



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



DOĞU KARADENİZ BÖLGESİ (KD TÜRKİYE) VOLKANOJENİK MASİF SÜLFİD YATAKLARI CEVHER FASİYESLERİNE AİT BAZI ÖZGÜN BULGULAR

M.Kemal REVAN^a, Yurdal GENÇ^b, V. Valery MASLENNIKOV^c, Taner ÜNLÜ^d,
Okan DELİBAŞ^a ve Semi HAMZAÇEBİ^e

^a Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, 06800 ANKARA, TÜRKİYE

^b Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, ANKARA, TÜRKİYE

^c Rusya Bilimler Akademisi (RAS), Mineraloji Enstitüsü, Urallar Şubesi, MIASS, RUSYA

^d Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan, ANKARA, TÜRKİYE

^e Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Trabzon Bölge Müdürlüğü, TÜRKİYE

ÖZ

Anahtar Sözcükler:
Pontidler, cevher
fasiyesi, sülfid kumtaşı,
kırıntılı cevher, tüp
solucan, sülfid çıkış
bacası

Doğu Karadeniz Bölgesi volkanojenik masif sülfid (VMS) yataklarının cevherleri yapı-doku, bileşen ve konum olarak incelendiğinde “cevher fasiyesleri” ve “cevherli sedimanter fasiyesler” olarak sınıflandırılabilir. Cevher fasiyesleri hidrotermal-metasomatik, deniz tabanı hidrotermal ve biyolojik fasiyeslerden oluşur. Hidrotermal-metasomatik fasiyesler deniz tabanının altındaki (sub-sea floor) ornatma süreçlerini kapsar ve ağsal-saçınımlı, masif damar ve masif mercekle temsil edilir. Deniz tabanının hemen altındaki volkano-sedimanter kayalar içerisinde oluşmuş kırık ve çatlaklar içerisinde sülfid minerallerinin yığılması ile oluşur ve bazı yatakların önemli bileşenleridir. Deniz tabanı hidrotermal fasiyesler deniz tabanındaki sülfid yığılımlarıdır ve hidrotermal çıkış bacaları ile kırıntılı sülfid cevherlerle karakterizedir. Kırıntılı sülfid cevherler yakın (proximal) ve uzak (distal) fasiyeslerine ayrılır. Cevherli sedimanter fasiyesler, cevherli seviyenin hemen üzerinde oluşmuş fazla kalın olmayan yanal uzanımlı demirli çörtler (exhalite?) ile ayırt edilir. Biyolojik fasiyesler ise deniz tabanı yığılması için karakteristik olan çıkış kanalı (vent) fosil faunası ile temsil edilir.

Doğu Karadeniz Bölgesi masif sülfid yataklarının cevherleri yapı-doku ve bileşenler açısından iyi korunmuş özelliklere sahiptir. Bu iyi korunmuş özelliklerden yola çıkarak bazı masif sülfid yatakların deniz tabanında (sea floor) moloz/kütle akmaları şeklinde, bazı yatakların ise deniz tabanının hemen altındaki ornatma süreçleriyle oluştuğu söylenebilir. Cevherin kırıntılı (klastik) doğası ve bazı sin-sedimanter yapılar bu yatakların oldukça hareketli bir ortamda çökelişmiş olduklarına işaret eder. Doğu Karadeniz Bölgesi VMS yataklarında gözlenen kırıntılı sülfid cevher, sülfid çıkış bacaları, demirli çörtler ve fosil fauna varlığı deniz tabanında çökelişe işaret eden önemli verilerin başında gelir. Cevher fasiyeslerinin belirlenmesi VMS yataklarının bölgesel ve küresel ölçekte sınıflandırılması için belirleyici bir yöntemdir.

ABSTRACT

Keywords:
Pontides, ore facies,
sulphide sandstone,
clastic ore, tube worm,
sulphide chimney

In the massive sulphide deposits of the eastern Black Sea region, there are ore facies and ore-bearing sedimentary facies. The former are subdivided into hydrothermal-metasomatic, seafloor hydrothermal, and biological facies. Hydrothermal-metasomatic facies refer to sub-seafloor processes and include network-disseminated, massive vein, and massive lens facies. The precipitation of sulphide minerals within pre-existing volcano-sedimentary rocks occurs largely beneath the seafloor, and these ores form an important component of some deposits. The term seafloor hydrothermal facies refers to sulphide accumulation on the seafloor and is characterised by hydrothermal chimneys and clastic sulphide ores. Clastic sulphide ores can be subdivided into proximal and distal facies. Ore-bearing sedimentary facies are characterised by relatively thin ferruginous chert (exhalite?) beds that occur along the uppermost part of the ore horizon. The biological facies is represented by fossil vent fauna, which are diagnostic for seafloor sulphide formation.

The VMS ores of the Eastern Black Sea region have well-preserved facies characteristics, especially in terms of texture and components. Some massive sulphide deposits accumulated via molasse/mass flow on the seafloor, whereas others formed via sub-seafloor replacement processes. Clastic sulphide textures and some sedimentary structures indicate that these deposits formed in a highly active setting. Clastic sulphide textures, sulphide chimney fragments, ferruginous cherts and fossil vent fauna (tube worms) recognised in the Pontide deposits are diagnostic and support the seafloor origin of VMS deposits.

* Başvurulacak yazar : M. K. REVAN, kemalrevan@gmail.com

1. Giriş

Kuzey Anadolu metalojenik kuşağı içerdiği çok sayıda ekonomik-yarı ekonomik maden yatak ve zuhurlarından dolayı bir çok araştırmacının ilgi odağında olmuştur. Özellikle bu kuşağın doğu kesimleri Doğu Pontidler (Ketin, 1966; Yılmaz vd., 1997; Okay ve Şahintürk, 1997) olarak bilinir ve günümüzde işletilmekte olan 5 adet volkanojenik masif sülfid (VMS) yatağı ve çok sayıda yarı-ekonomik yatak ve zuhur içerir (Şekil 1). İşletilen bu yataklardan yalnız iki tanesi (Çayeli-Rize ve Murgul-Artvin) önemli rezervlere sahiptir. Bu yataklara ek olarak volkanojenik kökenli çok sayıda alterasyon zonları gözlenir ve bunlar olasılıkla bölgede gömülü volkanojenik masif sülfid yataklarının varlığına işaret eder. Porfiri, damar ve skarn tip yataklar kuşakta bulunan diğer yataklardır ve VMS yataklarına göre ekonomik olarak daha az önem taşırlar. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Geç Kretase yaşlı VMS yatakları metamorfizma geçirmemiş doğaları ile ilksel cevherleşmeye ilişkin yapısal ve dokusal özellikleri iyi korunmuş yataklardır. Bu özellikleri ile Japonya (Kuroko tip) ve Urallar'daki (Ural tip) yataklara benzerlik sunarlar.

Bu makalenin amacı kuşaktaki volkanojenik masif sülfid yataklarının cevher ve cevherin içinde bulunduğu yan kayalara ilişkin fasiyeslerin tanımlanmasını yapmak ve buradan yola çıkarak Doğu Karadeniz Bölgesi VMS yataklarının oluştuğu ortama ilişkin yaklaşımlarda bulunmaktadır.

2. Bölgesel Jeoloji ve VMS Yatakları

Alp-Himalaya orojenik kuşağının bir parçası olan Anadolu yarımadası kuzeyden güneye dört tektonik kuşaktan oluşur: Pontidler, Anatolidler, Toridler

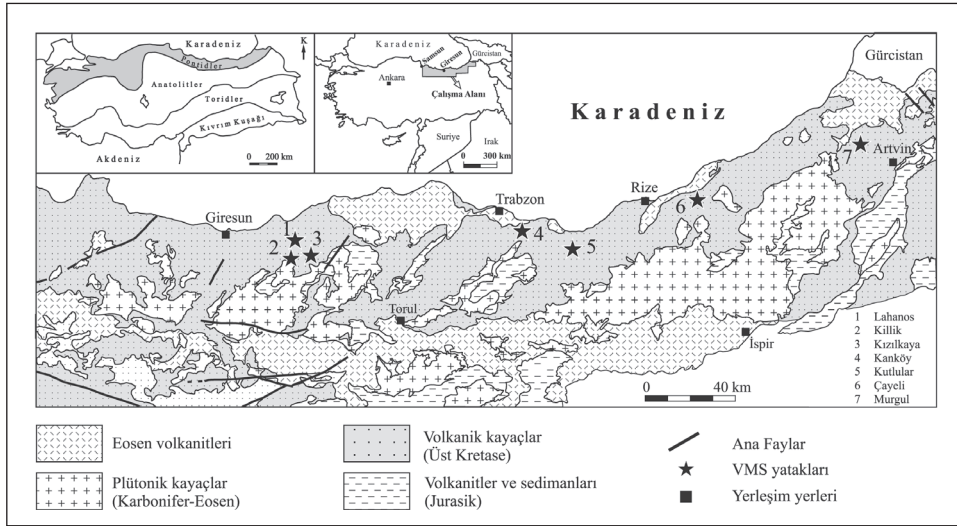
ve Kenar Kıvrımlar kuşağı (Ketin, 1966). Pontid olarak da bilinen Kuzey Anadolu tektonik kuşağı batı, orta ve doğu olmak üzere üç farklı sektöre ayrılır (Yılmaz vd., 1997). Geç Kretase yaşlı bimodal felsik kayalarla ilişkili VMS yataklarının içinde yer aldığı Doğu Karadeniz Bölgesi tektonik kuşağının temelini Schultze-Westrum (1961)'e göre Paleozoyik metamorfitle ve bunları kesen granitik kayalar oluşturur. Yaşları Paleozoyik ve Kuvaterner arasında değişen kalın bir volkano-sedimanter seri bu temel kayaları üzerler (Şekil 2).

Doğu Karadeniz Bölgesinde Mesozoyik-Tersiyer döneminde üç magmatik evre tanımlanmıştır (Okay ve Şahintürk, 1997). İlk evre Erken-Orta Jurasik toleyitik karakterli olup rifleşme ile ilintilidir. Subalkalen karakterli Türoniyen-Maastrichtiyen magmatizması ikinci evreyi temsil eder ve yitim ile ilişkilidir. Kretase volkanizması tamamen denizel olup çoğunlukla subalkalendir ve tipik ada yayı ürünleridir (Peccerillo ve Taylor, 1975; Gedikoğlu, 1978; Akın, 1979; Eğin vd., 1979; Manetti vd., 1983; Akıncı, 1984, Gedik vd., 1992). Kalk-alkalen Orta Eosen magmatizması son evre magmatizmayı temsil eder ve olasılıkla açılmalı rejim ile ilintilidir (Adamia vd., 1977; Eğin vd., 1979; Kazmin vd., 1986; Çamur vd., 1996).

Kretase bimodal volkanizmasının ürünleri olan bölgedeki VMS yatakları ada yayı ortamında gelişmiş dairesel yapılar ve fay kontrollü çöküntü alanları ile ilişkilidir (Tüysüz, 2000). Yapısal kontrollü bu VMS yatakları dasitik/riyolitik domların yakın kesimlerinde oluşmuştur. Doğu Karadeniz kuşağında tanımlanan tüm VMS yatakları çok kalın olmayan dasitik/riyolitik kayalar içerisinde oluşmuştur ve bu yataklar değişik kalınlıklarda dasit, andezit, bazalt ve volkano-sedimanter istifler ile üzerlenir. Yataklar genelde



Şekil 1 - Doğu Karadeniz metalojenik kuşağında yer alan önemli bazı VMS yataklarının yer bulduru haritası.



Şekil 2 - Doğu Karadeniz bölgesinin basitleştirilmiş bölgesel jeolojik haritası ve önemli VMS yataklarının konumu. İçteki haritalar Anadolu'nun tektonik kuşaklarını (Ketin, 1966) ve çalışma alanını gösterir.

dasitik/riyolitik kayaların en üst kesimlerinde veya üzerleyen kayaların en alt kesiminde yer alır (Revan, 2010).

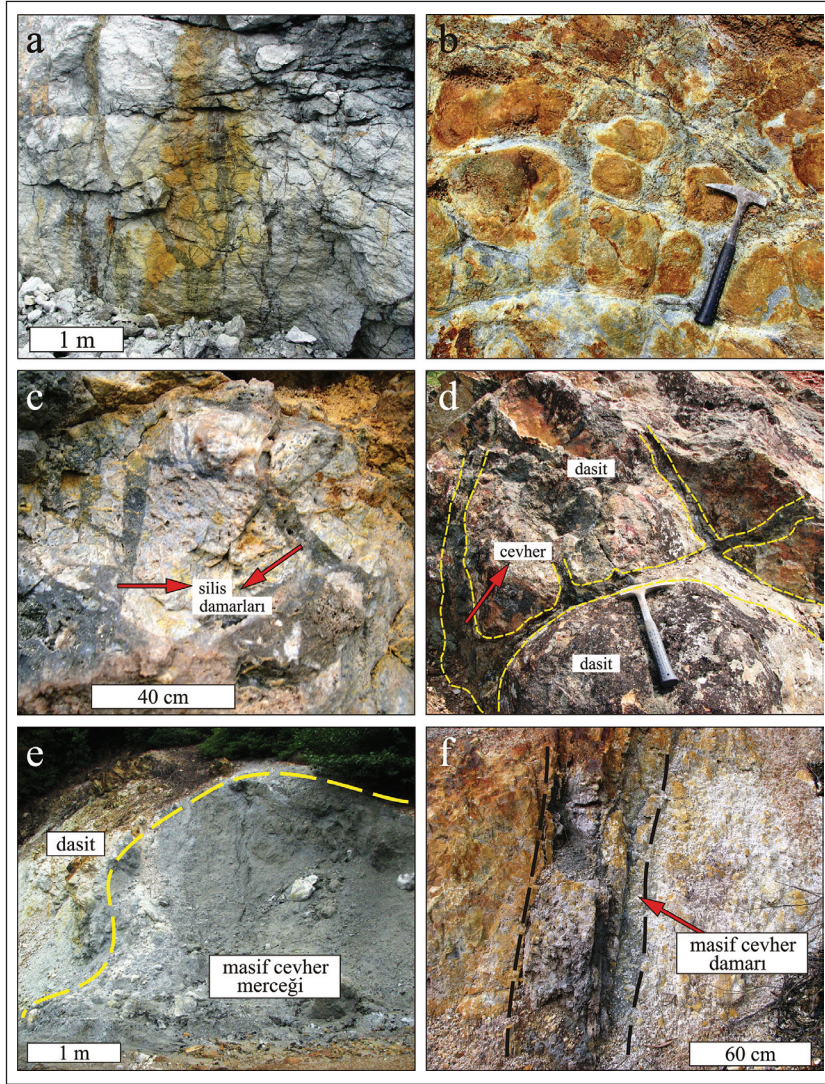
3. Cevher Fasiyesleri ve Fasiyes Analizleri

Masif sülfid yataklarının oluştuğu jeolojik ortam incelendiğinde “cevher fasiyesleri” ile “cevherli sedimanter fasiyeslerin” varlığı dikkat çeker. Cevher fasiyesleri, deniz tabanında ve deniz tabanının hemen altındaki cevherleşmeye ilişkin süreçleri kapsar. Bu kapsamda cevher fasiyesleri; hidrotermal-metasomatik, deniz tabanı hidrotermal, kırıntılı cevher ve biyolojik fasiyes olmak üzere birbirleri ile ilişkili 4 ayrı grupta incelenebilir. Cevher fasiyesleri içerisinde hidrotermal-metasomatik fasiyes cevher gövdesinin ve ağsal-saçınımlı zonun merkez kesimini oluşturur ve bugüne kadar değişik yataklarda (örn., Yarosh, 1973; Kuroda, 1983; Eldridge vd., 1983; Buslaev vd., 1992; Gemell ve Large, 1992) detaylı olarak incelenmiştir. Hidrotermal-metasomatik fasiyesler literatürde ornatma fasiyeslerinin eşdeğeridir ve ornatma süreçlerini kapsar. Diğer cevher fasiyesleri arasında deniz tabanı hidrotermal fasiyesler (sıcak su çıkış bacaları), kırıntılı cevher ve biyolojik fasiyesler masif sülfid paleo-hidrotermal sahalardaki sedimantasyon koşullarının anlaşılması için çok önemlidir ve çok az çalışılmıştır. Diğer bir fasiyes türü olan “cevherli sedimanter fasiyesler” ise gosan, amber, jasper, eksalit vb. gibi masif sülfid paleo-hidrotermal sahalarda deniz tabanı ayrışması/bozunması (*halmyrolysis*) şartlarını yansıtan çok özel oluşumlardır.

3.1. Hidrotermal-metasomatik Fasiyesler (Ağsal-saçınım, Masif damar, Masif merccek)

Doğu Karadeniz Bölgesi VMS yataklarının birçoğu deniz tabanının hemen altında (sub-seafloor) bulunan volkanik kayaların büyük ölçüde oynatılmasıyla oluşmuş yataklardır (Murgul, Kızılkaya, Çayeli, Lahanos, Kutlular, Harkköy, Killik, Pesansor, İsraildere). Bahsi geçen yataklarda deniz tabanının hemen altında çeşitli kırık ve kanallar boyunca yayılan hidrotermal çözeltilerin deniz tabanına yayılmadan önce dasitik/riyolitik yan kayaların zayıflık zonlarına sızarak ağsal-saçınım (ştokvörk) ve damar/merccek (sub-seafloor replacement) türde cevher fasiyeslerini oluşturduğu gözlenir. Ancak, yatakların bu kesimleri birçok durumda masif ornatmalardan çok damar, saçınım ve ağsal tip cevherden ibarettir. Deniz tabanının hemen altında oluşan bu zonlar yoğun silisleşmeyle karakterizedir ve ağsal-saçınımlı (Şekil 3a-d), masif merccek (Şekil 3e) ve masif damar (Şekil 3f) tip cevherleşmeler şeklindedir. Yataklarda gözlenen cevher damarlarının/mercceklerinin yan kayalarla uyumsuz ilişkisi ve yan kayalardaki alterasyonun şiddetinin örtü kayalara göre daha fazla olması deniz tabanının hemen altındaki ornatma verilerine işaret eden verilerin başında gelir.

Harkköy maden sahasında hidrotermal-metasomatik fasiyesler ağsal-saçınımlı ve masif damar (?) cevher türleri ile temsil edilir. Harkköy sahasında ağsal-saçınımlı tip cevheri içeren dasitik/riyolitik taban kayalar silisleşme ve serizitleşme ile karakterizedir ve kayacın ilksel dokusu tanımlanamayacak derecede alteredir. Cevherli



Şekil 3 - Hidrotermal-metasomatik fasiyeslere örnekler. (a) Murgul ve (b) Lahanos yatağı taban kayalarında ağsal-saçınımlı sülfid cevherleşmeler. (c) Kızılıkaya sahası taban kayalarında saçınımlı sülfid cevheri içeren ağsal silis damarları. (d) Harkköy taban dasit/riyolitlerinde ağsal-saçınımlı sülfid cevherleşmesi. (e) Killik sahasında homojen dokulu masif piritik sülfid mercek. (f) Kızılıkaya taban dasitlerinde masif sülfid damarı.

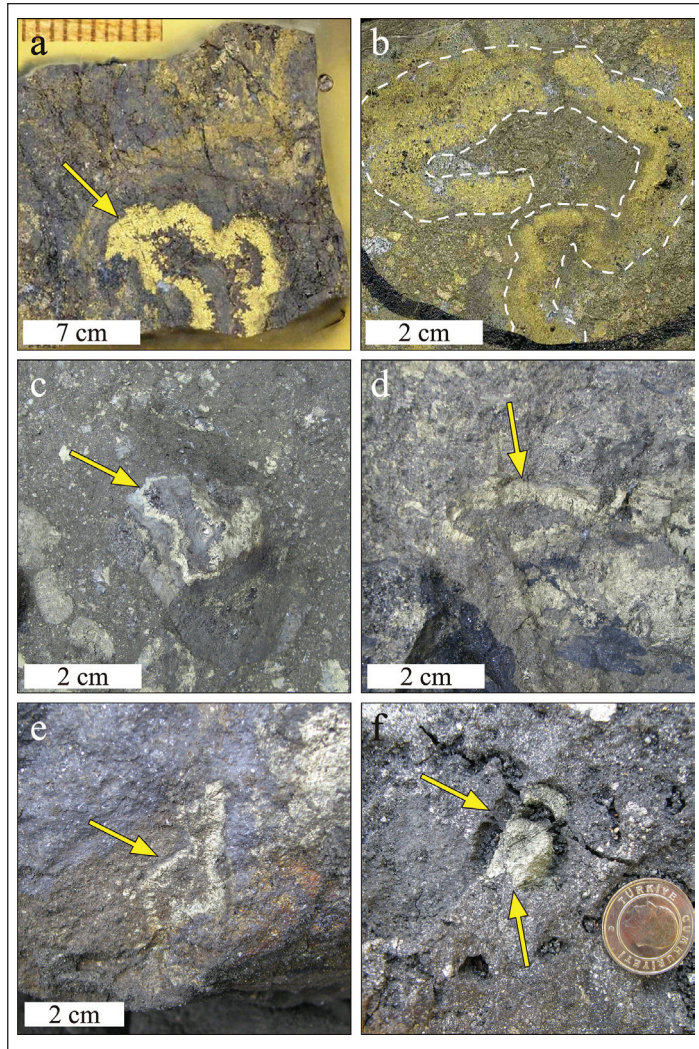
damarların (sfalerit>galenit) kalınlıkları oldukça değişkendir ve yer yer 15 cm'ye ulaşır. Killik yatağında bu fasiyesi ağsal-saçınımlı ve masif mercek tip cevherleşmelerle temsil edilir. Masif cevher merceğin konumu yataya yakındır ve yan kayayla uyumsuz bir ilişkiye sahiptir. Piritik masif cevher merceği tamamen homojen dokulu olup herhangi bir taşınma izine ve kırıntılı bileşime sahip değildir. Küçük boyutlardaki (~3 m kalınlık, ~10 m genişlik) bu masif cevher merceği asıl Killik cevher gövdesinin yaklaşık 700 metre kuzeyinde bulunur. Kızılıkaya yatağında ağsal-saçınımlı ve masif damar türde cevherleşmelerin oldukça geniş bir yayılımı vardır. Yan kayay içerisindeki cevher damarlarının kalınlığı

60 cm'ye ulaşır. Yan kayayla uyumsuz bir ilişkiye sahip olan masif cevher damarları (pirit>kalkopirit) genelde düşeye yakın konumlardadır. Çayeli yatağında iyi gelişmiş bir ağsal-saçınımlı tip cevher hemen masif gövdenin altında bulunur. Merkezi kesimleri yoğun silisleşme ile karakterizedir ve kayacın ilksel dokusu tanımlanamayacak derecede alteredir. Homojen dokulu masif cevherli damarların (pirit>kalkopirit>sfalerit) kalınlıkları yer yer 50 cm'ye ulaşır ve bu kesimler ekonomik olarak işletilir. Lahanos yatağında bu fasiyesi temsil eden kesimlerin boyutları oldukça dar bir alanla sınırlıdır. Ağsal-saçınımlı tip cevherleşmeden oluşan bu kesim masif gövdenin hemen altında yer alır ve yoğun silisleşme ve

serisitleşme ile karakterizedir. Cevherleşmenin içinde yer aldığı kayaçların ilksel dokusu tanımlanamayacak derecede alteredir. Dış ve derin kesimlerine doğru alterasyon şiddeti azaldığından bu kesimlerde ilksel dokusu kısmen daha iyi tanımlanabilir. Cevherli (pirit>sfalerit>kalkopirit) ağsal damarların ortalama kalınlıkları birkaç santimetredir. Yer yer bu damarların kalınlıkları ~15 cm'ye ulaşır. Murgul maden sahası cevherleşmesi tamamen ağsal-saçınımlı, masif damar ve masif mercleklerle (?) temsil edilir. Cevher damarlarının (pirit-kalkopirit) kalınlıkları yer yer 70-80 cm'ye ulaşır ve ekonomik olarak işletilen asıl cevherleşme türüdür.

3.2. Deniz-tabanı Hidrotermal Fasiyesler: Hidrotermal Çıkış Bacaları

Doğu Karadeniz masif sülfid yataklarında hidrotermal paleo-çıkış bacalarına (vent chimneys) ait parçaların tümü kırıntılı (klastik) sülfid cevherleşmeleri içerisinde tanımlanmıştır (Maslennikov vd., 2009; Revan, 2010). Cevherleşmiş sülfid çıkış bacalarının çapları birkaç milimetre ile 8 cm arasında değişir. Bacaların duvarlarına ait parçaların boyutları ise birkaç milimetre ile birkaç santimetre arasındadır. Bacalara ait en yoğun bulgular Çayeli maden sahasından elde edilmiştir. Çayeli sahasından derlenen iyi korunmuş örneklerin çapları 8 cm'ye ulaşır ve kırıntılı bir sülfid matrisi içerisindedir (Şekil 4a). Bacaların duvarlarına



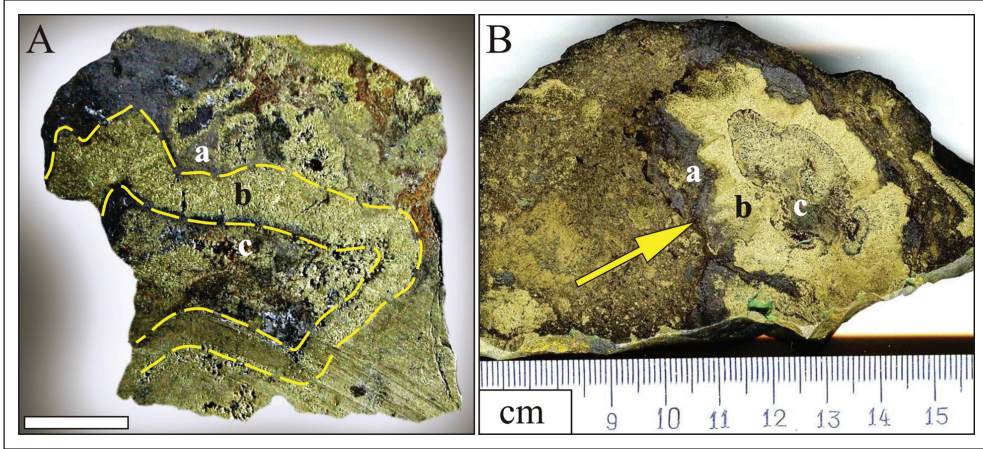
Şekil 4 - Doğu Karadeniz VMS yataklarında gözlenen deniz tabanı hidrotermal fasiyesler. (a) Çayeli masif cevher gövdesi içerisinde iyi korunmuş sülfid çıkış bacası. (b) ve (c) Killik masif cevher gövdesi içerisinde iyi korunmuş sülfid çıkış bacaları. (d) ve (e) Lahanos masif cevher gövdesi içerisinde kısmen iyi korunmuş sülfid çıkış bacaları. (f) Kutlular masif cevher gövdesi içerisinde sülfid çıkış bacası.

ait parçaların boyutları ise farklı olup genel olarak birkaç milimetre ile birkaç santimetre arasında değişir. Killik maden sahasından derlenen çıkış bacalarına ait parçaların iyi korunmuş olduğu gözlenir (Şekil 4b, c). Killik sahasında iyi korunmuş örneklerin çapı 5 cm'ye ulaşır ve kırıntılı bir sülfid matriks içerisindedir.

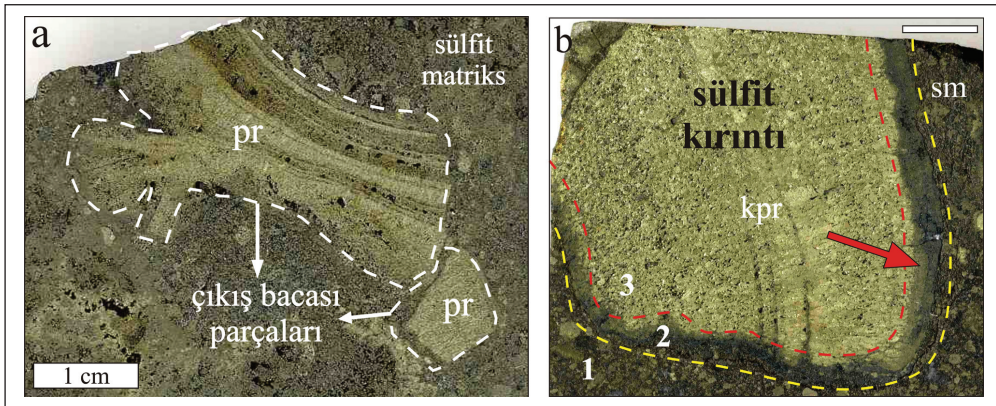
Lahanos maden sahasında tanımlanan çıkış bacası örnekleri kısmen iyi korunmuş örneklerdir (Şekil 4d, e) ve bazı örneklerde zonlanma açık bir şekilde gözlenir. İyi korunmuş cevherleşmiş çıkış bacalarının çapları 6-7 cm'dir. Çıkış bacası duvarlarına ait parçaların boyutları ise genelde birkaç milimetre ile birkaç cm arasında değişir. Lahanos madenine ait çıkış bacası parçaları kırıntılı sülfid bir matriks içerisinde bulunur. Kızılkaya, Kutlular ve Akarşen maden sahaslarında tanımlanan cevherleşmiş çıkış bacası parçaları iyi

korunmuş örnekler değildir. Kutlular sahasında kısmen iyi korunmuş iki adet çıkış bacası parçası belirlenmiştir. Baca duvarlarına ait parçalar daha bol miktardadır. Bu yataкта saptanan örnekler diğer sahalarda olduğu gibi kırıntılı sülfid cevherleri içindedir (Şekil 4f) ve kısmen iyi korunmuş bu örneklerde dairesel zonlu bir yapının varlığı dikkat çeker.

Hidrotermal çıkış bacaları Zn, Cu ve Fe sülfitlerden oluşan dairesel zonlardan oluşmuştur ve iyi korunmuş örneklerde zonlanma belirgindir (Şekil 5). Her bir zonun mineralojisini içermiş olduğu sülfid minerallerin bolluk miktarı belirler. Dış zonlarda genelde Fe ve Zn sülfitler, ara zonlarda ise Cu ve daha az oranda Fe sülfitler boldur. Cevher gövdelerinin bileşenlerini oluşturan çıkış bacası duvarlarına ait parçaların gözenekli yapısı tipiktir (Şekil 6a). Duvarlara ait parçaların etrafını çevreleyen alterasyon



Şekil 5 - Killik (A) ve Lahanos (B) yatakları çıkış bacalarında gözlenen mineralojik zonlanma. Dış zonlar (a) Fe ve Zn sülfitler (pirit, sfalerit), ara zonlar (b) ise Fe ve Cu sülfitlerle (kalkopirit) zengindir. Merkez zonlar (c) genelde barit ile pirit ve daha az oranda fahlerz, sfalerit, kalkopirit ve galenit içerir. Şekil A'da ölçek çizgisi 2 cm'dir.



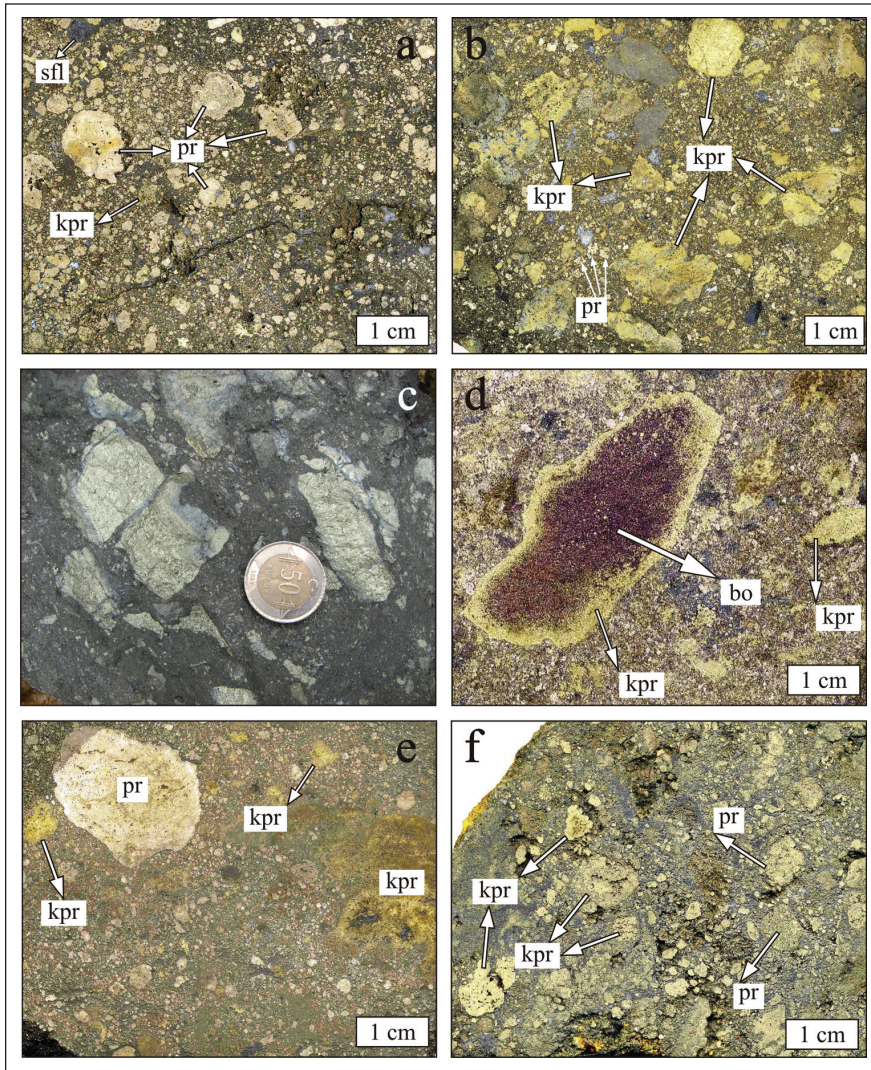
Şekil 6 - Deniz tabanı hidrotermal fasiyeslere örnekler. (a) Lahanos yatağı hidrotermal çıkış bacası duvarına ait parçanın tipik gözenekli yapısı. (b) Killik yatağı hidrotermal çıkış bacası duvarına ait parçasının etrafını saran alterasyon halesi. (1 veya sm: sülfid matriks, 2: alterasyon halesi, 3: kpr-kalkopirit parçası). Şekil b'de ölçek çizgisi 0.5 cm'dir.

haleleri yaygın olarak gözlenir (Şekil 6b) ve deniz tabanı oksidasyon koşullarını yansıtır.

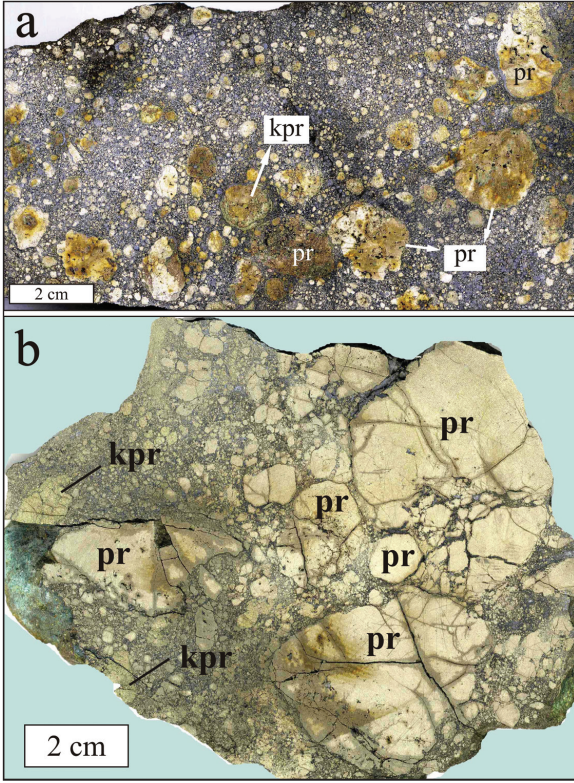
3.3. Kırıntılı Cevher Fasiyesleri

Doğu Karadeniz Bölgesi VMS yataklarının (Kızılkaya, Kutlular, Çayeli, Lahanos, Killik, Kanköy, Akarşen, Kuvarshan) cevher gövdelerinden derlenen örnekler kırıntılı dokulu ve heterojen yapıdır (Şekil 7). Sülfid matrisi içerisinde farklı bileşende sülfid mineral kırıntıları yuvarlaklaşmış, yarı-öz şekilli ve öz şekilsiz daneler halindedir. Her bir sülfid mineralinin dane boyutu mikrometre ile santimetre ölçeğinde değişim gösterir. Sülfid

kırıntıları genelde pirit, kalkopirit, sfalerit, bornit ve galenittir. Sülfid kırıntıların bileşenlerini hidrotermal çıkış bacalarına ait parçalar ile bu çıkış bacalarına yakın yerlerde yaşam süren faunaya ait cevherleşmiş parçalar oluşturur. Çok az da olsa masif cevher gövdesi içerisinde çevre kayalara ait parçalar da (volkanik ve sedimanter kayaç parçaları) kırıntılı cevherin bileşenlerini oluşturur. İri daneli bileşenler ile ince daneli bileşenler iç içe gözlenir (Şekil 8a). Bazı örneklerde iri bileşenlerin miktarı küçük daneli bileşenlere göre baskın iken, bazı örneklerde küçük daneli bileşenler daha baskındır. İri daneli sülfid bileşenlerde kırılanmalar yaygındır (Şekil 8b). Deniz tabanı çıkış kanallarına yakın yerlerde iri daneli



Şekil 7 - Deniz tabanı hidrotermal fasiyeslere örnekler. (a), (b) ve (c) Killik yatağı kırıntılı cevher fasiyesleri. Sülfid matrisi içerisinde değişik dane boyutlarında sülfid parçalar. (d) Çayeli yatağı sülfid matrisi içerisinde boyutları ~5 cm'ye ulaşan sülfid parçalar. (e) Kutlular ve (f) Kızılkaya yataklarında sülfid matrisi içerisinde boyutları ~2 cm'ye ulaşan sülfid parçalar (kpr-kalkopirit, pr-pirit, bo-bornit, sfl-sfalerit).



Şekil 8 - Kırıntılı cevher fasiyeslerine örnekler. (a) İnce daneli sülfid matriks (matriks>dane) içerisinde değişik dane boyutlarında sülfid parçalar-Çayeli yatağı. (b) Sülfid matriks içerisinde (dane>matriks) değişik dane boyutlarında sülfid parçalar-Akarşen yatağı (kpr-kalkopirit, pr-pirit).

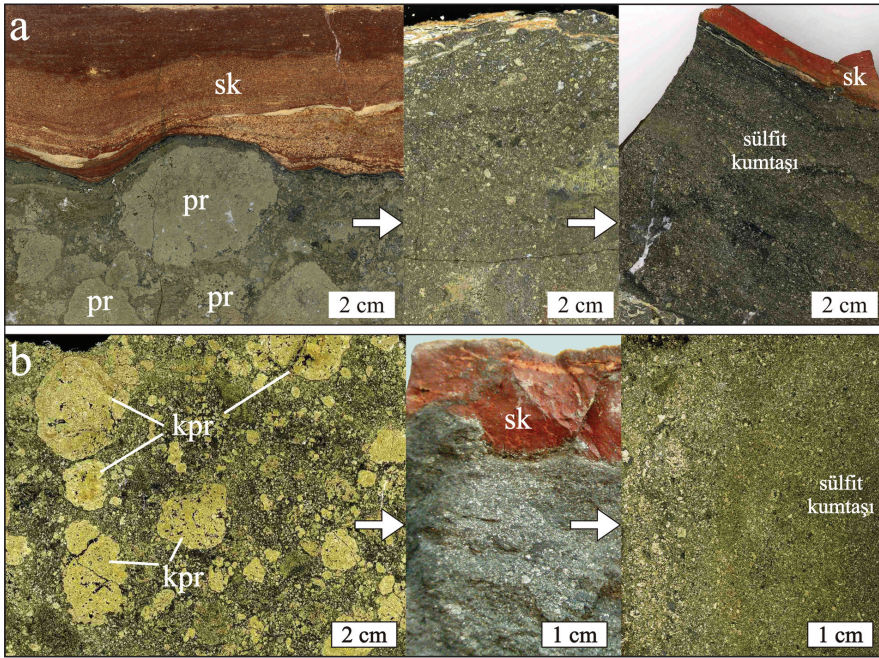
bileşenler baskın iken çıkış kanallarından uzaklara (?) doğru dane bileşenlerinin boyutları oldukça küçülmüştür. Taşınarak ufalanma neticesinde dane boyutlarındaki küçülme belli bir mesafede taşınma ve işlenmeden sonra kum boyutuna ulaşarak büyük ölçüde sülfid malzemeden oluşan bir çökelim (sülfid kumtaşı) gerçekleşir.

Lahanos maden yatağının değişik yerlerinden alınan bazı örneklerin yapı ve dokuları incelendiğinde başlangıçta (çıkış kanallarına yakın) boyutları 4 cm'ye ulaşan iri daneli sülfid (pirit) bileşenlerinin ayrışıp taşınması neticesinde öncelikle milimetre daha sonra mikrometre ölçeğinde ufalanarak çökelp sülfid kumtaşlarını oluşturduğu gözlenir. Aynı durum Kutlular maden yatağı için de söz konusudur. Başlangıçta boyutları 3 cm ye ulaşan iri taneli sülfid bileşenlerinin ayrışıp taşınması neticesinde daha uzak mesafelerde büyük oranda sülfitten oluşan bir malzemenin çökeldiği gözlenir (Şekil 9).

Masif sülfidlerdeki kırıntılı (breşik) cevherlerin oluşumunu inceleyen çok sayıda araştırma mevcuttur. Bugüne kadar ileri sürülen hipotezler; tektonik, tektonik-metasomatik, magmatik eksplosiv, hidro-eksplosiv ve erozyonel köken şeklindedir (Eldridge vd., 1983; Maslennikov, 1991). Güncel olarak oluşan masif sülfid gövdelerinin dağılıp parçalanmasına ilişkin gözlemlerden elde edilen veriler ışığında hidrotermal aktivite şiddetinin azalması esnasında ve hemen sonrasında breşik cevherin erozyonel oluşum hipotezi (Maslennikov, 1999; Herrington vd., 2005) ağırlık kazanmaktadır. Erozyonel oluşum hipotezine göre, kırıntı (klast) kökenli cevherler birkaç alt fasiyese ayrılabilir. Bu fasiyese türleri (1) elüvyal cevher (2) kolüvyal cevher (3) türbitidik yakınsak (proksimal) cevher ve (4) türbitidik iraksak (distal) cevher şeklindedir ve cevher gövdesinden uzaklık derecesine bağlı olarak değişim gösterirler. Cevher gövdesinin yakın kesimleri iri daneli, parçalı, breşik görünümlü cevher (elüvyal cevher, kolüvyal cevher) şeklindeyken, cevher gövdesinin uzak kesimleri çok daha küçük boyutlarda bileşenlerden oluşan cevher (türbitidik proksimal cevher ve türbitidik distal cevher) fasiyesleri şeklindedir. Urallar'daki Aleksandrinskoye yatağında (Tesalina vd., 1993) olduğu gibi bazen yatağın tamamı kırıntılı cevherden oluşabilmektedir. Deniz tabanındaki masif sülfid sistemini şekillendiren temel faktör deniz tabanı ile deniz suyu arasındaki etkileşim süreçleridir ve bu süreçler deniz tabanı alterasyonu (*halmyrolysis*) olarak tanımlanmıştır. Büyük ölçüde açık sistemlerde etkili olan bu süreçler sistemdeki bileşenlerin (sülfid gövdesi, sedimanlar) çözünüp-ayrışmasına yol açtığı gibi, aynı zamanda bileşenlerin işlenerek şekillenmesini de sağlar (Herrington vd., 2005). Deniz tabanında etkili olan bu süreçlerin sistemdeki bileşenler üzerindeki etki süresine (işlenme süresi) göre ortaya çıkan fasiyese türleri de farklı olacaktır.

Farklı bileşim, doku ve yapısal özellikteki parçaların birlikte gözlenmesi sülfid cevherleşmelerinin parçalı/breşik doğasına işaret eden verilerin başında gelir. Cevherin dokusal görünümünde ve kristal zonlanmasında ani sapmalar, cevher gövdesinden uzaklaştıkça dane boyutlarında küçülme ve sülfid tarafından ornatılmamış volkanik parçaların varlığı diğer önemli verilerdir (Maslennikov, 1999).

Eldridge vd. (1983), Kuroko tip cevher gövdelerinin deformasyonuna ve breşik görünümlü cevher oluşumuna yol açan faktörleri şu şekilde sıralamıştır: (1) Çökelim sırasında ve/veya hemen sonrasında cevher gövdesine dasitik dom sokulumları. Bu hipotez özellikle Hashiguchi (1983) tarafından Uwamuki (Japonya) yatağı için çeşitli deformasyonel



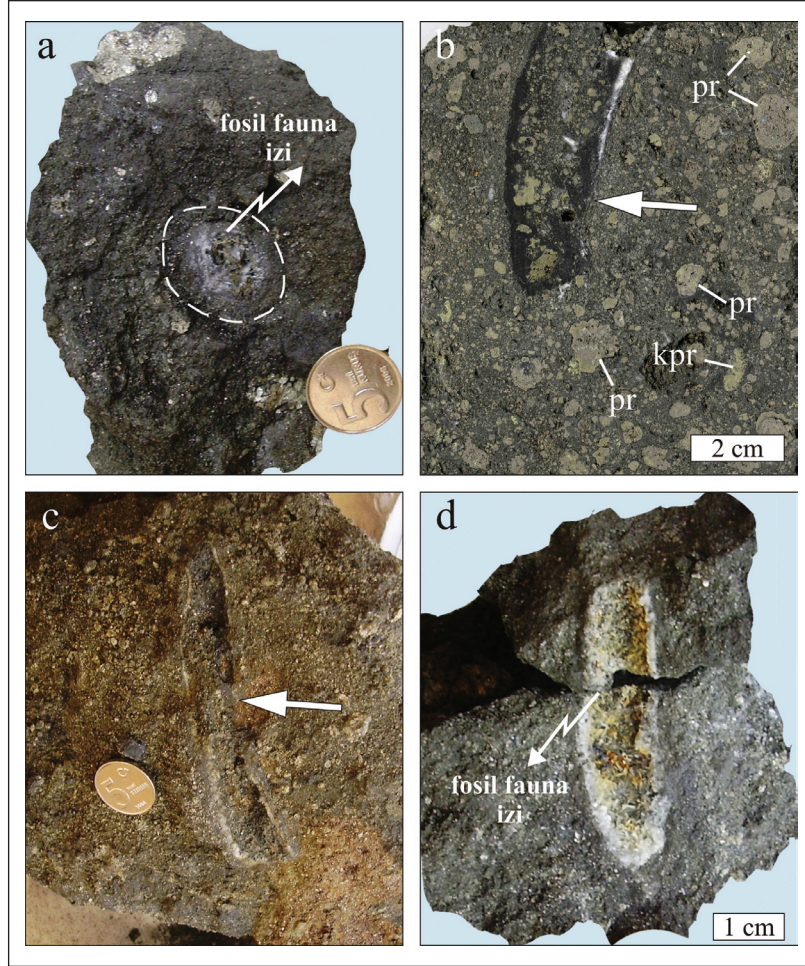
Şekil 9 - Doğu Karadeniz VMS yatakları kırıntılı cevher fasiyesleri (Revan, 2010). (a) Lahanos yatağında sülfid matriks içerisinde boyutları 5 cm'ye ulaşan sülfid danelerin belli bir mesafe boyunca taşınıp-ışlenmesi neticesinde dane boyutundaki değişim. (b) Kutlular yatağında sülfid matriks içerisinde boyutları 2 cm'ye ulaşan sülfid bileşenlerin dane boyutundaki değişim. (pr-pirit; kpr-kalkopirit; sk-silisli demirli karbonat).

özellikler ile klastik cevher dokularının oluşmasında asıl faktör olarak önerilmiştir, (2) Çamurlu veya tüflü taban kayaların masif cevher içine enjeksiyonu neticesinde ortaya çıkan yumuşak sediman deformasyon yapıları, (3) Cevher gövdesinin hidrolik olarak yükselmesi, (4) Cevher gövdesinin deniz tabanında düşey olarak gelişimi sırasında eğimli kesimlere doğru gerek kendi hacminin gravitesi, gerek sismik aktivite sonucu kayarak hareket etmesi, (5) Sülfid gövdesinin alt kesimlerindeki anhidritin hidrasyonu veya jipsin dehidrasyonu neticesinde meydana gelen hacimsel değişimlere bağlı periyodik yükselme ve çökmeler, (6) Cevher gövdesi içerisinde süregelen hidrotermal çözeltilerle yıkanma neticesinde malzemelerin aşınıp-dağılıp ortamdan uzaklaşmasıyla ortaya çıkan boşlukların yerine üsteki cevherin çökmesi ve (7) özellikle Clark (1971) tarafından önerilen şiddetli ve ani hidrotermal püskürmeler.

3.4. Biyolojik Fasiyes

Bu fasiyesin temsilcileri, sülfid cevherleşmelerini oluşturan hidrotermal çıkış kanallarına yakın kesimlerde simbiyotik yaşam sürmüş çeşitli fauna türlerinin fosilleşmiş kalıntılarıdır. Fosil faunaya ait izlerin tümü kırıntılı sülfid cevherleşmeleri içerisinde tanımlanmıştır (Revan vd., 2010). Bu

izler Lahanos, Killik ve Çayeli yataklarında oldukça iyi korunmuş durumdadır. Kızılkaya, Kutlular ve Kanköy yataklarında tanımlanan fosil bulgular ise oldukça nadir ve iyi korunmamış örneklerdir. Lahanos'ta gözlenen tüp solucan fosil izlerinin çapları ~2,5 cm ye, uzunlukları ise ~8 cm ye ulaşır ve genelde pirit ile sfaleritten oluşan klastik cevher içinde korunmuşlardır (Şekil 10a). Tüp şekilli fosil izlerinin içleri çeşitli minerallerce (pirit, kalkopirit, tetrahedrit, sfalerit, kovellin, dolomit, barit, serpiyerit, götit, jarosit, jips) doldurulmuştur. Bazı örneklerde tüp solucanların bir bütün olarak korunacak şekilde cevher mineralleri tarafından ornatıldığı (Şekil 10b) gözlenir. Bazı örnekler ise uzunluğu ~10 cm, çapı 2 cm'ye ulaşan fosil izine ait boşluklar şeklindedir (Şekil 10c). Killik yatağında tanımlanan cevherleşmiş fosil tüp solucan örnekleri sülfid matriksli breşik cevher içinde bulunur. Fosil izlerinin çapları 2 cm ye, uzunlukları ise ~7 cm ye ulaşır. Tüp şekilli fosil izlerinin içleri genelde sülfid mineralleri (pirit, sfalerit, kalkopirit ve galenit) tarafından doldurulurken az sayıda fosil izinin ise kenardan içeriye doğru opak ve gang mineralleri tarafından ornatıldığı gözlenmiştir. Aksiyal ve ekvatorial kesitlerden gözlenebildiği kadarıyla bu ornatmalar bazı örneklerde fosil izinin tamamını kapsarken bazı örneklerde ornatma sadece kenar kesimlerde belirgindir ve fosil izinin iç kesimi



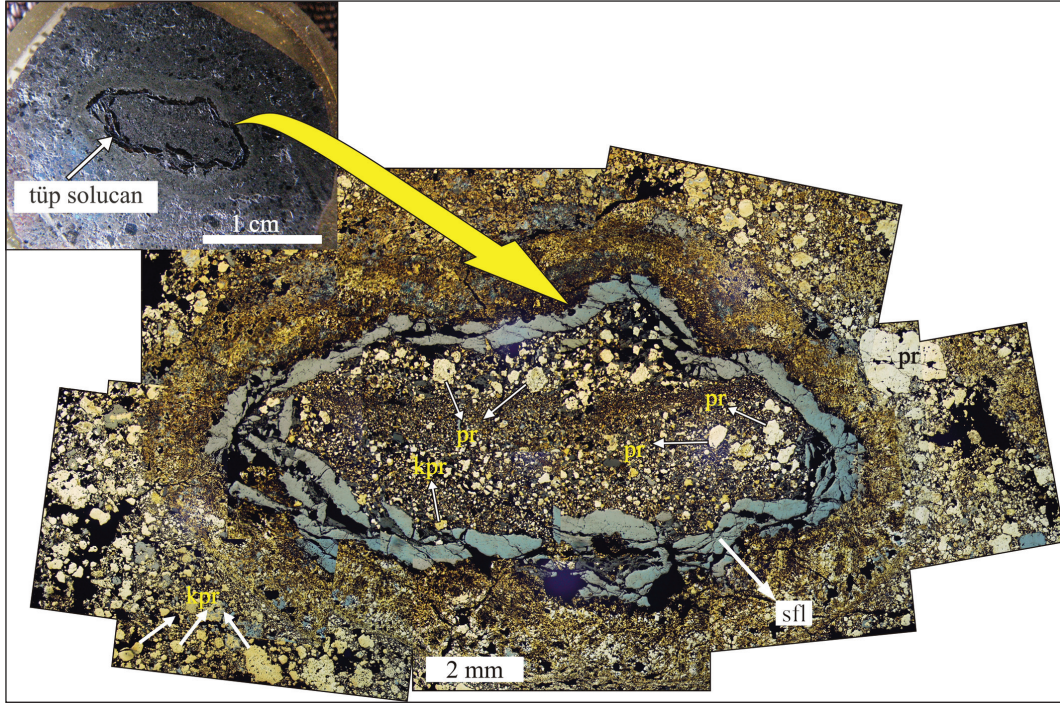
Şekil 10 - Doğu Karadeniz VMS yataklarında tanımlanan biyolojik fasiyeslere örnekler (Revan, 2010). (a) Lahanos yatağında tanımlanmış ve içi büyük ölçüde barit ile doldurulmuş tüp solucan izinin ekvatorial kesiti. (b) Killik yatağında kırıntılı sülfid cevher içerisinde tanımlanmış ve içi büyük ölçüde sülfidlerle doldurulmuş tüp solucan izinin aksiyal kesiti. (c) Lahanos yatağında sülfid cevher içerisinde fosil izine ait boşluk. (d) Lahanos yatağında içi çeşitli minerallerce (dolomit, barit, serpiyerit, götit, jarosit, jips) doldurulmuş tüp solucan fosil izlerinden bir tanesi (pr-pirit; kpr-kalkopirit).

boşluk şeklinde kalmıştır (Şekil 10c, d). Diğer bazı örneklerde, tüp solucan fosil izlerinin kenar kesimleri barit tarafından ornatılmışken iç kısımları genelde sülfid minerallerinden oluşan kırıntılar tarafından doldurulmuştur.

Çayeli yatağında tanımlanan fosil tüp solucan izlerinin uzunlukları 5 cm, çapları 2 cm ye ulaşır ve sülfid matriksli kırıntılı cevher içerisinde bulunur. Tanımlanan bir örnekte diğer yataklarda tanımlananların aksine kırıntılı piritik cevher içerisinde gözlenmiştir. Çayeli yatağında tanımlanmış bir fosil fauna örneğinin mikroskopik görüntüsü şekil 11'de verilmiştir. İyi korunmuş bu fosil fauna

dane boyları 1 mm ye ulaşan kırıntılı bir sülfid malzeme (sülfid kumtaşı) içindedir. En içteki sülfid (pirit, kalkopirit, sfalerit vd.) bileşenlerden oluşan kırıntılı zonda kaba bir derecelenme gözlenir. İç zonu saran parçalı/kırıklı bir sfalerit zonu ve sfalerit zonunu saran kalkopiritin hâkim olduğu bir dış zon bulunur.

Tüm fosil fauna örnekleri sülfid matriksli kırıntılı cevher gövdeleri içinde tanımlanmıştır. Tüp şekilli fosil izlerinin içleri genelde sülfid ve sülfat mineralleri ile ve daha az oranda dolomit, serpiyerit, götit ve jarosit gibi mineraller tarafından doldurulmuştur. Tanımlanan bazı örneklerde fosil izinin tüm morfolojisinin sülfidli çözeltilerce yerinin



Şekil 11 - Çayeli yatağı kırıntılı sülfid cevherleşmesi içerisinde tanımlanan fosil fauna (vestmentiferan tüp solucan?) kalıntısı. Kırıntılı sülfid bileşenler genelde pr (pirit), kpr (kalkopirit) ve sfl (sfalerit)'ten oluşur (Revan, 2010).

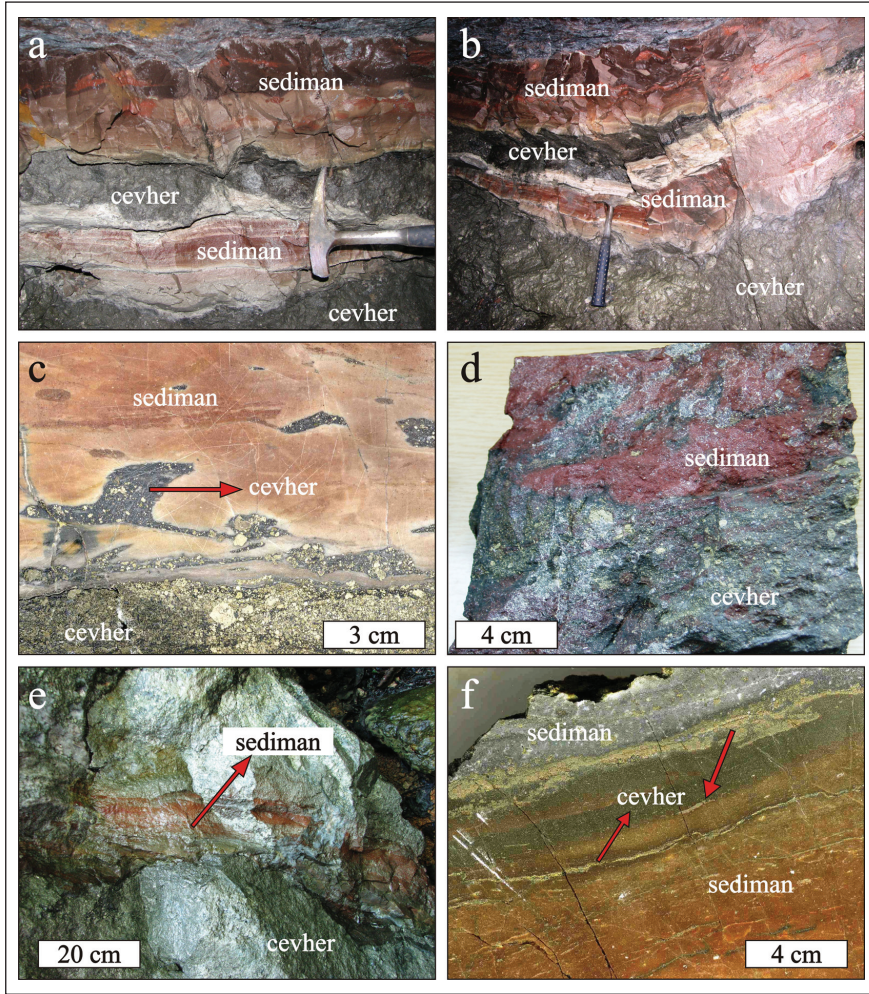
alınarak korunduğu, bazı örneklerde ise yoğun asidik yıkanma nedeniyle tüp solucan faunaya ait sadece boşluk izlerinin kaldığı gözlenir. Bu yataklardaki fosil topluluklarının bolluk ve iyi korunmuşluğu diğer VMS bölgelerindeki (Urallar, Kıbrıs, Umman) benzerleri ile karşılaştırıldığında oldukça iyi durumda olduğu söylenebilir.

3.5. Cevherli Sedimanter Fasiyesler

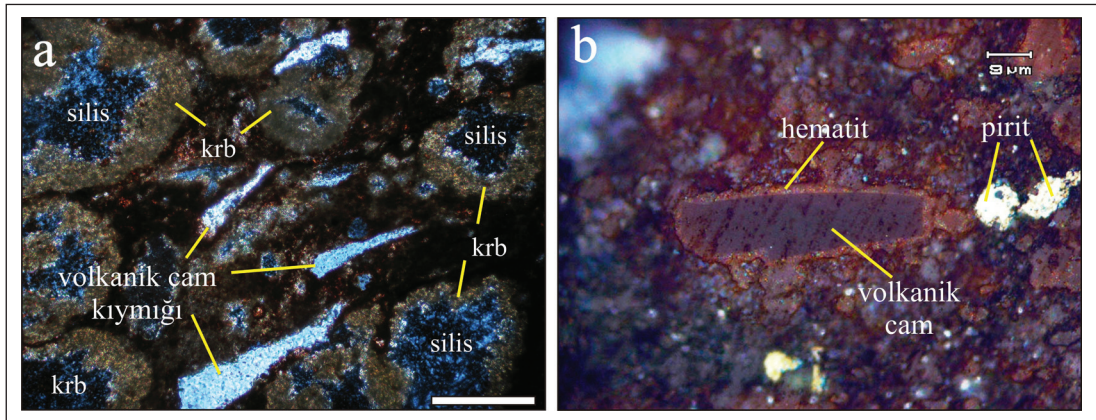
Doğu Karadeniz Bölgesinde tanımlanan cevherli sedimanter fasiyesler bol demir oksit içeriklerinden dolayı bordo-kırmızı renkleri ile tipiktirler. Tek tür cevherli sediman varlığı saptanmıştır. “Tabakalı” olan bu fasiyes yalnızca Lahanos, Kutlular, Çayeli ve Kanköy masif sülfid yataklarda tanımlanmıştır. Lahanos madeninde tanımlanan cevherli sediman seviye masif sülfid cevherin doğrudan üzerine gelir. Kırmızı rengi ile tipik bu seviyenin (Şekil 9a ve 12a, b) kalınlığı < 1 cm ile birkaç metre arasında değişir. İçlerinde yer yer tabanında bulunan cevher ile üzerleyen tavan kayalarından ait seviye ve parçalar (hyaloklastik malzeme) gözlenir. Oldukça sert ve silisli seviye yer yer incelmeye karşın kesiksiz bir şekilde tüm cevher gövdesini (~300 m uzanımı) üzerler. Çayeli madeninde tanımlanan cevherli sediman seviye yine kırmızı rengi ile tipiktir (Şekil 12c). Ortalama 550 m uzunluğundaki cevheri

kesikli olarak doğrudan üzerler. Kalınlığı kabaca 2 cm ile 2 m arasında değişir. Kanköy yatağında bu fasiyes kırmızı renklidir ve kalınlığı oldukça değişken olup 20 cm olduğu yerler belirlenmiştir (Şekil 12d). Kutlular yatağında tanımlanan cevherli sediman seviyesi kırmızı rengiyle tipiktir ve masif sülfid cevherin doğrudan üzerine gelir. Seviyenin devamlılığı ve kalınlığına ilişkin veri elde edilememiştir. Fakat en az 20 cm kalınlığa sahip olduğu yerler saptanmıştır. Kutlularda iki tür cevherli sediman seviyenin varlığından söz edilebilir: (1) masif sülfid cevheri doğrudan üzerleyen (proksimal) seviyeler (Şekil 12e) ve (2) sülfid cevherler ile aralanmalı (distal) seviyeler (Şekil 12f). Bahsi geçen yataklarda belirlenen bu cevher içerikli sediman seviyelerin kalınlık olarak ne kadarlık bir kesiminin gerçek bir kimyasal sediman (exhalite) olduğunun detaylı analizlerle belirlenmesi gerekir.

Lahanos yatağında masif cevherin üzerine doğrudan gelen silisli, cevherli sediman örneği karbonat, silis, demiroksit ve demirhidroksit minerallerinden oluşan bağlayıcı malzeme içerisinde cam kıymıkları (Şekil 13a), serizitleşmiş volkanik kayaç parçaları, kemirilmiş kuvarslar ve opak (pirit, kalkopirit) minerallerden (Şekil 13b) oluşur. Kuvarslar birincil ve ikincildir. Akma ve/veya foliasyonlu bir yapısı vardır. Kloritleşme,



Şekil 12 - Doğu Karadeniz VMS yataklarında cevherli sediman seviyeleri. Lahanos (a ve b), Çayeli (c) Kanköy (d) ve Kutlular (e ve f) madeninde masif cevheri üzerleyen demirli çört seviyeleri tipik kırmızı renkleri ile karakteristiktir. Kutlular madeninin ıraksak (distal) kesimlerinde bu fasiyes cevher ile sediman ardalanması şeklindedir (f).



Şekil 13 - Lahanos yatağında masif cevherin üzerine doğrudan gelen cevherli sediman seviyesinin mikroskobik tayini. (a) Karbonat (krb) ve silisli hamur içinde cam kıymıkları-çift nikol, ölçek çizgisi 40µm'dir. (b) Silis, karbonat ve kaolinit hamur içinde cevher mineralleri (pirit) ve volkanik cam parçalarının etrafını saran hematit.

karbonatlaşma ve hematitleşme yaygındır. Lahanos örneğinin X-ray analizlerinde azalan bolluk sırasına göre kaolinit, siderit, barit, kuvars, hematit, amorf malzeme, parlak kesit analizlerinde kalkopirit, pirit, limonit, fahlerz, rutil, sfalerit ve galenit mineralleri belirlenmiştir. Lahanos, Kutlular, Çayeli ve Kanköy yataklarında tanımlanan cevherli sediman seviyelerin ana oksit element içerikleri çizelge 1’de verilmiştir. Sedimanların silis ve demir içerikleri oldukça yüksektir. Analiz sonuçları deniz tabanı alterasyonunun şiddetinin fazla olduğuna işaret eder.

Volkanojenik masif sülfid yataklar demirce zengin seviyeler (sülfür ve oksit fasiyesler) ile kökensel bir birliklilik gösterirler (Kalogeropoulos ve Scott, 1983). Bu seviyeler masif sülfid yatakları içeren farklı bölgelerde değişik isimlerle tanımlanmıştır. Japonya’da tanımlandığı yerlerde “tetsusekiei (demirli kuvars)” olarak tanımlanırken diğer bölgelerde “demirli çört”, “çörtlü tüf”, “tüfit” ve “gossanit” gibi terimlerle isimlendirilmiştir. Genel olarak bu tür kayaçlar “eksalit” olarak (Ridler, 1971) bilinir ve tanımlanır. Bu tür fasiyesler cevher gövdesinin üst kesimlerinde ve yanal olarak yakın kesimlerinde bulunur ve masif sülfid yatakların aranmasında kılavuz seviye olarak düşünüldüğünden önem taşırlar. VMS yataklarını içeren yaşlı ve metamorfizma geçirmiş bölgelerde bu fasiyesler tanımlanmamıştır (Kalogeropoulos ve Scott, 1983; Kalogeropoulos, 1985) ve izlerini bulmak neredeyse imkansızdır. Bu nedenle her VMS bölgesine özgü fasiyesler değildir. Bu fasiyesler kaynak ve kökenlerine ilişkin halen belirsizliklerini sürdürürler. Tanımlanan fasiyeslerin hangisinin gerçek hidrotermal fasiyes olduğu hangisinin ayrışma ürünlerinin yeniden yığılıp depolanarak oluştuğunun ve hangisinin volkanik kayaçların bölgesel bir ayrışma ürünü olduğunun ayırımı yapmak oldukça güçtür (Allen vd., 2002). Birçok çalışmacı (Large, 1977; Edmond vd.,

1979; Kalogeropoulos ve Scott, 1983; Tsutsumi ve Ohmoto, 1983), bu fasiyeslerin ilintili oldukları VMS yataklarını oluşturan aynı hidrotermal sistemin bir ürünü olarak oluştuğunu belirtir.

Zaykov vd. (1993) bu tür sedimanlar için “gossanit” terimini önermiştir. Zaykov ve Maslennikov, gossanitleri, otokton ve allokton olmak üzere ikiye ayırır ve cevher yatağının hemen yanında çökelenleri otokton, uzağında çökelenleri ise allokton olarak kabul ederler (Maslennikov, 1999). Gossanitler, masif, breşik, paralel tabakalı, çapraz tabakalı ve ritmik tabakalı dokulara sahiptir. Dokular, genelde ufak ve ince daneli, bazen pseudo-oolitiktir. Jeokimyasal olarak, masif cevhere göre daha düşük Cu, Pb ve Zn içeriğine sahiptir. Güncel ve fosil hidrotermal sahalarındaki kırmızı renkli gossanitler değişken Fe₂O₃ (% 20-87) ve P₂O₅ (% 1-1,5) içerikleriyle tipiktirler ve önemli oranlarda demir içermeyen metal ve soy metal içerikleri ile karakterizedir (Telenkov ve Maslennikov, 1995). Maslennikov (1999), cevher içeren silisli-demirli sedimanların kökenine ilişkin (1) deniz tabanı ayrışması (halmyrolysis) ve (2) deniz-tabanı hidrotermal süreçleri olmak üzere başlıca iki hipotez öne sürmüştür. Bu hipotezleri birleştiren ortak bir hipotez ise Telenkov ve Maslennikov (1995) tarafından ileri sürülmüş ve cevher içeren sedimanların en az üç fasiyes veya jenetik türü içerdiğini belirtmişlerdir. Bunlar; (1) gossanit (2) amberit ve (3) jasperitlerdir.

Masif sülfid yataklarının tipik oluşumları (Franklin vd., 1981; Kalogeropoulos vd., 1983; Allen vd., 2002) olarak bilinen demirli çört seviyeleri (cevherli sedimanlar) bu özellikleri ile değerlendirildiğinde metamorfizmaya uğramamış veya kısmen rekrystalize olmuş bölgelerden biri olan Doğu Karadeniz Bölgesinde, bu fasiyese ait ilksel izlerin korunduğu gözlenir. Lahanos, Çayeli, Kutlular ve Kanköy

Çizelge 1- Doğu Karadeniz VMS yataklarında tanımlanan cevherli sedimanların ana oksit element içerikleri (değerler % cinsindedir). Analizleri yapılan örneklerin derlendiği cevherli sedimanların resimleri şekil 12’de verilmiştir.

Yer ve Örnek No	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O	A.Ka	Top.
Lahanos-1	0,07	2,76	13,51	39,9	0,47	0,14	1,76	0,53	0,10	21,9	16,3	97,4
Lahanos-2	<0,10	2,90	12,70	39,9	0,60	0,10	3,70	0,40	0,30	21,7	19,8	102,2
Çayeli-1	0,07	3,47	1,3	13,1	0,10	0,07	4,75	0,02	7,05	55,8	11,7	97,4
Kutlular-1	<0,01	0,18	0,22	48,2	<0,01	0,02	0,37	<0,01	0,01	14,7	12,2	75,9
Kutlular-2	0,01	0,52	1,94	43,3	0,41	0,05	0,50	0,04	0,04	34,9	5,5	87,2
Kanköy-1	0,20	2,50	4,70	13,9	0,80	<0,10	6,50	<0,10	0,10	40,3	12,5	81,5
Kanköy-2	0,20	2,20	3,80	10,9	0,70	<0,10	7,70	0,10	0,20	39,1	12,5	77,4

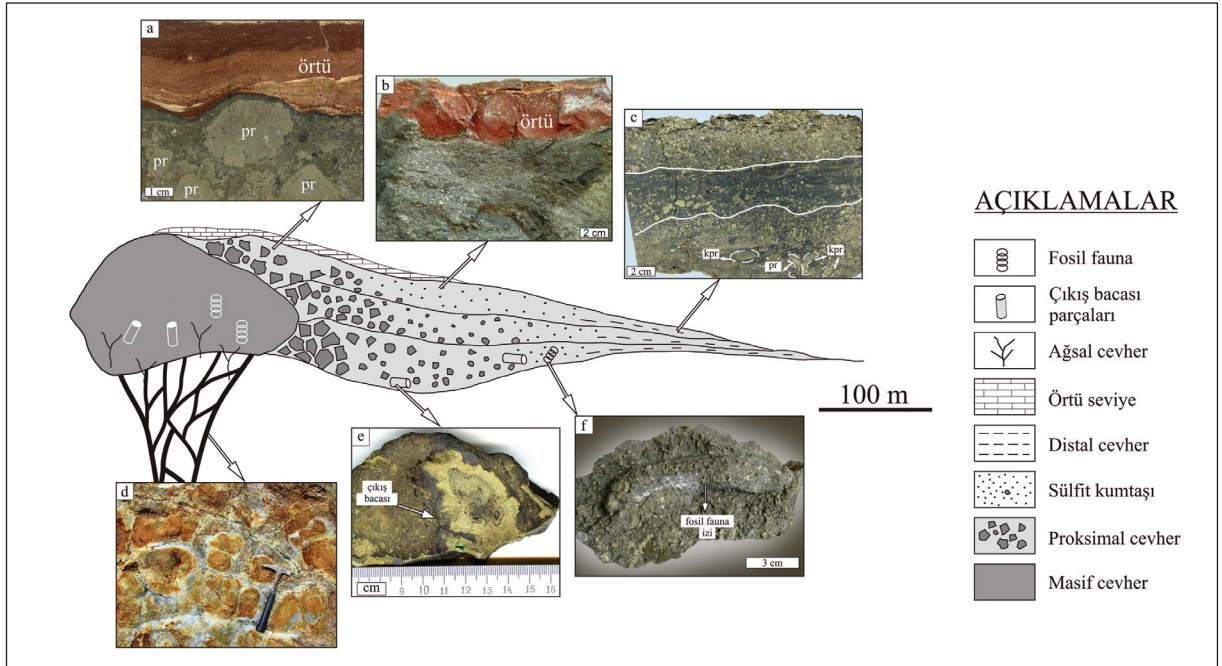
(Kısaltmalar; Top: toplam, A.Ka: ateşte kayıp)

yataklarında bu fasiyesin tipik özellikleri genel hatlarıyla ortaya konmuştur. Tanımlandığı yerlerde bordo-kırmızı renkleriyle tipiktirler ve oldukça silislidirler. Kalınlıkları birkaç santimetre ile birkaç metre arasında değişir. Uzanımları ise tam olarak ortaya konulmamış olsa da en az cevher gövdesinin kapladığı alan kadardır. Lahanos yatağında cevher gövdesinin üzerinde hemen her yerde gözlenir. Çayeli yatağında ise cevher gövdesinin üzerinde kesikli bir şekilde gözlenir. Diğer yataklarda yayılımları tam olarak belirlenmemiştir. İçerikleri ise başlıca silis, karbonat, kaolinit, montmorilliyonit ve demirhidroksit'ten oluşan bir hamur içinde volkanik kayaç parçaları, cam kıymıkları, hyaloklast parçalar, kuvars taneleri, barit, klorit ve bol miktarda cevher minerallerinden (pirit, kalkopirit, tennantit, sfalerit ve galenit) oluşur.

4. Tartışma ve Yorum

Doğu Karadeniz Bölgesi VMS cevherleşmelerinin yapısal ve dokusal özellikleri incelendiğinde yatakların deniz tabanının altındaki (subsea-floor) ve üzerindeki (sea-floor) ortamlarda sülfid minerallerinin yığılımları sonucu oluştuğu gözlenir (Şekil 14). Bu yığılım süreci yatakları oluşturan hidrotermal sistemin ilk evresinden son evresine kadar devam etmiştir. Hidrotermal-metasomatik fasiyesler ağsal-

saçınımlı zonlar ile temsil edilirler ve deniz tabanının altındaki sülfid yığılımı için önemli verilerin başında gelirler (Sangster, 1972; Franklin vd., 1981; Eldridge vd., 1983; Lydon, 1984a,b; Doyle ve Allen, 2003). Bu zonlar büyük ölçüde ağsal damarlar ve saçınımlar şeklindedir. Bu zonlardaki masif sülfid mercerler/damarlar ise dasitik/riyolitik yan kayaçlardaki daha geçirgen zonların ornatılmasıyla oluşmuştur (Galley ve Koski, 1999; Tornos, 2000; Doyle ve Allen, 2003). Damar ve mercerlerin yan kayaçlar ile uyumsuz ilişkisi, masif sülfid mercerlerin/damarların homojen iç yapısı ve dokusu ve içlerinde bulunduğu yan kayaçların şiddetli alterasyonu deniz tabanının altındaki oluşuma ilişkin en önemli kriterlerdir. Doğu Karadeniz Bölgesindeki yataklarda tanımlanan ağsal-saçınımlı zonların boyutları ve metal içerikleri oldukça farklıdır. Bazı yataklarda yatayda ve düşeyde iyi gelişmiş geniş zonlar (örn. Murgul) şeklinde iken, bazılarında ise dar zonlar (örn. Lahanos, Killik, Kanköy, Kutlular gibi) şeklindedir. Bazı yatakların (örn. Çayeli, Peronit) ağsal-saçınımlı zonları ise diğerlerine göre ortaç boyutlardadır. Söz konusu yataklarda bu zonlar ekonomik (rezerv ve tenör) olarak bir önem taşımadığından (Murgul hariç) boyutları çok iyi tanımlanmamıştır. Ağsal-saçınımlı zonların boyut ve metal içeriğini belirleyen faktörlerin başında yan kayaçların geçirgenliği ve sistemdeki magmatik ısıtıcıların sürekliliği gelir



Şekil 14 - Doğu Karadeniz bölgesinde tanımlanan cevher fasiyeslerinin bir yatak modelindeki varsayımsal konumları. (a) Sülfid breşi (proksimal cevher). (b) Sülfid kumtaşı (distal cevher). (c) Derecelenmeli cevher (distal cevher). (d) Ağsal cevher. (e) Hidrotermal çıkış bacası parçası. (f) Biyolojik fasiyese ait fosil fauna izi (kpr-kalkopirit; pr-pirit).

(Large, 1992; Barrie ve Hannington, 1999; Doyle ve Allen, 2003). Hidrotermal alterasyon mineralojisini etkileyen faktörler ise kayaçların bileşimi, sıcaklık, çözelti bileşimi ve tuzluluktur, fakat çözeltilerin pH'ı en önemli faktördür (Eldridge vd., 1983; Allen vd., 2002). Ağsal-saçımlı zonların deniz tabanından derinlere doğru uzanımı genelde 10 ile 200 metre arasında değişir, bazı yataklarda ise 500 metreye kadar ulaşır. Volkanik kütlelerin birkaç yüz metrelik en üst kesimleri iyi pekişmemiş olmaları, gözenekli doğaları ve bol su içerikleri nedeniyle ornatmalar için oldukça elverişli zonlardır. Daha derin kesimlere doğru ise yan kayaçların sıkılaştığı, az altere ve daha az su içerikli yapısı nedenleriyle geniş ölçüde bir ornatma ve infiltrasyona olanak vermezler (Doyle ve Allen, 2003).

VMS yataklarının bazılarında deniz tabanının hemen üzerinde (sea floor) gerçekleşen süreçlerin egemen olduğu ve bu süreçlerin neticesinde oluşmuş yatakların (Kızılkaya, Çayeli, Kutlular, Lahanos, Killik, Kanköy, Akarşen, Kuvarshan) varlığı dikkat çeker. Çeşitli kırık ve kanallar boyunca derinlerden yukarıya doğru ilerleyen hidrotermal çözeltiler yan kayaçların zayıf zonlarına sızarak ağsal-saçımlı ve damar/mercek türde cevher fasiyeslerini oluştururken (Eldridge vd., 1983; Doyle ve Allen, 2003), çözeltilerin bir kısmı çökelmeye fırsat bulamadan kanallar boyunca deniz tabanına taşınarak yayılırlar (Eldridge vd., 1983). Hidrotermal çıkış bacaları vasıtasıyla deniz suyu ve/veya salamura havuzu (brine pool) içine yayılan çözeltiler genelde çıkış kanallarına yakın kesimlerde yığılarak sülfid cevher gövdelerini oluşturur. Sülfid çıkış bacaları "deniz tabanı hidrotermal fasiyeslerin" ilk ürünleridir ve çözünüp-ayrışarak yığılmaları, deniz tabanında sülfid gövdenin oluşumuna katkı sağlar. Sülfid çıkış bacalarının parçaları aynı zamanda oluşan sülfid cevherin bileşenlerini oluşturur. Oldukça duraysız olan deniz tabanı ortamında yığılan sülfidler çözünüp-ayrışarak daha uzaklara taşınıp yeniden depolanırlar. Bazen bu taşınma mesafesi oldukça uzun olabilir. İnce daneli (10 µm) cevher bileşenleri ile iri daneli (20-30 cm) bileşenlerin iç içe olması bu çökelimin ve taşınmanın moloz akması şeklinde gerçekleştiğine işaret eder. Çıkış kanallarına yakın kesimlerde (proksimal) sülfid bileşenlerin dane boyları oldukça iri ve kaotik iken, daha uzak kesimlerde bileşenler ince danelidir ve bazen kum boyutundaki bileşenlerde derecelenme gözlenir. Bölgedeki masif sülfid yataklarında izlenen sedimanter yapılar (alev yapıları), kırıntılı dokular, dereceli tabakalanma, ardalımalı cevher tabakalanması gibi özellikler bu masif sülfid yataklarının deniz tabanında süregelen sedimanter ve erozyonel süreçlerle olan ilişkilerine işaret eden önemli verilerdir.

Deniz tabanı ortamına özgü şartlar altında şekillenen cevher gövdesinin ayrışması ve işlenmesi süreçleri (deniz tabanı alterasyonu) ile oluşan yığılmış cevher parçaları "kırıntılı cevher fasiyeslerini" temsil eder. Cevher gövdelerinin kırıntılı (breşik) doğası, çıkış bacaları ile fosil faunaya ait parçaların varlığı ve kırıntılar çevresinde gözlenen alterasyon kuşakları, deniz tabanında etkili olan süreçlere işaret eden verilerin başında gelir (Quadin ve Constantinou, 1984; Doyle ve Allen, 2003; Herrington vd., 2005). Cevher kırıntılarının etrafında deniz tabanı oksidasyonuna işaret eden alterasyon kuşakları gelişmiştir. Bu tür bir oksidasyon ve çökelim sonrası gelişen değişimler deniz tabanı alterasyonunun (halmyrolysis) birer sonucudur. Doğu Karadeniz VMS yataklarının olduğu paleo-deniz tabanı ortamında oksidasyon, ayrışma, hidrasyon ve ayrışmış malzemenin yeniden depolanması gibi olaylar deniz tabanı alterasyon (halmyrolitic) süreçlerinin (Maslennikov vd., 2012) oldukça etkili olduğunu gösterir.

Hidrotermal çıkış bacalarının tanımlandığı güncel masif sülfid yatakların >2500 m derinliklerde (Spiess vd., 1980; Quadin ve Constantinou, 1984) ve açılma zonlarında (Francheteau vd., 1979; Hekinian vd., 1980; Haymon, 1983; Goldfarb vd., 1983; Quadin ve Constantinou, 1984; Hannington vd., 2005) olduğu düşünülürken, yatakları oluşturan hidrotermal çıkış bacalarının olduğu derinliklerin de fazla olacağı söylenebilir. Aynı durum paleo-yataklar için de geçerlidir. Buradan yola çıkarak Doğu Karadeniz Bölgesinde hidrotermal çıkış bacalarının tanımlandığı VMS yataklarının oldukça derin ve açılmalı ortamda (extensional setting) oluşmuş oldukları söylenebilir.

Derin denizel ortamı destekleyen diğer bir veri yatakların içinde bulunduğu ekolojik ortamdır. Deniz tabanı ve deniz tabanının hemen altında oluşan bu yatakların içinde bulunduğu ekolojik ortamın özellikleri, güncel ve paleo-masif sülfid hidrotermal sahaların oluşum ortam ve şartlarına ışık tutar niteliktedir. Masif sülfid yataklarında tanımlanan faunalar (vestmentiferan tüp solucan?) çok özel ortam koşullarında yaşamlarını sürdürürler ve bu ortamda diğer birçok organizmanın yaşaması için elverişli olmayan hidrosülfirik (H₂S) yaşam koşulları egemendir. Lob'e (1990)'a göre, böyle bir hidrotermal ortamda yaşamlarını süren organizmalar o kadar özel bir yaşam koşullarına sahiptirler ki başka ortamlarda varlıklarını sürdürmeleri neredeyse imkânsızdır. Söz konusu bu ekolojik koşullar derin denizel ortama işaret eder. Güncel denizlerde oksijen içerikli üç seviyenin varlığı bilinmektedir; (1) oksijenin bol olduğu sığ denizel ortam, (2) orta derinlikli (100 ile 2000 m arasında, ortalama 800-1000 m) kıtaya yakın

kesimler ve (3) yaklaşan levha ortamlarında yüzeye yakın su içerikli tabakaların (oksijen içeriği bol olan bölümlerin) yitimi sonucu oluşan ve aktif oksijen tüketicilerinin olmadığı, derin deniz koşullarındaki oksijen içerikli zon (Maslennikov, 1999'dan Murdmaa, 1987). Özellikle üçüncü zon için önerilen oksijen kaynağı, derin denizel ortamdaki oksidasyon süreçleri için gerekli olan oksijenin varlığını açıklar niteliktedir.

Doğu Karadeniz Kuşağı'nda izlenen masif cevher gövdelerini doğrudan üzerleyen demirli sedimanların (demirli çört, jasper veya eksalit?) varlığı, deniz tabanı ortamında volkanizmanın duraksadığına işaret eden önemli verilerden bir tanesidir. Volkanizmanın etkin olduğu deniz tabanındaki hareketli süreçleri, sedimantasyonun süregeldiği sakin dönemler takip eder. Ancak, sedimanlarda gözlenen kıvrımlı/dalgalı yapı, kalınlıklarındaki ani değişim, yumuşak sediman deformasyonları ile kayma/göçme yapıları (Revan, 2010) bu duraksama döneminde çökelinin oldukça hareketli bir ortamda ve hızlı bir şekilde gerçekleştiğine işaret eder. Ortamdaki hareketliliğin nedenlerinden bir tanesi cevherleşmelerle ilintili felsik (dasitik/riyolitik) domların cevher oluşumu sırasında ve sonrasında yerleşimlerini aşamalı olarak sürdürmüş olmaları gerçeğidir (Hashiguchi, 1983). Deniz tabanında yığılan sülfid cevherleri ve/veya sedimanlar, yükselmeye devam eden felsik domların etkisiyle deformasyona uğramakta ve çözünüp-ayrışmasıyla da kırıntılı (breşik) bir yapı kazanmaktadırlar.

Masif sülfid yataklarına özgü cevher fasiyeslerinin detaylı incelenmesi, cevherleşmelerin oluştuğu fiziko-kimyasal ortam ve çökelim süreçlerin anlaşılmasına ilişkin önemli veriler sunar. Elde edilen veriler ise cevherleşmelerin küresel ölçekte diğer yataklarla karşılaştırılması için kullanılabilir. Doğu Karadeniz masif sülfid yatakları cevher yapı-doku (kırıntılı cevher) ve bileşenleri açısından (cevherleşmiş çıkış bacası parçaları ve fosil fauna) ilksel özelliklerini iyi korumuş yataklardır. Bölgenin metamorfizma geçirmemiş olması, ilksel yapı-dokuların korunmasında önemli bir faktördür. İyi korunmuş bu özellikleri ile Doğu Karadeniz Bölgesi VMS yataklarının cevher fasiyesleri, Urallar ve Japonya'daki (Kuroko tip) yataklar ile benzer özellikler taşımaktadır (Revan, 2010).

Geliş Tarihi: 20.06.2013

Kabul Tarihi: 05.09.2013

Yayınlanma Tarihi: Aralık 2013

Değinilen Belgeler

- Adamia, S.A., Zakariadze, C.S., Lordkipanidze, M.B. 1977. Evolution of the ancient active continental margin as illustrated by Alpine history of the Caucasus. *Geotectonica* 11/4, 20-309.
- Akın, H. 1979. Geologie Magmatismus und Lagerstaettenbildung im ostpontischen Gebirge-Türkei aus der Sicht der Plattentektonik. *Geologische Rundschau* 68, 253-283.
- Akıncı, Ö.T. 1984. The geology and the metallogeny of the Eastern Pontides (Turkey). *Dünya Jeoloji Kongresi Bildiri Özelleri Kitabı* 197-198.
- Allen, R.L., Weihed, P., the Global VMS Research Project Team, 2002. Global comparison of volcanic-associated massive sulphide districts. In: Blundel, D.J., Neubauer, F. and von Quadt, A. (eds.), The Timing and Location of Major Ore Deposits in an Evolving Orogen. *Geological Society, London, Special Publication, No: 204, 13-37.*
- Barrie, C.T., Hannington, M.D. 1999. Classification of volcanic-associated massive sulfide deposits based on host-rock composition. In: Barrie, C.T. and Hannington, M.D. (Eds), Volcanic-associated Massive Sulfide Deposits: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings. *Reviews in Economic Geology* 8, 1-10.
- Buslaev, F.P., Kalegorov, B.A. 1992. The age of sulfide ore formation according to the K/Ar method. In: Prokin, V.A., Seravkin, I.B., Buslaev, F.P. et. Al. (eds). Copper-sulfide deposits of the Urals: conditions of formations. Russian Academy of science, Ural Branch. Ekaterinburg, 186-199 (in Russian).
- Clark, L.A. 1971. Volcanogenic ores: Comparison of cupriferous pyrite deposits of Cyprus and Japanese Kuroko deposits. *Soc. Mining Geologists Japan, Spec. Issue 3, 206-215.*
- Çamur, M.Z., Güven, İ.H., Er, M. 1996. Geochemical characteristics of the eastern Pontide volcanics, Turkey: An example of multiple volcanic cycles in arc evolution. *Turkish Journal Earth Science* 5, 123-144.
- Doyle, M.G., Allen, L.A. 2003. Subsea-floor replacement in volcanic-hosted massive sulfide deposits. *Ore Geology Reviews* 23, 183-222.
- Edmond, J.M., Measures, C., Mangum, B., Grant, B., Sclater, F.R., Collier, R., Hudson, A. 1979. On the formation of metal-rich deposits at ridge crests. *Earth Planet. Sci. Letters*, 46, 19-30.
- Eğın, D., Hirst, D.M., Phillips, R. 1979. The petrology and geochemistry of volcanic rocks from the northern Harşit River Area, Pontid volcanic province, northeast Turkey. *J. Volcanol. Geothe. Res.* 6, 105-123.

- Eldridge, S.C., Barton, Jr. P.B., Ohmoto, H. 1983. Mineral textures and their bearing on formation of the Kuroko ore bodies. *Economic Geology Mon.* 5, 241-281.
- Francheteau, J., Needham, H.D., Choukrone, P., Juteau, T., Seguret, M., Ballard, R.D., Fox, P.J., Normark, W.R., Carranza, A., Cordoba, D., Guerro, J., Rangin, C., Bougault, H., Cambon, P., Hekinian, R. 1979. Massive deep-sea sulfide ore deposits discovered on the East Pacific Rise. *Nature*, 277, 523-528.
- Franklin, J.M., Lydon, J.W., Sangster, D.F. 1981. Volcanic-associated massive sulfide deposits. *Economic Geology, 75th Anniversary volume*, 485-627.
- Galley, A.G., Koski, R.A. 1999. Setting and characteristics of ophiolite-hosted volcanogenic massive sulfide deposits. In: Barrie, C.T., Hannington, M.D. (Ed.), Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings. *Reviews in Economic Geology*, 8, 221-246.
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S., Karataş, S. 1992. Petrology of the magmatic rocks in the area between Rize, Fındıklı and Çamlıhemşin (eastern Black Sea region) and their distribution in the eastern Pontides. *Geological Bulletin of Turkey* 35, 15-38. (in Turkish).
- Gedikoğlu, A. 1978. Harşit granit karmaşığı ve çevre kayaları (Doğankent-Giresun). Doçentlik Tezi, KTÜ, 176 s. (yayımlanmamış).
- Gemmell, J.B., Large, R.R. 1992. Stringer system and alteration zones underlying the Hellyer volcanic-hosted massive sulfide deposit, Tasmania, Australia. *Economic Geology* 87, 620-649.
- Goldfarb, M.S., Converse, D.R., Holland, H.D., Edmond, J.M. 1983. The genesis of hot spring deposits on the East Pacific Rise, 21 °N. *Economic Geology Monograph* 5, 184-97.
- Hannington, M.D., de Ronde, C.E.J., Petersen, S. 2005. Sea-floor tectonics and submarine hydrothermal systems. *Economic Geology, 100th Anniversary volume*, 111-141.
- Hashiguchi, H. 1983. Penecontemporaneous deformation of Kuroko ore at the Kosaka Mine, Akita, Japon. *Economic Geology Monograph* 5, 167-183.
- Haymon, R. M. 1983. Growth history of hydrothermal black smoker. *Nature*, 301, 695-698.
- Hekinian R., Fevrier M., Bischoff J.L., Picot, P., Shanks, W.C. 1980. Sulfide deposits from the East Pacific Rise near 21 °N. *Science*, 207, 1433-1444.
- Herrington, R.J., Maslennikov, V.V., Zaykov, V.V., Seravkin, I.B., Kosarev, A.S., Bushmann, B., Orgeval, J.-J., Holland, N., Tessalina, S.G., Nimis, P., Armstrong, R. 2005. Classification of VHMS deposits: Lessons from the Uralides. *Reviews in Economic Geology*, 203-237.
- Kalogeropoulos, S.I., Scott, S.D. 1983. Mineralogy and Geochemistry of tuffaceous exhalites (Tetsusekiei) of the Fukazawa Mine, Hokuroku District Japan. *Economic Geology Monograph* 5, 412-432.
- Kalogeropoulos, S.I. 1985. Discriminant analysis for evaluating the use of litho-geochemistry along the Tetsusekiei Horizon as an exploration tool in search for Kuroko type ore deposits. *Mineralium Deposita* 20, 135-142.
- Kazmin, V.G., Sborshikov, I.M., Ricou, L.E., Zonenshain, L.P., Boulin J., Knipper, A.L. 1986. Volcanic belts as markers of the Mesozoic-Cenozoic active margin of Eurasia. *Tectonophysics* 123, 123-152.
- Ketin, İ. 1966. Anadolunun Tektonik Birlikleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 66, 20-34.
- Kuroda, H. 1983. Geological characteristics and formation environment of the Furutobe and Matsuki Kuroko deposits, Akita Prefecture, northeast Japan. *Economic Geology Monograph* 5, 149-166.
- Large, R.R. 1977. Chemical evolution and zonation of massive sulfide deposits in volcanic terrains. *Economic Geology* 72, 549-572.
- Large, R.R. 1992. Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits: features, styles, and genetic models. *Economic Geology* 87, 471-510.
- Lob'e, L. 1990. Oases on the ocean floor. Moscow. *Hydrometeoizdat* 156 p. (in Russian).
- Lydon, J.W. 1984a. Volcanogenic massive sulphide deposits. Part 1. Descriptive model. *Geoscience Canada* 11, 195-202.
- Lydon, J.W. 1984b. Some observations on the morphology and ore texture of volcanogenic sulphide deposits of Cyprus. Current Research. Part A. Geological Survey of Canada, Paper 84-1A, 601-610.
- Manetti, P., Peccerillo, A., Poli, G., Corsini, F. 1983. Petrochemical constrains on the models of Cretaceous-Eocene tectonic evolution of the eastern Pontic Chain (Turkey). *Cretaceous Research* 4, 159-72.
- Maslennikov, V.V. 1991. Lithological control of copper massive sulfide ores (after the example of Sibay and Oktyabrskoye deposits, Ural). Sverdlovsk, UB of RAC USSR press, 139 p. (in Russian).
- Maslennikov, V.V. 1999. Sedimentogenesis, halmyrolysis, ecology of massive sulfide-bearing paleohydrothermal fields (on the Southern Ural example). Miass: Geotur, 348 p.
- Maslennikov, V.V., Zaykov, V.V., Monacke, T., Large, R.R., Danyushevsky, L.V., Maslennikova, S.P., Allen, R.L., Çağatay, N., Revan, M.K. 2009. Ore facies of volcanic massive sulfide deposits in Pontides. *2th international symposium on the geology of the Black Sea region, Turkey*. Abstract Book, p.123.
- Maslennikov, V.V., Ayupova, N.R., Herrington, R.J., Danyushevsky, L.V., Large, R.R. 2012. Ferruginous

- and manganiferous haloes around the massive sulphide deposits of the Urals. *Ore Geology Reviews*, 47, 5-41.
- Murdmay, I.O. 1987. Ocean facies. Moscow; Nauka, 304 p. (in Russian).
- Okay, A.İ., Şahintürk, Ö. 1997. Geology of the eastern Pontides. In: Robinson A.G. (Ed.) Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Regions. *American Association of Petroleum Geologist, Memoirs* 68, 291-311.
- Peccerillo, A., Taylor, S.R. 1975. Geochemistry of Upper Cretaceous volcanic rocks from the Pontic chain, Northern Turkey. *Bull. Volcan.* 39/4, 557-569.
- Qudin, E., Constantinou, G. 1984. Black smoker chimney fragments in Cyprus sulphide deposits. *Nature* 308, 349-353.
- Revan, M.K. 2010. Doğu Karadeniz Bölgesi volkanojenik masif sülfid yataklarının tip özelliklerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniv. Fen Bil. Enst. Jeo. Müh. ABD., Ankara, 320 s. Ankara (Yayımlanmamış).
- Revan, M.K., Genç, Y., Ünlü, T., Maslennikov, V.V., Karşlı, Ş. 2010. Preliminary findings of fossil traces from massive sulfide deposits (Lahanos, Killik, Çayeli) of eastern Black Sea Region. *63th geological congress of Turkey. Abstract book*, 120-121.
- Ridler, R.H. 1971. Analysis of Archean volcanic basin in the Canadian Shield using exhalite concept (abs.). *Canadian Inst. Mining Metal. Bull.* 64, No: 714, p. 20.
- Sangster, D.F. 1972. Precambrian volcanic-hosted massive sulphide deposits in Canada: a review. Geological Survey of Canada, Paper 72-22.
- Schultze-Westrum, H.H. 1961. Giresun civarındaki Aksu deresinin jeolojik profili; Kuzeydoğu Anadolu'da, Doğu Pontus cevher ve mineral bölgesinin jeolojisi ve maden yatakları ile ilgili mütalaalar. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 57, 63-71.
- Spiess, F.N., Rise Group 1980. East Pacific Rise: Hot springs and geophysical experiments. *Science* 207, 1421-1433.
- Telenkov, O.S., Maslennikov, V.V. 1995. Automatic Expert System for Typification of Siliceous-Ferruginous Rocks in Paleohydrothermal Fields of the southern Urals. Institute of Mineralogy, Urals Branch, Russian Academy of Science, Miass. 200 pp. (in Russian).
- Tesalina S.G., Maslennikov V.V. 1993. Complete clastation of some sulfide mounds on the bottom of the Urals paleocean. *L.P.Zonenshain memorial international conference on plate tectonics*, Moscow, p.143.
- Tornos, F. 2000. Styles of mineralization and mechanisms of ore deposition in massive sulfides of the Iberian Pyrite Belt. In: Gemmell, J.B., Pongratz, J. (Ed.), Volcanic environments and massive sulfide deposits, Abstracts. *CODES Special Publication*, v. 3, 211-213.
- Tsutsumi, M., Ohmoto, H. 1983. A preliminary oxygen isotope study of Tetsusekiei ores associated with the Kuroko deposits in the Hokuroko district, Japan. *Economic Geology Monograph* 5, 433-438.
- Tüysüz, N. 2000. Geology, Litho geochemistry and Genesis of the Murgul massive sulfide deposit, NE-Turkey. *Chemie der Erde* 60, 231-250.
- Yarosh, P.Y. 1973. Diagenesis and metamorphism of massive sulfide ores in the Urals VMS deposits. Moscow, "Nauka" publishing house, 239 p. (in Russian).
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş.C., Şengör, A.M.C. 1997. Geology and tectonic evolution of the Pontides. In: A.G. Robinson, A.G.(Ed), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Regions, *American Association Petroleum Geologist, Memoir* 68, 183-226.
- Zaykov, V.V., Maslennikov, V.V., Zaykova, E.V. 1993. Volcanism and Metalliferous Deposits of Devonian Island Arc System of southern Urals. Institute of Mineralogy, Urals Branch, Russian Academy of Science, Miass. 146 pp. (in Russian).