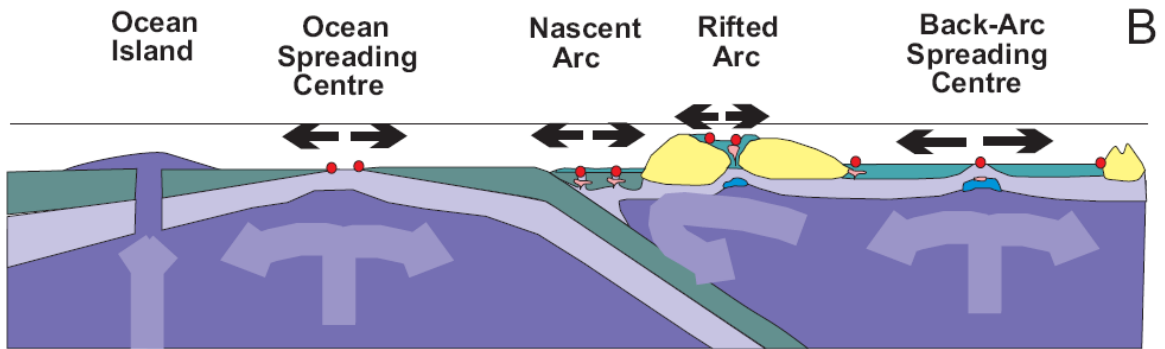
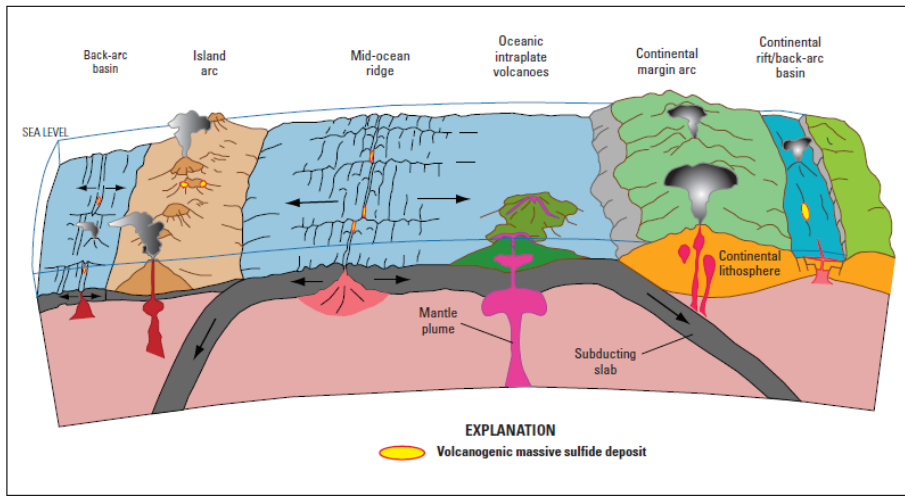


## VOLKANOJENİK MASİF SÜLFİT (VMS) YATAKLARI

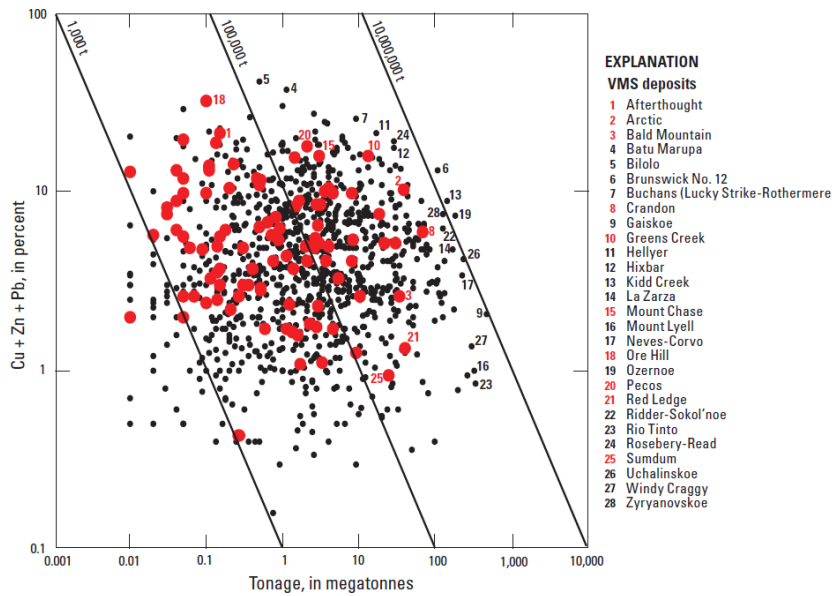
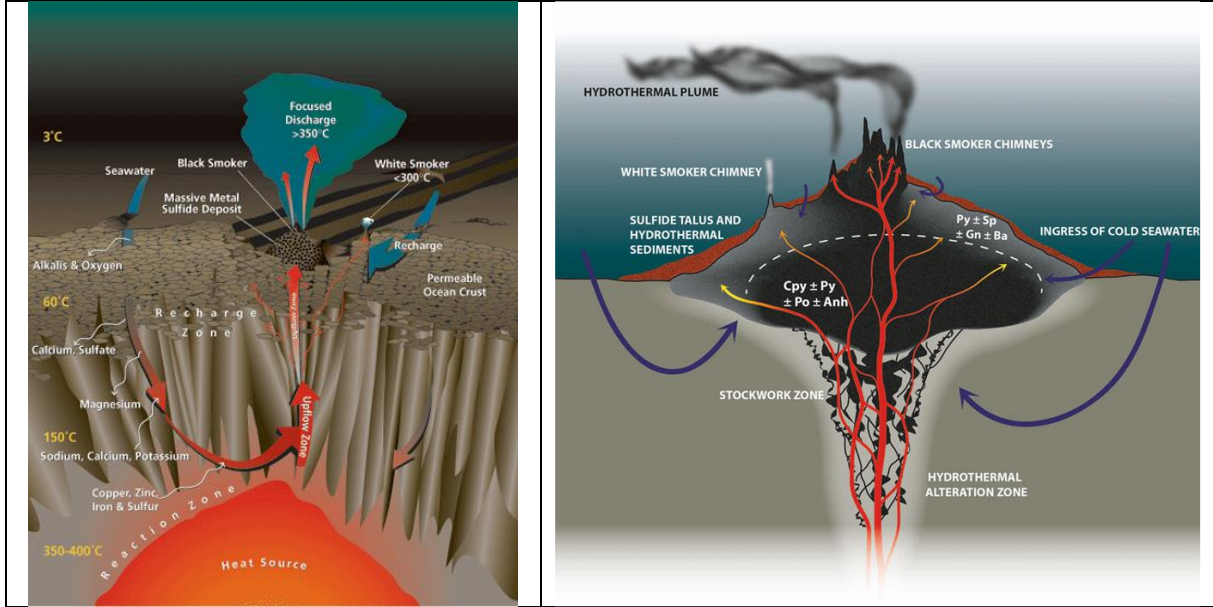
Hacim olarak yaklaşık %40'dan fazla sülfür minerali içeren kayaç yığılımları "masif sülfür" kütlesi olarak tanımlanır. Okyanus tabanında oluşan volkanizmayla ilişkili olan masif sülfür yatakları, genel olarak kalk-alkali magmatizma ürünüdür. Bu yatakların ilişkili oldukları konak kayalar bazalt, diyabaz gibi mafik ve ayrıca dasit, andezit, riyodasit, riyolit gibi felsik volkanik kayalar olabilir. Bununla birlikte, her yatakta volkanik birimlerle doğrudan bir ilişki gözlenmesi şart değildir (Örneğin, Kanada'daki Sullivan yatağı). Masif sülfürlerin bünyesinde bulunan kükürt ve metallerin ana kaynağının manto olduğu yönünde genel bir kabul olsa da son yıllarda yapılan çalışmalar deniz suyu ve bazaltın da (ortalama kükürt konsantrasyonu 800 ppm) önemli miktarda kükürt kaynağı olabileceğini göstermiştir.



Volkanojenik masif sülfür yataklarının büyüklüğü 1 tondan daha küçük oluşumlardan süper dev yığılımlara (Rio Tinto, İspanya, 1.5 milyar ton; Kholodrina, Rusya, 300 Mt; Windy Craggy, Kanada, 300 Mt; Brunswick, 230 Mt, Ducktown, 163 Mt, ABD) kadar değişmektedir. Volkanojenik masif sülfür yatakları 3.55 milyar yıl kadar yaşlı olmakla birlikte güncel oluşumlar da söz konusudur (deniz tabanında açılma rejimleri, ada yayları ve yay gerisi yayılma bölgeleri gibi).

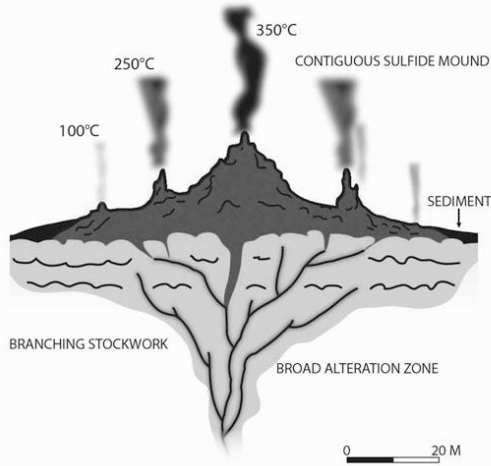
Farklı kaynaklardan türeyen metallerin oluşturduğu masif sülfür maden yatakları derin deniz ortamında sedimanter kayalara bağlı olarak oluşabileceği gibi (örneğin Sullivan ve Beşi Tipi yataklar) yine derin deniz ortamı olarak nitelendirilen okyanus ortası sırtlarda görülen

ofiyolitik kayalara bağı olarak da oluşabilir (örneğin Kıbrıs Tipi yataklar). Bu tür yataklarda görülen başlıca cevher mineralleri kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), pirit ( $\text{FeS}_2$ ), pirotin ( $\text{FeS}$ ), sfalerit ( $\text{ZnS}$ ) ve galendir ( $\text{PbS}$ ). Tipik gang mineralleri ise kuvars, barit, anhidrit, demir oksitler, klorit, serizit, talk ve bunların metamorfik eşlenikleridir. Daha az oranda altın, gümüş, kobalt mineralleri (linneit, kobaltin, smaltin), kobalt-pentlandit ve molibdenit ( $\text{MoS}_2$ ) bulunabilir.

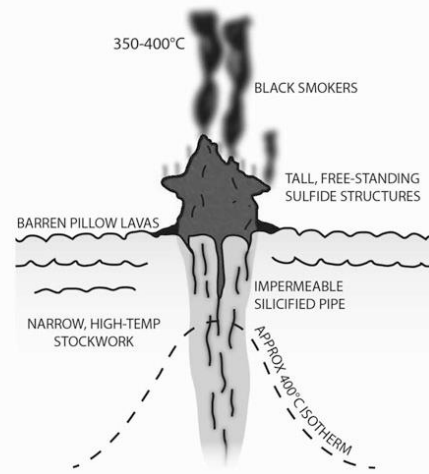


Cevher parajenezi Pb-Zn, Cu-Zn veya Pb-Cu-Zn şeklindeki metal birlikteliklerinden meydana gelir ve yatakların bazılarında düşey ve yanal zonlanma görülür. Çoğu yatakta, masif zonun altında birbirini kesen ve altere kayaç ve gangdan oluşan bir matris içinde sülfid damarları içeren magmatik sokulumlar mevcuttur. Konak kayalardaki alterasyon zonları genellikle iyi gelişmiş olup ileri arjilik (kaolen, alünit), arjilik (illit, serizit), serizitik (serizit, kuvars), kloritik (klorit, kuvars) ve profillitik (karbonat, epidot, klorit) türdedir.

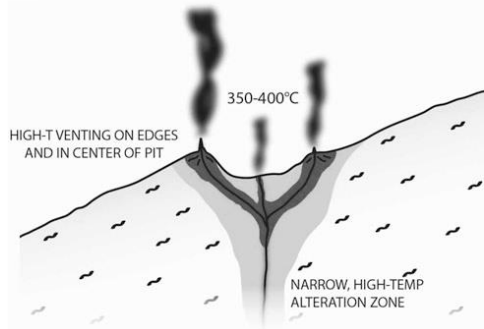
a GALAPAGOS-STYLE MOUND









b ENDEAVOUR-TYPE EDIFICE

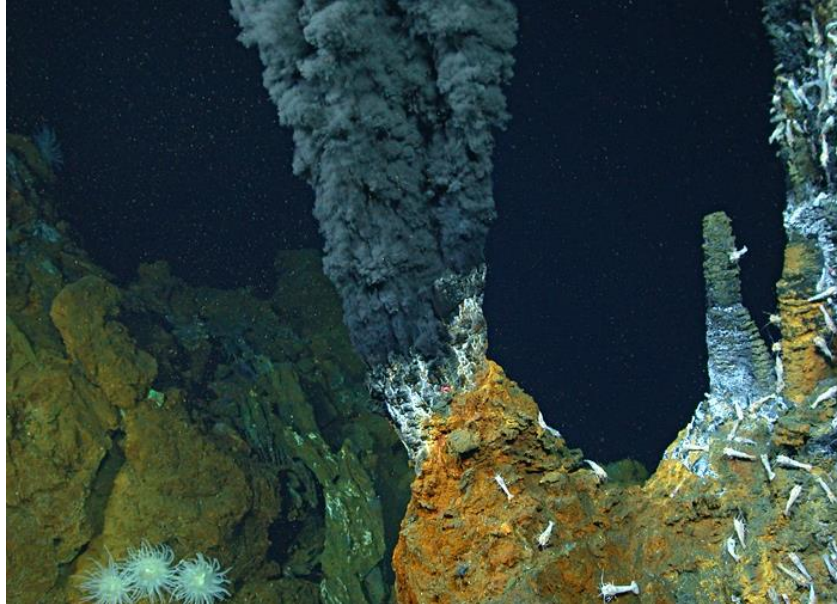


c LOGATCHEV-STYLE PIT



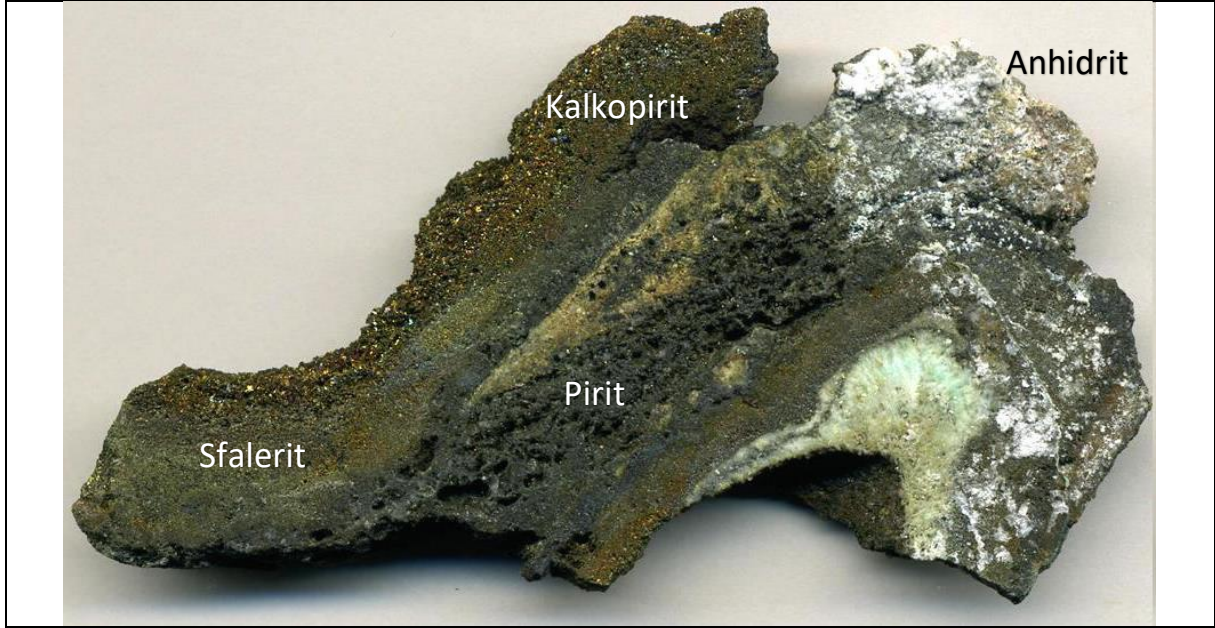
LEGEND:

-  Massive sulfide
-  Sulfide debris
-  Altered oceanic crust
-  Mafic oceanic crust
-  Ultramafic oceanic crust
-  Hydrothermal stockwork



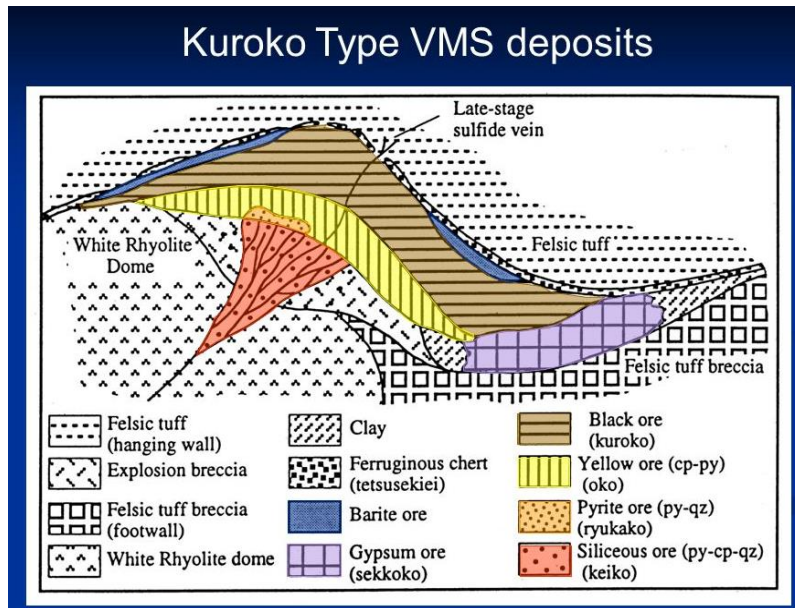
### Masif sülfür yataklarının sınıflandırılması

Masif sülfür yatakları farklı özellikleri göz önünde bulundurularak sınıflandırılmıştır. Jeotektonik sistemlerine göre masif sülfür yatakları 4 grup altında toplanır.



- 1) Kuroko Tip
- 2) Kıbrıs Tipi
- 3) Beşi Tip
- 3) Eksalatif sedimanter (SEDEX) tip yataklar

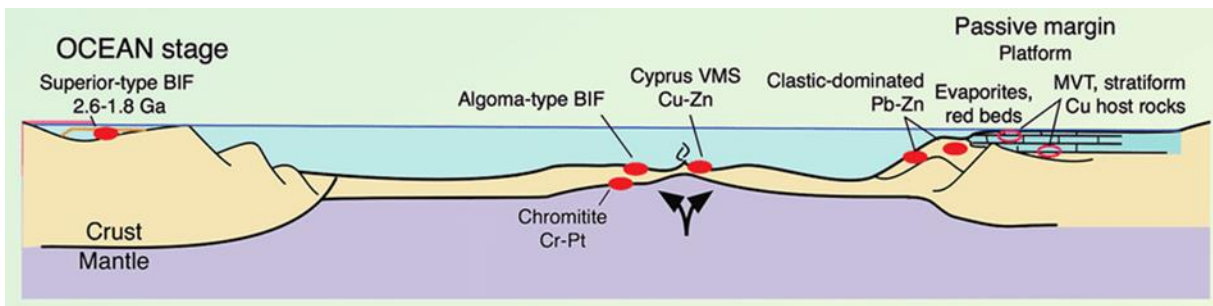
1) Ada yayı oluşumunun ileri bir evresinde ortaya çıkan ve felsik bileşimli volkaniklerle ilişkili yatakların en tipik örneği Japonya'da aynı isimli bölgedeki Kuroko yataklarıdır. Sığ denizel bir ortamda (yaklaşık 2.5 km derinlikte) oluşan bu tür cevherleşmeler dasit ve riyodasit bileşimli kırılanmış denizaltı volkanizmasıyla zaman ve mekan açısından yakın ilişki içindedir.



Gerilme tektoniğinin bir özelliği olarak, bazaltik kayalar da bu tip yataklara az oranda eşlik etmektedir. Bu yatakların metal içeriklerinde Pb, Zn, Cu, Au ve Ag yaygın olarak bulunur ve ayrıca önemli oranda barit, kuvars ve jips bunlara eşlik eder. Her ne kadar Kuroko tipi yatakların geometrisi ve metal içeriğinde bazı değişiklikler olsa da, bu tip yataklarda 3 tür cevherleşme gözlenir. Bunlar alttan üste doğru:

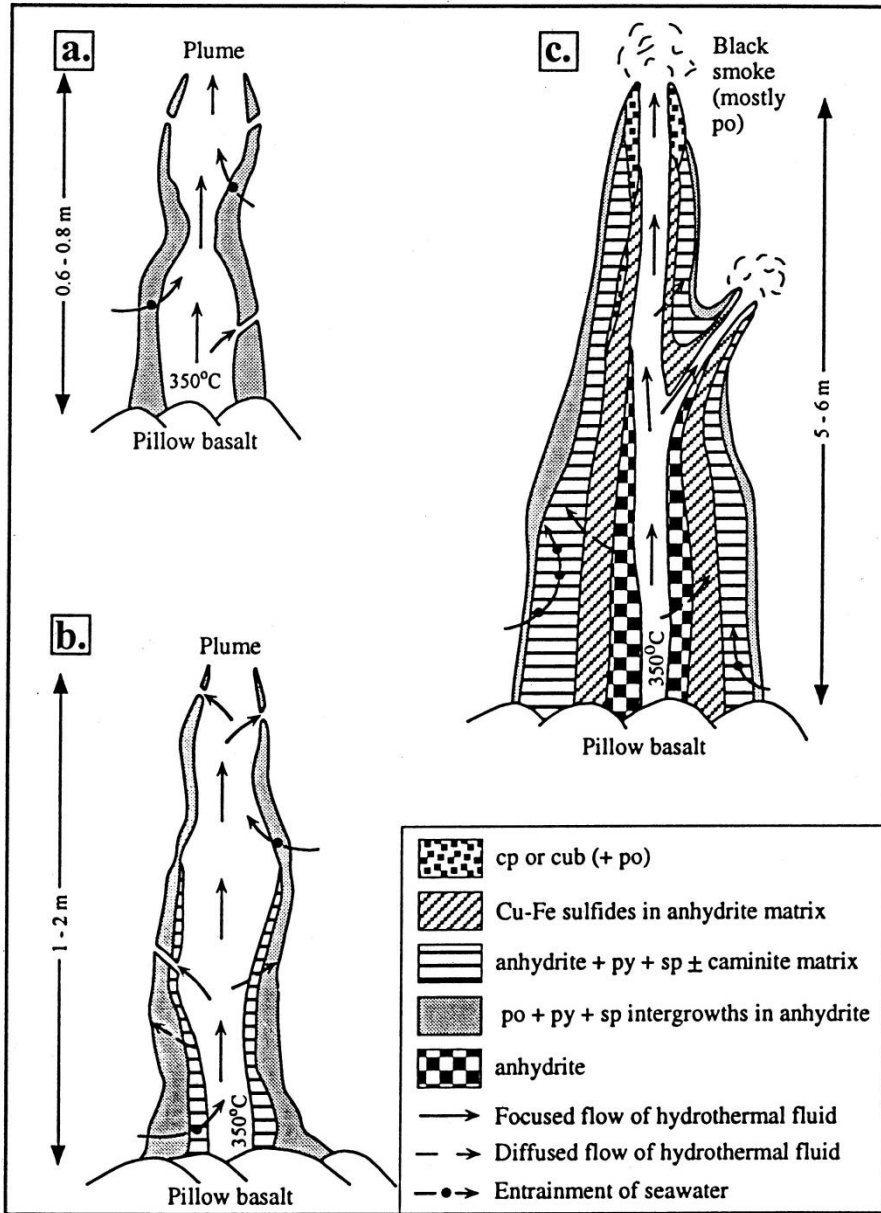
- Keiko (Silisli cevher): Cevher zonunun en alt kesiminde yer alır. Pirit ve kalkopirit içeren kuvars damarlarından ibarettir, bu nedenle silisli cevher olarak ta bilinir. Zonun tenörü düşüktür.
- Oko (Sarı cevher): Silisli cevherin üzerinde bulunur. Masif pirit ve kalkopiritten oluşur, bu nedenle sarı cevher olarak ta isimlendirilir.
- Kuroko (Siyah cevher): Cevher zonunun en üst kesiminde yer alır. Değişen oranlarda kalkopirit ve pirit ile birlikte galen, sfalerit ve barit içerir. Galenden dolayı siyah cevher olarak da isimlendirilir. Mercek şeklindeki Kuroko cevher kütlesi üzerinde Barit ( $BaSO_4$ ) ve demirli çörtler yer alır. Bu kesimde ayrıca çok az miktarda arsenik (realgar ve orpiment), Au, Ag ve Ni mineralleri de bulunur. Kuroko tipi masif sülfid yataklarında çoğu cevher kompakt ve masiftir. Ancak tabakalı, breşli veya koloform dokulara da rastlanır. Bu tip yataklarda zeolit fasiyesinde (düşük T, düşük P koşullarında gelişen metamorfizma) bölgesel metamorfizmaya fazlaca rastlanır. Ayrıca yoğun ayrışma sonucu dasitler, kuvars ve serisit birliklerine dönüşmüştür. Kuroko tipi yatakları diğer masif sülfid yataklardan ayırt etmek için Co/Ni oranından yararlanır. Kuroko tipi yataklarda bu oran 1'in altındadır. Bu tip yataklarda kuvars, sfalerit ve barit üzerinde yapılan sıvı kapanım çalışmalarında 200-300°C'lik sıcaklık aralıkları saptanmıştır. Ayrıca bu sıvılar üzerinde yapılan duraylı izotop ve sıvı kapanım çalışmalarında, cevher oluşturan başlıca akışkanın deniz suyu olduğu ancak cevher oluşumu sırasında diğer akışkanların da cevher oluşumuna katkıda bulunduğu ortaya konmuştur.

2-Kıbrıs tipi masif sülfid yatakları, genellikle ofiyolit bünyesindeki volkaniklerle ilişkili şekilde okyanus ortası veya yay gerisinde açılmakta olan sırtlarda oluşurlar. Dolayısıyla yataklardaki cevherlere eşlik eden kayalar da ofiyolit serisinin bazaltik bileşimli kayalarıdır.

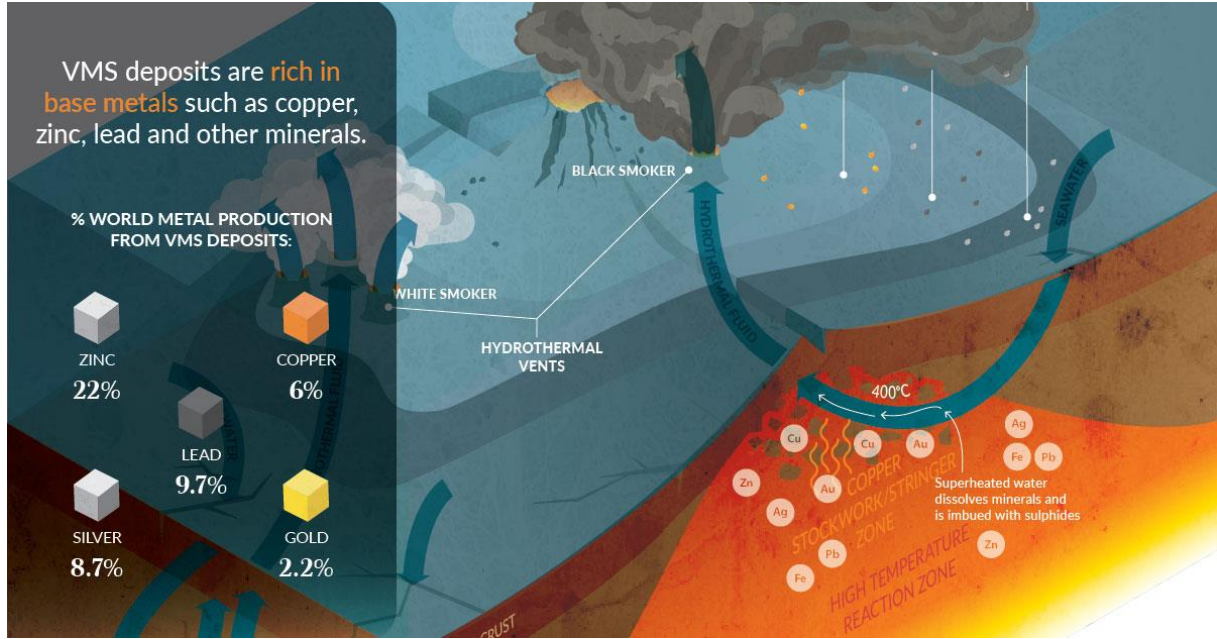


Bu tip yatakların en iyi örneği Kıbrıs Adasındaki Trodos plütonik karmaşığında yer alan 70 civarındaki masif sülfid kütlesidir. Copper eski Yunanca dilinde ada demektir. Yatak tipinin adı da buradan gelir. Bu tip yataklarda Cu ve Zn mineralleri daha yaygındır. Ayrıca altın, gümüş oranla daha yaygın izlenir. Yukarıda anlatılan deniz suyu girişimine dayalı model bu tip yatakların jenezi içinde geçerli bir modeldir. Yeni oluşmuş ve tam katılaşmamış, kırıklı-çatlaklı yapıya sahip okyanusal kabuğa nüfuz ederek derinlere inen deniz suyu, yukarıda anlatıldığı gibi ısınıp, metal açısından zenginleşerek yukarı çıkıp sığ derinliklerde ve deniz tabanlarında

Kıbrıs Tipi masif sülfid yataklarını oluştururlar. Bu tip yataklardaki kuvars zonlarında yapılan sıvı kapanım çalışmalarında 350°C'lik bir sıcaklık ve deniz suyu tuzluluğuna eşdeğer bir tuzluluk değeri saptanmıştır. Bu tip yatakları diğer masif sülfid yataklarından ayırmak için Co/Ni oranına bakılır. Bu oranın 1'den büyük olması gerekir.



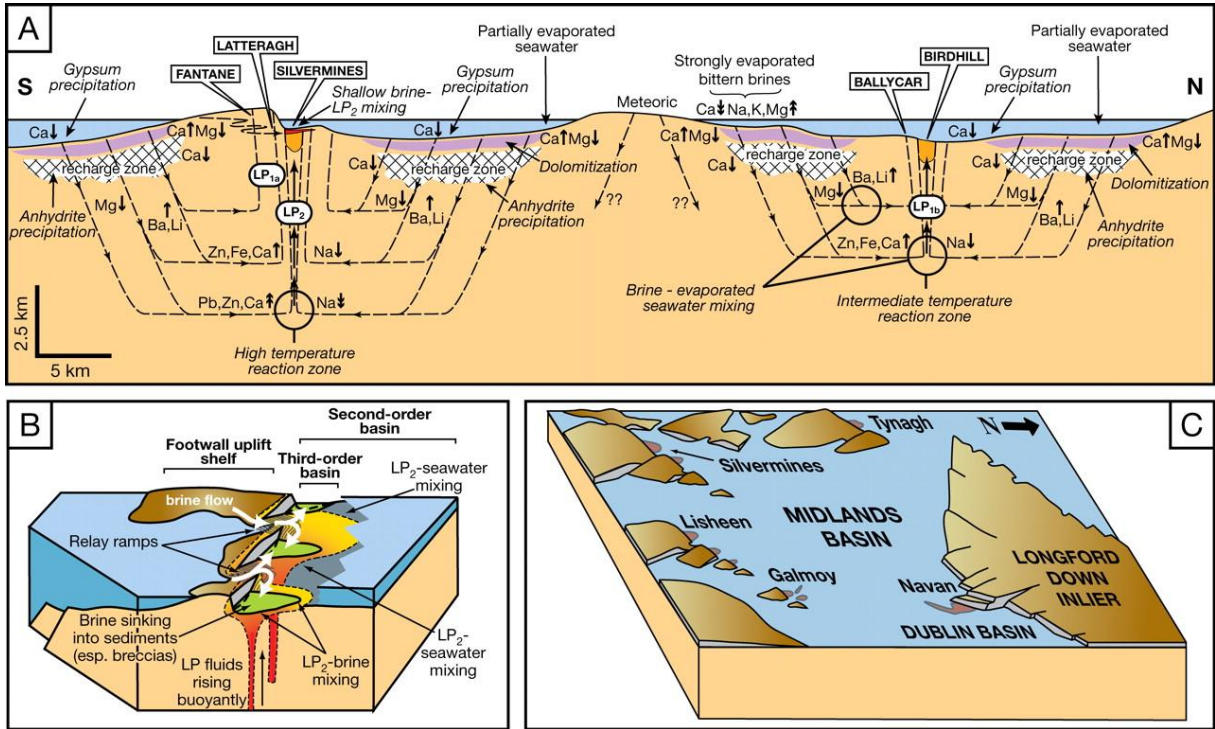
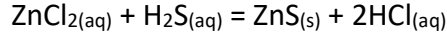
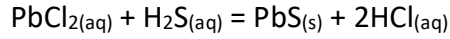
3-Beşi (Besshi) tipi masif sülfid yatakları, ada yayı oluşumunda, ana kalk-alkalin evrenin başlangıcı ile ilişkilidirler. Yataklar çoğunlukla derin deniz fasiyesinde oluşmuş karbonatlı çamur taşları veya kuvarsitlerle beraber, nötrden bazıya kadar değişen volkanik kayalarla beraber bulunurlar ve kalın grovak seviyeleriyle karakterize olurlar. Yatakların en karakteristik örneği, Japonya'da bulunan Besshi Cu-Zn yatağıdır. Bu tip yataklar oldukça ince bir zon halinde fakat yaygın olarak bulunurlar. Beşi tipi yatakların mineral parajenezinde Cu, Zn, Au ve Ag mineralleri bulunur. Beşi yataklarında Co/Ni >1'dir, bu nedenle Kıbrıs tipi yataklara benzerler. Ancak ana kayaları ve arazi konumları ile Kıbrıs tipinden ayrılır.



4- Eksalatif sedimanter (SEDEX) tip yataklar (Sullivan tip) diğer masif sülfid yataklara göre bazı farklılıklar gösterirler. Bileşimlerinde daha fazla Pb, Zn, Ag (Cu) mineralleri vardır. Ayrıca SEDEX tipi yatakların volkanizmaya ilişkisi yok denecek kadar azdır. Bu tip yataklara sedimanter kayaların eşlik ettiği masif sülfid yatakları demek daha doğrudur. Bu tip yataklar, denizel şeyl veya silttaşı veya bunların eşdeğerleri olan metamorfik kütleler (metasedimanter kayalar) içinde yer alırlar. Volkanik malzeme önemsenmeyecek kadar azdır. Bazı durumlarda karbonat ve çörtlü görmek mümkündür. SEDEX tipi yataklar kalın bir kırıntılı seri içinde oluşurlar. Cevherleşme pasif kıta kenarları veya kıta içi riftleşmeye bağlı olarak gelişen faylarla kontrol edilir. Yatakların oluşması sırasında suyun derinliği kesin olarak bilinmemekle beraber, cevherli akışkanların kaynamaması için 400 m ve üstü bir derinliğin olması gerekmektedir. Ayrıca bu tip yataklarda gözlenen zayıf bantlaşmaların varlığı daha derin denizel ortamların olabileceğini düşündürmektedir. Bu tip yataklarda yatay ve düşey yönde zonlu metal birliklerine rastlamak olasıdır. Bu tip yatakların en karakteristik örneği British Kolombiya'daki Sullivan Pb-Zn yatağıdır. SEDEX yatağında cevher oluşumları çoğunlukla uyumlu ve bantlı yapıda olup, ana bileşeni pirittir, buna değişen oranlarda Cu, Pb, Zn ve barit ile Au ve Ag eşlik etmektedir.

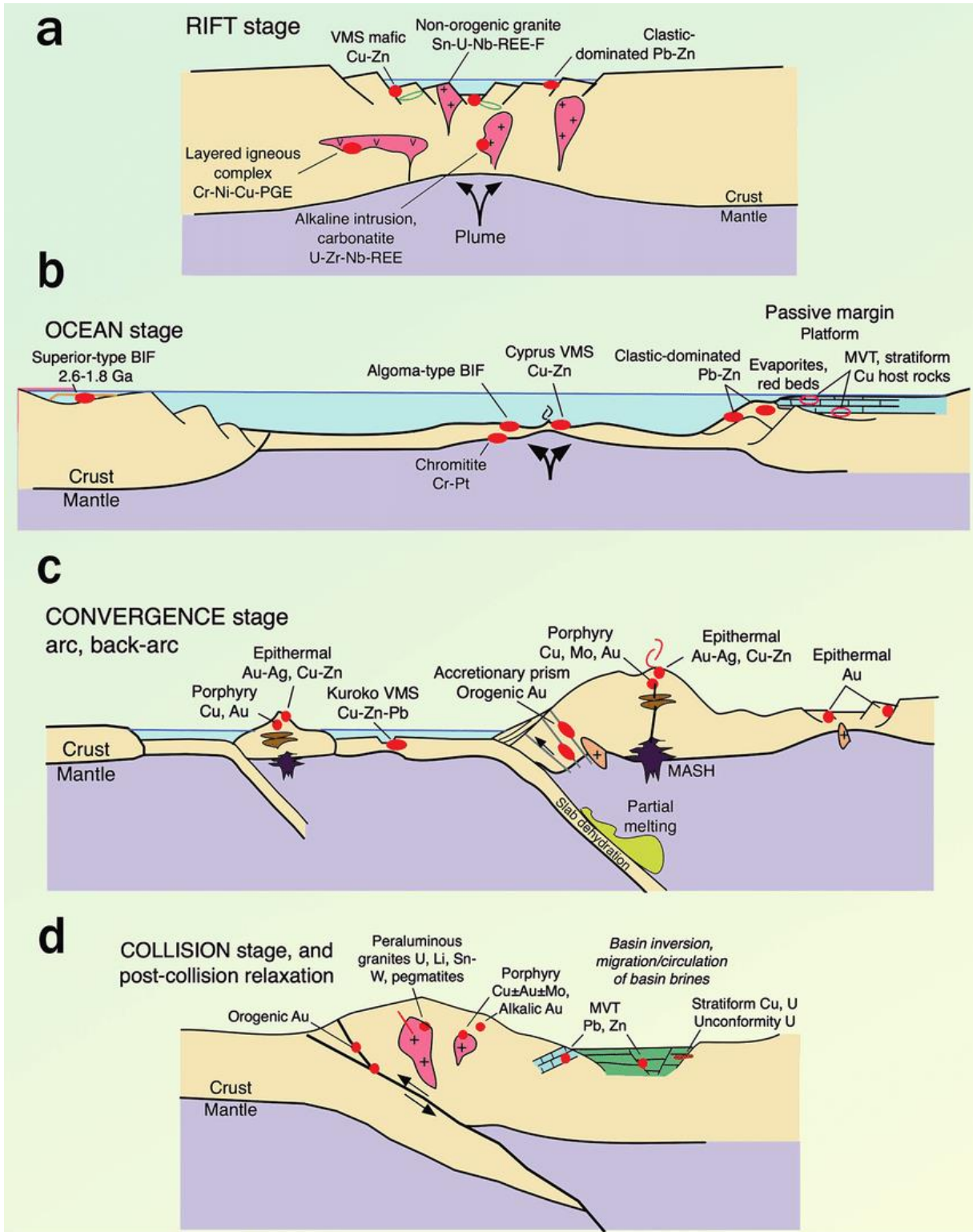
SEDEX tip yataklar stratiform, masif sülfid mercekleri şeklinde görülür. Alterasyon genellikle silisleşme şeklindedir. Stratiform mercekler 40 km kadar kalınlıkta olup yanal uzanımları ise 100 km'yi bulabilir. Merceklerin altında ağsal veya damar şeklinde cevherleşme gelişmiştir. Konak kayaların litolojisi şeyl, silttaşı ve karbonatlar olabileceği gibi (düşük enerjili ortam), moloz akımları, konglomera ve breşlerin geliştiği yüksek enerjili ortamlar da söz konusu olabilir. Kayaların infiltrasyon ile etkileşimi sonucu ilk aşamada demir, manganez ve silika çözünür. Daha derin su sirkülasyonu ile sıcaklık artarak kurşun ve çinko çözünür. Daha da artan su çevrimi ile bu elementlere bakır eşlik eder. Deniz suyunun kayalarla tepkimesi sonucu sülfat termokimyasal yolla indirgenir. Böylece, ortaya çıkan cevherli çözeltiler daha tuzlu, ılık (90-270°C), metalce ve indirgenmiş hidrotermal kükürt (H<sub>2</sub>S) zengin hale gelir. Tuzlu

hidrotermal akışkanların temeldeki sinesedimenter faylar boyunca yukarı hareketi ılık ve metalce zengin çözeltinin yüzeye yakın soğuk H<sub>2</sub>S içeren gözenek sularıyla karışmasına neden olur. Böylece sıcak olan cevherli akışkan ani şekilde soğur ve seyrelir. Bu süreç sonucunda metaller hidrotermal ve bakteriyel H<sub>2</sub>S ile bileşik yaparak sfalerit (ZnS) ve galen (PbS) cevher minerallerini oluştururlar.



İrlanda Midlands bölgesindeki yatakların oluşumunu gösteren modelleme. A) Temel kayalar içinde hidrotermal akışkanların sirkülasyonunu gösteren şematik kesit. Bu su çevrimi metal çözülmesine ve deniz suyundaki sülfatın sülfite (H<sub>2</sub>S) indirgenmesine yol açar. B) temeldeki faylar, deniz tabanı topoğrafyası ve çeşitli çözeltiler arasındaki potansiyel karışım süreçleri ile cevherleşme ortamını gösteren 3-B karton.





(Arndt vd. 2017)

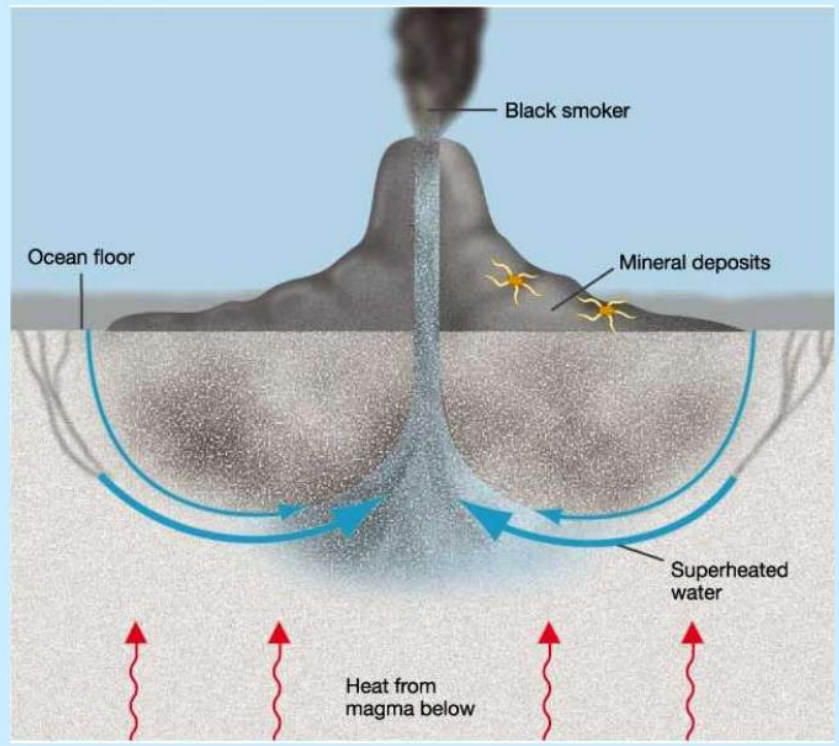
### Türkiye'deki volkanojenik masif sülfid yatakları (Çiftçi, 2019).

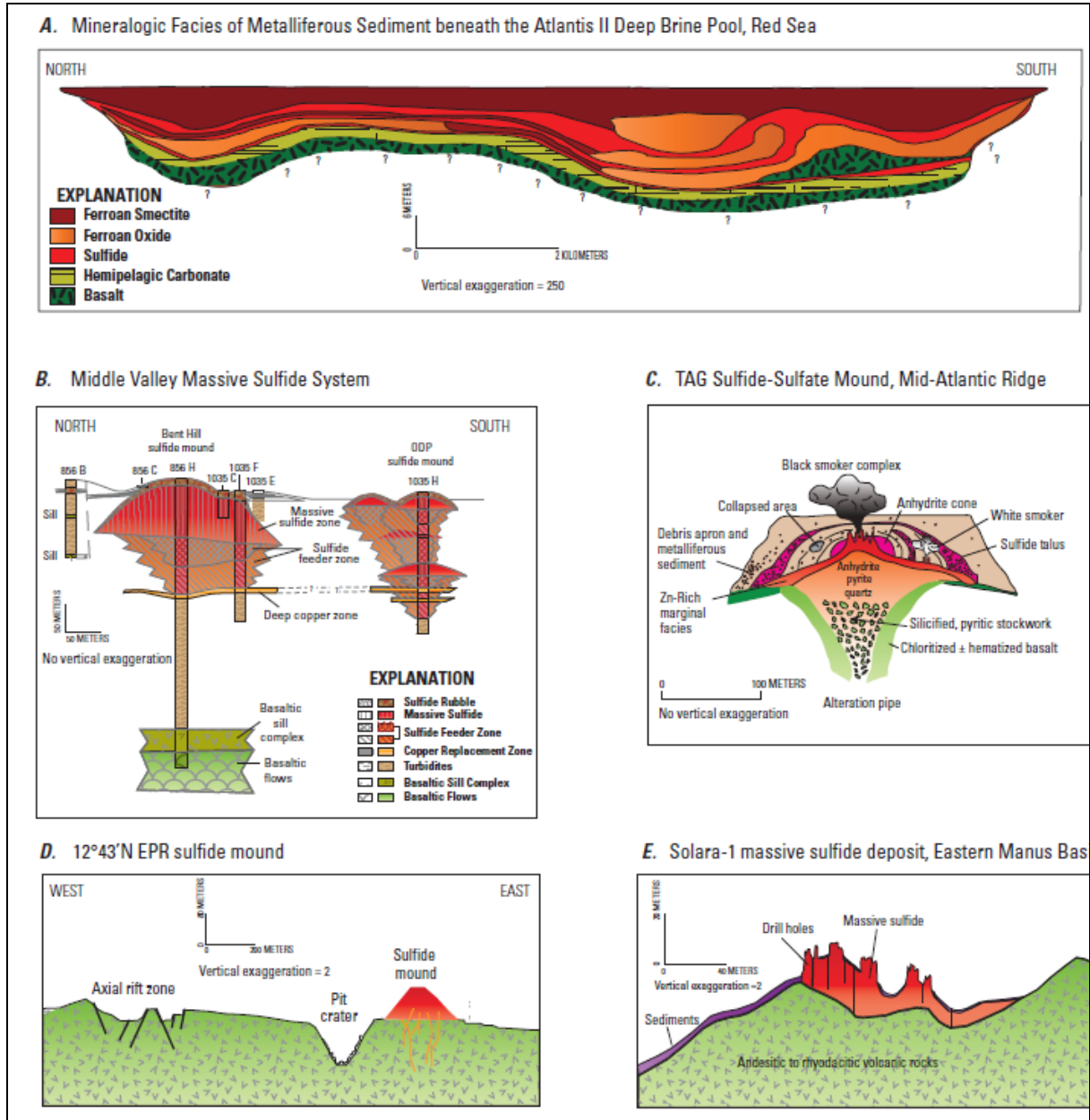
Ülkemizdeki volkanojenik masif sülfid yatakları tektonik olarak üç farklı bölgede yoğunlaşmıştır: doğu Pontid tektonik kuşağındaki Kuroko yatakları, Küre (Kastamonu) ve Bitlis-Zagros kent zonu boyunca oluşmuş Kıbrıs tipi yataklar ve Hanönü–Taşköprü alanlarında (Kastamonu) görülen Besshi tip VMS yataklar.

Kuroko tip VMS yatakları, doğu Karadeniz sahiline paralel uzanan ve dar bir zonda yüzeyleyen dasitik ve riyoitik lavlar ve piroklastiklerden oluşan üst Kretase yaşlı felsik volkaniklerle ilişkilidir. Bu yataklar Cu, Zn-Cu, Cu-Zn ve Zn-Pb-Cu metal birlikteliklerinden oluşur. Yataklardan esas olarak Cu, Zn ve Pb çıkarılır. Bazılarında önemli miktarda altın (Cerattepe ve Hod yatakları - Artvin) ve gümüş (Köprübaşı yatağı - Giresun) mevcuttur.

Bitlis-Zagros kent zonu boyunca oluşan Kıbrıs tipi yataklar tamamıyla allokton karakterli olup dalma-batma zonuna ait mafik volkaniklerle ilişkilidir. (I) mafik volkanikler ve pelajik sedimanlardan (kçt blokları) oluşan orta Eosen Maden Karmaşığı ve (II) tektonik olarak bindirmeli pelajik kayaç, platform karbonat, klastik sediman, serpantin ve mafik volkanit dilimlerinden oluşan geç Triyas-geç Kretase Koçali Karmaşığı. Başlıca yataklar Madenköy (Şirvan-Siirt) ve Maden (aka Ergani) (Maden-Elazığ) yataklarıdır. Madenköy 40 Mt rezerve sahip olup Türkiye'deki en büyük yataktır. Bu iki yatak Maden Karmaşığı içinde Ortaklar (Gaziantep) yatağı ise Koçali Karmaşığı içindedir. Küre bölgesinde görülen VMS yatakları da allokton karakterli olup geç Triyas yaşlı Küre Karmaşığının (dalma-batma zonu ofiyolitleri ile iç içe bindirme fayları ile dilimlenmiş kalın bir derin deniz sediman sekansı) mafik volkanikleri-siyah şeylleri içinde oluşmuşlardır. Aşıköy, Toykondu, Kızılsu ve Bakibaba yatakları başlıca oluşumlardır.

Besshi tip VMS yatakları nispeten yeni keşfedilmiştir. Bu yataklar Hanönü-Taşköprü bölgesinde yüzeyleyen düşük-derece metamorfizma geçirmiş silisiklastik sedimantar kayaçlardan meydana gelmiş Akgöl formasyonu içinde oluşmuştur. Bu birimler ensimatik ada yayı volkanikleri ve yay önü havza çökelleri, okyanusal kabuk kalıntıları ve volkanoklastiklerden yapıları orta Jura yaşlı Çangaldağ Karmaşığı içinde görülür. Bu bölgedeki başlıca yataklar (Zeybek, Hanönü, Gökirmak ve Cozoğlu) düşük tenörlü olup 25 Mt rezerv barındırırlar.





Deniz tabanı masif sülfür yatakları için temsili örnekler. A) metal içerikli çamur fasiyesine ait kesit, Atlantis II Deep, Kızıl Deniz, B) Bent Hill ve Okyanus Sondaj Programı (ODP) masif sülfür yatakları, orta vadi, Juan de Fuca Rifti, C) Trans-Atlantik Jeotermal (TAG) sülfat-sülfür tepesi, orta Atlantik Rifti, D) 13°N sülfür tepesi, Doğu Pasifik yükselimi, E) Solara-1 masif sülfür yatağı, doğu Manus havzası.

