

VOLKANOJENİK MASİF SÜLFİD (VMS) BÖLGELERİNİN KÜRESEL ÖLÇEKTE KARŞILAŞTIRILMASI (IGCP-502)

M. Kemal REVAN*

ÖZ

Bu makale 2004-2010 yılları arasında Maden Etüt ve Arama Dairesi tarafından yürütülen “Volkanojenik Masif Sülfid (VMS) Bölgelerinin Küresel Ölçekte Karşılaştırılması (IGCP-502)” başlıklı projenin bulgularını içermektedir. Volkanojenik masif sülfid (VMS) yatakları, küresel ölçekli madencilik faaliyetlerinin yaygın bir şekilde gerçekleştirildiği en önemli yatak türlerinden biridir. Gözlemsel ve teorik jeolojik veriler, VMS kuşaklarında henüz keşfedilmemiş gömülü birçok masif sülfid yatağının olduğuna işaret eder. Gömülü olan bu yatakların keşfedilmesi için gelişmiş arama metodlarına ve daha fazla bilgi birikimine gereksinim vardır. VMS yataklarıyla ilgili önemli bilimsel verilerin üretilmesi, ancak VMS yataklarının/kuşaklarının karşılaştırılmasıyla mümkündür. Yerel ve bölgesel ölçekte oldukça yoğun çalışılmış bu yatakların köken, oluşum ortam ve koşullarını kontrol eden temel jeodinamik süreçler hakkında birçok bilinmeyen mevcuttur. Bunun nedeni, VMS yataklarının oluşumunu kontrol eden süreçlerin henüz iyi anlaşılammış olmasıdır. VMS yatakları, rastgele oluşmuş yataklar değildir. Belirli jeolojik seviyeler boyunca oluşan bu yatakların içinde bulunduğu stratigrafik istiflerin kompleks yapısı, bu seviyelerin tanımlanmasını ve yanall yönlü takip edilmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Özellikle, birçok bölgede kendine özgü metamorfizma ve deformasyon etkileri nedeniyle mevcut yatakların birincil özelliklerinin tanımlanması neredeyse olanaksızdır. Her ne kadar VMS yataklarının içinde buldukları litolojik seviyelerin tanımlanması son derece önemliyse de, bu seviyelerin ta-

nımlanmasında kapsamlı bir kriter henüz belirlenmemiştir. Jeolojik ve jeokimyasal kriterler kullanılarak bu seviyelerin bölgesel ve yerel ölçekte belirlenmesi önem taşır. Belirsizliklere cevap bulabilmek için yürütülen ana strateji, küresel ölçekte önemli VMS bölgelerinin jeolojik olarak karşılaştırılması olmuştur. Ancak, küresel ölçekte bilinen 37 masif sülfid kuşağının kendine özgü jeolojik özellikleri (jeodinamik, mineralojik, stratigrafik ve cevher fasiyesi gibi) olduğu düşünüldüğünde, bu bölgelerin karşılaştırmasında önemli güçlüklerin bulunduğu söylenebilir. Bu küresel karşılaştırma sonucunda, benzer ve/veya farklı özellikler belirlenerek aramalarda yönlendirici olabilecek kriterler geliştirilebilir. Diğer önemli bir strateji ise, küresel araştırmacıların bilgi ve deneyimlerinden faydalanılarak problemlerin çözümünde yeni teknolojik yöntemlerin belirlenmesidir. Bu bilgi aktarımları mevcut yatakların gelişiminde ve olası yeni yatakların keşfinde kullanılabilir. Günümüz maden şirketleri de küresel bir perspektif ile maden kaynaklarının araştırılmasında bilimsel yaklaşım sunarlar ve bu tür projelerin uygulanmasına ve desteklenmesine katkı verirler. Sonuç olarak, bu çalışma, VMS yataklarının kökensel olarak anlaşılmasını ve küresel ölçekte uygulanabilir ve daha iyi bir modelleme kurgulanmasını amaçlamaktadır.

GİRİŞ

Söz konusu VMS yatakları için, “volcanogenic”, “volcanic-associated”, “volcanic-hosted”, “volcanophile” masif sülfid yatakları terimleri kullanılmıştır. Bu terimlerin hepsi de aynı kökene işaret eder. “Volkanojenik masif sülfid” terimi daha çok kullanılır, çünkü bu tür yatakların kendisi volkanik bir sürecin bütünleyici bir parçasıdır (Franklin vd., 1981). VMS yatakları, ekonomik ve bilimsel açıdan önemli bir yere sahiptir. Bir sınıf olarak değerlendirildiğinde VMS yatakları Zn, Cu, Pb, Ag ve Au gibi metallerinin yanısıra, Co, Sn, Ba, S, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Ga ve Ge gibi metallerin de yan ürün

* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.

olarak elde edildiği önemli bir sınıftır. Bilimsel açıdan bakıldığında, bu yatakların kökenleri ve özellikleriyle ilgili problemler birçok yer bilimcinin ilgisini çekmiş ve son elli yıl içerisinde VMS yatakları ile ilgili 5 binden fazla makale yayınlanmıştır (Barrie ve Hannington, 1999).

VMS yatakları, geniş bir jeolojik dönem içerisinde, deniz tabanında veya hemen altında, hidrotermal çözeltilerdeki sülfid minerallerinin genelde stratiform yığılması şeklinde oluşmuştur (Barrie ve Hannington, 1999). Bu yataklar volkano-sedimanter bir istif içerisinde oluşurlar ve genellikle içerisinde buldukları volkanik kayalar ile eş yaşlıdır. Yalnızca volkanik kayalardan oluşan bir istif içerisinde değil, baskın bir volkanik rejim içerisindeki sedimanter kayalar içerisinde de oluşabilirler.

VMS yataklarını tanımlamak ve sınıflamak oldukça zordur. Arkeen döneminden günümüze kadar her jeolojik dönemde oluşmuş olduklarından bu yatakları belirli bir jeolojik dönemle sınırlandırmak oldukça güçtür. VMS yatakları özel bir "levha tektonik ortamına" sahiptir ve birçoğu metamorfizma ve deformasyona maruz kalmıştır. Yan kayaç alterasyon sistematigi de oldukça karmaşıktır. Bu durum, yatakların kökenlerinin anlaşılmasında güçlükler yol açmaktadır. VMS yataklarının sınıflandırılması için oluşturulan modellerin birçoğu, yatakların kendi özelliklerinden çok, yan kayaç litolojisi ve bulunmuş oldukları jeotektonik ortamlara göre yapılmıştır. Sangster ve Scott (1976), bu yatakları ortamına göre üç türe ayırmıştır: (1) volkaniklerin egemen olduğu, (2) sedimanların egemen olduğu ve (3) volkanik ve sedimanların karışmış olduğu yataklar. Hutchinson (1973), VMS yataklarını bileşimsel özelliklerine göre 3'e ayırmıştır: (1) Zn-Cu tip yataklar: genelde Arkeen yaşlı volkanikler içerisinde bulunur; (2) Pb-Zn-Cu-Ag tip yataklar: volkanik ve sedimanter kayaların karışmış olduğu ortamlarda ve genelde Proterozoyik ve Fanerozoik dönemlerinde gözlenir; (3) Bakırlı pirit yatakları: mafik ve ultramafik volkanik kayalarda ve

genelde Fanerozoik döneminde bulunur. Hutchinson (1973), yalnızca bileşime göre değil, ikincil sınıflama kriteri olarak ortamları da kullanmıştır. Sawkins (1976), bileşimsel özelliklerin yanısıra, tektonik ortamları da kullanarak sınıflama yolunu seçmiş ve buna göre, Kuroko-tip, Kıbrıs-tip, Besshi-tip ve Sullivan-tip yataklar şeklinde bir sınıflama önermiştir. Solomon (1976), bileşimsel bir yaklaşım sunmuştur ve bunları; (1) Zn, Pb, Cu (2) Zn, Cu ve (3) Cu tip yataklar olarak sınıflandırmayı önermiştir. Klau ve Large (1980), çevre kayalarının bileşimine göre bir sınıflandırma önermiş ve bunları: (1) mafik volkanik (2) felsik volkanik ve (3) sedimanter tip şeklinde ayırmıştır. Barrie ve Hannington (1999), çok geniş kapsamlı verilerden yola çıkarak VMS yataklarını sınıflandırmıştır. Sınıflandırmada küresel ölçekte 878 yatak göz önüne alınmış olup çevre kayaç bileşimine göre ayırım yapılmıştır. Buna göre çalışmacılar VMS yataklarını; (1) mafik (2) bimodal-mafik (3) mafik-silisiklastik (4) bimodal-felsik ve (5) bimodal-silisiklastik tip olarak sınıflandırmayı önermişlerdir.

Sınıflandırmaya ilişkin modellemelere bakıldığında iki temel yaklaşım ortaya çıkmaktadır. Bunlar: (1) yan kayaç litolojisine göre ve (2) cevher bileşimine göre yapılan sınıflandırmadır. Her sınıflandırma metodunun kendine özgü avantajları vardır. Jeolojik ortama göre yapılan bir sınıflandırmada, her yatağın belirgin stratigrafik özellikleri jeolojik haritaya işlenebildiğinden, saha çalışmalarında faydalı bir sistemdir. Bileşime göre yapılan bir sınıflama ise, cevherli çözeltilerin bileşimini yansıtması ve yatağın kökenine ilişkin veriler sunması açısından önemlidir (Solomon, 1976).

Barrie ve Hannington (1999), VMS yataklarının oluşum ortamları için geniş bir tektonik ortam dizisi önerilmişlerdir. Bunlar: (1) okyanus içi sırtları, (2) kalınlaşmış okyanusal kabuk (Galapagos bölgesi), (3) sedimantasyonun gözlemlendiği okyanusal sırtlar ile kıtasal kenar riftleri (Middle Valley ve Escanaba hendeği;

Guaymas havzası), (4) riftleşmiş yay ortamları (Nascent arcs), (5) primitif volkanik yaylar (Arkeen ve Erken Proterozoyik yataklarının bir çoğu) ve olgunlaşmış volkanik yaylar (Hokuroku bölgesi), ve (6) kıtasal yaylar (İber Pirit Kuşağı) olarak sıralanmıştır.

Yatak sayısı açısından VMS yatakları için en verimli dönemler, Geç Arkeen (2750-2700 my), Erken Proterozoyik (1900-1800 my) ve Geç Fanerozoik (iki farklı dönem: 390-250 my ile 30-0 my) dönemleridir. Bimodal mafik türler, Geç Arkeen ve Erken Proterozoyik dönemde yaygın iken, bimodal-felsik ve bimodal silisiklastik türler Fanerozoik dönemde daha yaygındır. Sonuç olarak, VMS yatakları, yerkürenin oluşum evresi boyunca oluşmuş birçok tektonik ortamı temsil ederler (Barrie ve Hannington, 1999).

VMS yataklarında gözlenen alterasyonun tek yönlü (unilateral) simetrisinden dolayı kendine özgü yataklardır. Metal içerikli sıcak çözeltiler, denizel ortamdaki volkanik kayaçların içerisindeki kanallar vasıtasıyla yukarıya doğru hareketlenerek denizel sular ile temasta buldukları yerlerde bu yatakların oluşumuna yol açarlar. Deniz sularıyla temas, sıcaklık, basınç ve çözelti bileşiminde değişimlere yol açar ve bunun sonucunda çıkış kanallarına yakın, hatta bazen bu kanalların zirvesinde metallerin çökelimine yol açar. Bu çökelim ile birlikte gözlenen alterasyon ise taban kayacı ile sınırlıdır. Ancak bazı durumlarda, sıcak çözeltiler, cevherleşme sonrası oluşan kayaçlar içerisinde sızacak şekilde hareket edebilirler. Genelde dairesel veya yarı-dairesel olan alterasyon modeli, ortak eksenli konsantrik zonlar şeklindedir. Sirkülasyon halindeki sıcak çözeltiler, okyanusal kabuğun derin kesimlerine kadar sızabildiğinden, Mg^{+2} miktarının K^+ veya Na^+ 'dan daha fazla olması olağandır. Bu durumda magnezyum metasomatizması karakteristiktir ve yaygın kloritleşme mevcuttur. Kayaç bileşimi, sıcaklık, çözelti bileşimi ve tuzluluk gibi faktörler, hidrotermal alterasyon mineralojisini etki-

ler. Ancak, çözeltinin pH'ı en önemli etkiye sahiptir (Allen vd., 2002).

VMS yataklarının boyutunu belirleyen en önemli faktörlerin başında, yatakların içinde buldukları çevre kayaçların geçirgenliği ve magmatik ısı kaynağının sürekliliği gelir. Çevre kayaçların içerisinde önemli ölçüde silisiklastik bileşenlerin varlığı, büyük VMS yataklarının oluşumunu sağlar. En büyük yataklar, mafik-silisiklastik veya bimodal-silisiklastik litolojiler içerisinde oluşmuştur. Türbiditler, volkanik kayaçlardan daha az geçirgendir ve faylanmanın az olduğu durumlarda türbiditlerce zengin bir ortam, hidrotermal bir sistemi etkili bir biçimde yalıtır, izole eder ve hızlı soğumasını engeller. Bu durum, uzun ömürlü bir hidrotermal sisteme ve etkili bir metal çökelimine yol açar (Goodfellow ve Zierenberg, 1999). Yersel ölçekte, büyük yataklar, poroz ve kısmen geçirgen epiklastik veya otoklastik breşleri tercih eder. Epiklastik kayaçlar, Abitibi provensindeki Horne ve Kidd Creek gibi oldukça yüksek metal içeren yataklar için uygun ortamları oluşturur. VMS bölgelerinin birçoğu, çok sayıda küçük-orta ölçekte yataklar içermesine karşın, yalnızca bir veya iki büyük yatak içerir (örn, Abitibi bölgesinde bulunan yaklaşık 85 yatak 1-2 milyon ton olmasına karşılık Kidd Creek ve Horne yatakları 100 milyon ton rezerve sahiptir. Skellefte bölgesinde 80'den fazla yatağın 52 tanesi 1 milyon ton'luk yataklar olup, yalnızca Kristineberg ve Rakkejaure yatakları 20 milyon tondan fazladır). En büyük yataklar her zaman en zengin yataklar değildir. Sinvolkanik intrüzyonlar, yatakların oluşumu için olası ısı kaynaklarıdır ve çevre kayaçlarda cevherli hidrotermal çözeltilerin konveksiyonunu sağlarlar (Campbell vd., 1981). Bunlar, hidrotermal sisteme metal de sağlayabilirler (Large vd., 1996). Bu tür intrüzyonlar her zaman olmayabilir (VMS yataklarının 1/3'ünde yoktur). Bu durumda hidrotermal konveksiyon için gerekli olan ısı kaynağı, daha derinlerde, kabukta aranmalıdır. Büyük, sıcak ve uzun ömürlü magmatik ısı kaynağı, daha büyük bir yatağın oluşumuna yol açar (Barrie ve Hannington, 1999).

VMS yataklarına ilişkin genelleştirilmiş bazı sonuçların (Allen vd., 2002) özeti aşağıda sunulmuştur.

1. VMS yataklarının bulunduğu bölgelerin tümü, graben çöküntü alanlarının oluşumuna, derin denizel ortam şartlarına ve manto kökenli mafik magmanın kabuğa sokulumuna yol açan büyük kabuksal açılmalar ile ilişkilidir.
2. VMS bölgelerinin neredeyse tümünde, önemli oranlarda felsik volkanik kayalar gözlenir.
3. VMS yataklarının oluşumu için geçen süre, birkaç milyon yıldan daha azdır.
4. VMS bölgelerinin tümünde, maden yatağını içinde bulunduran stratigrafik istif rastgele bir felsik ve mafik volkanik kayalar dağılımı içerir.
5. Asıl VMS yatakları, riftleşmeyle eş zamanlı felsik volkanik birimlerin zirvesine yakın kesimlerde yığılım gösterir.
6. VMS yataklarının büyük çoğunluğu, yakınsak (çıkışlara yakın) riyolitik fasiyelerle ilintilidir.
7. Maden yatağının mineralojisi, büyük ölçüde taban kayalarının kimyasıyla belirlenir.
8. Eksalitler, bazı bölgelerde cevherli seviyelerin yerini belirlemede kullanılır.
9. VMS yataklarının oluştuğu bölgeler "bindirmeli bir kıvrımlanmaya" maruz kalmışlardır, bunun nedeni levha kenarlarına yakın havzalarda oluşmalarıdır. Bu bölgeler, havza kapanma süreçleri sırasında deforme olmuştur.

VOLKANOJENİK MASİF SÜLFİT BÖLGELERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Proje kapsamında çalışılan bölgeler 2 grup altında incelenmiştir. Gruplama yapılırken dikkat edilen hususların başında, ilgili VMS bölge-

lerindeki madencilik faaliyetleri ve bu faaliyetlere ilişkin bilimsel verilerin varlığı gelmektedir. Skellefte, Bergslagen, İber Pirit Kuşağı, Bathurst, Abitibi, Green Tuff Kuşağı, Güney Uralar ve Mount Read bölgeleri, madencilik faaliyetlerinin ve bilimsel verilerin fazla olduğu önemli VMS bölgeleri kapsamında değerlendirilmiştir. Pontid Kuşağı, Peru Sahili, Orta-Batı Grönland, Damara Orojeni, Karayip Bölgesi ve Orta Meksika gibi bölgeler ise madencilik faaliyetlerinin ve bilimsel verilerin az olduğu önemli VMS bölgeleri kapsamında değerlendirilmiştir.

1. Skellefte, Kuzey İsveç

Skellefte bölgesi, 120x30 km boyutlarında, Erken Proterozoyik (1.90-1.88 milyar yıl) yaşlı magmatik bir bölge olup 80'in üzerinde masif sülfür yatağı içerir (Weiher vd., 1992). Skellefte bölgesi, Avrupa ve İsveç'te en önemli maden bölgelerinden biridir. Bölge, genelde kıtasal kökenli felsik volkaniklerin bulunduğu kuzey kesim ile büyük oranda derin denizel sedimanlar, mafik volkanik kayalar ile bunlara sokulum yapan granitoidlerin bulunduğu güney kesimleri arasında yer alır. Denizel sedimanter istifler, bölgedeki volkanik kayalarından daha genç ve daha yaşlı kaya birimlerinden oluşur. Skellefte bölgesi, kalk-alkalen bazalt-andezit-dasit-riyolit, toleyitik bazalt-andezit-dasit, yüksek Mg içerikli bazalt ve daha az oranlarda sedimanter kayaların bulunduğu kalın (>7 km) bir istiftten oluşur. Bu istif, sinvolkanik ve post-volkanik granitoidler tarafından kesilir (Vivallo ve Claesson, 1987; Allen vd., 1996). Kayalar genelde deforme ve dik dalımlı olup yeşil-şist fasiyesinden amfibolit fasiyesine değişen oranlarda metamorfizma geçirmiştir. İzotopik veriler, magmaların başlıca manto kökenli olduğuna işaret eder (Billström ve Weiher, 1996). Stratigrafi oldukça karmaşık olup, yanal yönde değişkendir. Kılavuz seviyeler nadirdir. Altta denizel volkanik kompleks (>3 km) riyolit, dasit-andezit ve bazalt-andezit-dasit volkanlarından oluşur (Allen vd., 1996). Ancak, volkanik

kayaçların yaklaşık %50'sini riyoitler oluşturur. Denizel lavlar, intrüzif kayaçlar, otoklastik ve piroklastik fasiyeler yaygındır. Derin denizel çökellerin alt volkanik komplekslerde yaygın olması, volkanizmanın eşlik ettiği güçlü bir açılma ve çöküntünün varlığına işaret eder. Alt kesimlerdeki volkanitleri üzerleyen sedimanter ve volkanik kayaçların karışmış olduğu istif yükselmeye, aşınmaya ve yeni bir riftleşmeye işaret eder ve Skellefte bölgesinin hemen kuzeyinde bulunan çok büyük miktarlarda kıtasal felsik magmatizmanın (1877 milyon yıl) yakın-ortaç fasiyelerini içerir. Stratigrafik yapı, volkanik kayaçların bileşimi ve riyoitlerin bolluğu, Skellefte bölgesinin kıtasal kabukta gelişmiş bir yay-ıçi bölgenin kalıntısı olduğuna işaret eder.

Bölgedeki VMS yataklarının birçoğu yersel volkanik dönemlerin, özellikle riyoitik dom-tüf volkanlarının üst kesimlerindeki fasiyelerde oluşmuştur. Bölgesel olarak bu VMS yatakları en az iki stratigrafik seviyeden oluşmuş olmakla birlikte, yatakların büyük bir kısmı volkanik kompleksin üst kesimlerine yakın oluşmuştur. VMS yatakları bileşim, geometri ve alterasyon tipleri açısından oldukça geniş bir dağılım sunarlar. Asıl bileşim tipleri Au-As-Cu-Zn, piritik Zn-Pb-Cu-Au-Ag ve piritik Zn-Cu-Au-Ag yataklarıdır. Yatakların birkaçı Au açısından zengindir. Yataklarda kuvars-serizit, klorit (flogopit-kordiyerit), andaluzit-muskovit ve karbonat alterasyonları gözlenir.

2. Bergslagen, Orta İsveç

Bergslagen bölgesi, orta ve yüksek metamorfizma derecesine sahip Erken Proterozoyik (1.90-1.87 milyar yıl) yaşlı, 280 x 300 km lik bir felsik magmatik bölgenin oldukça yoğun cevherli kesimini oluşturur. Volkanik istif doğuda 1,5 km kalınlıkta olup türbiditik metasedimanter kayaçları üzerler. Batıda ise 7 km kalınlığa ulaşır (Lundström, 1987). Volkanik istif büyük oranda (%90) kalk-alkalen riyoit olup daha az oranda kalk-alkalen dasit ile andezit eşlik eder.

Stratigrafik olarak istif dizisi şu şekildedir: (1) altta 1-5 km kalınlıkta, kötü tabakalanmalı felsik bir kompleks bulunur. Felsik kompleks büyük oranda kaldera volkanlarının yakın/ortaç fasiyelerini içerir; (2) orta kesimde, 0,5-2,5 km kalınlıkta, iyi tabakalanmalı volkano-klastik fasiyeler ile kireçtaşlarından oluşan seviye yer alır; (3) üst kesimlerde >3 km kalınlıkta post-volkanik arjilit-türbidit istif bulunur. Bölge, kıta-ıçi veya kıta kenarı yay-gerisi açılma ortamında oluşmuştur (Baker vd., 1988). Bergslagen farklı türlerde maden yatakları içerir. Bunlar içinde bantlı demir formasyonları, manyetit-skarn, manganlı skarn ve kireçtaşı içinde demir cevheri, apatit-manyetit demir cevheri, stratiform ve strata-bound Zn-Pb-Ag-(Cu-Au) sülfid yatakları ile W-skarnlar bulunur (Hedström vd., 1989; Sundblad, 1994). Masif ve yarı-masif baz metal sülfid yataklar genelde volkanik istifin zirvesine yakın kesimlerinde bulunan kireçtaşı/volkano-klastik kayaç arda-lanmaları içerisinde oluşmuştur. Bergslagen bölgesindeki baz metal sülfid yatakları, oluşum ortamı, metal içeriği ve yan kayaç içeriğine göre iki türe ayrılır:

- a. Stratiform, örtü biçimli, Zn-Pb-Ag'ce zengin ve Fe-Cu'ca fakir yataklar: Bu türdeki yatakların başında Zinkgruvan madeni gelir. "Ammeberg tip" yatak olarak bilinen yatak "kil-silt taşları içerisindeki stratiform Zn-Pb-Ag sülfid yatakları" olarak adlandırılmıştır. Genelde riyoitik kül-silttaşı, metavolkanik kayaçlar içerisinde yer alır. Ortamda kristalin karbonat kayaç, kalk-silikat kayaçlar ve silisli kimyasal sedimanlar da bulunur. Taban kayaç litolojilerinde genelde K, Si ve Mg alterasyonu gözlenir.
- b. Stratabound türde masif ve saçınımlı Zn-Pb-Ag-Cu yataklar: Bu yatak türleri içinde Sala, Garpenberg, Lovisa ve Falun yatakları bulunur. Bu tip yataklar stratabound, volkaniklere bağlı, kireçtaşı skarn Zn-Pb-Ag-Cu-Au sülfid yataklar olarak adlandırılır. Genelde mermerler-

le aralanmalı felsik metavolkanik kayalarla ilişkilidir. Taban kayalarda şiddetli Mg'ca zengin K-alterasyonu gözlenir.

Falun, Zinkgruvan, Garpenberg, Sala ve Saxberget yataklarının dışında, Bergslagen'deki baz metal sülfid yatakların rezervleri düşüktür (<1 milyon ton). Yatakların Zn içerikleri oldukça yüksektir. Baz metal içerikleri ortalama %4.5 Zn, %2.5 Pb ve %0.5 Cu şeklindedir. Cevher mineralleri pirit, pirotin, sfalerit, galenit ve kalkopirit'tir. Ag içerikleri 30 ile 1500 ppm arasında değişir. En önemli Ag yatakları Falun, Sala, Hallefors, Guldsmedshyttan, Kaveltorp ve Lövasen yataklarıdır. Bergslagen'de önemli Au yatakları bulunmaz. Au içerikleri genelde 1 ppm'den azdır. Falun yatağında ise yüksek tenörlü Au değerleri (2-3 ppm), kuvars damarları içerisindedir. Co, yersel olarak bazı Cu'ca zengin baz metal sülfitlerde bulunur. Bergslagen bölgesindeki baz metal sülfid yataklarının oluşum modeli için, sin-volkanik deniz tabanı eksalatif veya sin-volkanik sub-seafloor ornatma türü oluşum önerilir.

3. İber Pirit Kuşağı (İspanya ve Portekiz)

İber Pirit Kuşağı, yaklaşık 250 x 60 km boyutlarında bir alanda yayılmış Üst Devoniyen-Alt Karbonifer sedimanter ve volkanik kayalardan oluşan ve yaklaşık 90 masif sülfid yataklarını içeren bir kuşaktır. Birçok araştırmacı, İber Pirit Kuşağının genişlemeli bir kabuksal açılmanın ve bununla ilişkili bimodal magmatizmanın bir sonucu olduğunu düşünmektedir. İber kuşağı, dünyanın en önemli ve en büyük metalojenik provensidir. Bu yatakların sekizi çok büyük yatak olup her birinin rezervi 100 milyon ton'a ulaşır (Schermerhorn, 1975; Carvalho vd., 1997; Leistel vd., 1998). Nerves Corvo yatağı günümüzde işletilen tek VMS yatağıdır. Kuşak üç farklı dönemi içeren basit bir bölgesel stratigrafiye sahiptir. Tabandan itibaren bu istifler şu şekilde sıralanır: (1) Sığ bir denizel platform üzerinde çökelmiş kalınlığı >1000

metre olan Üst Devoniyen karasal silisiklastik kayalar ve kireçtaşı; (2) Riyolitik-dasitik, bazaltik ve andezitik kayalarla aralanmasından oluşan bir volkano-sedimanter istif (20-1000 m kalınlıktadır). Bu istifin bazaltları toleyitik karakterdedir. Diğer volkanik kayalar ise kalk-alkalindir ve kıtasal kabuğun kısmi ergimesiyle oluşmuştur (Thieblemont vd., 1998). Felsik volkanik kayalar, sığ yerleşimli siller ve bunlarla ilişkili otoklastik fasiyeler, lav domları ve piroklastik fasiyelerini içerir (Boulter, 1993; Soriano ve Marti, 1999; Tornos vd., 2002); (3) Kalınlığı >3 km mor renkli şeyller ve bunları üzerleyen gri ve siyah şeyl ile türbiditler. VMS yatakları ve jasper ile Mn-Fe oluşumları, volkano-sedimanter istifin üst kesimlerinde oluşmuştur. Kuşağın güney kesiminde VMS yatakları, deniz tabanının hemen üzerinde (sea-floor) oluşmuş yataklardır ve Üst Struniyen yaşlıdır. Kuşağın kuzeyindeki yataklar ise, felsik volkanik kayaların ornatılmasıyla oluşmuştur.

4. Bathurst (New Brunswick, Kanada)

Güneydoğu Kanada'daki Bathurst Mining Camp 100 x 75 km lik alanda Pb-Zn-Cu-Ag tip yaklaşık 35 VMS yatağı içerir (McCutcheon, 1992). Bölge Zn, Pb ve Cu metalleri açısından dünyanın en büyük VMS yatağı olan "Brunswick Number 12" yatağını içerir.

Bathurst bölgesi, Ordovisiyen yaşlı volkanik ve sedimanter birimlerden oluşur. Sin-volkanik plütonlar bu birimlere sokulum yapar. Bölge, oldukça deforme olmuş ensialik yay-gerisi havzanın kalıntısı olarak yorumlanmaktadır. Geç Ordovisiyen-Geç Siluriyen'de havzanın kapanması esnasında yeşil-şist fasiyesinde metamorfizmaya uğramıştır (van Staal, 1987). VMS yatakları bimodal, riyolit ağırlıklı denizel volkano-sedimanter istif içinde oluşmuşlardır. Felsik kayalar, kıtasal temelin kısmi ergimesinin bir sonucu olarak yorumlanır. Mafik kayalar ise, toleyitik-alkalen bazaltlardır (Lentz, 1999). Bölgenin en üretken kesimi olan Brunswick kuşağında, VMS yatakları, felsik volkanik

bir piroklastik volkanizmanın hemen sonrasında ve riyolitik lavlar, hyaloklastitler, tüfler ile tüflü sedimanter kayaçlardan önce oluşmuştur. Maden yataklarını içeren bol miktarlarda juvenil piroklastik kayaçlar, söz konusu yatakların kalederalar içerisindeki püskürmelerin zirve yaptığı dönemlerin hemen sonrasında oluştuğunu gösterir. VMS yatakları genelde stratiformdur ve ince taneli volkano-klastik ve sedimanter kayaçlar içerisindedir. Kısmen demirli eksalitler (5 km uzanımına sahip) ile birliktelik sunarlar (Saif, 1983; Peter ve Goodfellow, 1996).

5. Abitibi (Kanada)

Arkeen yaşlı Abitibi yeşiltaş kuşağı, yaklaşık 500 x 200 km'lik bir alan kaplar ve 675 milyon tondan fazla cevher içerir. Cevherli istifler üç gruba ayrılır: (1) bimodal toleyitik bazalt-andezit ile yüksek silis içerikli riyolit istifler, rezerv olarak VMS yataklarının %50'sinden fazlasını içerir; (2) bimodal, toleyitik/kalk-alkalen geçişli andezit-riyolit istifler rezerv olarak yatakların yaklaşık %30'unu içerir; (3) kalk-alkalen karakterli andezit-riyolit istifi ise yalnızca Selbaie yatağını içerir (Barrie vd., 1993; Prior vd., 1999; Barret ve MacLean, 1999). Birinci grubun, Galapagos yayılma merkezi veya İzlanda rift zonlarına benzer kalınlaşmış okyanusal rift volkanik kayaçlarında oluştuğu düşünülmektedir. İkinci grup, riftleşmiş ada yaylarına benzerlik sunar. Üçüncü grup ise kıtasal yaylarla kıyaslanabilir.

Mafik volkanik kayaçlar, denizel piroklastik akıntılar ile lav akıntıları ve domları içeren lav akıntıları ve felsik kayaçlardan oluşur (de Rosen-Spence vd., 1980). VMS yataklarının, derin denizlerde yakınsak (proksimal) volkanikler içerisinde oluştuğu düşünülür. Domlar istifin az bir kesimini oluşturmasına karşın, yataklar riyolit domlarıyla ilişkilidir. Yataklar hem deniz tabanında (seafloor) hem de deniz tabanının altında (sub-seafloor) oluşmuştur (Kerr ve Gibson, 1993; Galley vd., 1996) ve her biri en az bir mafik ve/veya felsik subvolkanik intrüzyon-

larla ilişkilidir. En iyi çalışılan bölgelerden biri olan Rouyn-Noranda VMS maden bölgesi'nin geniş bir kalkan volkanı olduğu düşünülmektedir (Gibson ve Watkinson, 1990).

6. Green Tuff Kuşağı (Japonya)

“Japon volkanik yayı” Kretase'den Erken Miyosen'e kadar Asya kıtasının doğu kenarı boyunca kıta kenarı bir yayın parçasıyken (Taira vd., 1989), Geç Oligosen-Orta Miyosen döneminde, Japonya, yay-gerisi açılmayla Avrasya kıtasından ayrılmıştır (Otofuji vd., 1985; Tamaki vd., 1992). Green Tuff Kuşağı, denizel volkanik ve sedimanter seriler ile temsil edilir. Kuşak, 1500 km uzunlukta ve 1-5 km kalınlığında kompleks bir Alt Miyosen-Alt Pliyosen volkano-stratigrafiyesahip olup birçok masif sülfür bölgesi içerir. Bunlardan, en önemli olanı, kuzey Honshu'daki Hokuroku bölgesidir. Bölgede masif sülfürlerin yığıldığı sekiz dairesel alan bulunur (Ishihara vd., 1974; Ohmoto ve Skinner, 1983).

Kuroko yatakları, derin denizel ortamdaki bimodal volkanikler içerisinde ve dar bir zaman aralığında (15-12 milyon yıl) oluşmuştur. Bazaltlar, toleyitik-geçişli, buna karşın riyolitler kalk-alkalendir (Konda, 1974; Dudas vd., 1983). Felsik volkanik kayaçlar, birbirlerini üzerleyen volkanik merkezler şeklindedir ve lav domları, intruzif domlar ve bunlarla ilişkili otoklastik ve piroklastik kayaçlardan oluşur (Horikoshi, 1969; Ishihara vd., 1974). Kuroko yatakları, genelde bu volkanların üst ve yakınsak kesiminde oluşmuş Zn-Pb-Cu-Ag-Au tip yataklardır (Horikoshi, 1969). Green Tuff Kuşağının oldukça genç olması ve araştırmaların yoğunluğu nedeniyle, bu kuşak hakkında diğer VMS bölgelerine göre oldukça güvenli ve detaylı bilgiye ulaşılabılır.

7. Güney Urallar (Rusya)

Ural orojenik kuşağı, 2.500 km uzanımına ve 200 km genişliğe sahiptir. Asıl VMS yatakları,

kuşağın güney kesiminde yer alır. VMS yatakları, Ordovisiyen-Siluriyen ve Devoniyen olmak üzere iki dönemde gözlenir. İlk dönemdeki yataklar, Paleozoyik Ural paleo-okyanusun kapanmasıyla ortaya çıkan Ural Fayı'nın batısında bulunur. İkinci dönem yataklar ise kenet zonu doğusunda oluşmuştur (Koroteev vd., 1997; Puchkov, 1997). Tüm bu VMS yatakları toplamda 1 milyar tonun üzerinde rezerve sahiptir (Prokin ve Buslaev, 1999). Güney Urallar, batıdan doğuya doğru Sakmara Zonu, Ural Fay Zonu ve Magnitogorsk Ada Yay Sistemi olarak bölümlenebilir ve bu zonların hepsi Ural Fay zonuna yarı paraleldir. Bu zonlar, Baltık, Sibirya ve Doğu Avrupa kıtalarının çarpışmaları esnasında yığılan volkanik yayları temsil eder.

Kuşaktaki VMS yatakları, tür ve bileşim açısından çeşitlilik sunar fakat genelde Cu-Zn, Cu ve pirit tiptedir. Sakmara Zonu'nun allokton okyanusal parçaları Mednogorsk bölgesinin Cu-Zn VMS yataklarını içerir ve bu yataklar andezitik-felsik volkanik kayalar ile ilişkilidir. Ural Fay Zonu, kökenleri tartışmalı olan birkaç küçük, ekonomik olmayan, serpantin ve bazaltlar içerisinde masif sülfid yataklar içerir. MIA bölgesindeki VMS yatakları, bölgenin batı kesimlerinde ortaç-felsik istiflerle, doğusunda ise felsik-mafik istiflerle ilintilidir. VMS yataklarının birçoğu, riyolitik-dasitik domlarla ilişkilidir. Yatakların taban kayalarında alterasyon yaygındır ve yatakların deniz tabanında oluştuğuna ilişkin önemli ve net veriler bulunur. En büyük yatakların iki veya üç stratigrafik seviyede yığıldığı düşünülür (Herrington, 1999).

8. Mount Read (Tasmanya-Avustralya)

Mount Read bölgesi, 200 x 20 km lik bir alan kaplayan, oldukça deforme bir alandır. Genelde Kambriyen yaşlı felsik volkanik kayalar ve volkano-sedimanter istiflerden oluşur. Düşük dereceli yeşil-şist fasiyesinde metamorfizmaya uğramıştır. Bölge, yatak türleri açısından oldukça çeşitli olup önemli VMS yatak-

ları içerir (Large, 1992). Bölgenin en iyi bilinen kesimi olan merkezi kesiminde en alttaki birim >1 km denizel toleyitik bazalt-andezit volkanik komplekstir. Bu birim, kalk-alkalen dasit/riyolitik lavları, piroklastik fasiyesler, sığ intrüzyonlardan oluşan 3 km kalınlıkta volkanik bir kompleks tarafından üzerlenir. Bu volkanik kompleks ise, doğu kesimlerinde, 1 km kalınlıkta sığ denizel-karasal özellikte riyolitik bir istif (Tyndall Group), batı ve kuzeyde ise >3 km kalınlıkta, derin denizel, karmaşık bir volkano-sedimanter istif üzerine üzerlenir. Mount Read volkaniklerinin Gondwana kıtasının kenarında gerçekleşen açılmayla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Crawford vd., (1992), söz konusu açılmanın okyanus-içi yay ile yay-önü bir kompleksin, Gondwana kıtasının pasif kenarı ile çarpışması veya üzerine bindirmesinin ardından gerçekleşen kabuksal bir çökmeyle ilişkili olabileceğini öne sürmüştür.

Bölgedeki VMS yatakları iki farklı stratigrafik seviyede oluşmuştur. Bunlar: (1) riyolitik/dasit volkanlarının bulunduğu yerlerdeki volkanik kompleksin üst kesimlerinde (Rosebery, Hercules, Mt Lyell) oluşan yataklar ve (2) andezit/dasit volkanlarının zirvesinde proksimal fasiyeslerde (Hellyer, Que River) oluşan yataklardır. VMS yatakları ile ilişkili önemli alterasyon türleri kuvars-serizit, klorit, silisleşme ve karbonatlaşma şeklindedir.

9. Doğu Pontid Kuşağı (Türkiye)

Doğu Pontid Kuşağı, Türkiye'nin kuzeyinde, Karadeniz sahili boyunca yaklaşık 600 km lik bir hat boyunca uzanım sunan, Jura-Miyosen dönemini kapsayan volkanik kayalar ve sedimanlarından oluşur. Kuşak, kompleks bir volkanik yay sisteminin kalıntısı olarak yorumlanır ve çok sayıda önemli VMS yataklarını içerir. Ankara-Erzurum kenet zonu kuzeyinde yer alan Doğu Pontidler'in temelini Paleozoyik yaşlı metamorfik masif ile bunları kesen granitoyitik kayalar oluşturur. Yaşları Paleozoyik ile Kuvaterner arasında değişen ve oldukça kalın

(>2000 m) bir volkano-sedimanter istif, metamorfik temeli üzerler. Doğu Pontid Bölgesi'nde, Mesozoyik-Tersiyer döneminde üç magmatik evre tanımlanmıştır (Okay ve Şahintürk, 1997). İlk evre, Erken-Orta Jurasik toleyitik karakterli olup rifleşme ile ilintilidir. Sub-alkalen karakterli Türoniyen-Maastrichtiyen magmatizması ikinci evreyi temsil eder ve yitim ile ilişkilidir. Kretase volkanizması tamamen denizel olup çoğunlukla sub-alkalendir ve tipik ada yayı ürünleridir (Peccerillo ve Taylor, 1975; Gedikoğlu, 1978; Akın, 1979; Eğin vd., 1979; Manetti vd., 1983; 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). Cevherleşmelerin hemen hepsi, Üst Kretase yaşlı riyolitik-dasitik seriler içerisinde yer alır. Yataklar büyük ölçüde riyolitik-dasitik volkanların proksimal fasiyesleri ile ilişkilidir. Geç Kretase yaşlı volkanik kayaların egemen olduğu bu ortamdaki kayaların yaygın olarak altere olmuş lav, lav breşi ve hyaloklastitler olduğu gözlenir. Sedimanter kayalar ise fosilli kireçtaşları, çamurtaşları ve sıcak su çökellerinden (veya eksalit) oluşur. Yatakların taban kayalarında kuvars-serisit-kaolinit ve kloritten oluşan alterasyon zonları tipiktir. Yatakların masif cevherlerinde tanımlanan cevherleşmiş sıcak su bacalarına (chimney) ait parçalar ile fosil fauna izleri (tüp solucan) söz konusu Doğu Pontid yataklarının nispeten derin deniz tabanında oluştuğuna işaret eden en önemli verilerdir. Yataklar bileşim ve tip açısından hem deniz tabanında hem de deniz tabanının altındaki ortamda oluşmuş Cu-Zn açısından zengin yataklardır. Deniz tabanının altında (sub-seafloor) oluşmuş cevherler ştokvörk, saçınımlı ve masif damar şeklindedir. Deniz tabanında oluşmuş cevherler ise masif, proksimal (kaba-ince taneli bileşenli) ve distal (sülfid kumtaşları ve sedimanlarla aralanmalı) taşınmış fasiyeslerden oluşur. Yataklar metal içeriklerine göre Cu-Zn, Cu-Zn-(Pb-Au-Ag), Cu ve Cu-(Au-Ag) olmak üzere dört grup altında sınıflandırılabilir. Doğu Karadeniz bölgesi VMS yataklarının cevherleri yapı-doku (kırıntılı/klas-

tik cevher) ve bileşenleri (cevherleşmiş sıcak su bacaları, fosil fauna) açısından ilksel özellikleri iyi korunmuş yataklardır. Doğu Karadeniz bölgesi VMS yatakları bu özellikleri ile iyi korunmuş Urallar (Ural tip) ve Hokuroko (Kuroko tip) bölgeleriyle karşılaştırılabilir özelliklere sahiptir. Önemli VMS yatakları başlıca Çayeli, Murgul, Cerattepe, Kanköy ve Lahanos sülfid yataklarıdır. Geçmişte ve günümüzde önemli metal kaynağı olarak işletilen bu yataklar düşeyde ve yatayda halen önemli potansiyel oluşturmaktadır. Uluslararası bilimsel literatürde Pontid metalojenik kuşağı hakkında çok az bilgi vardır.

10. Peru Sahili

Peru'nun orta kesimlerinin sahil kesimleri boyunca Mesozoyik yaşlı Batı Peru Hendeği, Lancones, Huarmey ve Canete volkano-sedimanter havzalarıyla temsil edilmekte olup çok sayıda VMS yatağı içerir. Bu yataklar içerisinde en önemli olanları Perubar ve Tambo Grande yataklarıdır. Canete havzasındaki Perubar yatağından 1978-2000 yılları arasında %11 Zn ve %1.4 Pb içeren 6 milyon ton metal üretilmiştir.

Önceleri, Batı Peru Hendeğinin volkano-sedimanter istiflerinin, Orta Kretase yaşlı Casma Grubundan oluştuğu düşünölmüştür. Ancak, Perubar yatağının, taban ve tavan kayalarının felsiklerinden alınan örneklerden yapılan yaş analizleri (69 ve 68 milyon yıl) sonucunda bu istiflerin Maastrichtiyen yaşlı oduğı ortaya çıkmıştır. Peru Sahil batolitinin, cevherleşmenin öncesinde ve hemen sonrasında (<1 milyon yıl) yerleşmesi sonucunda Perubar yatağı kontakt metamorfizmayauğramıştır. Bu yatak için en olası tektonik ortam olarak volkano-tektonik bir çek-ayır havzasıdır. Bu havzalar Geç Kretase esnasında paleo-Pasifik levhasının kuzeye doğru hareketi neticesinde ortaya çıkan derin odaklı doğrultu atım hareketleriyle oluşmuştur. Peru Sahil batolitinin yerleşmesi sırasında da aynı bölgede bu tür havza-

lar gelişmiştir. Üst Kretase döneminde, And magmatik yayında aşamalı olarak gerçekleşen plüton yerleşimi ile VMS cevherleşmelerinin eşlik ettiği, çek-ayır havzalarının oluşumu gerçekleşmiştir. Perubar yatağını içeren volkano-sedimanter istif, bazaltik-andezitik-riyolitik denizel volkanik kayalardan ve piroklastik kayalardan oluşur. Bu birimler, volkanik kumtaşları, tüflü çamurtaşları ve kireçtaşları ile aralanmalıdır. Masif sülfid cevherleşmeler, andezitik-dasitik dom benzeri kompleksler ile ilişkilidir (Polliand, 2002; Polliand ve Fontbote, 2000).

11. Orta-Batı Grönland

Orta-Batı Grönland, Başkent Nuuk'un 150 km kuzeydoğusunda bulunan Isua Yeşiltaş kuşağında yerkürenin en yaşlı kayalarını içerir. Nuuk ile Isua arasındaki bölgede Arkeen yaşlı üç bölge bulunur: kuzeyde Aika, güneyde Tasiusarsuaq ve ikisi arasında Akulleq bölgesi. Aika ve Tasiusarsuaq bölgeleri granolit fasiyesinde, Akulleq bölgesi ise amfibolit fasiyesinde metamorfizmaya uğramıştır.

Yeşiltaş kuşakları oldukça yaygındır ve 3 milyar yıl yaşındadır. Bu kuşaktaki başlıca toleyitik ve ultramafik yastık lav akmaları, intrüzif toleyitik ve komatitik kayalar ile felsik volkanik kayalar içerirler. Volkano-sedimanter kayalar, kuvars sillimanit şist ile nadir demir oluşumları içerir. Birçok küçük Fe, Fe-Cu ve Zn'ca zengin VMS yatakları, yastık lav akıntılarıyla aralanmalıdır (Appel vd., 2000). Bu kuşakta, bugüne kadar keşfedilen en büyük VMS yatakları, 100 m genişliğindedir ve doğrultu boyunca birkaç km izlenebilir. Bölge, detaylı bir biçimde araştırılmadığından başka yatakların bulunma olasılığı oldukça yüksektir. Stratabound şelelit yatakları komatitik kayalarda, bantlı amfibolitlerde ve turmalinit seviyelerinde bulunur (Appel, 1994). Storo adasında önemli sayılabilecek Altın (Au) zuhurları söz konusu olup bunlar bantlı demir formasyonlarında, kalk-silikat ve kuvars damarları içerisinde bulunur.

12. Damara Orojeni (Namibya)

Damara orojenik kuşağı (Neoproterozoik), iki farklı türde VMS cevherleşmesi içerir. Orta Namibya'daki yataklar Matchless amfibolit üyesi ile ilişkilidir. Oldukça deforme olan stratabound pirit-pirotin-kalkopirit mercikleri, amfibolitlerle ve manyetit içeren kuvarsitlerle ara tabakalıdır. İkinci grup cevherleşmeler kuşağın güney kesimlerinde bulunur ve şeyller içerisindeki stratiform sfalerit-galenit merciklerinden oluşur. Orojendeki VMS yatakları genelde felsik domların ve bunlarla ilintili volkano-klastik kayaların üzerinde oluşur (ör: Rosh Pinah madeni).

13. Karayip Bölgesi (Küba ve Dominik Cumhuriyeti)

Küba'da VMS yatakları Kretase ve Paleosen volkanik yaylarında yer alır. Kretase volkanik yayları Küba'nın çeşitli kesimlerinde bulunur ve Apsiyen-Orta Kampaniyen yaşlı volkanik ve volkanoklastik kayalar ile temsil edilir. Bu yay içerisindeki VMS yatakları, ülkenin orta kesimlerinde yer alır. En önemlileri Antonio, San Fernando ve Independencia yataklarıdır. Küba'nın batı kesimlerinde kalın bir Paleosen volkanik ve volkano-klastik örtü bulunur. Bu birimler, yaşları Geç Daniyen-Erken Eosen yaşlı granitoidler ile kesilir. En yaygın mostralara sahip olan birimler, birkaç kilometre kalınlıktaki El Grobre Grubu olup, El Cobre yatağını içerir. Diğer VMS yatakları, La Cristina, Limoncito ve El Infierno'dur. Genel olarak Küba VMS yatakları Zn, Cu ve Pb açısından zengin olup bunlara az oranda Au ve Ag eşlik eder.

14. Orta Meksika

Meksika'daki VMS yatakları, değişik yaşlardaki birkaç ortamda bulunur. Bunlar Triyas yaşlı Fresnillo-Guanajuata Subterrane ile Erken Kretase'nin Guerrero Terrane sahalarıdır (Sherlock ve Michaud, 2000). Guerrero Terra-

ne'de 60'dan fazla Kuroko-tip VMS yatağı bilinmektedir. Bu yataklar, Kretase yay volkanikleri içerisinde oluşmuşlardır. Fresnillo-Guanajuata Subterranean'deki bazı VMS yatakları Triyas kayaları içerisinde yer almaktadır. Ekonomik olarak önemli yataklar küçüktür, fakat son zamanlarda keşfedilen yataklar daha büyüktür (ör: San Nicolas) ve bazıları Au açısından zengindir (ör: Campo Morado). Bazı yataklar volkanik merkezlere yakın oluşurken bazıları ise ıraksak (distal) killi sedimanter kayalarla yakından ilişkilidir (Allen vd., 2003).

15. Lau ve Manus Havzaları

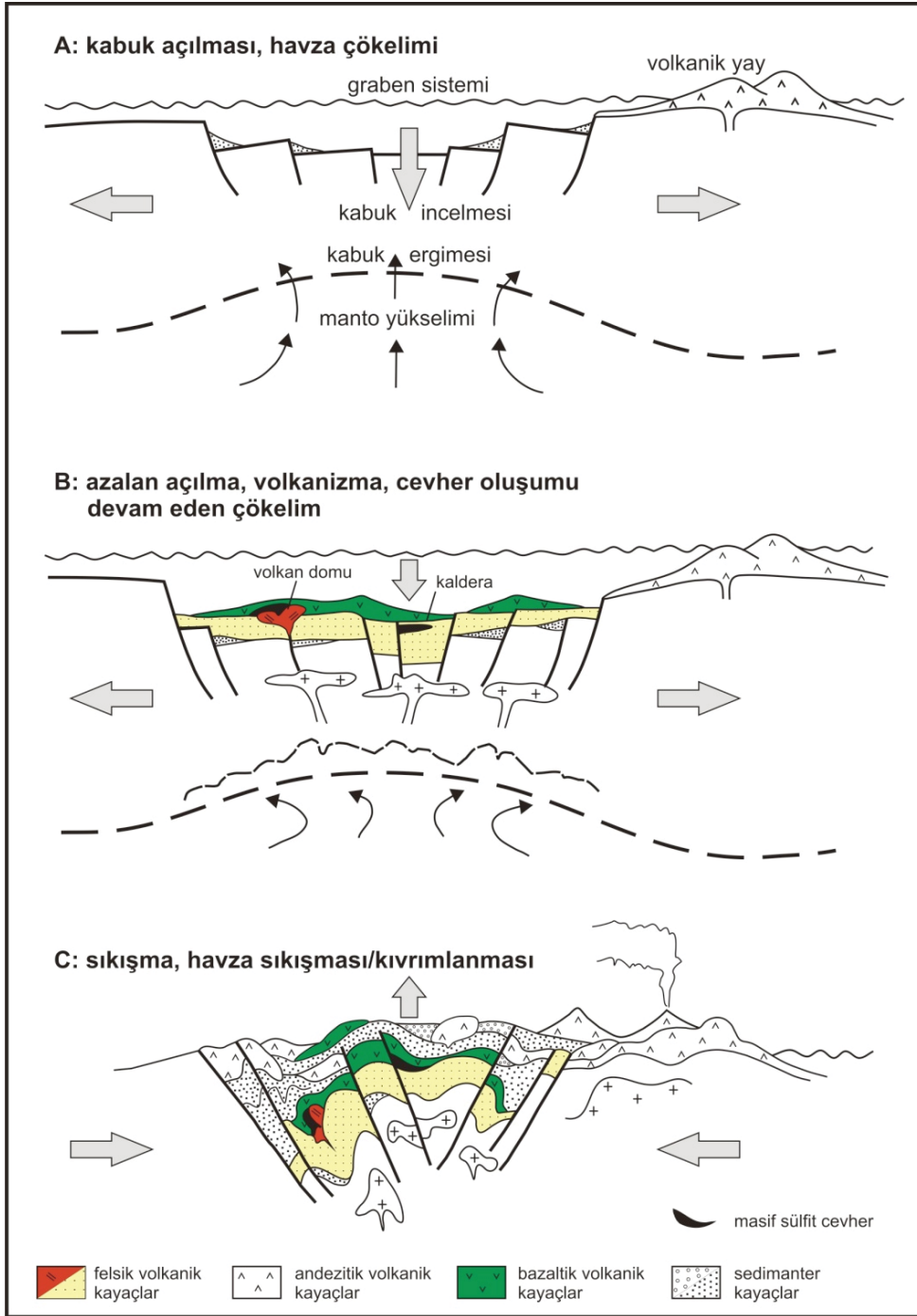
Lau ve Manus Havzaları, son zamanlarda deniz tabanı sülfid yataklarının keşfedildiği güncel okyanus içi yay-gerisi havzalardır (Hawkins, 1995). Güncel ve paleo VMS yataklarının birbirleriyle karşılaştırılabilmesi amacıyla bu havzalar da projeye dahil edilmiştir. Aynı zamanda, bu güncel havzaların daha detaylı incelenmesi, paleo yatakların oluşum ortamlarının daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Bu havzalar andezit, dasit ve riyolitlerden oluşan bimodal volkanikleri içerir (Binns vd., 1996). Yataklar yayılma merkezlerinin üzerinde ve/veya kenar kesimlerindeki yakınsak volkaniklerde oluşmuş polimetallik cevher gövdelerini içeren kompleksler şeklindedir (Herzig vd., 1993; Gemmel vd., 1999).

Lau ve Manus havzalarındaki VMS yatakları, su derinliğinin 1650-2500 metre olduğu yayılma merkezlerindeki yakınsak volkanik komplekslerde oluşmuş polimetallik cevherleşmelerdir. Yatakların birkaçı yayılma sırtlarındaki andezitik ve dasitik volkanik merkezlerle ilişkilidir. Felsik volkanikler içerisindeki Pacmanus yatağının üst kesimlerinden denizaltı vasıtasıyla 5 metrelik sondaj yapılarak örnekler alınmıştır. Örneklerin analizleri neticesinde Au zenginleşmesi (15 g/t) ve yüksek Cu ve Zn içeriği belirlenmiştir (Allen vd., 2003).

VOLKANOJENİK MASİF SÜLFİD (VMS) BÖLGELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASINA İLİŞKİN GENEL SONUÇLAR

Volkanojenik masif sülfid (VMS) tip yataklar volkanizmayla ilintili olarak deniz tabanında veya hemen altında sülfid minerallerinin yığılmasıyla oluşmuş yataklardır. VMS yatakları, maden bölgeleri (mining district/camp) olarak tanımlanmış sınırlı yığılma alanlarında yer alır ve levha kenarlarına yakın, kabuk açılmasının bir sonucu olarak oluşan denizel havza istiflerinde oluşmuştur. Yatakların yaşları birkaç milyar yıldan günümüze kadar değişen bir aralıktadır. Öyle ki, güncel denizlerdeki aktif hidrotermal çıkışlarda bu tür yatakların oluşumu devam etmektedir. Yataklar tipik olarak 10-50 metre kalınlıkta ve 100-1000 metre çapındadır. Bir VMS yatağı ortalama 1 milyon ton metal sülfid cevheri içerirken, çok büyük yataklar 300 milyon ton cevher içerebilir. Bu tip yataklar birçok ülkede mevcuttur ve Cu, Zn, Pb, Au ve Ag metallerin elde edildiği en önemli yatak türlerinden biridir.

VMS bölgelerinin birçoğunda, yatakların oluştuğu tek bir stratigrafik seviye (veya zaman aralığı) vardır. Bu zaman aralığı, yerel ölçekte denizel volkanların gelişiminde özel bir evreye karşılık gelir. Bölgesel ölçekte ise, volkanik istiflerin oluşumunda etkili özel bir magmatik olayı temsil eder. VMS yataklarının bulunduğu bölgelerin tümü, büyük kabuksal genişlemeler/açılmalar ile ilişkilidir. Kabuksal genişleme, graben çöküntü alanlarının oluşumuna, yerel veya yaygın derin deniz oluşumuna ve manto kökenli mafik magmanın kabuğa sokulumuna yol açar. VMS yataklarının oluşumu ile kabuksal ölçekli tektonizma ve volkanizma arasındaki olası ilişkiye karşılık gelen tektono-volkanik model, şekil 1'de verilmiştir. Tektonik ortam, büyük ölçüde yaklaşan levha sınırlarına yakın açılma havzalarıyla (genelde yay-gerisi ortamlar) sınırlıdır. Fakat bu durum, okyanus-içi yayılma merkezlerinde tanımlanan modern sistemlere aykırıdır. Miyosen yaşlı Japon yay-yay gerisi sistemler ile güncel Okinawa hendeği ve Lau ile Manus havzaları gibi yay-gerisi/yay-içi



Şekil 1- VMS yataklarının oluşumu ile kabuksal ölçekli tektonizma ve volkanizma arasındaki olası ilişkiye karşılık gelen tektono-volkanik model (Allen vd., 2012).

riftler ve çek-ayır havza ortamları, olasılıkla Proterozoyik ve Fanerozoik VMS ortamlarının güncel örneklerini temsil eder. Ancak, birkaç VMS bölgesinin (örn: Bergslagen, İber pirit kuşağı, Mount Read Volkanikleri), tektonik ortam ve bölgesel istifleri açısından daha genç benzer VMS ortamlarına sahip olmadığı gözlenmiştir. Arkeen bölgeler, bazı genç riftleşmiş okyanusal ve yay ortamlarla benzer özelliklere

sahip olmasına karşın, tam olarak benzerlerinin olduğu yerlerin belirlenmesi mümkün değildir. İber Kuşağı ile Mount Read Volkanikleri, bir yay sistemiyle çarpışma sırasında veya sonrasında açılmanın ve VMS cevherleşmesinin pasif kıta kenarında gerçekleştiği daha kompleks bir kıtasal kenar açılma ortamlarının örnekleri olabilirler. Bu senaryo güney Uralların bir kısmı içinde geçerli olabilir.

VMS bölgelerinin neredeyse tümünde, önemli oranlarda felsik volkanik kayalar gözlenir. VMS yataklarının içinde bulunduğu stratigrafik istiflerde rastgele bir felsik ve mafik volkanik kayaç dağılımı vardır. Mafik kayalar, manto kökenli bazaltlar ve bazaltik andezitlerden oluşmakta olup genelde toleyitik veya geçişlidir. Felsik volkanik kayalar ise kalk-alkalen veya toleyitik dasit-riyolitlerdir ve kabuksal ergimeyle türedikleri düşünülür. Bazı VMS yataklarında, ortaç bileşimli andezit-dasitler gözlenir. VMS bölgelerinin birçoğunda, büyük yataklar, yakınsak riyolitik fasiyesler içinde veya yakın kesimlerinde oluşmuştur. Denizel domlar ve ilişkili piroklastik fasiyeslerin oluşturduğu kompleksler, olasılıkla en yaygın yan kayaları temsil eder. Ancak, büyük ölçüde riyolitik piroklastik fasiyesler veya lav akmalarından oluşan kalderalar da önemli oluşum ortamlarıdır. Yatakların içinde yer aldığı istiflerde önemli oranda volkano-klastik kayalar bulunur ve genelde hidrotermal alterasyona uğramışlardır. Paleo bölgelerde, hidrotermal alterasyona ek olarak, metamorfizma geçirmiş ve deformasyona uğramışlardır. Sonuç olarak, birincil kayaç dokuları kısmen korunmuş olduklarından, kayaların kökenlerinin belirlenmesi ve haritalanması kolay değildir. Yakın zamana kadar kırıntılı felsik kayaların birçoğu piroklastik kayaç olarak yorumlanmıştır. Ancak, son çalışmalar neticesinde birçok VMS bölgesindeki piroklastik kayaların miktarlarının abartıldığı gözlenmiştir. Piroklastik kayaç olarak tanımlanan birçok kayacın aslında hyaloklastitler, otobreşler, moloz akmaları ve altere koherent lavlar olduğu belirlenmiştir. Tüm bu kayaç türleri, patlamasız bir püskürme mekanizmasıyla ortaya çıkmış ürünlerdir (Allen vd., 2002).

VMS yatakları, riftleşmeyle eş zamanlı felsik volkanik birimlerin zirvesine yakın kesimlerde yığılmış olup bu yatakların oluşumu için geçen süre, birkaç milyon yıldan daha azdır. Yatakların mineralojisini, büyük oranda taban kayalarının kimyası belirler. Bu da, hidrotermal alterasyon esnasında yikanan volkanik kayaların mineralojisini yansıtır. Örneğin, mafik mi-

nerallerin çözünmesi Cu ve Zn'nun, felsik minerallerin çözünmesi ise Pb ve Ba gibi minerallerin açığa çıkmasına yol açar. Ancak, bazı çalışmalar metal içeriklerinin bir kısmını birincil magmatik katkıya bağlar. Metal zonlanması, büyük ölçüde hidrotermal sistemin sıcaklığı ile ilintilidir ve sıcaklıklar yatağın merkezinden dış kenarlarına doğru azalış sunar (ör: yüksek sıcaklıklı Cu, düşük sıcaklıklı Zn, Pb, Ba gibi). Hidrotermal çözeltilerin zaman içerisinde akış düzenlerinin ve sıcaklıklarının değişimi nedeniyle metal zonlanması karmaşık bir yapı sunabilir. Hidrotermal alterasyon mineralojisini belirleyen faktörler sırasıyla kayaç bileşimi, sıcaklık, çözelti bileşimi ve tuzluluktur. Fakat çözelti pH'ı bu faktörler içerisinde en önemlisidir. VMS yataklarının olduğu bölgeler levha kenarlarına yakın havzalar olduğundan, bindirmeli bir kıvrımlanmaya maruz kalmışlardır. Bu bölgeler, havza kapanması sırasında deformasyona maruz kalmıştır. Deformasyon dışında metamorfizma etkisinin de gözlemlendiği VMS bölgelerinin/yataklarının birçoğunda birincil yapıların (yapı, doku, cevher fasiyes vb.) izlerine rastlamak neredeyse olanaksızdır. Metamorfizma geçirmemiş (veya çok az geçirmiş) bölgelerde (Doğu Pontidler, Urallar, Hokuroku, modern denizler gibi) ise birincil yapılar daha iyi korunmuştur.

DEĞİNİLEN 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.
- Allen, R.L., Weihed, P., Svenson, S.A. 1996. Setting of Zn-Cu-Au-Ag massive sulfide deposits in the evolution and facies architecture of a 1.9 Ga marine volcanic arc, Skellefte district, Sweden. *Economic Geology* 91, 1022-1053.
- 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.
- Allen, R.L., Tornos, F., Peter, J., Çağatay, N. 2003. Global comparison of volcanic-hosted massive sulphide districts. Unpub. rept. to IGCP, September, 2003, 43 p.
- Allen, R.L., Tornos, F., Peter, J., Çağatay, N. 2012. IGCP-502 Global comparison of volcanic-hosted massive sulfide districts (204-2009). *Tales set in stone. 40 years of the IGCP*, 104-110.
- Appel, P.W.U. 1994. Stratabound scheelite in altered Archaean komatiites, West Greenland, *Mineralium Deposita*, 29, 341-352.
- Appel, P.W.U., Bliss, I.C., Collier, D., Grahl-Madsen, L., Petersen, J.S. 2000. Recent gold discoveries in Archaean rocks of central West Greenland. *Trans. Instn Min. Metall. (Sect. B: Appl. Earth Sci.)*, 109, B34-B41.
- Baker, J.H., Hellingwerf, R.H., Oen, I.S. 1988. Structure, stratigraphy and ore-forming processes in Bergslagen: implications for the development of the Svecofennian of the Baltic Shield. *Geologie en Mijnbouw* 67, 121-138.
- Barret, T.J., Maclean, W.H. 1999. Volcanic sequences, litho-geochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems. *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, 101-131.
- Barrie, C.T., Ludden, J.N., Green, T.H. 1993. Geochemistry of volcanic rock associated with Cu-Zn and Ni-Cu deposits in the Abitibi subprovince. *Economic Geology* 88, 1341-1358.
- 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.
- Billström, K., Weihed, P. 1996. Age and provenance of host rocks and ores of the Paleoproterozoic Skellefte District, northern Sweden. *Economic Geology* 91, 1054-1072.
- Binns, R.A., Waters, J.C., Carr, G.R., Whitford, D.J. 1996. A submarine andesite-dacite lineage of arc affinity, Pual Ridge, eastern Manus Basin, Papua New Guinea. *EOS Transactions, American Geophysical Union* 77, 119-120.
- Boulter, C.A. 1993. High level peperitic sills at Rio Tinto, Spain: implications for stratigraphy and mineralization. *Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy*, 102b, 30-38.
- Campbell, I.H., Franklin, J.M., Gorton, M.P., Hart, T.R. 1981. The role of subvolcanic sills in the generation of massive sulfide deposits. *Economic Geology*, 76, 2248-2253.
- Carvalho, D., Barriga, F., Munh., J. 1997. The Iberian Pyrite Belt of Portugal and Spain: Examples of bimodal-siliciclastic systems. *In: Barrie, C.T. & Hannington, M.D. (eds), Volcanic associated massive sulfide deposits: Processes and examples in modern and ancient settings. Rev. Econ. Geol.*, 8, 375-402.
- Crawford, A.J., Corbett, K.D., Everard, J.L. 1992. Geochemistry of the Cambrian volcanichosted massive sulfide-rich Mount Read Volcanics. *Economic Geology* 87, 597-619.
- 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.
- De Rosen-Spence, A.F., Provost, G., Dimroth, E., Gochnaver, K., Owen, V. 1980. Archean subaqueous felsic flows, Rouyn-Noranda, Quebec, Canada, and their Quaternary equivalents. *Precambrian Research*, 12, 43-77.
- Dudas, F.Ö., Campbell, I.H., Gorton, M.P. 1983. Geochemistry of igneous rocks in the Hokuroku district, Northern Japan. *In: Ohmoto, H. and Skinner, B.J. (eds) The Kuroko and related volcanogenic massive sulphide deposits. Econ. Geol. Mon.*, 5, 115-133.
- Eğin, D., Hirst, D., Phillips, R. 1979. The petrology and geochemistry of volcanic rocks from the northern Harşit River Area, Pontid volcanic province, northeast Turkey. *J. Volcano. Geothermal Res.* 6, 105-123.
- Franklin, J.M., Lydon, J.W., Sangster, D.F. 1981. Volcanic-associated massive sulfide deposits. *Econ. Geol.*, 75th Anniversary vol., 485-627.

- Galley, A.G., Watkinson, D.H., Jonasson, I.R., Riverrin, G. 1996. The subsea-floor formation of volcanic-hosted massive sulfide: Evidence from the Ansil deposit, Rouyn-Noranda, Canada. *Economic Geology* 90, 2006-17.
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S., Karataş, S. 1992. Petrology of the magmatic rocks in the area between Rize. Fındıklı and Çamlıhemşin and their distribution in the Eastern Pontides Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 15-38. (in Turkish)
- Gedikoğlu, A. 1978. Harşit granit karmaşığı ve çevre kayaçları (Doğankent-Giresun). Doçentlik Tezi, 176 s.
- Gammel, J.B., Binns, R.A., Parr, J.M. 1999. Submarine, high sulfidation alteration within Desmos Caldera, Manus Basin, PNG. In: Stanley, C.J., et al. (eds), *Mineral deposits. Processes to processing*. Balkema, Rotherdam, 503-506.
- Gibson, H.L., Watkinson, D.H. 1990. Volcanogenic massive sulphide deposits of the Noranda cauldron and shield volcano, Quebec. *Can. Inst. Min. Metal. Spec. Vol.*, 43, 119-132.
- Goodfellow, Z.D., Zierenberg, R.A. 1999. Genesis of massive sulfide deposits at sediment-covered spreading centers. *Rev. Econ. Geol.*, 8, 297-324.
- Hawkins, J.W. 1995. The geology of the Lau Basin. In: Taylor, B. (eds) *Back-Arc Basins: Tectonic and Magmatism*. Plenum Publishing, New York, 63-138.
- Hedström, P., Simeonov, A., Malmström, L. 1989. The Zinkgruvan ore deposit, southcentral Sweden: A Proterozoic, proximal Zn-Pb-Ag deposit in distal volcanic facies. *Economic Geology* 84, 1235-61.
- Herrington, R.J. 1999. Volcanic hosted massive sulphide deposits of the southern Urals. Unpublished guidebook for the 1999 SGA-IGOD Fieldtrip, August 1999.
- Herzig, P.M., Hannington, M.D., Fouquet, Y., von Stackelberg, U., Petersen, S. 1993. Gold-rich polymetallic sulfides from the Lau back-arc and implications for the geochemistry of gold in the sea-floor hydrothermal system in the southwest Pacific. *Economic Geology* 88, 2182-2209.
- Horikoshi, E. 1969. Volcanic activity related to the formation of the Kuroko-type deposits in the Kosaka District, Japan. *Mineralium Deposita*, 4, 321-345.
- Hutchinson, R.W. 1973. Volcanogenic sulfide deposits and their metallogenic significance, *Econ. Geol.*, 68, 1223-1246.
- Ishihara, S., Kanehira, K., Sasaki, A., Sato, T., Shimazaki, Y. 1974. Geology of the Kuroko deposits. *Mining Geology, Special Issue*, 6.
- Kazmin, V.G., Sbertshikov, I.M., Ricou, L.E., Zonnenshain, L.P., Boulin J., Knipper, A.L. 1986. Volcanic belts as markers of the Mesozoic-Cenozoic active margin of Eurasia. *Tectonophysics* 123, 123-152.
- Kerr, D.J., Gibson, H.L. 1993. A comparison between the Horne volcanogenic massive sulfide deposits and intracauldron deposits of the mine sequence, Noranda, Quebec. *Economic Geology* 88, 1419-1442.
- Klau, W., Large, D. 1980. Submarine exhalative Cu-Pb-Zn deposits. A discussion of their classification and metallogenesis. *Geol.Jb.* D40,13-58.
- Konda, T. 1974. Bimodal volcanism in the Northeast Japan arc. *Journal of the Geological Society of Japan*, 80, 81-89 (in Japanese).
- Koroteev, V.A., De Boorder, H., Netchoukin, V.M., Sazonov, V.N. 1997. Geodynamic setting of the mineral deposits of the Urals. *Tectonophysics*, 276, 291-300.
- Large, R.R. 1992. Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits: features, styles, and genetic models. *Economic Geology* 87, 471-510.
- Large, R., Doyle, M., Raymond, O., Cooke, D., Jones, A. Heasman, L. 1996. Evaluation of the role of granites in the genesis of world class VHMS deposits in Tasmania. *Ore Geology Reviews* 10, 215-230.
- Leistel, J. M., Marcoux, E., Thieblemont, D., Quesada, C., Sanchez, A., Almodovar, G.R., Pascual, E., Saez, R. 1998. The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt. Review and preface to the special issue. *Mineralium Deposita* 33, 2-30.
- Lentz, D.R. 1999. Petrology, geochemistry, and oxygen isotope interpretative of felsic volcanic and related rocks hosting the Brunswick 6 and 12 massive sulfide deposits, Bathurst Mining Camp, New Brunswick, Canada. *Economic Geology* 94, 57-86.
- Lundström, I. 1987. Lateral Variations in Supracrustal Geology within the Swedish part of the Sout-

- hern Svecokarelian Volcanic Belt. Precambrian Research 35, 353-65.
- 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 Res* 4, 159-172.
- McCutcheon, S.R. 1992. Base-metal deposits of the Bathurst-Newcastle district: characteristics and depositional models. *Exploration and Mining Geology* 1: 105-119. (plus other papers in Number 2 of Volume 1 of EMG)
- Ohmoto, H., Skinner, J. 1983. The Kuroko and related volcanogenic massive sulfide deposits: Introduction and summary of new findings. *Econ. Geol. Mon.*, 5, 1-8.
- Okay, A.İ., Şahintürk, Ö. 1997. Geology of the eastern Pontides. *In: Robinson A.G. (eds), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Regions. American Association of Petroleum Geologists, Memoirs* 68, 291-311.
- Otofujii, Y., Matsuda, T., Nohda, T. 1985. Paleomagnetic evidence for the Miocene counter-clockwise rotation of northeast Japan. *Earth and Planetary Sci. Lett.*, 75, 265-278.
- Peccerillo, A., Taylor, S.R. 1975. Geochemistry of Upper Cretaceous volcanic rocks from the Pontic Chain, Northern Turkey. *Bull. Volcan.*, 39/4, 557-569.
- Peter, J.M., Goodfellow, W.D. 1996. Mineralogy, bulk and rare earth element geochemistry of massive sulphide-associated hydrothermal sediments of the Brunswick horizon, Bathurst Mining Camp, New Brunswick. *Canadian Journal of Earth Sciences* 33, 252-283.
- Polliand, M. 2002. Genesis, evolution, and tectonic setting of the Upper Cretaceous Perubar Ba-Pb-Zn volcanic-hosted massive sulfide deposit, central Peru. Unpub. Ph.D. thesis, Univ. Geneva, Switzerland.
- Polliand, M., Fontbote, L. 2000. The Perubar Ba-Pb-Zn deposit. Central Peru. VMS deposits of Latin America. *In: R.L. Sherlock and M.A.V. Logan (eds), VMS deposits of Latin America. Geological Assoc. Can. Public., Mineral deposit division, spec. Paper*, 2, 439-446.
- Prior, G.J., Gibson, H.L., Watkinson, D.H., Cook, R.E., 1999. Anatomy, lithogeochemistry and emplacement mechanism for the QP rhyolite, Kidd Creek Mine, Timmins, Ontario. *Econ. Geol. Mon.*, 10, 123-142.
- Puchkov, V.N., 1997. Structure and geodynamics of the Uralian Orogen. *In: Burg, J.P. and Ford, M. (eds), Orogeny through time. Geological Society, London Spec. Pub.*, 121, 201-236.
- Prokin, V.A., Buslaev, F.P. 1999. Massive copper-zinc deposits in the Urals. *Ore Geology Reviews*, 14, 1-69.
- Saif, S.I., 1983. Petrographic and geochemical characteristics of iron-rich rocks and their significance in exploration for massive sulfide deposits, Bathurst, New Brunswick, Canada. *Journal of Geochemical Exploration* 19, 705-721.
- Sangster, D.F., Scott. 1976. Precambrian strata-bound massive Cu-Pb-Zn sulfide ores of North America. *In Wolf, K.H., ed., Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits: Amsterdam, Elsevier*, 129-222.
- Sawkins, F.J. 1976. Massive sulphide deposits in relation to geotectonics: Geological Association of Canada Special Paper 14, 221-240.
- Schermerhorn, L.J.G. 1975. Spilites, regional metamorphism and subduction in the Iberian Pyrite Belt: some comments. *Geologie en Mijnbouw*, 54, 23-35.
- Sherlock, R.L., Michaud, M. 2000. VMS deposits of Latin America; an overview. *In: Sherlock, R.L., and Logan, A.V. (eds) VMS deposits of Latin America. Geological Assoc. Canada, Mineral Deposits Division, St. John's, Newfoundland, Spec. Pub.*, 2, 19-46.
- Solomon, M. 1976. Volcanic massive sulphide deposits and their host rocks- a review and explanation, *In: Wolf, K.A., ed., Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, II, Regional studies and specific deposits. Amst, Elsevier*, 21-50.
- Soriano, C., Marti, J. 1999. Facies analysis of volcano-sedimentary successions hosting massive sulfide deposits in the Iberian Pyrite Belt, Spain. *Economic Geology* 94, 867-888.
- Sundblad, K. 1994. A genetic reinterpretation of the Falun and Ammeberg ore types, Bergslage, Sweden, *Min. Deposita.*, 29, 170-179.

- Taira, A., Tokuyama, H., Soh, W. 1989. Accretion tectonics and evolution of Japan. *In: Ben-Avraham, Z. (eds), The evolution of the Pacific Ocean margins.* Oxford Univ. Press, 100-123.
- Tamaki, K., Suyehiro, K., Allan, J., Ingle, C., Pisciotto, K.A. 1992, Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP drilling. Proceedings of the Ocean drilling program, Scientific results, volume 127/128 (part 2). College Station, Texas, Ocean drilling program, 1333-1348.
- Thieblemont, D., Pascual, E., Stein, G. 1998. Magmatism in the Iberian Pyrite Belt: petrological constraints on a metallogenic model. *Mineralium Deposita* 33, 98-110.
- Tornos, F., Cesar Casquet, C., Jorge M.R.S., Relvas, J.M.R.S., Barriga, F.J.A.S., Reinaldo Saez, R. 2002. The relationship between ore deposits and oblique tectonics. The southwestern Iberian Variscan Belt. *In: Blundel, D.J., Neubauer, F. and von Quadt, A. (eds), Timing and location of major ore deposits in an evolving orogen.* Geo. Soc. Spec. Publ.,
- Weihed, P., Bergman, J., Bergstr.m, U. 1992. Metallogeny and tectonic evolution of the early Proterozoic Skellefte District, northern Sweden. *Precambrian Research* 58, 143-67.
- van Staal, C.R. 1987. Tectonic setting of the Tetagoche Group in northern New Brunswick: implications for plate tectonic models in the northern Appalachians. *Canadian Journal of Earth Sciences* 24, 1329-51.
- Vivallo, W., Claesson, L.A. 1987. Intra-arc rifting and massive sulphide mineralization in an early Proterozoic volcanic arc, Skellefte district, northern Sweden. *In: Pharaoh, T. C., Beckinsale, R. D. & Rickard, D. (eds) Geochemistry and Mineralization of Proterozoic Volcanic Suites.* Geological Society Special Publication 33, 69-79.