

Doğu Karadeniz Bölgesi Volkanik Kökenli Masif Sülfid Yataklarının Hidrotermal Alterasyonu

Hydrothermal Alteration of Volcanogenic Massive Sulfide Deposits in the Eastern Black Sea Region, Turkey

NAMIK ÇAĞATAY O.D.T.Ü. Jeoloji Müh, Bölümü, Ankara

ÖZ : Doğu Karadeniz cevher kuşağında cevherleşme oluşum koşullarına ışık tutmak ve ekonomik sülfid yatakları bulmaya yarayacak bazı ipuçları saptamak amaçlarıyla Madenköy, Kutlular, Kotarak Dere, Tunca, Sırtköy ve Sansu volkanik kökenli sülfid cevherleşmelerinde hidrotermal alterasyon, ayrıntılı mineralojik ve jeokimyasal yöntemlerle incelenmiştir. Yan kayaçlarda X-ışınları kırınım ve ince-kesit çalışmaları cevherleşmelerin karbonat minerallerini de (kalsit, dolomit, siderit) içeren geniş, düzenli killeşme zonları ile sarıldıklarını ortaya çıkarmıştır. Bu zonların çevresinde, volkanikler içinde zeolitlerin varlığı saptanmıştır. Ancak zeolit zonunun kökeni konusunda daha ayrıntılı çalışmalar gerekmektedir.

Cevherleşmelerde hidrotermal alterasyonun örtü kayaçları içinde kayacın gözenekliliği ve geçirgenliğine bağlı olarak görülmesi hidrotermal etkinliğin cevherleşmelerin oluşumundan sonra bir süre devam ettiğine işaret etmektedir. Ancak en kuvvetli hidrotermal alterasyon, hidrotermal etkinliğin en şiddetli olduğu masif cevherin altında, ağımsı-damar ve saçılmış cevher zonu kapsayan dasitik kayaçlarda görülmektedir.

Tüm cevherleşme yörelerinde en benzer hidrotermal alterasyon özelliği, mineralleşme işlemi ile ilgili alterasyonun ağımsı-damar ve saçılmış cevher zonlarında serizit (veya illit) ile simgelenmesidir.

Çoğu cevherleşmelerde alterasyon mineral toplulukları, cevherleşmenin ve serizit, kaolinit zonlarının oluşumu sırasında asidik olan cevher çözeltilerinin esas cevherleşmenin sonuna doğru sıcaklığın da düşmesi ile alkale bir özellik kazandığına işaret etmektedir. Bu ikinci aşama yan kayaçlarda karbonatlaşma ve hematitleşmeyi sağlamıştır.

Bir X-ışınları kırınım yöntemi ile yan kayaçlarda yarı-niceliksel olarak saptanan "kil (kaolinit + montmorillonit + illit + serizit) / feldspar" oranı ve alterasyon minerallerinin düzenli zonlaşma özellikleri, cevherleşmelerle ilgili hidrotermal zonları algılamada ve örtülü masif cevherlerin yerlerini belirlemede yararlı olacak vektör özelliği taşımaktadır.

Yan kayaçlarda yapılan jeokimyasal çalışmalar mineralojik bulguları doğrulayan sonuçlar vermiştir.

ABSTRACT : Detailed mineralogical and chemical studies of hydrothermal alteration of the Madenköy, Kutlular, Kotarak Dere, Tunca, Sırtköy and Sansu volcanogenic sulphide deposits in the Eastern Black Sea ore province of Turkey were carried out with the aims of obtaining a better understanding of the ore forming environments and establishing favourable criteria for discovering economic ore bodies. X-ray diffraction and thin-section studies of the footwall and hanging-wall rocks indicate that the orebodies are enveloped by extensive and regular argillic zones which also include some carbonate minerals such as calcite, dolomite, and siderite. Zeolite minerals were found in volcanics surrounding the clay zones. However, significance of the Zeolitic zones still remains to be investigated.

Continuation of the alteration zone in the hanging-wall rocks demonstrate that the hydrothermal activity continued for a while after the formation of the orebodies. The most intensive and extensive alteration is, however, found in the dacitic footwall rocks.

The main similarity in all the mineralized areas studied is that the common form of alteration associated with ore deposition is sericitization (including the presence of illite) of the dacitic footwall rocks, which are also commonly associated with silicification.

The alteration mineral paragenesis suggests that the ore solutions were acidic during the formation of the orebodies and kaolinite and sericite zones, but became alkaline with declining temperature towards the end of ore deposition. During this second phase, hematization and carbonitization processes took place in the host rocks.

Semi-quantitative evaluation of the "Clay (kaolinite + montmorillonite + illite + sericite)/Feldspar" ratio by a X-ray diffraction method is useful in detecting the presence and intensity of hydrothermal activity related to sulphide mineralization. The Clay/Feldspar ratio as well as regular zonation properties of the alteration minerals can also be used as direction vectors during detailed exploration studies.

Geochemical studies of the host rocks support the hydrothermal alteration characteristics determined by the mineralogical techniques.

GİRİŞ

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Üst Kretase - Eosen volkanik tortul kayaç dizileri içinde çok sayıda, çeşitli türde volkanik kökenli sülfid yataklar ve oluşukları bulunmaktadır. Bunlardan ekonomik olan masif ve ağimsı-damar (stockwork) türünde, yataklar Üst Kretase yaşlı dasitik volkanizma ile köken ilişkili olarak Dasitik Dizi içerisinde görülürler. Bu metalojenik kuşak bir çok özellikleri ile Japonya'nın Kuroko yataklarını içeren Yeşil Tüf (Green Tuff) bölgesine benzemektedir. Maden mineralleri olarak pirit, kalkopirit, sfalerit, galen ve az miktarda sülfür, tuzları (sulfosalts), ve gang mineralleri olarak barit, kuvars ve kil minerallerinden oluşan Doğu Karadeniz masif sülfid yatakları, genel olarak üstte merceğimsi biçimde masif cevher ve altta asidik volkanik kayaç ve tüfler içinde ağimsı damar-saçılmış (impregnation) cevher zonlarını kapsayan iki kısımdan oluşmuştur. Masif cevher zonu çoğunlukla üstte doğru çinko ve kurşunca zenginleşmekte ve bazı yataklar (örneğin, Madenköy ve Murgul) yakınlarında sülfür cevherleşmesi ile ilgili olarak jips cevherleşmesi de içermektedir. Masif cevherler üstte çoğunlukla hematitli olan tüf, çamurtaşı ve volkaniklerle örtülürler. Ekonomik olarak bakır, çinko, bazen de kurşun ve yan ürün olarak gümüş ve altın yönünden önemli olan bu maden yataklarının çevrelerinde geniş sayılabilecek hidrotermal alterasyon zonları oluşmuştur.

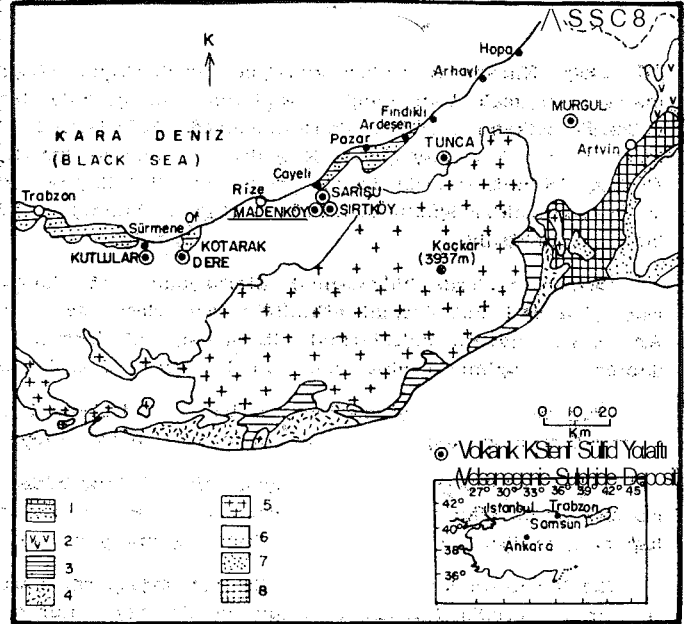
Bölgede gerek bu tür cevherleşmelerin oluşum ortam koşullarına ışık tutmak ve gerekse yeni ekonomik sülfid yataklarının aranmasında yararlı olacak ipuçları elde etmek amacıyla Madenköy (Çayeli), Kutlular, Kotarak Dere (Sürmene), Tunca (Ardeşen) gibi yataklarda ve Çayeli yöresinde Sirtköy, Sarısu gibi küçük cevher oluşumları (şekil 1) civarında, yan kayaçlarda ayrıntılı mineralojik ve jeokimyasal çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar için temsili, yüzeysel olarak ayrılmamış 230 adet yüzey ve sondaj karotu kayaç örnekleri alınmış ve böylece yanal ve düşey olarak hidrotermal alterasyon zonları üç boyutta incelenmeye çalışılmıştır.

İncelenen cevherleşmelerin, jeoloji ve mineralojileri konusunda ayrıntılı bilgi Çağatay (1977) de özet olarak Çizelge 1de verilmiştir.

LABORATUVAR YÖNTEMLERİ

Seçilmiş, 100 e yakın kayaç örneğinin ince kesitleri yapılarak petrografik incelemeleri yapılmıştır.

74 mm (200 mesh) nun altına öğütülen kayaç örneklerinin kimyasal analizleri ve X - ışınları kırınım spektrometresi ile mineralojik incelemeleri yapılmıştır. Yan kayaçlarda feldspar ve kaolin, montmorillonit, illit, serizit ve klorit gibi



Sekil 1: Doğu Karadeniz cevher kuşağı doğu kesiminin jeolojisi, (1 - Volkanik çakıltı (Pliyosen), 2 Bazalt-andezit (Miyosen-Pliyosen), 3 - Andezit-Trakit (Eosen-Oligosen), 4 - Filig (Eosen), 5 - Granit-granodiyorit' (Üst Kretase-Oligosen) 6 - Volkanikler (Üst Kretase - Eosen) 7 - Tortul kayalar* (JPnra-Kretase), 8 - Kristalin temel (Paleozoik)).

Figure 1: Geology of eastern part of Eastern Black Sea ore province of Turkey (1 - Volcanic Pebblestone' (Pliocene), 2 - Basalt-andesite (Miocene-Pliocene), 3 - Andesite-trachytes (Eocene-Oligocene), 4 - Flysch. (Eocene), 5 - Granite-Granodiorite (Upper Cretaceous-Eocene), 6 - Volcanics (Upper Cretaceous-Eocene), 7 - Sedimentary rocks (Jurassic-Cretaceous), 8 - Crystalline basement* (Paleozoic)).

Yatak-Deposît (Tür)-(type)	Rezerv-Reserves (ton) (tonnes) Tenör-Grade (%) (%)	Mineraloji (Mineralogy)	Ana yan kayalar (Main host rocks)	Örtü kayaçlar (Hanging-wall rocks)	Düşünceler (Remarks)
Madenköy (masif) (massive)	27 m.t; %4 Zn, %3 Cu, (Ag+Cu)	Pirit, sfalerit, kalkopirit az galenit, bornit ve sülfür tuzları. Gang olarak barit, kuvars ve kil mineralleri-Ayrıca jips cevherleşmesi. (pyrite, sphalerite, chalcopyrite, small amount of galena, bornite and sulphosalts; quartz, barite and clay minerals as gangue. Associated gypsum mineralization)	Masif cevherin altında dasitik kayaçlar içinde pirit-kalkopiritten oluşmuş ağimsı-damar ve piritten oluşmuş saçılmış cevher zonları. (Pyrite-chalcopyrite stockwork and pyritic impregnation, zones in dacitic tuffs)	Hematitli pomzalı tüfler ve bunlarla ardalanma gösteren bazaltlar (Hematitized pumice tuffs interdigitated by basalts)	Masif cevher hemen tümüyle örtülü, sadece ağimsı damar ve saçılmış cevher zonlarının bir kısmı yüzeylenmekte. (Almost totally covered massive ore; partially exposed stockwork and impregnation zones)
Kutlular (masif) (Massive)	1.5 m.t; %2.2 Cu 0.4 m.t; %1.5 Zn	Pirit, kalkopirit, sfalerit; az galenit ve sülfür tuzları; gang olarak kuvars, barit ve kil mineralleri (pyrite, chalcopyrite, sphalerite and small amount of galena and, sulphosalts Quartz, barite and clay minerals as gangue)	Madenköy gibi (Same as Madenköy)	Cevherleşmiş dasitik tüf breşi masif cevheri örtmekte ve kendisi de bazit tarafından örtülmekte (Mineralized dacitic tuff-breccia overlain by basalts)	Merceğimsi masif cevher tümüyle örtülü, ağimsı-damar ve saçılmış cevher zonları yer yer yüzeylenmiş olarak göstermektedir. (Concealed lens-shaped massive ore; stockwork and impregnation zones are partly exposed)
Kotarak Dere (ağimsı damar) ((stock work)	2 m.t; %0.4 Cu %1 Zn	Kutlular gibi (Same as kutlular)	Madenköy gibi (Same as Madenköy)	Bazalt ve volkanik aglomerata (Basalts and volcanic agglomerate)	Küçük bir masif cevher kalıntısı ve etrafında geniş ağimsı damar ve saçılmış cevherleşme. (Small remnant of massive ore surrounded by stockwork and impregnation mineralization).

Tunca (masif) (massive)	0.3 m.t.; %1.5 Cu %1 Zn	Kutular gibi (Same as Kutular)	Madenköy gibi (Same as Madenköy)	Altta hematitleşmiş dasit birimi, üstte bazaltlar. (Hematitized dacite unit overlain by basalts)	Masif cevher bir fay boyunca; ağımsı-damar ve saçılmış cevher zonları bir dasit penceresi içinde yüzeylen- mekte. (Massive ore zone exposed by a steeply dipping fault zone; stockwork and im- pregnation zones exposed in a dacite window)
Sırtköy (ağımsı damar) (stock work)	—	Pirit ve çok az kalkopirit, gang olarak kuvars ve kil mineralleri. (Pyrite and small amounts of chalcopyrite; quartz and clay minerals as gangue)	Dasit içinde piritli ağımsı- damar ve saçılmış cevher- leşme (Pyritic stockwork and im- pregnation ore in dacites)	Bazaltlar (Basalts)	Cevherleşme dasit pencere- leri içinde; bazaltlar klorit- leşme ve piritleşme göster- mekte. (Mineralization in dacite windows; chloritization and pyritization in basalts)
Sarısu (saçılmış) (imregnation)	—	Pirit ve gang olarak kü- vars ve kil mineralleri (Pyrite; quartz and clay minerals as gangue)	Dasit içinde saçılmış cev- herleşme (Pyritic impregnation in dacites)	Tüf ve bazaltlar (Tuffs and basalts)	Ağımsı-damar cevherleşme- si yok (No associated stockwork mineralization)

Çizelge 1: İncelenen volkanik kökenli sülfid cevherleşmelerinin özellikleri

Table 1: Main features of the studied volcanogenic sulphide mineralizations.

kil minerallerinin miktarları basit bir X ışınları kırınım yöntemi ile bağlı olarak saptanmıştır. Bunun için 34 kV, 24 mA ve 400 sayım/saniye duyarlılık koşullarında çalışan bir Philips X - ışınları kırınım aygıtı kullanılmış ve örnekler Co - K α radyasyonu kullanarak 4° den 40° ye kadar 2°/dakika hızla taranmıştır. Tüm örnekler için aynı tane yoğunluğu (close packing) sağlamak ve düzgün yatay yüzeyler elde etmek için özen gösterilmiştir. Feldspar, kaolin, montmorillonit ve illit-serizit için yansıma şiddetleri sıra ile 3, 18 - 3, 21, 7, 10, 14, 7, ve 10, 0 A° d-aralıklarında ölçülerek kaydedilmiştir. Yukarıda belirlenen koşullar altında kaydedilen bu şiddetler yarı-niceliksel olarak mineral miktarlarıyla orantılıdır.

Kayaç, örnekleri K, Ca, Fe, Mg, Al ve Ba için doğrudan okunabilir optik spektrografi; Cu, Pb, Zn ve Ag için atomik absorpsiyon; As ve Mo için kolorimetrik. F için iyon selek tif elektrod yöntemleri ile analiz edilmişlerdir.

KUTLULAR MASİF SÜLFİD YATAĞININ HİDROTERMAL ALTERASYONU

Mercek biçiminde tamamen örtülü olan masif cevher, altta ve üstte, dasitik kayaçlar içinde bir illit¹-pirit zonuyla sarılmış olarak bulunmakta ve bu zonlar yer yer de kalsit ve montmorillonit içermektedir (şekil 2). Serizit sadece K-8 sondajının masif cevherin altındaki saçılmış cevher zonunu kestiği kısımdan alınan bir örnekte saptanmıştır. Bu alterasyon zarfı içinde tüm feldsparlar hemen tamamen kil minerallerine ayrılmıştır. Masif cevherin altındaki ağimsı-damar ve saçılmış cevher zonlarında, dasitler içinde illit yanında klorit ve bazen kalsit de bulunmakta ve bu zonlar da ayrıca silisleşmeye rastlanmaktadır. Masif cevherin hemen üstünü örten dasitik tuf breşi içinde pirit ve kalkopirit gibi sülfid mineralleri yanında küçük cepler şeklinde jips de

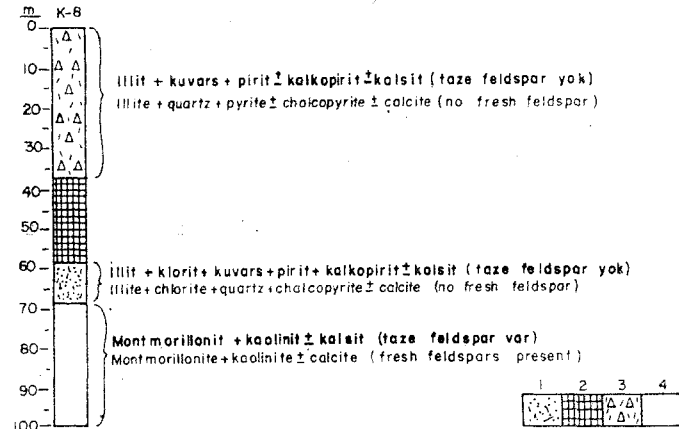


Figure 2: Vertical distribution of hydrothermal alteration minerals in the Kutlular massive sulphide deposit (1 — Stockwork-impregnation zone, 2 — Massive ore, 3 — Dacitic tuff-breccia, 4 — Diabase).

izlenmektedir. Killerle belirlenmiş bu alterasyon zonları masif cevherden uzaklara doğru (yaklaşık 300 m), volkanitler içinde laumontit tarafından simgelenen bir zeolit zonuna geçiş göstermektedir.

KOTARAK DERE SÜLFİD YATAĞININ HİDROTERMAL ALTERASYONU

Kotarak Dere sülfid yatağı küçük bir masif cevher kalıntısı yanında dasitler içinde daha geniş ağimsı-damar ve saçılmış cevher zonlarından oluşmuştur.

Bu cevherleşmede hidrotermal mineral topluluğu olarak serizit (veya illit), klorit ve hidrotermal kuvars bulunmaktadır. Yüze örneklerinde küçük masif cevher yüzeylemesine yaklaştıkça serizit oranının artmakta ve klorit bu serizit zonunu saran ayrı bir dış zon oluşturmaktadır. Sondaj kesitleri boyunca alınmış örneklerin mineralojik incelemeleri de aynı sonucu vermektedir (şekil 3). Örtü dasitik tüfleri içinde Serizit ve kalsit; masif cevherin altında ağimsı-damar ve saçılmış cevher zonlarında yine serizit ve bazen kalsit izlenmekte ve serizitli olan üstteki masif cevhere yakın zon, derinlere doğru kloritçe zengin bir zona geçiş göstermektedir.

Gerek örtü oluşturan dasitik tüfler ve gerekse ağimsı-damar ve saçılmış cevher zonlarında feldsparlar tamamen ayrılmış olarak bulunmaktadır. Ayrıca, ağimsı damar ve saçılmış cevher zonlarında yer yer kuvvetli silisleşme izlenmektedir.

TUNCA MASİF SÜLFİD YATAĞININ HİDROTERMAL ALTERASYONU

Mercek biçimindeki Tunca masif sülfid yatağı ortalama 5 m kalınlıktadır. Güney kenarı, Tunca deresini takip eden doğu-batı yönlü bir fay boyunca 70 m boyunda yüzeyleme göstermektedir. Kuzey doğru yaklaşık 25°'lik bir eğimle dalan masif cevher hematitli bir dasit birimi ile örtülmekte ve bu dasit birimini de örten bir bazalt birimi bulunmaktadır. Altta asıl cevher yan kayacını oluşturan bir dasit penceresi içinde ağimsı damar ve saçılmış cevher zonları izlenmektedir.

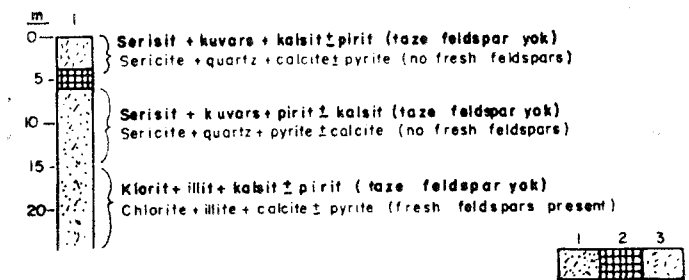


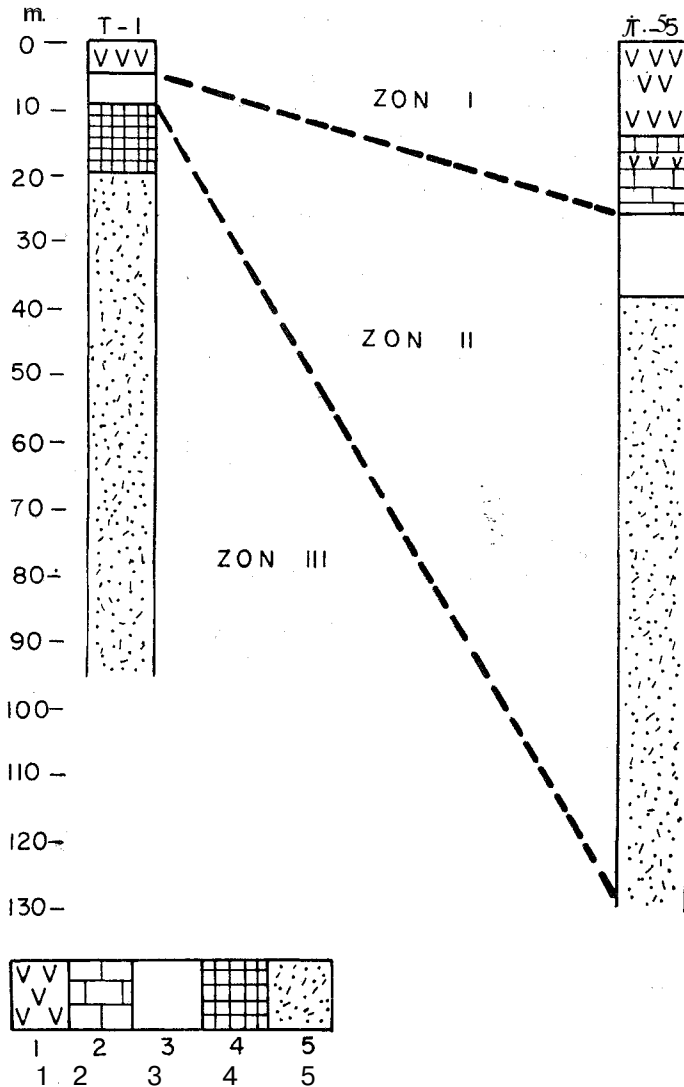
Figure 3: Vertical distribution of hydrothermal alteration minerals in the Kotarak Dere deposit (1 — Stockwork-impregnation deposit, 2 — Massive pyrite, 3 — Dacitic tuff).

(1) İllit burada yaklaşık 10 Å'ye geniş X-ışınları taban yansıması (basal reflection) veren kil minerali için kullanılmıştır. (Geniş X-ışınları taban yansıması, illitte genişleyebilen karışık tabakalanma ya (mixed-layering) işaret etmektedir. Serizit ise illitin tersine, 10 Å'ye keskin yansıma verir.

Hidrotermal alterasyon minerallerinin dağılımları yüzey örnekleri ve T-1 ve T-5 sondaj kesitleri boyunca alınmış örneklerde incelenmiş ve litoloji ile uyumluluk gösteren üç ayrışma zonu ayırt edilmiştir.

(1) Klorit zonu: Klorit ve kalsitten oluşmuş bir propilitik alterasyon zonu olup, yer yer de dolomit içermektedir. Bu zon en üstte bazaltik örtü kayaları içinde izlenir. Feldsparlar bu zonda çok az ayrışma göstermektedir.

(2) Serizit (illit) - klorit zonu: Bu zon cevherin üstünü örten hematitli dasit birimi içinde ve masif cevherden uzakta ağimsı-damar ve saçılmış cevher zonları içinde görülür (şekil 4). Hematit, örtü dasit birimi içinde saçılmış ve damarlar halinde izlenmektedir. Bu zonda feldsparlar büyük ölçüde serizite (veya illite) dönüşmüştür.



Şekil 4: Tunca masif sülfid yatağında düşey hidrotermal alterasyon zonlaşması (Zon I: Klorit + kalsit, Zon II: illit-serizit + klorit ± hematit, Zon III: Serizit. Açıklama: 1 - Bazalt, 2 - Kireçtaşı, 3 - Hematitli dasit, 4 - Masif sülfid, 5 - Dasit içinde ağimsı damar ve saçılmış cevher zonu).

Figure 4: Vertical zonation of hydrothermal alteration halo at the Tunca massive sulphide deposit (Zone I: Chlorite + calcite, Zone II: Illite-sericite + chlorite ± hematite, and Zone III: Sericite. Explanation: 1 - Basalt, 2 - limestone, 3 - Hematitized dacite, 4 - Massive sulphide, 5 - Stockwork and impregnation zone in dacite).

(3) Serizit (illit) zonu: Bu zon masif cevherin altında dasitler içinde oluşmuştur. Tek kil minerali olarak serizit veya illit bulunur ve serizit oranı masif cevherin altında derinlere doğru gittikçe artış gösterir. Bu zonda yaygın ve şiddetli olarak feldspar bozuşması ve yer yer de silisleşme izlenmektedir.

SIRTKÖY CEVHERLEŞMESİNİN HİDROTERMAL ALTERASYONU

Saçılmış ve ağimsı-damar türündeki cevherleşme, Kuzeydoğu ve Kuzeybatı yönlerinde bir faylanma sonucu yüzeyleme gösteren bir dasit kütlesi içinde görülmektedir. Pencere şeklinde dereler boyunca ortaya çıkan bu dasit spilit türünden birimlerle örtülmüştür.

Hidrotermal mineral topluluğu klorit, serizit ve yer yer de kalsit ve dolomitten oluşmaktadır. Asıl cevherleşmenin görüldüğü Gümüş Dere civarında alterasyon daha çok serizit ve biraz da klorit tarafından simgelenmekte ve feldsparların büyük oranda bozuştuğu izlenmektedir. Örtü oluşturan bazik kayalarda da kuvvetli kloritleşme ve piritleşme oluşturmıştır.

SARISU CEVHERLEŞMESİNİN HİDROTERMAL ALTERASYONU

Sarısuda cevherleşme porfiritik dokuda bir dasit penceresi içinde pirit saçılması biçiminde oluşmuştur. Bu dasit stratigrafik olarak dasitik tüf ve dasitik tüfler de bir bazalt birimi tarafından örtülmüşlerdir. Cevherleşme içinde pirit tek sülfid minerali olarak bulunmaktadır.

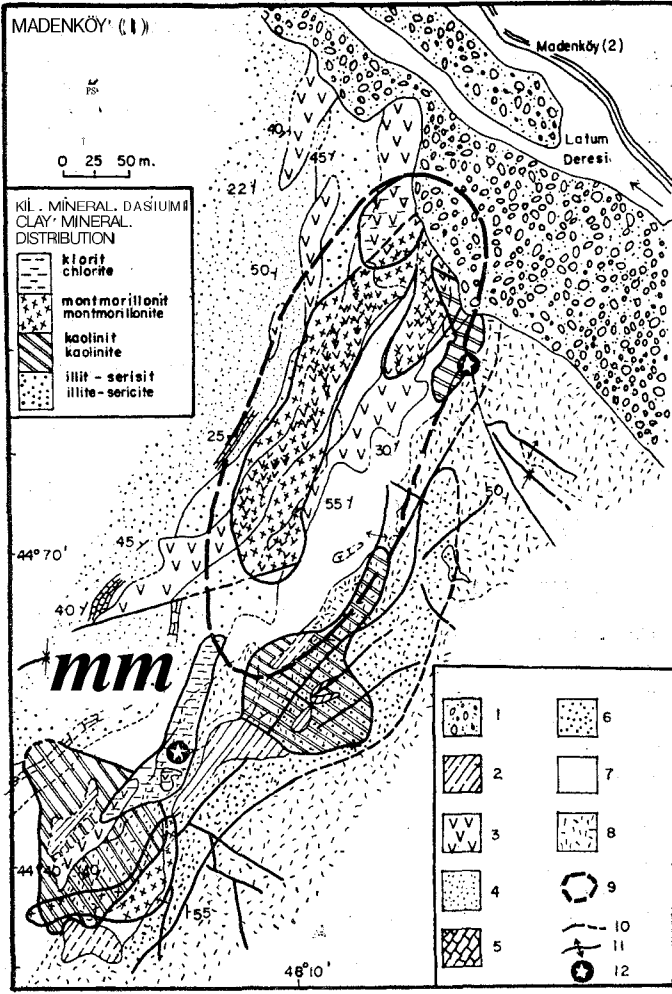
Hidrotermal mineral topluluğu kaolinit, montmorillonit, dolomit ve yer yer de kalsitten oluşmuştur. Kaolinit ve montmorillonit çok yaygın olarak dasitler içinde izlenmektedir. Dasit içinde, cevherleşme civarında feldsparlar hemen tamamen bozuşma göstermektedir.

MADENKÖY MASİF SÜLFİD YATAĞININ HİDROTERMAL ALTERASYONU

Madenköy masif sülfid yatağı bölgede volkanik kökenli masif tür sülfid yataklarının en büyüğüdür. Hemen tamamen örtülü olan masif cevher hematitleşme gösteren pomzalı tüf ve bazalt birimlerinden oluşmuş bir örtü altında yaklaşık 50° lik bir eğimle kuzeybatıya dalar ve altta dasitik kayalar içinde ağimsı damar ve saçılmış cevher zonlarına geçiş gösterir (şekil 5). Bu yatakla ilgili ayrıntılı bilgi Çağatay ve Böyle (1978) de verilmiştir.

Gerek yüzey ve gerekse sondaj kesitleri boyunca alınan örnekler üzerinde yapılan mineralojik çalışmalar cevherin yan kayalar içinde geniş kil ve karbonat zonları ile sarıldığını göstermiştir. Cevheri saran bu zonların da çevrelerinde, masif cevherden yaklaşık 300 m uzaklıktan başlamak üzere volkanitler içinde laumontit ve mordenit gibi zeolitlerin varlığı saptanmıştır.

Kil ve karbonat minerallerinin yanal dağılımları şekil 5 ve 6 da, 101, 108 ve 110 numaralı sondaj kesitlerindeki düşey dağılımları şekil 7 de gösterilmiştir. Yapılan çalışma-



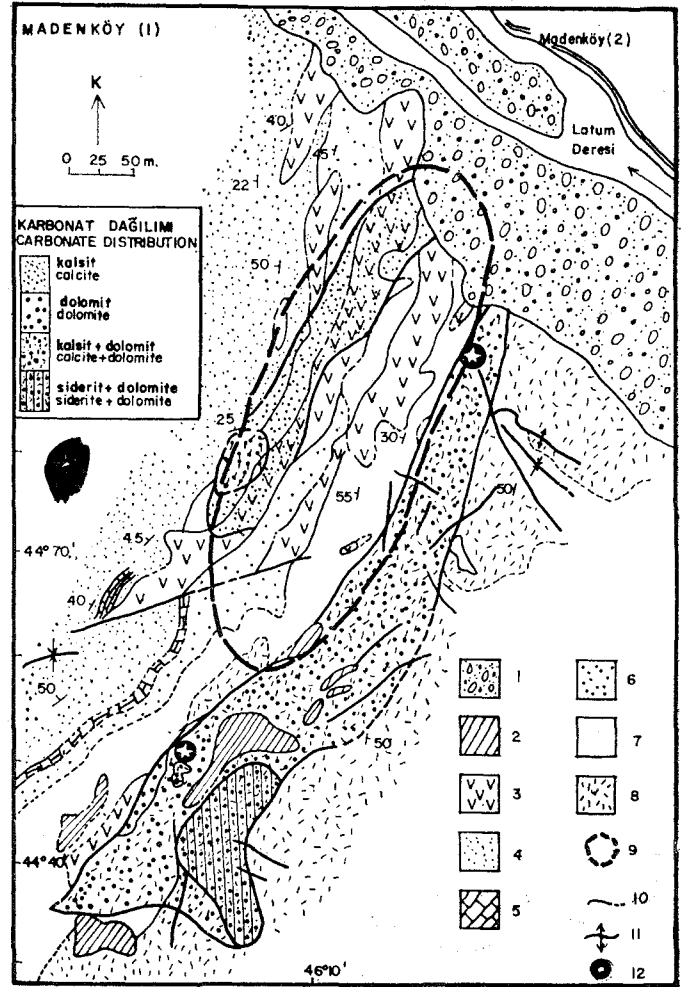
Şekil 5: Madenköy masif sülfid yatağında kil minerallerin en bol bulunduğu zonların dağılımı (1 - Alüvyon, 2 - Andezit, 3 - Bazalt, 4 - Marn, kumtaşı, 5 - Kireçtaşı, 6 - Andezit tüf-breşi, 7 - Hematitli, pomzalı tüf, 8 - Dasitik kayalar, 9 - Örtülü cevherin sınırı, 10 - Fay, 11 - Kıvrım eksen, 12 - Piritli masif cevher yüzeylemesi. Jeoloji bazı değişikliklerle Nebioğlu (1975)'den alınmıştır.

Figure 5: The most abundant zones of occurrence of clay minerals at the Madenköy massive sulphide deposit. (1 - Alluvium, 2 - Andesite, 3 - Basalt, 4 - Marl, sandstone, 5 - Limestone, 6 - Andesite tuff-breccia, 7 - Hematitized-pumice tuff, 8 - Baccitic rocks, 9 - Outline of concealed ore, 10 - Fault, 11 - Fold axis, 12 - Massive pyritic ore outcrop. Geology modified after Nebioğlu, 1975).

lar sonucu montmorillonit, kaolinit² (ve karışık tabakalı serizit-montmorillonit) ve serizit tarafından simgelenen üç ayrı, belirgin alterasyon zonu ayırt edilmiştir:

Zon (1) Montmorillonit + kalsit ± klorit ± kaolinit ± illit zonu: Bu zon maden yatağında üst stratigrafik düzeylerde, örtü kayaları içerisinde izlenir. Klorit ve illit yer yer görülür. Feldsparların az ayrışma gösterdiği bu zon, altta masif cevhere doğru zon (2) ye geçiş gösterir.

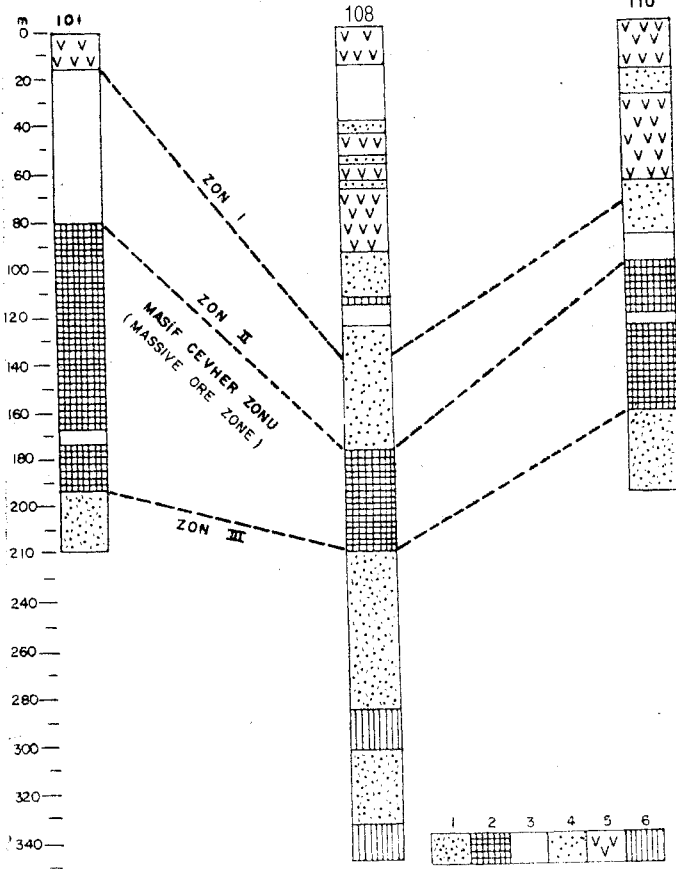
(2) Kaolinit deyimi burada kaolin grubu kil mineralleri olan dikit, nakrit ve kaoliniti kapsayacak şekilde kullanılmıştır. Ancak bir kaç pomzalı tüf örneğinde yapılan X-ışınları kırılma çalışmalarıyla nakritin varlığı saptanmıştır.



Şekil 6: Madenköy masif sülfid yatağında karbonat minerallerinin en bol bulunduğu zonların dağılımı (1 - Alüvyon, 2 - Andezit, 3 - Bazalt, 4 - Marn, kumtaşı, 5 - Kireçtaşı, 6 - Andezit tüf-breşi, 7 - Hematitli, pomzalı tüf, 8 - Dasitik kayalar, 9 - Örtülü cevherin sınırı, 10 - Fay, 11 - Kıvrım eksen, 12 - Piritli masif cevher yüzeylemesi).

Figure 6: The most abundant zones of occurrence of carbonate minerals at the Madenköy massive sulphide deposit (1 - Alluvium, 2 - Andesite, 3 - Basalt, 4 - Marl, sandstone, 5 - Limestone, 6 - Andesite tuff-breccia, 7 - Hematitized-pumice tuff, 8 - Baccitic rocks, 9 - Outline of concealed ore, 10 - Fault, 11 - Fold axis, 12 - Massive pyritic outcrop).

Zon (2) Kaolinit + karışık tabakalı (mixed - layer) serizit - montmorillonit + dolomit + montmorillonit zonu: Bu zon örtü kayalarının masif cevhere çok yakın olan kesiminde görülür. Bu zonda, pomzalı tüfler içinde kaolinit, karışık tabakalı serizit - montmorillonit ve üst düzeylerde bazen montmorillonit izlenir. En fazla bulunan karbonat minerali dolomittir, yer yer de siderit bulunmaktadır. Bu zonda feldsparlar, pomzalı tüfler içinde tamamen; bazaltlar içinde ise zon (1) dekine göre daha büyük ölçüde ayrışma göstermektedirler.



Şekil 7: Madenköy masif sülfid yatağında düşey hidrotermal alterasyon zonlaşması (Zon I: Montmorillonit + kalsit ± klorit ± kaolinit ± illit; Zon II: kaolinit + karışık ta-bakalı serizit-montmorillonit + dolomit ± siderit + pirit. Açıklama: 1 - Ağır damar-saçılmış cevher, 2 - Masif cevher, 3 - Pomzalı tüf, 4 - Pomzalı kumtaşı, 5 - Bazalt, 6 - Andezit).

Figure 7. Vertical zonation of hydrothermal alteration halo at the Madenköy massive sulphide deposit (Zone I: Montmorillonite + calcite ± chlorite ± kaolinite ± illite; Zone II: Kaolinite + mixed-layer sericite-montmorillonite + dolomite + siderite + pyrite. Zone III: Illite or sericite + kaolinite + dolomite + siderite + pyrite. Explanation: 1 - Stockwork-impregnation ore; 2 - Massive ore, 3 - Pumice tuff, 4 - Pumiceous sandstone, 5 - Basalt, 6 - Andesite).

Zon (3) İllit veya serizit + kaolinit + dolomit + siderit + pirit zonu: Masif cevherin altındaki dasitik kayaçlar içinde, ağır damar ve saçılmış cevher zonlarını da içeren bu zonda masif cevhere yakın kesimlerde silisleşme de görülür. Feldspatlar tamamen ayrılmış olup, dolomit ve siderit yüksek oranlarda bulunur. İllit-serizit grubu kil minerallerinin dağılımı düzensizdir. 110 numaralı sondaj kesitinde ağır damar ve saçılmış cevher zonlarında serizit bulunur. 108 numaralı sondaj ile sitinde ise masif cevherin altındaki ilk 50 m' de illit egemen olup derinlere doğru yerini serizite terk etmektedir.

Madenköy' de görülen alterasyonlara ek olarak masif cevheri örten pomzalı tüflerde hematitleşme görülür. Bu hematitleşme çoğunlukla saçılmış, bazen de damarcıklar şeklindedir.

Yukarıda adı geçen kaolinit ve karışık tabakalı serizit+montmorillonit yüksek derecede düzen, sıralama (order) ve kristallenme göstermektedir. 29, 75, 13, 70, 9, 34, 5, 39 ve 4, 69 Å' de X-ışınları yansımaları veren karışık tabakalı serizit-montmorillonit üzerinde yapılan deneyler bu kil mineralinin bravaisit adı verilen kil mineraline benzediğini göstermiştir. Bu kil minerali üzerinde daha ayrıntılı çalışmalar devam etmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucu Madenköy yatağında çeşitli alterasyon minerallerinin yan kayaçlardaki dağılımları ayrıntılı olarak saptanmış ve bu Çizelge 2 de özetlenmiştir.

Şekil 5 ve 6 dan da görüleceği gibi Madenköy' de hidrotermal alterasyonun şiddeti ve yaygınlığı masif cevherin güney batısına doğru artmaktadır. Bu da cevherleşme ile ilgili hidrotermal etkinliğin kaynağının güney batıda bulunabileceğine kuvvetli bir kanıt oluşturmaktadır.

Madenköy' de cevher ve hidrotermal mineral topluluklarının dağılımı ve çeşitleri gözönünde bulundurularak çeşitli cevherleşme zonları ve pomzalı tüfler Meyer ve Hemley'in (1967) hazırlanmış olduğu bir temel şekil üzerine yerleştirilmiştir (şekil 8). Buna göre asıl cevherleşme ve buna bağlı olarak kaolinit ve serizitin simgelediği zon (2) ve zon (3) ün oluşumları sırasında bağlı olarak yüksek sıcaklıkta (250°-300° C), asidik özellikte (pH: 3-5) ve sülfür basıncı yüksek olan hidrotermal çözeltilerin zamanla, esas cevherleşme oluşum aşamasından sonra bazik, düşük sıcaklık ve düşük sülfür basıncı özellikleri kazandığı söylenebilir. Cevheri örten pomzalı tüflerin oluşumu sırasında ve oluşumundan bir süre sonra da devam eden bu ikinci hidrotermal evre karbonatlaşmayı ve hematitleşmeyi oluşturmuştur. Alterasyonun örtü kayaçları içinde devam etmesi hidrotermal etkinliğin cevherleşmenin oluşumundan bir süre sonra da devam ettiğini göstermektedir.

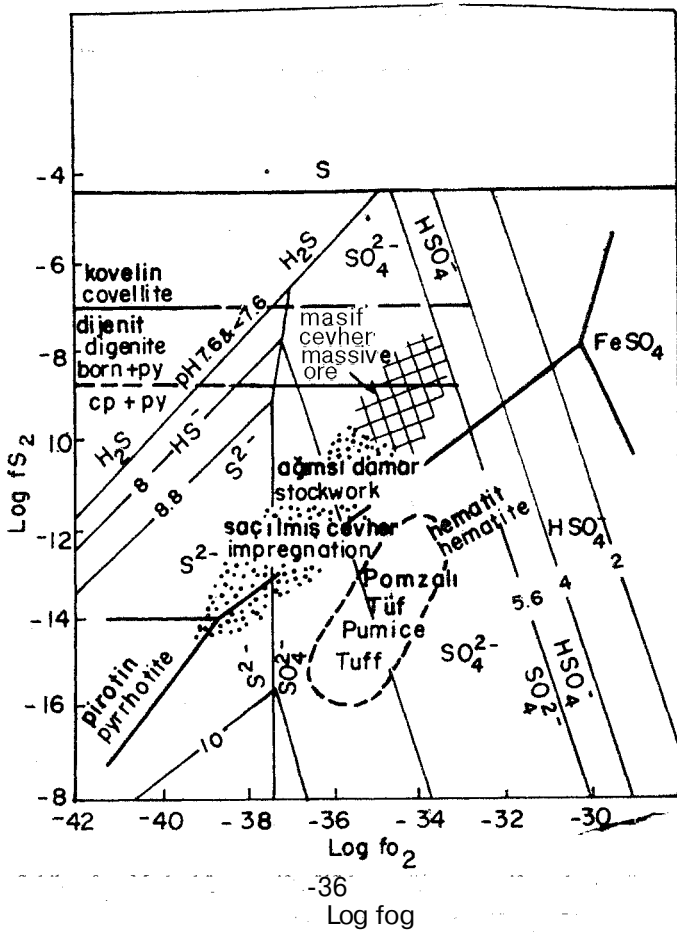
YAN KAYAÇ JEOKİMYASI

Cevherleşmeler civarında yan kayaçlarda yapılan jeo-kimyasal çalışmalar mineralojik bulguları doğrulayan sonuçlar vermiştir. Örneğin Madenköy dasitik yan kayaçla-

Mineral	DASİTİK YAN KAYAÇLAR (Ooctic footwall rocks)		ÖRTÜ KAYAÇLARI (Hanging-wall rocks)	
	Saçılmış cevher zonu (0.ssem,naf,on /one)	Ağırsıdınar zonu (Stockwork zone)	Pomzalı Tüfler (Pumice Tuffs)	Bazaltlar (Basalts)
İllit (Illite)				
Klorit (Chlorite)				
Montmorillonit (Montmorillonite)				
Karışık tabakalı illit-montmorillonit (Mixed-layer illite-montmorillonite)				
Kaolinit (Kaolinite)				
Serizit (Sericite)				
Kalsit (Calcite)				
Dolomit (Dolomite)				
Siderit (Siderite)				
Hematit (Hematite)				

Çizelge 2: Madenköy masif sülfid yatağında kil ve karbonat minerallerin dağılımı.

Table 2: Clay and carbonate mineral distribution in the Madenköy massive sulphide deposit.



Şekil 8: Madenköy masif sülfid yatağının masif cevher, ağimsi- (lamar, saçılmış sonlarında , ve pomzalı tüflerinde cevher ve hidrotermal mineral topluluklarının Cu-Fe-S-O dizgesinde, 250°C ve 0.1 mol toplam kükürt koşullarında oluşum alanları (Kuramsal verileri içeren esas çekil Meyer ve Hemley, 1967; S. 220'den)

Figure 8: Field of formation of ore and hydrothermal mineral assemblages within massive ore, stockwork and impregnation Zones; and -pumice tuffs at the Madenköy massive sulphide deposit in the Cu-Fe-S-O system at 250°C and 0.1 molar total sulphur (Base diagram redrafted after Meyer and Hemley, 1967; p. 220).

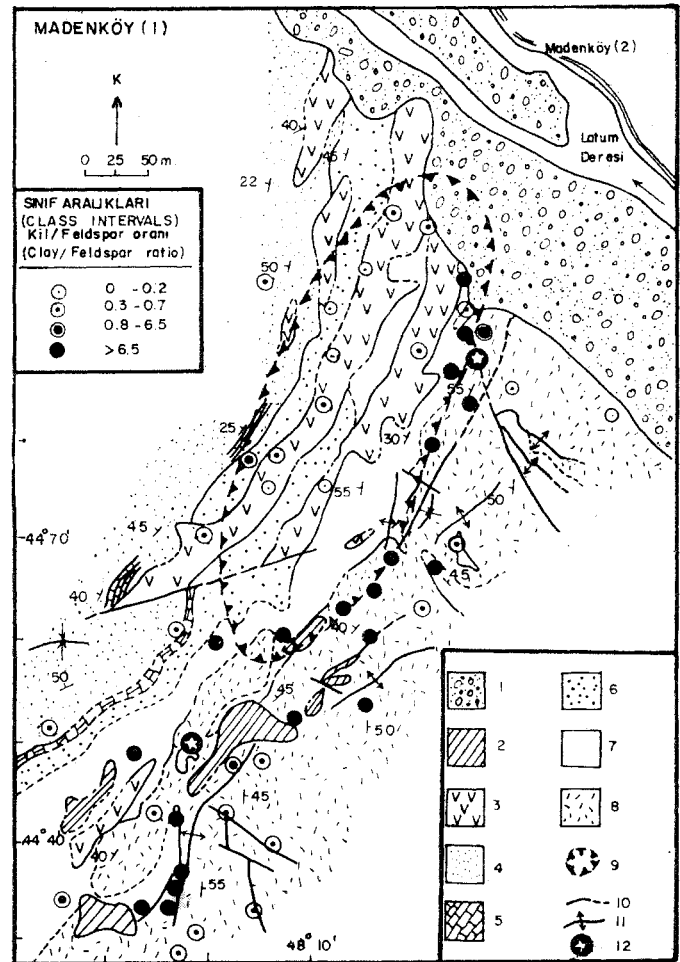
rında Fe, Ca ve Mg un altere olmamış aynı tür kayalara göre zenginleşme göstermesi (Çizelge 3) piritleşme, dolomitleşme ve sideritleşmeyi yansıtmaktadır. Ayrıca Madenköy ve diğer cevherleşme yörelerinde dasitler altere olmamış dasitlere göre As, P, Pb, Zn, Ag, Ba ve Mo gibi elementler yönünden önemli ölçüde zenginleşme göstermekte ve bunlardan As ve P masif cevhere yaklaştıkça artan, aramalarda yararlı olabilecek bir dağılım özelliği göstermektedir (Çağatay ve Böyle, 1977).

HİDROTERMAL ALTERASYON VE MADEN ARAMALARI

Yapılan çalışmalar, Doğu Karadeniz bölgesinde volkanik kökenli masif sülfid cevherleşmelerinin kil ve karbonat mineral topluluklarının oluşturduğu düzenli zonlarla sarıldığını ve tüm cevherleşmelerde serizitik alterasyonun cevherleşme ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu bilinen düzenli zonlaşma özellikleri ayrıntılı örtülü bir cevherin yerini saptamada çok yararlı olacaktır.

Peldsparların genel olarak montmorillonit, kaolinit, illit-serizit grubu kil minerallerine ayrıştığı bilinmektedir.

Hidrotermal alterasyona uğramış dasitik ve pomzalı volkanitlerde kil mineralleri, feldsparlardan başka volkanik cam ve pomzanın ayrışması sonucu da oluşmaktadır. Ancak volkanik cam ve pomzanın dasit ve pomzalı tüflerde kil oranına olan katkısı sabit varsayılabilir. Böylece "Kil (montmorillonit + kaolinit + illit + serizit) /Feldspar" oranını hidrotermal ayrışmanın çok etkin belirteci olması gerekir. Yukarıda ayrıntıları verilen bir X-ışınları yöntemi ile cevherleşme yan kayaçlarında yapılan çalışmalar gerçekten de bu oranın cevherleşme ile ilgili hidrotermal alterasyon şiddetinin belirteci olduğunu göstermiştir. Madenköy, Sırtköy ve Sarsu cevherleşmelerini içeren Çayeli yöresinde yapılan bir yönlendirme (orientation) çalışması ile kil/feldspar oranı cevherleşme zonlarını belirgin olarak ortaya çıkarmıştır (Çağatay ve Böyle, 1977). Madenköy yatağı civarında yapılan ayrıntılı çalışmalarda bu oranla belirlenen alterasyon zonu dasitik tüf-pomzalı tüf dokanağı boyunca, yaklaşık 200 m genişlik 500 m uzunlukta bir alan kaplamaktadır (şekil 9).



Şekil 9: Madenköy masif sülfid yatağı kayaçlarında "kil/feldspar" oranı (1 - Alüvyon, 2 - Andezit, 3 - Bazalt, 4 - Marl, kumtaşı, 5 - Kireçtaşı, 6 - Andezit tüf-bregi, 7 - İle mat itli, pomzalı tüf, 8 - Dasitik kayalar, 9 - Örtülü cevherin sınırı, 10 - Fay, 11 - Kuvrim eksen, 12 - Piritli masif cevher yüzey lemesi).

Figure 9: Clay /Feldspar ratio of bedrocks, Madenköy area, (1 - Alluvium, 2 - Andesite, 3 - Basalt, 4 - Marl, sandstone, 5 - Limestone, 6 - Andesite-tuff breccia, 7 - Hematitized - pumice tuff, 8 - Dacitic rocks, 9 - Outline of concealed ore, 10 - Fault, 11 - Fold axis, 12 - Massive pyritic ore outcrop).

Çizelge 3: Çeşitli cevherleşmelerin dasitik yan kay açları ile Maden köy yöresinde cevherleşmemi[^] dasitik kay açların bazı esâs elementler yönünden karşılaştırılması.

Table 3: Variations in some major element contents of dacitic rocks from various mineralized areas compared with unmineralized dacites from the Madenköy area.

Element	Madenköy cevherleşmiş dasitler (mineralized dacites)	Kutlular dasitler (dacites)	Kotarak			
			Dere dasitler (dacites)	Tunca dasitler (dacites)	Sırtköy dasitler (dacites)	Sarısu dasitler (dacites)
K	±	+	+	+	—	—
Ca	+	—	—	±	+	+
Fe	+	+	+	+	+	+
Ca	+	—	+	+	+	+
Al	—	±	+	+	—	+

+ Elementin arttığını gösterir (Indicates addition of element)

— Elementin eksildiğini gösterir (Indicates subtraction of element)

± Elementin miktarında önemli bir değişme olmadığını gösterir (Indicates no significant change)

Madenköy ve diğer cevherleşme civarlarında yapılan bu çalışmalar kil/feldspar oranının ve bağıl olarak kil mineral dağılımlarının bu tür cevherleşmeler için yapılan arama çalışmalarının yanında, hidrotermal etkinliğin ve cevherleşme işlemlerinin şiddetini hesaplamada da çok yararlı olacağını göstermiştir.

SONUÇLAR

(1) Doğu Karadeniz Bölgesi'nde incelenen volkanik kökenli sülfid cevherleşmeleri kil ve karbonat mineral topluluklarının oluşturduğu düzenli ve geniş alterasyon zonları ile sarılmışlardır. Dışta bu zonları da saran zeolit zonlarının varlığı saptanmıştır, ancak zeolit zonlarının cevherleşme işlemlerine mi yoksa bölgesel bir metamorfizmaya mı bağlı olarak oluştuğu, daha ileride yapılacak çalışmalarla saptanabilecektir. Alterasyon en şiddetli olarak ağimsı-damar ve saçılmış cevher zonlarında görülmekte ve daha az şiddette örtü kayaçları içinde devam etmektedir. Hidrotermal alterasyonun boyutları cevherleşmeler civarında dasitik ve pomzalı tuf gibi gözenekli ve geçirgen kayaçların dağılımına koşut olarak gelişmiştir.

(2) İncelenen volkanik kökenli sülfid cevherleşmelerinde hidrotermal alterasyon benzerlikler gösterdiği kadar farklılıklar da göstermektedir. Tüm incelenen cevherleşmelerde saptanan en önemli ortak özellik, masif cevherin altında, ana yan kayaç olan dasitik kayaçlarda serizitik (illitik) alterasyonun bulunmasıdır. Bu alterasyon türünün asıl cevherleşme ile ilgili olduğu kuvvetli bir olasılıktır.

(3) Kaolinit, serizit ve karbonat minerallerinin birarada bulunması cevherleşme işlemleri sırasında hidrotermal çözeltilerin asidik bir özellikten değişerek cevherleşmenin sonuna doğru bazik bir özellik kazandığına işaret etmektedir.

(4) Doğu Karadeniz Bölgesi'nde incelenen volkanik kökenli masif sülfid cevherleşmelerinde izlenen kil mineral tür-leri ve kil hidrotermal alterasyon zonlaşması, Japonya'nın

Kuroko yataklarında Shirozu (1974) ve Iijima (1974) tarafından rapor edilen hidrotermal alterasyon özelliklerine benzerlik göstermektedir. Ancak Doğu Karadeniz'de; Kuroko yataklarından farklı olarak karbonatlaşma ve hematitleşme işlemleri de etken olmuştur.

(5) Basit bir X-ışınları kırınım yöntemi ile volkanik kökenli cevherleşmelerin yan kayaçlarında saptanan kil/feldspar oranı, bu tür mineralleşmeye bağlı olarak oluşmuş hidrotermal alterasyon zonlarını algılamada ve örtülü olabilecek masif bir cevher kütlelerinin yerini saptamada yararlı olacak sonuçlar vermiştir. Ayrıca bu cevherleşmelerin yan kayaçlarında ortaya çıkarılan düzenli kil ve karbonat mineral dağılımları benzer örtülü cevherler için yapılan ayrıntılı arama çalışmalarında cevherin yerini belirlemede çok yararlı olacaktır.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Çağatay, M.N., 1977, Development of geochemical exploration techniques for massive sulphide ore deposits, Eastern Black Sea region, Turkey. Londra Üniversitesi, Doktora tezi, yayınlanmamış.
- Çağatay, M.N. ve Boyle, D.R., 1977, Geochemical prospecting for volcanogenic sulphide deposits in the Eastern Black Sea ore province, Turkey. J. Geochem. Explor., 8, 49-71.
- Çağatay, M.N. ve Boyle, D. H, 1978, Geology, geochemistry and hydro thermal alteration of the Madenköy massive sulphide deposit, Eastern Black Sea region, Turkey. 5 th IAGOD Symposium, Utah, U.S.A. August, 1978 (Baskıda).
- Iijima, A., 1974, Clay and zeolitic alteration zones surrounding Kuroko deposits in the Hokuroku district, Northern Akita, as Submarine hydrothermal-diagenetic alteration products; Ishihara, S. (ed.), Geology of Kuroko Deposits de: The Society of Mining Geologists of Japan, Special Issue, No. 6, 267-290.
- Meyer, W.T. ve Hemley, J.J., 1967, Wall rock alteration; in Barnes, H.L. ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits, de: Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York, 166-235.
- Nebioglu, T.Y., 1975, Madenköy (I) sahasının jeoloji haritası (1:1000 ölçekli). M.T.A Arşiv No. 31134.
- Shirozu, H., 1974, Clay minerals in altered wall rocks of the Kuroko type deposits; Ishihara, S. ed, Geology of Kuroko Deposits" the Society of Mining Geologists of Japan, Special Issue, No. 6, 303-310.