

GİRİŞ

Maden (cevher) ve maden yatağı nedir?

Yerküreden çeşitli türde emtia (kıymetli varlık) çıkarılmaktadır; madenlerden mineral ve kayaçlar, pompalama yoluyla veya kendi basınçları ile yeryüzüne ulaşan hidrokarbon akışkanlar ve gazlar ve jeotermal enerji olarak kayaçların ısısı. Bu kapsamda, madenlerden çıkarılan her şey maden yatağı olarak düşünülebilir.

Ticarette kullanılan ürün ve malların tümüne emtia adı verilir. Emtialar çoğunlukla diğer malların veya hizmetlerin üretiminde girdi olarak kullanılır. Emtia ürünlerinin işlem gördüğü piyasa emtia borsası olarak adlandırılır. İlk borsa olarak gösterilen Amsterdam Borsası, mal alışverişinin gerçekleştirildiği ilk emtia borsası olarak bilinir. Şeker, buğday, kahve, mısır, pamuk gibi tüketim ürünlerinin yanı sıra altın, bakır, gümüş, petrol gibi ticarete konu olan ürünlerin tümü emtia olarak adlandırılır. Emtia olarak kabul edilebilir olmak için 3 şartın sağlanması gereklidir:

1. Tarımsal ve endüstriyel ürünlerin "ham" durumda olması,
2. Raf ömrünün bulunması ve
3. Fiyatının ürün için bir pazar yaratmayı haklı çıkaracak kadar değişiklik göstermesidir.

Emtia borsaları, işlem gören malların fiyatlarını belirlemez. Emtia fiyatlarını belirleyen başlıca ölçüt arz-talep ilişkisidir. Mevsimsel faktörler, doğal afetler ve ekonomik gelişmeler de emtia piyasasını doğrudan etkiler.

Ne tür emtialar maden yatağı tanımına dâhil edilmelidir?

Bir maden yatağının yukarıda bahsedilen ekonomik tanımı:

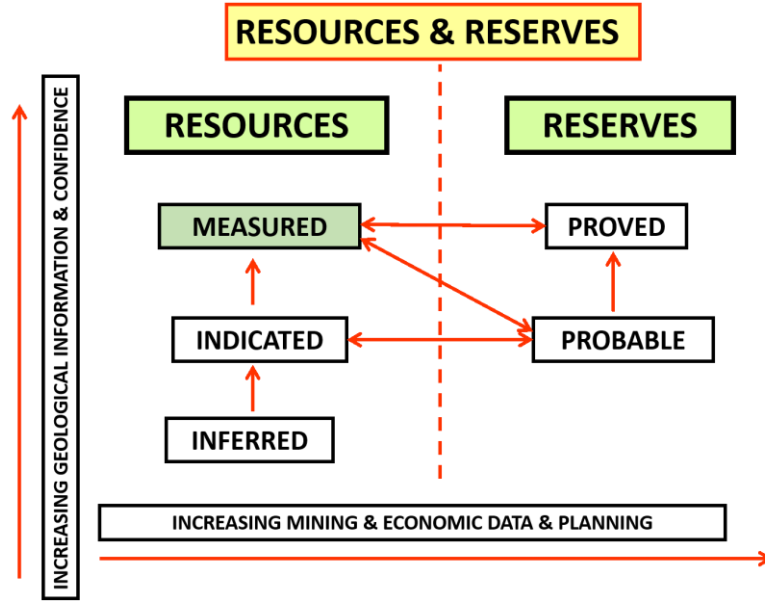
- ✓ Metal cevherleri,
- ✓ Değerli taşlar,
- ✓ Endüstriyel kimyasalların üretiminde hammadde olarak kullanılan mineral cevherleri,
- ✓ Endüstriyel ürünlerde kullanılan mineral cevherleri,
- ✓ Yapıtaşları için agrega olarak kullanılan kayaçlar,
- ✓ Kömür ve bitümlü şist

Üretim hacmi (tonaj) göz önüne alındığında, cevherlerin aksine kömür ve yapı malzemelerinin madenlerden çıkarılan başlıca emtialar oldukları görülür (Tablo 1). Bununla birlikte, demir cevheri hariç tutulduğunda, çeşitli endüstriyel hammaddelerin üretim miktarlarının tüm metallerin toplamından daha fazla olması dikkat çekicidir. Bazı metallerin (Fe, Al, Cu, Zn, Ni, Au gibi) üretimi de katma değer açısından listede ilk sıralarda yer almakta ve bunların her biri dünya ekonomisine yaklaşık %0.1 dolar değeri katkı sağlamaktadır. Çoğu yüksek-tonajlı emtialar ile karşılaştırıldığında, metallerin düşük-tonajlı ancak yüksek-katma değerli ürünler olduğu görülür. Metallerin taşınabilir olması dünya ticaretinde önemli bir paya sahip olmalarını sağlamıştır. Endüstriyel kullanımı piyasanın yaklaşık yarısını oluşturan elmas dışında, kıymetli taşlar hem tonaj hem de katma değer açısından emtia listesinin en altında yer alırlar.

Bir maden yatağı nelerden oluşur?

Maden yatağı bir veya birden fazla cevher gövdesinden meydana gelebilir. Bunlar katma değerli emtianın çıkarıldığı cevherli kayaca ait kütlelerdir. Bir cevher kütleindeki tüm cevheri üretmek mümkün değildir. Cevher gövdeleri rezerv ve kaynak olarak ayrılırlar. Bu terimler birçok ülkede belirgin legal bir anlam taşımakla birlikte, genel olarak, rezervler, ekonomik olarak uygun şekilde üretilebilir ve yeraltından çıkarılmalarına yönelik herhangi bir

yasal veya mühendislik engelin olmadığı cevherleri kapsar. Kaynaklar ise gelecekte (herhangi bir zamanda) yeraltından çıkarılabilecek potansiyel cevherlere karşılık gelir. Hafriyata yönelik mühendislik kısıtlamalar hangi cevherin ekonomik madencilik için uygun olduğunu belirler. Bir cevher kütlelerinin madenciliği açık ocaktan, yeraltı madeninden veya bunların kombinasyonu şeklinde olabilir (Şekil x).



Arama sonuçları (Exploration Results)

Arama sonuçları, yatırımcıların kullanımına açık olmakla birlikte Maden Kaynakları ve Maden Rezervleri keşfi ile sonuçlanmamış maden arama programları ile üretilen verileri kapsar.

Maden Kaynağı (Mineral Resource)

Maden Kaynağı, yer kabuğu üzerinde veya içinde ekonomik kazanç sağlayan ve tenör, kalite ve miktar açısından ekonomik olarak işletilmesi mümkün alanlarda yuvalanmış taşçıl oluşumdur. Maden Kaynağının lokasyon, kalite, tenör veya miktarı, devamlılığı ve diğer jeolojik özellikleri, örnekleme de dâhil olmak üzere jeolojik kanıt ve bilgi ile hesaplanmış veya değerlendirilmiştir.

Tenör, bir cevherin içerdiği değerli metal miktarıdır. Yapısında yüksek konsantrasyonlu metal içeren (bakır, demir vb.) cevherlerin tenörü ağırlık yüzdesi (%) ile ifade edilir. Altın ve benzeri asal metallerin tenörü ise tonda gram (g/ton veya ppm) şeklinde gösterilir. **Sınır tenör** ekonomik cevher ile ekonomik olmayan cevherin (atık/pasa) ayrıldığı tenör şeklinde ifade edilebilir.

Çıkarılmış Maden Kaynağı (Inferred Mineral Resource)

Çıkarılmış Maden Kaynağı, kalite, tenör veya miktarı sınırlı jeolojik kanıt ve örneklemeyle dayanılarak belirlenmiş Maden Kaynağı bölümüdür. Jeolojik kanıt, tenör veya kalite devamlılığına işaret edecek kadar yeterli olsa da teyit edici değildir. Çıkarılmış Maden Kaynağı, Belirlenmiş Maden Kaynağına göre daha düşük güven düzeyine sahiptir ve bu nedenle, Maden Rezervine dâhil edilmemelidir. Çıkarılmış Maden Kaynaklarının büyük bir kısmı arama çalışmalarının devam ettirilmesiyle Belirlenmiş Maden Kaynağına dönüştürülebilir.

Belirlenmiş Maden Kaynağı (Indicated Mineral Resource)

Belirlenmiş Maden Kaynağı kalite, tenör veya miktar, yoğunluk, şekil ve fiziksel özellikleri madencilik uygulamasına ve yatağın ekonomik fizibilitesinin değerlendirilmesine olanak sağlayacak düzeyde tespit edilmiş Maden Kaynağı bölümüdür. Yeterli derecede detaylandırılmış ve güvenilir etüt, örnekleme ve test uygulamalarından elde edilen jeolojik kanıtlar, gözlem noktaları arasındaki jeolojik ve tenör veya kalite devamlılığının sağlandığını teyit etmektedir. Belirlenmiş Maden Kaynağı, Ölçülmüş Maden Kaynağına göre daha düşük güven düzeyine sahiptir ve sadece Muhtemel Maden Rezervine dönüştürülebilir.

Ölçülmüş Maden Kaynağı (Measured Mineral Resource)

Ölçülmüş Maden Kaynağı kalite, tenör veya miktar, yoğunluk, şekil ve fiziksel özellikleri detaylı madencilik uygulamasına ve yatağın nihai ekonomik fizibilitesinin değerlendirilmesine olanak sağlayacak düzeyde tespit edilmiş Maden Kaynağı bölümüdür. Yeterli derecede detaylandırılmış ve güvenilir etüt, örnekleme ve test uygulamalarından elde edilen jeolojik kanıtlar, gözlem noktaları arasındaki jeolojik ve tenör veya kalite devamlılığının sağlandığını teyit etmektedir. Ölçülmüş Maden Kaynağı Çıkarılmamış Maden Kaynağı veya Belirlenmiş Maden Kaynağına göre daha yüksek güven düzeyine sahip olup Muhtemel veya Görünür Maden Rezervine dönüştürülebilir.

Maden Rezervi (Mineral Reserve)

Maden Rezervi, Ölçülmüş ve/veya Belirlenmiş Maden Kaynağının ekonomik olarak işletilebilir kısmıdır. Belirleyici faktörlerin uygulamaya konulduğu Fizibilite öncesi veya Fizibilite çalışmaları ile belirlenen rezerv, emtianın yeraltından çıkarılması sırasında karşılaşılabilecek olası kayıplar ve gang materyalini de kapsamaktadır. Bu tür çalışmalar sonucunda hazırlanan raporda, ekstraksiyon işlemi teyit edilir. Genellikle cevherin işletme tesisine gönderildiği noktaya karşılık gelen ve rezerv belirlendiği referans noktası belirtilmiş olmalıdır.

Muhtemel Maden Rezervi (Probable Mineral Reserve)

Muhtemel Maden Rezervi, Belirlenmiş veya bazı durumlarda Ölçülmüş Maden Kaynağının ekonomik olarak işletilebilecek kısmına karşılık gelir. Bir Muhtemel Maden Rezervine uygulanacak belirleyici faktörlerin güven düzeyi Görünür Maden Rezervine uygulananlara göre daha düşüktür.

Görünür Maden Rezervi (Proved Mineral Reserve)

Görünür Maden Rezervi, Ölçülmüş Maden Kaynağının ekonomik olarak işletilebilecek kısmına karşılık gelir. Görünür Maden Rezervine uygulanan belirleyici faktörler yüksek derecede güven düzeyine sahiptir.

Maden Jeolojisi ve ilgili alanlar

Cevherden ekonomik bir emtianın üretilmesi

Cevher içinde cevher mineralleri diğer mineraller (gang) ile iç içedir. Bu nedenle, cevherin (değerli minerallerin) öğütme yolu ile bunlardan ayrılması gerekir. Bu işlem, ekonomik minerallerin gang kısımdan flotasyon (yüzdürme) adı verilen bir teknik kullanılarak ayrılması olarak tanımlanabilir. Çoğu metallik cevher minerali serbest halde (nabit) değildir ve genellikle içinde metallerin bir arada bulunduğu bileşikler şeklinde oluşmuştur. Bu nedenle, saflaştırılmaları gerekir. Benzer şekilde çoğu endüstriyel hammaddenin de satışa sunulmadan önce zenginleştirilmesi (proses edilmek) gerekir. Cevher proses yöntemi (flotasyon, rafineri ve ekstraksiyon gibi), cevher mineralojisi ve cevherin fiziksel özellikleri

göz önüne alınarak seçilmelidir. **Ekstraksiyon** bilimi kimya ve mühendislik ile yakından ilişkili olup *ekstraktif metalürji* olarak bilinen çalışma alanını oluşturur.

Cevher mineralojisi

Cevher minerallerinin birçoğu göreceli nadir minerallerdir. Bazıları da aksesuar mineral şeklinde çeşitli türde magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlarda yaygın olarak görülür. Diğerleri ise sadece cevher içinde bulunur. Serbest metaller, sülfidler, sulfo-tuzları, oksitler ve hidroksitler, bazı silikatlar ve karbonatlar önemli cevher mineralleridir (Tablo 2).

Goldschmidt'in elementleri dört ana gruba ayırdığı sınıflama esas olarak elementlerin bağ ilişkisine dayanmaktadır. Bu sınıflama, orijinal olarak Yerkürenin çekirdek, silikat mantosu ve atmosfer şeklinde kimyasal olarak farklılaşmasını açıklamak için önerilmiştir.

- ✓ Litofil elementler: Oksijen ile bileşik yapan ve esas olarak oksit ve silikat minerallerinde yer alan elementler,
- ✓ Kalkofil elementler: Kükürt ile bileşik yapan ve esas olarak sülfid minerallerinde yer alan elementler,
- ✓ Siderofil elementler: Serbest metal ve alaşımları şeklinde bulunan elementler,
- ✓ Atmofil elementler: elementsel gazları oluşturan elementler.

Tablo 1'e bakıldığında, ekonomik açıdan önem taşıyan metallerin çoğunun kalkofil veya siderofil element oldukları görülür (örneğin Ag, Au, Cu, Pb, Pt). Madencilik nispeten kolay ve düşük maliyetli olması serbest metal ve sülfid minerallerinin bu sektörde uzun yıllardır ilk sıralarda yer almasını sağlamıştır. Sülfid minerallerindeki kimyasal bağ çoğunlukla kovalent karakterde olduğundan metali cevher kayasından sökmek için daha az enerjiye ihtiyaç duyulur. Oksitlerin ve silikat minerallerin çoğunda kimyasal bağın iyonik olması nedeniyle, bu minerallerden metallerin zenginleştirilmesine yönelik teknolojik gelişmeler ancak yirminci yüzyıldan itibaren mümkün olmuştur.

Kısa soru: Aşağıdaki demir minerallerini işletme maliyeti ve demir bolluğu açısından sıraya koyunuz.

Pirit, hematit, manyetit

Cevherlerin çok sayıda metal için ekonomik tenör değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Metallerin çoğu için madencilik için uygun ekonomik tenör değerleri madencilik ve ekstraksiyona yönelik teknolojik gelişmeler ve düşen nakliye maliyeti nedeniyle zaman içinde azalmıştır. Bir cevherin ekonomik aralıkta yer alması için, bazı ana elementlerin zenginleşme faktörünün ortalama konsantrasyondan (Klark konsantrasyonu) birkaç kat, Au, Pt ve Hg gibi iz elementler için ise onlarca kat yüksek olması gerekmektedir. Zenginleşme faktörü genellikle elementlerin kabuktaki azalan bollukları ile artış gösterir (ters orantılıdır).

Tablo 1. Madencilik sektöründeki temel ürünlerin dünya genelindeki yıllık üretimleri, üretim artış hızları ve birim fiyat ve değerleri. En yüksek değere sahip emtialar koyu renk ile gösterilmiştir. Yıllık üretimi 1 Mt'dan az olan metallerden önemli olanları listelenmiştir (Ridley, 2013).

Emtia	Enerji hammaddesi, Değerli taş, Metal cevheri, Endüstriyel hammadde	Dünya genelindeki üretim Metrik ton/yıl	Yıllık artış % (20 yıllık ortalama)	Ton fiyatı, ABD\$	Endüstriyel değeri ABD\$x10⁶/yıl
Agregalar	Eh	15.000	3	5	45.000
Kömür	En	7.000	1	35	245.000
Kireçtaşı (çimento)	Eh	2.300	6	6	13.800
Demir cevheri	M	2.200	7	60	132.000
Killer	Eh	500	1.5	6	3.000
Tuz (halit)	Eh	260	3	60	15.600
Fosfatlar	Eh	160	1	127	20.320
Jips	Eh	150	5	9	1.350
Endüstriyel kum	Eh	112		250	28.000
Kükürt	Eh	70	2	260	18.200
Alüminyum	M (Eh)	37	4	1.800	66.600
Kaolin	Eh	30	3	135	4.050
Potasyum	Eh	25	1.5	300	7.500
Manganez (Mn-Fe)	M	23	0	1.000	23.000
Manyezit	Eh	19	4	400	7.600
Feldispat	Eh	18		70	1.260
Bakır	M	15.5	3	7.000	108.500
Bentonit	Eh	13.5	2	70	945
Trona/soda külü	Eh	12	6	140	1.680
Çinko	M	11	2	1.600	17.600
Barit	Eh	8	4	50	400
Talk	Eh	7.2	0	110	800
Krom (Fe-Cr)	M	7	4	4.000	28.000
Boratlar	Eh	6		1.100	6.600
Titanyum	Eh (M)	5.8	3	400	2.320
Florit	Eh	5	0	180	900
Kurşun	M	3.8	0.5	1.100	4.180
Diyatomit	Eh	2.2	0	250	550
Asbest	Eh	2	-3	1.100	2.200
Nefelinli siyenit	Eh	2	-2	100	200
Perlit	Eh	1.7	-1.5	300	510
Nikel	M	1.4	3	27.000	37.800
Zirkon mineralleri	Eh (M)	1.2	2	300	480
Grafit	Eh	1.1	3	3.000	330
Magnezyum	M	0.7	5		
Kalay	M	0.3	3	13.000	3.900
Molibden	M	0.2	4	44.000	8.800
Antimon	M	0.19	6	5.300	1.000
Volfram	M	0.058	3	30.000	1.740
Vanadyum	M	0.054	3	5.500	300
Uranyum	Eh	0.051	2	60.000	3.060
Gümüş	M	0.021	2	450.000	9.450
Lityum	M/Eh	0.015	5	75.000	1.100
Altın	M	0.0023	-0.5	36.000.000	82.800
Cıva	M	0.0013	-8	18.000	25
PGE	M	0.0005	2	42.000.000	8.400
Elmas	D(Eh)	14t	3	9 x 10 ⁹	13.000

PGE: Platin grubu elementler (Ru, Rh, Pd, Os, Ir ve Pt).

Tablo 2. Ekonomik değeri olan metallere ait cevher mineralleri (mineral grubu olarak sınıflandırılmıştır) (Ridley, 2013).

Element	Serbest metaller, alaşımlar	Sülfidler, sulfo-tuzlar, arsenitler vd.	Oksitler, hidroksitler	Silikatlar, tungstatlar, karbonatlar vd.
Fe		Pirit Pirotin	FeS ₂ FeS	Hematit Manyetit Götit Pirolusit
Mn			Fe ₂ O ₃ Fe ₃ O ₄ FeO(OH) MnO ₂	Siderit Rodokrosit
Al			Al(OH) ₃ Böhmit Kromit	
Cr			FeCr ₂ O ₄	
Cu		Kalkopirit Bornit Kalkozin	CuFeS ₂ Cu ₅ FeS ₄ Cu ₂ S	
Zn		Sfalerit	ZnS	
Ti			İlmenit Rutil	FeTiO ₃ TiO ₂
Pb		Galen	PbS	
Ni		Pentlandit	(Ni,Fe) ₉ S ₈	
Mg				Manyezit
Sn		Stannit	Cu ₂ FeSn ₄	
Mo		Molibdenit	MoS ₂	
U			Uraninit	UO ₂
Ag	Gümüş Ag	Arjantit	Ag ₂ S	Karnotit K(UO ₂)(VO ₄)1.5H ₂ O
Au	Altın Au			
PGE	Platin Pt	Sperilit Laurit	PtAs ₂ RuS ₂	

PGE: Platin grubu elementler (Ru, Rh, Pd, Os, Ir ve Pt).

Tablo 3. Bazı ekonomik metallerin ortalama üst kabuktaki konsantrasyonları, Cevherdeki tipik tenörleri ve cevherlerin zenginleşme faktörleri. Bileşimler % ve ppm olarak gösterilmiştir. Bu liste cevher kütlelerinin ortalama tenörlerini göstermektedir. Her bir cevher kütlelerinin cevher tenörleri çok farklı aralıkta olduğundan, cevher ortalama değerden daha düşük tenörde işletilecektir. Bu nedenle, her madenin kendi sınır tenörü olacak ve bu değer in altında cevherli kayac yarı-ekonomik veya atık olarak değerlendirilecektir (Ridley, 2013).

Metal	Klark = üst kabuktaki ortalama konsantrasyon	Cevherdeki tipik tenör	Klark konsantrasyonu = ortalama zenginleşme faktörü Kabuk → cevher
Al	%8	%30	4
Fe	%5	%60	12
Ti	5700	%5	10
Mn	950	%5	50
Cr	100	%5	500
Li	20	%1	500
U	3	%0.1	300
Sn	2	%1	5.000
W	1.5	%0.3	2.000
Ni	75	%1	100
Zn	70	%10	1.000
Cu	55	%1	200
Pb	12	%10	10.000
Mo	1,5	%0.3	2.000
Ag	0,1	100	1.000
Hg	0,1	%1	100.000
Au	0,004	5	1.200
Pt	0,002	5	2.500

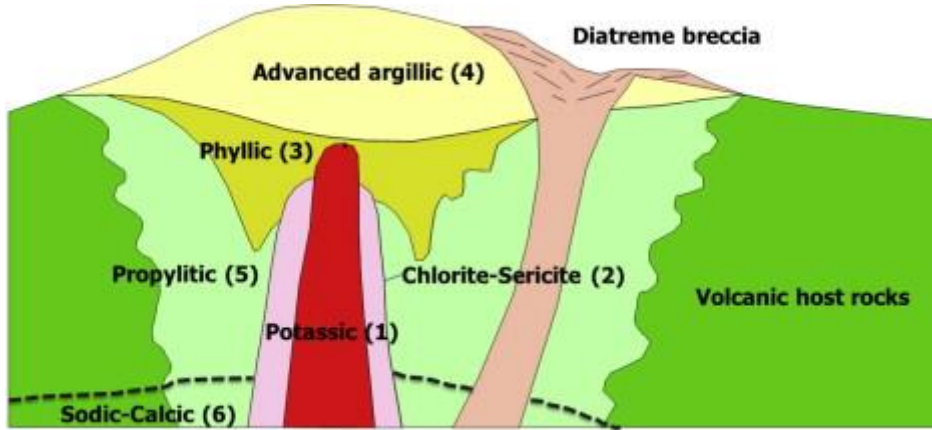
Hidrotermal alterasyon

Hidrotermal alterasyon sıcak çözelti (akışkan) eşliğinde kayaç veya mineralin bozulması veya değişime uğramasıdır. Bu süreç sırasında, akışkanlar (magmatik ve meteorik kökenli veya bunların karışımı olabilir) yan kayaçla etkileşime girerek mineralojik, kimyasal ve renksel değişimlere yol açarlar.

Alterasyon yüzeyde (süperjen) veya derinde (hipojen) gelişebilir. Sığ derinlikte (birkaç m) gerçekleşen yzeysel bozulmada, meteorik sular (yağış suyu) kılcal çatlaklar veya yarıklar boyunca kayaca nüfuz ederek bozulmasını sağlar. Böylece, iklimin nemli ve sıcak olduğu bölgelerde, süperjen yataklar oluşur.

Alterasyon derinde gerçekleşirse, magmatik veya derin çevrim geçirmiş meteorik kökenli ve yüksek sıcaklıklı akışkanlar (hipojen) kayacı bozuşturur.

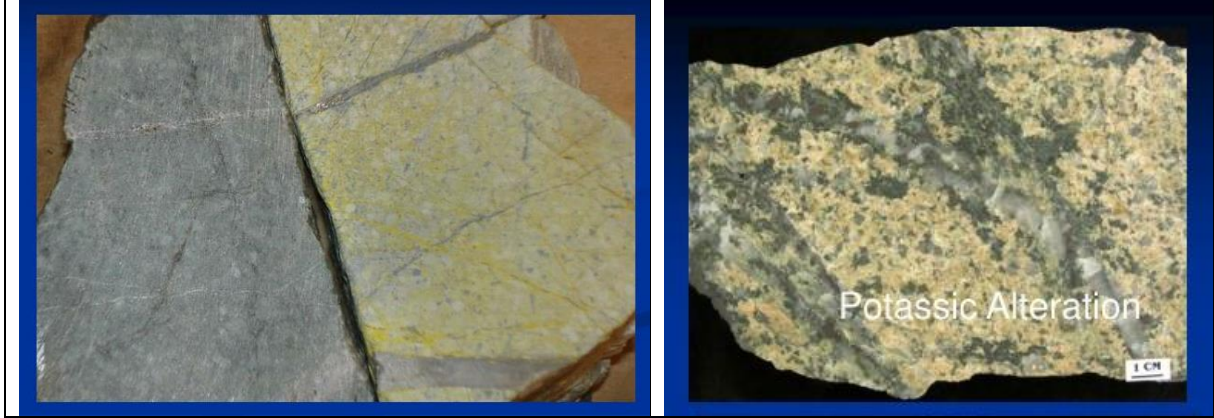
Hidrotermal olarak bozunmuş kayaç, porfiri yatakların en tipik bileşenlerinden biridir. Cevher zonlarında, cevheri örten, cevhere bitişik ya da altında olan kayaçlarda yaygın olup bazı durumlarda, cevher gövdesinin sınırları dışında da kilometrelerce uzanabilir. Farklı sıcaklıklarda oluşmuş ve farklı akışkanların çevrimde olduğu intrüzyonlarda ve yan kayaçlarda çok sayıda alterasyon mineral topluluğu gelişmiştir. Alterasyon mineralleri ve bunların dağılım desenleri farklı yataklarda ayrı olmakla birlikte sistematik ve tekrarlanan desenler de görülebilir.



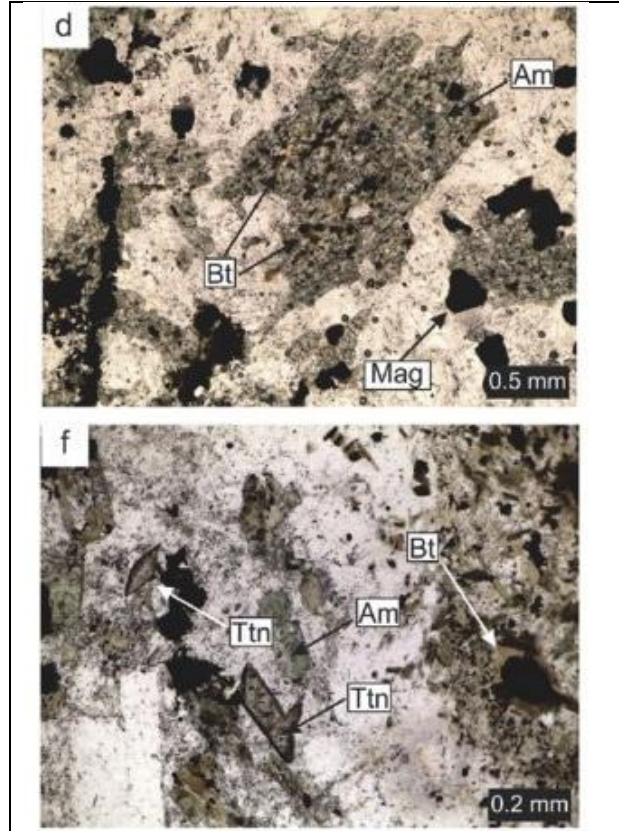
Bir fasiyesin baskın olduğu alterasyon zonlarındaki porfiri yataklarda yürütülen detaylı harita çalışmaları sonucunda, belirli ve karakteristik minerallerin kombinasyonu esas alınarak altı adet alterasyon türü (alterasyon fasiyesi) belirlenmiştir. Bu zonların her biri genellikle porfiri intrüzyonun çevresinde veya üzerinde eş merkezli olarak gelişmiştir. Yatakların çoğunda, düşük-sıcaklık alterasyon toplulukları genellikle yüksek-sıcaklık mineral topluluklarının üzerinde oluşmuştur.

(a) Potasik fasiyes: Çok yaygın görülen bu fasiyes, cevher zonu ve çoğu yatağın derin seviyeleri ve özellikle altta gömülü olan cevher çekirdeği ve cevher kabuğunun iç kısımları için oldukça karakteristiktir. Kuvars ve ayrıca birlikte veya tek başına K-feldispat ve biyotit potasik alterasyon fasiyesinin önemli mineralleridir. Bu mineraller çoğu durumda kayaçların (örneğin felsik kayaçlar) asıl bileşenleri olsa bile, K-feldispat ve biyotitin önemli bir bölümü intrüzyondaki erken fazlar olan plajiyoklaz ve mafik mineralleri ornattığı durumlarda potasik alterasyon gelişir. Alterasyona ait gang

mineralleri klorit, albit, serisit, manyetit, anhidrit ve piritten ibarettir. Çoğu yatakta, yüksek manyetit bolluğu cevher kabuğunun çekirdeğinde potasik alterasyon zonunun varlığına işaret eder. Bazı yataklarda, biyotit, K-feldispat ve manyetit bolluklarına dayalı olarak alt fasiyes de ayırtlanmıştır. Potasik alterasyon, yüksek sıcaklıkta (450–600°C) metasomatik potasyum ilavesi ile oluşur. Alterasyonu oluşturan akışkan yüksek K^+/H^+ oranı ile karakteristiktir.

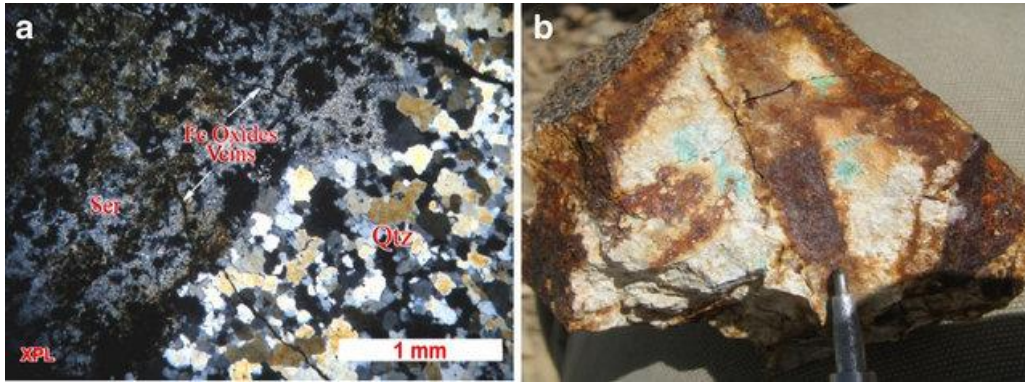


(b) Sodik-kalsik fasiyes: Bu fasiyes, cevher zonlarının derindeki tabanın kenar kısımlarında gelişmiştir. Asıl bileşenler albit/oligoklaz, aktinolit ve manyettittir. Piritin genellikle görülmediği bu fasiyes asla cevher barındırmaz. Sodik-kalsik fasiyesinin sıcaklığı yaklaşık 450°C olan tuzlu suların infiltrasyonu sonucu oluştuğu düşünülmektedir.



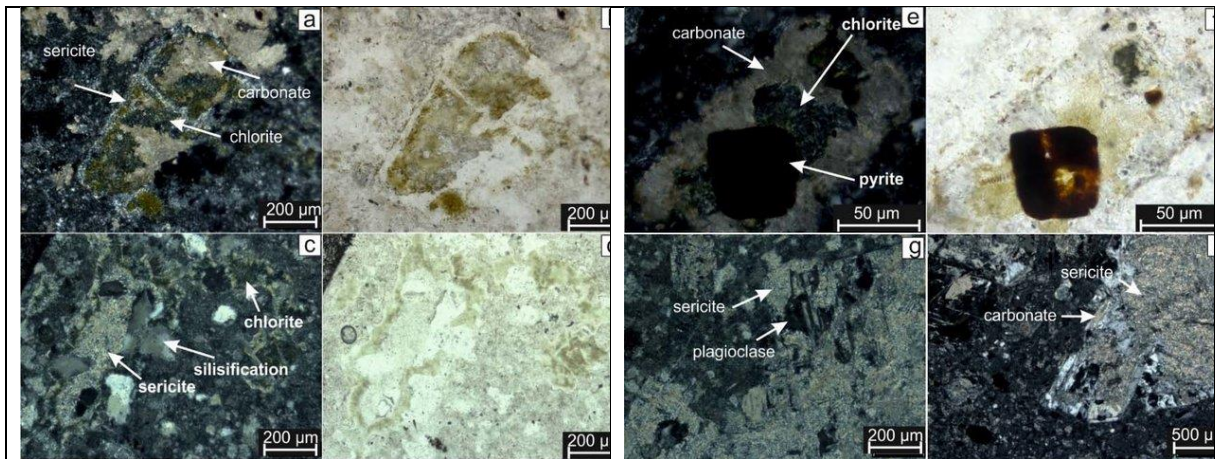
Paramillos Centro andezitinde biyotit tarafından baskılanmış şiddetli sodik-kalsik bozuşması (lifsli amfibol, titanit ve manyetit) (Carrasquero vd., 2017).

(c) **Fillik (kuvars–serisit-pirit/QSP/serisitik/feldispat yıkıcı):** Potasik alterasyon gibi, bu alterasyon fasiyesi de porfiri yataklarda çok yaygındır. Ancak bu fasiyes hidrotermal sistemin son safhasında oluştuğu için genellikle potasik ve klorit-serisit alterasyon zonlarını (bu zonların özellikle üst ve kenar kısımlarını) üzerler (Şekil x). Bu alterasyonun zonunun karakteristik mineralleri kuvars, serisit ve pirittir. Bu minerallerin önceki kayaç dokusunun üzerine büyümesi sonucunda, el örneğinde fillik alterasyona uğramış kaya rengi ağarmış ve hemen hemen başlangıçtaki dokusunu tamamıyla kaybetmiş olarak görülür. K-feldispat, kaolinit, kalsit, biyotit, rutil, anhidrit, topaz ve turmalin diğer gang mineralleridir. Fillik alterasyon orta dereceli sıcaklıklarda (200–450°C) nötr-asidik akışkanlarla ilişkili olarak gelişir. Metasomatik tepkimeler kayaçlardan H⁺ eklenmesi ve K, Na, Ca, Mg, Ti, Fe çözünmesini esas alır; örneğin, K-feldispat'ın serisite dönüşmesi:



a) Granodiyorit içinde gelişen fillik alterasyonun ince kesit görünümü. Serisitleşmiş feldispar (Ser) ve kuvars damarı (Qtz). b) Fillik alterasyonun el örneğinde görünümü; Fe-Mg mineralleri klorit ve Fe-okside dönüşmüşlerdir (Sojdehee vd., 2015).

(d) **Klorit–serisit (css) fasiyesi:** Bazı yataklarda cevher zonunu örten bu alterasyon fasiyesi cevher de içerebilir. Fasiyes soluk yeşil rengi ile tanınır. Klorit ve serisit (veya illit) yanı sıra, hematit, pirit ve bazen smektit killeri görülebilir. Akışkan ve sıcaklık koşulları fillik alterasyondakiler ile benzerdir ancak daha düşük asitlik söz konusudur.



a, b) Feldispat kökenli klorit, karbonat ve serisit oluşumu, c, d) serisit ve klorit matris içinde silikleşme, e, f) Propilitik alterasyonu gösteren klorit ve karbonat, pirit muhtemelen kalıntı

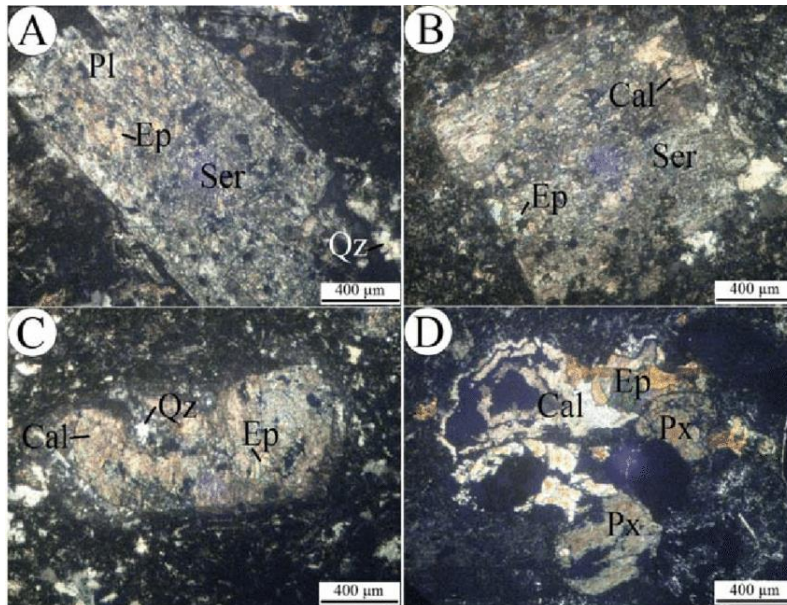
demirden kristalleşmiştir, g) plajiyoklazın serisitleşmesi, h) feldispatın karbonat bozuşması ve plajiyoklazın serisitleşmesi (Kocabaş vd., 2016).

(e) Arjilik alterasyon: Bu alterasyon yerel olarak hidrotermal sistemin sıg kesimlerinde fillik zonun üzerinde ve kenarlarında gelişebilir. Başlıca mineraller killerdir (montmorillonit, kaolinit). Diğer görülen mineraller ise biyotit, illit, klorit, profillit, diyaspor, alünit, sülfidler, kuvars ve andalusittir. Arjilik alterasyon, feldispat ve mafik silikatların asidik koşullar altında yıkanması sonucu kil minerallerinin oluştuğu şiddetli düşük-sıcaklık metasomatizması (100–300°C) ile gelişir.



Pascua-Lama'daki (Şili) kuru iklim şartları altında gelişmiş şiddetli arjilik alterasyon (Thomsen, 2017), Zangroor, İran'da breşli tüfler içinde oluşan arjilik alterasyon (Rezaei vd., 2015).

(f) Propilitik alterasyon: Çoğu porfiri yatağın çevresinde yaygın olarak görülür. Propilitik alterasyon yataktan itibaren birkaç km uzansa da cevher gövdesinden uzaklaştıkça şiddeti azalır.



Aqkand (İran) Cu yatağındaki propilitik alterasyon. A ve B: plajiyoklazın serisit, kalsit ve epidota bozuşması, C ve D: Piroksenin kalsit, epidot ve kuvarsa bozuşması (Feizi vd., 2017).

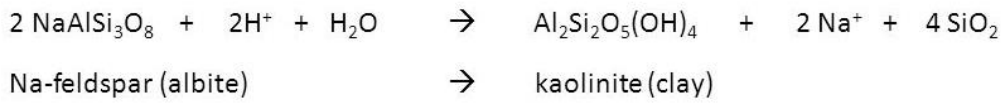
Alterasyonda görülen mineral topluluğu yeşil şist fasiyesi metamorfizmasına çok benzerdir. Başlıca mineraller epidot, klorit ve kalsittir. Pirit genellikle bunlara eşlik eder. Demir oksitler, serisit ve apatit diğer minerallerdir. Propilitik alterasyon, önemli ölçüde asit-baz metasomatizması olmaksızın ana kayaca H₂O, CO₂ ve S₂ ilavesi veya 250–400° C sıcaklıkta çözünmüş metal eklenmesi sonucu gelişir.

Diğer alterasyon çeşitleri

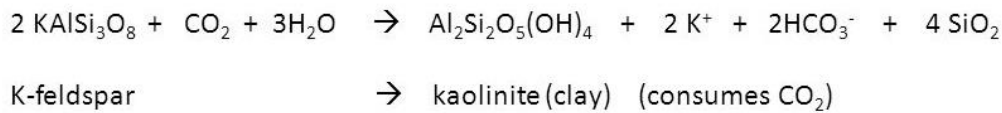
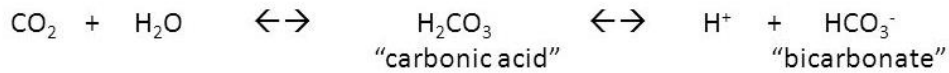
Silisleşme: Diyajenetik bir işlev olan silisleşme, Si iyonu (genellikle silisik asit şeklinde – H₄SiO₄) bakımından zengin olan akışkanların ince taneli kuvars, kalsedon veya opal çökelterek yan kayadaki mineralleri ornatması veya boşlukları doldurmasıdır.



- Hydration/hydrolysis reactions. Depend on pH – acid vs. alkaline conditions



- “Carbonic acid” reactions. Involve dissolved atmospheric CO₂ or CO₂ respired by plants

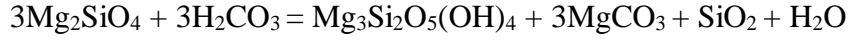


Listvenitleşme: Listvenit, ultramafik kayaların (peridotitler) karbonat minerallerine bozuşmasından ortaya çıkan kaya türüdür. Listvenitler manyezit, kalsit, dolomit, ankerit

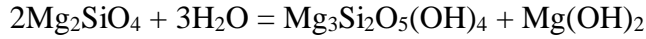
ve/veya sideritten oluşan karbonat damarları tarafından kesilirler. Peridotit kayacındaki olivin ve piroksen Mg ve Ca karbonatlar ile serpantin ve talk gibi sulu Mg-silikatlara dönüşür. Gerekli olan CO₃ iyonu atmosferik yağıştan (H₂CO₃) karşılanır.

Serpantinleşme: Ultramafik kayaladaki (peridotitler) olivin ve piroksen gibi minerallerin yüksek sıcaklık altında (dalma-batma zonu) bozularak Mg-silikatlara dönüşmesi işlevidir.

Listvenitleşme

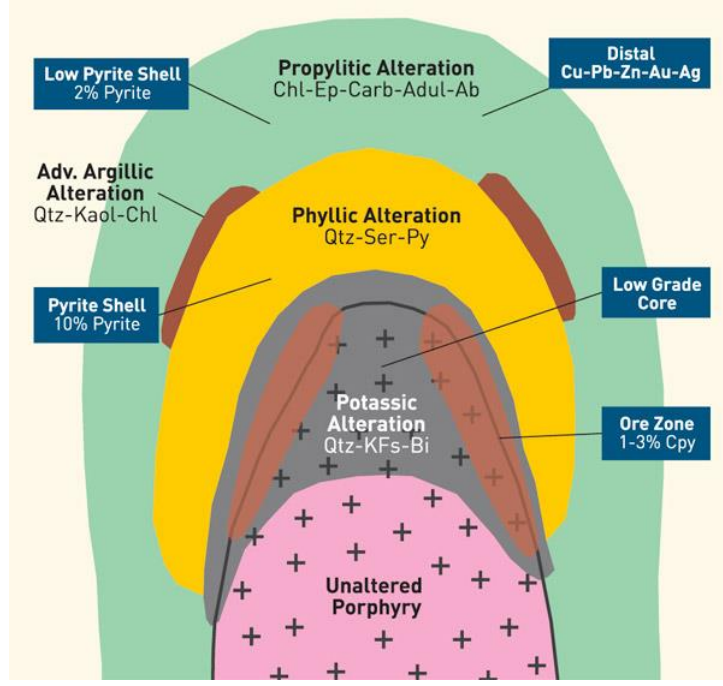


Serpantinleşme



Cevher ve alterasyon zonu arasındaki ilişki

En yüksek tenörlü cevher çoğunlukla potasik alterasyon zonunda bulunur. Klorit-serisit zonu da cevher barındırabilir. Porfiri Cu yataklarında, cevher potasik ve fillik alterasyon zonları arasındaki sınırdaki veya genellikle fillik zonda oluşur. Cevher fillik zonda ise, fillitik alterasyon ilk safhada oluşan cevherli potasik ve klorit-serisit zonları üzerinde gelişmiştir.



CEVHERLEŞME VE YAN KAYAÇ İLİŞKİSİ

Cevher kütlelerinin yan kayaç ile ilişkileri:

1. Geometrik ilişkiler (Yataklanma şekilleri)
2. Cevher yerleşmesi ile ilgili ilişkiler
3. Yaş ilişkileri

GEOMETRİK İLİŞKİLER (YATAKLANMA ŞEKİLLERİ)

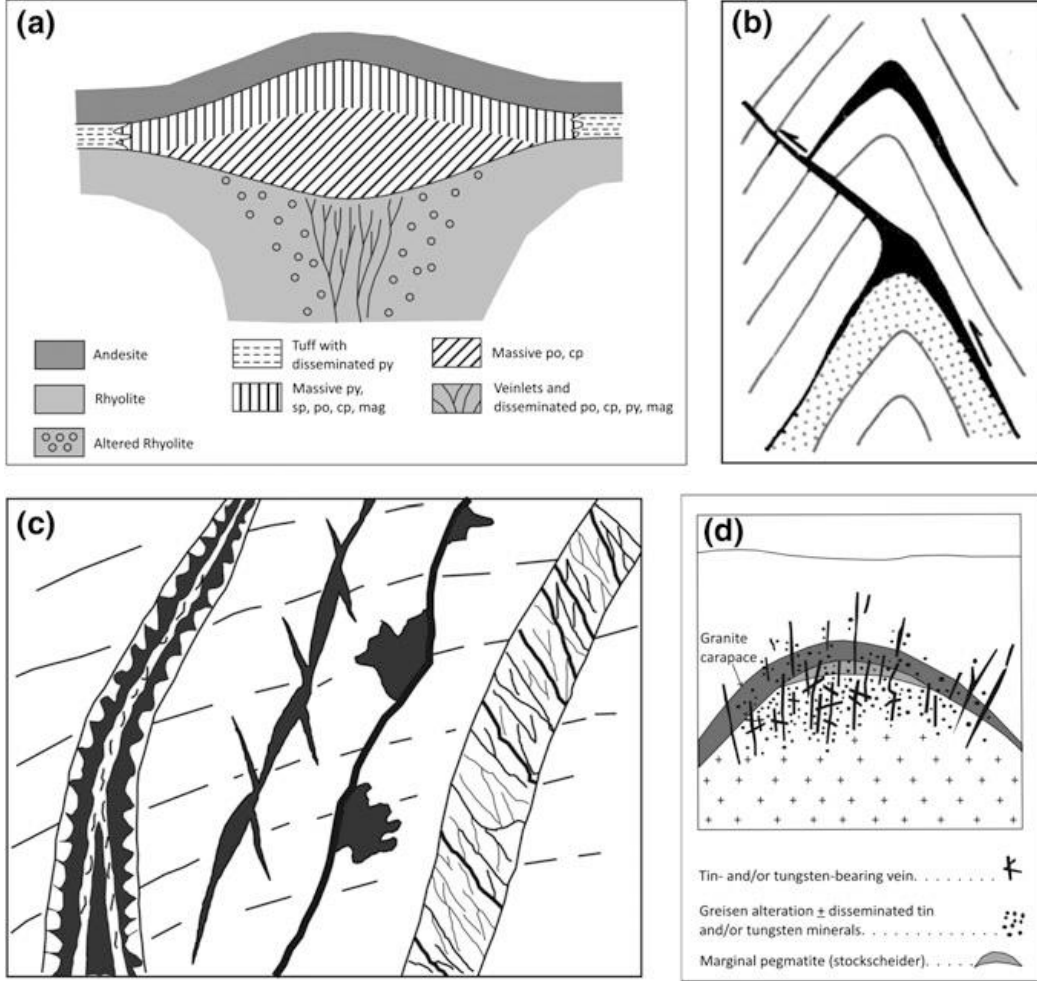
Maden yataklarının yataklanma biçimleri ile devamlılıklarının ve yan kayaç ile ilişkilerinin anlaşılması bunların aranması ve sonrasında uygun şekilde işletilmesinde büyük önem taşımaktadır. Her ne kadar yataklar birbiri ile aynı olmasa da, kabaca iki sınıfa ayrılırlar:

- I. Sinjenetik: Sinjenetik yataklar ana kayaç ile aynı yaşıdır (örneğin, bantlı demir yatakları-BIF)
- II. Epijenetik: Epijenetik yataklar ana kayaktan daha genç yani sonra oluşmuştur (örneğin damarlar)

Cevher gövdeleri ana kayaç ile olan ilişkilerine göre iki gruba ayrılırlar:

Uyumlu cevher gövdesi: Yapısal olarak uyumlu olan bu cevher kütleleri ana kayaca veya tabakalanmaya paralel olarak gelişmiştir.

Uyumsuz cevher gövdesi: Yapısal olarak uyumsuz olan bu cevher kütleleri ana kayacı veya tabakalanmayı keserler.



Çeşitli cevher yatak biçimleri: a) Uyumlu-uyumsuz, merceksi, stokwork cevherler, b) sinjenetik-epijenetik ayrıca, uyumlu kemer-şekilli ve uyumsuz cevherler, c) çeşitli damar morfolojileri (soldan sağa): tarak şekilli damar, süngü damar, bölmeli damar, basamaklı damar; d) dağılık-çevrelenmiş damarlar, saçınımlı (dissemine) ve damar cevherler (Deb ve Sarkar, 2017).

Uyumlu cevher gövdeleri

- Sedimanter ana kayaç
 - ✓ Kireçtaşı
 - ✓ Kıltaşı (şeyl)
 - ✓ Kumlu (kumtaşı)
 - ✓ Konglomera
 - ✓ Kimyasal sedimanter
- Magmatik
 - ✓ Volkanik
 - ✓ Plütonik
- Metamorfik
- Kalıntı yatak
- Süperjen zenginleşme

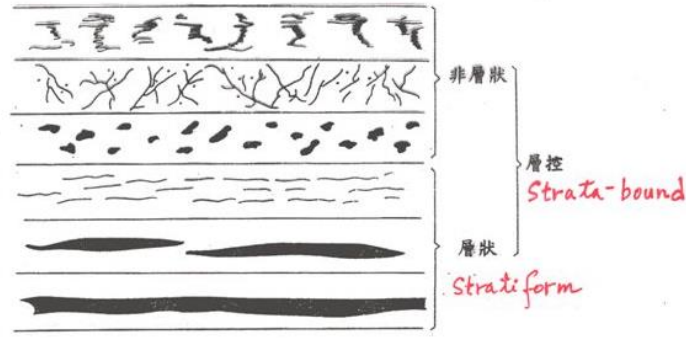
Sedimanter kayaçlar özellikle baz metal ve demir cevherleşmeleri için önemli ana kayaçlardır. Cevher gövdeleri ana kayacın tabaka yapısına paralel şekilde yuvalanmıştır.

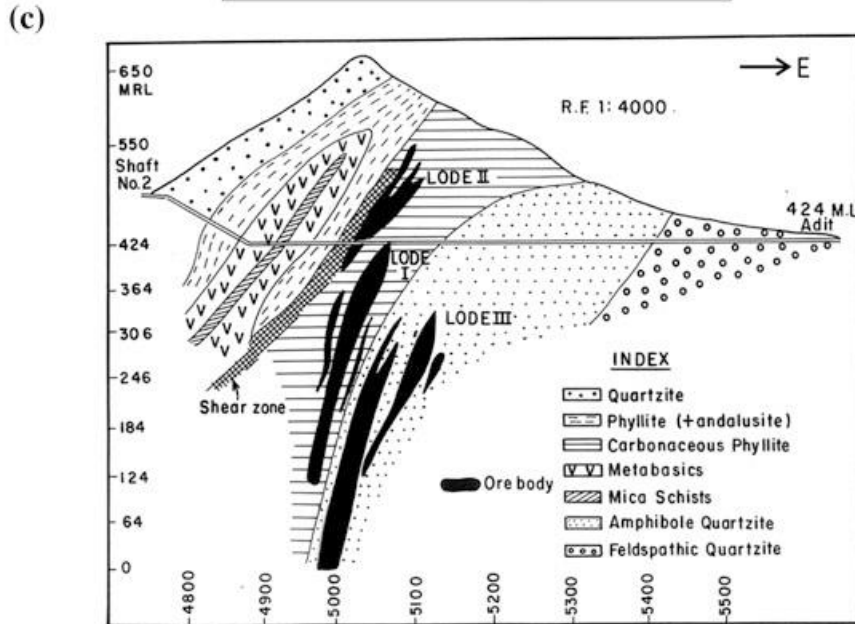
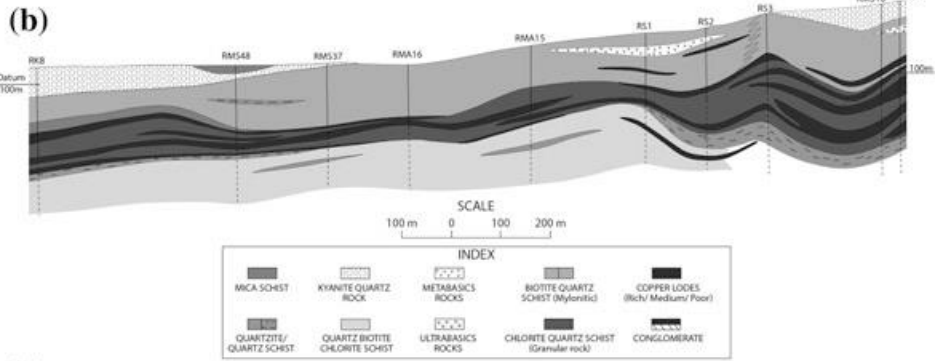
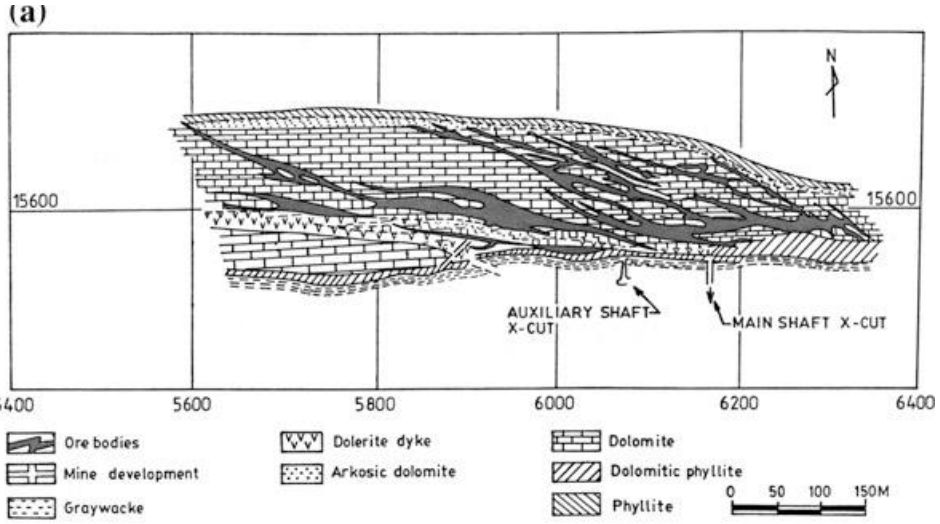
Stratiform: Bu terim tabakalanmaya paralel olarak (nadiren tabakaya dik) 2 boyutta gelişmiş cevher gövdeleri için kullanılır. Stratiform cevher etrafındaki sedimanter katman ile uyumlu

şekilde görülür. Her türlü çökel kaya, siller, uyumlu lav akışları veya uyumlu damarlar içinde sinjenetik, epijenetik veya diyajenetik yolla oluşabilir. Metamorfizma geçirmiş olabilir ancak orijinal özellikleri stratiform olduğunu belirtecek ölçüde korunmuş olmalıdır.

Stratabound: Stratabound yataklar ise sadece tek bir stratigrafik seviye ile sınırlanmış uyumlu veya uyumsuz özellik gösteren cevherlerdir. Stratabound cevher ise, bir kayaç tabakası veya tabaka grubu içinde gelişir. Ana kayaç magmatik veya sedimanter olabilir ancak magmatik diferansiyasyon yoluyla oluşmuş katmanlar buna dâhil değildir. Cevher saçınımlı (dissemine), tabakası veya tabaka grubu ile uyumlu veya transgressif olabilir.

Bazı araştırmacılar (Stanton, 1972) tüm stratiform cevher gövdelerinin stratabound özellikte olduğunu ancak stratabound cevherlerin tamamının stratiform olmadığını belirtmişlerdir. Stratabound ve stratiform cevherlere yönelik örnekler aşağıda verilmiştir. Sonuç olarak, stratiform cevher belirli bir stratigrafik (veya sedimanter) tabaka olarak oluşur. Stratabound cevher ise, belirli bir stratigrafik tabaka ve zon içinde oluşmasına karşın bu tabakanın tümünü kapsamaz.

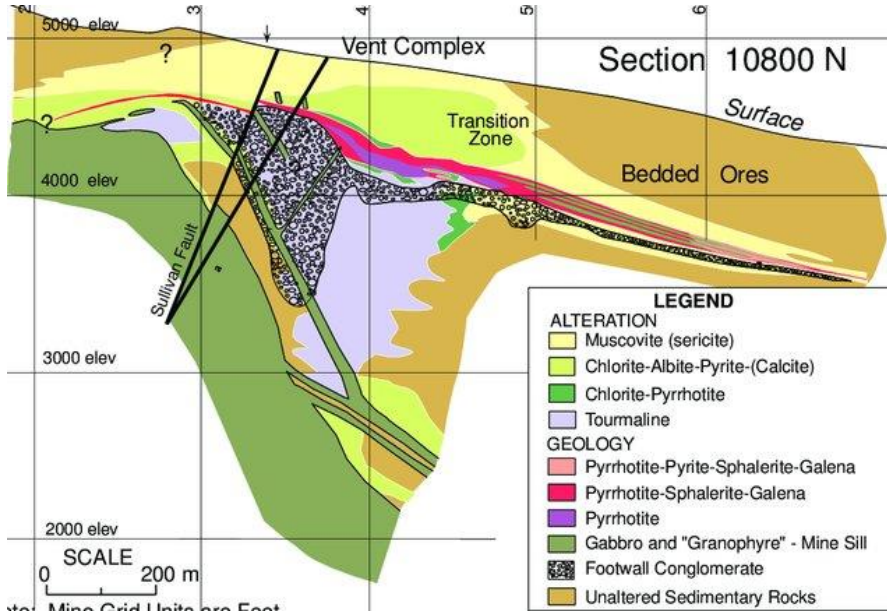




Stratabound yataklar için örnekler: a) Mochia Magra madeni (Jeolojik plan 240 m seviyesinde); stratiform cevher yatakları b) Rakha bakır madeni, Singhbhum (Deb 1971; Sarkar 1984), ve c) Kolihan bakır madeni, Khetri bakır kuşağı, Rajasthan (Deb ve Sarkar, 2017).

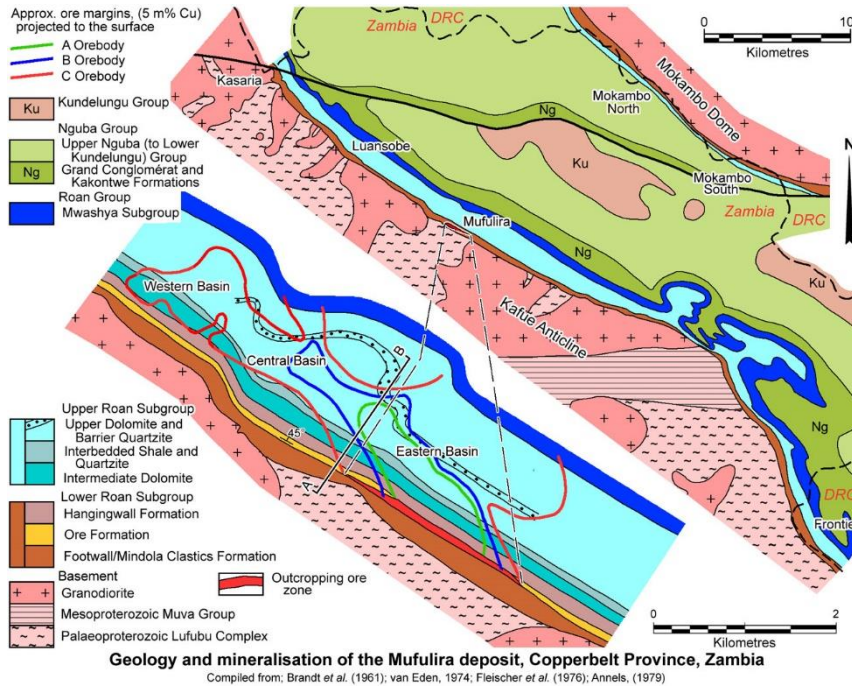
Kireçtaşları stratiform sülfür cevherlerinin başlıca ana kayalarıdır. Dolomitleşme içsel permeabiliteyi arttırdığı için cevher gelişmesi daha fazla olur.

Şeyl, çamurtaşları ve arduvazlar çok geniş devamlılık gösterirler ve bu nedenle önemli ana kayalarlardır. Almanya'daki üst Permiyen yaşlı Kupferschiefer yatakları 1 m kalınlığında olup 130 km²'lik alansal uzanım gösterir. Dünyanın en büyük Pb-Zn yatağı Kanada-British Columbia'daki Sullivan yatağıdır. Prekambriyen yaşlı kilitaşlarındaki cevher 60-90 m kalınlığında olup %6.6 Pb ve %5.7 Zn içerir.



Kanada-British Columbia'daki Sullivan yatağındaki başlıca cevher türleri ve alterasyon çeşitleri (Lydon, 2007).

Zambiya'daki bakır cevherleri arenalaşmış kumtaşları içinde oluşmuştur. Yaklaşık 280 milyon ton rezerve sahip olan yatakta başlıca cevher %3.5 Cu ve CuFeS₂ içermektedir.



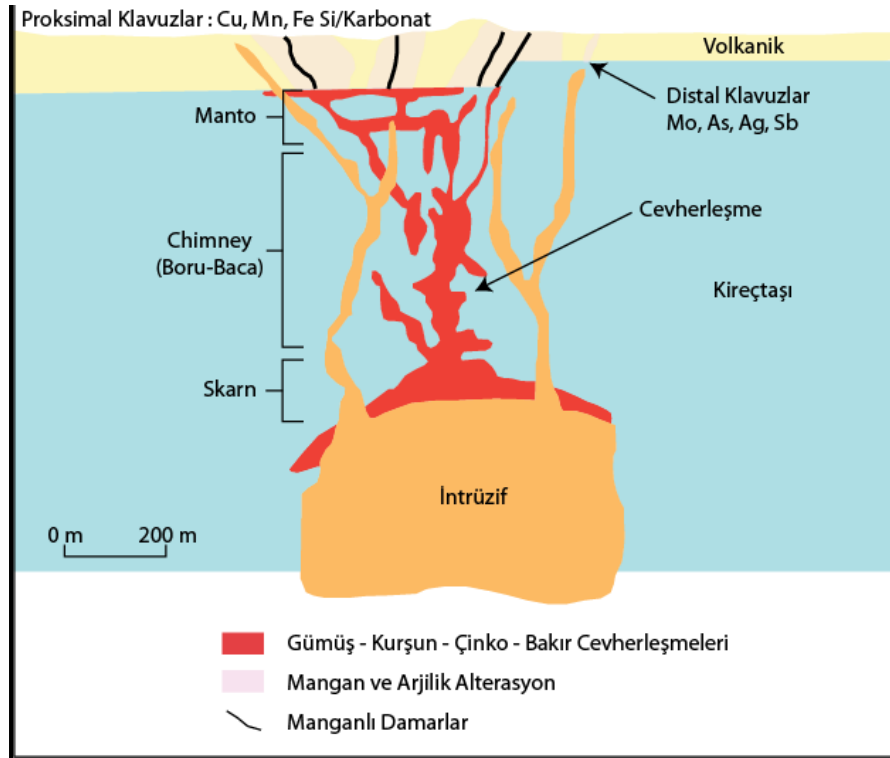
Zambiya-Mufulira'da sedimanter birimler (esas olarak kuvarsitler) içinde oluşmuş Cu cevherleri (Fleischer vd., 1976).

Yüksek yoğunluğa sahip detritik mineraller kumtaşı içinde cevher yatağı oluştururlar. Plaser yatakları ekonomik ölçüde manyetit, ilmenit, rutil ve zirkon içerirler. Pekışmemiş çökellerden oluştuklarından plaser yataklarının işletme maliyeti düşüktür.

Sedimanter demir ve manganez oluşumları dünyanın her tarafında stratiform cevher yatakları şeklinde depolanırlar. Bu yataklar deniz suyu veya deniz tabanındaki salamuralardan çökelirler.

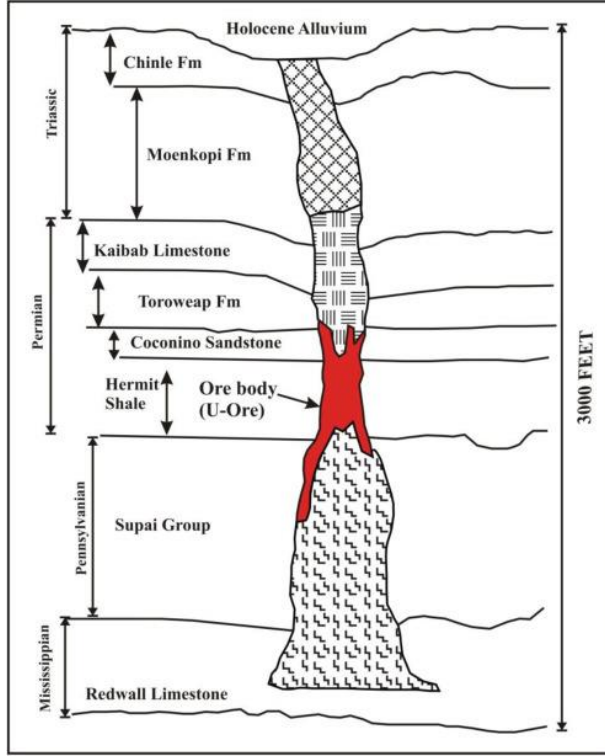
Uyumsuz cevher gövdeleri

Stoklar: İnrüzif kayaçlarda olduğu gibi yan ve örtü kayaçlarını delerek sokulum yaparak oluşan ve yan kayaçla düzgün olmayan sınırlar gösteren bir yataklanma şeklidir. Çoğunlukla tektonik kökenli kırık ve çatlak sistemleri ile ilişkilidir.



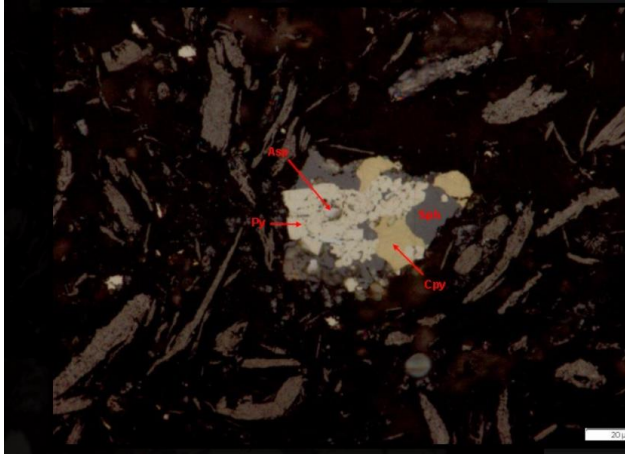
(Akiska, 2010).

Pipo (baca) cevher: Bir kaya birimi veya cevher kütesinin genellikle dik dalımlı yarı silindirik veya huni şekilli formu. Bunların yatay kesitleri ovaldir. İçerisinde yan kayaktan türemiş köşeli çakılların bulunması bu tür cevherin bir çöküntü sonucu meydana geldiğini gösterir. Cevher çöküntüye sebep olan kırıklara ve piponun içine diğer malzemelerin arasını dolduracak şekilde yerleşir. Böylece breşik bir görüntü ortaya çıkar. Bacalar yan kayaç içindeki eski düşey boşlukların dolmasıyla oluşmuş hidrotermal veya pirometozomatik (ornatımla yerleşmiş) yataklardır. Ancak volkan bacalarının dolmasıyla da bu tip cevherleşmelere rastlanır. Örnek olarak G. Afrika'daki kimberlit bacalarından elmas üretilmektedir. Metasomatik yataklar kireçtaşları içindeki bacalarda görülen polimetallik yataklardır.



Büyük Kanyon (Birleşik Devletler) bölgesindeki çözeltili-çöküntüsü sonucunda oluşmuş breş bacasının şematik görünümü. Baca içinde uranyum cevheri gelişmiştir (Van Gosen ve Wenrich, 1989).

Dissemine (saçınımlı) cevher: Büyük kayaç kütleleri içinde düşük tenörlü ve çok küçük taneli cevher minerallerinin yeknesak şekilde dağılması ile gelişmiş cevherleşme tipidir.



Stokvörk cevher: Birbiriyle irtibatlı çok ince damarcık ağı şeklinde olup damarların kalınlıkları cm'den dm'ye kadar değişebilir. Çok kırıklı kayaçlarda bu boşlukları cevherli çözeltilerin doldurması sonucu oluşurlar. Stokvörkler damarlar halinde değil kütlenin tamamı alınarak işlenebilir. Genellikle düşük tenörlü olurlar.



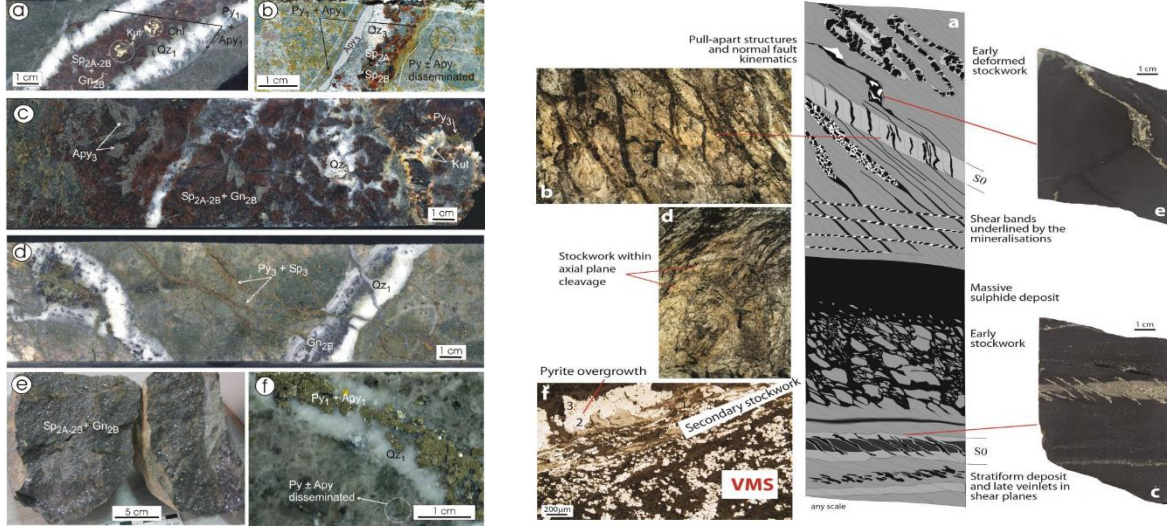
Merceksi cevher: Çeşitli büyüklükte mercek şeklindeki yataklar sedimanter oluşumlarda ve magmatik ayrışma ve yer alma olaylarının rol oynadığı oluşum evrelerinde meydana gelebilirler. Ayrıca hidrotermal yataklarda tespih şeklinde mercek tipleri de görülebilir.



Bayındır (Kırşehir) siyeniti içinde oluşmuş mercek şekilli florit cevheri.

Damarlar: Kalınlığı az, çeşitli istikametlerde uzanan oldukça paralel yüzeyleri olan yan kayacı kat etmiş cevherleşme şeklidir. Bunlar epijenetik kökenlidir. Damar yan kayacın tabakalanması ve şistozitesi (yapraklanma) ile uyumlu ise buna *Filon* denilir. Tabakalar arasına girerek yerleşmiş bu tip yataklar tabakalı tiplerle karıştırılabilir. Oysa filonlar epijenetik oluşumludur. Filonun yerleşmesiyle yan kayacın alterasyona uğrar. Damarlar esas itibariyle tektonik yapıya

uygun olarak fay ve çatlak boşluklarının dolmasıyla meydana gelirler. Bazen fay boşluğuna düşen kaya parçaları cevherleşmenin içinde kalır ve cevherleşmeye breşik görüntü kazandırır. Bu durumda, faylanmanın cevherleşme öncesi olduğu sonucu çıkar. Mineralleşme öncesi meydana gelen fay boşlukları ekseriyetle tek bir zamanda değil, çeşitli dönemlerde doldurulabilir. Ayrıca bu boşluklar zamanla açılabilir. Mineralleşme sonrası faylar ise cevherleşmeyi yerinden oynatır. Fakat aynı fay mineral öncesi olarak cevher yerleşimine sebep olduğu gibi daha sonra da harekete geçerek cevheri ezikli hale getirir ya da yerinden oynatır.



CEVHERLERİN YERLEŞME ŞEKİLLERİ

Dolgu (infill): Cevher taşıyan solüsyonların yan kayalarda önceden gelişmiş boşlukları doldurması şeklindedir. Daha çok damar şeklindeki yataklarda görülen bu yerleşmede çeperlerin birbirine paralel ve düzlemsel oluşu en belirgin özelliğidir.



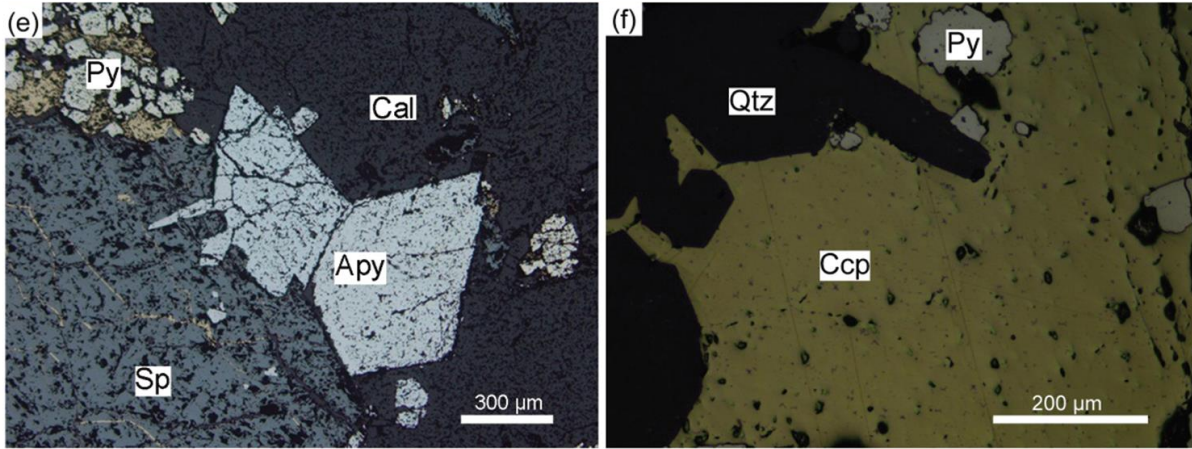
Malakit ve kuvars damarı

Yerini Alma (ornatma): Metasomatik bir olaydır. Yerleşme ile birlikte hem kimyasal hem de şekil değişikliği meydana gelir. Bu tür damarların kalınlıkları çok değişik, kontaklar çok

düzensiz ve net olmayıp yan taşta tedrici olarak geçer. Çoğu zaman dolgu ve ornatma birlikte cereyan eder. Bu durumda dolgu özelliği az çok bozulmaya uğrar. Ornatma işlevi belli bir yönde veya her doğrultuda aynı hızla gelişirse, kontaklar daha belirgin ve net olur. Damar şeklinde olmayan yatak tiplerinde de ornatma ile yerleşim olmaktadır.



Kuvars monzonit içinde epidot ornatması

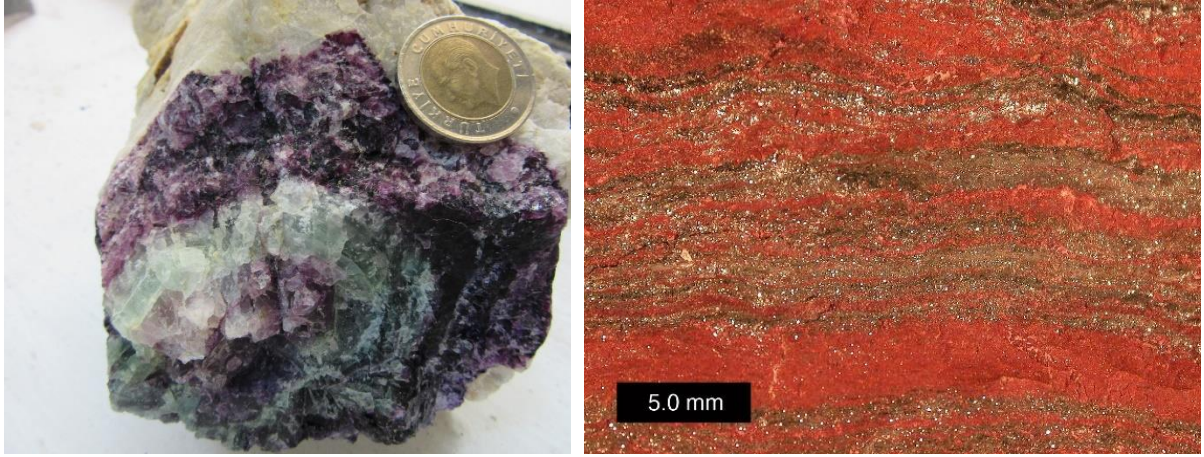


Sfaleritin arsenopiritin tarafından (e) ve kalkopiritin pirit tarafından (f) ornatılması.

İçirme (İmpregnasyon): Yan kayaçta bulunan gözeneklerin cevher eriyikleri tarafından doldurulması olarak tarif edilir. Burada sınırlı olmakla beraber ornatma olayları da görülür.

Yenilenme (Rejenerasyon): Aynı yataklarda yapılan incelemelerde değişik yaşların hesaplanması cevherleşmelerde yenilenme olaylarının bulunduğunu açıklar. Bir cevherleşmenin ölçülebilir bir jeolojik zaman aralığında tekrar harekete geçerek yenilenmesi olayıdır. Eğer önceki yataktan daha sıcak minerallerin oluşması söz konusu ise buradaki sıcaklık artışı dikkate alınarak *Tazelenme (Rejüvenasyon)* terimi kullanılır. Aynı mineralin sonraki zonlarda görülmesi tekrarlanması veya mineral süksesyonunun birçok defa ardalanması olaylarına ise *Rekürans* denir. Cevher yatakları çoğu zaman birden fazla süksesyon gösterir. Oluşum sıcaklığına göre sıralanan mineraller arasına eğer yüksek sıcaklıkta oluşan bir mineral girse işte bu *Rejüvenasyon* olayıdır. Mesela; kuvars, siderit,

kalkopirit ve galen şeklinde tekrarlanan süksesyonlardan biri pirotin ile başlayabilir. Pirotin yüksek sıcaklıkta oluşan bir mineraldir.



Cevher ardalanması – A) mor ve yeşil florit bantları, B) bantlı demir oluşumu

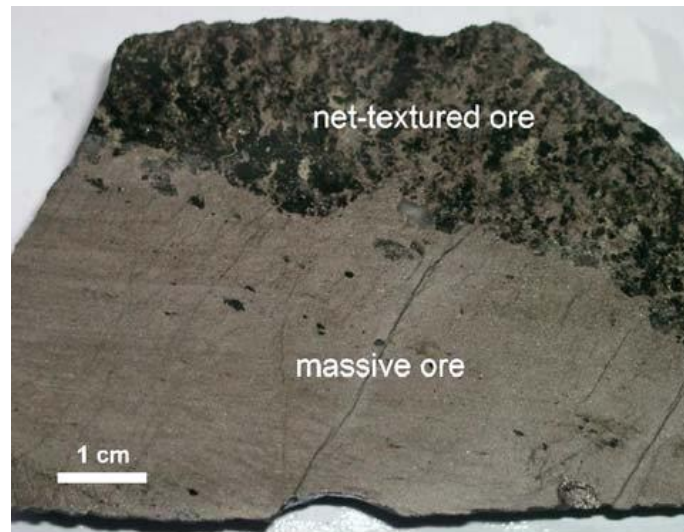
CEVHER YAPI VE DOKULARI

Doku (Tekstür): Bir cevheri veya kayacı oluşturan minerallerin ve diğer bileşenlerin birbirleriyle gösterdikleri ilişkiler, hacmi doldurma şekilleri, hacimdeki dizilişleri ve dağılışlarını açıklar. Dokuların çoğunu gözle görmek mümkün iken yapıların incelenmesi süksesyonların tayini için genellikle maden mikroskopik etüt gereklidir.

Yapı (Strüktür): Minerallerin şekil, büyüklük ve birbirleriyle büyüme biçimleri olarak anlaşılır. Aynı zamanda bir mineralin kendi bünyesinin özelliklerini belirtmek için de strüktür terimi kullanılır.

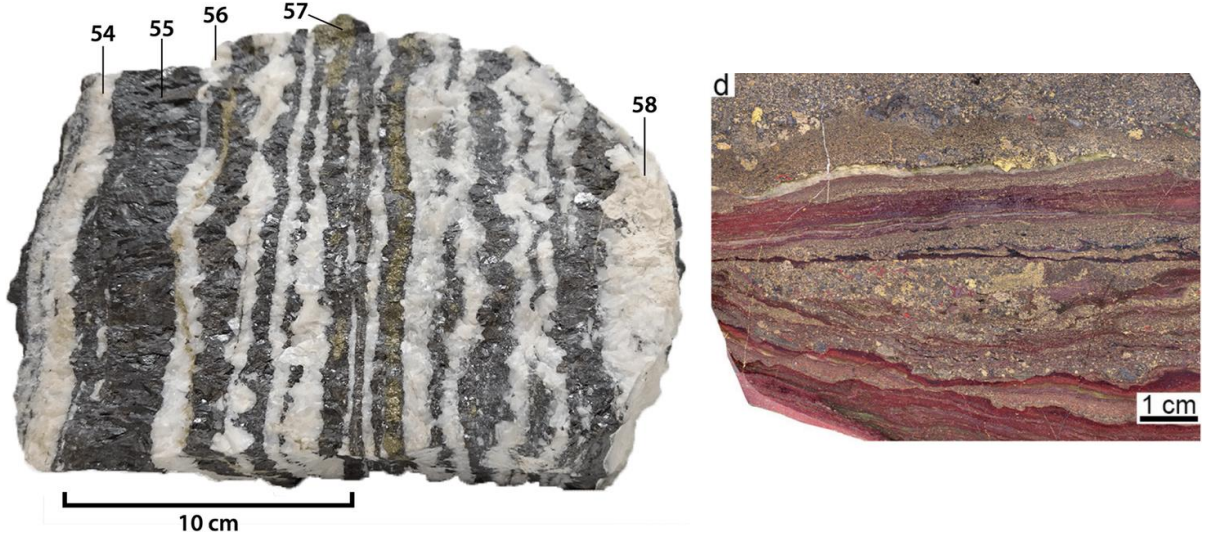
DOKU ÇEŞİTLERİ

Masif Doku: Hacim boşluksuz olarak doldurulmuştur. Mineraller belli kısımlarda konsantre olmamışlar her yönde gelişmişlerdir. Bu doku yüksek sıcaklıkta oluşmuş yatakları temsil eder. Kromit yataklarında, granit plütonlarına bağlı hipotermal yataklarda daha sık rastlanır.

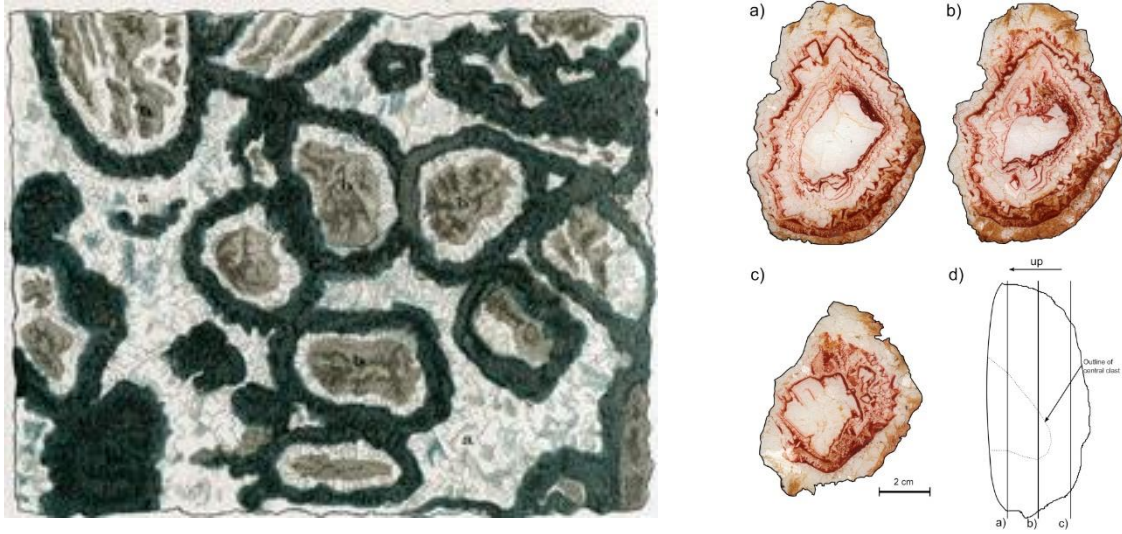


Sülfid cevherleri için yaygın olan masif doku.

Banlı Doku: Mineraller bant veya şerit şeklinde çeperlerden mineralize kütlelerin eksenine doğru sıralanarak yer alır. Birçok hipotermal damarda bu tipe rastlanır. Bu sıralanma simetrik olabildiği gibi asimetrik te olabilir. Eksenin iki yanında aynı mineral oluşumları bulunursa simetrik, farklı mineral oluşumları bulunursa asimetrik damar denilir (Şekil 3.1).



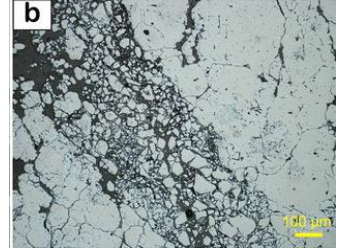
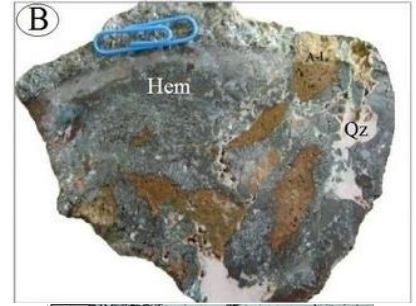
Kokard (Konsantrik) Doku: Değişik bileşimli mineral zonlarının halkalar halinde birbirini sarmasıyla oluşur. Kristalleşme içteki bir odaktan itibaren dışa doğru gelişir. Odak bazen bir çakıl taşı olabilir.

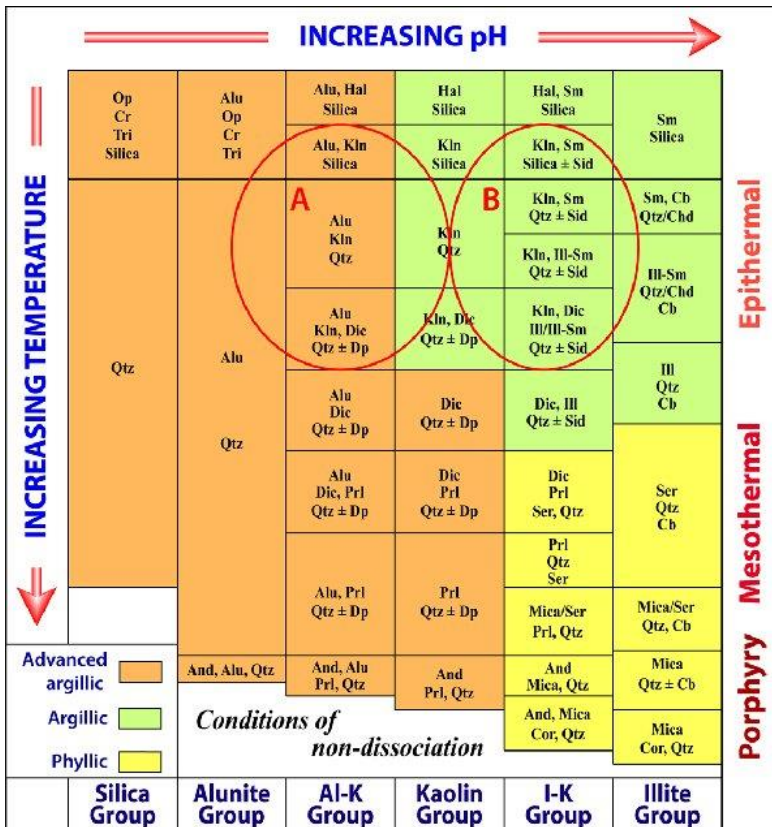
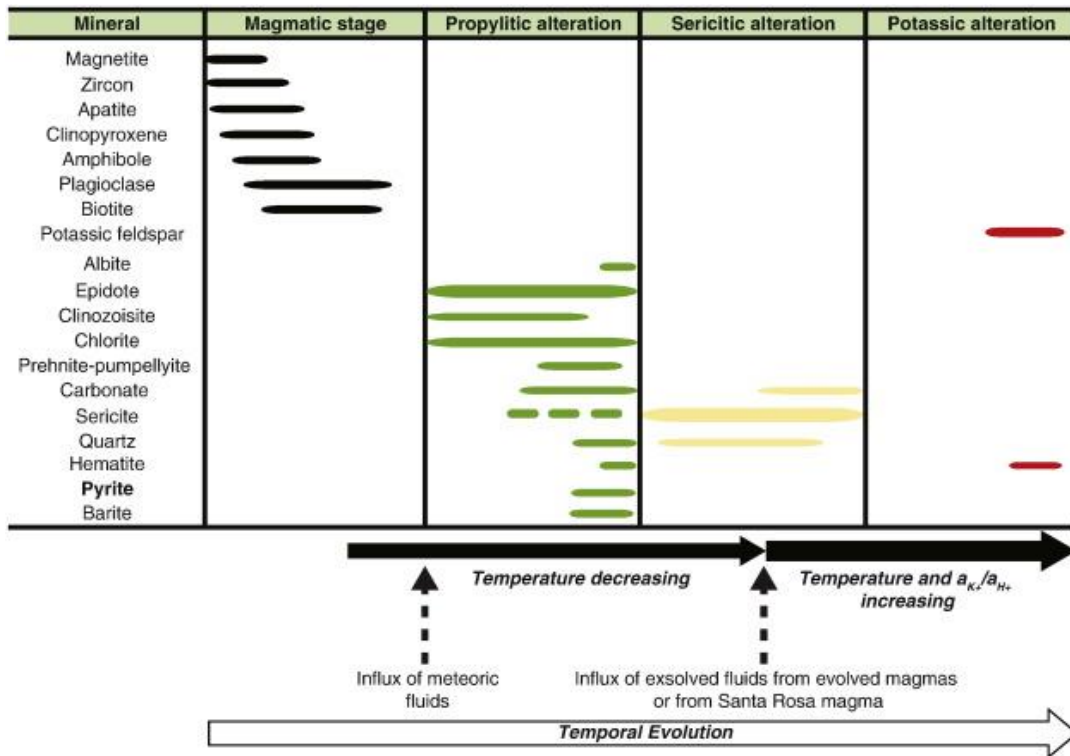


Kolloform Doku: Yumru ve böbreği andıran konsantrik halkalar boşlukların çeperlerinden itibaren gelişir. Düşük oluşum sıcaklıklarına işaret eden kolloform doku, jel haldeki malzemenin ritmik çökmesiyle oluşur. Opal, limonit, götit vb. gibi minerallerde sıkça görülür.



Breşik Doku: Yan kayadaki boşluklara yine bu yan kayacın köşeli parçaları düşebilir. O zaman cevherleşme breşik bir görüntü kazanır.





Magmatik maden yatakları

Ortomagmatik maden yatakları olarak da bilinen magmatik maden yatakları, magmatik kayalar veya kontakları boyunca oluşan ve cevher minerallerinin bir ergiyikten itibaren kristalleştiği veya ergiyik içinde taşındığı yataklardır. Magmatik kayalar içinde veya

evresinde sulu çözelti ler veya hidrotermal akışkanlardan mineral çök elmesi ile oluş an maden yatakları hidrotermal maden yatakları olarak adlandırılır. Magmatik-hidrotermal maden yatakları ise cevher çök elten akışkanların magmadan türediğ i hidrotermal yataklardır.