

## ILICA TİPİ EPİTERMAL ALTIN YATAKLARI

Vedat OYGÜR

MTA Genel Müdürlüğü, Maden Etüd ve Arama Dairesi, ANKARA

**ÖZ:** Ilıca tipi altın yatakları, yeryüzeyinin birkaç yüz metre derinliğinde oluşmuş ve halen oluşmakta olan volkanik tip epitermal yatakların ayrı bir grubu olarak ele alınmaktadır. Silika sinter ve yaygın silisleşme ile hidrotermal patlama breşleri bu tipin belirgin özellikleridir.

Yatak tipi için en uygun bölgesel tektonik konum kaldera kenarları boyunca veya çaprazınadır. Bununla birlikte, cevherleşme genelde ana fay zonu içerisindeki tali kırıklarda yerleşmektedir. Cevher yataklarının, volkanik kayalarla doğrudan bir ilişkisi yoktur. Mağmatik etkinlik sadece, hidrotermal dolaşımı yürütmek üzere gerekli ısıyı sağlamaktadır. Cevherin değişik litojilerde bulunması, ana kaya bileşiminin kontrol edici bir etken olmadığını gösterir.

Altın, elektrom, stibnit, realgar, gümüş sülfotuzları ve pirit başlıca cevher mineralleridir. Baz metal içeriği tipik olarak düşüktür. Adürlerya, serisit ve kuvars ana gang mineralleridir, ve manganez cevherleşmenin çevresinde bir hale oluşturur. Cevherleşme saçılmıştır, fakat bantlı damar dolguları da görülür. Au-As-Sb-Hg-Tl derinlikle azalırken, Ag ve baz metaller düşey jeokimyasal zonlanmada artarlar. Serisit ve arjilik yan kaya alterasyonu geneldir.

Duraylı izotop incelemeleri, hidrotermal akışkanların başlıca meteorik su kökenli olduklarını gösterir. Cevherli sıvıların tuzluluğu 0 ile 13 ağırlık % NaCl eşdeğeri arasındadır. Ortalama klorid iyon konsantrasyonu 1200 ppm, ve toplam indirgenmiş kükürt 100 ppm dir. Akışkanların pH sı nötre yakındır. Au, hatta As ve Sb tiyo-karmaşıklar (Au (HS)<sub>2</sub>) olarak taşınmıştır. Hidrostatik ve litostatik basınç düzeyleri arasında akışkanların kaynaması tiyo-karmaşıkların bozulmasına ve nabit altının çökmesine yol açmıştır.

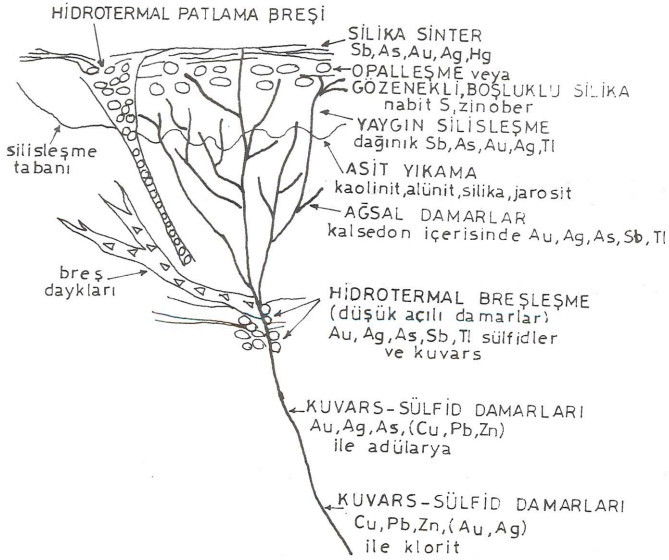
### GİRİŞ

Ilıca tipi altın yatakları, termal kaynaklarla yakından ilişkili ve yüzeyde veya yakınında oluşmuş epitermal değerli metal yataklarıdır. Berger (1986) bu tipi, silisleşmiş breş içerisindeki ince taneli silika ve kuvars ile birlikte altın, pirit ve Sb ile As sülfidleri olarak tanımlamaktadır. Berger ve Silberman (1985) cevherin yeryüzeyinden 100-300 m derinde çökelmiş olduğunu ve hidrotermal akışkanların yüzeye doğrudan etkileşmesinin cevher çökelişiminin ana nedeni olduğunu belirtmişlerdir. Bu tipe ait cevher yatakları hem damar tipi zengin cevherleri, hem de düşük tenörlü kütle madenciliğine elverişli cevherleri içermektedir (Berger, 1985; Silberman ve Berger, 1985).

Ilıca tipi metal yatakları genel olarak Weissberg ve diğ. (1979), White (1981), Berger ve Eimon (1982), Silberman (1982), Berger (1985) ve Nelson ve Giles (1985) tarafından incelenmiştir. Bu tipin örnekleri McLaughlin, Kaliforniya (Averitt, 1945), Round Mountain, Nevada (Berger ve Tinley, 1980)- Hasbrouck, Nevada (Silber-

man, 1982), Steamboat Springs, Nevada (Silberman ve diğ., 1979), Broadlands, Yeni Zelanda (Ewers ve Keays, 1977), Rotokawa, Yeni Zelanda (Krupp ve Seward, 1987), Waiotapu, Yeni Zelanda (Hedenquist ve Henley, 1985) ve Wau, Papua Yeni Gine (Sillitoe ve diğ., 1984) dir.

Epitermal yataklar için çeşitli sınıflandırmalar kullanılmıştır. Henley (1985), Hayba ve diğ., (1985) ve Heald ve diğ. (1987) ılıca tipini, epitermal yatakların bir sınıfı veya alt tipi olarak ayırmayı benimsememişlerdir. Bu tipi, adürlerya-serisit tip epitermal yataklar içerisinde anmışlardır. Berger ve Silberman (1985), hidrotermal patlamaların ve yüzey yakınında cevherleşmeye eşlik eden breşleşmenin önemi nedeniyle ılıca tipini ayrı bir sınıf olarak ele almayı savunmaktadırlar. White ve Hedenquist (1990), termal kaynakların altında oluşmuş yatakları anmak üzere bir sınıf adı olarak düşük sülfidleşmeli epitermal yatakları önerirler. Clarke ve Govett (1990), adürlerya tipi değerli metal yataklarını, ılıca tipi ve zengin (bonanza) damar tipi olarak iki gruba bölerler.



Şekil 1: İlica tipi değerli metal yataklarında bulunan jeolojik özellikleri gösteren şematik enine kesit (Berger ve Eimon, 1982'den).

## İLICA TİPİ ALTIN YATAKLARININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

İlica tipi altın yataklarının çoğu olasılıkla, termal suları yüzeye boşaltan hidrotermal sistemler tarafından oluşturulmuştur. Böylece, adülyara-serisit (veya düşük sülfidleşme) tipi epitermal yatakların genel özelliklerinin hemen tümünü gösterirler. Bununla birlikte, yeryüzeyinde veya çok yakınında sıcak akışkanlardan ılıca tipi yatakların depolanması, büyük derinliklerde oluşmuş diğer epitermal yataklarından farklı bir jeolojik özellikler setiyle sonuçlanır (Berger, 1985). İlica tipi yataklara ilişkin bu tanımlayıcı özellikler yoğun yüzeysel (silika sinter) ve yüzey yakınında yaygın silisleşme ve hidrotermal breşlerdir (Şekil 1).

## Tektonik Konum

Epitermal yatakların çoğu, levha tektoniğinin şimdiki ve görece günümüzdeki rejimlerine bağlı yakınsayan levha kenarlarıyla yakından ilişkilidir (Giles ve Nelson, 1982). Sawkins (1984) ılıca tipi yatakların, ana yaylara ilişkin rift ortamlarında ve hatta zayıf trans-form faylarda yerleştiğini belirtmiştir.

## Yapısal Konum

Yüzey yakınındaki kırıklar geçirgenliğin artmasına neden olduklarından, altın yatakları için yapısal kontrol, evrensel bir biçimde kabul görmektedir. Epitermal yatakların çoğu, akıntı-dom karmaşıklarını, maar-diat-rem sistemlerini ve kaldera çevresi kırıkları içeren (Sillitoe

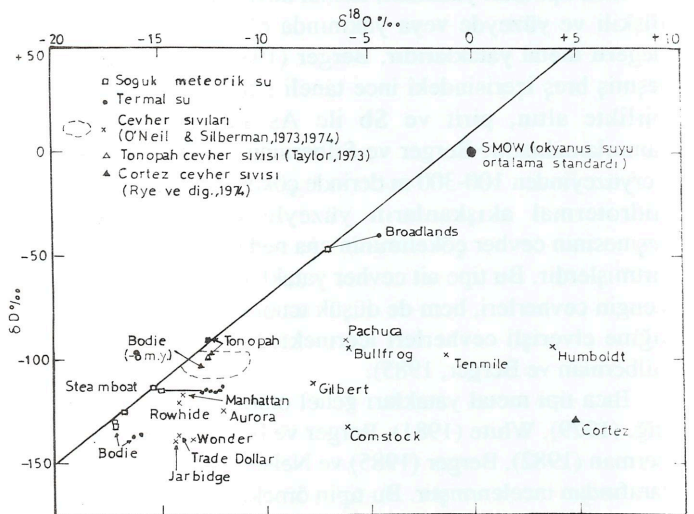
ve Bonham 1984) volkanizmaya bağlı yapılarla bölgesel olarak ilişkilidir (Rytuba, 1981). İlica tipi yataklar için en genel bölgesel yapısal konum kaldera kenarları boyuncadır (Hayba ve diğ., 1985). Kaldera konumunun elverişliliği, hidrotermal dolaşımı sağlayan mükemmel dolaşım sisteminden ileri gelir (Lipman ve diğ., 1976). Volkanik merkezlerle yakından ilişkili faylar veya kırık zonları yataklar üzerinde önemli kontroller oluşturur (White ve Hedenquist, 1990). Cevherleşme genelde bölgesel ana yapı üzerinde yer almaz, fakat bu zonlar içerisindeki ikincil faylar üzerinde yerleşmiştir. Katmanlanma düzlemleri, eklemeler ve eklem kesişimleri gibi küçük yapısal olaylar geçirgenliği ve dolayısıyla cevherleşmenin dağılımını etkilemiş olabilirler.

## Ana Kayalar

Mağmatik etkinlik, sadece hidrotermal dolaşım hücrelerini oluşturmak için gerekli ısıyı sağlamış olsa bile çoğu epitermal yatakların oluşumunda önemli rol oynar. İlica tipi yataklar, silisik ile ara bileşimli yüzeyde oluşmuş volkanik kayalarla ilişkilidir (Hayba ve diğ., 1985; Silberman ve Berger, 1985; White ve Hedenquist, 1990). Aynı yazarlara göre, cevher genelde volkanitleri örten farklı bileşimdeki birimlerde yerleşmektedir. Cevherin çeşitli litolojiler içinde görülmesi, ana kayanın kontrol edici bir etken olmadığını getirmektedir (Hayba ve diğ., 1985). Cevher depolanması hemen her zaman volkanik kayaların yerleşmesinden en az 1 m.y. sonra olmuştur (Hayba ve diğ., 1985; Heald ve diğ., 1987).

## Mineraloji

### Epitermal yatakların cevher ve gang mineralojisi

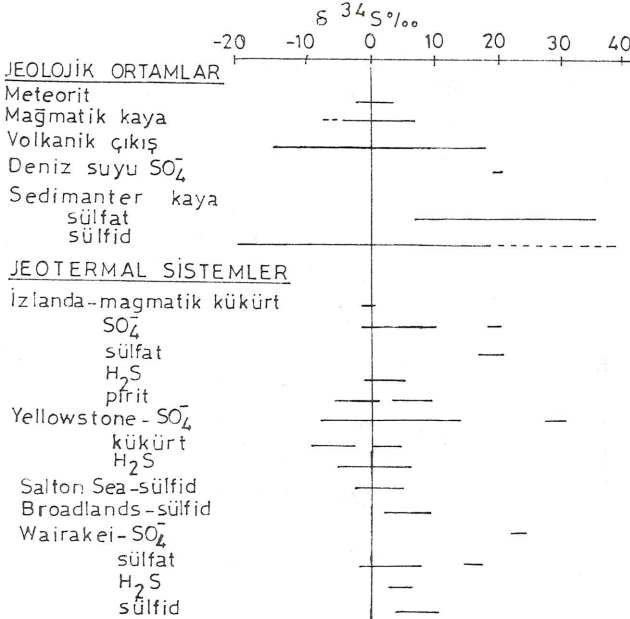


Şekil 2: Epitermal Au-Ag yataklarındaki suların izotopik bileşimleri (White, 1974'den).

cevherli akışkanların pH'sı tarafından denetlenmektedir. Epitermal yatakların çoğunun özelliklerine dayanarak, nötre yakın pH ve asit pH'ya sahip iki farklı akışkan tarafından oluşturulmuş cevherleşmeleri ayırt etmek olasıdır (Hayba ve diğ., 1985; Heald ve diğ., 1987). Ilıca tipi yataklar nötre yakın pH'lı jeotermal sistemler tarafından oluşturulur ve böylece ortalama sülfid içerikleri düşüktür (White ve Hedenquist, 1990). Başlıca cevher mineralleri nabit altın ve elektrik ile birlikte stibnit ve realgar ile daha az miktarlarda pirit, markazit ve gümüş sülfotuzlarıdır (Silberman ve Berger, 1985; Berger, 1986). Baz metal (Pb-Zn-Cu) içeriği tipik olarak düşüktür. Adülyaya, serisit ve kuvars genel gang mineralleridir, ve akışkan akımının olduğu sahaların çevresinde manganez bir halka oluşturur (Berger ve Silberman, 1985). Genelde çok evreli breşleşmeyle birlikte cevherleşme saçınımlıdır, fakat banlı damar dolguları da tipiktir (White ve Hedenquist, 1990). Cevherleştirici olaylar kısa süreli, fakat tekrarlanmalı gibidir (Silberman ve Berger, 1985).

### Cevherli Akışkanlar

Duraylı izotop çalışmalar, özellikle O ve H izotopları, gerçekten, jeotermal sistemlerdeki hidrotermal akışkanların meteorik su kökenli olduklarını göstermektedir (Taylor, 1974; White, 1974; O'Neil ve Silberman, 1974). Bununla birlikte, meteorik sulardan hafif bir S<sup>18</sup>O kaçıışı cevherli akışkanlar ile ana kayalar arasındaki alışverişini gösterir (Şekil 2). White'a (1974) göre, jeotermal sistemler % 5 ile 10 kadar magmatik su



Şekil 3: δ³⁴S değerlerinin jeolojik ortamlarda ve jeotermal sistemlerde dağılımı (Field ve Fifarek, 1985'den).

Saha	Kaya Tipi	Au	Ag	As	Sb	Hg	Tl	B
BROADLANDS <sup>1</sup>	sülfitli silika	85	500	400	%10	2000	630	AY
(Y. Zelanda)	sinter	0.45	13	83	159	B	3.3	B
WAIOTAPU <sup>1,4</sup>	Champagne Pool	80	175	%2	%2	170	320	AY
(Y. Zelanda)	sinter	8.4	5	AY	AY	AY	AY	AY
ROKAWA <sup>5</sup>	çamur	2	2	3000	2000	B	5	
(Y. Zelanda)	sinter	20	5	8000	3000	B	9	
STEAMBOAT <sup>1,3</sup>	silisli çamur	15"	50	700	%15	100	700	500
SPRINGS	Sb-sinter	1.5	1	50	%1	30	70	1000
(Nevada)	sülfitli çamur	0.1	1.5	35	340	6.5	54	>2000
	kalsedonlu sinter	0.1	<0.5	<5	500	>13	<0.2	200
HASBROUCK <sup>2,3</sup>	kuvars-adülyaya (min)	0.05		3.8	1	0.06	1.4	
(Nevada)	(max)	6.2		550	280	7	8.4	
	alterasyon zonu (min)	0.05		2	1	0.02	0.6	
	(max)	2.5		200	52	4.1	12	
ROUND <sup>3</sup>	silisli tüf	0.2	5	150	15	0.12	9.4	
MOUNTAIN	kuvars damarı	10	23	2000	45		3.5	
(Nevada)	hidrotermal breş	3	2	>1000	150		6	

AY-analiz yapılmadı, B= belirlenmedi

1- Silberman ve Berger, 1985 ; 2- Berger ve Silberman, 1985; 3- Berger, 1985  
4- Hedenquist ve Henley, 1985 ; 6- Krupp ve Seward, 1987

Çizelge 1: Ilıcılarda dışarı boşalan malzemelerin jeokimyası (ppm olarak).

İçerilebilirler. Jeotermal sistemlerdeki sülfid minerallerin <sup>34</sup>S değerleri magmatik kükürten farklıdır (Şekil 3). Kükürt için ya temel kayalardan sülfatın kısmi indirgenmesi ve yıkanmasıyla, ya da üst kabukta magma oluşmasıyla bir kabuksal köken önerilmektedir (Field ve Fifarek, 1985).

Cevherli akışkanların tuzluluğu 0 ile 13 ağırlık % NaCl eşdeğeridir, fakat yatakların çoğu ağırlık olarak % 3 NaCl eşdeğerinden az olmak üzere belirgin bir biçimde düşük tuzluluktadır (Hayba ve diğ., 1985; Heald ve diğ., 1987). Akışkanların ortalama klorid iyon konsantrasyonunu 1200 ppm dir (Ewers ve Keays, 1977; Weissberg ve diğ., 1979). Jeotermal sistemlerin çoğunun üst akış zonlarındaki akışkanlar nötre yakın pH'lıdır (Henley ve Ellis, 1983). Düşük tuzluluktaki akışkanlar (ağırlık olarak % 3 NaCl eşdeğeri) için pH 250°C de 6.1 civarındadır (Henley, 1985). Cevher yataklanmalarının çoğu 200 ile 300°C arasında olmuştur, geç dönem akışkanlar 140 ile 200°C arasında sadece gang minerallerini depolamıştır (Hayba ve diğ., 1985).

### İz Element Modelleri

Ilıca tipi yataklar bir dizi cevher elementi içerirler (Çiz. 1): Au, Ag, As, Sb, Hg, Tl, B ve yersel olarak Mo ve W (White, 1981; Berger ve Silberman, 1985). İz element modeli, sistemin yapısı içerisinde bir düşey zonlanma sunar (Şekil 4). Au, Sb, As, Hg, Tl, B üst kesimlerde yüksek konsantrasyonlarda görülürler ve de-

rinlikle azalır. Ag derinlikle artar, baz metaller (Cu-Pb-Zn) ve Se, Te, Co gibi diğer metaller sadece sistemin derin kesimlerinde ortaya çıkarlar. Round Mountain sahasında, yatağın çevresinde Mn-Hg-Cu-Pb-Zn içeren geniş bir hale oluşmuştur (Berger ve Silberman, 1985).

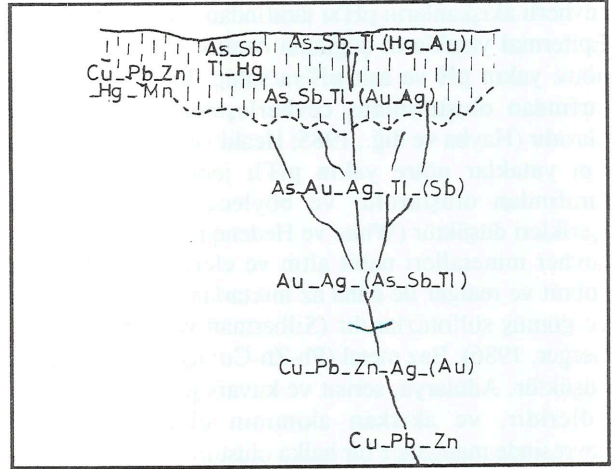
### Yan Kaya Alterasyonu

Ilıca tipi altın yatakları için serisitik alterasyon tipiktir (Heald ve diğ., 1987). Clarke ve Govett (1990) tarafından alterasyon modeli hazırlanmıştır (Şekil 5). Yatak yanal olarak ve derine doğru bir propilitik alterasyon (klorit, epidot) zonuyla çevrilidir. Cevherleşme potasik alterasyon (K-feldspat, biyotit) ile ilişkilidir. Genelde cevherleşmenin üzerinde ve içerisinde arjilik (montmorilonit, kil) ile fillik (beyaz mika) alterasyon görülür. Arjilik zon asidik alterasyon (ileri arjilik; alünit, kaolinit) ile örtülür. Silisleşme (silisik alterasyon) bütün bu alterasyon tiplerini örter ve yüzeyde görülür. Belirgin bir alterasyon tarzı olmasına rağmen, genel olarak silikanın egemen olduğu arjilik, fillik ya da asidik alterasyon türüdür. Alterasyon zonu yanal olarak yaygın olabilir. Round Mountain yatağında propilitik alterasyon zonu yüzeyde 1.5 km. den fazla uzanır (Berger ve Silberman, 1985).

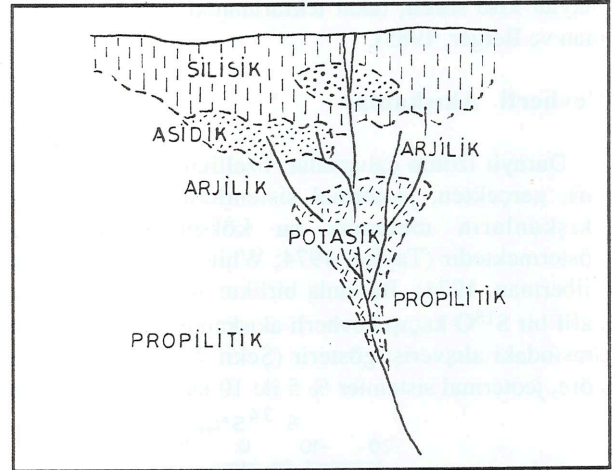
### Silisleşme

Ilıca tipi altın yataklarının tanımlanma özelliklerinden birisi silisleşmedir (Berger, 1985). Silika sinter yüzeyde ve yaygın silisleşme (silis şapka) yüzey yakınında oluşur (Şekil 6). Sinter, derinde cevherleşmenin oluşumu sırasında aralıklı olarak depolanır ve cevher mineralleri zaman zaman sinter içerisinde görülür. Yüksek yoğunlaşmalar genel olarak çıkışların çok yakınında yer alırlar (Nelson ve Giles, 1985). Sinter içerisinde katmanlı zonların görünümü, hidrotermal akışkanlar içerisinde değerli metal taşınmasının çok evreli olduğunu yansıtır.

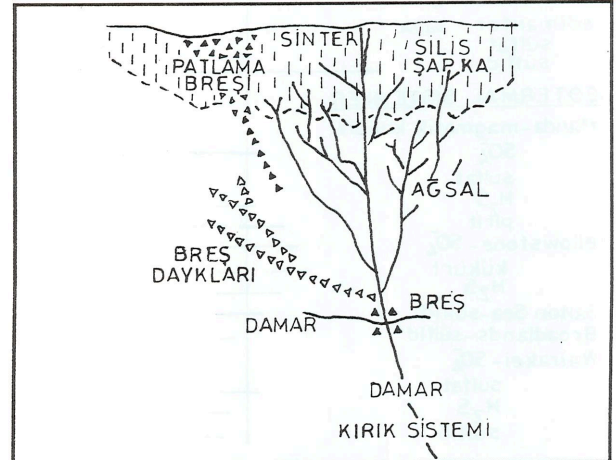
Çevre kayanın yoğun biçimde silisleşmesinden oluşan bir zon sinterin altında yer alır. Bu silisleşmiş zon hidrotermal sistem üzerinde bir mühür veya takke oluşturur ve cevher yataklarında tekrarlanmalı breşleşme dönemleriyle belirginleşir. Takkenin her bir kırılma dönemini silika ile kendiliğinden mühürleme izler. Şapkanın kırılmasını izleyen ve mühürün tamamlanmasından önceki dönemler sırasında takkeleşmenin üzerine aralıklı olarak sinter depolanır. Ana kayanın bileşimine ve geçirgenliğine, sistem içerisinde taşınan silika miktarına ve termal etkinliğin sürmesine bağlı olarak silisleşmiş zonun kalınlığı yüzlerce metre kalınlığa ulaşmış olabilir. Eğer ana kaya geçirgen değilse ve kırılmasa, silis şapka çok sayıda kayayı kesen kuvars damarlarından oluşabilir.



Şekil 4: Ilıca tipi epitermal yataklarda iz element dağılımını gösteren şematik enine kesit (Clarke ve Govett, 1990'dan).



Şekil 5: Ilıca tipi epitermal yataklarda alterasyon türlerini gösteren şematik enine kesit (Clarke ve Govett, 1990'dan).



Şekil 6: Ilıca tipi epitermal yataklarda yapısal özellikleri gösteren şematik enine kesit (Clarke ve Govett, 1990'dan).

## Breşleşme

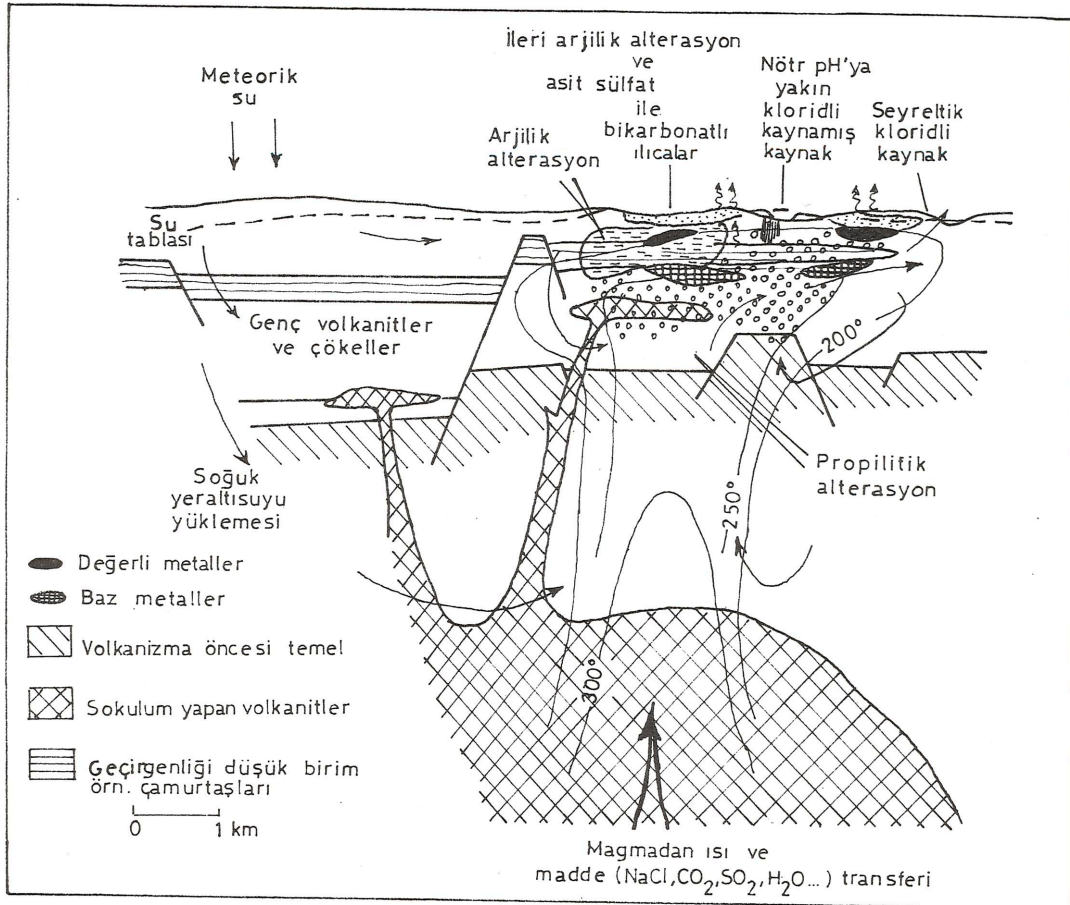
Hidrotermal patlama mekanizmalarıyla oluşan breşleşme ılıca tipi yatakların bir diğer özelliğidir. Hidrotermal patlama terimi, tümüyle jeotermal rezervuarın içerdiği enerjinin yol açtığı bir patlamayı anlatır (Nelson ve Giles, 1985). Mağmatik enerjinin doğrudan katkısıyla ilgili bir kanıt yoktur. Hidrotermal patlama breşleri birincil volkanik malzemenin bulunmamasıyla belirginleşir, genelde çakıllar değişik kökenli ve hamur desteklidir (Henley, 1985). Fırlatılan parçalar çıkışa doğru kalınlaşan masif, zayıf boylanmalı breşleri oluşturur. Silis şapka içerisindeki breş zonları genelde yaygın silisleşmenin altına doğru devam eder (Berger, 1985) (Şekil 6). Patlama breşi, damar, pipo ve dayk biçiminde silis şapkanın altında da bulunur. Bu breşlerin bazısı, kumdan iri çakıla kadar değişen tane boyuyla çimentolanmamış ana kayadan ibarettir. Silis şapkanın altındaki bir diğer tip hidrotermal breş çimentolanmıştır. Breşler cevher için başlıca depolanma yerini sağlar, ve değerli metal cevherleşmesi esas olarak breş çimentosundadır (Sillitoe, 1985). İleri arjilik alterasyonun varlığı veya yokluğu, breşlerin gang ve sülfid mine-

ralojisi üzerinde baskın kontrol görevini yapar.

Mağmatik sokulum ve olasılıkla ilişkili sismik etkinlik hidrotermal patlamalar için tetik rolü oynar (Nelson ve Giles, 1985). Jeotermal rezervuara ve çevre kayaya herhangi bir ani mağmatik ısı ve/veya uçucuların katılımı büyük ölçüde aşırı basınç altındaki bir jeotermal akışkanı üretir. Hidrolik kırılma, akışkan basıncının toplam litostatik yükü aştığı bir düzeyde başlar. Daha sonra, jeotermal akışkanlar geçirgen çözelti kanalları boyunca yükselirler.

## Hidroloji

Hidrolojik ortam, epitermal cevher gövdelerinin yerleşmesinde ana etkindir (Hayba ve diğ., 1985). Şekil 7'de, ılıca tipi altın yatakları için bir genel hidrolojik model görülmektedir. Cevherler, derinde dolaşım yapan hidrotermal sistemin üst kesimi boyunca depolanır (Henley ve Ellis, 1983). Sistem, meteorik sularla yüklenmektedir. Sistemin dolaşımı için gerekli ısı ve bazı gazlar ile çözeltiler derinde gömülü mağmatik gövdeden temin edilir. Sistemin üst kesimi boyunca uzanan bir geçirgen olmayan litolojik birim (aquitard),



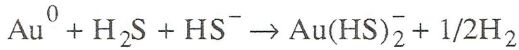
Şekil 7: İlıca tipi altın yatakları için bir tipik jeotermal sistemin geliştirilmiş hidrolojik modeli (Henley ve Ellis, 1983'den).

hidrotermal çözeltilerin yukarı doğru hareketini durdurmak ve çözeltilerin yanal olarak taşınmasını zorlamak için gereklidir. Steven ve Eaton'a (1975) göre cevher oluşum zamanındaki topoğrafya, daha soğuk yüzey suyunun bir şapka oluşturmasında ve yanal akış rejiminin belirlenmesinde önemli rol oynar. Hidrotermal sorguçun getirgen volkanik akifer içerisine girmesiyle bir mantar biçimini alır, biçimi, sıg yüzey suyunun yanal akışıyla yan yana gelmesiyle belirlenir (Sander ve Einaudi, 1990). Rezervuardaki akışkan, geçirgen olmayan birim sonunda ve kırıklar boyunca yüzeye boşalır.

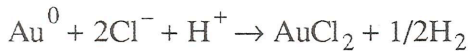
## ALTININ TAŞINMASI VE DEPOLANMASI

Etkin jeotermal sistemler ve epitermal değerli metal yatakları arasındaki yakın benzerlikler uzun zamandır dikkati çekmektedir (Lindgren, 1933; White, 1955; Weissberg, 1969). Bu yatakların çoğu, etkin ılıcalarla ilişkilidir (Henley ve Ellis, 1983). İlıca tipi altın yatakları ne zamansal ne de mekânsal açıdan sokulum yapan volkanizmayla doğrudan ilişkili değildir (Heald ve diğ., 1987). Nötre yakın pH'lı meteorik sular, jeotermal sistemlerdeki en olası metal taşıyıcılarıdır (White, 1981; Henley ve Ellis, 1983). Jeotermal sistemlerdeki ısı ve akışkan kaynaklarına ek olarak değerli metal depolanması metallerin kaynağını, depolanma yerine metal taşınmasını, çökeltme mekanizmasını ve metallerin ekonomik yoğunlaşmalarının ortaya çıkmasına yön verecek taşıma ve depolama mekanizması için yeterli zamanı gerektirir (Henley, 1985; Silberman ve Berger, 1985). Bununla birlikte Berger ve Silberman (1985), altının kaynağının çökeltme mekanizmasından daha az önemli olduğunu ileri sürerler.

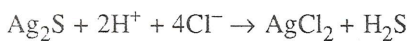
Altın, hatta arsenik ve antimuan akışkanlar içerisinde, özellikle nötre yakın pH'lı bölgelerde tiyo-karmaşıklar olarak taşınırlar (Seward, 1973):



Akışkanın ısısı 300°C den yüksek olduğunda, altın klorid karmaşıkları biçiminde taşınır (Seward, 1973):

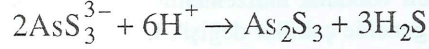


Klorid karmaşıkları yüksek tuzlulukta akışkanlar olduklarından Ag ve baz metallere klorid karmaşıkları biçiminde taşınırlar (Henley, 1985):



Seward (1973) bazı hidrotermal cevher çözeltileri

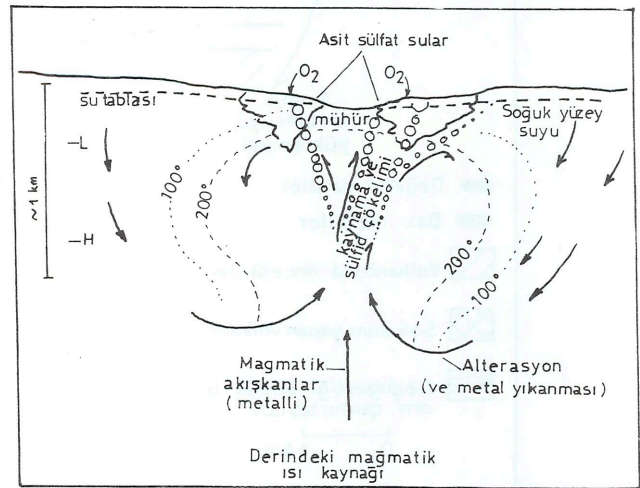
içerisinde altının taşınmasında arsenotiyu ve antimonotiyu karmaşıklarının ( $\text{Au}(\text{AsS}_2)^0$ ,  $\text{Au}(\text{AsS}_3)^{-2}$ ,  $\text{Au}(\text{Sb}_2\text{S}_4)$ , vd.) da önemli olabildiğini öne sürer. Bununla birlikte altının taşınması ve depolanmasında As'in rolü kuşkuludur (Henley, 1985). Bazı deneysel veriler, tiyoarsenid karmaşıklarının indirgenmiş kükürt çözeltilerinde altının çözünürlüğünü artırabildiğini göstermektedir.



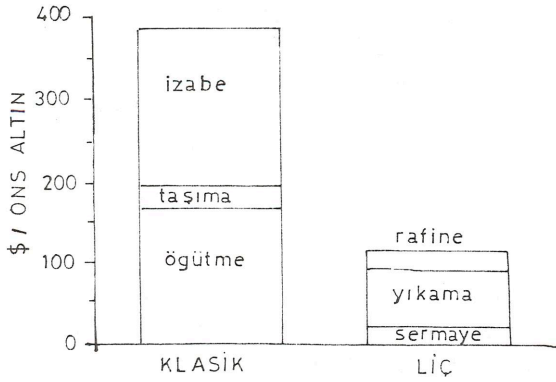
Hidrotermal cevher akışkanları, içlerinde birçok karmaşık ve birbirleriyle ilişkili etkenlerin metallere depolanmasını etkilediği çok bileşenli akışkanlardır. Altın ısı, basınç, pH, sistemin oksitlenme potansiyeli ve toplam kükürt konsantrasyonundaki değişimler sonucunda depolanır (Seward, 1973).

Akışkanların kaynaması ve soğuması ile yüzey suyuyla karışması ılıca tipi altın yataklarında metal depolanmasının en önemli mekanizmalarıdır (Reed ve Spycher, 1985; Drummond ve Ohmoto, 1985; Cunningham, 1985).

Basınç hidrostatik ve litostatik düzeyler arasında olduğunda, bir hidrotermal sistemdeki yükselen sıcak sular kaynamaya başlar (Reed ve Spycher, 1985) (Şekil 8). Kaynama, ısının düşmesine ve pH'nın artmasına yol açar ve dolayısıyla metallere çökeltmesine neden olur. 300°C de veya altında, % 5 oranındaki ilk kaynama doymuş çözeltilerden metallere çoğunun çökeltmesine elverişlidir (Drummond ve Ohmoto, 1985). Sonuç olarak, kaynama sırasında bir doymuş çözeltilerden metal depolanması miktarı genelde ısının 200° den 300°C ye yükselmesiyle artmaktadır. Damar ve boşluklardaki adürlere, kuvars ve kalsit kaynama mekanizmasının ayırtman gang mineralleridir (Henley ve Ellis, 1983).

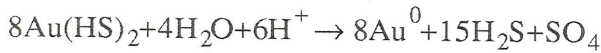


Şekil 8: Kaynayan bir hidrotermal sisteme ilişkin şematik diyagram (Reed ve Spycher, 1985'den).



Şekil 9: Altın elde edilmesi sürecinde maliyetlerin karşılaştırılması (Emerson, 1988'den).

Kaynama  $H_2S$  in tiyo-karmaşıklardan ayrılmasına neden olur (Reed ve Spycher, 1985; Drummond ve Ohmoto, 1985).  $H_2S$  kaybı tiyo-karmaşıkları yıkar ve nabit altının çökmesine yol açar:



Bisülfidler içerisindeki diğer epitermal metal karmaşıkları, özellikle Hg, As ve Sb da kaynama mekanizmasıyla çökertilir.

$H_2S$  atmosferdeki oksijenle kolayca oksitlenir ve sonuçta asit sülfat su olarak yoğunlaşır (Red ve Spycher, 1985). Bu asit sülfat su, arjilik alterasyon mineral topluluğunu oluşturmak üzere çevre kayayla tepkimeye girer.

## EKONOMİK ÖNEM

Düşük tenörlü, büyük tonajlı altın yataklarının ekonomik önemi, yığın yıkama (heap-leaching) teknolojisindeki gelişmeye bağlı olarak son yıllarda artmıştır. Eğer teknoloji yatak özellikleriyle uyumluysa, işletme maliyetleri açık ocaklardaki kütle madenciliğiyle dikkati çekecek biçimde düşmektedir (Şekil 9), hatta 1.8 gr/t Au içeren malzeme ekonomik olarak işlenmektedir (Int. Mining, 1988). İlica tipi altın yataklarının cevher tenörleri ve toplam rezervleri Çizelge 2 de verilmiştir.

## ARAMA İÇİN KILAVUZLAR

İlica tipi altın yataklarının aranmasında saha seçiminin ilk döneminde mağmatik, tektonik ve yapısal konumlar temeldir (White ve Hedenquist, 1990). Bir epitermal cevherleşmenin bulunup bulunmadığını kontrol

YATAK	YER	TOPLAM REZERVLER		
		TON (milyon)	Au (ons/ton)	Ag (ons/ton)
Borealis	Nevada	2.5	0.08	0.62
Buckhorn	Nevada	5.1	0.045	0.6
Hasbrouck	Nevada	5	0.10	
Round Mtn.	Nevada	195	0.043	0.08
Sleeper	Nevada	3.7	0.13	0.80
McLaughlin	Kaliforniya	20	0.16	
Wau	Papua Yeni Gine	bölge üretimi: milyon ons Au	0.58	
Iwato	Japonya		0.13	0.20

Çizelge 2: İlica tipi epitermal değerli metal yataklarından bazılarının ait rezerv ve tenör değerleri (Adams, 1985'den).

eden kritik özellik volkanik kayaların varlığı değil de, meteorik su dolaşımı için ısıyı sağlayan sokulumların bulunmasıdır. Cevherleşmenin gerçek yeri ana bölgesel faydan çok, bu fay zonundaki bir ikincil yapının üzerindedir.

As, Hg, Sb, Tl, B gibi iz sürücü elementlerin jeokimyası cevherleşmenin yerinin saptanmasında bir doğrudan yaklaşımdır (White, 1981; Clarke ve Govett, 1990; White ve Hedenquist, 1990). Alterasyon mineralojisinin ve zonlanmanın incelenmesi depolanmanın olası yerlerini işaretler. Epitermal sistem içerisindeki depolanma zonu belirlendikten sonra, cevher oluşumu zamanındaki paleoyüzeye göre erozyon yüzeyinin şimdi nerede olduğunun çıkarılması gerekmektedir (Clark ve Govett, 1990). Morfoloji, damar yapıları, alterasyon tipleri, sinter ve/veya silisleşme, ve patlama breşi hedef sahanın belirlenmesinde yararlıdır.

Proje sahası ölçeğinde yapısal incelemeler yararlıdır (White ve Hedenquist, 1990). Yapıların çoğu cevherli olmadığından, yapılar, jeokimya, cevher yüzeylemeleri ve hidrotermal alterasyon arasındaki bağıntıyı inceleyerek en umutlu yapıların ayırt edilmesi gereklidir. Ana kayanın bileşimi, cevherleşme için kontrol edici bir etken değildir (Hayba ve diğ., 1985).

Cevherli akışkanlar geçirgenliğin arttığı zonlarda odaklanmaktadır (White ve Hedenquist, 1990). Cevherli kırıkların artan yoğunluğu, breşlerin varlığı eski geçirgen zonların tanınmasına götürür. Akışkanların kaynaması altının depolanmasına neden olur, bu süreçlerin kanıtları damar ve alterasyon mineralojisiyle belirlenir.

## YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Adams, S.S., 1985, Using geological information to develop exploration strategies for epithermal deposits: B.R.Berger ve P. M. Bethke (ed), *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems* de, *Rev. Econ. Geol.*, vol 2, 273-298.
- Averitt, P., 1945, Quicksilver deposits of the Knoxville district, Napa, Yolo, and Lake Counties, California: *California Jour. Mines Geol.*, 41 (2). 65-89.
- Berger, B.R., 1985, Geologic-geochemical features of hot-spring precious-metal deposits: E.W. Tooker (ed), *Geologic Characteristics of Sediment and Volcanic-Hosted Disseminated Gold Deposits - Search for an Occurrence Model* de, *U.S. Geol. Surv. Bull.* 1646, 47-53.
- Berger, B.R., 1986, Descriptive model of hot-spring Au-Ag: D.P.Cox ve D.A. Singer (ed), *Mineral Deposits Models* de, *U.S. Geol. Surv. Bull.* 1693, 143-144.
- Berger, B.R. ve Eimon, P.L., 1982, Comparative models of epithermal precious-metal deposits: *AIME, Preprint* 82-13, 36 s.
- Berger, B.R. ve Silberman, M.L., 1985, Relationships of trace-element patterns to geology in hot-spring-type precious-metal deposits: B.R. Berger ve P.M. Bethke (ed), *Geology and Geochemistry of Epithermal Deposits* de, *Rev. Econ. Geol.*, vol. 2, 233-248.
- Berger, B.R. ve Tingley, J.V., 1980, Geology and geochemistry of the Round Mountain gold deposit, Nye County, Nevada: *Nevada Bur. Mines Geol., Precious Metal Symp. Reno 1980, Abs.*, s. 18c.
- Clarke, D.S. ve Govett, G.J.S., 1990, Southwest Pacific epithermal gold: a rock geochemistry perspective: *J. Geochem. Explor.*, 35, 225-240.
- Cunningham, C.G., 1985, Characteristics of boiling-water-talbe and carbon dioxide models for epithermal gold deposition: E.W. Tooker (ed), *Geologic Characteristics of Sediment - and Volcanic-Hosted Disseminated Gold Deposits - Search for an Occurrence Model*, *U.S. Geol. Surv. Bull.* 1646, 43-46.
- Drummond, S.E., ve Ohmoto, H., 1985, Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems: *Econ. Geol.*, 80, 126-147.
- Emerson, M., 1988, Epithermal gold - Geology and economics: *Konferans, MTA. Ocak 1988. Ankara.*
- Ewers, G.R. ve Keays, R.R., 1977, Volatile and precious-metal zoning in the Broadlands Geothermal Field, New Zealand: *Econ. Geol.*, 72, 1337-1354.
- Field, C.W. ve Fifarek, R.H., 1985, Light stable-isotope systematics in the epithermal environment: B.R.Berger ve P.M. Bethke (ed). *Geology and Geochemistry of Epithermal Deposits* de, *Rev. Econ. Geol.*, vol. 2, 99-128.
- Giles, D.L. ve Nelson. C.E., 1982, Principal features of epithermal lode gold deposits of the Circum-Pacific Rim: *Circum-Pacific Energy Minerals Conf.*, Honolulu, Hawai, 1982, 22-28.
- Hayba, D.O., Bethke, P.M., Heald, P. ve Foley, N.K., 1985, Geologic, mineralogic and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious-metal deposits: B.R. Berger ve P.M. Bethke (ed). *Geology and Geochemistry of Epithermal Deposits* de, *Rev. Econ. Geol.*, vol. 2, 129-167.
- Heald, P., Forey, N.K ve Hayba, D.O., 1987, Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types: *Econ. Geol.*, 82, 1-26.
- Hedenquist, J.W. ve Henley, R.W., 1985, Hydrothermal eruptions in the Waiotapu geothermal system. New Zealand: their origin, associated breccias and relations to precious-metal mineralization: *Econ. Geol.*, 80, 1640-1668.
- Henley, R.W., 1985, The geothermal framework of epithermal deposits: B.R. Berger ve P.M. Bethke (ed), *Geology and Geochemistry of Epithermal Deposits* de, *Rev. Econ. Geol.*, vol. 2, 1-24.
- Henley, R.W. ve Ellis, A.J., 1983, Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review: *Earth-Sci. Rev.*, 19, 1-50.
- International Mining, 1988, Epithermal gold, Feb. 1988, 7-12.
- Krupp, R.E. ve Seward, T.M., 1987, The Rotokawa geothermal system. New Zealand: an active epithermal gold-depositing environment: *Econ. Geol.*, 82, 1109-1129.
- Lindgren, W., 1933, *Mineral Deposits*, 4. baskı, McGraw Hill, New York, 930 s.
- Lipman, P.W., Fisher. F.S., Mehnert, H.H., Naeser, C.W., Lydke, R.G. ve Steven, T.A., 1976, Multiple ages of mid-Tertiary mineralization and alteration in the western San Juan Mountains, Colorado: *Econ. Geol.*, 71, 571-588.
- Nelson, C.E. ve Giles, D.L., 1985, Hydrothermal eruption mechanisms and hot spring gold deposits: *Econ. Geol.*, 80, 1633-1639.
- O'Neil, J.R. ve Silberman, M.L., 1974, Stable isotope relations in epithermal Au-Ag deposits: *Econ. Geol.*, 69, 902-909.
- Reed, M.H. ve Spycher, N.F., 1985, Boiling, cooling and oxidation in epithermal systems: a numerical modelling approach: B.R. Berger ve P.M. Bethke (ed), *Geology and Geochemistry of Epithermal Deposits* de, *Rev. Econ. Geol.*, vol. 2, 249-272.
- Rybuta, J.J., 1981, Relation of calderas to ore deposits



- in the western United States: W.R. Dickinson ve W.D. Payne (ed), Relations of Tectonics to Ore Deposition in the South Cordillera da, Arizona Geol. Soc. Digest, XIV, 227-236.
- Sander, M.V. ve Einaudi, M.T., 1990, Epithermal deposition of gold during transition from propylitic to potassic alteration at Round Mountain, Nevada: Econ. Geol., 85, 285-311.
- Sawkins, F.J., 1984, Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics: Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 325 s.
- Seward, T.M., 1973, Thio-complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions: Geochim. Cosmochim. Acta, 37, 379-399.
- Silberman, M.L., 1982, Hot-Spring type, large-tonnage low-grade gold deposits: R.L. Erickson (der), Characteristics of Mineral Deposit Occurrence da, U.S. Geol. Surv., Open-File Rep. 82-729, 131-143.
- Silberman, M.L. ve Berger, B.R., 1985, Interrelationships of chemical and physical morphologies in epithermal precious-metal deposits: B.R. Berger ve P.M. Bethke (ed), Geology and Geochemistry of Epithermal Deposits de, Rev. Econ. Geol., vol. 2, 203-232.
- Silberman, M.L., White, D.E., Keith, T.E.C. ve Doctor, R.D., 1979, Duration of hydrothermal activity of steamboat Springs, Nevada from ages of spatially associated volcanic rocks: U.S. Geol. Surv., Prof. Paper 458-D, 13 s.
- Sillitoe, R.H., 1985, Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs: Econ. Geol., 80, 1467-1514.
- Sillitoe, R.H. ve Bonham, H.F.Jr., 1984, Volcanic landforms and ore deposits: Econ. Geol., 79, 1286-1298.
- Sillitoe, R.H., Baker, E.M. ve Brook, W.A., 1984, Gold deposits and hydrothermal eruption breccias associated with a maar volcano at Wau, Papua New Guinea: Econ. Geol., 79, 638-655.
- Steven, T.A. ve Eaton, G.P., 1975, Environment of ore deposition in the Creede mining district, San Juan Mountains, Colorado: I. Geologic, hydrologic and geophysical setting: Econ. Geol., 70, 1023-1037.
- Taylor, H.P. Jr., 1974, The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition: Econ. Geol., 69, 843-883.
- Weissberg, B.G., 1969, Gold-silver ore-grade precipitate from New Zealand thermal waters: Econ. Geol., 64, 95-108.
- Weissberg, B.G., Browne, P.R.C. ve Seward, T.M., 1979, Ore metals in active geothermal systems: H.C. Barnes (ed) Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits de, 2. baskı, John Wiley and Sons, New York, 739-780.
- White, D.E., 1955, Thermal springs and epithermal ore deposits: A.M. Bateman (ed), Economic Geology 50 th Anniv. Vol., 99-154.
- White, D.E., 1974, Diverse origins of hydrothermal ore fluids: Econ. Geol., 69, 954-973.
- White, D.E., 1981, Active geothermal systems and hydrothermal ore deposits: Economic Geology 75th Anniv. Vol., 392-423.
- White, D.E. ve Hedenquist, J.W., 1990, Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration: J. Geochem. Explor., 36, 445-474.