

# Duraylı İzotoplar

## Duraylı İzotoplar Jeokimya Cıvırımı Moden Yataklarına Uygulanması

Vedat OYGÜR  
MJA Genel Müdürlüğü,  
Maden Etüt ve Arama Dairesi, ANKARA

### ÖZ

*yıllarda duraylı izotoplar jeokimyası,, cevher taşıyan akışkanların doğasının ve cevher oluşum süreçlerinin kavranmasında büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Maden yataklarının kökeni ve oluşumlarına ilişkin problemlerin çözümünde güçlü ve etkin bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır. Cevherli akışkanların ana bileşeninin su alması ve farklı kökenli suların kendilerine özgü O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> izotopik bileşim, değerleri göstermeleri nedeniyle, çözeltilerdeki suyun kökenini ve tarihçesini açıklamada O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> izotopları yaygın olarak kullanılmaktadır.*

*Çeşitli maden yataklarının izotopik bileşimleri hakkındaki güncel çalışmalar magma kökenli suların sadece çevre kayalar içerisinde deniz suyu veya meteorik suyun dolaşmasıyla oluşan bir hidrotermal dolaşım sistemini yürüten bir ısı kaynağı olarak hareket ettiğini göstermiştir. Bununla, birlikte, izotop verilerine göre, cevher oluşumunun ve hidrotermal alterasyonun em belirgin özelliği, olasılıkla-, farklı kökenli suların karşındır»*

### GİRİŞ

Maden yataklarının kökenine ve oluşumuna yönelik araştırmalar, dolayısıyla maden arama teknikleri güllümünde hızla gelişmektedir. Bu alandaki çağdaş teknolojilerden birisi de duraylı izotoplar jeokimyasının maden yataklarına uygulanmasıdır.

Son yıllarda, yurt içinde yayımlanan dergilerde bu konuya ilişkin çok sayıda makale yer almıştır. Ancak; bunların sadece araştırma sonuçlarına yönelik özgün, yayınlar olması, yöntemin, ana ilkeleri, ve teknikleri, hakkı oda bilgi verilmemesi nedeniyle bu yazının hazırlanması düşünülmüştür.

Doğada var olan birçok kimyasal ve fiziksel süreç, hafif elementlerin, duraylı izotoplarının bölünmesinden sonuçlanmaktadır. Kütle spektrometresi ve örnek hazırlama tekniklerindeki gelişmeler, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, C, S ve N'nin izotopik değerlerindeki değişimlerin %0.01-0.02 doğruluk derecesinde ölçülmesine olanak sağlamıştır..

Cevher yapıcı akışkanların baskın bileşeni olması nedeniyle suyun kökeni,, herhangi bir cevher oluşumu

kuramının temel ögesidir., Akışkanlardaki çözünmüş diğer malzemeler sadece çözeltinin P-T tarihçesi ve akışkanın ilişkide bulunduğu kayaç tipleri hakkında bilgi, sağlar., Çeşitli kökenli sulara O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> içeriklerinin sistemli farklılıklar sunması (Taylor, 1974) nedeniyle O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> izotop incelemeleri,, çözeltilerdeki suyun tarihçesi ve kökenini çözümleyen jeokimyasal ölçütleri verir.

İzotoplar hakkındaki, temel bilgiler ve. izotopların jeolojik süreçlerdeki yerleri üzerine, Odamız yayınlarından "Jeokimya-Temel Kavramlar- ve İlkeler"<sup>1</sup> kitabında ayrıntılı bilgi verildiğinden (Güleç, 1993) bu makalede sadece, O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> izotopları ile maden yataklarının kökeni arasındaki ilişki ele alınacaktır.

### İZOTOP JEOKİMYASININ TEMELLERİ

Bir elementin her atomunda, proton sayısı aynı olmasına karşın, nötron sayıları, değişebilmektedir., Farklı nötron sayılarına, sahip atomlarına, o elementin izotopları adı verilir. İzotopların kimyasal bileşimleri aynı olmasına karşın, kütlelerinde farklılıklar vardır.,

## Duraylı İzotoplar

İzotoplar genel olarak iki gruba ayrılırlar. Radyojenik izotoplar;  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  radyasyonları yayarak, radyoaktif bozuşma yoluyla başka bir elementle dönüşen izotoplardır.  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi radyojenik izotoplar yaygın, olarak radyometrik yaş ölçümlerinde kullanılmaktadır.

Duraylı izotoplarsa radyoaktif bozuşma özelliği göstermezler. Oksijenin  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  ve  $^{18}\text{O}$  olmak üzere üç; hidrojenin  $^1\text{H}$  ve  $^2\text{H}$  (D) olarak iki; karbonun  $^{12}\text{C}$  ve  $^{13}\text{C}$  olarak iki; kükürdün  $^{32}\text{S}$ ,  $^{33}\text{S}$ ,  $^{34}\text{S}$  ve  $^{36}\text{S}$  olarak dört; azotun  $^{14}\text{N}$  ve  $^{15}\text{N}$  olarak iki izotopu vardır.  $\text{O}_2$  ve  $\text{H}_2$  nin duraylı izotoplarının bileşimde bulunmasına göre, kütlelerindeki farklılıklar temelinde: suyun bileşimi,  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  olarak  $\text{D}_2^{16}\text{O}$  ve  $\text{D}_2^{18}\text{O}$  biçiminde değişebilmektedir.

Duraylı izotopların jeokimyasının maden yataklarına uygulanması, çeşitli jeolojik süreçlere eşlik eden izotopik ayrışmanın mekanizması ve şiddeti hakkındaki bilgilerimize dayanır. İzotop ayrışmasının nedeni, molekül veya kristal yapısında, bulunan ağır ve hafif

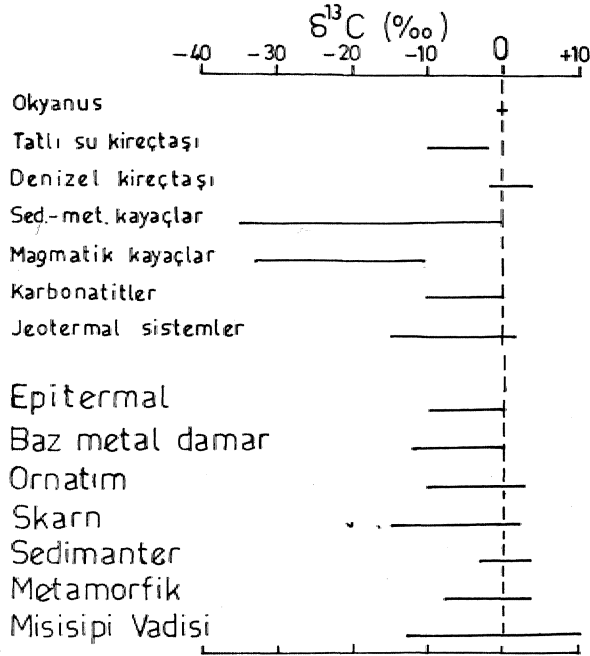
atomların titreşim frekanslarındaki farklılıklardır. Ağır atomların titreşim, frekansı hafiflere göre düşük olduğundan ağır atomların diğer atomlarla bağları güçlü olmaktadır. İzotop ayrışması, atomik kütlesi kırkdan küçük olan elementler için söz konusudur (Faure, 1986),

Duraylı izotoplardan  $^{18}\text{O}$  ve D yaygın, olarak kullanılmaktadır. Karbonatlar en geç oluştuklarından C (Şekil 1) ve çok geniş spektrumlu olmaları, nedeniyle S izotoplarının (Şekil 2) kullanımı, enderdir. N ise uygulama alanı bulamadığından kuramsal düzeyde kalmıştır.

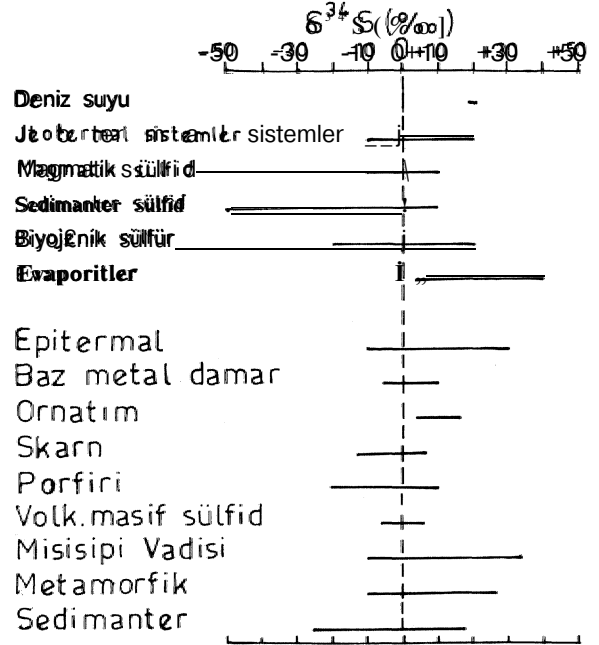
### İzotop Ölçümleri

İzotoplar bir kütle spektrometresiyle ölçülür. Elektrik yüklü atomları ve molekülleri, elektrik ve/veya manyetik alanlardaki hareketlerini esas alarak kütlelerine göre ayırmak üzere tasarlanmış bir aygıttır.

Toz biçiminde öğütülen örnekte, elektron bombardımanıyla, moleküller iyonize edilir ve yüksek voltaj yardımıyla ivme kazandırılarak fak iyon ışını biçimine getirilir. Manyetik alan içerisine giren ışınlar kütleleriyle orantılı bir biçimde saparlar. Ağır iyonların az, hafiflerin



Şekil 1. Çeşitli jeolojik ortamlara ve cevher tiplerine ilişkin  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri (Becker ve Clayton, 1972; Rye ve Ohmoto, 1974; Rye ve Rye, 1974; Ohmoto ve Rye, 1979; Akande ve Zentitti, 1983; SMmazakil 1988; McKeag ve Craw., 1989; Heinrich ve diğ., 1989; Branam ve Ripley, 1990; Fu ve diğ., 1991; Layne ve diğ., 1991).



Şekil 2. Çeşitli jeolojik ortamlara ve cevher tiplerine ilişkin  $\delta^{34}\text{S}$  değerleri (Rye ve Ohmoto, 1974; Ohmoto ve Rye, 1979; Akande ve Zentitti, 1983; Shimazuki, 1988; Fonteüles ve diğ., 1989; Branam ve Ripley, 1990; Fu ve diğ., 1991; Layne ve diğ., 1991).

## Duraylı İzotoplar

rio daha çok sapmasıyla birbirlerinden ayrılan iyonlar bif kollektörde toplanır. Kayıt aletinde, izotopun bolluğuyla orantılı pikler çizilir;

O<sub>2</sub> izotopik bileşimi, malzemenin cinsine bağlı olarak hazırlanmış CO<sub>2</sub> örneklerinin analiziyle ölçülür.

H<sub>2</sub> izotopik bileşimi, 750°C de metalik uranyumla tepkimeye girmiş su örneklerinden hazırlanan H<sub>2</sub> gazının analiziyle ölçülür.

Kükürtlü bileşenlerin bir dizi tepkimeyle, Ag<sub>2</sub>S ve BaSO<sub>4</sub> aracılığıyla SO<sub>2</sub>'ye çevrilmesiyle S izotop ölçümleri yapılır.

C ölçümleriyle, karbonatların 25°C de derişik fosforik asitle tepkimesi sonucu serbestleşen CO<sub>2</sub> özerinde gerçekleştirilir.

### İzotop terminolojisi ve standartlar

O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> izotopik bileşimleri sırasıyla S<sup>18</sup>O ve SD olarak yazılır ve SMOW (Standart Ortalama Okyanus S oyo) standardına göre <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O ve D/H oranlarının farkları olarak ifade edilir (Craig, 1961).

Bir diğer standart PDB olarak bilinir. Chicago Üniversitesi tarafından, Güney Carolina'daki Peedee Formasyonu'nda bulunan Kretase yaşlı belemnitlerden hazırlanan. CO<sub>2</sub>dk., Karbonatlardaki O<sub>2</sub>. ve C izotopik bileşimi için kullanılır (Craig, 1957).

S izotopik bileşimi. 8<sup>34</sup> S olarak gösterilir ve Canyon Diablo'daki demir meteoritinde bulunan troyMt. (FeS) standart olarak kullanılır (Smit.herin.gale' ve Jensen, 1963).

N için. Dünya'nın her yerinde sabit izotopik bileşimdeki atmosfer azotu kullanılır (Mariotti, 1984).

İzotopik bileşimler binde olarak ifade edilir ve değeri mutlak bir orantıyı göstermez; örnek ile standart arasındaki görel bir sapmayı temsil eder. 5 D=+10 değerinin anlamı, örnek D' bakımından. SMOW'dan %c 10 zengin demektir. Negatif değerlerse, SMOWa göre- örnekteki izotopların görel tükenişini, gösterir.

### SULARDA İZOTOPİK DEĞİŞİMLER

Çağdaş maden, yatakları kuramlarına göre meteorik SÖ, yerkabuğundaki dolaşımı sırasında veya bir magma gövdesiyle teması sonucunda ısınır ve özellikle bu süreç sırasında önemli miktarda tuzluluk kazanırsa potansiyel olarak cevher yapıcı bir akışkandır. Bu bakımdan,, maden yataklarının kökenini anlamak için çeşitli su türlerindeki izotopik değişimleri (Şek. 3) incelemek önemlidir.

Okyanus Sıfırı

Günümüzdeki okyanus suyunun izotopik bileşimi SMOW standardında sabittir (Craig, 1961): S<sup>18</sup>O=O ve 8D=O.

Buna karşın, buharlaşmanın yoğun olduğu ve tuzluluğun arttığı kapalı havzalarda, örneğin Kızıl Deniz'de S<sup>18</sup>O=+2 ve 5D=+11 gibi değerlerle oldukça yüksektir.

Arktika ve Antarktika gibi taze suyla önemli ölçüde seyrelmiş sulara ters yönde bir izotopik kaçış vardır: 6<sup>18</sup>O=-20 ile 5D= -200 ile -450 arasındadır.

Meteorik sular<sup>1</sup>

Meteorik suların izotopik değişimleri son derece sistemattir ve MWL (Meteorik Su Hattı) olarak ifade edilen bir doğrusal hatla gösterilir (Craig, 1961):

$$SD=8S^{18}O+10$$

Meteorik sular, SMOWa göre <sup>18</sup>O ve D bakımından tükenmişlerdir.

### Jeotermal sular

Jeotermal alanlardaki sıcak sular yüzeyden türemiştir. MWUden yüksek <sup>18</sup>O değerlerine doğru, karakteristik <sup>18</sup>O kaçışı görülür (Craig, 1963). Bunun nedeni, silikat ve karbonat çevre kayalarla olan izotopik değiş tokuştur.

### Formasyon suyu

Çökel kayaların depolanması sırasında kayacın gözenekleri içinde hapsolmuş bu sulara. <sup>18</sup>O, SD, tuzluluk ve ısı arasında pozitif korelasyon vardır. Düşük ısı ve tozlulukta değerleri en düşüktür. Yüksek ısı ve tuzlulukta yüksek S değerleri görülür (Taylor, 1979).

### Metamorfik sular

SD değerleri sınırlı olmasına karşın, <sup>18</sup>O değerleri geniş bir aralıktadır. İzotopik ayrılma faktörü ısıya bağımlı - olduğundan, düşük ısı, metamorfik sular yüksek SD ve düşük <sup>18</sup>O; yüksek ısıysa düşük 8D ve yüksek <sup>18</sup>O değerlerine sahiptir (Taylor, 1979).

### Magmatik sular

Doğrudan, magmadan gelen suyu örneklemek zordur. Granitoidlerin SD ve <sup>18</sup>O değerlerine sırasıyla %o 10 ve %o 1 eklenerek dolaylı yoldan hesaplanmaktadır (Ohmoto, 1986). Bu yöntem SD için homblende-H<sub>2</sub>O ve S<sup>18</sup>O için. plajiyozit-H<sub>2</sub>O dengede ayrılma faktörlerine dayanır.

Magmatik su teriminin kullanımında bir karışıklık görülmektedir. Magmatik su, kökeni ne olursa olsun magmatik kayalarla ilişkili suyu tanımlamak için kullanılır. Bu su, önceden meteorik veya denk suyu olabilir.

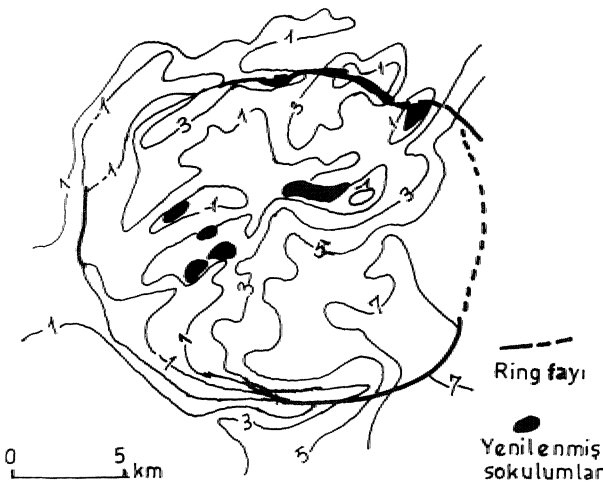


Tersiyer toleyitik plato bazaltı arasındaki uyumsuzluk düzeyine sokulmuş, yan yatay duruşlu bir gabro gövdesinden oluşur,,

"O analizleri» plajyoklazlar diğer kayaç yapıcı mineraller arasında hidrotermal akışkanlarla oksijen izotop aus verişine eo. elverişli mineral olması nedeniyle plajyoklazlarda yapılmıştır...  $8^{18}O$  değerleri Skaergaard sokulumu içerisinde düzenli bir biçimde dağılmaktadır (Şek. 4), Kuzeybatıdan güneydoğuya, doğru,, kayaçların eğinliyle uyumlu, olarak azalırlar. Sokulum gövdesinde KB kesimindeki  $8^{18}O$  değerleri normal magmatik (prison) değerlerdir,  $S^{18}O=+6$  kontunu sokulum içerisinde bazalt-gnays uyumsuzluğunun izlerini izler: Bu kontunun stratigrafik olarak, üzerindeki plajyoklaz örnekleri meteorik solarla temas sonucunda  $^{18}O$  bakımından tükenmiştir. Uyumsuzluk düzlemi, hidrotermal sistemin gelişmesinde önemli bir rol. oynamıştır. Son derece eklemli bazaltlar meteorik suyun hareketi için geçirengendir, halbuki, gnays temel görece geçiren değildir. Bunun sonucunda, sokulumun üst kesimi raeteroik suyla ilişki sonucunda etkilenmiş ve- alt. kesim, pristin değerini korumuştur.

#### Lake City Kalderası

Lake City Kalderası (Colorado) 23 My önce oluşmuş bir çökme yapısıdır. Bazalt-riyolit magmatizmasından oluşur. Yenilenmiş sokelemler çevresinde bir fosil hidrotermal sistem gelişmiştir (Criss ve Taylor, 1986),

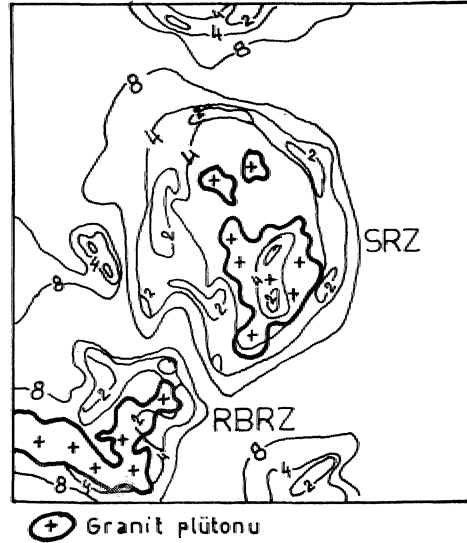


Şekil 5. Lake City Kalderası'nın  $\delta^{18}O$  değerlerine ait kontur haritası (Criss ve Taylor, 1986).

Düşük  $8^{18}O$  değerleri batı kesimindeki, stratigrafik olarak alt düzeydeki kloritleşmiş ve serisitleşmiş kayalar boyunca görülür (Şek. 5), En düşük değerler ya geçiren Riog fayı zone, boyunca, ya cevherli Eureka grabeni içerisinde ya da merkezdeki yenilenmiş sokulumlar dokanağındaki skanüarda yer almaktadır. Yüksek  $S^{18}O$  değerleriye kalderanın doğa kesimindeki stratigrafik olarak, yüksek, zayıfça altere kayalarla ilişkilidir. Böylece,, hidrotermal sistemdeki  $S^{18}O$  değerleri başlıca yükseklikle, yenilenmiş sokulumlara yakınlıkla ve ana kırıklara bağlı yüksek geçirgenlik zonlarıyla kontrol edilmektedir.

#### Idaho Bafolfti

Kretase yaşlı graniük plütonlardan oluşur. Bu graniitlerdeki orijinal.  $8^{18}O$  değerleri, +9 ile +11 ve SD değerleriye -65 ile -80 civarındadır. Şiddetli hidrotermal alterasyona bağlı olarak SD değerleri belirgin bir biçimde -160'a ve  $8^{18}O$  değerleri de -5e kadar düşmektedir (Criss ve Taylor, 1983).. Bu Aylar, düşük.  $^{18}O$  ve Dİ meteorik yeraltısulajtnırı,. Eosen boyunca, derindeki konvektif dolaşımından ileri gelmiştir.. GraniÄ plütonlar, akışkanların hareketini, yönlendirmek için: gerekli ısıyı sağlamışlardır. Bu feidroteratl • sistemler,, derince erozyona uğamış kalderalarla ilişkilidir; şiddetli hidrotermal alterasyon, ana kalderaların sebvolfemik Ring kink sistemleriyle çakışır (Şek., 6).



Şekil 6\* Idaho Batoliti'nde  $\delta^{18}O$  kantarla mu n Ring kink sistemleri ve yeniden yükselen damlarla ilişkisi (Criss ve Taylor, 1986). SRZ Sawtooth Ring Zonu; RBRZ- Rocky Bar Ring Zonu.

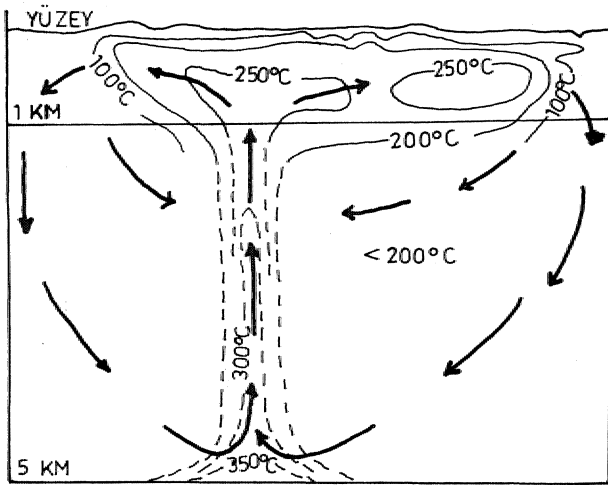
Bir güncel jeotermal sistemle karşılaştırma.

Şekil 7, Yeni Zelanda'deki Wairakei jeotermal sahasındaki güncel sıcaklık dağılımlarını göstermektedir (Taylor, 1974). Bu volkanik arazideki su tümüyle meteorik kökenlidir' (Şek. 8) ve sistemde epitermal altın cevherleşmesi vardır. Suyun yukarı doğru hareketi, varsayılmış magmatik ısı kaynağı üzerindeki dar bir zon boyunca olmaktadır. İzotermeler merkeze doğru ısıyı artıran bir mantar biçimindedir. Eğer w/r oranları fosil hidrotermal sistemlerde kabaca sabit se,  $5^{18}\text{O}$  konturları izotermelerle temsil edilebilir' ve  $5^{18}\text{O}$  anomalisinin merkezine, doğru ısı artar.

### MADEN YATAKLARI TİPLERİ İÇİN GENETİK MODELLER.

Maden yatakları,, farklı kökenli, cevher yapıcı hidrotermal akışkanların etkinlikleri sonucu, oluşmuştur. Su,, bu akışkanların ana bileşenidir. Bu nedenle, izotopik bileşiminden, yola çıkılarak suyun kökeni belirlenebilir-se cevherli akışkanların, tarihçesi de 'talim edilabilir.

Maden yataklarının oluşumuyla ilgili suyun izotopik bileşimi 'iki. yolla bulunabilin (1) Sıvı kapamalarda



Şekil 7, Wairakei, Yeni Zelanda güncel jeotermal sisteminde, ölçülmüş ve tahmini (kesikli çizgileri eş sıcaklık eğrilerini gösteren şematik kesit (Taylor, 1974).

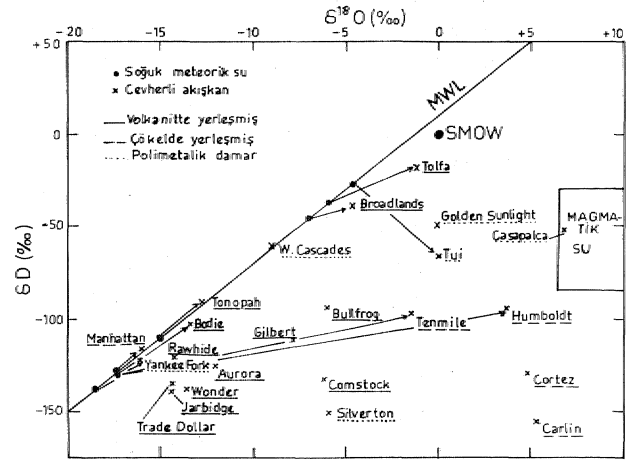
hapsolmuş suyun analizi; (2) Minerallerdeki  $\text{O}_2$  ve  $\text{H}_2$  ile belirli bir sıcaklıkta dengelenmiş sulu akışkanın  $5^{18}\text{O}$  ve  $6\text{D}$  değerlerinin hesaplanması.

Birincisi doğrudan yöntemdir, fakat homojenleşme (cevherleşmenin minimum) ısını verir ve çevre kaya-

lardan  $\text{O}_2$  ve  $\text{H}_2$  alış. verisi sonucunda suyun, izotopik bileşiminin değişmesi nedeniyle ikincil önemdedir. İkinci yöntem, tümüyle su-mineral değişim, dengesine ve izotopik jeotermometre denklemlerine dayanır.

### Epitermal yataklar

Bu yataklar,» meteorik suyunkine çok yakın izotopik değerlere' sahiptir (Şek.. 8). Cevherli akışkanların izotopik karakteristikleri, çözeltilerin olasılıkla çok düşük miktarlarda, ağır metal taşıdıklarını ve son. derece büyük miktarlarda su içerdiklerini göstermektedir (Taylor,, 1979)., Ancak volkanitlerde yerleşmiş olan Comstock,



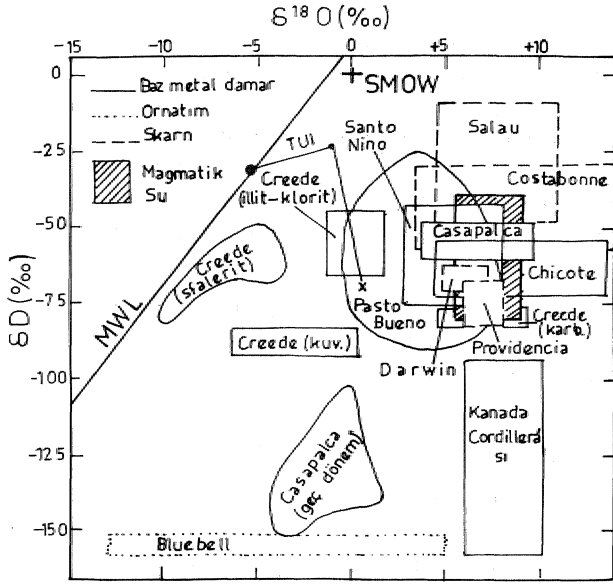
Şekil 8. Epitermal altın-gümüş yataklarına ak suların izotopik bileşimien (White, 1974; Taylor, 1979; Field ve Fifarek, 1985)..

Tenmile, Humboldt gibi yataklar birincil magmatik sularından; Cortez ve Carin gibi çökellerde yerleşmiş yataklarsa yan kayaktan izotop değişimi yaparak, SD değerleri, meteorik solankilerle; aynı olmasına karşın  $5^{18}\text{O}$  değerlerinde farklılıklar göstermektedirler.

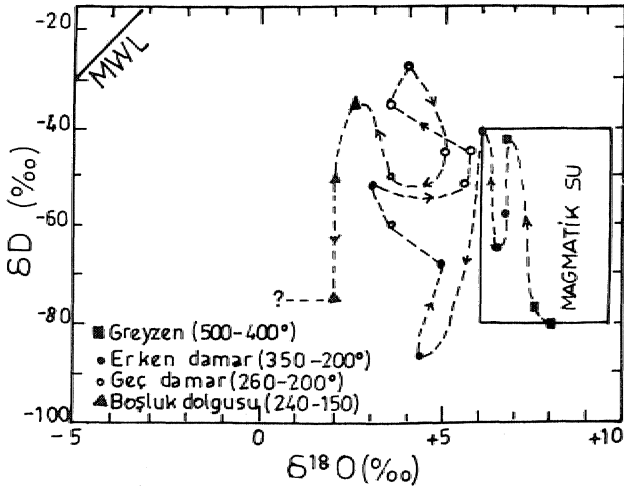
### Baz metal damarları

Polimetalik damar tipi yataklarda cevherli akışkanların ana evresi, magmatik kökenlidir (Şek. 9). Meteorik sular,, sadece,, cevherin depolanmasının son evresinde etkili olmuştur.

Paşa Bueno (Perm) W-baz metal yatağı, bir kuvarsmonzon.it stoğunu kesen, kuvars damarlarından oluşur.. SD ve  $5^{18}\text{O}$  verileri,, sülfidlerin depolandığı hidrotermal etkililiğin erken evresinde magmatik suların etken olduğunu gösterir (Şek. 10). Isının düştüğü geç evrelerde, meteorik. sular sisteme karışmıştır. Woiframit, meteorik suların egemen olduğu bu dönemde depolanmıştır.



Şekil 9. Baz metal damarları, ornatım ve skarn yataklarındaki hidrotermal akışkanlara ait izotopik bileşim değerleri (Ohmoto ve Rye, 1970; White, 1974; Taylor, 1979; Bethke ve Rye, 1979; Marcke de Lummen, 1988; Fonteilles ve diğ., 1989; Nesbitt ve Muehlenbachs, 1989).



Şekil 10. Pasto Bueno yattığı tuiya greyzen olit mmmmtk itibaren damar ve fooske: dolgusu evreleri boyunca hidrotennal akışkanların evrimi (Sheppard, 1977)

Hidrotennal etkinliğin son dönemi olan boşluk dolgulanmasında sadece meteorik sular' vardır.

Tui (Y. Zelanda), altere andezitler içerisinde açık boşluk dolgusu biçiminde Pb-Zn-Ag-Au hidrotermal damardır., ilksel cevherli akışkanı magmatik kökenlidir. Faylaimayla bir' jeotermal sistem çalışmış ve geç dö-

nem akışkanlar meteorik soya. doğru değişmiştir.

Creede (Colorado), ozon. zaman epitermal tipte bir yatak olarak kabul edilmiştir. Fakat izotopik bileşimi, epitermal yataklardan oldukça farklıdır: Sfererit, kuvars ve ilüt-klorit taşıyan akışkanlar farklı üç rezervuardan gelmiştir ve az miktarda birbirleriyle karışmıştır (Bethke ve Rye, 1979). Karbonatlı sular magmatik kökenli, diğerleri ise meteorik kökenlidir ve volkanik yan kayaçlarla O<sub>2</sub> değişimi gösterirler.,

Kanada Cordillera'sındaki mezotermal altın damarları, yeşilist fasiyesindeki kayalar' içerisinde, doğrultu atımlı faylara bağlı olarak oluşmuştur\* δ<sup>18</sup>O ve δD değerleri; meteorik suyun derinde dolaşımıyla kimyasal olarak evrimi, ve ısınmasıyla oluşan cevher yapıcı akışkanların doğrultu atımlı faylarla geçirgen zonlar boyunca, yükseldiklerini göstermektedir.

#### örnatım yatakları

Bluebell (İngiliz Kolombiyası) Pb-Zn yatağı, **birincil** magmatik ve meteorik' sular arasındaki ayırım için elverişli bir ortam yaratır (Şek... 9). Düşük δD değerleri, suyun kesinlikle meteorik kökenli olduğunu göstermektedir' (Ohmoto ve Rye, 1970). Gevher' yapıcı akışkanların izotopik bileşimi, iki farklı meteorik su türünün karışımından ileri, gelmektedir. 1) Sıcak, tuzlu, yan kayalarla dengede; 2) Soğuk, seyrettik, yan kayalarla değişime girmemiş.

#### Skarn yatakları

Bu tip yataklar, zaman, ve mekanda granitik sokulomlarla yakından ilgilidir;. Bu tür hidrotermal akışkanlarda, meteorik suyun etkisi görülmez (Şek., 9). Salau (Fransa) **şelit** yatağı, tamamıyla farklı iki tür akışkanın etkili olduğu İki evrede oluşmuştur (Fonteilles ve diğ.» 1989). Yüksek ısıdaki ilk aşamada., δD= -50 değerindeki akışkanlar magmatik kökenlidir;. Düşük ısıdaki ikinci aşamada akışkanlar δD= -10 değerli, ve meteorik su, deniz suyu, gözenek suyu veya metamorfik su kökenli olabilirler.

#### Porfiri yataklar

Bu tip- yataktan oluşturan, hidrotermal akışkanların meteorik ve magmatik suların karışımıyla oluştuğu belirgindir (Taylor, 1979) (Şek. 11). Cevherin depolanması ve aliterasyon zonları, tarihçelerinin, erken döneminde magmatik kökenli, akışkanlardan etkilenmiştir. Hidrotermal etkinliğin, geç dönemlerine doğru meteorik sular



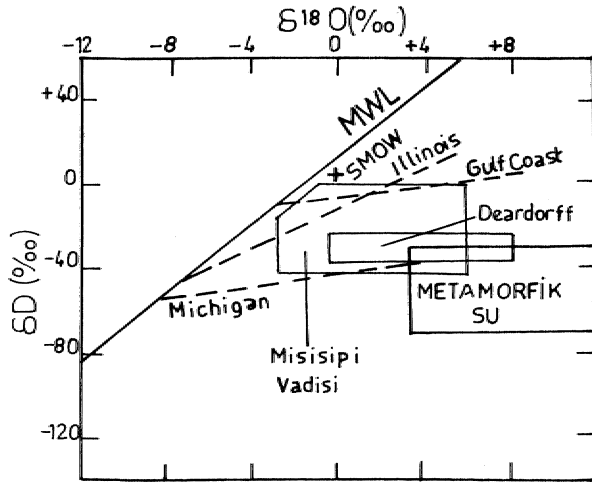


olması, cevherli akışkanların deniz suyu kökenli olduğunu gösterir (Ohmoto ve Rye, 1974). Akışkanlar içerisinde, çok az miktarda magmatik -ve/veya meteorik su da karışmış olabilir.

Trodos (Kıbn) tipi yalıklar, bir ofiyolit istifindeki bazik volkanitlerle ilişkili masif süffit yataklarının en iyi örneğidir. Cevherin, izotopik bileşimi, çok yeknasak ve güncel, deniz suyununkine çok yakındır (Franklin ve diğ., 1931). Trodos hidrotermal sisteminde, deniz suyu kökenli, solar egemendir (Sheppard, 1977).

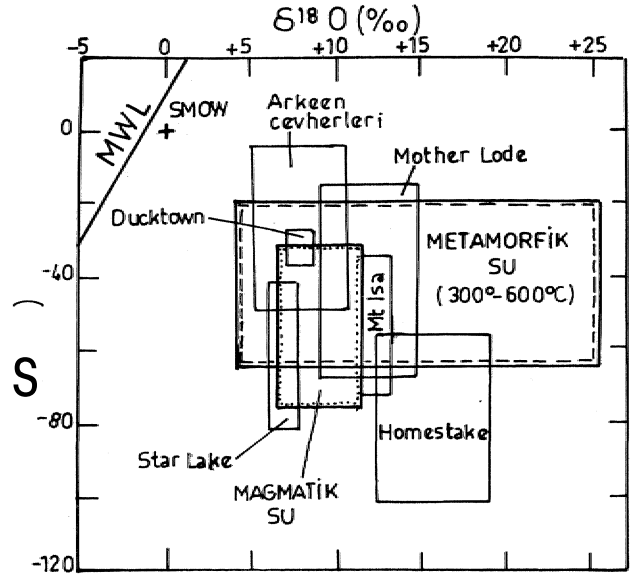
#### Mississippi Vadisi tipi yataklar

Karbonatlı yan. kayalar içerisinde epijenetik olarak yerleşmiş Pb-Zn yataklarındaki cevherli akışkanların tuzlulukları ve bileşen oranları, güncel petrol sahalarının salamuralarıyla dikkati çekecek biçimde benzerdir (Hail ve Friedman, 1963) (Şek. 13). Buna göre, cevherin yerleşmesinin geç döneminde cevherli akışkanlar görece seyreltik meteorik yeraltı suyuyla karışmıştır. Heyl ve diğerleri (1974) tarafından oluşturulan genetik modele göre, taban kayaları içerisinde meteorik sula-



Şekil 13. Misissippi Vadisi tipi yalıklarda cevher yapıcı akışkanlara ait  $\delta D$  ve  $\delta^{18}O$  değerleri ve petrol softaları salamuralarına ait hatlar (Hail ve Friedman, 1963; Heyl ve diğ., 1974; Taylor, 1979).

rın konvektif akışı havzanın derin kesimlerinde akışkanların ısınmasını ve kabuksal kaynaklardan metalleri ve kükürdü, almasını sağlar. Çözeltiler böylece ısır ve cevher taşıyan akışkanlar halini alır, ardından akiferlere boşalır. Sistemin üzerindeki karbonatlı kayalardaki kırık zonları veya örtün şeylerdeki, çöçelmezlik pemce-



Şekil 14. Metamorfik yataklarda akışkanların izotopik bileşimleri (Rye ve Rye, 1974; White, 1974; Taylor, 1979; Heinrich ve diğ., 1989; Nesbitt ve Muehlenbachs, 1989; Ibrahim ve Kyser, 1991).

releri cevherli akışkanlar için depolanma yerlerini, oluşturm\*.

#### Metamorfik yataklar

Bölgesel metamorfizmayla ünlü maden yatakları, cevher gövdesiyle metamorfik yan kayalar arasındaki izotopik benzerliklerle belirgindir (Şek. 14). Bunun nedeni, bölgesel metamorfizmanın, izotopik homojenleşmeye doğru bir yönelimin, olduğu uzun bir zaman süresini kapsamazdır (Taylor ve Coleman, 1968). Homestake (Dakota), uzun zaman bir epijenetik hidrotermal damar olarak, kabul edilmiştir. Ancak kuvars damarının  $\delta^{18}O$  değerleri metamorfik yan kayalarla  $\delta^{18}O$  uyum içindedir (Rye ve Rye, 1974). Aynı, bu değerler bölge dışındaki metamorfik segregasyon damarlarıyla da benzerdir.

#### SONUÇLAR,

$\delta^{18}O$  ve  $\delta D$  değerleri jeotermometre olarak kullanılabilir.

Cevher yataklarının oluşumunda önemli bir yeri olan suların kökeninin belirlenmesinde en yararlı verileri sağlarlar.

Cevher ve gang minerallerinin izotopik bileşimlerinin incelenmesi sonucunda, cevher yapıcı hidrotermal sistemlerde, basit magmatik süreçler yerine, çeşitli kö-

## Durayü İzotoplar

kerdi (meteorik, deniz» jeotermal, formasyon) soları, doğrudan etkin oldukları veya en azından birincil magmatik sularla karışarak maden yataklarını- oluşturdukları' ortaya konmuştur. Suların karışım süreci,, aynı zamanda hidrotermal alterasyona neden, olmuştur.,

Maden yataklarında yapılan durayü izotoplar jeokimyası çalışmalarının sonuçları, hidrotermal sistemlerde cevher oluşumu kuramında, temel bir değişim oluşturmuşlardır: Magmatik kayalar sadece ısıtıcı motor olarak görev yaparlar. Böylece oluşan enerji,, aşağı süzülen meteorit suların konvektif dolaşımını sağlar. Isınan hidrotermal sular, çevre kayalardan metal içeriğini alarak yükselirler ve soğuk suyla karşılaştıkları yerde cevher olarak çökelirler.

Durayü izotoplar' jeokimyasının maden yataklarındaki araştırmalara uygulanması, farklı jeolojik süreçlerde izotopik bölünmenin mekanizması ve şiddetinin değiştiği kabulüne dayanmaktadır. Kuşkusuz, bir maden yatağında aynı izotopik özellikleri verebilecek birden fazla süreç gelişmiş olabilir' ve bir jeokimyasal süreç farklı koşullarda, tümüyle farklı izotopik. özellikleri üretebilir.

Bu bakımdan., izotop- verileri, cevher yataklanması- na ilişkin köken ve kaynak sorunlarına sadece bir yaklaşım sağlayabilir. İzotop verilerinin yorumunda şu noktalara, dikkat etmek gereklidir:

1) Durayü izotop' jeokimyası, maden yatağı araştırmasında bir bağımsız konu olarak ele alınmalıdır.,

2) İzotop verileri,, özellikle sadece- bir elementin izotoplarıyla sınırlı olduklarında, herhangi bir jeolojik soruna tek başına bir çözüm getiremez..

3) İzotop incelemeleri, diğer jeokimyasal ve mineralojik çalışmalarla tamamlanmalı ve desteklenmelidir.

4) Çeşitli jeokimyasal süreçlerdeki izotop 'bölünme mekanizmaları hakkındaki bilgimiz son. derece sınırlıdır..

Bütün bu eksikliklerine karşın, izotop jeokimyası maden yataklarının kökeni ve kaynağına, ilişkin sorunların çözümünde yeni bir-bakış açısı getirmiştir...

### DEĞİNİLEN BELGELER

Akande, S.O. ve Zenfitli, M., 1983, Geologie, fluid inclusions and stable isotope studies\* of the Gays River lead-zinc deposit, Nova Scotia, Canada: Econ. Geol., 79, 1187-1211.

Becker, R.H. ve Clayton, R.N., 1972, Carbon isotopic evidence for the origin of a banded iron formation in western Australia: Geochim. Cosmochim. Acta, 36, 577-595.

Betfike, P.M. ve Rye,, Ö.R., 1979., Environment of ore deposition in the Creede mining district, San. Jo-an Mountains; Colorado: Part IV., Source of Holds from, oxygen., hydrogen and carbon isotope studies: Econ. Geol., 74, 1,832-1851.

Branam, T.D. ve Ripley , E.M., 1990, Genesis of sediment-hosted copper mineralization in south-central Kansas: sulfur/carbon and sulfur isotope systematic^ Econ. Geol., 85,, 601- 621.

Craig, H., 1957, Isotopic standards for carbon and oxygen and. correction factors for mass, spectrometric analysis of carbon dioxide: Geochim.. Cosmochim. Acta, 12, 133-149.,

Craig, EL, 1961, Standard for reporting-concentration of deuterium and oxygen-18 in natural waters: Science,, 133, 1333-1934..

Craig, H., 1963,» The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas: Nuclear Geology on 'Geothermal Areas da, E. Tongiorgi (ed.), 17-53.

Craig, HL, 1966., Isotopic composition and origin of the Red Sea and. Salton Sea. geothermal brines: Science, 154,, 1544-1548.,

Criss, RJE. ve Taylor, H.P., 1983, An <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O and D/H study of Tertiary hydrothermal, systems in the southern half of the Idaho batholith: Geol., Soc. Am. BuU., 94, 640-663.

Criss,, RJE. ve Taylor, HP.,, 1986., Meteoric-hydrothermal systems: Stable Isotopes da, J.W. Walley, HP., Taylor ve ULOTFeil (ed.), Reviews in Mineralogy, 16, 373-424.

Faure, G., 1986, Principles of Isotope Geology: John Willey & Sons,, 2., baskı, 589 s.

Field, C.W., ve Fifarek, R.H. 1985, Light stable-isotope systematics in the epithermal environment: Geology and Geochemistry of Epithermal Systems, de, B.R. Berger ve P.M., Bethke (ed.), Reviews in 'Econ. Geol 2, 99-128.

Footrell, M., Soler, P., Démange, M., Derre, C, Kri-er-Schellen, A.D., Verkaeren, J., Guy, B. ve

## Dürayh İzotoplar

- Zahm, A., 1989, The scheelite skarn deposit of Salau (Ariege, French Pyrenees): *Econ. Geol.*, 84,1,172-1209.
- Franklin, J.M., Lydon, J.W. ve Sangster, DJ<sup>7</sup>., 1981, Volcanic-associated massive sulfide deposits: *Econ. Geol.*, 75.. Anaiv. Vol., 485-627.
- Fu, M., Chaogkakoti, A., Krouse, HJR., Gray, J, ve Kwak,, T.A.,P,, 1991, An. Q,H,S and C isotope study of carbonate- replacement (skarn) tin deposits of the Daehang tin field, China: *Econ. Geol.*, 86,, 1683-1703., "
- Güleç,, M,, 1993, izotoplar: Jeokünya-Temel Kavramlar ve ilkeler dte, JMO yayınL 32,2, baskı, 205-240..
- Hail, W,E, ve Friedman, I., 1963., Composition of fluid inclusions,, Cave-in-Rock fluorite district, Illinois, and upper Mississippi Valley zinclead district: *Econ. Geol.*, 58,886-911.,
- Hall, W.E., Friedman, I. ve Nash, J.T., 1974., Fluid inclusion and light stable isotope study of the Climax, molybdenum deposits, Colorado: *Econ., Geol.* 69,884-901..
- Heinrich, CA., Andrew, A.S., Wilkins, R..WX ve Patterson, DJ., 1989, A fluid inclusion and stable isotope study of syn.metamorphic copper ore formation at Mt Isa, Australia: *Econ., Geol.*, 84, 529-550.,
- Heyl, A.V., Landis, G..P, ve Zaitman, RE., 1974, Isotopic evidence for the origin of Mississippi Valley-type mineral, deposits; *Econ. Geol.*, 69, 992-1006.
- Ibrahim, MS. ve Kyser, T.K., 1991, Fluid inclusion and isotope systematics of the high-temperature proterozoic Star Lake lode gold deposit, N. Saskatchewan., Canada: *Econ., Geol.*, 86,1468-1490.,
- Layne, GJD., Longstaffe, F.J. ve Spoone, E.T.C., 1991, The JC tin skarn deposit, S. Yukon Territory: II. A carbon, oxygen, hydrogen and sulfur stable isotope study: *Econ. Geol.*, 86,48-65.
- Marcke de Lummen, G. van, 1988, oxygen and hydrogen isotope evidence for influx of magmatic water in the formation, of W-, Mo- and Sn-bearing skarns in pelitic rocks at Costabonne, France, and Land's End, England: *Proceed. 7th Quadrennial. IAGOD Symp.*, 355-362...
- Mariotti, A.,, 1984, Natural <sup>15</sup>N abundance measurements-and atmospheric nitrogen standard calibration: *Nature*, 311,251-252.
- McKeag, S.A. ve Craw, D.,, 1989, Contrasting fluids in gold-bearing quartz vein systems formed progressively in a rising metamorphic belt: Otago schist, New Zealand: *Econ. Geol.*, 34,22-33.
- Nesbitt,, B,E. ve Muehlenbachs, K., .1989, Geology, geochemistry, and genesis of mesothermal lode gold, deposits of the Canadian Cordillera: evidence for ore formation from evolved meteoric, water:: *The Geology of Gold Deposits de» Econ. Geol. Monograph 6,553-563..*
- Ohmoto, H., 1986, Stable isotope geochemistry of ore deposits: *Stable- Isotopes da,, J,W, Walley, H.F.Taylor ve X.R.Q'Neii (ed.)*. *Reviews in Mineralogy*, 16,491-556,
- Ohmoto, H. ve Rye, R, O., 1970, The Bluebell Mine, British Columbia.» I. Mineralogy, paragenesis, fluid, inclusions, and the isotopes of hydrogen, oxygen, and carbon :*Econ., Geol.*, 65,, 417-437.
- Ohmoto, H. ve Rye, R,O., 1974, Hydrogen, and oxygen isotopic 'Compositions, of fluid inclusions in the Kuroko deposits, Japan: *Econ. Geol.*, 69,, 947-950.,
- Ohmoto, H, ve Rye, R.O., 1979, Isotopes of sulfur and carbon: *Geochemistry of Hydrothermal öre Deposits de, HX.Bames (ed.)*, 2, baskı, John Wiley & Sons, 509-567;
- Rye,, R.,0. ve Ohmoto, EL, 1974, Sulfur and carbon isotopes and ore genesis: a review: *Econ. Geol» 69, 826-842,,*
- Rye, D.M. ve Rye, R.Q., 1974., Homestake gold mine, south. Dakota: I. Stable isotope studies: *Econ. Geol.*, 69,293-317.,,
- Savin, S.NL ve Epstein, 8., 1970, The oxygen, and hydrogen isotope geochemistry of clay minerals: *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34,43-64.
- Sheppard, S.,M.,F.,, 1977, Identification of the origin, of ore-forming solutions by the use of stable isotopes: *Volcanic- .Processes in Ore Genesis de, Geol Soc. London, spec. publ 7,25-41.*
- Sheppard, S.MJF. ve Taylor,, O.P., 1974, Hydrogen and oxygen isotope evidence: for the origins of water

## *DurayU izotoplar*

- "m the Bouldbr batàolith and the Bütte-@re deposits» Montan©: Boom. Geol 69,926-946.
- SheppanL S.MLR, Nielsen, R.L. ve Taylor, HP., 1969, Oxygen and 'hyácogen isotope ratios of day minerals jfoim porphjay copper deposits,: Ecoa. Geol 64,755-777-
- Sheppard, S.M1% Nidscan, R.JL ve Taylor, HJP., 197i« Hydrogen *Mid* oxygen isolope ratios in minerals from poipipy copper deposits: Ecoa. Geol. 66, 515-542.
- ShimazaM, fi, 198&, Oxygea, carbon and sulfur isotope staéy of 'AMB deposits in Japan: Proceed *Ith* Quadienaial IAGOD Syoip., 375-38L
- Smitheringale, W.G. ve Jensen, M.L., 1963, Sulfur isotopic composition of the Tiiassic igneous rocks of eastern United States: Geochim. Cosmochim. Ada, 27,1183-1207.
- Taylor-, H.P.,, 1974, The applicatioi of oxygen and hydrogen Isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition: Econ Geol 69,343-881.
- Taylor. H.P., 1979, Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits: Geochemistry of Hydjrthermal Ore Deposits de, HJLBanies (c4), 2. baskı, John Wiley & Sons, 236-277.