

Hidrotermal maden yatakları yüksek-sıcaklıklı sulu çözeltilerden çökelen cevher mineralleri ile temsil edilir.

- Söz konusu sulu çözeltilerin tuzlulukları deniz suyunun birkaç katı olabilmektedir. Bazı durumlarda, çözeltiler tuzların kütle olarak çözeltinin yarısından fazlasını teşkil ettiği salamura da çökeltirler. Bununla birlikte, akışkan su ve çözünmüş gazdan (CO₂ gibi) oluşan bir çözelti de olabilir.
- Yüksek sıcaklık yerin birkaç km altındaki normal kayaç sıcaklıkları (100°C) ile magmatik sıcaklıklar (800°C) arasında değişir.
- **Akışkan; sıvı, buhar** veya **gaz** şeklinde olabilir. Buradaki dört kelime birbirinin yerine geçecek şekilde kullanılabilir. Yüksek P-T altında, hidrotermal akışkanların çoğunun yoğunluğu yüzey koşullarındaki sıvı su ile su buharı arasındadır. Saf suyun kritik sıcaklığından (376°C) daha yüksek sıcaklıklarda, sıvı olarak davranan saf su azalan basınç veya artan sıcaklıkta kaynamaz bunun yerine yoğunluğu azalır. Tuzlu sular yüksek sıcaklıklarda kaynatarak yoğunluğu yüksek tuzlu salamura ile yoğunluğu daha az olan az tuzlu akışkan veya buhar oluşturur. Bu süreç, magmatizma ile ilişkili yüksek-sıcaklıklı hidrotermal akışkanların gelişmesini doğrudan etkiler.

Cevher mineralleri yeraltında kayaçlar içindeki boşluklarda veya diğer diğer mineralleri ornatarak veya kayaç ve su gövdeleri veya atmosfer (örneğin okyanus tabanı) arasındaki arayüzeylerde çökeltirler. Hidrotermal maden yatakları, ekonomik anlamda, çok sayıda değerli metalin olduğu en önemli yatak çeşididir (Cu, Au, Zn, Pb, U, Ag, Sn ve Mo).

Hidrotermal maden yatakları çeşitli sınıflara ayrılır:

- (i) Magmatik aktivite ile zamansal veya mekânsal yakın ilişki içinde olan hidrotermal yataklar,
- (ii) Bölgesel magmatizma veya tektonizma süreçleri ile eş zamanlı olarak oluşan ancak magmatik merkezlerin yakınında yer almayan hidrotermal yataklar,
- (iii) Magmatik aktivite ile zamansal bir ilişkisi olmayan veya magmatizmanın yaygın olmadığı sedimanter havzalarda oluşan hidrotermal yataklar.

Akışkan türleri

Derin kökenli akışkanlar:

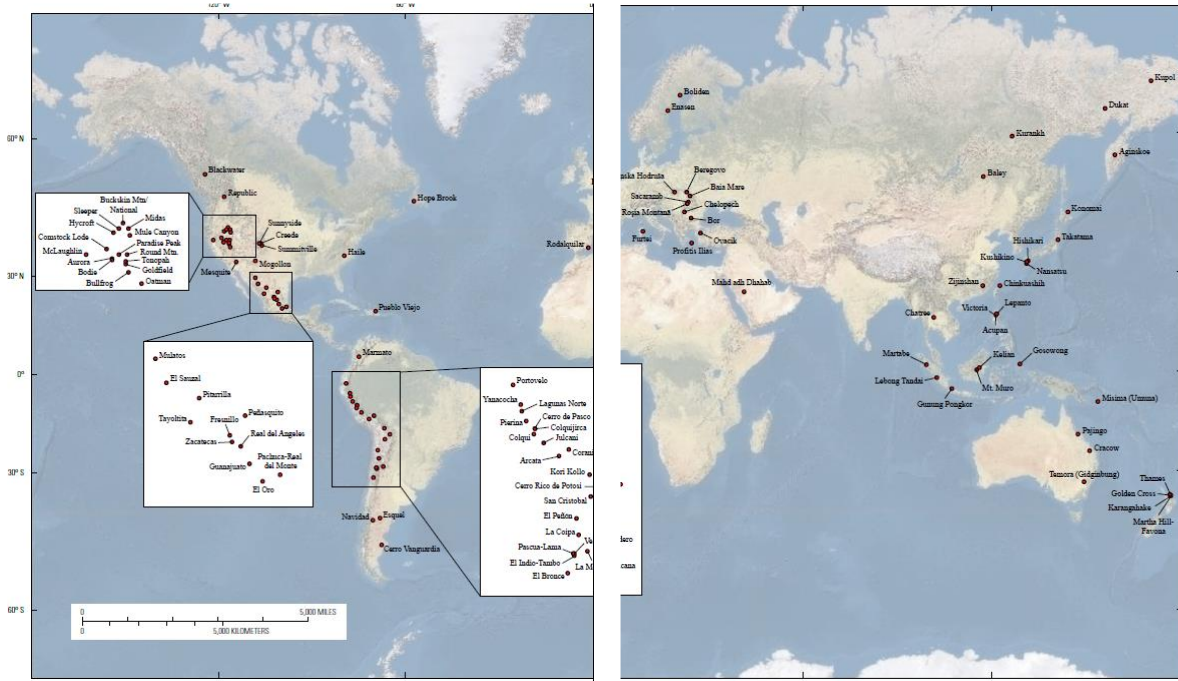
- Diyajenetik ve metamorfik akışkanlar = buharsızlaştırma (devolatilisasyon) tepkimeleri sonucunda miberalardan açığa çıkan akışkanlar
- Magmatik (magmatik-hidrotermal) akışkanlar = silikat magması içinde çözünmüş halde bulunan akışkanlar, basınç azalması ve/veya magmanın kristalleşmesi suretiyle çözeltilerden ayrılan akışkanlar

Yüzey kökenli akışkanlar:

- Meteorik sular = Hidrosfer kaynaklı yeraltı suları (yağmur suyu) ve yerkabuğunun birkaç km derinliğine kadar süzülen bu sular kayaçlar ile etkileşerek ısınırlar
- Okyanus suları, okyanus tabanını oluşturan kayaçlar içine süzülerek ısınan sular
- Tünek sular = sedimanların boşluklarında alıkonulmuş sular

Epitermal Au-Ag yatakları

Epitermal altın-gümüş yatakları yerkabuğunun en üst kısmında (yeraltı su seviyesinin yaklaşık 1500 m altındaki bir derinlikte) oluşurlar. Yapısal olarak denetlenen damar ve breşler içinde altın ve/veya gümüş barındıran bu yataklar genellikle büyük hacimli ana kayaçlar içinde saçınımlı (dissemine) halde bulunurlar. Epitermal altın-gümüş yatakları dünyanın her tarafında görülmekle birlikte daha çok yaklaşan levha sınırlarında yoğunlaşmışlardır.



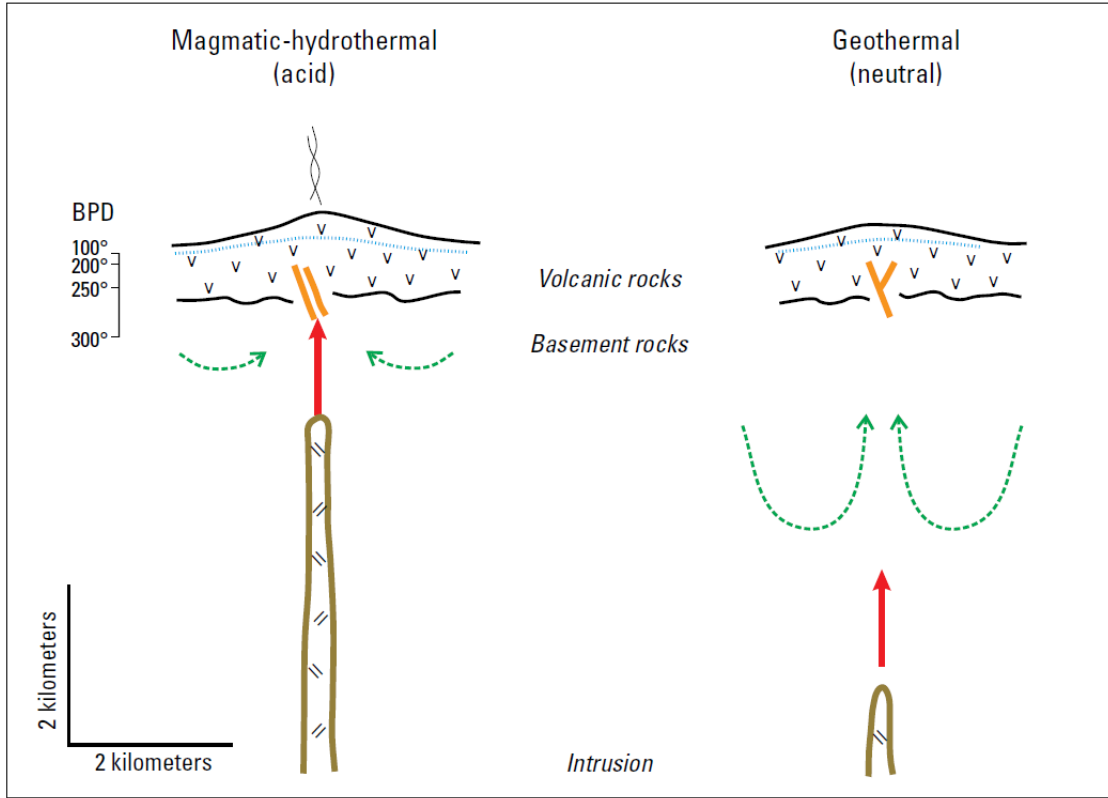
Epitermal altın-gümüş yataklarının dünya genelinde dağılımı.

Epitermal altın-gümüş yatakları, boyut olarak onlarca binden 1 milyar metrik tona kadar varan cevher içerirler ve altın tenörleri metrik ton başına 0.1 ile >30 gram arasında, gümüş tenörü ise metrik ton başına <1 ile birkaç bin gram arasındadır. Epitermal altın-gümüş yatakları uzun yıllardır altın ve gümüşün önemli kaynakları arasında yer almıştır (tüm altının %6'sı ve tüm gümüşün %16'sı bu tür yataklardan üretilmiştir (Singer, 1995). Frimmel (2008)'e göre, epitermal altın-gümüş yatakları küresel altın kaynaklarının yaklaşık %8'ni barındırır (geçmiş yıllardaki üretim, rezervler ve kaynaklar dahil). Tonaj-tenör özelliklerinin oldukça geniş bir aralıkta bulunması bu yatakları küçük ve büyük ölçekli madencilik şirketleri için cazip kılmıştır.

Tanım ve sınıflama

“Epitermal” terimi ilk kez Lindgren (1928, 1933) tarafından esas olarak altın, gümüş, cıva, antimon ve çeşitli baz metallere (Cu, Pb ve Zn gibi) üretildiği ve yeryüzünün sığ derinlerinde 50-200°C sıcaklıkta ve 100 atmosferi aşmayan basınç koşullarında depolanmış yataklar için kullanılmıştır. Ancak daha sonra yapılan çalışmalar epitermal yatakların 300°C'ye varan sıcaklıkta ve yeraltı su seviyesinin 50-1500 m altında oluştuğunu ve bu yatakların çoğunlukla

büyük hidrotermal sistemlerin sığ kesimlerini temsil ettiğini ortaya koymuştur (Henley ve Ellis, 1983).

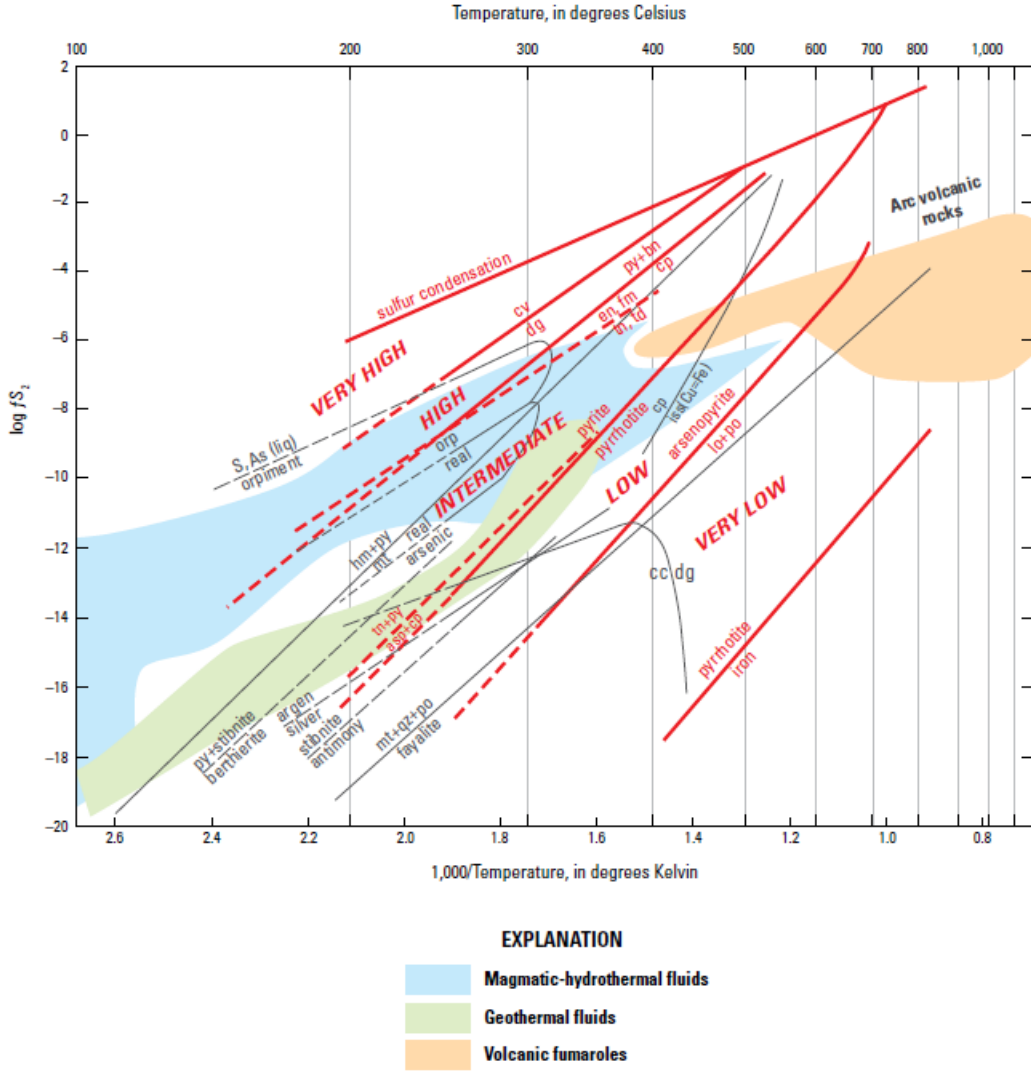


Magmatik hidrotermal ve jeotermal sistemlerin bileşenlerini ve bu sistemler içindeki düşük sülfidasyon (nötr) ve yüksek sülfidasyon (asidik) epitermal ortamların konumunu gösteren şematik kesit (Simmons vd., 2005). Hidrostatik şartlar altındaki maksimum basınç-sıcaklık gradyanı derinliğe göre kaynama noktası ile temsil edilmiştir (BPD).

Günümüzde kullanılan sınıflama sistemleri cevher ve gang mineralojisini, hidrotermal alterasyona ve/veya cevherleşmeye neden olan akışkanın kimyasal karakteristiklerini (pH, oksitlenme durumu veya sülfidasyon durumu) göz önüne almaktadır (Simmons vd., 2005). Önerilen sınıflamaların büyük bir bölümü bu yatakların çok geniş bir aralıkta karakteristik özelliklere sahip olduklarını göstermektedir. Yatakların benzer özellikleri arasında oluştukları tektonik ortam, ana kayaç, yataklanma şekli, oluşum yaşı, oluşum sıcaklığı ve derinliği sayılabilir. Ancak cevher, gang ve alterasyon mineralleri ile zonlanma, cevher-akışkan kimyası ve yataklardaki bileşenlerin kökeni çok farklı olabilmektedir. Özellikle akışkan kimyasının sülfidasyon durumunu yansıtan sülfat mineral birlikteliklerinde belirgin farklılıklar söz konusudur.

Bu modelde, sülfat mineral birliğini çökelten cevherli akışkanların kükürt fugasitesindeki (f_{S_2}) farklılıkları yansıtmak üzere yüksek, orta ve düşük sülfidasyon olmak

üzere üç alt yatak çeşidi tanımlanmıştır (koyu kırmızı çizgiler). Düşük ve orta derecede kükürt fugasitesi ile temsil edilen gümüş sülfid mineralleri, gümüş selenid mineralleri ve elektrum (%20'den fazla gümüş içeren altın alaşımı) çoğunlukla düşük ve orta sülfidasyon yataklarına dahildir. Ancak enarjit ve altın (%10'dan az gümüş içeren altın alaşımı) dünya genelinde yüksek kükürt fugasiteli akışkanların çökelttiği yüksek sülfidasyon yataklarında oluşurlar.



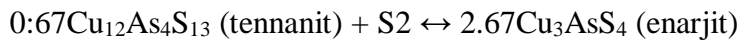
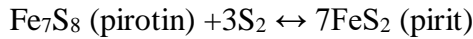
Epitermal yataklarda görülen ve çok düşük-düşük-orta-yüksek-çok yüksek sülfidasyon durumlarına temsil eden çeşitli sülfid mineralleri için kükürt fugasite (fS_2)-sıcaklık diyagramı (Sillitoe ve Hedenquist, 2003). Kalın kırmızı çizgiler bu sülfidasyon durumları arasındaki sınırlara karşılık gelmektedir. Yay volkanik kayalar, yüksek-sıcaklık fumaroller, magmatik-hidrotermal akışkanlar ve jeotermal akışkan alanları da şekilde gösterilmiştir. Düşük sülfidasyon epitermal yatakları, pirit (py)-arsenopirit (asp), ve bazı yataklara özgü az kalkopirit (cp) ve piroten (po) oluşan düşük sülfidasyon mineral topluluğu ile temsil edilir. Orta sülfidasyon epitermal yatakları, pirit, kalkopirit, tetrahedrit (td)-tennantit (tn) ve demirce fakir sfaleritten ibaret orta-derece sülfidasyon mineral topluluğu ile temsil edilir. Yüksek sülfidasyon epitermal yatakları pirit-bornit (bn), pirit-enarjit (en), pirit-luzonit, pirit-famatinit (fm) ve pirit-kovelinden (cv) oluşan yüksek-dereceli sülfidasyon durumu gösteren sülfid mineral topluluğu ile temsil edilir. Element ve mineral kısaltmaları: As, arsenik; argen, arjenit; cc, kalkozin; Cu, copper; dg, dijenit; Fe, demir; hm, hematit; iss, orta-derece katı çözültü; lo, loellinjit; mt, manyetit; orp, orpiment; qz, kuvars; real, realgar; S, kükürt.

Epitermal altın-gümüş yatakların karakteristik özellikleri ve çeşitleri.

	Yüksek-sülfidasyon	Düşük sülfidasyon	Orta derece-sülfidasyon
Zamansal ve mekânsal olarak ilişkili volkanik kayalar	Kalk-alkalin, andezit-dasit	Kalk-alkalin, andezit-riyolit; toleyitik, bimodal bazalt-riyolit	Kalk-alkalin, andezit-riyolit
Volkanik arazi yapıları ve yataklar	Lav domları ve akmaları, diatremler, tüf halkaları, maarlar ve intrüziif breşleri, piroklastik ve volkanoklastik kayaların kapladığı yüksek araziler ve havzalar	Lav domları ve akmaları; piroklastik ve volkanoklastik kayaların kapladığı yüksek araziler ve havzalar; dayklar	Lav domları ve akmaları, diatremler, tüf halkaları, maarlar ve intrüziif breşleri, piroklastik ve volkanoklastik kayaların kapladığı yüksek araziler ve havzalar
Tektonik ortam	Sıkışmalı-sıkışma bileşenli kıtasal-kenar yayı veya yay gerisi; sıkışmalı-sıkışma bileşenli, nötr stres ile orta-derecede açılmalı kıtasal-kenar yayı	Açılmalı kıtasal kenar ve ada yayları; açılmalı yay gerisi; yay sonrası kıtasal açılma	Açılmalı kıtasal kenar yay; sıkışmalı ada yayı; kıtasal rift
Yakınsak alterasyon mineralleri	Alümit, kaolinit (dikit), pirit, profillit, residual, boşluklu kuvars, alüminyum-fosfat-sülfat (APS) mineralleri	Kuvars-adularya±illit±pirit	Kuvars-adularya±illit±pirit
Silika ve karbonat gang ve dokusal özellikler	Yapısal ve stratigrafik kontrollü ince taneli silisleşme ve kalıntı, boşluklu kuvars; karbonat minerali yok	Damar-dolgu kabuk ve kolloform kalsedon ve kuvars; az geç-evre kalsit ve/veya kalsit-replasman dokusu	Fay zonu replasmanı ve ince-kaba taneli, eş boyutlu kuvarslar tarafından damar dolgu, kabuksu ve tarak dokulu kuvars, kalsit geç aşamalı veya termal çıkış noktalarına uzak
Diğer gang	Az barit, geç aşama ürünü	Barit yaygın değil; florit yerel olarak mevcut	Yerel olarak barit ve manganlı silikatlar mevcut
Altın-gümüş ve diğer cevher mineralleri	Altın, elektrom, Au-Ag tellüridler, akanthit, Ag-içeren tennantit, tetrahedrit, enarjit, luzonit, kalkopirit	Elektrom, Ag sülfidler, selenidler ve sulfotuzları; düşük Ag/Au; diğer metaller genellikle görülmez	Elektrom, Ag sülfidler ve sulfotuzlar; yüksek Ag/Au; kalkopirit, galen, sfalerit
Sülfid bolluğu	%5 ile 90 arası (hacimsel)	Bazaltların ana kayaç olduğu durumlar hariç (%20'ye kadar varan) genellikle %<1 ile 2 arası (hacimsel)	% 5 ile >20 arası (hacimsel)
Sülfid mineralleri	Pirit, enarjit, luzonit, kovelin-dijenit, famatinit, kalkopirit, tetrahedrit/tennantit, Fe'ce fakir sfalerit	Pirit/markasit, Au-Ag sülfidler/sulfo tuzları, arsenopirit, pirotin, Fe'ce fakir veya zengin sfalerit, zinober, stibnit	Pirit, Au-Ag sülfidler/sulfotuzları, Fe'ce fakir sfalerit, galen, kalkopirit, tetrahedrit/tennantit
Diğer zenginleşmiş metaller	As, Sb, Bi, Sn, Te, Se	As, Sb, Se, Hg	Mn, Se
Te ve Se mineralleri	Au-Ag tellüridler yaygın; selenidler yerel olarak mevcut	Au-Ag selenidler, Se sulfotuzları yaygın	Tellüridler yerel olarak yaygın; selenidler yaygın değil
Yatak sitili, damarlar ve cevher yapıları	Breşler; diatremler; residüel boşluklu kuvars; stratabound saçınımlı; masif sülfid; damarlar ve ağsal; damarlar genellikle geç evre	İnce uyumlu ve uyumsuz tabakalı mineral grupları ve breşlerin çok aşamalı damarları, tarak ve kabuksu dokular, makaslanmış damarlar; damar ağları ve breşler; fay kavşakları; saçınımlı	Çok aşamalı damarlar ve kaba katmanlı breşler, tarak ve kabuksu dolgu, saçınımlı diatremler
Paleoyüzyel belirteçleri	Bazı yataklar üzerinde buhar ısıtmalı örtüler	Sinter ve patlama breşleri; kalsedon örtü; bazı yataklar üzerinde buhar ısıtmalı örtüler; bazı yataklar üzerinde ince kuvars damarları ve ağsal oluşumlar	Nadir bilgi mevcut; bazı yataklar üzerinde ince kuvars damarları ve ağsal oluşumlar
En üst cevher zonuunun derinliği (su tablasının m olarak altında)	Onlarca metre ile 700 m arası	Metreden yüzlerce metreye kadar	Yüzlerce metre
Cevherin düşey uzanımı	100 - 800 m	Çoğunlukla 100-400 m	Yaklaşık 1,000 m kadar
Sıvı kapanım homojenleşme sıcaklığı ve bileşim	Genellikle 155-330°C (sıklıkla 220-270 °C); %0-6 ağı. NaCl eşdeğeri; bazı yataklarda halitçe doymun akışkanlar	<100-390°C (sıklıkla <130-290 °C); %0-6 ağı. NaCl eşdeğeri (çoğunlukla <%3)	135-385 °C (sıklıkla 220-310 °C); %23'e varan ağı. NaCl eşdeğeri (çoğunlukla %1-12)
Temsili yataklar	Yanacochoa, Pueblo Viejo, Pierina, Pascua-Lama, Goldfield, Summitville	Hishikari, Midas, Sleeper, McLaughlin, National, Mule Canyon	Comstock Lode, Tonopah, Fresnillo, El Peñón, Waihi, Peñasquito, Roşia Montana

Bu ayırım sülfidasyon (yükseltgenme) durumu gözetilerek yapılmıştır. Sülfidasyon hali cevher minerallerindeki kükürdün kalkofil elementlere oranı şeklinde ifade edilir. Bu oran kalkofil elementlerin yük durumunu ve hangi sülfid ve oksit minerallerin oluşacağını denetler. Sülfidasyon derecesi mineralde ne kadar kükürt olduğuna işaret etmez.

Kükürt doğada çok farklı oksidasyon durumu ile temsil edilir. En yaygın olanı sülfid (-2), polisülfidler ($-2 < x < 0$), saf kükürt (0) ve sülfat (+6). Sülfidasyon derecelerindeki ayırım moleküler kükürdün eklenerek veya çıkarılarak dengelendiği mineral tepkimeleri ile kontrol edilir. Bunlardan bazı önemli olanları şunlardır (sağa doğru sülfidasyon derecesi yükselir):



Bu tepkimeler sonucunda, sülfid mineral türlerine göre cevherler

Düşük sülfidasyon cevherleri: arsenopirit (FeAsS), kalkopirit (CuFeS_2) ve pirotin (Fe_7S_8)

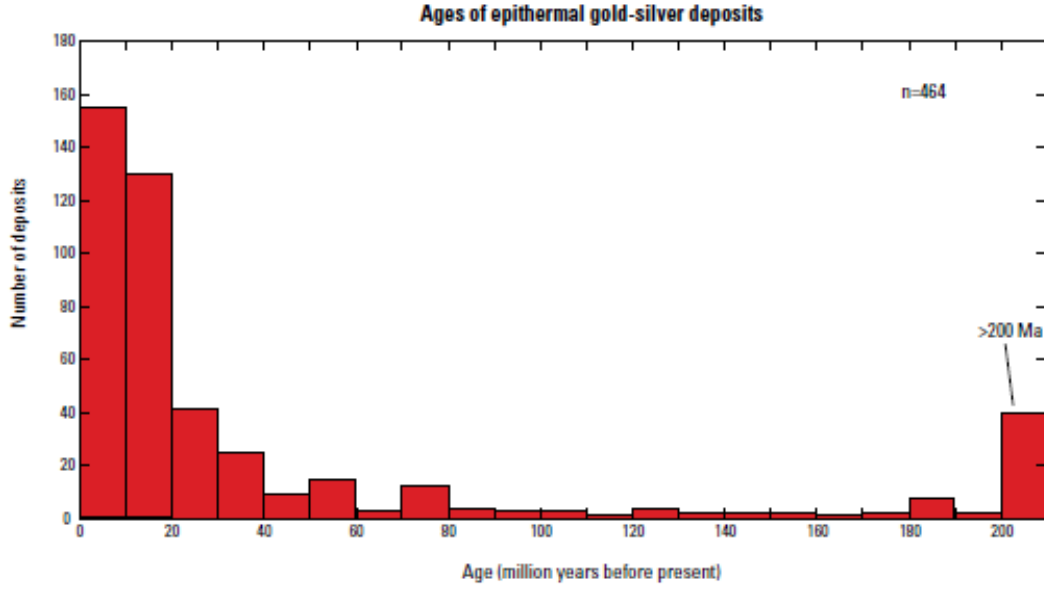
Orta derecede sülfidasyon cevherleri: pirotinin yerine pirit FeS_2 (pirit), arsenopiritin yerine tennantit ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$)

Yüksek sülfidasyon cevherleri: pirit baskın, enarjit arsenik içeren ana mineral (Cu_3AsS_4) ve Cu cevher minerali olarak bornit (Cu_5FeS_4) veya kovelin (CuS) görülür.

- Düşük sülfidasyon cevherleri indirgendir. Bu sülfid minerallerindeki kükürt indirgen (-2) haldedir. Bu yataklardaki gang fazları nötr karakterli hidrotermal akışkana işaret eder. Bu yataklara alternatif olarak adularya-serizit adı da verilir (damarlarda adularya ve serizit minerallerinin bol olarak bulunması nedeniyle).
- Yüksek sülfidasyon cevherleri yükseltgen karakterdedir. Kükürt barit, anhidrit ve alünitte (+6) ve nabit kükürtte (0) olduğu üzere oksitlenmiş haldedir. Cevher yakınındaki altere kayaç oldukça asidik hidrotermal akışkan etkisiyle birçok element bakımından fakirleşmiştir. Bu nedenle, bu yataklar bazen asit-sülfat yatakları olarak da bilinir.

Jeolojik zaman boyunca değişimler

Epitermal altın-gümüş yatakları muhtemelen Arkaen'den itibaren tüm jeolojik dönemlerde oluşmuştur. Bu yataklar üst kabuğun sığ kesimlerinde (1500 metreden daha sığ derinliklerde) yığıldığı için (tektonik olarak aktif olan yaklaşan levha kenarları), yüksek yükselim hızına maruz kalmışlar ve bu nedenle zaman içinde erozyonla aşınmışlardır. Bundan dolayı bilinen yatakların çoğu Senozoik yaşlı olup, epitermal altın-gümüş yatakları için öngörülen yaş dağılımı daha ziyade genç çökellerin korunduğu şeklinde düşünülebilir. 464 epitermal altın-gümüş yatağının yaşları 3450 ile 0.3 milyon yıl arasında değişmektedir. Bunların ortalama yaş 14.8 milyon yıl olup %90'ı 175 milyondan gençtir.



Epitermal altın-gümüş yataklarını oluşturan hidrotermal sistemlerin sürekliliği

Epitermal yatakları oluşturan hidrotermal aktivitenin ömrü (1) modern jeotermal sistemlerde metal akışı ve metal çökelme hızı çalışmalarından ve (2) cevherleşme ile eş zamanlı olduğu kabul edilen konak kayaç, örtü kayaç ve gang minerallerine yönelik jeokronolojik çalışmalardan tahmin edilmektedir. Aktif jeotermal sistemlerde yürütülen teorik çalışmalar bir milyon ton ons (31 metrik ton) altın içeren bir altın yatağının oluşmasının birkaç bin yıl sürebileceğini göstermiştir. Ancak bu büyüklükteki bir yatağa yönelik jeokronolojik çalışmalar hidrotermal işlevlerin birkaç onbin yıldan yüzlerce bin yıl kadar sürebileceğine işaret etmektedir. Yatakların ise birkaç on bin yıl ile birkaç milyon yıl arası bir zamanda oluşması beklenmektedir.

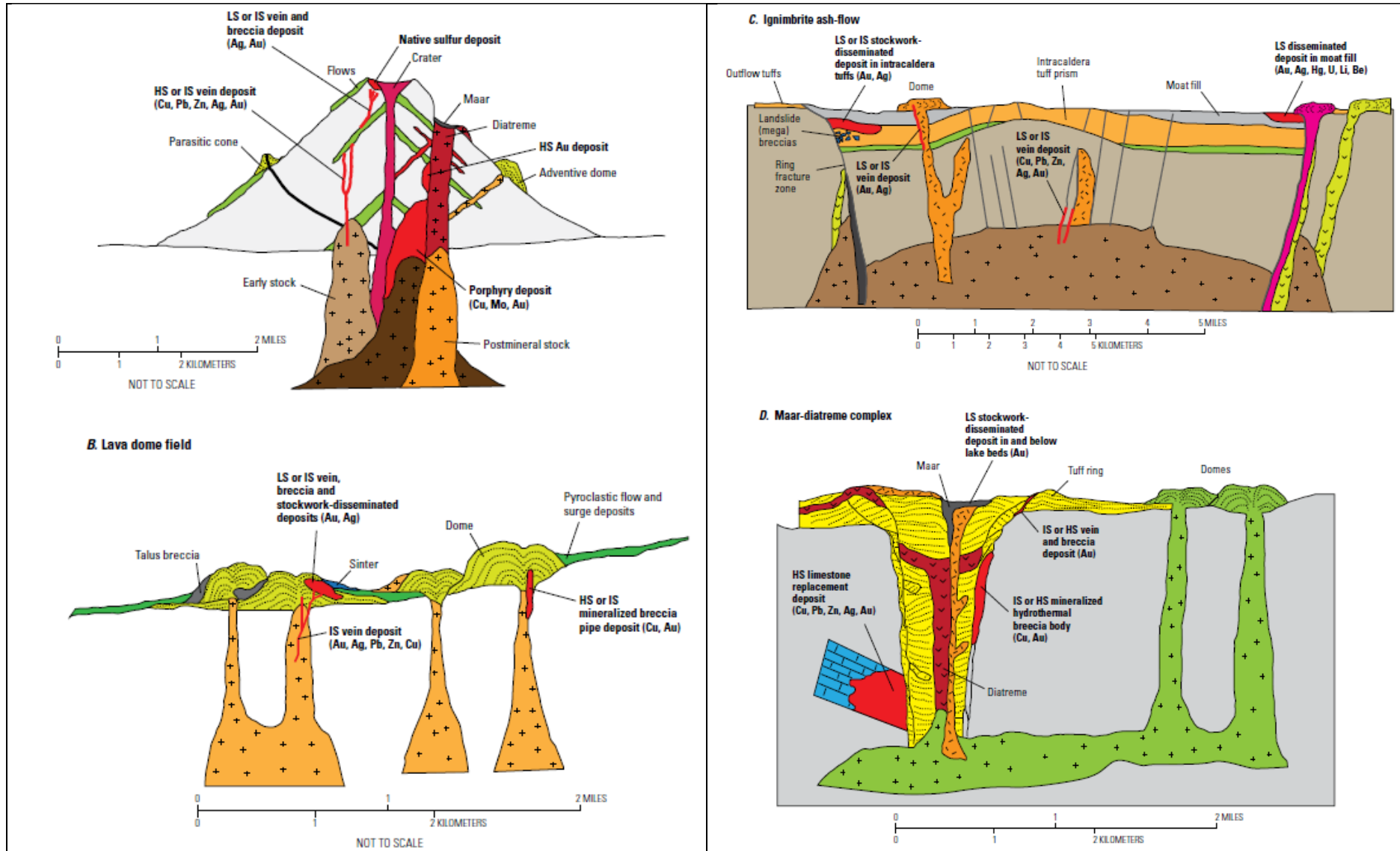
Yapısal ilişkiler

Magmatik yapılar

Volkanik ve derinde yerleşmiş intrüzif kayaçlar epitermal altın-gümüş yataklarının en yaygın ana kayaçlarıdır. Magmatik breşler, kaldera yıkılması ile ilişkili yapılar (halka kırıkları ve kraterler) ve yükselen domlar, diatremler ve dayklar epitermal cevher gövdeleri için önemli yığılma alanlarıdır. Bu yapısal unsurlar stratovolkan, dom akmaları maar-diatrem sistemleri, kalderalar ve dayk sistemleri gibi epitermal yatakları barındıran volkanik araziler ile ilişkilidir.

Magmatik breşler

Breşlerin çeşitli yolla oluşabilir. Magmatik süreçlerle ilişkili olan breşler magmatik-hidrotermal, hidromagmatik (feratik ve freatomagmatik türler), volkanik ve intrüzyon breşleridir. Magmatik-hidrotermal breşler kristalleşen magmadan akışkanların patlamalı şekilde salınması sonucunda oluşurlar. Bunlar daha çok derin porfiri yataklarda yaygındır. Hidromagmatik breşler, magmanın yeraltı suyu veya nadiren deniz suyu gibi dış kaynaklarla etkileşime girmesi sonucunda meydana gelir. Magma ve suyun bir araya gelmesi ile freatomagmatik breş oluşurken feratik breşler ise magma kaynaklı ısı ile suyun etkileşmesinden oluşur. Magmatik kayaçların parçalanmasından oluşan volkanik breşler çoğu epitermal yatağın başlıca ana kayacını meydana getirir. Magmatik breşler geçirimli olmaları nedeniyle hidrotermal akışkanların dolaşımını sağlamakla birlikte cevher minerallerinin birikmesi için uygun boşluklar oluştururlar.



Epitermal altın-gümüş ve diğer yataklar ile değerli metalleri barındıran volkanik arazileri gösteren şematik kesitler , A: stratovolkan, B: lav domu sahası, C: ignimbrit (kül akması) calderası, D: maar-diatrem kompleksi (Sillitoe ve Bonham, 1984).

Kaldera ile ilişkili yapılar

Kalderalar, volkanik püsküre sırasında yüzeye doğru hareket eden magmanın geride bıraktığı boşluğa volkanik yapının yıkılması suretiyle oluşurlar. Kalderalar büyük-hacimli silisik ignimbritlerin püskürmesiyle oluşan büyük ignimbrit kalderaları (kül akması ve Valles tipi) ve stratovolkanların zirve yakınında görülen küçük kalderalar olmak üzere iki türe ayrılırlar. Epitermal altın-gümüş yatakları ignimbrit kalderalarının halka kırık zonları boyunca ve her iki tür kalderanın yıkıntı içlerinde oluşurlar. Büyük ignimbrit kalderalarında, bazı epitermal altın-gümüş yatakları kaldera yıkılmasını hemen takiben oluşurlar veya magma yükselmesi veya dom yerleşimi ile ilişkilidirler. Stratovolkanlarla ilişkili küçük kalderalarda ise, yıkıntı kraterleri kısmen çok asidik göllerle kaplı olabilmekte ve bu su gövdelerine ulaşan magmatik gazlar yüksek-sülfidasyonlu epitermal altın yataklarının yığılmasına neden olmaktadır.

Diatreme kompleksleri

Dom-diatrem ve maar-diatrem kompleksleri sıklıkla orta dereceli veya yüksek sülfidasyon epitermal altın-gümüş yatakları barındırır. Epitermal yataklar, altında maar yapıları olan diatreme breşleri içinde oluşurlar. Bu yataklardaki epitermal cevher maar kraterini dolduran sedimanter kayalar içine saçılarak diatrem breşleri içinde saçınımlı, damar ve breş gövdelerini veya diatreme ana kayacı içinde saçınımlı, breş ve replasman oluşumlarını meydana getirirler.

Dayklar

Cevherleşme ile eş zamanlı açılma bölgelerinde normal faylar boyunca yerleşmiş dayklar epitermal yataklarda yaygındır. Daykların kenar kısımları ve ilişkili konak kayalar faylanma ve dayk yerleşimi sırasında breşleşmiştir. Ancak yoğun geçirimsiz olan daykların merkezi bölümleri hidrotermal akışkanların hareketini sınırlandırır.

Tektonik yapılar

Epitermal altın-gümüş yatakların çoğunda görülen faylar ve kırık sistemleri cevher gövdelerinin lokasyonu, dağılımı ve şeklini kontrol eden önemli parametredir. Faylar derin, yüksek-sıcaklıklı hidrotermal akışkanların sığ epitermal ortamlara taşınmasına yönelik kanal görevi üstlenmekle birlikte soğuk yeraltı suyunun (meteorik) depolanma ortamına sızmasını da yol açar. Cevherli damarlar, özellikle en echelon fay segmentleri arasındaki genişlemeli sıçrama (dilatational jog) alanlarında ve fayları birleştiren sigmoidal kıvrımlarda olmak üzere genellikle kompleks fay örgülerini sararlar. Daha büyük damarlar ise deprem faylanması ile tetiklenen çok-fazlı açılma süreçleri sırasında ve bunların kuvars, kalsit, çeşitli gang ve cevher minerallerinin çökmesi ile gelişen kanal tıkanması ile oluşurlar.

Epitermal sistemlerdeki geçirimsizlik ve sıvı akma desenleri oldukça karmaşık olup bölgesel tektonik rejim, litoloji ve mevcut yapılara göre değişiklik gösterir. Geçirimsizlik ve sıvı akması zaman içinde de artar veya azalır. Fay kırılmak suretiyle geçirimsizliği ve akışkan hareketini artırır (sismik pompalama) ve açık boşluklar hidrotermal minerallerin çökmesiyle doldurulur ve böylece geçirimsizlik ve akışkan hareketi azalır (kendinden sızdırmazlık). Fay kenarları, sıçrama zonları ve fay eğiminin değiştiği alanlarda düşey yönde akışkan hareketi artar. Detaylı yapısal ve dokusal çalışmalar sonucunda, epitermal altın-gümüş cevherleşmelerinin durgun koşullardan ziyade fay örgüleri boyunca tekrarlanan ve kısa süreli akışkan getirimleri ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Normal, oblik, doğrultu atımlı ve ters faylar epitermal altın-gümüş yataklarında yaygın olup bunlar cevher dağılımında büyük rol oynarlar. Cevherleşme sonrasında oluşan faylar epitermal yatakları parçalara ayırmakla birlikte yer değişmelerine neden olurlar. Faylanma, bazı durumlarda, yüzeye oldukça yakın olan bu cevherleşmelerin erozyona uğramasına yol açar.

Epitermal altın-gümüş yataklarını denetleyen yapısal ve litolojik unsurlar

Kontrol türü	Tanım	Örnek yatak
Domlar	Cevherleşme dom yerleşimi içinde veya onunla ilişki	Summitville, Cerro Rico de Potosi, Julcani
Dayklar	Cevherleşme dayk Kenarları boyunca	Mule Canyon, El Oro
Halka kırıkları	Cevherleşme kaldera halka kırıkları boyunca	Round Mountain, Rodaquilar
Diatrem	Freatomagmatik püskürme ile oluşmuş breşleşmiş volkanik kanallardaki (diatrem) cevherleşme	Kelian, Roşia Montană, Cerro de Pasco
Geçirimli birimler/akitardlar	Geçirimli sedimanter, tüflü ve volkanoklastik birimler içinde saçınımlı cevherleşme	Hycroft, Paradise Peak
Reaktif birimler	Karbonat veya diğer kimyasal rekatif birimlerin replasmanı	Cerro de Pasco
Faylar, kırıklar ve eklemler	Cevherleşmeden yaşlı veya eş zamanlı faylar veya diğer kırıkların denetimi	Golden Cross, Comstock Lode
Fay breşleri ve fay kili	Cevher fay breşlerinde oluşur	Mule Canyon
Damarlar	Cevherleşme damarlar içinde	Martha Hill, Golden Cross, Sleeper
Ağsal damarlar	Cevherleşme küçük-çaplı ve nadiren yönlenmiş damar zonlarında oluşur	Martha Hill, Golden Cross, Sleeper
Paralel damarlar	Cevherleşme birbirine paralel damar zonlarında oluşur	McLaughlin
Breşler	Cevherleşme hidrotermal breşlerde oluşur	Paradise Peak, Kelian
Kalıntı kuvars	Cevherleşme asidik yıkanma ile gelişen açık boşluklarda oluşur (boşluklu veya kalıntı kuvars)	Summitville, Yanacocha

Hidrotermal yapılar

Epitermal yatlarda görülen hidrotermal yapılar arasında damarlar, ağsal damarlar, hidrotermal breşler ve sinter çökelleri sayılabilir.

Damarlar

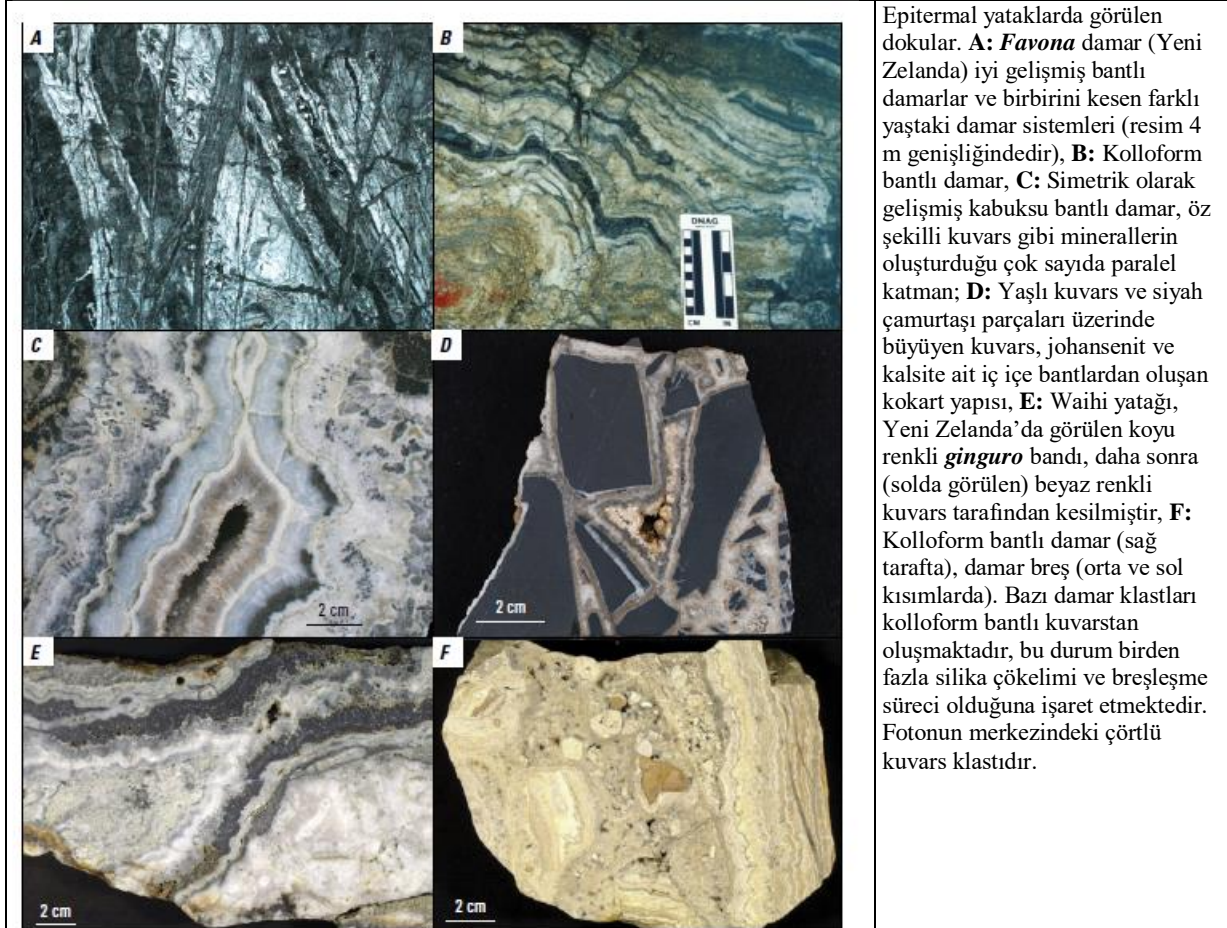
Damarlar, hidrotermal sıvıların aktığı ve hidrotermal mineralleri çökelttiği (başta kuvars ve karbonatlar olmak üzere yerel olarak adularya, kil mineralleri ve zeolitler) fay ve diğer boşlukları kapsar. Ağsal ve levha damar zonları da dahil olmak üzere, damarlar düşük ve orta dereceli sülfidasyon yataklarının çoğunda baskın cevher türünü oluşturur (Midas, Sleeper ve Comstock Lode, Nevada; Martha Hill, Yeni Zelanda; Hishikari, Japonya). Ağsal damarlar düşük ve orta dereceli sülfidasyon yataklarında da yaygın görülen unsurlardır. Bazı sahalarda, bu durum düşük altın-gümüş tenörlü cevherlerin açık-işletme yöntemiyle üretilmesine olanak verir (Golden Cross, New Zelanda, and Round Mountain, Nevada). Buna karşılık, ince levha damarlar epitermal yatlarda pek yaygın değildir. Damarlar farklı fiziksel ve kimyasal koşullarda oluştukları için çeşitli doku türlerinin ortaya çıkmasına neden olur.

El örneklerinde ve mikroskopik incelemeler ile belirlenen kuvars dokuları

Epitermal damarlar genellikle bantlı (katmanlı) olup bantlar çoğunlukla büyüme dokusu gösterirler. Bantlar kolloform, kabuksu ve ginguro olarak sınıflandırılırlar.

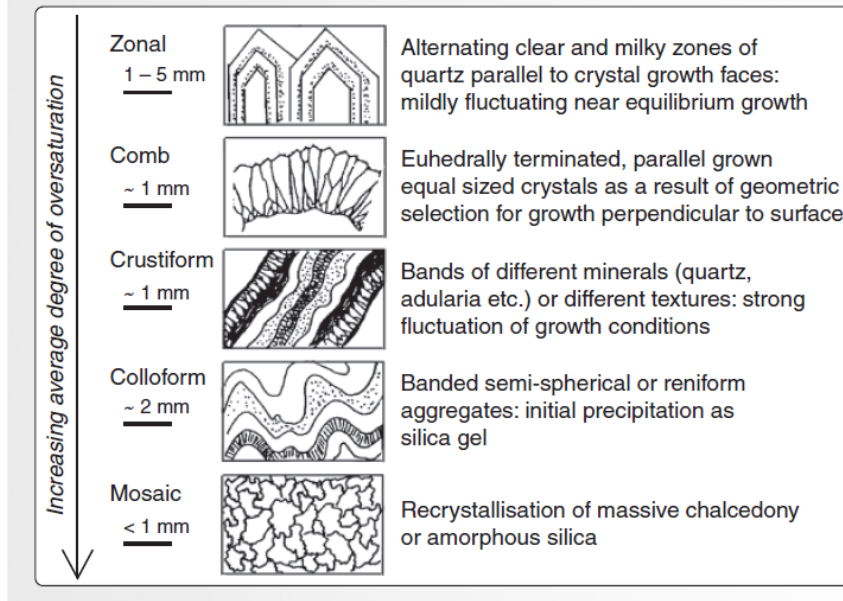
Kolloform bantlı damarlar dalgalı, batriyoidal veya laminar kalsedonik veya kristalen kuvars ve diğer hidrotermal minerallerin bantlarını kapsar. Bu doku epitermal yatlarda

oldukça yaygındır. Tek bir damardaki çok sayıda katman genellikle paralel olup paralellikten olan küçük ölçekli sapmalar küresel boğum veya laminar tümseklere işaret eder. Bantlar çeperden başlayarak sürekli boşluk-dolgunu nedeniyle merkezden itibaren ayna görünüşü simetriktirler. Genişliği 5 mm'ye varan bantların kalın olanları 100-200 mikron boyutunda alt bantlar içerirler. Kolloform bantlar, kaynayan hidrotermal sistemlerde hızlıca çökelen amorf silika veya kalsedona karşılık gelir. Bu silika mineralleri daha sonra kuvars oluşturmak üzere kristalleşirler.



Kabuksu bantlar çoğunlukla beyaz renkli olup ince-kaba taneli kuvars veya diğer hidrotermal minerallerden oluşur. Kalınlıkları cm'yi geçmez. Tarak kuvars kabuksu bantlarda görülen en tipik doku türüdür. Bantlar renk, mineraloji ve dokuda farklılıklar göstermekle birlikte kolloform batlardakine benzer şekilde ayna görünüşü simetriktirler. Kabuksu bantlarda, kuvars tane boyu inceden kabaya veya kabadan inceye doğru sistematik derecelenme gösterir. Kokart kuvars damar breşlerinde görülen kabuksu kuvarsın bir alt türüdür. Bu breşlerde kabuksu bantlar konak kayaç klastlarını veya önceki damara ait parçaları çevreler.

Ginguro "gümüşü siyah" anlamında Japonca bir terim olup epitermal damarlardaki olağanüstü yüksek tenörlü bantlar için kullanılır. Bu bantlar koyu gri renkli olup 2 cm kadar genişliğe ulaşırlar. Bunlar içinde gümüş mineralleri ve elektrik oldukça bolluكتadır. İyi gelişmiş ginguro bantlarındaki altın konsantrasyonu onlarca yüzdeye kadar varmaktadır. Bu değerler çoğu epitermal yataкта görülen altın konsantrasyonunun binlerce katıdır. Ginguro bantları tek bir bant içinde altının büyük bir kısmını tutmaları açısından büyük öneme sahiptir. Bu bantlar muhtemelen cevher-yapıcı elementlerin hidrotermal çözeltilerden zenginleşmesini sağlayan kaynama süreci sonucu oluşmuştur.



Masif kuvars, süt beyaz renkli, ince taneli tekdüze kuvarstan oluşur ve başka bir dokusal özellik göstermez. Masif kuvars boyutu 400 mikron kadar olan öz şekilli-yarı öz şekilli kristallerden oluşur. Taneli doku gösterir ve birbirine kenetlenmiş homojen görünümlü kristallerden yapılıdır.

Şekerimsi kuvars epitermal yataklarda pek yaygın değildir. Beyaz renkli, ince taneli, gevrek bir yapıda olup genellikle tarak ve masif kuvars ile birlikte oluşur.

Epitermal yataklarda oldukça yaygın olan breşler tektonizma, hidrotermal, magmatik-hidrotermal, yıkılma, volkanizma ve diğer magmatik süreçler gibi çeşitli işlevler vasıtasıyla oluşurlar. Damar malzemesine ait klastlar içeren damar breşlerindeki altın konsantrasyonu çok yüksek olabilir.

Tarak kuvars prizmatik, öz şekilli ve paralel dizilmiş kuvars kristallerinden oluşur, bunlar ana kaya çeperlerine veya bir önceki damar yüzeyine dik şekilde yerleşmiştir.

Hidrotermal breşler

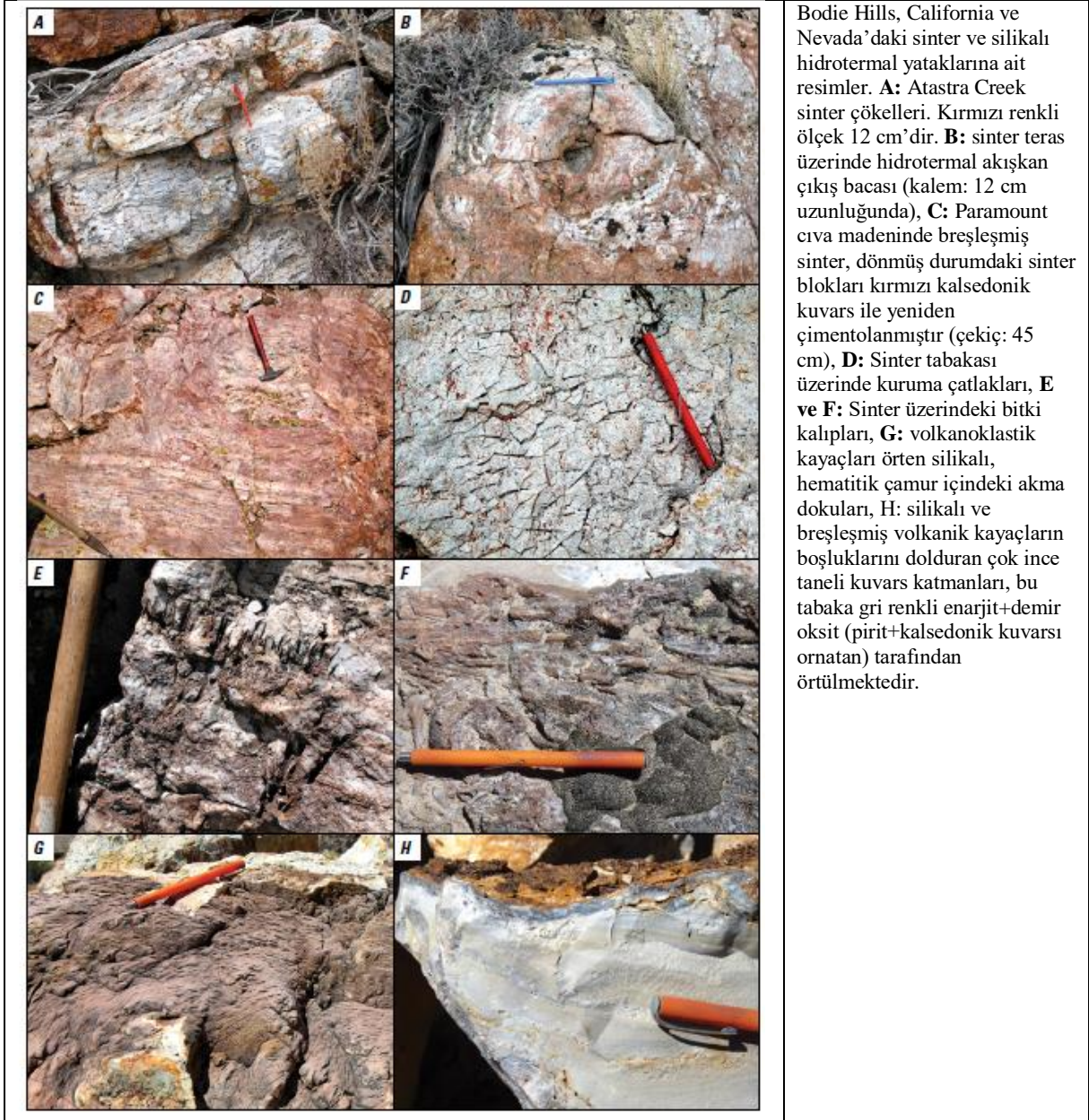
Epitermal altın-gümüş yataklarında oldukça yaygın olan hidrotermal breşler genellikle yüksek tenörlü cevher içerirler. Bu breşler düşük geçirimsilikte olan yerel bir bariyerin altında akışkan basıncının artması veya patlamalı bir şekilde ferahlaması sonucu oluşurlar. Düşük geçirimsilik bariyerleri soğuma ile silik çökmesi nedeniyle oluşan boşluk doldurma ve kendinden sızdırmazlık süreçlerine, kilce zengin altere kayaç, fay zonları, şeyl varlığı ve kırılmamış yoğun şekilde kaynaklanmış tüfler ve dayklara işaret eder. Akışkan basıncı litostatik yük ve kayacın gerilme dayanımını aştığında hidrotermal breşleşme (hidrolik kırılma) oluşur. Hidrotermal breşleşme deprem veya magma intrüzyonu ile de tetiklenebilir. Breşleşme akışkan basıncını hızla düşürür ve bu da akışkanın kaynamasına yol açar, böylece çözülmüş uçucu bileşenler (CO₂ ve H₂S) akışkandan uzaklaşır. pH'deki değişimler, soğuma ve değerli metallerin çözümlüklerinin bisülfid kompleksleri olarak indirgenmesi gang ve cevher minerallerinin çökmesine neden olur. Hidrotermal breşlerin çoğu sığ derinlerde oluşur ancak düşey yönde yüzlerde metre uzanan baca şekilli olanları da vardır. Yeryüzüne ulaşanlar hidrotermal püskürme breşlerini oluştururlar. Hidrotermal breş dokuları matrisi kayaç hamurunun oluşturduğu tane destekli, testere ve kırıklı breşlerden hidrotermal minerallerin boşluk matrisini oluşturduğu matris-destekli breşlere kadar değişiklik gösterir. Bu breşlerde gözlenen heterojen tane popülasyonu parçaların düşey yönde taşındığını ve silisleşme, breşleşme ve cevherleşmenin farklı safhalarda geliştiğini gösterir.

Hidrotermal kuvars klastları ornatarak içinde değerli metallerin yığıldığı breş matrisi oluşturur.



Sinter

Silisli sinter teras ve havuz çökelleri hidrotermal akışkanların yüzeydeki belirteçleridir. Sinterler nötr pH, alkali-klorür karakterli, sıcaklıkları yeraltında $>175^{\circ}\text{C}$ olan akışkanların soğuması sonucu oluşurlar. Silisli sinter çökelleri düşük- ve orta dereceli-sülfidasyon dama ve breş cevherleşmelerini örterler, bu açıdan epitermal altın-gümüş yataklarının aranmasında anahtar bir rol üstlenirler. Ancak, yatay akışkan hareketinin akışkan kanal geometrisi, değişken kayaç geçirimsizliği ve topoğrafya tarafından kontrol edilmesi nedeniyle, bu yataklar genellikle hidrotermal rezervuarların doğrudan üzerinde bulunmazlar. Bir sonraki aşamada gelişen damar veya breş mineralleşmesi tarafından üzerlenmedikçe, sinterler genellikle cevher içermezler. Buna karşın, bir sinter bandında altın, gümüş ve diğer iz sürücü element konsantrasyonları nispeten yüksek olmakla birlikte elementlerin zenginleşme dereceleri derindeki cevherli damarlarla karşılaştırılabilir boyuttadır.



Epitermal maden yatakları, yer kabuğunun üst 1-6 km'sinde magmatik ısı ile kontrol edilen büyük-ölçekli hidrotermal konvektif sistemlerin ürünleridir.
Epitermal yatakların alt grupları:

1. yüksek sülfidasyon (alünit-kaolinit veya asit sülfat),
2. düşük sülfidasyon (adulariya-serizit),
3. Sıcak su yatakları

Yüksek sülfidasyon (YS) ve düşük sülfidasyon (DS) epitermal Au-Ag yatakları

Bu iki yatak türü, kimyasal bileşimi ve volkanik ortamları birbirinden oldukça farklı akışkanlardan oluşurlar. YS yataklara ait cevher, volkanik-hidrotermal bir ortamdaki asidik akışkanlar ile yıkanmış silisik kayalarda yığılır. Oksitlenmiş sülfid minerallerinin bulunması tipik olarak asidik hipojen (derin kökenli) akışkanların varlığını gösterir. DS yatakları ise yeraltındaki nötr karakterli sıcak sulardan çökelmiş cevher mineralleri ile temsil edilir.

	Yüksek sülfidasyon (YS)	Düşük sülfidasyon (DS) (Adularya-serizit)
Yatak şekli	Saçınımlı cevher baskın, Replasman cevher yaygın, Stockwork cevher az, Damarlar genellikle nadir	Boşluk-dolgusu damarlar baskın, Stockwork cevher yaygın, Saçınımlı ve replasman cevher az
Dokular	Ana kayaç replasmanı, breşler, damarlar	Damarlar, boşluk dolgusu, (bantlar, kolloform, druses), breşler
Cevher Mineralleri	Pirit, enarjit, kalkopirit, tennanit, kovellin, altın, tellüridler	Pirit, elektrom, altın, sfalerit, galen (asrenopirit)
Gang	Kuvars, alünit, barit, kaolinit, profillit,	Kuvars, kalsedon, kalsit, adularya, illit, karbonatlar
Metaller	Cu, Au, Ag, As (Pb, Hg, Sb, Te, Sn, Mo, Bi)	Au, Ag, Zn, Pb (Cu, Sb, As, Hg, Se)

Düşük-sülfid alterasyonu

Nötre yakın pH termal sular,

Çekirdek: cevher damarı

Alterasyon halesi: smektit, illit, adularya (arjilik alterasyon)

Yüksek-sülfid alterasyonu

Asidik pH termal sular

Çekirdek: asit alterasyon ile oldukça bozuşmuş kaya (silika kalıntısı), gözenekli kuvars

Alterasyon halesi: Asidik koşullara dayanıklı mineraller (alünit, dikit, profillit, diyaspor (ileri arjilik alterasyon)

Dış kısım: illit/smektit (propillitik alterasyon topluluğu)

Orojenik Au yatakları

Dünyada üretilen altının yaklaşık üçte biri bu yataklardan karşılanmaktadır. Yataklardan büyük ölçüde altın çıkarılmasına karşın yan ürün olarak çok az miktarda As ve Sb de üretilmektedir. Bu yataklardaki gümüş içeriği oldukça olup Ag/Au oranları ortalama kabuk bolluklarından ve diğer hidrotermal yataklardakilerden de (epitermal ve VHMS) çok düşüktür. Yatakların çoğu küçük boyuttadır (1 Mt cevher). Bununla birlikte, büyük boyutta olanları da vardır (Murantau-Özbekistan). Yataklar halen oluşumuna devam eden orojenik kuşaklarda görülmekte ve konak kayalar bölgesel metamorfizmaya uğramış kayalar ve intrüzif kayalardır. Yatakların hemen hemen tamamı 4-15 km derinliklere karşılık gelen 1.5-5 kbar basınç altında oluşmuşlardır. Ancak oluşum sıcaklıkları magmatik-hidrotermal yataklarından daha düşük olup 300-450°C arasındadır. Çoğu yeşilist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış kayalar içinde yığılmıştır. Çoğu orojenik kuşakta görüldüğü üzere, konak orojenin deformasyon tarihçesi daha uzun bir zaman dönemini kapsamasına karşın, orojenik yataklar birkaç milyon yıl gibi kısa bir zaman diliminde oluşumlarını tamamlamışlardır. “Mesotermal” yatak olarak da adlandırılan bu oluşumlar çarpışma ortamlarında ve yaklaşan plaka sınırlarında sıkışmalı deformasyon süreçleri ile ilişkili olarak

oluşmuşlardır. Bu bölgelerde sulu denizel sedimanları ve volkanik kayalar kıtasal kabuk üzerine itilmiştir. Dalma-batma ile ilişkili termal süreçler ve yığışım sekansları içinde aralıklı olarak artan jeotermal gradyanlar geniş-ölçekli hidrotermal akışkan hareketini tetikler. Sonuçta ortaya çıkan altın-içeren kuvars damarları hidrotermal maden yatakları için tipik olan derinliklerde (yüzeyden 15-20 km derinde) yerleşirler. Cevherlerin çoğu konak kayaların tektonik yerleşimine göre orojenez sonrası bir konumdadır, ancak halen derinde devam eden dalma-batma ile ilişkili termal süreçler cevherlerin sin-orojenik karakterli olabileceğini de işaret eder. Oluşum derinliğine göre, orojenik yataklar epizonal (6 km), mosozonal (6-12 km) ve hipozonal (12 km) olmak üzere alt kısımlara ayrılır.

Yatak mineralojisi

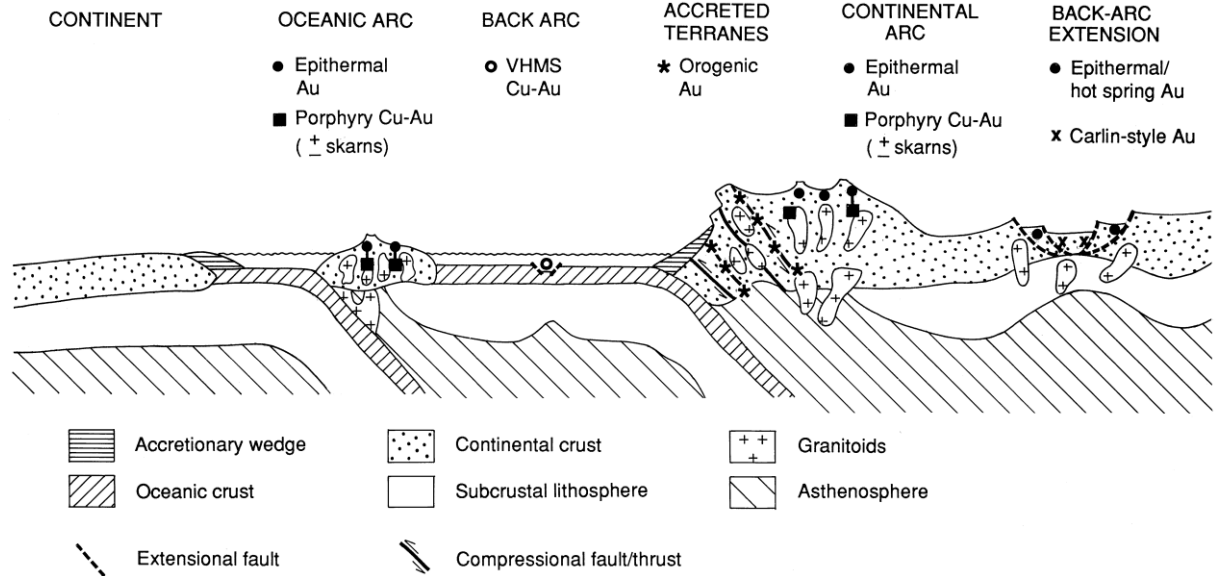
Bu yataklar kuvarsın baskın olduğu %3-5 arasında sülfat ve %5-15 arasında karbonat minerallerinin eşlik ettiği (esas olarak Fe-sülfatlar) damar sistemleri ile karakteristiktir. Yeşilist fasiyesi konak kayalarındaki damarlarda albit, beyaz mika, klorit, şelit ve turmalin başlıca gang mineralleridir. Damar sistemleri 1-2 km boyunca mineraloji ve Au tenöründe az bir değişimle kesiksiz olsa bile bazı yataklarda mineral zonlanması görülür. Au/Ag oranı 1-10 arasında olup cevher damarlarda veya sülfatlaşmış konak kayalarda oluşmuştur. Altın tenörü göreceli olarak yüksektir (5-30 gr/ton). Metasedimenter konak kayalarda arsenopirit en yaygın görülen sülfat mineralidir, pirit veya pirotin ise metamorfizma geçirmiş magmatik kayalarda tespit edilmiştir. Altınca zengin damarlardaki As, B, Bi, Hg, Sb, Te ve W; Cu, Pb ve Zn konsantrasyonları değişkenlik sunmakla birlikte bölgesel eşik değerlerin üzerindedir.

Hidrotermal alterasyon

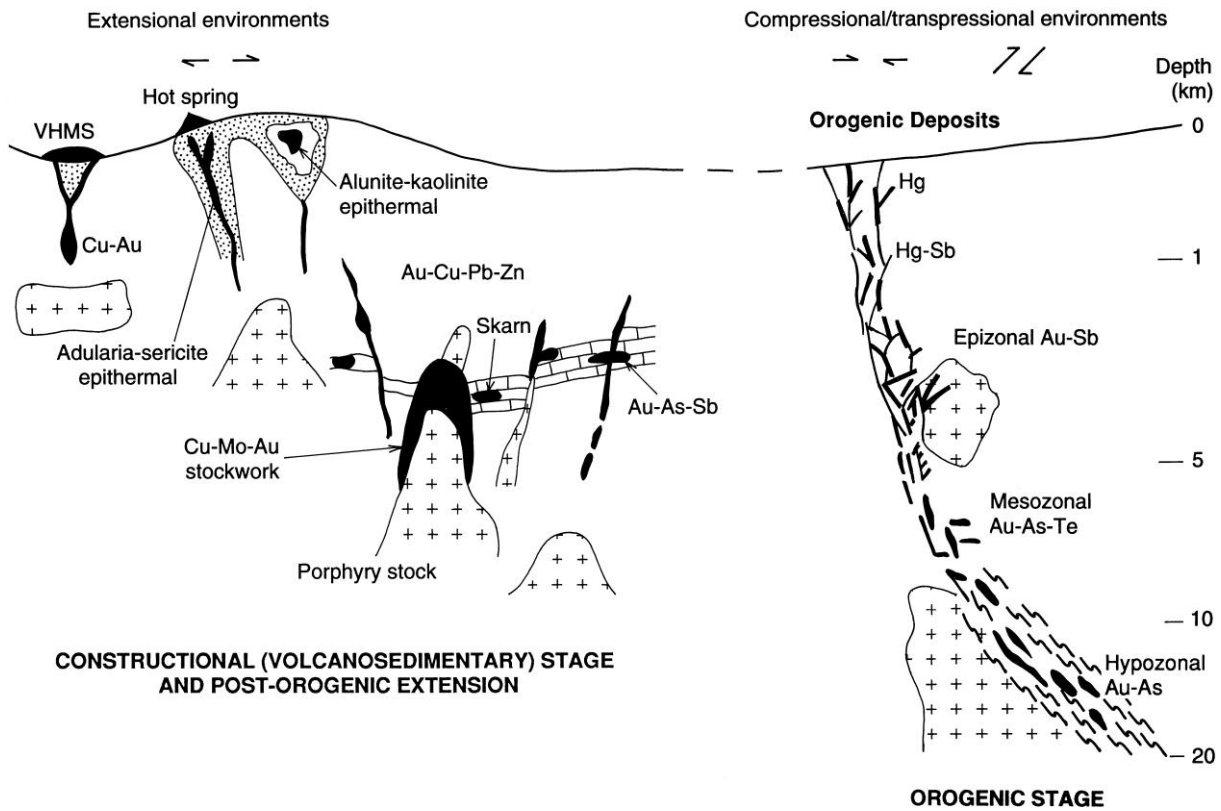
Yataklarda proksimal-distal alterasyon minerallerinin oluşturduğu metre ölçeğinde yanıl zonlanma oldukça belirgindir. Alterasyon zonlarındaki mineral birlikteliği ve bu zonların genişliği konak kayaların türüne ve kabuk derinliğine göre değişir. Karbonatlardan ankerit, dolomit veya kalsit, sülfatlardan ise pirit, pirotin veya arsenopirit yaygındır. Alkali metasomatizma serizitleşme veya daha az oranda biyotit, K-feldispat ve albitleşmeye neden olur, mafik mineraller ise yüksek oranda kloritleşmiştir. Amfibol ve diyopsit derin seviyelerde görülür karbonat mineralleri ise çok azdır. Fe'ce zengin mafik konak kayalarda sülfatlaşma oldukça yaygındır. Yeşilist fasiyesi kayalarda konak kayaların alterasyonu önemli miktarda CO₂, S, K, H₂O, SiO₂, Na ve LIL element getirmesi sağlamıştır.

Cevher çökelten akışkanlar

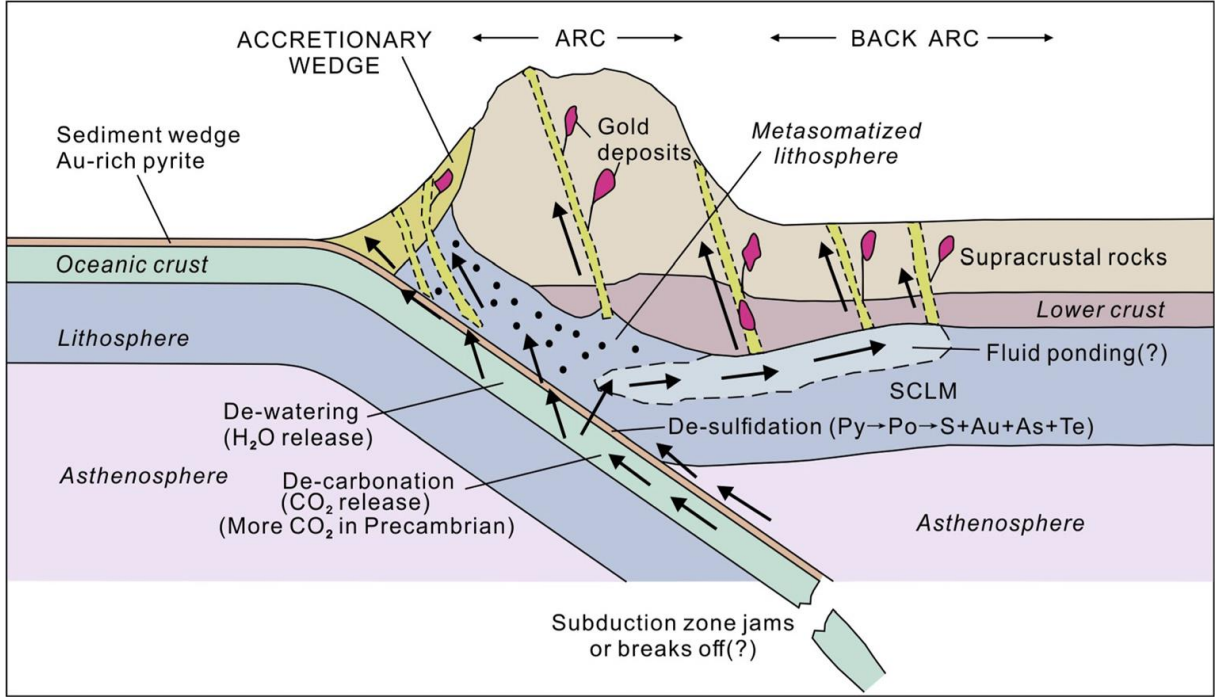
Cevherler düşük-tuzlulukta, nötr, H₂O-CO₂, CH₄ bakımından zengin altın taşıyan akışkanlardan indirgen kükürt bileşikleri şeklinde çökler. Orojenik altın yataklarını çökelten akışkanların CO₂ konsantrasyonu mol olarak %5'in üzerindedir.



Altınca zengin epijenetik maden yataklarının tektonik ortamları. Epitermal damarlar ve altınca zengin porfiri ve skarn yatakları sıkışmalı ve açılmalı rejimlerde gelişen ada ve kıta yaylarının 5 km'lik sığ kesimlerinde oluşur. Epitermal damarlar ve sedimanter tip konak kayalarda oluşan Karlin cevherleri de yay-gerisi kabuksal inceltme ve açılma bölgelerinin sığ kesimlerine yerleşirler. Buna karşın, bu diyagramda orojenik altın olarak gösterilen mezotermal altın cevherleri ise, kıtasal magmatik yayların yakınındaki deforme olmuş yığılım kuşaklarında hüküm süren sıkışma ve bindirme rejimleri boyunca yerleşmişlerdir. Yayların ve yığılım bölgelerin düşey veya yanıl ölçekleri altın yataklarının konum ve derinliklerinin daha kolay anlaşılabilmesi için abartılı olarak verilmiştir.



Yaklaşan bir levha sınırında, oluşum derinliği ve yapısal ortam açısından hidrotermal altın yataklarının kabuksal ortamlarını gösteren şematik kesitler. Tüm yatak tiplerinin veya oluşum derinliklerinin tek bir maden yatağı içinde gösterilmemiştir (Groves, 1993; Poulsen, 1996).



Orojenik tip altın yataklarının oluşumu için önerilen dalma-batma sürecini esas alan modelin şematik gösterimi. Dalan levhadan ve sulu manto kamasından açığa çıkan akışkanlar levha ve üstteki kaması veya litosfer tabanının arayüzeyi boyunca yukarıya taşınırlar. Yüksek basınçlı cevherli akışkanlar derin kökenli kabuksal fayları keserek ikinci derece yapılarda veya hidrolik olarak kırıklı kayalarda orojenik tip altın yataklarını oluştururlar (Goldfarb ve Groves, 2015; Wyman vd., 2008).

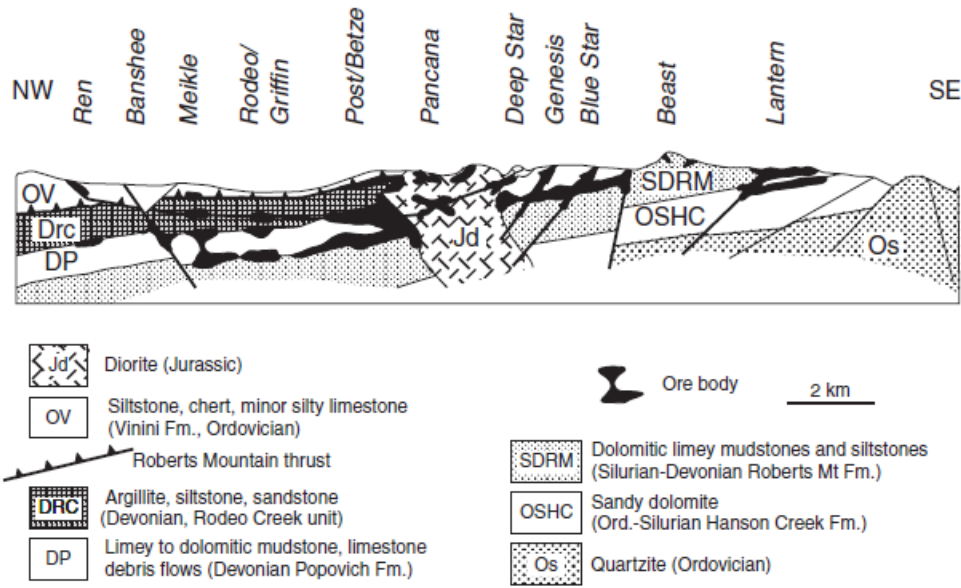
Karlin tip altın yatakları

Bu yatak türü ilk kez Nevada'nın kuzeydoğusundaki Karlin yatağında görülmüş ve tanımlanmıştır. Karlin tipi Au yatakları, bölgesel plütonizmanın yaygın ancak volkanizmanın nadir görüldüğü alanlarda yaklaşık 150-250°C sıcaklık ve 1-6 km derinlik koşullarında oluşmuş düşük-sıcaklıklı epijenetik hidrotermal yataklardır. Bu yataklar, kıtasal şelfin bir parçası olan karbonatlı metamorfizma geçirmemiş kayalarda yüksek konsantrasyonlu saçınımlı altın ve buna eşlik eden As, Hg, Sb ve Tl ile temsil edilir. Kayalar içindeki altın gözle görülür boyutta değildir. Altın ya pirit ve arsenopirit içinde küçük mikroskobik taneler halinde bulunur veya bu minerallerin kristal kafeslerinde tutulmuştur. Bu sınıf içine dahil edilen yatakların kuzey Nevada'da yaklaşık 100.000 km²'lik bir alanda orta Senozoyik döneminde (43–35 Ma) oluştuğu tespit edilmiştir. Nevada'dakine benzer şekilde, güneybatı Çin'in Guizhou ve Yunnan bölgelerinde karlin tip altın yatakları keşfedilmiştir.

Karlin tipi Au yataklarında cevher ve hidrotermal alterasyon özellikleri

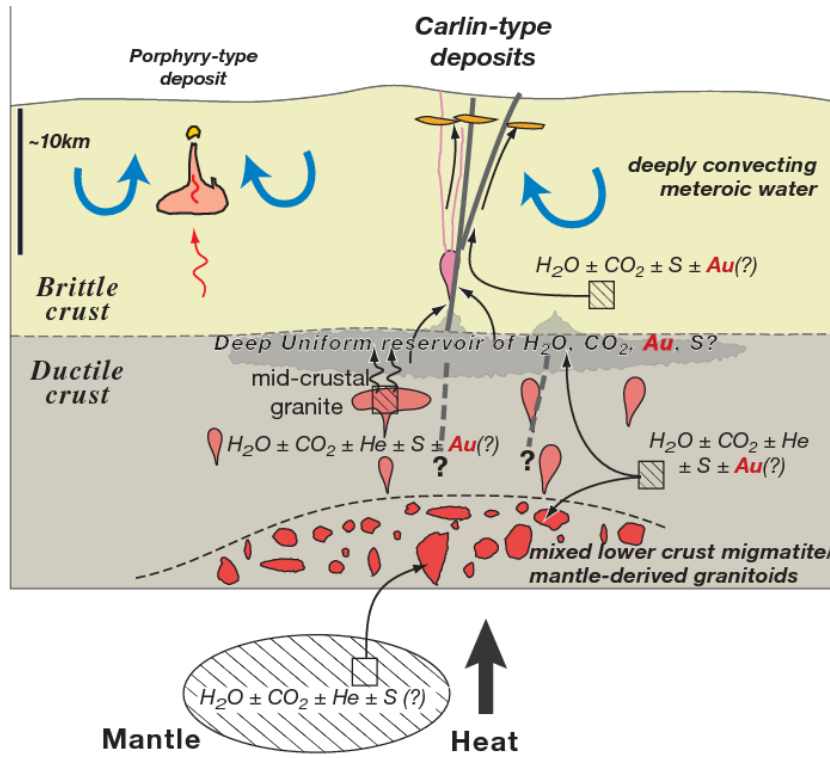
Karlin tip cevherler esas olarak altın yatakları olup gümüş konsantrasyonları altından genellikle daha düşük olup bakır ve diğer bazı metal içerikleri ya az oranda zenginleşmiş yada ortalama kabuksal değerlerin üzerinde olsa da hiç zenginleşmemiştir. Buna karşın cevherler yan ürün olarak üretilen As, Hg, Sb ve Tl bakımından oldukça zengindir. Barit ile Au, pirit ve arsenopirit arasında parajenetik bir ilişki olmamasına rağmen, bazı cevherlerde barit dikkate değer ölçüde Ba bakımından zenginleşme gösterir. Bu da baritin altından ya çok önce ya da çok sonra çökeldiğine işaret eder. Cevher gövdeleri civarında cevherlerde sistematik bir zonlanma söz konusu değildir.

Cevher gövdeleri civarında karakteristik alterasyon tipleri ve stilleri arasında dekarbonatlaşma, dolomitleşme, silisleşme, killeşme ve kaolenleşme sayılabilir. Bu alterasyon türlerinin çoğu konak kayaç minerallerinin ornatılmasını esas alır, ancak önceki sedimanter yapı korunur. Alterasyon sırasındaki kütle-dengesine yönelik hesaplamalar önemli ölçüde kütle kaybının olduğunu ve kayalar ne derece gözenekli ise aynı oranda alterasyona uğradıklarını göstermiştir.



Karlin tip yatağın konumu ve uzanımını gösteren basitleştirilmiş kesit. Yataklar kısmen yapısal kontrollü (faylar boyunca ve faylara bitişik) kısmen de uygun horizonlar içinde stratabound şeklinde oluşmuşlardır.

Saf olmayan karbonat kayaçlarını ve kısmen dolomiti etkileyen dekarbonatlaşma karbonat tanelerinin çözünmesi ve yeni oluşan kuvars ve kil mineralleri tarafından ornatılmayı esas alır. Silisleşme genellikle kompakt, boşluklu jasperoidal silika yığımlarının oluşumuna yol açar. Cevher kütlelerinin silisiklastik ve magmatik kayaçlardan yapıldığı durumlarda arjilik alterasyon öne çıkar. Bu tür zonlarda jasperoidal kuvars alterasyonun en önemli fazını oluşturur. Buna karşın alterasyon şiddeti ve türü ile altın tenörü arasında sistematik bir ilişki söz konusu değildir. İnce taneli (1–50 µm) pirit ve arsenopirit Karlin tipinde mineralizasyonun en karakteristik cevherleridir. Bunların bolluğu %1-2'ye varabilir. Bunların birlikte, cevher tenörü ile bu sülfid minerallerinin bollukları arasında güçlü bir birliktelik vardır. Pirit erken, sinsedimanter ve diyajenetik olmak üzere farklı petrojenetik safhalarda oluşur, bazen As'ce zengin pirit tarafından üzerlenir. Cevherleşme aşamasında oluşan mineraller As ve Sb açısından bileşimsel salınımlar sergileyen mikrometre düzeyinde büyüme zonları ile karakteristiktir. Markasit, stibnit, realgar ve orpiment diğer önemli sülfid mineralleridir. Bazı cevherlerdeki altın pirit içinde mikrometre altı boyutlarda taneler halinde petrografik olarak tespit edilse de, pratik olarak altere olmamış cevherde görünmezdir. Ancak cevherleşme aşamasında oluşan pirit ve arsenopirit içindeki Au konsantrasyonu birkaç bin ppm'e kadar ulaşabilir. Görünmez altına yönelik bu yüksek konsantrasyonlar sülfidler içindeki submikroskopik, nanometre boyutunda taneler veya konak minerallerin kristal hücrelerindeki iyonlardan kaynaklanmaktadır. Piritteki Au ve As konsantrasyonları arasında güçlü bir ilişki söz konusudur. Cevherleşmelerdeki damarlar saçınımlı cevher mineralleri ile eş zamanlı oluşmamıştır. Stibnit–realgar içeren damarlar düzensiz bir şekilde gelişmiş olup altının belirteci olarak görülebilir. Bu damarlar, muhtemelen, cevher kütlelerindeki As ve Sb'nin yeraltı suyu akışıyla taşınması sırasında ince taneli cevher minerallerinin çözünmesi ve bunu takiben yeniden çökmesi sonucu oluşmuşlardır.

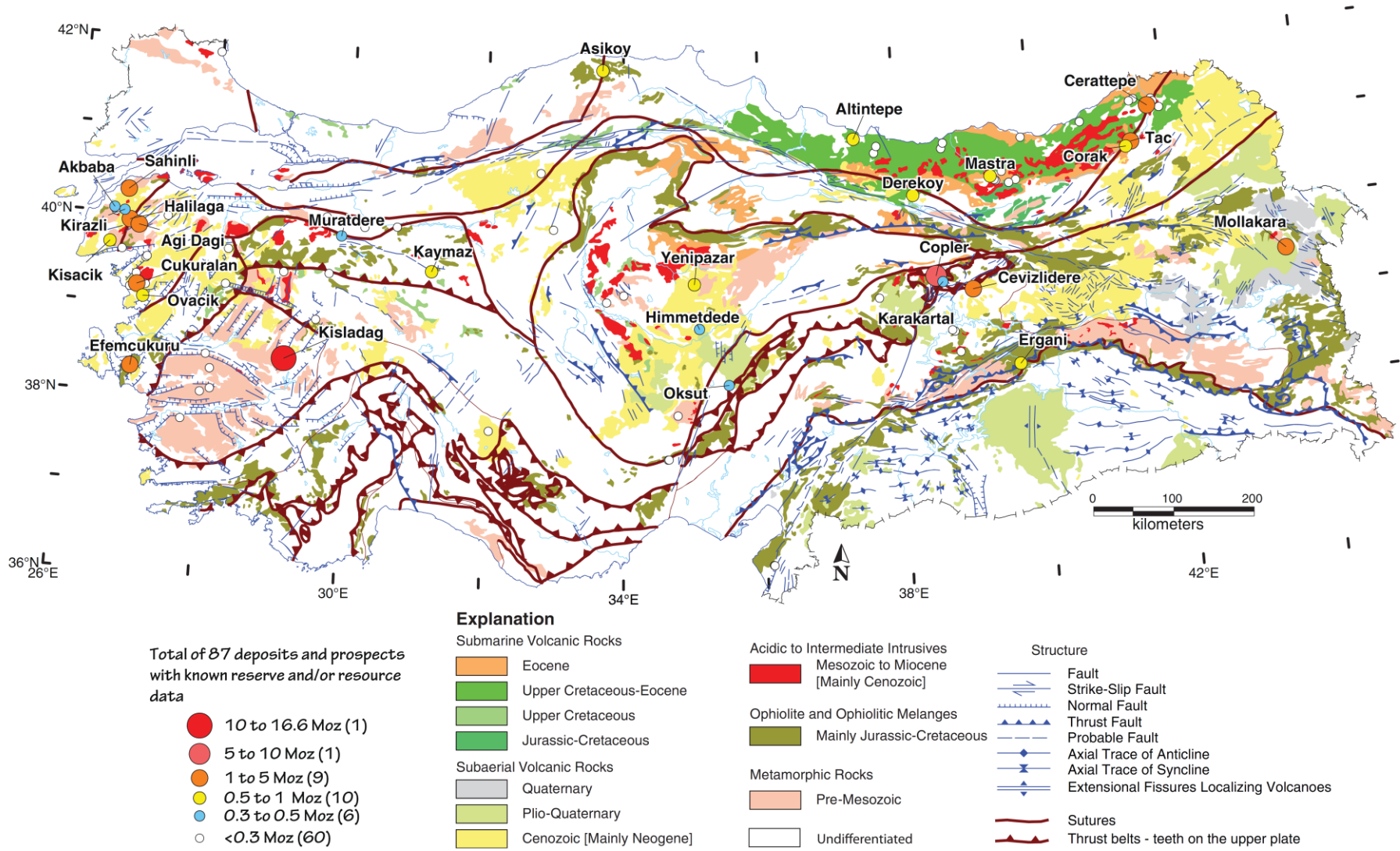


Karlin, Nevada'daki Barrick Goldstrike madenleri (açık ocak).

TÜRKİYE ALTIN İŞLETME PROJELERİ



Resim 1. Türkiye Güncel Altın İşletme ve Arama Projeleri Haritası (https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/altin-gumus-2019.jpg)



Şekil 2. Ülkemiz Au yataklarının litolojik ve tektonik dağılımı haritası (Yiğit, 2012).

Tablo 1. Türkiye’de aktif Au işletme projeleri ve jeolojik karakteristiği (mt:Milyon ton)

Proje	İl	Yatak Tipi	Ana Kaya	Ana Kaya Yaşı	Cevher Kütlesi	Cevher Mineralleri	İşletilen Metaller	Rezerv	Tenör	
									Au	Ag
Kışladağ	Uşak	Porfiri Au Tip	Latitik bileşimli-Porfiritik sokulumlar	Miyosen	Stokvork ve breş	Turmalin, kuvars, pirit, limonit	Au (Zn ve Mo)	148 mt	1.12 g/ton	1.5
İliç/Çöpler	Erzincan	Porfiri Au-Cu/Epitermal Tip	Granodiyorit, Kuvars-monzonit, Skarn-Kireçtaşı	Eosen	Stokvork	Kalkopirit, pirit, manyetit, Maghemit, hematit, fahlerz, markazit, bornit, galen, götit,	Au	100 mt	1.7 g/ton	
Efemçukuru	İzmir	Epitermal Tip	Fliş, Hornfels, Riyolitik sokulumlar	Geç Kretase-Paleojen	Damar, stokvork, breş, ornatım	Pirit, pirotin, epidot, tremolit, aktinolit	Au	2.5 mt	12.65 g/ton	10.06
Bergama/Ovacık	İzmir	Damar Tipi/Epitermal/Kuvars-Adularya Tip?	Andezitik-Dasitik Lavlar	Erken Miyosen	Breşik damar	Kuvars, arsenopirit, pirit, kalsit	Au, Ag	2.98 mt	9 g/ton	11 g/ton
Çukuralan	İzmir	Epitermal Tip								
Mastra	Gümüşhane	Damar Tipi/Epitermal	Andezit porfir, Andezitik tüf	Eosen	Stokvork ve breş	Nabit altın, pirit, kalkopirit, galenit, sfalerit	Au, Ag, Cu	1 mt	12 g/ton	8 g/ton
Altıntepe	Ordu	Epitermal Tip	Volkano-sedimanter, Feldspat porfiri andezit	Üst Kretase	Damar, stokvork, breş, saçınımlı		Au	1 mt	1.87 g/ton	
Kaymaz	Eskişehir	Orojenik Au-Lisvenit	Denizel sedimanlar ve ofiyolit	Üst Kretase	Saçınımlı ve breşik	Pirit, galenit, Fe-Ni sülfid, götit, lepidokrosit,	Au, Ag	974.000	6.04 g/ton	5.3 g/ton
Himmetdede	Kayseri	Karlin Tipi	Mermer arabantlı gnays	Paleozoyik	Ornatım, kırık ve çatlak dolgusu	Pirit, arsenopirit, enagit, kovellin, galenit, rutil, götit±lepidokrosit	Au	(bulunamadı,MTA’dan kontrol edilecek)		
Kızıltepe	Balıkesir	Damar Tipi/Epitermal						2.74 mt	1.3 g/ton	
Bakırtepe	Sivas	Demir oksit/ Cu-Au	Kırıntılı ve karbonatlı kayalar	Erken Paleozoyik-Mezozoyik	Karstik-boşluk dolgusu, damar, saçınımlı	Hematit, limonit, pirit, mangan,	Au	(bulunamadı,MTA’dan kontrol edilecek)		
Bolkardağı	Niğde	Karstik/Karbonat ornatım	Mermer, volkanitler	Permo-Triyas	Kırık ve çatlak dolgusu	Pirit pirotin, markazit, galenit, sfalerit	Au, Ag, Zn	175.000	8 g/ton	273 g/ton
Sart	Manisa	Plaser Tip	Alüvyon, konglomera	Miyosen-Kuvaterner	Karstik?	Rutil, zirkon, manyetit	Au	20.000,000 m ³	96 mg/m ³	
Çataltepe/Lapseki	Çanakkale	Skarn Tip	Mermer, Meta-kumtaşı/Kuvarsit	Kretase	Damar, masif ve saçınımlı	Sfalerit, galenit, kalkopirit, pirit, pirotin, manyetit, hematit, limonit	Au	7.15 mt	1.85 g/ton	



Resim 1. Uşak-Kışladağ Porfiri Tip Altın İşletme Sahası Genel Görünüşü (www.tuprag.com.tr)



Resim 2. Erzincan-İliç-Çöpler Altın İşletme Sahası Genel Görünüşü (www.anagold.com.tr)



Şekil 3. İzmir-Efemçukuru Altın İşletme Sahası Genel Görünüşü (www.tuprag.com.tr)



Resim 4. Gümüşhane-Mastra Altın İşletme Sahası Genel Görünüşü (www.kozaaltin.com.tr)



Resim 5. İzmir-Çukuralan Altın İşletme Sahası Genel Görünüşü (www.kozaaltin.com.tr)



Resim 6. Eskişehir-Kaymaz Altın İşletme Sahası Genel Görünüşü (www.kozaaltin.com.tr)



Resim 7. Kayseri-Himmetdede Altın İşletme Sahası Genel Görünüşü (www.kozaaltin.com.tr)



Resim 8. Balıkesir-Kızıltepe Altın İşletme Sahası Genel Görünüşü (www.zenitmadencilik.com)



Resim 9. Çanakkale-Lapseki Altın İşletme Sahası Genel Görünüşü (www.nurolinsaat.com.tr)

YARARLANILAN KAYNAKLAR VE LİNKLER

MTA, 2016. Türkiye ve Dünyada Altın.

Canbaz, O., Gökçe, A., 2014. Microthermometric and stable isotopic (O and H) characteristics of fluid inclusions in the porphyry related Çöpler (İliç - Erzincan) gold deposit, central eastern Turkey. Central European Journal of Geosciences 6(2), 139-147.

Demirela, G., Akiska, S., Sayılı, S. İ., Kuşçu, İ., 2014. Çataltepe (Lapseki-Çanakkale) Pb-Zn±Cu±Ag Yatağı'nın Jeolojisi ve Alterasyon Özellikleri. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni 35 (2), 109-136.

Dill, G. H., Dohrmann, R., Kaufhold, S., Çiçek, G., 2015. Mineralogical, chemical and micromorphological studies of the argillic alteration zone of the epithermal gold deposit Ovacık, Western Turkey: Tools for applied and genetic economic geology. Journal of Geochemical Exploration V 148, 105-127.

Dumanlılar, Ö., Cihan, İ., Ekmekçi, M., Kanaat, G., Aydoğan, C., Turunç, O., 2019. Bakırtepe (Sivas-Kangal) altın cevherleşmelerinin oluşum ve zenginleşme evrelerinin kavramsal modeli. Yerbilimleri, 2019, 40 (2), 136-167.

Turan, İ., T., 2018. Kaymaz (Eskişehir) ve Himmetdede (Kayseri) Altın Yataklarının Jeolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi.

Yiğit, O., 2006. Gold in Turkey — a missing link in Tethyan metallogeny. Ore Geology Reviews 28, 147–179.

Yiğit O (2006) Gold in Turkey—a missing link in Tethyan metallogeny. Ore Geol Rev 28:147–179

Yiğit O (2007a) “Gold in Turkey—a missing link in Tethyan metallogeny” (Ore Geology Reviews 28:147–179)-Reply. Ore Geol Rev 30:141–142

Yiğit O (2007b) Recent discoveries and exploration trends in Turkey. In Andrew CJ, et al. (eds) Proceedings of the Ninth Biennial Meeting of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits (SGA), Dublin, Ireland, August 20–23, 2007:109–112

Yiğit O (2009) Mineral deposits of Turkey in relation to Tethyan Metallogeny: implications for future mineral exploration. Econ Geol 104:19–51

Yiğit, Ö., 2011. Discovered and undiscovered gold endowment of Turkey: a quantitative mineral resource assessment using GIS and rank statistical analysis Miner Deposita Springer-Verlag, 47:521-534.

Yılmaz, H., 2002. Ovacık Gold Deposit: An Example Of Quartz-Adularia-Type Gold Mineralization In Turkey. Economic Geology 97(8):1829-1839.

https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/altin-gumus-2019.jpg

www.anagold.com.tr

<https://www.demirexport.com>

<https://www.kozaaltin.com.tr>

<https://www.madencilikturkiye.com>

www.nurolinsaat.com.tr

<https://www.pomzaexport.com>

<https://www.tuprag.com.tr>

www.zenitmadencilik.com

