ile 400°C arasında değişen, veya pnömatolik oluşumlar da dikkate alındığında 50° ile 600°C arasında değişen sıcak sulu ve buharlı çözeltilerin içeriklerini uygun yerlerde çökeltilmeleri, şeklinde oluşmuş maden yataklarıdır.. Sayı ve çeşitlilik bakımından en yaygın olarak gözlenen yeraltı zenginlikleridir. Bu yataklarda cevher minerali, olarak özellikle sülfürle; mineraller, gang minerali olarak ise kuvars, kalsit, bark ve florit gibi mineraller oldukça yaygındır. Bu nedenle de bu yatakların köken ve oluşum koşullarının araştırılmasında kararlı izotopları olan elementlerden,, özellikle S, H, O ve C izotoplarından yararlanılmaktadır.

Bu izotoplardan H ve O izotopları hidrotermal çözeltileri oluşturan suyun, S izotopları sülfürlü ve sülfatlı minerallerin bileşiminde- bulunan kükürtün, C izotopları ise karbonatlı minerallerin yapısında bulunan karbonat ile sıvı kapanından içinde bulunan CO₂ ve CH₄ gibi gazlarda, bulunan karbonun, kökenlerinin belirlenmesinde yararlı olmaktadır. Ayrıca, bu izotoplardan jeolometre olarak yararlanmak, ta mümkün olabilmektedir..

Bu elementlerin izotoplarının ortalama oransal bollukları çeşitli yöntemlerle hesaplanmış olup, çeşitli doğal olaylar- sonucunda, bu, ortalama değerlere göre her olay veya ortam için. karakteristik olan farklılaşmalar' gelişmekte ve bu farklılıklardan yararlanılarak ortam analizleri ve köken, belirlemeleri yapılmaya çalışılmaktadır. İzotopsal. farklılaşmaya neden olan önemli doğal olaylar arasında; buharlaşma-yoğunlaşma, çözülme-çökme, fotosentez ve mikroorganizmalarca kullanılma, adsorbl.anm.a~ absorpfanma» yayılm^/difüzyon, kimyasal reaksiyonlar ve mineraller arasında paylaşılma gibi olaylar sayılabilir.

İzotop analizleri kütle spektrometreleri ile yapılmaktadır. Analiz tekniği bakımından daha kolay



Ş e k i l i . Jeolojik olarak önemli bazı malzemelerde $\delta^{34}\text{S}$ değerleri (Hoefs, 1987den).

olduğu için izotopların kantitatif miktarları yerine izotop oranları analiz, edilmektedir. Analizlerde yaygın olarak onaylanmış bazı temel standartlar kullanılmakta olup,, analiz sonuçları bir elementin örnek içindeki ağır izotopunun hafif izotopuna oranının standart içindeki orandan farkını gösteren 0 ağır izotop (³²S) %o değerleri, sekinde ifade edilmekte ve

$$\sigma^{34}\text{S} (\text{‰}) = \frac{(\frac{34\text{S}}{32\text{S}})_{\text{örnek}} - (\frac{34\text{S}}{32\text{S}})_{\text{standart}}}{(\frac{34\text{S}}{32\text{S}})_{\text{standart}}} \times 1000 \text{ veya}$$

$$\sigma^{34}\text{S} (\text{‰}) = \frac{(\frac{34\text{S}}{32\text{S}})_{\text{örnek}}}{(\frac{34\text{S}}{32\text{S}})_{\text{standart}}} - 1 \times 1000$$

bağıntılardan birisi ile hesaplanmaktadır..

KÜKÜRT İZOTOPLARI İNCELEMELERİ

Kükürt, atom numarası 16 olan ve atom ağırlıkları 32 ile 36 arasında değişen 4 önemli izotopu bulunan bir elementtir, izotoplarının ortalama oransal bollukları $\delta^{34}\text{S}$: %95.02, ^{33}S : %0.75, ^{34}S : %4.21 ve ^{36}S : %0.02 şeklindedir (Ohmoto ve Rye, 1979; MacNamara ve Tode* 1950'den). İncelemelerde $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ oranı analiz edilmekte ve standart olarak Canon Diablo Triolit Meteoriti kullanılmaktadır. Analiz sonuçları $\delta^{34}\text{S}$ şeklinde ifade edilmektedir.

Jeolojik açıdan; SO₂, SO₄²⁻, SO₃, SCO, H₂SO₄, H₂SO₃, S₂, S_g, H₂S, HS⁻, S²⁻ iyon ve bileşikleriyle sülfürlü ve sülfatlı mineraller önemlidir. Sulu çözeltilerde yüksek sıcaklıklarda SO₂ ve H₂S, düşük sıcaklıklarda SO₄²⁻ ve H₂S hakimdir. İzotopsal bileşim bakımından SO₂ ve SO₄²⁻ ağır ^{34}S 'çe (ağır ^{34}S değerleri), H₂S ve HS⁻ ise hafif ^{32}S 'çe (hafif ^{32}S değerleri) zengin olmaktadır. Diğer yandan, sülfürlü mineraller ^{34}S 'çe, sülfatlı mineraller ise ^{32}S 'çe zengin izotopsal bileşimler göstermektedir. Sülfürlü mineraller özellikle H₂S ve HS⁻'in bileşiminde bulunan indirgen, kükürtü kullanarak oluşmaktadır.

Önemli, bazı jeolojik malzemelerde analiz edilen $\delta^{34}\text{S}$ değerleri dağılım Şekil 1'de görüldüğü gibi belirlenmiş olup, magmatik kayaçlarda O₂ yakın, deniz suyu içindeki sülfatta +18 - +20 ‰, evaporitik sülfatta +5 - +25 ‰, sedimanter ve metamorfik kayaçlarda çok değişken değerler gözlenmektedir. Sedimanter ve metamorfik kayaçlardaki hafif ^{32}S değerleri özellikle bileşimindeki sülfürlü minerallerden, ve organik maddeler içindeki kükürlü bileşiklerden kaynaklanmaktadır.

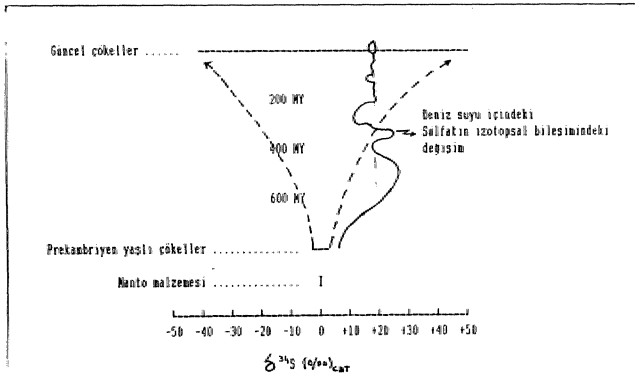
Çeşitli jeolojik malzemelerde kükürt izotopları bileşimi incelendiğinde özellikle jeoloji yaşıyla bağlı olarak gençleşükçe dağılım aralığı genişleyen bir değişim gözlenmektedir. Manto kökenli ksenolitlerde ve Prekambriyen yaşlı serilerde $\delta^{34}\text{S}$ değerleri gözlenirken, jeolojik yaş gençleşükçe izotopsal bileşimin bir yelpaze şeklinde genişlediği görülmektedir (Şekil 2). Bu yelpazenin genişlemesinde sedimanter ortamlarda özellikle bakteriyel indirgenme- süreçlerinin ve sülfat çökelimlerinin, magmatik ortamlarda ise asimilasyon ve kirlenme olaylarının çok etkili olduğu sanılmaktadır.

Hidrotermal cevherleşmelerde kükürt izotopları bileşimi oldukça karışık olup;

- i. Kaynaktaki rezervoarın izotopsal bileşimine,,
- ii. Kaynaktan hidrotermal çözeltilere geçen kısmın izotopsal bileşimine,
- iii., Hidrotermal çözeltilerin, ve çevrenin $\delta^{34}\text{S}$ sıcaklık gibi fizikokimyasal özelliklerine,
- iv. Oluşan minerallerin türüne ve mineraller arası ayrımlanma durumuna,»,
- v. Farklı kaynaklı malzemelerin karışmasına ve çevreden olabilecek olası, kirlenmelere bağlı olarak değişiklik: gözlenebilmektedir.

Birinci etken olarak kaynaktaki rezervuarın izotopsal bileşimi belirtilmiş olup, önemli iki kükürt kaynağı magmatik ve deniz suyu içindeki SO_4^{2-} şeklindedir. Bu kaynaklar doğrudan veya dolaylı olarak (daha sonraki hidrotermal çözellilerce çözülerek) çeşitli yollardan kükürt, kaynağı haline gelebilmektedirler,,

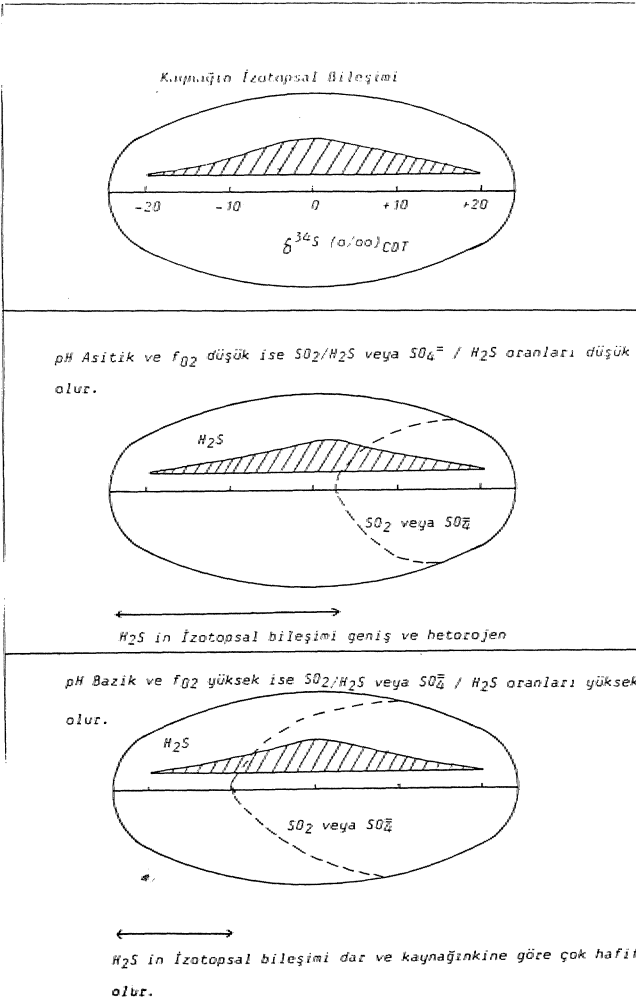
Magmatik kökenli kükürt ya doğrudan magmatik kökenli hidrotermal çöçlliler içine seçerek veya epijenetik.



Şekil 2. Jeolojik devirlere bağlı olarak olası değişimi (Deniz suyu içinde sülfatın izotopsal bileşim değişimi; Ohmoto, 1986; Claypool ve diğ., 1980'den).

hidrotermal çözellilerce magmatik kayalardan ve/veya diğer magmatik oluşumlardan çözülerek zenginleşmekte ve hidrotermal cevherleşmelerde SO_4^{2-} ve sülfatlı minerallerin yapışma girmektedir. Birinci tip oluşumlarda sifra çok daha yakın, ve dar aralıklı $\delta^{34}\text{S}$ değerleri beklenebilir,.

İkinci önemli kükürt kaynağını oluşturan deniz suyu içindeki SO_4^{2-} ya doğrudan deniz tabanlarında gelişen, hidrotermal faaliyetler (eksaltif sedimanter) sırasında deniz suyundan sülfatlı minerallerin çekelimi, inorganik reaksiyonlarla sülfatın indirgenmesi, organik reaksiyonlarla sülfatın indirgenmesi veya kükürt, içeren organik bileşiklerin parçalanması, bakteriyel faaliyetlerle sülfatın indirgenmesi (\pm) gibi süreçlerden birisi ile veya dolaylı olarak, daha önceden bu kaynaktan belirtilen süreçlerde $\delta^{34}\text{S}$ ile ilişkili olarak $\delta^{34}\text{S}$ değeri düşük olur.



Şekil 13. Hidrotermal çöçllilerin $\delta^{34}\text{S}$ ve pH koşullarına bağlı olarak $\text{SO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{S}$ oranlarının ve sülfürlü mineralleri oluşturacak H_2S 'nin izotopsal bileşiminin değişimi,.

hidrotermal çözeltilerle çözülmesi ile hidrotermal cevherleşmeler için kükürt kaynağı ototerapiMetoedk.

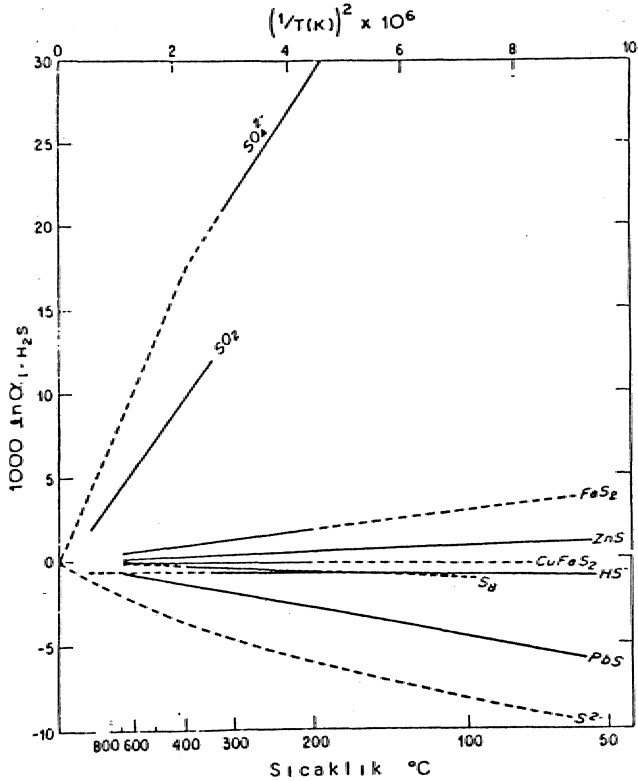
Deniz suyu içindeki SO_4^{2-} 'in kullanılarak jips ve barit gibi sülfatlı minerallerin çökelişi hem olağan yüzeysel koşullarda hem de hidrotermal koşullarda mümkün olup minerallerin çökebilmesi için SO_4^{2-} ile Ca^{2+} ve Ba^{2+} gibi katyonların konsantrasyon çarpımlarının minerallerin çözünürlük çarpımı katsayılarını aşması yeterli olmaktadır. Oluşan sülfatlı minerallerin kükürt izotopları bileşimi deniz suyu içindeki sülfatın izotopları bileşimine çok yakın olmaktadır. Ancak daha geniş bir dağılım aralığına sahip olduğu düşünülmektedir (Ohmoto ve Rye, 1979).

Deniz suyu içindeki sülfatın yapısındaki kükürtün kullanılarak sülfürlü minerallerin oluşabilmesi için "bakteriyel, organik ve inorganik" indirgenme süreçlerinden birisi ile kükürtün S^{+4} değerlikten S^{0} değerliğe indirgenmesi gerekmektedir.

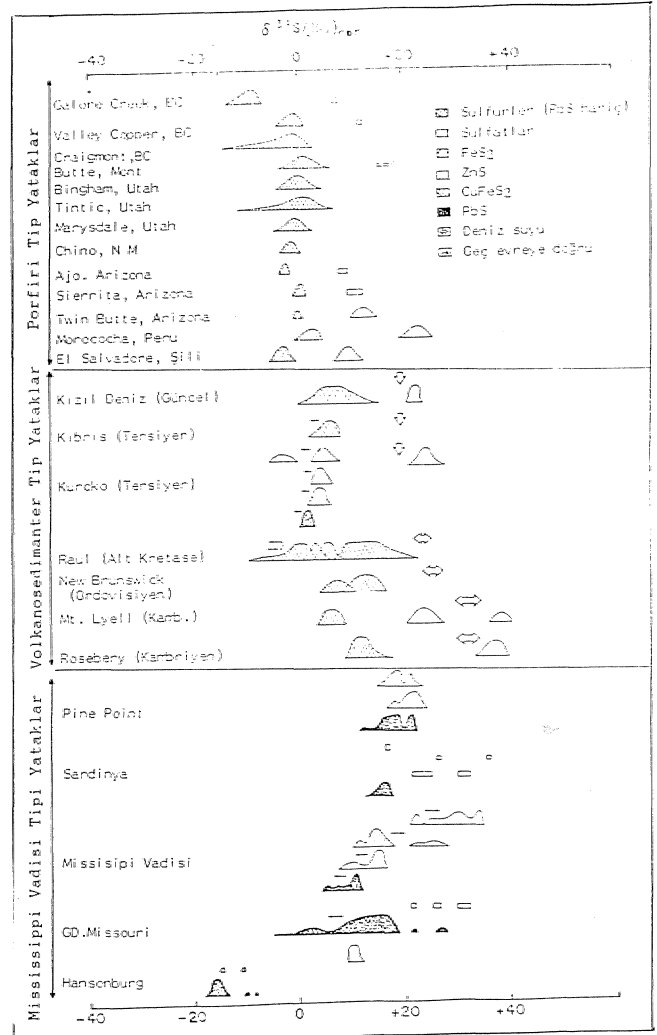
Bakteriyel süreçlerle indirgenme düşük sıcaklıklarda ($T < 50^{\circ}C$) en yaygın olarak gözlenen indirgenme sürecidir. Desulfobrio ve Desulfotomaculum ailelerine ait kükürt

indirgeyici, bakteriler sülfatı indirgeyerek hidrojen, ve organik maddelerin anaerobik oksijenlenmesiyle beslenmektedirler (Hoefs, 1987). Bakteriyel süreçlerle indirgenmiş kükürt -10 ‰'den daha hafif izotopsal bileşime sahip olması ile karakteristik olup, -60 ‰'e kadar inen $\delta^{34}S$ değerleri gözlenebilmektedir.

Organik bileşiklerin ve reaksiyonların etkisi ile sülfatın yapısındaki kükürtün indirgenmesi tam olarak anlaşılammış olmakla birlikte; sıcaklığın $50^{\circ}C$ 'yi (özellikle $80^{\circ}C$ 'yi) aşması halinde kükürt içeren organik bileşiklerin parçalanması, organik bileşiklerin indirgeyici koşullarda oksidasyonu, SO_4^{2-} çözünen yüzeysel kökeni suların organik maddece zengin sedimanlar içinden geçmesi



Ş e k i 14., Sıcaklığın fonksiyonu olarak çeşitli, kükürlü bileşiklerin, H²S'e göre denge^ halindeki ayırtılma faktörlerinin değişimi (Ohmoto ve Rye, 1979'dan; devamlı çizgiler deneysel olarak saptanmış, kesik çizgiler ise tahmini ve teorik olarak hesaplanmıştır).



Ş e k i 15. Bazı önemli hidrotermal cevherleşmelerde (porfiri tip) volkanosedimanter tip ve Mississippi vadisi tipi kükürtün izotopsal bileşimi (Ohmoto ve Rye, 1979'dan derlenmiştir).

ile H₂S oluşumu gibi süreçlerin kiikCirt sağlanmasında ve/veya indirgenmesinde etMfi olduğu düşünölmektedir. BE süreçlerle deniz suyu. içindeki silflatinMne göre $15 \pm 5 fm$.kadar daha hafif (+5 ie .+20 %o arasında) izotopsai bileşime sahip H₂S üretebilmektedir (Ohmoto ve Rye, 1979). Ancak bu indirgenme sürecinin, organik, madde içeriği çok yüksek sedimanter ortamlar dışında fazla etkili, olamayacağı ve yalnızca dolaylı olarak epijenetik Mdrotermal çözeltiler- içinde etkili, olabileceği ;söylenebilir.

İnorganik reaksiyonlarla deniz suyu içindeki sülfatın. bileşiminde bulunan kükürtün indirgenmesi sıcak tndrotermal çözeltiler için en. önemli indirgenme sürecidir. Bu süreç-'deneysel olarak ta incelenmiş olup (Ohmoto ve Rye, 1979; Mottl, 1976'daî) bu indirgenmede özellikle;

$SO_4^{2-} + 8Fe^{2+} + 10H^+ \rightarrow H_2S + HFe^{3+} + 4H_2O$
reaksiyonunun etkili olduğu kabul, edilmektedir. BE indirgenme reaksiyonu ile +20 %o civarında bir izotopsai. bileşime sahip deniz suyu sülfatından -5 ile +20 fm arasında değişen izotopsai bileşime sahip .B^S'in üretilebileceği tahmin edilmekle birlikte» deneysel incelemelerde sülfürlü minerallerde +8.Ö ile +20.7 %o arasında değişen değerler elde edilmiştir (Ohmoto ve Rye, 1979; Qllimoto ve diğ., 1976'dan).

Hidrotermal cevherleşmelerde kükürtizotoplan bileşimine etki eden ikinci etken kaynaktan, çözeltiliye geçen kısmın izotopsai bileşimi olup, genellikle kaynağın bileşimine çok yakın veya. birkaç. %o daha hafif olmaktadır.

Hidratermal çözeltilerin, f0.2 (Eh) ve pH koşulları da çökelen sülfürlü ve sülfatlı minerallerin izotopsai. bileşimine edd eden önemli faktörlerden olup sistemin. SQ₂/H₂S ve SO₄²⁻/H₂S oranlarını ve bu bileşenlerin izotopsai bileşimlerini, kontrol etmektedir (Şekil 3),... fCXjsi yüksek çözeltilerde ve/veya ortamlarda H^S'göre SÖ₂ veya SÖ₄²⁻ oluşumu fazla olmakta ve sülfürlü minerallerin, yapısına .girecek indirgen kükürt türevleri bağlı olarak hafif bir izotopsai bileşime sahip olacaklardır. fO^si düşük çözeltilerde ve/veya ortamlarda, ise 1%\$; SO₂ ve- S O ^ e göre daha fazla olacak, dolayısıyla daha geniş bir analıkta ve daha ağır bir izotopsai bileşime sahip olacak ve oluşacak sülfürlü minerallerde daha ağır bir izotopsai bileşim gözlenecektir.

Sıcaklık özellikle izotopsai aynınlanma faktörlerini etkileyerek çözeltili içindeki H^S'e göre minerallerin sahip olacağı izotopsai bileşimin ve mineraller arasında kükürtün paylaşımını ve izotopsai farklılaşmayı kontrol etmektedir. Yüksek sica.kliklarda daha homojen, ve birbirine yakın» düşük sıcaklıklarda ise birbirinden farklı

öB^S değerleri, gözlenmektedir (Şekil. 4).. Sıcaklığa bağlı, bu aynınlanma özelliğinden jeotermometre olarak yararlanmak mümkün olup» "Kükürt İzotopları Jeotermometresi" geliştirilmiştir.

Bu jeotermometrede cevherleşme içinde bulunan sülfürlü ve sülfatlı mineral çiftleri belirlenerek o^4Ş değerleri, arasındaki fark (Å) belirlenen mineral çifti için izotopsai aynınlanma faktörleri ile sıcaklık arasındaki ilişkiden yararlanılarak geliştirilmiş sıcaklık hesaplama formüllerinde (Çizelge 1) yerine konularak sıcaklık hesaplanmaktadır.

Bu jeotermometre ile cevherleşmelerin oluşum sıcaklıklarının doğru olarak tesbit edilebilmesi için; çift oluşturan minerallerin oluşum sırasında dengede olmaları, mineraller oluşuktan sonra birbirleriyle ve çözeltili ile aralarında izotopsai etkileşimin olmaması ve analiz sırasında, mineral ayırımlarının çok iyi bir şekilde ayrılacak hazırlanmış olması gerekmektedir.

Bu bilgilerin ışığında hidrotermal cevherleşmelerdeki sülfürlü ve sülfatlı minerallerde analiz edilen a^S değerlerinden yararlanılarak minerallerin, yapısında bulunan kükürtün kökenini ve oluşum koşullarını belirlemek mümkün olabilecektir.

Bu anlatanlara göre doğrudan veya dolaylı olarak;

i. -10 %o den daha hafif ö % \$ değerlerini "bakteriye! süreçlerle indirgenmiş kükürt" .

Mineral çifti.	Eşitlik (T Kelvin; $\Delta = \delta^{34}S_A - \delta^{34}S_B$)	Belirsizlikler	
		1	2
Sülfat-Kalkopirit	$T = \frac{2.85 \times 10^3}{(\Delta \pm 1)^{1/2}}$ (T > 400°C)	$\pm 25^1$	$\pm 5^1$
" "	$T = \frac{2.30 \times 10^3}{(\Delta - 6 \pm 0.5)^{1/2}}$ (T < 350°C)	± 10	± 5
Sülfat-Pirit	$T = \frac{2.76 \times 10^3}{(\Delta \pm 3)^{1/2}}$ (T > 400°C)	$\pm 25^1$	$\pm 5^1$
" "	$T = \frac{2.16 \times 10^3}{(\Delta - 6 \pm 0.5)^{1/2}}$ (T < 350°C)	± 10	± 5
Pirit-Galenit	$T = \frac{(1.01 \pm 0.04) \times 10^3}{\Delta^{1/2}}$	± 25	± 20
Sfalerit(pirotin)-Galenit	$T = \frac{(0.55 \pm 0.03) \times 10^3}{\Delta^{1/2}}$	± 20	± 25
Pirit-Kalkopirit	$T = \frac{(0.67 \pm 0.04) \times 10^3}{\Delta^{1/2}}$	± 35	± 40
Pirit-Pirotin (sfalerit)	$T = \frac{(0.55 \pm 0.04) \times 10^3}{\Delta^{1/2}}$	± 40	± 55

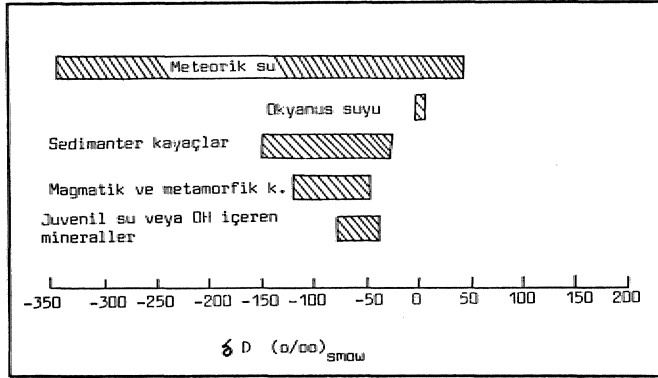
Çizelge 1. Çeşitli mineral çiftlerinin $\sigma^{34}S$ değerleri arasındaki farktan yararlanılarak oluşum sıcaklıklarının hesaplanması formülleri (Ohmoto ve Rye, 1979'dan).

ii 0 ‰'a çok yakın ve dar bir aralıkta dağılım gösteren a-¹⁶S değerlerini "magmatik kökenli kükürt",

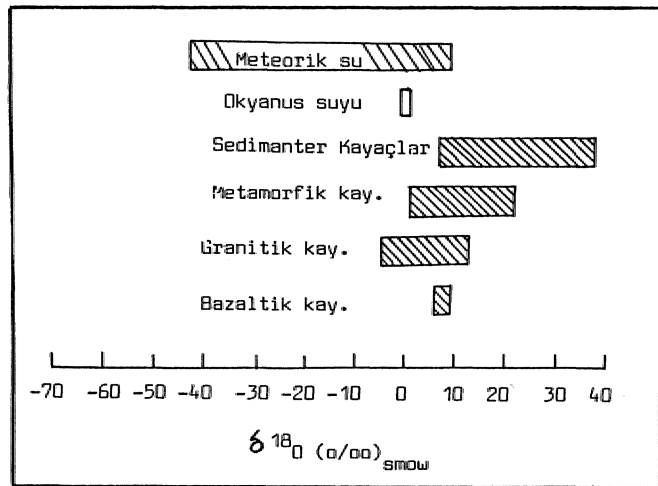
III. +10 ‰'dan daha büyük, G-¹⁶S değerlerini "deniz suyundan inorganik (± organik) reaksiyonlarla indirgenmiş kükürt"»

iv. -10 - 0 ‰ arasındaki değerleri "magmatik ve bakteriyel kükürt karışımı, magmatik, kükürt içeren hidrotermal çözeltilerden kükürtün yüksek Eh ve pH koşullarında ayrılımı, magmatik kükürt içeren kaynaklardan hidrotermal çözeltilerle hafif kükürtün tercihli olarak çözülmesi, magmatik kükürtün sülfatlı ve sülfürlü mineraller arasında, paylaşımı sonucu sülfürlü minerallerde hafif kükürtün kullanımı"»,

v. 0 - +10 ‰ arasındaki değerleri "magmatik ve denizel sülfat kökenli kükürt karışımı, denizel sülfatın aşırı indirgenmesi» hidrotermal çözeltinin ve çevrenin fizikokimyasal koşullarına bağlı olarak magmatik kökenli kükürtün kullanımı"», denizel sülfat kökenli kükürtün kullanımı"»,



Şekil 6. Jeolojik olarak önemli bazı maddelerde δD değerleri (Hoefs, 1987'den).



Şekil 7. Jeolojik olarak önemli bazı maddelerde δ¹⁸O değerleri (Hoefs, 1987'den).

sülfat kökenli kükürt içeren kaynaklardan hafif kükürtün tercihli olarak, çözülmesi¹ şeklinde değerlendirmek mümkündür. Özellikle iv., ve v. maddelerindeki -10 ‰ ile +10 ‰ arasında değişen ve dağılım, aralığı geniş olan ö¹⁶S değerlerini değerlendirmek oldukça zor olup,, spekülative sayılabilecek bazı yorumların ve/veya yaklaşımların yapılması ve teorik düzeyde yeni araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Bazı önemli hidrotermal cevherleşme tiplerinde analiz edilmiş G¹⁶S değerleri Şekil 5'de olduğu gibi belirlenmiş olup, porfiri tip yataklarda 0 ‰'a yakın (magmatik), volkanosedimanter yalıklarda 0 - +20 ‰ (çoğunlukla magmatik, bazılarında deniz suyu içindeki SO⁴-tan etkilenmiş), Nüsisipi Vadisi tipi yataklarda ise +20 ‰'da yakın (çoğunlukla denizel a¹⁶S değerleri gözlenmiştir).

HİDROJEN VE OKSİJEN İZOTOPLARI

JEOKİMYASI İNCELEMELERİ

Hidrojen, atom numarası 1 olan, ve atom. ağırlığı 1 ile 3 arasında değişen. {¹H, ²D ve ³H} 3 adet izotopu, bulunan bir elementtir. ³H izotopu radyoaktif olup, diğer izotoplarının ortalama oransal bollukları *H: %99.98, ²D: %0.02 şeklindedir (Hoefs, 1937; Way ve diğ., 1950'den). İzotop jeo.kim.yası. incelemelerinde D/H oranı analiz edilmekte ve analiz sonuçları 8 D- (‰) değerleri şeklinde analiz edilmektedir. Analizlerde "Okyonus Suyu, Ortalaması (SMOW) en çok kullanılan, standarttır. Ancak Hafifi AntaTuik Yağışı (SLAP) adıyla ikinci bir standart daha bulunmaktadır. Hidrojen izotopları ayrılma derecesi, en çok olan ve doğal olaylar sırasında en hızlı ve kolay ayrımlanan izotoplardır. Bu nedenle jeolojik bakımdan da önemli olup,» H₂O, H₂, CH₄ ve OH" içeren mineraller en önemli, hidrojen içeren türevlerdir.

Jeolojik olarak önemli bazı malzemelerde H izotopları dağılımı Şekil 6'da olduğu gibidir., meteorik su en hafif ve en geniş izotopsal bileşime sahip hidrojen rezervuarıdır.

Oksijen ise atom numarası 8 olan ve atom ağırlıkları 16 ile 18 arasında değişen {¹⁶O, ¹⁷O ve ¹⁸O} 3 adet izotopu bulunan bir elementtir. İzotoplarının ortalama oransal bollukları ¹⁶O: %99.76, ¹⁷O: %0.04 ve ¹⁸O: %0.20 şeklindedir (Hoefe, 1987; Garlick» 1969'dan). izotop jeo.kimyası incelemelerinde ¹⁸O/¹⁶O oranları, analiz edilmekte ve analiz sonuçları a¹⁸O değerleri şeklinde ifade edilmektedir. Oksijen izotopları analizlerinde de hidrojen, izotoplarında kullanılan standartlar (SMOW ve SLAP) kullanılmaktadır. Oksijen, suyun yanısıra oksitli ve sili-

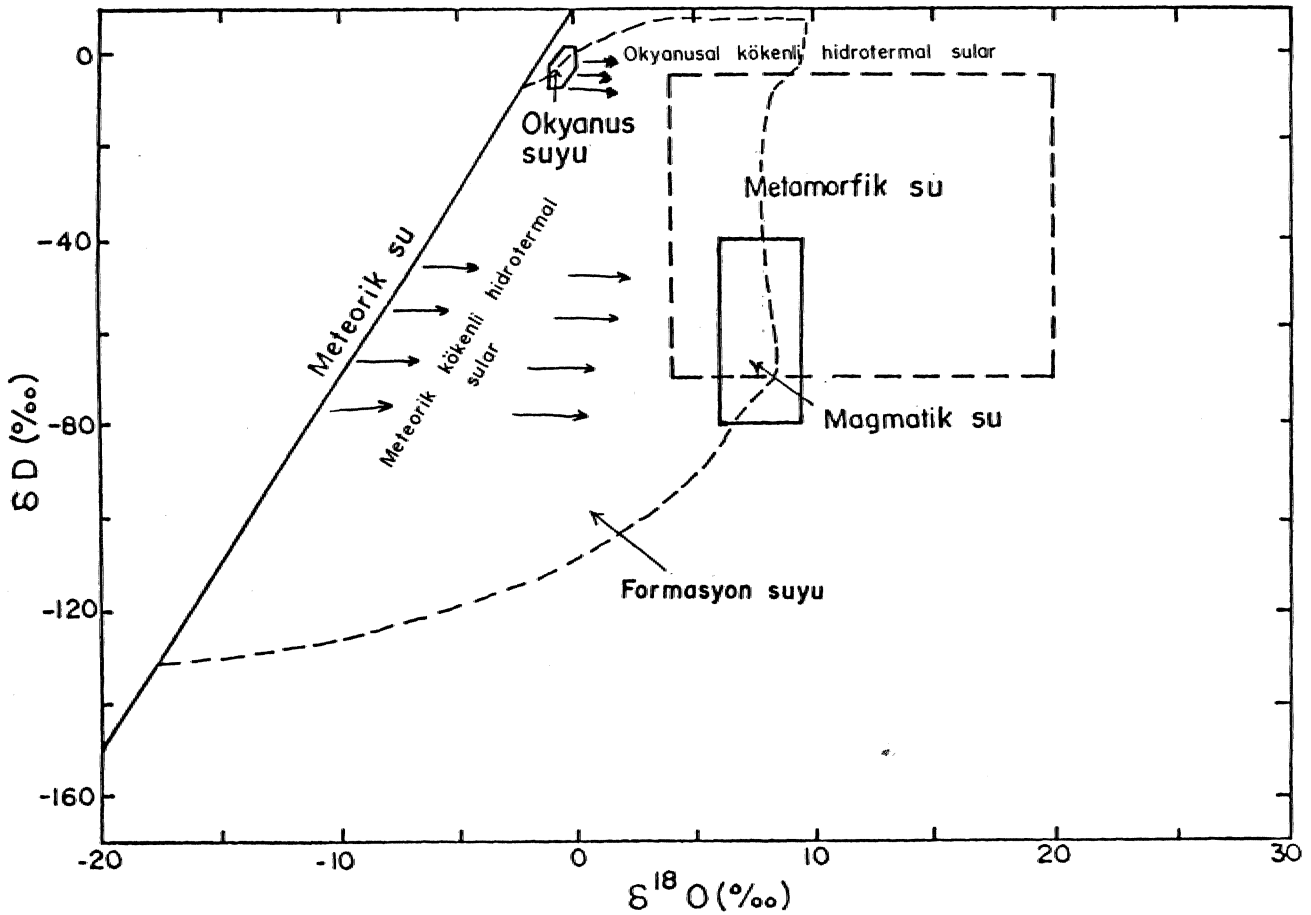
katlı minerallerin yapısında bol bulunduğu için jeolojik bakımdan en önemli izotoplar grubunu oluşturmaktadır.

Jeolojik bakımdan önemli olan bazı malzemelerde δD değerleri dağılımı Şekil 7'de olduğu gibi belirlenmiş olup, sedimanföer kayaçlar en ağır, meteorik su ise en hafif O izotopları bileşimi. « sahip maddelerdir. Bu şekildeki dağılımdan yararlanılarak hidrotermal cevherleşmeler içindeki yapısında oksijen bulunan (örneğin, kuvars) minerallerin çevredeki hangi kayaçlardan kaynaklanmış olduğunu şüpheli olarak tahmin etmek (örneğin δD değeri -5 - +15 ‰ arasında ise raagmatik, +15 - +25 ‰ arasında ise metamorfik, +25 ‰ ten daha büyük ise sedimanter gibi) mümkün, olabilmektedir. Ancak şekil, üzerinde birbiri ile çakişan kesimler için bu, tahmin mümkün olamayacaktır.

Jeolojik, bakımından. H ve O izotoplarının ortaklaşa kullanıldığı en önemli malzeme sudur. Bir eksene δD değerleri, diğerlerine $\delta^{18}O$ değerleri konularak hazırlanmış diyagram üzerinde farklı kaynaklı suların, konumu. Şekil 8'de olduğu gibi belirlenmiştir Bu şekil ü/crindce okyanus

suju kendisi standart olarak kullanıldığı için O ‰ çevresinde δD ve $\delta^{18}O$ değerleri, magmatik ($\delta D = +5.5 - +10.1$, $\delta^{18}O = -50 - 85$ ‰) ve metamorfik ($\delta D = +5 - +25$, $\delta^{18}O = -20 - -65$ ‰) sularda pozitif işaretli δD ve negatif işaretli $\delta^{18}O$ değerleri gözlenmektedir. Meteorik kökenli su ise ekvatorndan kutuplara ctoğra ve denizlerden kıta içlerine doğru hafifleşecek şekilde bir izotopsal. değişim, gösterdiği için şekilde, görüldüğü gibi " $\delta^{18}O < 0$, $\delta D < 0$ ‰; $\delta D = 8$ or $\delta^{18}O + 10$ ‰" şeklinde formüle edilebilecek bir doğru şeklinde δD ve $\delta^{18}O$ değerleri göstermektedir.

Çeşitli suların izotopsal bileşimleri incelenirken dikkat edilmesi gereken, en önemli konu» su. ile içinden geçtiği, ve/veya içinde bulunduğu kayaçlarla izotopsal etkileşimlerin, gelişmesidir* Kayaçlar içinde oksijen, içeren oksitli ve silikattı mineraller bol bulunduğundan özellikle bu etkileşmenin karşılıklı olarak Ö izotopları bileşiminde fazla olduğu, H izotoplarında ise CH⁴ çe çok zengin seviyelerin bulunmaması halinde bu etkileşmenin ihmal edilebilecek derecede olduğu görülmektedir. Bu



Şekil 18. Çeşitli suların δD - $\delta^{18}O$ diyagramındaki konumları (Sheppard, 1986 dan) ve okyanus suyu ile meteorik su kökenli hidrotermal suların su-yan kayaç etkileşimine bağlı olarak izotopsal bileşimlerinin değişimi (oklar yönünde).

etkileşmenin sonucu olarak metecnik ve deniz suyu kökenli hidrotermal suların izotopsal bileşimleri ağırlaşacak şekilde değişikliğe uğramaktadır (Şekil 8; oklar yönünde). İçinde devri daim yapan sulann etkisi le çevre kayalarda önemli miktarlarda OH" içeren alterasyon mineralleri oluşmuş ise minerallerin su içinde hafif hidrojen daha kolay yapılarına lamları sonucu suyun δD değerlerinin ağırlaşması da söz konusu Tolabilm.ekiedir. Bunun sonucu olarak Kanada. Kalkanı kayaların içinde devridaim yapan meteorik kökenli yeraltı sularının meteorik su çizgisinin üstünde» okyanus tabanlardaki kayalar içine sızmış denizel kökenli suların ise bazan okyanus suyu alanının daha üstlerinde konumlanan δD değerlerine sahip olduiklan gözlenmiştir.

Önemli bazı hidrotermal cevherleşmelerde gözlenen mineral oluşturucu sulann izotopsal bileşimleri de şekil 9'da görülmektedir. Bu sekiden Kıbnns tipi yataklarda cevher oluşturucu sulann deniz suyu kökenli, kuroko tipi yataklarda deniz suyu ve meteorik su kaşırım kökeni» porfiri tip yataklano iç kesimlerinde magmatik, dış kesimlerinde

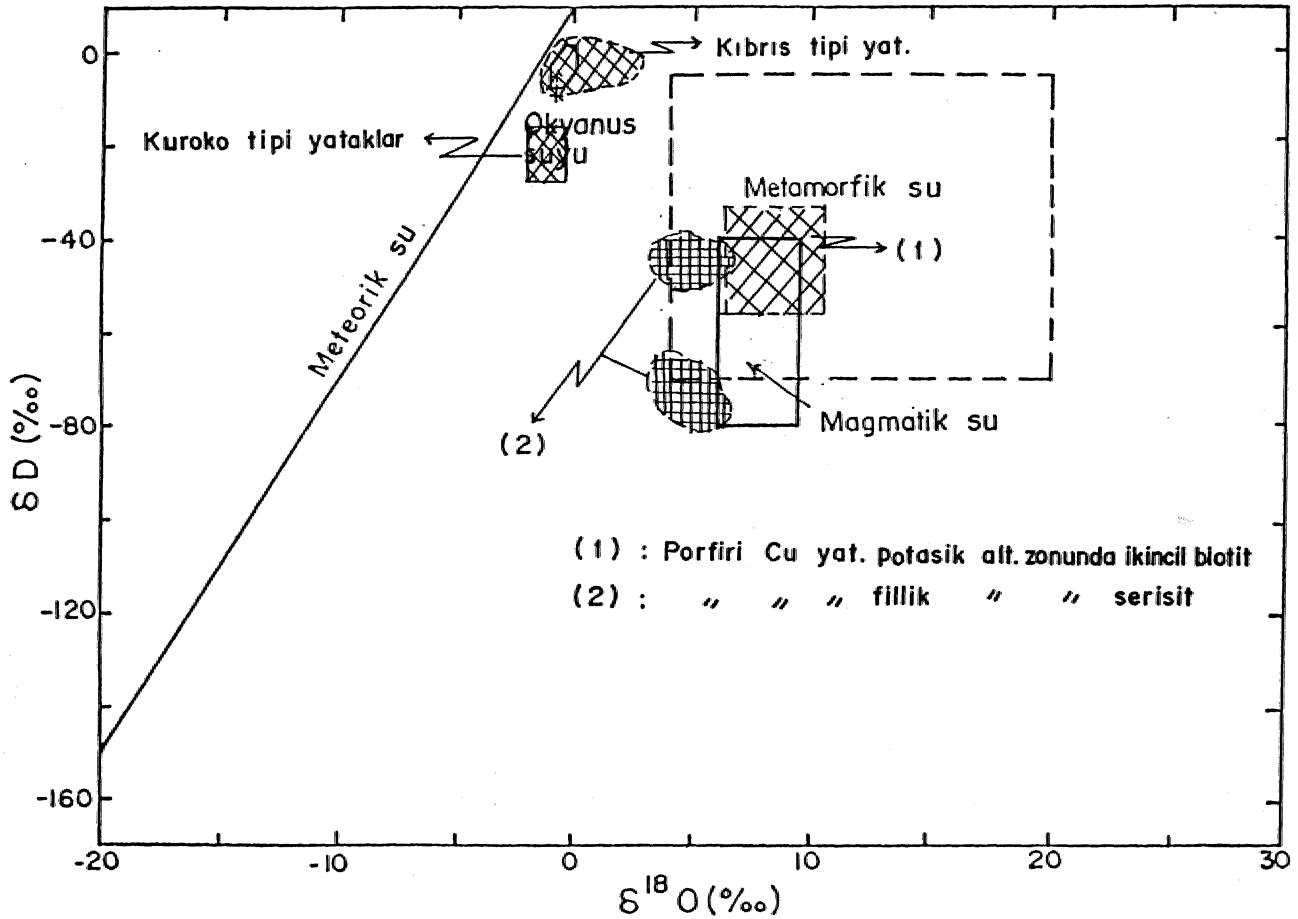
ise meteorik kökenli oldıktan görülmektedir,

Yapılarında oksijen içeren çeşitli oksitli ve silikattu mineraller arasında veya bu mineraller ile su arasında gelişen oksijen izotopları aynımlaoma faktörleri sıcaklığa bağlı olarak değişmekte olup, bu değişimden jeolojik termometre olarak veya hidrotermal cevherleşmeler içinde bu minerallerin izotopsal bileşiminden yararlanılarak cevher oluşturucu suyun izotopsal bileşiminin bulunmasında yararlanılmaktadır (Şekil 10).

KARBON İZOTOPLARI İNCELEMELERİ

Karbon» atom numarası 6 olan ve 3 tane izotopu (^{12}C , ^{13}C ve ^{14}C) bulunan bir elementtir. ^{12}C izotopu radyoaktif olup» diğer izotoplarının oransal bollukları ^{12}C : %98.89 ve ^{13}C : %1.11 şeklindedir (Hbefis, 1987; Nier, 1950'den). İzotop jeokimyası incelemelerinde $^{13}C/^{12}C$ oranı analiz edilmekte ve sonuçlar $\delta^{13}C$ değerleri şeklinde ifade edilmektedir. Standart olarak Chicago Pee Dee Belemniti (PDB) Mlamlm.aktadır.

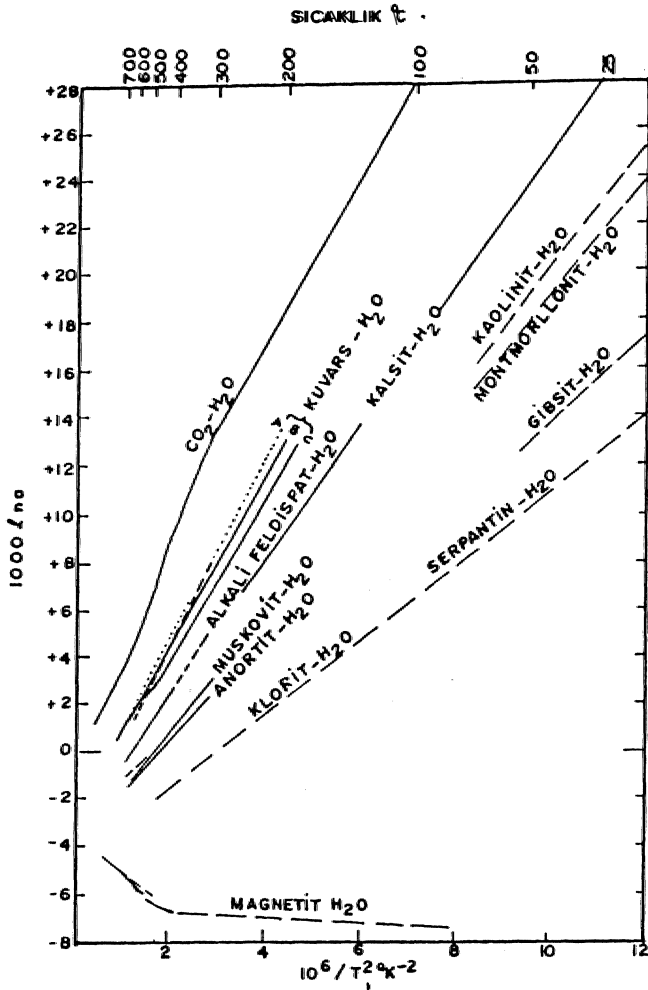
Jeolojik bakımdan önemli bazı malzemelerde $\delta^{13}C$



Şekil 19. Bazı önemli hidrotermal cevherleşmelerde hidrotermal suların izotopsal bileşimi (Evans, 1987'den).

değerleri şekil 11'de olduğu gibi belirlenmiştir. Standart olarak kullanılan Chicago Pee-Dee Belemniti denizel, bir malzeme olduğundan, denizel karbonatlar'0 ‰ çok yakın, er ^C değerlerine sahiptirler. Diğer tüm malzemeler standarta ve denizel karbonatlara göre daha hafif izotopsal. bileşimlere sahiptirler. Kaü haldeki karbonatlı bileşikler en ağır, organik maddeler, petrol ve kömiir en hafif, çözümlü iyonlar ise bunlann arasında bir a ^C değeri göstermektedirler.

Hidratemal cevherleşmelerde karbon izotoplan. verileri çok. az olup, karbonatlı minerallerin ve sıvı kapan.im.lari içindeki CO2, CH4 gibi gazlann yapıandaki. karbonun izotopsal. bileşimi incelemektedir. Karbonatlı mineraller genellikle cevher minerallerine göre daha geç oluştuktan için izotopsal bileşimden yararlanmak güçtür. Ayrıca sıcaklık değişiminden (100°C'lik bir sıcaklık düşmesi a¹³C değerinde 2-5 ‰ artışa neden olabilmektedir), çözeltilinin



Şekil 10. Sıcaklığın fonksiyonu olarak çeşitli minerallerle su arasında gelişen denge halinde oksijen izotopları ayrışma faktörlerinin değişimi (Ohmoto ve Rye, 1979'dan).

pH ve Eh gibi özelliklerinden çok etkilenmektedir. Dolayısıyla şekil 11'de görülen dağılım alanları yalnızca diğerleri ile çakışmayan kesimleri için değerlendirme yapmak mümkün. olup, çakışan kesimleri için. birşey söylemek mümkün olamamaktadır. Nitekim bazı. hidroterm.al cevherleşmelerde saptanan ve -5 - -10 ‰ arasında değişen a ^C değerlerinin belirtilen kaynaklardan herhañgibiri.nd.en sağlanması mümkün gözükmemektedir (Ohmoto ve Ryle, 1979)., Son yıllarda sıvı kapanımları içindeki CO2-CH4, gibi gazlann o ^C değerlerinden ve izotopsal ayrışma özelliklerinden jeotermometre olarak yararlanma, yolları araştırılmaktadır.

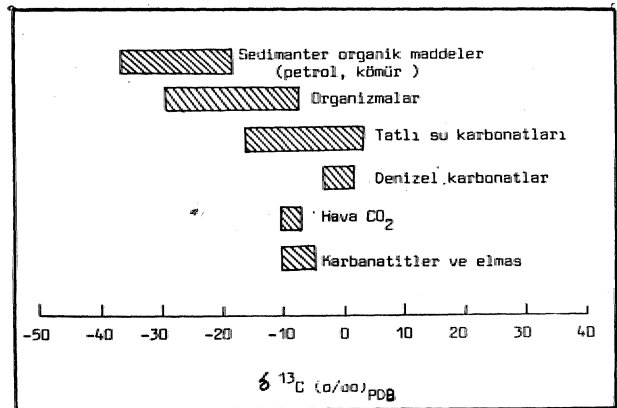
TÜRKİYE'DEN ÖRNEKLER

i. Karakoca (Simav-Kütahya) Kurşun-Çinko Yatağı

Bu. yataкта yapılmış kükürt izotopları jeokimyası, incelemeleri ülkemizde yapılmış ilk kararlı izotoplar jeokimyası incelemeleridir (Erlar, 1979). Galen ve kalkopiritlerde +5.85 ile +7.91 ‰ arasında değişen a³⁴S değerleri, saptanmıştır (Çizelge 2). BE değerlere göre yataktaki sülfürlü minerallerin bileşiminde bulunan kükürtün magmatik kökenli olduğu belirtilmektedir.

Örnek No. Sample No.	Mineral	$\delta^{34}\text{S}$	binde $\delta^{34}\text{S}$ per mil
1	Galen	0,045302	+ 6,61
2	Kalkopirit	0,045360	+ 7,91
2	Galen	0,045271	+ 5,93
4	Galen	0,045337	+ 7,38
5	Galen	0,045268	+ 5,85
6	Galen	0,045284	+ 6,22

Çizelge 2. Karakoca (Simav-Kütahya) yatağında sülfürlü minerallerin $\delta^{34}\text{S}$ değerleri (Erlar 1979'dan).



Şekil 11. Jeolojik olarak önemli bazı maddelerde $\delta^{13}\text{C}$ değerleri (Hoefs, 1987'den).

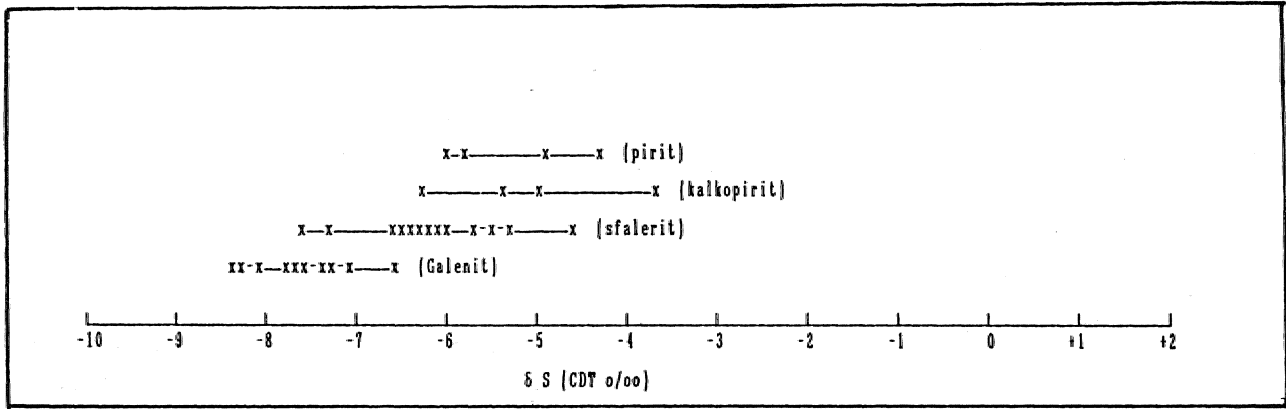
ii. Kurşunlu (Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu Yatağı

Yöredeki Pb-Zn-Cu yatakları Ost Kretase Volkanitleri içindeki fay düzlemleri boyunca yataklanmış damar tipi yataklardır (Gökçe, ve Özgüneylioğlu 1988).

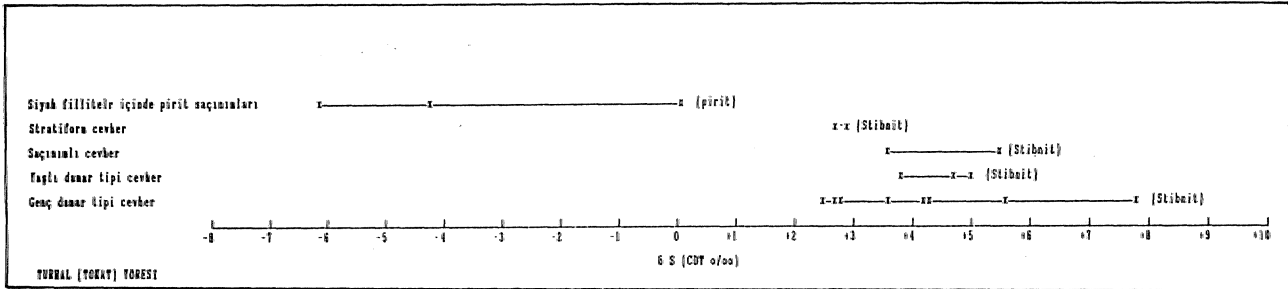
Cevher damarlarının değişik yerlerinden alınan örneklerden, ayrılan pirit, kalkopirit, sfalerit ve aleoitlerde Seki 12'de görülmektedir. Bu δS değerlerinin, volkanik yan kayaçlardan magmatik kükürtün hafif kısmının tercihli ola-

rak çözülmesi veya yıkanan magmatik kükürtün sülfürlü ve sülfürlü minerallerce paylaşımı sonucu sülfürlü minerallerde hafif kısmının kullanılması şeklinde ortaya çıkmış olabileceği düşünülmektedir (Gökçe, 1990).

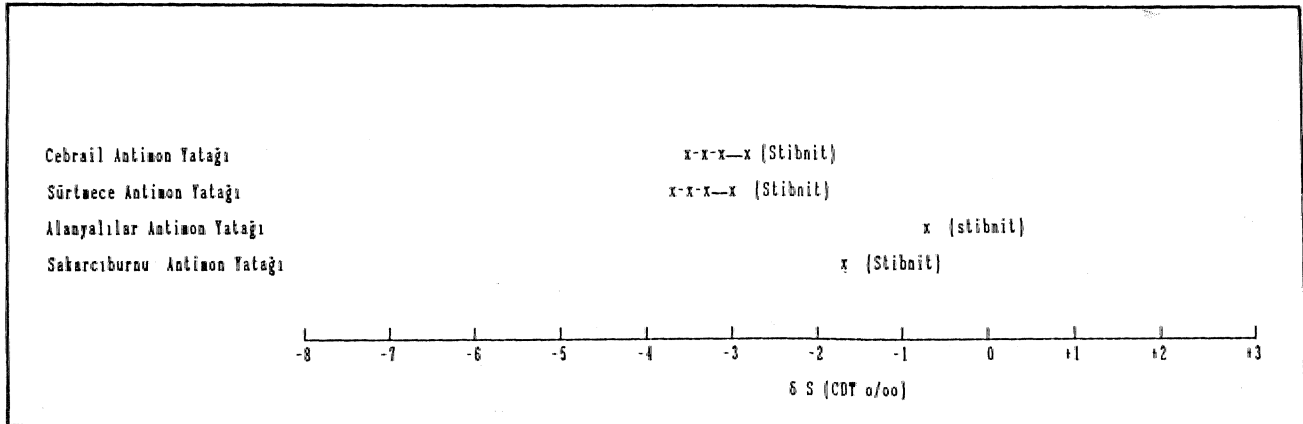
Yöredeki, cevher damarlarından alınmış örneklerde yapılan oksijen ve hidrojen izotopları jeokimyası incelemelerinde hidrotermal çözeltileri, oluşturan suyun yüzeysel kökenli olduğuna işaret eden veriler elde edilmiştir (A. Gökçe; yayınlanmamış bulgular).



Şekil 12. Kurşunlu yöresi yataklarında çeşitli sülfürlü minerallerin $\delta 34S$ değerleri dağılımı (Gökçe, 1990'dan).



Şekil 13. Turhal yöresinde siyah fillitler içindeki piritlerin ve çeşitli cevherleşme tiplerindeki stibnitin $\delta 34S$ değerleri dağılımı (Gökçe ve Spiro, 1991'den).



Şekil 14. Muratdağı antimon yöresinde çeşitli yataklarda stibnitin $\delta 34S$ değerleri dağılımı (Gökçe ve Spiro, 1993'den).

ili.. **Turhal (Tokat) Yöresi Antimon**
Yatakları

Turhal Yöresi'nde antimon yatakları; fillit, metabazit, karbonatlı kuvarsit, ve meşer bloklarından oluşan "Turhal Metamorfiti" içinde, yer almaktadırlar. Yapılan incelemelerde a, Siyah renkli fillitler içinde stratiform tip, b. Karbonatlı kuvarsitler içinde- stockwork ve saçınındı tip, c. Kilitleri, metabazitleri ve karbonatlı kuvarsitleri kesen faylar boyunca damar tipi (yaşlı ve genç olmak üzere iki evreli) ve d. Fillit-kuvarsit dokunaklarında stratabound tip (epijenetik dokunak dolgusu) olmak üzere 4 farklı tip cevherleşme saptanmıştır (Gökçe, 1983, Gökçe ve Köksoy, 1984),.

Siyah renkli, fillitik yan kayaçlar içindeki pirit ve yukarıda belirtilen değişik cevherleşme tiplerinden alınan örneklerden ayrılan, antimonit kristallerinde yapılan kükürt izotopları jeokimyası incelemelerinde Şekil 13'de görülen $\delta^{34}\text{S}$ değerleri elde edilmiştir' (Gökçe ve Spiro, 1991).

Bu çalışmada siyah renkli fillitik yan kayaçlar içindeki piritlerde gözlenen $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin, metamorfizma öncesi sedi.mant.er ve/veya volkanosedimanter ortamın kükürt izotopları bileşiminin temsil ettiği, stibitlerde gözlenen değerlerin ise bu değerlere göre çok yüksek olması nedeniyle farklı bir kaynaktan türemiş olması gerektiği belirtilmektedir. Kaynak olarak yöredeki metabazitik kayaçlar' düşünülmekte olup, stratiform tip yalıklar için bu kayaçların su altı magmatik faaliyetleri ile oluşumu sırasında oluşan hidrotermal çözeltilerle taşınan, diğer tip yataklar' için ise bu kayaçlarda epijenetik hidrotermal çözeltilerle çözülen kükürtün kaynak oluşturduğu ve kaynağın, oldukça, homojen bir izotopsal bileşime sahip olduğu belirtilmektedir.

Aynı araştırmacılarca yöredeki damar tipi yataklar üzerinde yapılan oksijen, ve hidrojen izotopları jeokimyası incelemelerinde cevherleşmelerin oluşumunda meteorik kökenli suyun etkili olduğuna ilişkin veriler elde edilmiştir (yayınlanmamış bulgular),.

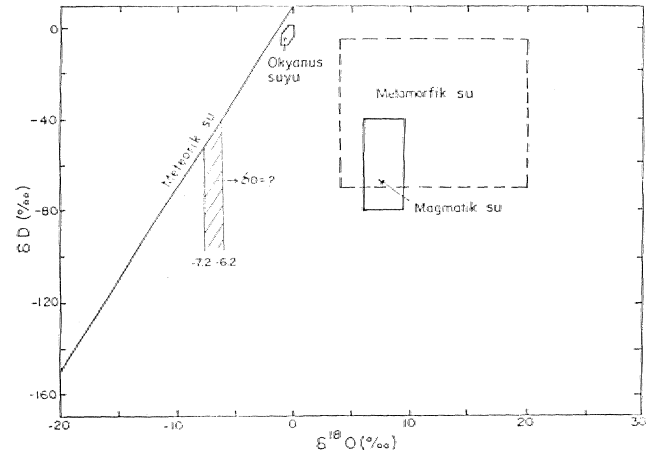
iv. **Muratdağı (Gediz-Kütahya) Yöresi**
Antimon Yatakları

Muratdağı Yöresindeki antimon yatakları özellikle Muratdağı **Kansı** olarak, bilinen ve şistlerden, ofiyolitik kayaçlardan ve kireçtaşlarından oluşmuş bir birini içinde gözlenmektedirler., Fay zonlarının özellikle karbonatlı birimlerle temas halinde olduğu yerlerde dokunak ve lay dolguları şeklinde yaltaklanmış **olup**, güncele çok yakın bir zamanda (Miyosen sonrası), oluşmuşlardır (Gökçe, 1986 ve 1987),

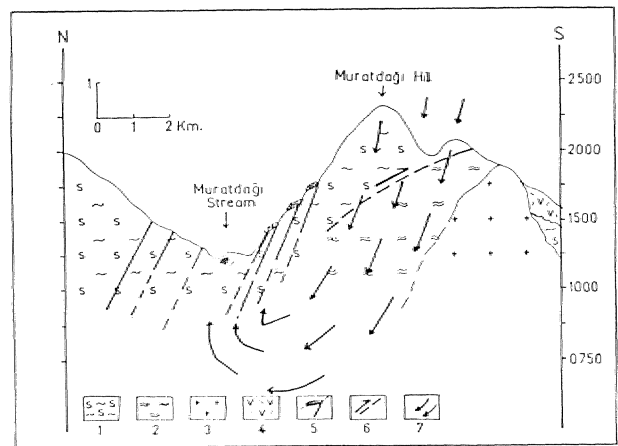
Yöredeki değişik, antimon yatak ve cevherleşmelerinden alınan antimonit örneklerinden -3.6 ile -0.7 ‰ arasında değişen $\delta^{34}\text{S}$ değerleri analiz edilmiştir (Şekil 14). Her ne kadar yöredeki şistler içinden piritler zenginleştirilerek metamorfizma öncesi, sedimanter ortamın ve dolayısıyla, yan kayaçların kükürt izotopları bileşimi analiz edilememişse de bu değerler- Turhal ve Ödemiş yörelerinde saptanmış piritlere ait değerlerden çok daha ağır değerler olup, metadetritik kayaçlarla ilişkili, gözükmemektedirler. Sıfıra yakın değerler **olmaları** nedeniyle magmatik kökenli olarak yorumlanmışlardır (Gökçe ve Spiro, 1993)..

v.. **Beydağı (Ödemiş-İzmir) Yöresi Antimon**
ve Civa Yatakları

Beydağı Yöresi'ndeki antimon, ve civa yatakları



Şekil 15. Muratdağı antimon yöresi Sürmece yatağında cevher oluşturu hidrotermal suyun izotopsal bileşimi (Gökçe ve Spiro, 1993'ten değiştirilerek).



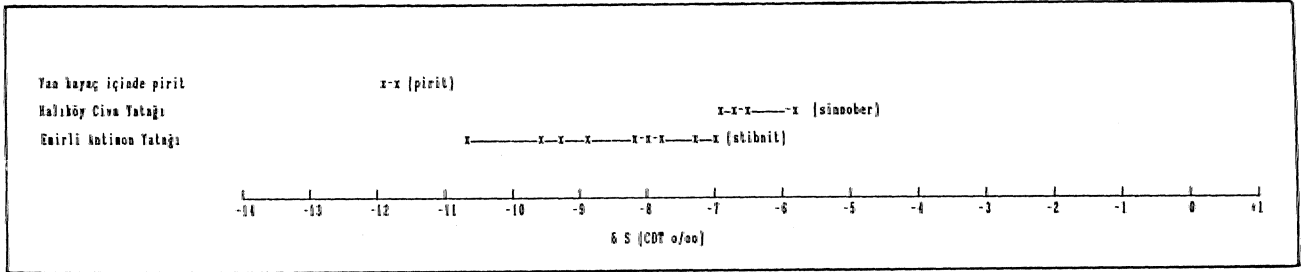
Şekil 16. Muratdağı antimon yöresindeki meteorik suyun sirkülasyonu ve cevherleşmelerin oluşumu modeli (Gökçe ve Spiro, 1993'ten).

Menderes. Massifi içindeki şist ve gnaysları kesen, fay zonları boyunca oluşmuş, damar tipi yataklardır,. Yankayacı oluşturan şistler içindeki piritlerle yataklar içindeki antimonit ve sinnoberlerde saptanan $\delta^{34}S$ değerleri Şekil 17'de görülmektedir. Antimonit ve sinnoberin bileşimindeki kükürt piritlerin bileşimindeki, kükürt aynı kökenli, olsalardı deneysel olarak saptanmış izotopsal ayrımlanma yönü gereği piritlere göre daha hafif bir izotopsal. bileşime sahip olmaları gerekirdi (Ohmoto ve Rye, 1979). Piritlere ait değerlerin metamorfizma öncesi sedimenter ortamın izotopsal bileşimini temsil ettiği düşünülürse antimonit ve sinnoberlerdeki kükürtün piritlere göre farklı bir kaynaktan türemiş olmaları gerekmektedir. Saptanan 0.34δ değerlerinin, sıfırdan uzak sayılabilecek negatif işaretli değerler olmaları nedeniyle

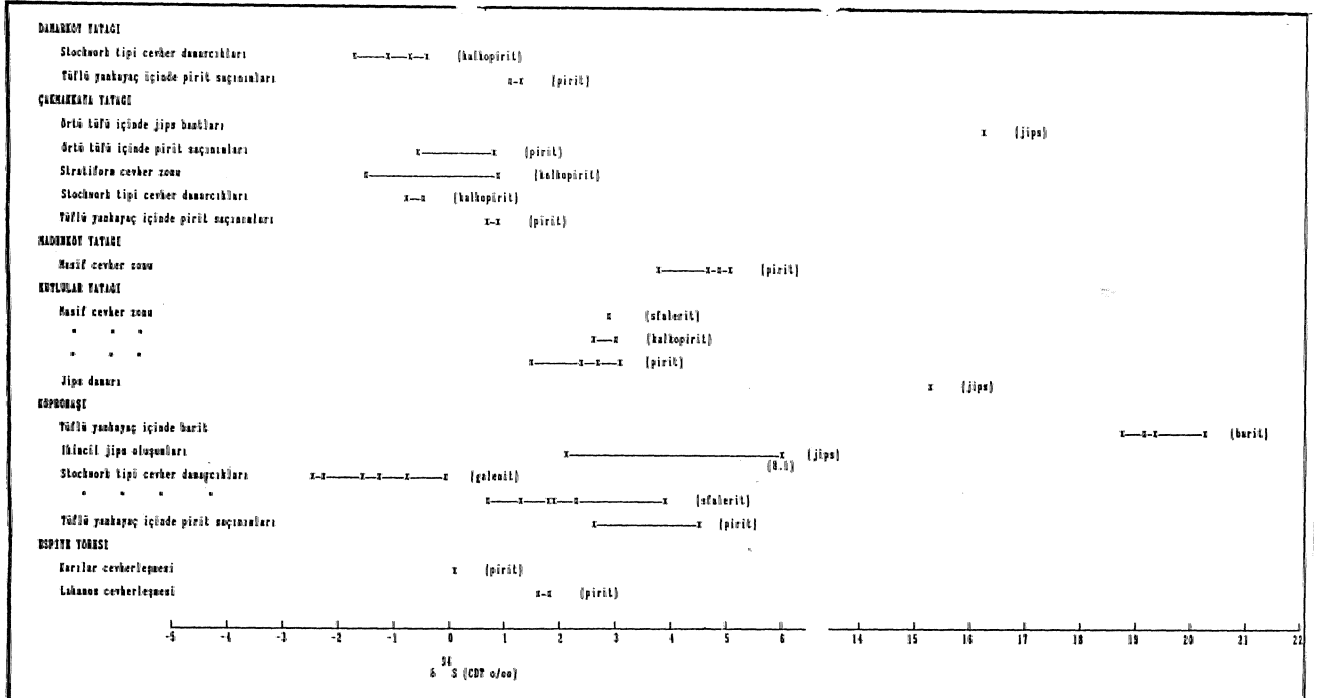
köken, olarak; magmatik kükürt, ile piritlerin, bileşimine benzer bileşimdeki yankayaçlar içindeki, kükürt karışımı şeklinde bir kaynak, önerilebilir.,

iv. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Stockwork ve Stratiform Tip Cu-Pb-Zn Yatakları

Doğu Karadeniz Bölgesi stockwork ve stratiform, tipi Cu-Pb-Zn yataklarının yaygın olarak gözlemlendiği, oldukça büyük bir metalojenik praventis özelliğindedir. Bölgedeki bazı yataklardaki değişik mineraller de analiz edilen $\delta^{34}S$ değerleri Şekil 18'de görülmekte olup» sülfürlü minerallerin yapısındaki kükürtün özellikle volkanik yankayaçlardan çözülerek zenginleştirilmiş magmatik kökenli kükürt olduğu düşünülmektedir (Gökçe, 1992).



Şekil 17. Beydağı yöresindeki metamorfizma içindeki pirit, Halıköy civa yatağındaki sinnober ve Emirli antimon yatağındaki stibnitlerin $\delta^{34}S$ değerleri dağılımı (Gökçe ve Spiro, 1993'ten).



Şekil 18. Doğu Karadeniz Bölgesindeki bazı stockwork ve stratiform yataklarda çeşitli sülfürlü ve sülfatlı minerallerin $\delta^{34}S$ değerleri dağılımı (Gökçe, 1992'den).

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Turhal Yöresindeki incelemelerde ÖZDEMİR ANTİMON MADENLERİ LTD. Şİİ., Muratdağı Yöresindeki incelemelerde METS AN A. Ş. ve ÇOBAN MADENCİLİK A. Ş., Beydağı Yöresindeki incelemelerde ETİBANK HALIKÖY MADENLERİ MÜESS. MÜDÜRLÜĞÜ» Kurşunlu Yöresindeki incelemelerde KAVALA MADENCİLİK, Doğu Karadeniz Bölgesindeki incelemelerde K. B. t. A. Ş. Murgul ve Kotlular İşletme Müdürlükleri, DEMİR EXPORT A. Ş. ve TÜBİTAK (Yer Bilimleri Araştırma Grubu), İzotop Analizlerinin Yapılması. Sırasında NIGLE (NERC İzotop Geos. Lab. İngiltere) ve TÜBİTAK (Bilim. Adamı Yetiştirme Grubu) önemli katkılarda bulunmuşlardır. Yazar yardımı için içi ta kurum ve kuruluşlara teşekkür eder.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Claypoll, G. E., Holser, W. T., Kaplan, L. R. Sakai, H. and Zak, T., 1980,, The age curves of sulfur and oxygen isotopes in. marine sulfate and their mutual interpretations. Chem. Geol., 28, 199-260.
- Erler, A., 1979, Karakoca (Simav-KÜTAHYA) Kurşun yatağı kükürt izotopları., T. J. K. Bull., 32/1, 117-120.
- Evans, A. M., 1987, An introduction to ore geology (second edL), Blackweil. Sei. Publ, Oxford, 353p.
- Garlick, G. D., 1969, The stable isotopes of oxygen (In: Wedepohl, K. H. (edt). Handbook of geochemistry., 8B. Berlin-Heidelberg-New York, Springer.,
- Gökçe, A., 1933» Turhal antimon yataklarının maden jeolojisi. Hacettepe Univ., Doktora Tezi (yayınlanmamış), 150 s.
- Gökçe,, A., 1986,, Cebrail (Gediz-KÜTAHYA) antimon yatağının jeolojisi. Cumhuriyet Üniv.,, Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 3/1,, 27-35.
- Gökçe, A.,, 1937, Muratdağı Bölgesi. (Gediz-KÜTAHYA) antimon cevherleşmelerinin jeolojisi. Cumhuriyet Univ., Müh. Fak., Yerbilimleri Dergisi, 4/1,65-86.
- Gökçe, A.,, 1990', Kurşunlu (Ortakent-Koyullusar-SİVAS) Pb-Zn-Cu yataklarında kükürt izotoptan incelemesi, M. T. A. Dergisi, 111, 111-118.
- Gökçe, A., 1992, Doğu Karadeniz Bölgesindeki Kukoro tipi (masif ve stockwork) Cu-Zn-Pb sülfid yataklarının kükürt izotopları incelemesi.. TÜBİTAK, projesi. No: TBAG-915/YBAG-00Q8,103 s,

- Gökçe,, A., ve Köksoy, M., 1984a, Turhal antimon yataklarının jeolojisi ve kökeni. T. J. K. Bull., 27,131-140.
- Gökçe., A. ve Özgüneylioğlu, A., 1988, Kurşunlu. (Ortakent-KoyulMsar-Sivas) Pb-Zn-Cu yataklarının jeolojisi, oluşumu ve kökeni. Cumhuriyet Üniv. Müh. Fak., Yerbilimleri Dergisi, 5/1,23-36.
- Gökçe, A. and Spiro, B., 1991, Sulfur isotope study of source- and deposits of stibnite in the Turhal arca. Mineralium Deposita, 26,30-33.
- Gökçe, A., and Spiro,, B.,, 1993 (?), Stable isotope study of antimony deposits in the Muratdağı Region, Western Turkey. Mineralium Deposita (incelemede).
- Hoefs, J., 1987', Stable isotope geochemistry (Third edL), Springer Verlag, 241 p.
- Macnamara, J, and Thode, EL G., 1959, Comparison of the isotopic constitution, of tenrestral and. meteoric sulfur, Phys. Rev.,, 78, 307-308,
- Mottl, M. J., 1976, Chemical exchange between sea water and basalt during hydrothermal alteration, of the oceanic crust. Unpublished Ph.D., thesis, Harvard Univ.
- Neir,, A. O., 1950, A redetermination of the relative abundances, of the isotopes of carbon,, nitrogen, oxygen, argon and potassium. Phys. Rev., 77,789.
- Ohmoto, H., 1986, Stable isotope geochemistry of ore deposits (In; Valley et all. (Edts.); Stable isotopes in high temperature geological processes, Reviews in mineralogy, V: 16,491-559).
- Ohmoto, H.,, Cole D, R. and Mottl, M. J., 1976, Experimental basalt-seawater interaction: sulfur and. oxygen isotope study., EOS, 57,342.
- Ohmoto, H, and Rye, O',, 1979, Isotopes of sulfur and carbon (In: Barnes, H. L. (edt.), Geochemistry of hydrothermal ore deposits, p., 506-567, Wiley, Newyork.
- Sheppard, M. F., 1986» Characterization and isotopic variations in natural waters (In: Valley et all. (Edts.); Stable isotopes in high temperature geological processes, Reviews,in mineralogy, V: 16,165-183).
- Way, K., Fa.no, L., Sett, M R. and Thew, KL, 1950, Nuclear data. A collection of experimental values of half-lives, radiation energies,, relative isotopic abundances,, nuclear moments and cross-sections Nat. Bur., Standards U. S. Cire. 499.