



İnler Yaylası (Şebinkarahisar-GİRESUN) kurşun-çinko yataklarında kararlı izotoplar (O, H ve S) jeokimyası incelemeleri

Stable isotopes (S, O and H) studies at the lead-zinc deposits in the İnler Yaylası (Şebinkarahisar – Giresun), Northeast Turkey

Gülcan BOZKAYA, Ahmet GÖKÇE

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 SİVAS

ÖZ

İnler Yaylası Pb-Zn yatakları; Doğu Karadeniz Bölgesi'nin iç kesimlerinde yaygın olarak gözlenen damar tipi yatakların tipik örneklerindedir. Yörede, Üst Kretase yaşlı volkanitler, Tersiyer yaşlı Granitoyitler, Eosen ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanitler yüzeylemektedir. Yöredeki kurşun-çinko yatakları; Üst Kretase yaşlı volkanitler içinde, yaklaşık D-B doğrultulu ve üç cevher damarı şeklinde olup, bu damarlar yaklaşık olarak KB-GD doğrultulu faylarla kesilip ötelenmişlerdir. İncelenen örneklerde cevher minerali olarak; sfalerit, galenit, pirit, kalkopirit, fahlerz ve ender olarak da kalkosin ve kovellin, gang minerali olarak ise kuvars ve kalsit gözlenmiş olup sfalerit ve galenit en yaygın cevher mineralleridir. Opak cevher mineralleri, en son evrede oluşmuş kuvars kristalleri arasındaki boşluklarda kristallenmiş olup, kuvarslardan daha sonra oluşmuşlardır. Sfalerit ve galenitlerdeki kükürt izotopları bileşimi ($\delta^{34}\text{S}$); -3.9 ile +0.4 ‰ CDT arasında değişmekte olup, bu değerlerden yararlanılarak, hidrotermal çözeltilerdeki H_2S 'in izotopsal bileşiminin -5.0 ‰ civarında olduğu hesaplanmıştır. Bu kükürt izotopları değerleri doğrudan mağmatik faaliyetlerle ilişkili değerlere göre hafif olup, sülfürlü minerallerin bileşimindeki kükürtün yöredeki Tersiyer yaşlı granitoyitler ve genç volkaniklerle doğrudan ilişkili mağmatik kökenli kükürt olmaktan daha çok, epigenetik hidrotermal çözeltilerde Üst Kretase yaşlı volkanik kayalardan çözülmüş kükürt olduğu kabul edilebilir. Mineral oluşurucu çözeltiler içindeki suyun oksijen izotopları bileşimi, kuvarslarda analiz edilmiş $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ve sıvı kapanım incelenmeleri sırasında ölçülmüş homojenleşme sıcaklığı değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplanan $\delta^{18}\text{O}$ (+4.2 ile +6.7‰; SMOW) değerleri ve sıvı kapanımlarında analiz edilmiş δD değerleri (-83.0 ile -59.0‰; SMOW), $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramları üzerinde mağmatik kökenli su kutusu içinde veya meteorik su çizgisi tarafında konumlanmakta olup mineral oluşurucu çözelti içinde mağmatik kökenli suyun hakim olduğu ve az miktarda meteorik suyun da karışmış olabileceğini belirtmektedir.

Anahtar kelimeler: İnler Yaylası (Giresun), kararlı izotoplar jeokimyası, kurşun-çinko.

ABSTRACT

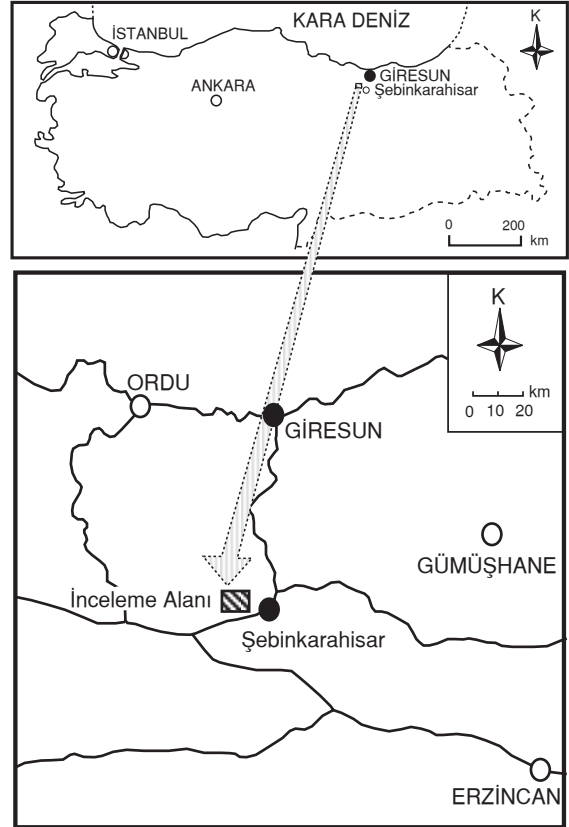
İnler Yaylası lead and zinc deposits are the typical examples of the vein type lead-zinc deposits occur within the Eastern Black Sea Region in Turkey. In the study area; Upper Cretaceous volcanics, Tertiary granitoids, Eocene and Plio-Quaternary aged volcanics are outcropped. Ore deposit are developed as ore veins along the faults in the Upper Cretaceous volcanics. Three ore veins in E-W direction were identified and they were cut and displaced by NW-SE trending faults. Microscopic studies revealed that the ore veins contain sphalerite, galena, pyrite, chalcopyrite, fahlore group minerals, chalcocite and covellite as ore minerals, and quartz and calcite as gangue minerals. Sphalerite and galena are dominant. Opaque minerals occur among the quartz crystals. This indicates that sulfide mineralisation occurred later than quartz crystallization. The sulphur isotope composition ($\delta^{34}\text{S}$) of sphalerite and galena ranges from -3.9 to +0.4 ‰ CDT and that of H_2S in hydrothermal fluids was calculated around -5.0 ‰. These sulphur isotope values are light compared to that of direct magmatic activities and it may be assumed that the sulphur in the sulfide minerals was possibly leached from the Upper Cretaceous volcanics by epigenetic hydrothermal fluids, rather than having direct magmatic relation to Tertiary granitoids and the younger volcanics occurring in the area. The oxygen isotope composition of the water in the mineralising fluid was calcu-

lated using the $\delta^{18}O$ values analysed in quartz and homogenisation temperature values measured during the fluid inclusion studies. The calculated $\delta^{18}O$ values (+4.2 to +6.7‰ (SMOW)) and δD values analysed in inclusion fluid (-83.0 to -59.0‰ (SMOW)) plot in or at the meteoric water line side of the magmatic water box on the $\delta D - \delta^{18}O$ diagram and indicate that mineralising fluid was dominated by magmatic water and minor amount of meteoric water might have been mixed.

Key words: İner Yaylası (Giresun), lead-zinc, stable isotope geochemistry.

GİRİŞ

İner Yaylası Pb-Zn yatakları; Doğu Karadeniz Bölgesi'nin iç kesimlerinde yaygın olarak gözlenen damar tipi yatakların tipik örneklerinden birisi olup, Giresun iline bağlı Şebinkarahisar ilçesinin yaklaşık olarak 20 km kuzeybatısında, Tutakdağı yöresinde yer almaktadır (Şekil 1). İner Yaylası Pb-Zn yataklarının çeşitli jeolojik özellikleri, Tutakdağı Yöresi'ndeki diğer yataklar ile birlikte, değişik araştırmacılarca incelenmiştir. Çalapkulu ve Ayan (1982), Etir Yaylası florit damarlarının Üst Kretase andezitik volkanitleri içinde K 10° B – K 40° B doğrultusundaki çatlak sistemlerine yerleşmiş olarak, iki aşamada oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Araştırmacılar, birinci aşamada yeşil florit, sfalerit, galen, tennantit ve kalkopiritlerin, ikinci aşamada ise pembe ve mor floritlerin oluştuğunu düşünmektedirler. Çalapkulu ve Ayan (1982) sfalerit ve floritlerde yapmış oldukları sıvı kapanım çalışmalarında, 150 - 200°C arasında değişen homojenleşme sıcaklığı değerleri ölçmüşlerdir. Karaoğlu (1985) ile Çalapkulu ve Karaoğlu (1987), İner Yaylası Pb-Zn yataklarında yaptıkları sıvı kapanım incelemelerinde, 150 - 290°C arasında değişen homojenleşme sıcaklığı değerleri ölçmüşler ve cevher damarlarının mezotermal ve epitermal koşullarda oluştuklarını ifade etmişlerdir. Şaşmaz (1993) ile Şaşmaz ve Sağıroğlu (1994 a ve b), Tutakdağı yöresindeki cevherleşmelerin Üst Kretase yaşlı volkanitler içinde ve geniş bir alterasyon zonu boyunca damarlar şeklinde oluştuklarını, cevher minerali olarak; sfalerit, galenit, pirit, kalkopirit, fahlerz, ender olarak da kalkosin, kovellin, enarjit, pirotin, linneit, tetradimit, klaprotit, altait, nabit Au ve manyetit içerdiklerini, cevherleşmeler çevresinde yoğun hidrotermal alterasyon gözlendiğini ve hidrotermal çözeltilerin oluşumunda Paleosen yaşlı granitoyitlerin etkili olduğunu belirtmektedirler. Son olarak, Gökçe ve Bozkaya (2002) tarafından bu yatakların jeolojik özellikleri yeniden değerlendirilmiş, yataklanma şekilleri, mikroskopik özellikle-



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

ri, sıvı kapanım özellikleri ve kararlı izotoplar jeokimyası özellikleri incelenmiştir.

Gökçe ve Bozkaya (2002) tarafından yapılan sıvı kapanım incelemelerinde, kuvars kristallerinin oluşumu sırasında; sıcaklığı ve tuzluluğu yüksek, bileşim olarak $CaCl_2$, $MgCl_2$ ve $NaCl$ içeren, sülfürlü minerallerin oluşumu sırasında; sıcaklığı ve tuzluluğu orta, bileşim olarak $MgCl_2$, $NaCl$, $FeCl_2$ gibi tuzları içeren, daha sonraki evrelerde ise; sıcaklığı ve tuzluluğu düşük, $NaCl$, Na_2CO_3 , $NaHCO_3$, Na_2SO_4 ve KCl gibi tuzları içerebilecek, üç farklı özellikte çözeltinin etkili olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada ise, yöredeki cevher damarlarından alınmış örnekler üzerinde yapılan kararlı izotoplar (O, H ve S) jeokimyası incelemelerinin sonuçları tartışılmakta olup, sülfürlü minerallerin yapısındaki kükürtün ve cevher oluşturuvcu hidrotermal çözeltilerdeki suyun kökeni belirlenmeye çalışılmıştır.

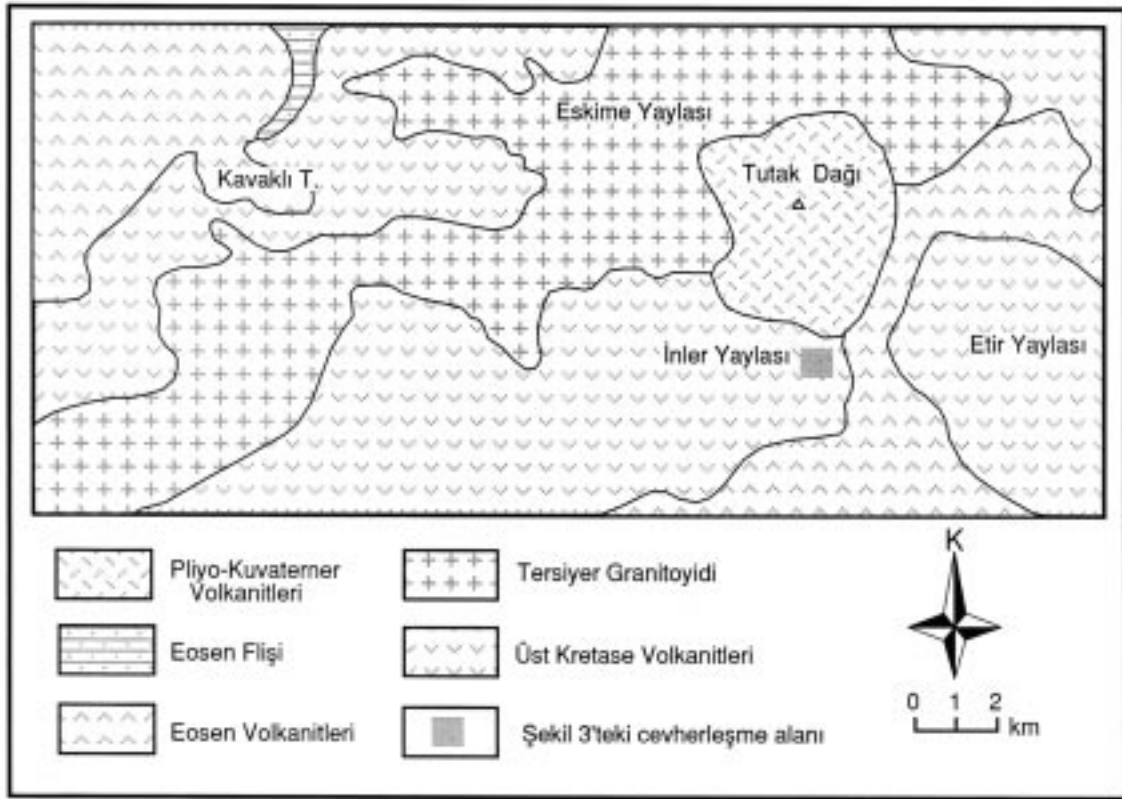
YATAKLAR ÇEVRESİNİN GENEL JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanı, Pontidler Tektonik Birliği'nin iç doğu bölümünde yer almaktadır. İnceleme alanı yakın çevresinde; Üst Kretase yaşlı volkano-sedimanter kayaçlar, Tersiyer yaşlı granitoyitler, Eosen yaşlı volkanitler, Eosen yaşlı filiş çökelleri ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanitler yüzeylenmektedir (Şekil 2). Bu birimlerin yanı sıra, inceleme alanı dışında kalan kesimlerde, Üst Kretase ve Eosen yaşlı sedimanter kayaçlar ile Oligo-Miyosen yaşlı jipsli çökeller de gözlenmektedir (Şaşmaz,1993).

Üst Kretase yaşlı volkano-sedimanter kayaçlar, inceleme alanı içinde; riyodasitik, dasitik ve andezitik bileşimli lav ve piroklastikler ile temsil edilmektedir. Bölge genelinde tanımlanmış Dasitik seriye ait bir seviye olduğu düşünülebilir. Bu birimler, kısmen açık renkleri ve ileri derecede bozunmuş olmaları ile genç birimlerden ayrılmaktadırlar.

Tersiyer yaşlı granitoyitler; Tutak Dağı'nın batısında yüzeylenmekte ve genellikle alkali granit, granit ve siyenit bileşimli derinlik kayaçları ile bunların damar kayaçlarından oluşmaktadır. Bu granitoyitler, Üst Kretase yaşlı volkano-sedimanter kayaçları keserken, inceleme alanı dışında kalan yüzleklerinde Eosen yaşlı sedimanter kayaçlar tarafından örtülmektedirler. Bu nedenle, plütonizma yaşı "Eosen öncesi" ve/veya "Üst Kretase sonu - Paleosen" olarak kabul edilebilir.

Eosen yaşlı volkanitler; andezitik, bazaltik ve trakiandezitik bileşimli lav ve tüflerden oluşmak-



Şekil 2. İnceleme alanı yakın çevresinin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Şaşmaz ve Sağıroğlu, 1994a'dan basitleştirilmiştir).

Figure 2. Simplified geological map of the study area and its close vicinity (simplified after; Şaşmaz and Sağıroğlu, 1994a).

tadır. Belirtilen kayaç türleri, ardalımlar ve yanıl olarak değişiklikler göstermekte olup, daha yaşı birimler üzerinde uyumsuz olarak gözlenmekte, Pliyo-Kuvaterner yaşı volkanitler tarafından örtülmektedir. Eosen volkanitleri, Üst Kretase volkanitlerine göre daha az bozunmuş olup, lav şeklindeki kesimleri daha masif ve tıkız yapılıdır. Bu kayaçlarda; andezitik ve bazaltik kesimler koyu renkli iken, trakiandezitik kesimler daha açık renklidirler. Eosen yaşı filiş çökelleri; Üst Kretase yaşı volkano-sedimanter kayaçlar üzerinde uyumsuz olarak çökemiş, sarımsı gri renkli, iyi tabakalanmalı kumtaşı-silttaşı-kiltaşı ardalımları şeklinde gözlenmektedirler.

Pliyo-Kuvaterner yaşı volkanitler; Tutak Dağı'nın tepe kesiminde yüzeylenmekte ve daha yaşı birimler üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadırlar. Bu birimler; fazla bozunmamış, taze yüzlekler oluşturmaktadırlar.

CEVHERLEŞMELERİN YATAKLANMA ŞEKLİ VE MİKROSKOPİK ÖZELLİKLERİ

Cevherleşmelerin Yataklanma Şekli

Tutak Dağı güneybatısında, yaklaşık 1-1.5 km genişlikte ve 5-6 km kadar devam eden, KD-GB doğrultulu geniş bir alterasyon zonu içinde damarlar şeklinde çok sayıda cevherleşme bulunmaktadır. Bu zondaki cevherleşmeler, Şaşmaz (1993) tarafından; İner Yaylası, Makedüzü, Dereköy ve Sübak Cevherleşmeleri şeklinde dört sektöre ayrılarak incelenmişlerdir. Bu çalışmanın saha incelemelerinin yapıldığı yıllarda, yalnızca İner Yaylası yöresindeki cevherleşmeler işletildiği için, bu cevherleşmeler incelenebilmişlerdir.

Yörede, Üst Kretase yaşı volkanitler içinde, yaklaşık D-B doğrultulu, üç cevher damarı belirlenmiş olup, bu damarlar yaklaşık olarak KB-GD doğrultulu faylarla kesilip ötelenmişlerdir (Şekil 3). Cevherleşmeler çevresindeki yan kayaçlarda; silisleşme, limonitleşme, kloritleşme, killeşme ve epidotlaşma yaygındır.

Belirlenmiş cevher damarları Şekil 3'de D1, D2 ve D3 simgeleri ile gösterilmiş olup, F1 ve F2 fayları arasında kalan kesimlerinde üretim yapılmakta, diğer kesimlerinde ise üretim faaliyeti bulunmamaktadır.

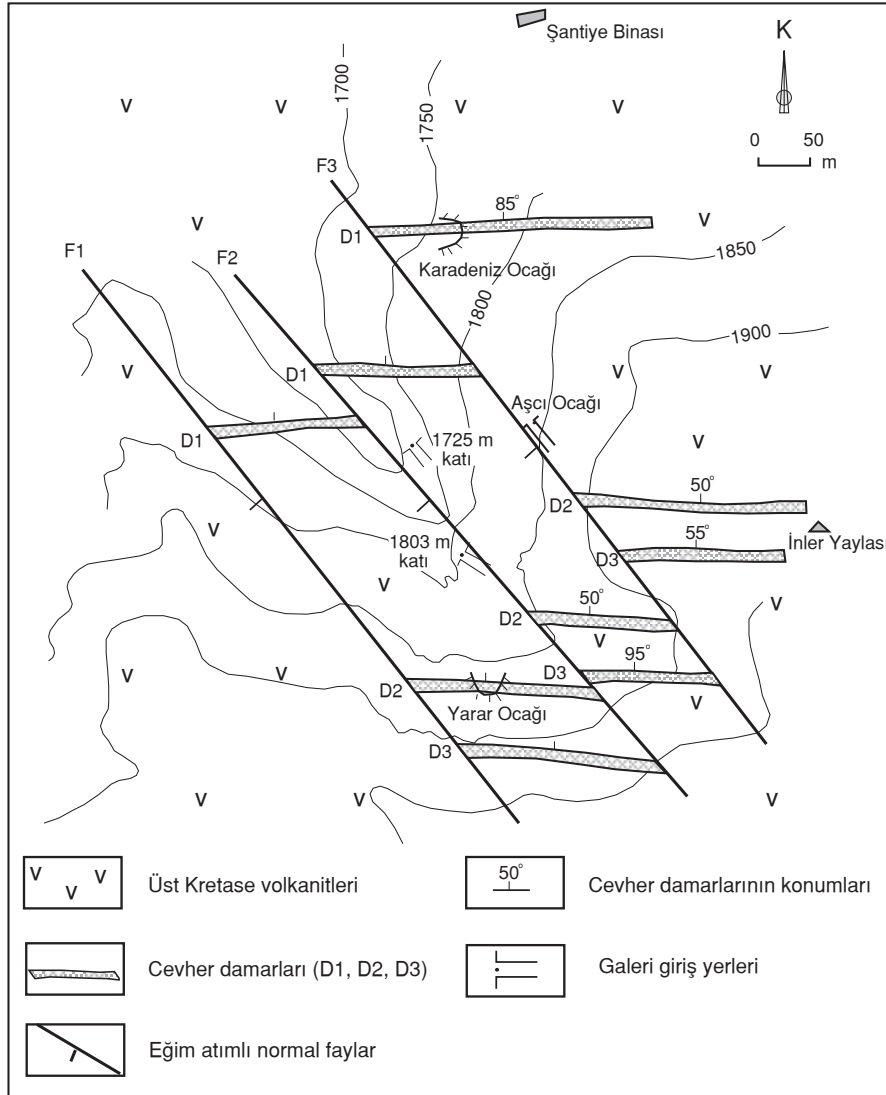
D1 damarı: Bu damar yüzeyde, kuvars, limonit ve hematit içeren bir demir şapka zonu şeklinde gözlenmektedir. Karadeniz ocağı olarak isimlendirilmiş kısa mesafeli bir galeri içinde, cevher damarında özellikle pirit ve kalkopiritin zenginleştiği, az miktarlarda galenit ve sfaleritin bulunduğu gözlenmiştir. Cevher damarının doğrultusu yaklaşık olarak D-B olup, eğimi 85°K ile 85°G arasında değişmektedir. Cevher damarının kalınlığı 0.7 m ile 2.0 m arasında değişmektedir. Damarın alt seviyelerinin sondajlarla (DS-89/6,7, DS-90/ 3,4,5,6,7 gibi) araştırıldığı, ancak işletilebilir özellikte bir zenginleşme saptanmadığı belirtilmektedir (Berkman, 1992).

D2 ve D3 damarları: Bu damarlar; Aşçı Ocağı olarak bilinen yerde, aralarında 50 m kadar uzaklık bulunan, birbirine paralel iki cevher damarıdır. Yüzeyde; kuvars, limonit ve hematit içeren bir demir şapka zonu şeklinde gözlenmektedirler. 1910 m, 1880 m, 1803 m ve 1725 m kotlarından açılmış kat galeriyle (1992 yılına kadar) üretim yapılmıştır. Özellikle 1990 ve 1992 yıllarında değişik tarihlerde bu makalenin yazarları tarafından yapılan incelemeler sırasında 1803 m ve 1725 m kat galerinde ve ara katlarında gözlemler yapılmış ve örnekler alınmıştır (Şekil 4).

Bu katlarda cevher damarları, yaklaşık D-B doğrultulu ve 45 ile 60° arasında değişen değerlerle K'ye eğimli, kalınlıkları 0.5 m ile 3.0 m arasında değişen ve sülfürlü mineral zenginleşmeleri içeren kuvars damarları şeklindedirler. Üst seviyelerinde galenit ve sfalerit hakim iken derine doğru pirit ve kalkopirit içerikleri artmaktadır. Kuvarslı zonların kalınlığı yer yer 8 m'yi bulmaktadır.

Cevherleşmelerin Mikroskopik Özellikleri

Saha incelemeleri sırasında yüzeyden ve işletme galerilerinden alınan cevher örneklerinden ince kesit ve parlatma blokları hazırlanarak, alttan ve üstten aydınlatmalı polarizan mikroskop yöntemleri ile incelenmişlerdir. İncelenen örneklerde cevher minerali olarak; sfalerit, galenit, pirit, kalkopirit, fahlerz ve ender olarak da kalkosin ve kovellin gözlenmiştir. Sfalerit ve galenit en yaygın cevher mineralleridir. Kalkopiritler, genellikle sfaleritler içinde benekli ayrışmalar halinde olup, bağımsız ve büyük boyutlu kristalleri ender olarak gözlenmektedir. Fahlerz yer yer çok zenginleşmektedir. Pirit ise öz şekilli kristaller halinde, çok yaygın olarak gözlenmektedir.



Şekil 3. İnler Yaylası yöresinde Pb-Zn cevherleşmelerinin konumu.
Figure 3. Position of the Pb-Zn deposits in the İnler Yaylası.

Şaşmaz (1993) ile Şaşmaz ve Sağıroğlu (1994a ve b) tarafından yapılan araştırmalarda bu minerallerin yanı sıra, enarjit, pirotin, linneit, tetradiomit, klaprotit, altait, nabit Au ve manyetit gibi minerallerin de bulunduğu belirtilmektedir.

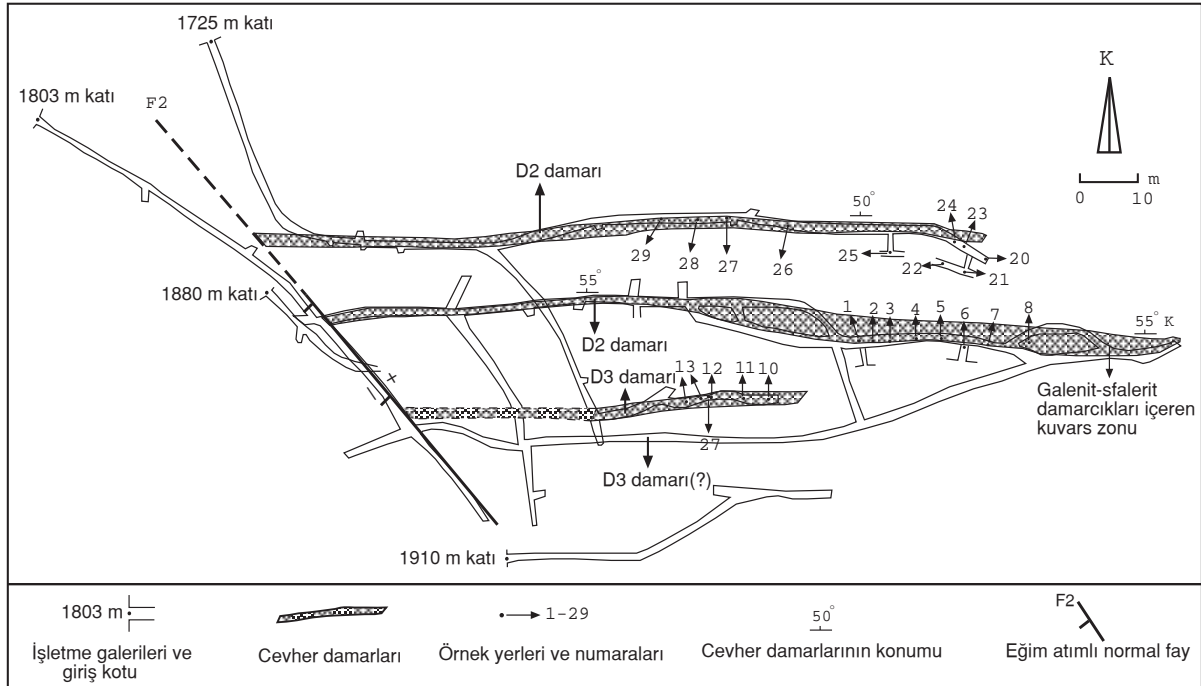
Gang minerali olarak; kuvars ve kalsit gözlenmiştir. Ayrıca, ileri derecede karbonatlaşmış ve limonitleşmiş yan kayaç kırıntıları cevher damarlarının yaygın bileşenleridir. Kuvarlar 3 farklı büyüklükte kristaller halinde gözlenmekte olup, iri kristaller çatlakların kenar kısımlarında, en küçük kristaller ise çatlakların en iç kesimlerinde oluşmuşlardır. Bu durum, kuvarların 3 farklı evrede oluştuğu şeklinde yorumlanabilir.

Kalsitler ise yer yer büyük kristaller halinde, yer yer ise kuvarlı zonları kesen ince damarcıklar halinde gözlenmektedirler. Opak cevher mineralleri, özellikle küçük kuvars kristalleri arasındaki boşluklarda kristallenmiş olup, kuvarlardan daha sonra oluştuğu söylenebilir.

KÜKÜRT İZOTOPLARI JEOKİMYASI

Örnekleme ve Analiz Yöntemleri

Kükürt izotopları analizleri, saha incelemeleri sırasında cevher damarlarından alınmış bazı örneklerden ayrılmış saf sfalerit ve galenit kristalleri üzerinde yapılmıştır. Mineral ayırma işleme-



Şekil 4. İşletme galerilerinde D2 ve D3 damarlarının konumu ve örnek yerleri.
Figure 4. Position of D2 and D3 veins and sampling locations in the mining galleries.

ri; örnekler kırılıp öğütüldükten sonra, serbestleşmenin en iyi olduğu “-250 + 125 mikron” tane boyu fraksiyonu iyice yıkanmış stereo mikroskop altında elle seçme ve ağır sıvı yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir.

Saf sfalerit ve galenit mineral örnekleri, agat havanda öğütülerek toz haline getirildikten sonra; bir kısmı İngiltere’de NERC İzotop Jeokimyası Laboratuvarlarında, bir kısmı ise Nevada Üniversitesi Jeolojik Bilimler Bölümü Kararlı İzotoplar Jeokimyası laboratuvarlarında analiz edilmişlerdir. Her iki laboratuvar da kullanılan yöntemler birbirine yakın olup, sülfürlü mineraller CuO ile kavrularak bileşimlerindeki kükürt SO₂ gazına dönüştürülmekte ve ³⁴S/³²S oranları izotop oran tipi kütle spektrometlerinde analiz edilmektedir. Analiz sonuçları, δ³⁴S CDT şeklinde ifade edilmekte olup, Çizelge 1’de toplu halde görülmektedir. Her iki laboratuvar da analizlerdeki hata payının ± 0.2 %’den daha az olduğu belirtilmektedir.

Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Örneklerin δ³⁴S değerleri, -3.9 ile +0.4 % CDT arasında değişmekte olup, aynı örneklere ait sfalerit ve galenitler arasındaki izotopsal farklı-

lık, bu iki mineral arasında Ohmoto ve Rye (1979) tarafından belirlenmiş izotopsal ayırılma yönüne uyumluluk göstermektedir. Bu minerallere ait değerlerden yararlanılarak ve Ohmoto ve Rye (1979) tarafından belirlenmiş izotopsal ayırılma eşitlik ve grafikleri kullanılarak hidrotermal çözeltilerdeki H₂S’ in izotopsal bileşiminin -5.0 % civarında olduğu hesaplanmıştır. Bu değerler doğrudan magmatik kökenli (yöredeki plütonik sokulumla veya genç volkanik faaliyetlerle doğrudan ilişkili) çözeltilerdeki H₂S’in kükürt izotopları bileşimine göre biraz hafif olup, epijenetik hidrotermal çözeltilerce yöredeki Üst Kretase yaşlı volkanik kayalardan öncelikle çözeltilere geçecek hafif kükürt izotopları bileşimi ile uygunluk göstermektedir. Dolayısıyla, sfalerit ve galenitin bileşimindeki kükürtün çevrede bulunan granitoyitik ve genç volkanik kayalarla doğrudan ilişkili olmaktan daha çok, daha sonra ortama gelen hidrotermal çözeltilerce Üst Kretase yaşlı volkanik kayalar içinde bulunan kükürtün hafif izotopsal bileşimli kısmının öncelikle çözülmesi şeklinde kaynaklanmış magmatik kökenli kükürt olduğu kabul edilebilir.

ŞT-6 ve 20 nolu örneklere ait sfalerit - galenit çiftlerinin δ³⁴S değerlerinden itibaren Ohmoto ve Rye (1979) tarafından önerilmiş eşitlikler kul-

Çizelge 1. İnceleme alanındaki cevher damarlarından alınmış örneklerden ayrılmış sfalerit ve galenit kristallerinin kükürt izotopları bileşimleri.

Table 1. Sulphur isotope compositions of sphalerite and galena taken from the veins in the study area.

Örnek No.	Mineral	$\delta^{34}\text{S}$ ‰ CDT
ŞT-1 (*)	Galenit	-3.9
ŞT-6 (*)	Sfalerit	-2.0
ŞT-6 (*)	Galenit	-3.9
ŞT-10 (**)	Sfalerit	+0.4
ŞT-20 (*)	Sfalerit	0.0
ŞT-20 (*)	Galenit	-1.7
ŞT-21 (**)	Sfalerit	-0.4
ŞT-24 (**)	Sfalerit	-0.5
ŞT-25 (**)	Sfalerit	-0.8
ŞT-25 (**)	Galenit	-1.9

* NERC Kararlı İzotoplar Jeokimyası laboratuvarlarında analiz edilmiş örnekler (Samples analysed at Stable Isotope Geochemistry Laboratories of NERC).

** Nevada Üniv. Kararlı İzotoplar Jeokimyası Laboratuvarlarında analiz edilmiş örnekler (Samples analysed at Stable Isotope Geochemistry Laboratories of Nevada Univ.).

lanılarak kükürt izotopları jeotermometresi sıcaklık değerleri 343.6 ve 378.9 °C olarak hesaplanmıştır.

OKSİJEN VE HİDROJEN İZOTOPLARI JEOKİMYASI

Örnekleme ve Analiz Yöntemleri

Oksijen ve hidrojen izotopları jeokimyası, sıvı kapanım incelemelerinin sonuçları da dikkate alınarak, cevher damarlarından alınmış bazı örneklerden ayrılmış kuvars kristalleri üzerinde incelenmiştir. Örnekler kırılıp öğütüldükten sonra değişik tane boyu fraksiyonlarına ayrılmış, serbestleşmenin en iyi olduğu tane boyu fraksiyonu (-600 - +400 mikron aralığı) iyice yıkandıktan sonra stereo mikroskop altında seçme ve ağır sıvı yöntemleri ile kuvars taneleri ayrılmıştır. Örnekler iki kısma ayrılarak, bir kısmı oksijen izotopları analizi için toz haline getirilmiş, diğer kısmı ise hidrojen izotopları analizi için taneler halinde saklanmıştır.

Oksijen izotopları analizleri, toz haline getirilmiş örnekler üzerinde Clayton ve Mayeda (1963) tarafından geliştirilmiş florlama yöntemiyle analiz

edilmiş ve sonuçları $\delta^{18}\text{O}$ ‰ (SMOW) değerleri şeklinde ifade edilmiştir. Hidrojen izotop analizleri ise kuvars kristalleri içindeki sıvı kapanımlarında bulunan çözeltiler ısıyla serbestleştirme yöntemiyle serbestleştirilerek, üretilen su buharı hidrojen gazına dönüştürüldükten sonra analiz edilmişler ve sonuçları δD (SMOW) değerleri şeklinde ifade edilmiştir.

Analizler, Nevada Üniversitesi Jeolojik Bilimler Bölümü Kararlı İzotoplar Jeokimyası laboratuvarlarında; devamlı akış tipi, Eurovector 3000 model elemental analizör bağlanmış, Micro-mass IsoPrime marka, izotop oran tipi kütle spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. Analizlerdeki hata payları; oksijen için ± 0.15 ‰, hidrojen için ise ± 1 ‰ olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları, Çizelge 2'de toplu halde verilmiştir.

Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ değerleri, +11.9 ile +12.9 ‰ arasında değişmekte olup, mağmatik kayalara ait değerlerle (örneğin; Hoefs, 1984) uyum halindedir. Bu durum, kuvarslar için gerekli silisin çevrede bulunan plütonik kayalardan gelmiş ve/veya daha sonraki hidrotermal çözeltiler tarafından volkanik yan kayalardan çözülmüş olabileceğini düşündürmektedir.

Sıvı kapanımları içinde hapsolmuş ve kuvarslarla denge halinde olduğu düşünülen hidrotermal çözeltilere ait suyun $\delta^{18}\text{O}$ değerleri, sıvı kapanımlarında ölçülmüş sıcaklık değerleri dikkate alınarak, Sharp ve Kirschner (1994) tarafından geliştirilmiş eşitlikten hesaplanmıştır. Bu hesaplanmış $\delta^{18}\text{O}$ değerleri +4.2 ile +6.7 ‰ (SMOW) arasında değişmektedir. Sıvı kapanımları içinde hapsolmuş suyun δD değerleri ise -83.0 ile -59.0 ‰ arasındadır.

Belirlenmiş bu oksijen ve hidrojen izotop değerleri, $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramı üzerine yerleştirildiğinde, hidrotermal çözeltilerdeki suyun mağmatik kökenli su alanı içinde veya meteorik su çizgisi tarafında (formasyon suyu alanı içinde) konumlandıkları görülmektedir (Şekil 5). Benzer sonuçlar, çeşitli çalışmalarda mağmatik ve meteorik suların karışımı veya meteorik su - mağmatik kayaç etkileşimi şeklinde açıklanmıştır (örneğin Criss and Taylor, 1983; Gökçe vd., 1993; Campbell ve Larson, 1998; Gökçe ve Spiro, 2002). Bu çalışmadaki değerlerin mağmatik

Çizelge 2. Kuvars kristallerinin ve sıvı kapanımlarda hapsolmuş suyun hidrojen ve oksijen izotopları bileşimi.
Table 2. Hydrogene and oxygene isotope compositions of the quartz and inclusion fluids.

Örnek No.	Kapanım suyunun δD Değerleri (% SMOW)	Kuvarsların $\delta^{18}O$ Değerleri (% SMOW)	Ortalama Homojenleşme sıcaklıkları ($^{\circ}C$)	$10^3 \ln \alpha$	Kapanım suyunun $\delta^{18}O$ Değerleri (% SMOW)
ŞT-6	-61	12.9	288.9	8.7	+4.2
ŞT-10	-69	11.9	352.5	6.4	+5.5
ŞT-20	-59	12.8	302.7	7.4	+5.4
ŞT-21	-81	12.5	351.4	5.8	+6.7
ŞT-25	-83	12.1	327.3	6.4	+5.7

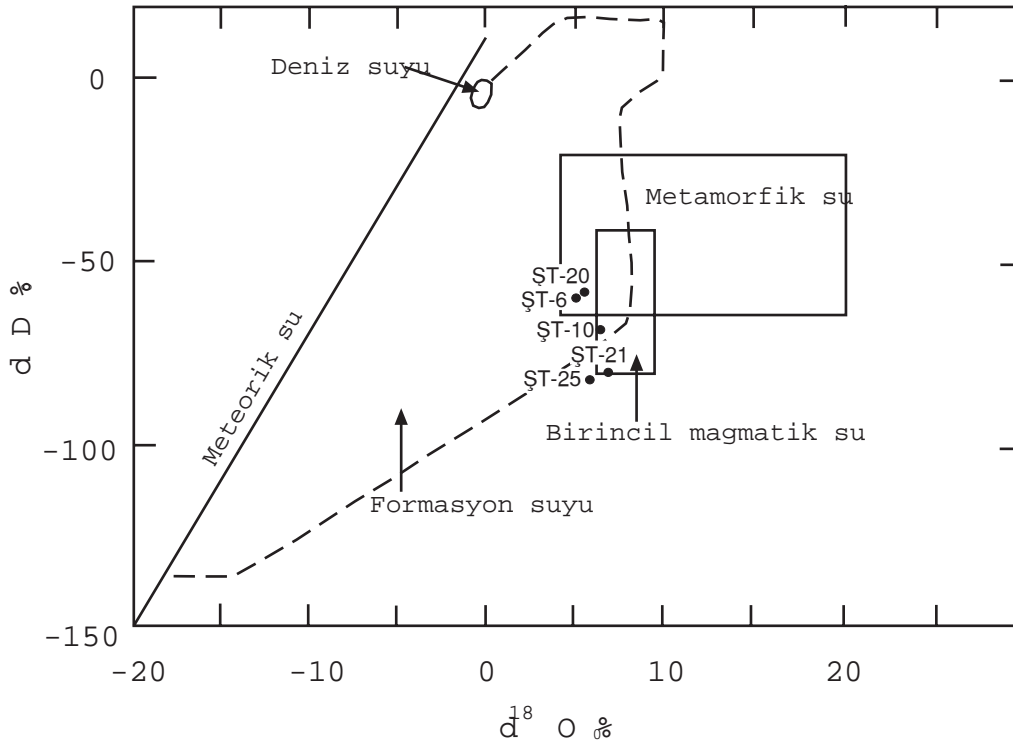
su alanına çok yakın olmaları nedeniyle, hidrotermal çözeltiler içinde mağmatik kökenli suların egemen olduğu, çok az da olsa, yüzeysel kökenli suların da karışmış olabileceği söylenebilir.

SONUÇLAR

Tutakdağı yöresinde günümüzde işletilmekte olan Pb-Zn yatakları İner Yaylası yöresinde bulunmakta olup, yöredeki yataklar; Üst Kretase yaşlı volkanik kayalar içinde, fay zonları boyunca oluşmuş damar tipi yataklardır. Cevherleşmeler; Azak-Yarar Ocağı zonu, Aşçı Ocağı zonu ve Karadeniz Ocağı zonu olmak üzere, üç farklı

zon halinde oluşmuşlardır. Bu zonlar, birbirine paralel olarak oluşmuş, D-B doğrultulu, üç cevher damarının KD-GB doğrultulu faylarla düşey yönde ötelenmiş bölümleri olarak düşünülmüşlerdir.

Cevher damarlarında gang minerali olarak kuvars ve kalsit, cevher minerali olarak ise sfalerit, galenit, pirit, kalkopirit, fahlerz ve ender olarak da kalkosin ve kovellin gözlenmiştir. Kuvarslar üç farklı büyüklükte kristaller halinde gözlenmekte olup, en iri kristaller çatlakların kenar kısımlarında, en küçük kristalli olanları ise çatlakların en iç kesimlerinde oluşmuşlardır. Bu du-



Şekil 5. Cevher oluşturuç çözeltilerdeki suyun δD - $\delta^{18}O$ diyagramındaki konumları.
Figure 5. Plots of the water within the mineralizing fluid on the δD - $\delta^{18}O$ diagram.

rum, kuvarsların üç farklı evrede oluştuğu şekline yorumlanabilir. Kalsitler ise; yer yer büyük kristaller halinde gözlenirken, yer yer kuvarslı zonları kesen ince damarlar halinde gözlenmektedirler. Opak cevher minerallerinin özellikle küçük kristalli kuvarslar içinde geliştikleri görülmektedir.

Kükürt izotopları jeokimyası incelemelerinde; sfalerit ve galenitlere ait $\delta^{34}\text{S}$ değerleri, -3.9 ile +0.4 ‰ CDT arasında değişmekte olup, aynı örneklerle ait sfalerit ve galenitler arasındaki izotopsal farklılık, bu iki mineral arasındaki izotopsal ayrımlanma yönüyle uyumludur. Bu mineralere ait değerlerden yararlanılarak, hidrotermal çözeltilerdeki H_2S 'in izotopsal bileşiminin -5.0 ‰ civarında olduğu hesaplanmıştır. Bu değerler, doğrudan mağmatik kökenli (yöredeki plütonik ve volkanik kayalarla ilişkili) çözeltilerdeki H_2S 'in kükürt izotopları bileşimine göre daha hafif olup, doğrudan mağmatik kökenli olduğunu söylemek zordur. Bu nedenle, sfalerit ve galenitin bileşimindeki kükürtün çevrede bulunan granitoyitik ve genç volkanik kayalarla doğrudan ilişkili olmaktan daha çok daha sonra ortama gelen hidrotermal çözeltilerle Üst Kretase yaşlı volkanik kayalar içinde bulunan kükürtün hafif izotopsal bileşimli kısmının öncelikle çözülmesi şeklinde kaynaklanmış mağmatik kökenli kükürt olduğu kabul edilebilir. ŞT-6 ve 20 numaralı örneklerle ait sfalerit - galenit çiftlerinin $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinden itibaren, kükürt izotopları jeotermometresi sıcaklık değerleri 343.6 ve 378.9 °C olarak hesaplanmış olup, özellikle birincil sıvı kapanımlarında ölçülmüş homojenleşme sıcaklığı değerlerine benzerlik göstermektedir.

Oksijen ve hidrojen izotopları jeokimyası incelemeleri; sıvı kapanımları içinde hapsolmuş hidrotermal çözeltilere ait suyun mağmatik kökenli su alanı içinde veya meteorik su çizgisi tarafında (formasyon suyu alanı içinde) konumlandıklarını göstermektedir. Bu durum, cevher oluşturucu hidrotermal çözeltiler içinde mağmatik kökenli suların egemen olduğunu, çok az da olsa yüzeysel kökenli suların da karışmış olabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, yöredeki damar tipi cevherleşmelerin; içinde yerleştikleri fay zonlarının oluşumundan sonra, yakınlarında bulunan Tersiyer yaşlı granitoyitler ile doğrudan ilişkili veya meteorik su ile karışmış mağmatik kökenli hidroter-

mal çözeltilerle çevredeki Üst Kretase yaşlı volkanik kayalardan çözülmüş metal iyonlarının ve kükürtün fay zonları boyunca çökeltilmeleri şeklinde oluştuğu söylenebilir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, M-194 Nolu proje kapsamında, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme Komisyonu'na desteklenmiştir. Yazarlar; sağlanan maddi destek için ilgili Komisyon Başkanlığı'na, saha çalışmaları sırasındaki katkıları için BER-ONER Madencilik A.Ş. yetkililerine ve çalışanlarına, izotop analizleriyle ilgili katkıları için başta Dr. Greg B. ARHART ve Dr. Baruch SPIRO olmak üzere Nerc (İngiltere) ve Nevada Üniversitesi (ABD) İzotoplar Jeokimyası Laboratuvar sorumlularına ve çalışanlarına teşekkürü borç bilir.

KAYNAKLAR

- Berkman, H., 1992. Sözlü görüşme. Tutakdağı Maden İşletmesi, Şebinkarahisar.
- Campbell, A.R., and Larson, F.B., 1998. Introduction to stable isotope applications in hydrothermal systems. In Richards, J.P., and Larson, P.B., (eds.). *Techniques in Hydrothermal Ore Deposits Geology; Reviews in Economic Geology*, 10, 173-193.
- Clayton, R.N., and Mayeda, T.K., 1963. The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis. *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, 27, 43-52.
- Criss, R.E., and Taylor, H.P., Jr., 1983. An $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and D/H study of the Tertiary hydrothermal systems in the southern half of the Idaho batholith; *Geological Society of America Bulletin*, 94, 640-663.
- Çalapkulu, F. ve Ayan, Z., 1982. Etir yaylası Şebinkarahisar fluorit zuhurunun mineralojisi ve oluşumunun sıvı kapanımı yöntemi ile incelenmesi. *Jeoloji Mühendisliği*, 15, 29-36.
- Çalapkulu, F. ve Karaoğlu, N., 1987. İnler Yaylası kurşun-çinko-bakır cevherleşmesinin metalojenik incelemesi. 40. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, s.31.
- Gökçe, A. ve Bozkaya, G., 2002. Tutakdağı (Şebinkarahisar-Giresun) Pb-Zn yatağının oluşum koşullarının ve kökeninin araştırılmasında sıvı kapanım, iz element ve izotoplar jeokimyası incelemeleri. Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı Projesi, Proje No: M-194, 41 s (yayımlanmamış).

- Gökçe, A., and Spiro, B., 2002. Fluid-related characteristics of the Çakmakkaya and Damar-köy copper deposits, Northeast Turkey. *International Geology Review*, 44, 744-754.
- Gökçe, A., Spiro, B., and Miller, M.F., 1993. Kurşunlu (Koyulhisar-Sivas) damar tipi Pb-Zn-Cu yataklarında mineral oluşturuvcu hidrotermal çözeltilerin kararlı izotoplar (O, H ve C) jeokimyası ve kökeni. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36, 73-79.
- Hoefs, J., 1984. *Stable Isotope Geochemistry*. Berlin-Heidelberg-New York, Springer Verlag, (3rd edition.) 241 pp.
- Karaoğlu, N., 1985. İner Yaylası (Şebinkarahisar) Pb-Zn-Cu yataklarının jeolojisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir. (yayımlanmamış).
- Ohmoto, H., and Rye, O., 1979. Isotopes of sulphur and carbon. In Barnes, L.H., (ed.), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, New York, Wiley, 509-567.
- Sharp, Z.D., and Kirschner, D.L., 1994. Quartz-calcite oxygen isotope thermometry: a calibration based on natural isotopic variations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, 4491-4501.
- Şaşmaz, A., 1993. Tutak Dağı güneybatısındaki Pb-Zn yatakları.. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 98 s (yayımlanmamış).
- Şaşmaz, A. ve Sağıroğlu, A., 1994a. Tutakdağı güneybatısındaki (Şebinkarahisar-Giresun) Pb-Zn yatakları. *MTA Dergisi*, 116, 51-64.
- Şaşmaz, A. ve Sağıroğlu, A., 1994b. İner Yaylası (Şebinkarahisar -Giresun) Pb-Zn yatakları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 37, 13-28.