

Maden Yatakları Modelleri

1. Porfiri Bakır Yatakları *

GİRİŞ

Bu İncelemede; içerikleri bakır, bakır ve molibden veya bakır ve altın olan porfiri bakır yatakları tartışılacaktır, ilk bölümde bu yatakların tanımları, tarihçeleri, dağılımları ve jeolojik özellikleri anlatılacak ve ikinci bölümde bu yatakların bilinen özelliklerini oluşum koşullarıyla birleştiren model verilecektir. Metin içerisinde değinilen birçok kaynak özet türünde yeni yayınlar ve daha ayrıntılı araştırmalar için başvurulabilir. Bizim tartışmamız doğrudan Kanada Kordillerası (Canadian Cordillera) yataklarını gözetir, başka yerde, ki yatakları da kapsıya eafi görüşündeyiz. Porfiri molibden yatakları porfiri bakır yataklarına benzer, ö. nemli farklılıklar içerdiği için ayrı bir yazının konusunu oluşturabilir ve bu nedenle bu yazıda tartışma dışı tutulmuştur.

Porfiri bakır terimi ilk kez asidik bileşimde ve porfiritik dokulu kayalardaki geniş alan tutan saçılmış bakır mineralleri için kullanılmıştır. Günümüzde ise bu terim hem mühendislik hemde Jeolojik özelliklerini kapsar şekilde boyutları büyük, düşük tenörlü, epijenetik ve magmatik sokulumlarla ilişkili olarak oluşan ve geniş ölçekli madencilik işletmeleriyle çıkarılabilecek bakır yatakları için kullanılır. Porfiri bakır yataklarının genelleştirilmiş jeolojik özellikleri şunlardır: Yataklar oluşum ve yerleşim yeri olarak magmatik sokulumlarla ilişkilidir; magmatik kütleler genellikle felsik bi-

leimdedir, fakat bileşim değişkenlik gösterir; magmatik kütle sıf yerleşimlidir (epizonal) ve her zaman porfiritik dokuludur; çok anamalı sokulumlar, dayk sistemleri, sokulum breşleri ve breş dayklarının varlığı belirteç özelliklerindedir; yan kayalar magmatik kütleyle ilişkisiz yaşlı kayalar olabilir, i gibi magmatik sokulumla ilişkili oluşmuş eş-yaşlı magmatiklerde olabilir; kütle ve çevre kayalar sok şiddetli bir şekilde bregleşmiştir; mineraleşme ve ayrışma geniş alanlar tutar ve yanıl zonlaşma gösterir; oluşum sonrası yüzeysel (supergene) aynımaya düşey zonlaşmaya neden olabilir ve üst kesimlerde fakirleştirilmiş, altta ise ikincil zenginleştirmeye uf ramış zonlar oluşabilir ve bu ikincil olaylarla zenginleşmiş, zoiüar yatafm ekonomik olarak işletilebilmesinde kritik rol oynar,

Magmatik sokulumlarla bafmtlı olarak oluşan porfiri bakır yataklarının boyutları bu tür yatakların en belirgin özelliğidir; Lowell (1974) bir yatağa porfiri bakırdanilebilmesi için en az %0.1 tenöründe 20milyon ton bakır içermesi gerektiğini belirtmiştir. Yeryüzünün en büyük porfiri bakır yatakları, %0,8 ile %2-oranında-bakır tenörü olan 1.5 ile 3 milyon ton rezerve sahiptir (Çizelge 1). Büyük boyutta bir bakır yatafı (örnek olarak 2 milyar ton rezervli ve %15 Cu tenörlü) 50milyon ton metal bakır üretebilir, 1978 yılı istatistiksel rakamları göz önünde tutulursa bu boyuttaki bir yatak Kanada'nın 130 yıllık bakır gereksinimini veya tüm dünyanın üç yüdan uzun bir süre tüm bakır gereksinimini karşıyabilir. Kanada Kordillerası'nın en büyük porfiri bakır yatafının rezervi yaklaşık 1 milyar tondur ve tenörü %0,5 Cüdan az bir oranda düşüktür; birçok bakır yatafı ise çok daha küçük boyuttadır. Günümüzde dünya bakır rezervlerinin yaklaşık yarısını, Kanada rezervlerinin %60 lık kısmını ve British Kolumbiyası'nın %90 lık bölümünü porfiri bakır yatakları oluşturur.

(*) W.J. McMillan ve Andrejs Panteleyev'in Geoscience Canada, 1980, v. 7, n. 2, 52, 63'deki "Ore Deposits Models-1. Porphyry Copper Deposits" adlı yazısından Burhan Erdoğan (9 Eylül Üniversitesi) tarafından Türkçeleştirilmiştir. Şekiller G. ürle tarafından çizilmiştir.

Memleket	Yatağın Adı	Bezel v (MHyon Ton)	Tenor Baku- Yüzde	Yaklaşık Molibden Yüzde
Amerika Birleşik Devletleri	i) Bingham Canyon	1400	0.71	0,05
	2) Butte*	genii	i	?
	3) San Manuel	1000	0,75	0,015
	4) Twin Buttes	800	0,74	0,017
	5) Safford	2000	0,40	—
Meksika	6) La Garridad	600	0,78	0,018
	7) Oannanea	1700	0,79	—
Panama	8) Gerro Colorado	8000	0,5	var
ŞUİ	9) Chuçulcamata	2000	1,3	0,04
	10) El Teüente	8260	0,87	0,03
	11) Bl Abra	1800	0,80	—
Yeni Gine	12) BougalavUle	750	0,47	—
Filipinler	13) Biga	700	0,5	—
İran	14) Sar Oheshmeli	450	0,5	—
Kanada	15) Valley Copper	750	0,48	—
	18) Lornex	400	0,41	0,014

<*) Rezervi ve tenörü Milyon ton; 1880'den 1964'e kadar 326 milyon ton %2,45 lik bakır üretilmiştir.

Çizelge 1; Dünya porfiri balar yattı İdarinin en büyük tti^eldilerinden bazıları (Sutulov, 1974 ve difer hay.
Baklardan düzeltilerek) ywler için şekil % 'ye bakınız.

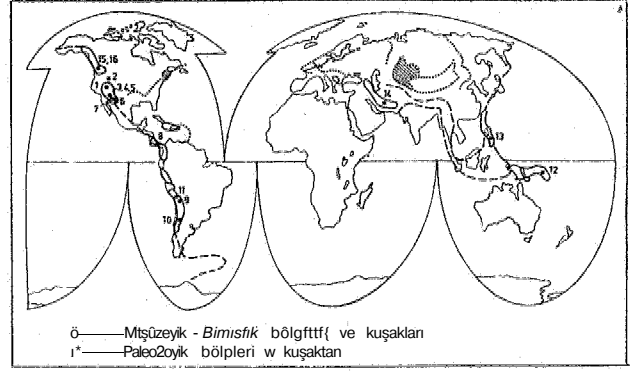
Tarihçe

Geniş, düşük tenörlü, ikincil zenginleşmen (süpür-gene) bakır yatakları 19. yy. da güneybatı Amerika Birleşik devletleri, Şili ve Peru'da bulunmuştur. İkincil olaylarla zenginleşmiş, olan bu yatakların tenörleri orta. lama %2 idi, fakat kütle madenciligi (mass mining) yönteminin 1906'da Bingham Kanyon (Utah) aa geliştirilmesine kadar ekonomik olamadı, Elotasyon yöntemlerinin aynı zamanda bulunarak bakır sülfidlerinin elde edilmesi işletmelerin karlı hale gelmesinde en büyük etmen olmuştur. Kısa bir zaman sonra benzer türde ya. taklar Nevada'da Ely bölgesinde, yeni Meksika'da Santa Rita'da, Arizona'da Glob-Miami'de ve Şili'de El Teniente ve Chuquibambata'da işletilmeye başlandı. Tüm bu yataklarda maden işletmecilik 1 ikincil zenginleşme zonlarında başlamıştır. Bu nedenle ikincil zenginleşme zonlarıyla daha alttaki oksitlenmemiş ekonomik olmayan İlksel mineralleşme arasındaki ilişkinin anlaşılması yirmi otuz yıl sürmüştür. Benzer şekilde porfiri sokulumla, rm bu yatakların oluşumundaki Öneminin kavranılması da uzun zaman almıştır (Emmons, 1927). Bu yatakların oluşumları ancak madencilğin ilerlemesi ve kullanılan aletlerin gelişmesiyle düşük tenörlü kesimin ekonomik olarak İşletilmesinin gerçekleşmesi sonucu anlaşılabil-mistir.

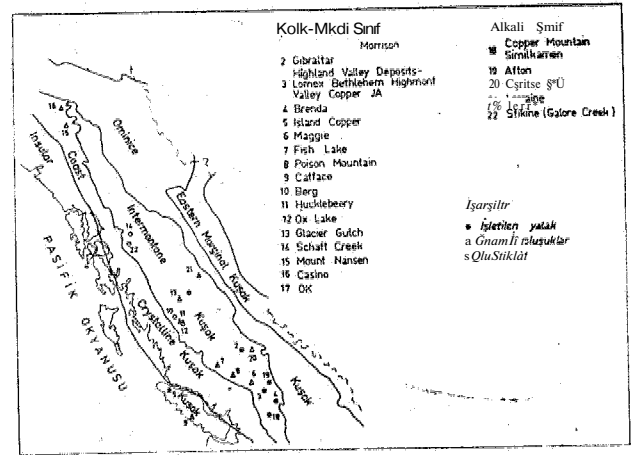
Birinci ve ikinci Dünya savaşları sırasında bakır İstemi ve üretimi önemli ölçüde artmıştır; savaşlar sonrası piyasa hareketliliğini kaybetmiş ve bu nedenle yeni porfiri bakır yataklarına aranması için istek doğmamıştır, Daha sonraları ise Kore savaşı sırasında bakıra gereksinim yeniden artmış ve porfiri bakır yataklarının bulunması yönünden istem yeniden canlanmıştır, 1950 yularının ortasında aramalar Kanada Kordillerası, Gü. ney Amerika, güney batı Pasifik ve dif er bölgelere doğ- ru yayılmıştır. Büyük boyutlarda ve düşük tenörlü bu yatakların işletilmesi günümüzde bile mühendislikteki ilerlemelere ve flotasyon tekniklerine, dünya fiat ve istem düzeyine ve vergi politikalarına bağlıdır,

Yayılım ve Yaş

Porfiri bakır bölgeleri dünya çapında dağ" kuşakla- nyla çıkar (Şekil, 1, 2). Bu ilişki Pasifik çevresi Meso- zoyik ve Senozoyik yataklarında gok açık bir şekilde iz- lenir, fakat Kuzey Amerika, Avustralya ve Sovyetlerde- ki Paleozoyik oluşuklarında yine aynı ilişki bulunur. Daf kuşaklarında porfiri bakır yatakları iki tektonik zon boyunca bulunur; bunlar ada yayı ve kıta kenarlarıdır, Senozoyik ve daha seyrek olarak Mesozoyik yağlı yatak- lar yaygındır, Paleozoyik yaşta olanlar enderdir ve yal- nızca bir veya İki tane porfiri bakır yataklarına benzer özellikte Prekambriyen yağlı yataklardan söz edilmiştir (Klrkham, 1072; Gaal and Isohanni, 1979). Yağlı yatak- ların deformasyonu ve metamorfizması ilksel yapıları bozmuştur ve bu nedenle bunların sınıflanmaları oldukça güçtür (Grffls, 1979),



geldi 1-: Porfiri bölgelerinin yeryüzündeki dağılışı. Ba- kamlar Çteelge'deki yataktan belirtmektedir.



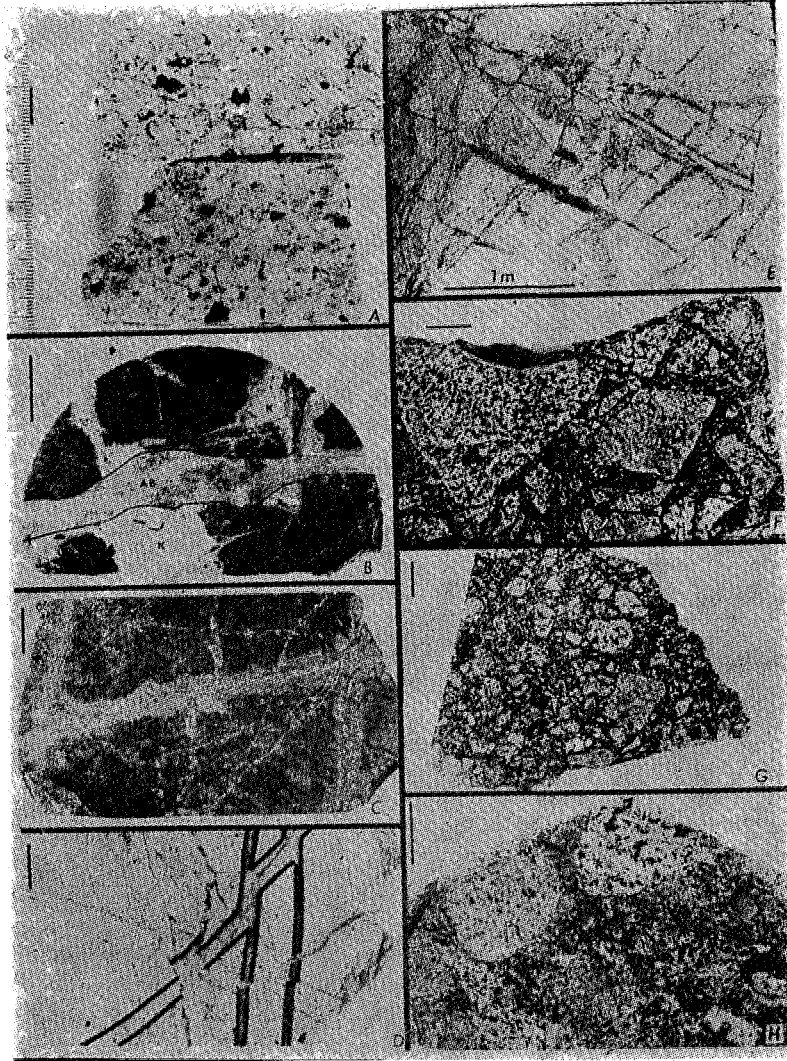
Şekil 8i Kora Utera porfiri yataMarı ve olugukları ile İnımları tektonik konumlan.

Porfiri Biikırlatılı SuuflamMi

Porfiri bakır yatakları ÜQ ana gruba ayrılır: pluto- nik, volkanik ve üçüncü tür olan bu çalışmada "Klasik" diyeceğimiz grup. ÇizelgeTde her grubun belirteç özel- likleri sıralanmış ve şekil 3'de üe gösterilmiştir. Pluto- nik porfiri bakır yatakları batolitler içinde bulunur ve magmatik kütlelerin bir veya birkaç fazıyla iligkili ola- rak meydana gelmiştir. Volkanik türde yataklar vol- kanların kök bölgesinde bulunur ve mineralleşme hem volkanik kayalarda hemde eş oluşumlu plutonlar İçeri- sinden yer alır. Klasik tür yataklar sıg yerleşimli, dağ oluşum sonrası stoklarla ilişkili olarak bulunur ve bu stoklar çevre kayaları kesip yerleşmiştir; mineralleşme tümüyle çevre kayalar İçerisinde, tümüyle stok İçerisin- de veya herİMsi İçerisinde bulunabilir, İki İşletİlmİş por- firli bakıryataMarı ve Senozoyik yağlı porfiri bakır ya- taklarının çoğunluğu klasik türdedir, Bunların özellikle- ri, daha çok güney batı Amerika Devletleri'nde bulunan- lar aynntılı olarak tanıtılmıştır (Titley and Hick, 1966; Lowel and GuUbert, 1070), Bu yataklar İçin "klâsik" te- riminin kullanılma nedenleri: İk kez incelenmiş, olmalı, rmdan, oluşum modellerinin bu türler esas alınarak ku- rulumuğ olmasından ve bunlar tam anlamıyla tanımlaya-

çak terimin güncel kaynaklarda bulunamamış olmasındandır. Bu tür yataklar için silindirik, basit, par-

maksal (phallic) ve yarıderinlik (hypabyssal) terimleri de kullanılmıştır.



ŞeMİ 8 : Porfiri yataklarında litoloji ve ayrıcama türleri Ölçek 1 cm uzunluğundadır. A — Biotit kuvars feldispat porfiri, B — Biotit hornfels kayası potasyum feldispat damarıyla kesilmiş (K) ve en geç tuzlu biyotit damarı (Af) tümünü kesmiştir. Hidrotermal sıvı yan kayalarla denge halindedir.

C — Açık renkli lapillili biyotit hornfels ve kesen kuvara-pirit damarı. Damarı çevreleyen biyotit hornfels ve kesen kuvara-pirit damarı hidrotermal sıvı yan kayalarla denge halindedir.

D — Killik tüpü ificirli açılmış damarı.

K — Parçalanmış kuvars monoklin porfirimle ince silisli-kuvars ilintli kuvarş-kalkoprit damarları. F den H ye kadar — Breş, ilkel lankLannuş hayadan köşeli parçalı ve yuvarlaklaşmış breşe kadar doğisiflc lçunklamna {eşitleri.

Kanada Kordillerasında Mesozöyik yaşlı yataklar volkanik ve plutonik türdedir ve eş yağı volkanik İşmleri kesmiş olan kalk-alkalen ve alkalen plutonlarla ilişkili olarak bulunur (Şekil,5,6). Senozoyik yaşta olanlar ise klasik türdedir (Şekil,6). Kanada Kordillerası porfiri bakır yataklarının çoğunluğu intermontane Kugak'da yer alır. Fakat birkaç tanesi Insular ve Coastal Crystalline Kuşak'larda bulunmuştur.

Porfirik Bakır Yataklarıyla İlişkili Marmatik Sokulomlar

Porfiri bakır yataklarıyla ilişkili magmatik sokulomlar gefitli bileşimde olabilir, fakat genellikle feleik magmatikler hakimdir ve bunlar ayrılmamış (differentiated) kütlelerdir. Ada yaylarında bulunanlar ilkel (primitive) Stronsiyum oranına (SrM/SrS) oranı 0,70B ile 0,702 arasında sahiptir ve bu nedenle ya üst mantodan veya okyanusal kabuktan türemiştir. Kıta-

aal kabuk Üzerindeki porfiri bakır yataklarıyla ilişkili sokulumlar İse yüksek stronsiyum oranına sahiptir 11 sokulumlar İse yüksek stronsiyum oranına sahiptir karışmış, magmadan oluşmuştur. Kalk alkali serilerdeki sokulumlar kuvars diyorit, kuvars monzonit veya granitik bileşimdedir; alkali ve shoshonitik serilerdeki ise diyoritik, siyenomonzonit veya shoshonitik bileşimdedir. Çoklu sokulumlar (multiple intrusions) teklinde yerleşim porfiri bakır bölgelerinin belirgin özelliğidir ve birçok yatak bu sokulumlardan en İleri devrede magmatik ayrılanma gösterenlerin çevresinde yer alır. Buna karşın bazı yataklarda mineralleşme gösteren ve göstermeyen magmatik kütleler değişik özellikler göstermemektedir. Bu nedenle magmatik ayrılanmanın yalnız basma porfiri bakır oluşumunu denetlemediği anlaşılmaktadır.

Magmanın bileşimi cevher içeriğinin davranışını kontrol edebilir. Örneğin bakır elementi kalıntı ergiyikte (residual melt) oktahedral noktalara yerleşir ve magma içerisinde alüminyum toplam alkalilere oranla fazla oktahedral noktaların tetrahedral noktalara oranı yüksek olmaktadır (Feiss, 1978). Bu nedenle potasyumca fakir olan ve genellikle yüksek alüminyum-alkali oranı içeren ada yayı serileri daha kolaylıkla bakırca zengin hidrotermal sıvı oluşturacaktır. Buna karşın kıtasal alanlardaki potasyumca zengin sokulumlardaki bakır zenginleşmesinin nedeni magma içerisindeki yüksek oksijen fugasitesinden ve yüksek su basıncından ileri gelebilir (Mason ve Feiss, 1979). Bir magmatik kütlede cevherleşmenin gelişip gelişmeyeceğini yalnızca magmanın bileşimi değil kalıntı metal ve uçucu madde birikim koşullarında denetler.

Volkanik kayalarla ilişkili gelişen porfiri bakır yatakları volkanik devrimin son aşamalarında gelişen sokulum fazında oluşur ve cevherleşme bir veya birden fazla magma yerleşim aşamasında meydana gelir, örnek olarak Arizona'da Ray yöresinde İlk önce 70 m.s. yaşında kuvars diyorit ve daha sonra 60 m.s. yaşında porfiritik faz ve en sonra 61 m.s. yaşında mineralleşmiş porfirik sokulum meydana gelmiştir (Cornwall ve Banks, 1977). Benzer şekilde, El Salvador ve OK Tedi'de cevherleşme ilk magma yerleşiminden 1 ile 3 milyon sene sonra oluşmuştur (Gustafson ve Hunt, 1975; Page, 1975).

Porfiri bakır yataklarıyla ilişkili sokulumlar genellikle kristal ve ergiyük karışımı şeklinde yep yüzünden 4 km'den daha az derinlikte yerleşmiştir*, birçoğu ise yalnızca 1 ile 2km derinlikte kristalleşmiştir. Hemen tümüyle bu sokulumlar porfiritik dokudadır ve bu özellikleri bu magmatik kütleler içerisinde sık rastlanır ve porfiri bakır yatakları çevresinde bulunan birçok bregleşmiş magmatikler gaz fazının patlamayla kaçtığını belirtir. Birçok breşik pipolar mineralleşme sonrası diyoritlerden oluşmuştur, fakat mineralleşme öncesi veya mineralleşme sırasında oluşmuş breşler fay breşlerinin sıvılaşması (fluidization),* çatlak boyunca erime, kimyasal yollarla bregleşme, magma ta-cevherli eriyiklere yerleşme kayası oluşturması yönünden oldukça önemlidir.

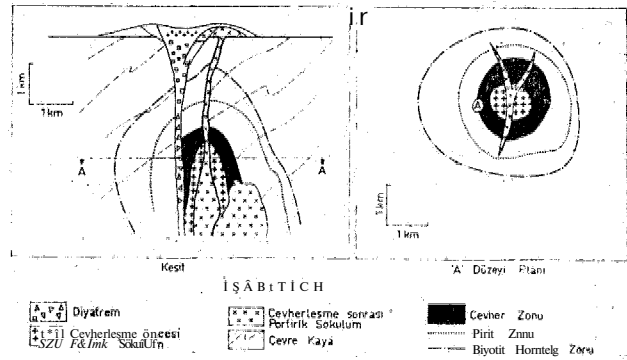
(*) Çevirmenin açıklaması : Sıvılaşma (Fluidization) : ince taneli ve gevşek mal zemenin gazla karışımı ve sıvı gibi akması (Glossary of Geology, A.O.I., 1974).

Bregleşme birden çok aşamada gelişebilir ve değişik etmenler bregleşmeyi saflar. Bu etmenlerden bazıları: Magma içindeki gaz fazının patlamayla kaçması, vana çökmesi, kristalleşme sonucu büzülme ve diğerleri (Kents, 1961; Bryner, 1961). Breşler çok İnce bir aramada içerisindeki köseli iri biokların yuvarlaklaştırılması ve öfütülmesiyle oluşmuş değişik boyutlarda kırıntılardan meydana gelmiştir. Breşlere benzer şekilde, porfirik dayklar cevherleşme öncesi, cevherleşmeyle eşyaşlı ve cevherleşme sonrası yerleşmiş olabilir (Kirkham, 1971). Genellikle şiddetli hidrotermal ayrışma breş ve dayklar etkilemiştir. Böyle durumlarda porfirik dayklar tanımak ve hatta bregleşmiş kütleleri ayırt edebilmek oldukça güçleşir.

Yapısal ÖzeUiMer

Birçok porfiri bakır bölgelerinde magma yerleşimini faylar denetler. Fayların kesifine zonları ve şiddetli kırılmaları kufaklar magma yerleşimini önemli ölçüde kontrol eder. Bazı bölgelerde temelde yer alan bölgesel kırık zonları (Schmitt, 1966; Seraplin ve Hollister, 1978 ; ve birçok diğerleri) veya büyük ölçekli dairesel çökme kazanı yapıları (Bggers, 1979) plutonların yerleşiminde etmen olur,

Yataklardaki cevher alanının gelişim aşamaları oldukça karmaşıktır. Sokulumlar zayıf zonları boyunca yerleştikleri fayların gençleşmesiyle çoğu kez kırılır, Ayrıca daykların yerleşimi, breşlerin oluşumu ve hidrotermal etmenlerle oluşan parçalanma kayaların geçirimsizliğini artırır ve hidrotermal sıvının içinde dolaştığı sistemin meydana gelmesini saflar. Birbirini kesen damarların ve mineralleşmiş faylarla çatlakların varlığı birden çok kırılma ve mineralleşme aşamasının geliştiğini gösterir.



Şekil 4 ; Klasik tür porfiri bakır yatakları modeli (Sut, herland ve Brown'dan, 1976).

Ayngma

Porfiri bakır yataklarıyla ilişkili sokulumların içerisinde ve çevrelerinde şiddetli ayrışma zonları meydana gelir. Magma ve ısıtılmış yeraltı suyundan oluşmuş hidrotermal sıvı ayrışma reaksiyonuna neden olur ve metamorfik fasiyelerdekine benzer duraylı mineral toplulukları meydana gelir, Ayngma sonucu yan kayalardan bazılar arıtılır ve ayrışmanın şiddeti sıvı içer-

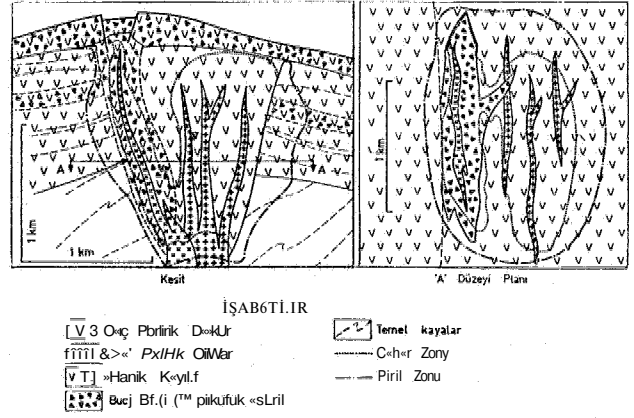
sindeki metal katyonlarının hidrojen iyonlarına oranıyla kontrol edilir (Hemley ve Jones, 1964), Eğer alkali-lerin hidrojen iyonlarına oranları düşükse feidispatlar mikalar ve dif er silikat mineralleri duraysız hala gelir ve hidroliz olayı gelişerek katyonlar kayastan atılarak hldrotermal sistemin duraylı hale gelmesi sağlanır. Reaksiyonlar ısı ve basmglu kontrol edilir fakat bu iki etmeden başka hldrotermal sıvının bolluğu, bileğimi, aıvmm dinamik davranışı ve sıvı ile yan kaya alış ve-rigide reaksiyonları denetler.

Dört tür ayrışma kuşağı gözlenir ve bunlar propillik, arjillik, fillik ve potastık ayrışma kuşaklarıdır, Düşük hidroliz koşullarında kuvars ve alkali feldispat duraylıdır, fakat plajloklas ve malik mineraller sıvıyla reaksiyona geçerek albitli plajloklas, klorit, epidot, karbonat ve montmorillonit (hidromikayla ve mikasız) veya ender olarak tremöliyaktinolit minerallerinden meydana gelen propillik ayrışma ürünlerini oluşturur. Hidroliz olayı şiddetli ise arjillik ve fillik ayrışma meydana gelir. Arjillik ayrışma kuvars, kaolmit, klorit ve az oranda montmorillonit mineralleri içerir ve yavaş yavaş fillik ayrışma zonuna geçer, Fillik ayrışma zonu- nun belirteç mineralleri kuvars, aersit ve pirittir. Şid- detli hidroliz olayı yüksek sroaklıkta ileri arjillik ayrışmayı oluşturur ve bu ayrışma zonu kuvars, profililit, kaolmit (veya dickit) ve bazanda andalusit minerallerinden meydana gelmiştir. Çok şiddetli hidrolizleşme sonucu İksel kayadan ayrışma sonucu geriye gözenekli kuvars kalır.

potastık ayrışma,, yoğun hidrotermal sıvının var olduğu yüksek sıcaklık altında meydana gelir, Potastık ayrışmanın olduğu koşullar magmatik kogullann son atamasına benzer ve granit veya kuvars monzonit dışındaki çevre kayalann, tüm bileşenleri duyarlıdır. Fotasik ayrışma topluluğu mineralleri kuvars (genel-likle kenarları yenmiş kristaller şeklinde), potasyum feldispat, biyotit, ortaç plajloklas (oligoklas veya ande- zin) ve ender olarak anhidrittir.

Genelleştirilmiş bir porfiri cevher yatağının olu-şum modelinde ayrışma toplulukları müneralleşmiş so- kulum kütesinin çevresinde zonlagma gösterir. Bu zon- lar merkezinde potastık ayrışmanın yer aldığı kabuklar Sekindedir ve dışı doğru fillik, arjillik ve propillik ayrışma zonları ve en dışta ayrışmamış çevre kayalara geçilir (Lowell ve Guilbert, 1970). Dof ada tüm ayrış- ma zonları ender olarak oluşur veya korunur. Oluşan ayrışma mineral toplulukları yan kayalann bilefine de bağlıdır (Ouilbert ve Lowell, 1974), örnek olarak potastık ayrışma riyolitik yan kayalarda ikincil potas- yum feldispat ve serisit oluşur, fakat andezitik yan kayalar içerisinde biyotit mineralini oluşturmaz. Aynca mineralleşme sırasında düşey ve yanal zonlaşmanın meydana gelmesinde etmen olan sıcaklık, basınç ve geçirimsizlik koşulları devamlı değişir. Bu değişimler sonucu birbirinin üzerine binen veya birbirini kesen damarlar şeklinde ayrışma zonlarının meydana gelme- sine neden olur. Çok kırıldı kayalarda veya gegirilm- iliği yüksek kayalarda ayrışma kayanın bütün hacmi- ni kaplar ve en son meydana gelmiş ayrışma minerali toplulukları daha önce oluşmuş olan mineral topluluk-

larını maskeler. Az geçirimi! kayalarda ayrışma kırık ve gattak yüzeyleri boyunca meydana gelir ve ayrışma sırasında ısı, basınç ve sıvı bileşimiBde oluşmuş, def 1- İniler ayrışma minerallerinin ve sıvı kapanımların in- celenmesinden ortaya çıkartılabilir, örnek olarak yan- yana İki çatlakta defifik aynama türüne ait mineral toplulukları bulunabilir.



Şokil S : Volkarük tür porfiri bakır yatakları modeli (Sutheirfainâ ve Brown'dan, WW),

Porfiri bakır yatakları daima ağı ve birbirini ke- aen damarcıklardan meydana gelmiştir. Bu damarlar kayalardaki kırıklanmanın ve bu kırıkların içerisinde doldurulmasının birden çok aşamada meydana geldif 1- nl gösterir. Her mineralleşme aşamasında hidro- termal sıvım bileşiminde defilİr. Genellikle ayrışma aşamalarının zaman içerisindeki sırası yataWardaki yanal yöndeki zonların dizilimine benzer; yaşlıdan, gence doğru değişen ayrışma türleri önce potastık ve propil- lik, daha sonra fillik ve en sonra İse arjilliktir. Derin Kttkenli Mneralleşm© ve Zonlaşma

Derin kökenli (hypogene) mineraUeşme çevre kar- yalar içerisinde çatlak dolgulandıan, sağılmış kristal, lardan ve değişik oranda pirit, kalkopirit, bornit ile mol- lidenit içeren kuvars damarcıklarından meydana gel- miştir. Porfiri bakır yataklarında zonlaşma değişik tür yataklar arasında farklı olabildiği gibi (Levha H) bir yataktan diğerine de farklılıklar gösterir. Klasik türde porfiri yataklarında örnek bir zonlaşma şu şekilde göz- lenir: merkezde zayıf mineralleşme veya cevhersiz çe- kirdek zonu yer alır ve bu zon içinde az oranda kalko- pirit, molibdenit ve ender bornit mineralleri bulunur; pirit %2 den azdır. Çekirdek zonunu çevreleyen cevher katmerleri Önce molibdenit zenginleşmesi ve sonra kal- kopMt zenginleşmesi gösterir; pirit oranı dışı doğru artar. Cevher katmerlerinin çevresini % 10-15 oranda pirit bulunduran fakat yalnızca az oranda kalkopirit ve molibdenit içeren pirit zonu* kuşatır. Altın ve gü- mük içeren damarlar pirit zonunu çevreleyen kırık ku- şağı içerisinde bulunur. Porfiri bakır yataklarında pi- rit en bol bulunan sulfid mineralidir.

Yukarıda örnek olarak verilen zonlaşma Amerika Birleşik Devletlerinin güneybatısındaki ve Kanada Kordüerasıdaki Tersiyer yaşlı klasik tür porfir yatakları için belirteçtir. Buna karşın, Kanada Kordüerası içinde bulunan Mesozoyik yaşlı yataklar

volkanik ve plutonik türde porfiri yataklarıdır ve farklı zonlaşma gösterir (Levha II),

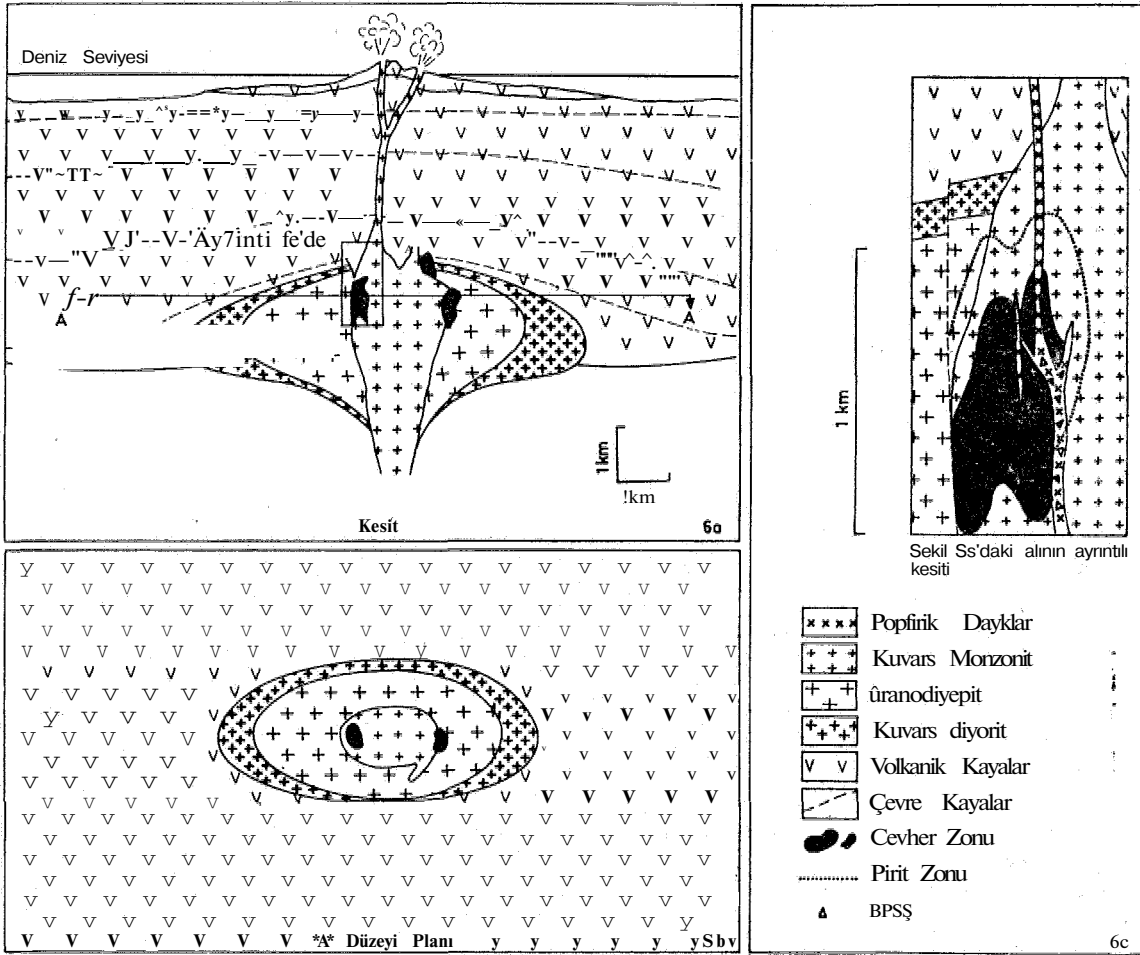
Volkanik tür yataklar zayıf bir zonlaşma gösterir ve merkezde az oranda pirit bulunduran ve kalkopirit, bornit ve magnetit içeren bir kısım bulunur ve bu çekirdeğin dışında cevhersiz pirit zonu yer alır, Plutonik türdeki yataklarda merkezde bornit zengindir, bunun dışında kalkopirit ve en dışta pirit kuşağı bulunur; bazılarında ise merkezde silisli çekirdek yer alır ve mobil denli mineraleşmesi düzensiz olarak dağılmıştır,

Mineral Sıvısı ve Sülfürün Kaynağı

Porfiri bakır yataklarını anlayabilmek için hidrotermal sıvının bileşimi, bileşimindeki değişimler ve cevherleşme oluşumu sırasındaki ısı ve basınç koşulları, bilinmesi gerekir. Cevher oluşturan sıvının Özellik

lerli sıvı kapanım ve izotop araştırmaları yardımıyla öğrenilmiştir (Nash, 1976; Sheppard, 1977), Aynigma ve mineraleşmeyi oluşturan sıvı metal ve tuzca zenginlidir ve hem magmatik hemde meteorik suyun karışımından oluşmuştur. Hidrotermal devrim sürecinde bu iki bileşenin oranı değişebilir ve porfiri sisteminin bir yerinden diğer yerine değişimler sunabilir.

Sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklığı değişik yataklarda 260°C den 750°C kadar değişir. Örnek olarak Peru'da Gerro Verde yatağında (La Bel, 1979 a, 1970 b) sıvı kapanımları 350°C ile 410°C arasında homojenleşmektedir. Sülfür izotop araştırmaları, sülfür ve sülfat oranı, GIB ve serisit (fenjitik muskovitin) kimyasal bileşimine göre saptanan oluym sıcaklıkları homojenleşme yöntemiyle saptanan sıcaklıklarla çakışmaktadır.



Şekil 6 : Plutonik tür porfiri yatakları modeli.

Sülfür, hidrojen ve oksijen izotop araştırmaları maden yataklarını oluşturan sülfürün kökeninin bulunmasında yardımcı olmaktadır, Cerro Verde yatağında pirit ve kalkopirit minerallerindeki sülfür izotop farklılıklarının cevherleşmenin kaynağının magma veya mantodufunu gösterir, buna karşın sülfat mineralleri üzerindeki izotop farklılıkları meteorik kökene işaret

eder. Ayrıntılı çalışmalar sonucu sülfat ve karbonat minerallerinin magmatik kofullarda kristalleşmeye başladığı fakat daha sonra meteorik sularla deflaktığı uğradığı anlaşılmıştır Benzer şekilde, A.B.O.'de hidrojen ve oksijen izotopları üzerinde yapılan çalışmalar (Sheppard ve diğerleri, 1971) ve Bingham Canyon ve Butte'de sıvı kapanım çalışmaları (Roedder, 1971)

Klasik

(Stokla ilişkili)

Volkanik

Platonik

Konumu

Yabancı gevre kayalar ige- ne sokulum yapmış dag oluşum sonrası stoklarla ilişkili; eş yaşlı volkanik kayalar ender olarak korunmuştur, Kordillera yatakları Mesozoyik sonu ve Tersiyer yaşındadır.

Eş yaşlı kalkalkalen ve alkalen (dioritik veya shoshonitik) plutonlarla kesilmiş bazik ve ortaç volkanik istif içinde bulunur; magmatizma iç içe karışık volkanik / sokulum karmaşıkları olmaktadır. Kordillera yatakları Mesozoyik yaşındadır.

Eş yaşlı volkanikler içerisine sokulmuş, büyük kalkalkalen plutonlar içerisindedir; plutonlar mafik sınırlara sahiptir ve ileri derecede veya orta derecede ayrımlanma gösterir, Kordillera yatakları Mesozoyik yaşındadır.

Plutonlar

Çok aşamalı olarak yerleşmiş, küçük (0,5 . 2 km*), silindirik şekilli porfiritik dokulu sokulumlar, çok sayıda mineralleme öncesi, arası ve sonrası porfirik dayklar. Sığ yerleşimlidir.

Kalkalkalen! gök küçük veya küçük boyda sil, dayk veya sokulumlar (0,2 İle 10 km), deflik dokusal özellikte, yavaş volkanik yerleşimler. Alkali Sıf yerleşim U sil, dayk ve sokulumlar ve daha derinde mezozon plutonları veya küçük batolitlerle ilişkili

Batolitik kütleler („ 1000 km.2) orta derinlik yerleşimli (2,4 km) Faneritik iri dokulu ve porfiritik kayalar ve nünerallemeye eş yaşlı veya daha sonra oluşmuş porfiritik dayklar.

Sokulumların Tapısal Kontrolü

Pasif yerleşimi, yapı önemli etmen olmayabilir; birçok stok bölgesel fayların keşiflenmesinde yer alır.

Kalkalkalen: Volkanik bacaya boyunca, fay zonları boyunca ve ıgmsal kırıklar boyunca yerleşim. Alkali: Sokulum merkezi bölgesel yapıca denetlenir. Sığ yerleşimli sokulum kayaları volkanik bacaya ve fay zonlarına yerleşir.

Diyapirik yerleşim; aşamalı magmatik yerleşim ve ayrımlanma keskin ve geçişli iç dokanıklara neden olur.

Breşler

Çok sık görülür ve belirteç özelliktedir; Mineralleme sonrası arjillik aynışmalı diyatremler yaygındır çöküntü breşleri, sokulum breşleri ve tavan çökmesi breşleri yaygındır. Erken oluşan breşler mineralleşebilir.

Kalkalkalen; yaygındır ve değişik türdedir; piroklastik tefra, ayrışma yalancı breşleri, baca aglomeraları, parçalanma ve sokulum breşleri. Mineralleşmiş breşler yaygındır ve bazıları magnetit veya turmalin içerir. Alkali sokulum ve volkanik breşler yaygındır ve genellikle mineralleşmiştir.

Son aşama porfirik dayk sistemleriyle ilişkili breşler yaygındır, Mineralleme öncesi ve sonrası breşler ve bazıları spekülarit veya turmalin içeren breş dolguları.

Ayrıgma

Sokulum çevresinde halka şeklinde potasit, illik ve propillitik ayrışma zonları; arjillik zon defigik boyutta. Erken aramada oluşmuş tayotit hornfels kayalarında oluşabilir ve goju kez yanışıklıkla pötasik zonla karıştırılır.

Cevher Yatakları

Porfirik sokulumun kenarında halka şeklinde zonlu veya dom örtüsü şeklinde; belirgin yanıl zonlaşma. Firt her zonda yaygındır. Zayıf mineralleşmiş çekirdek dışı doğru molibden zengin, ve en dışta piritçe zengin zonlaşma.

Kalkalkalen ; Propilitij, zon yaygındır; potasik zon giddetli gelişmiş fakat dar yayımlı, Geçirimli zonlarda ayrışma. Klasik çekirdek ve illik ile arjillik halkalar.

Alkalen: yersel pnömolitik potasik ayrışma; erken aramada oluşmuş biyotit üzerine sonra gelişmiş propillitik, södlük veya potasit (albit - K. feldispât) ve ender skapolitik ayrışma,

Kalkalkalen İ Genellikle Cu.Mo yatakları lekilli ve breiler içinde; yataklar mercekli ile düzensiz şekillidir ve tabakalanma kontrolünde gelişmiştir. Birçok yatak kalkopirit içerir, ender olarak molibdenit ve bomit.

Alkalen Genellikle sokulum bregleri ve kırıklı gevre kayaları içerisinde Cu-Au yatakları; bazıları gözenekli çevre kayaları orhatmış konumdadır, Yersel olarak magmatik kökenli magnetit .apatit damarları bulunur. Zonlaşma merkezde kalkopirit dışı doğru bornit, en dışta ise pirit halkasından oluşmuştur.

Fillik, f illik - arjillik ve propillitik ayrışma yaygındır. Çoklu aramalı kırıklar boyunca ayrışma. Aynı aramada geliştiğinden zonlar bozulmuştur.

Genil ve ağırsı cevherleşme; bazıları bregik zonca kontrol edilmiştir. Bazıları ise faylar boyunca oluşmuştur. Sulfit (azı enderdir. Zonlaşma içinden dışı doğru demir oranı artmasıyla belirgindir ve en dışta bornit daha dışta kalkopirit ve en dışta pirit zonu yer alır, Mo dağıtımı belirgindir. Bazı yataklarda kuvarsça zengin ve düşük mineralli çekirdek yer alır.

Çizelge 2: Üs tür porfiri bakır yatağının Özellikleri

am oluşumuna ısıtılmış meteorik suyun katılmış olduğunu gösterir. Gerro Verde'deM gibi British Columbia'da Valley Copper yatağında cevher oluşturan sıvı karışık bileşimdedir (Jonas, 1975), Magmatik sıvı ana mineralleşme sırasında cevher oluşturan sıvının %7B ini teşkil eder; daha sonraki atamalarda meteorik su veya deniz suyunun katılımıyla cevher taşıyan sıvı sökeltilir.

Jeolojik ve yerkimyası verileri porfiri bakır yataklarının dört kilometreden daha az derinlikte ve birçoğunun bir iki kilometre derinlikte oluştuğunu gösterir (Sillitoe, 1978), Cerro Verde yatağında yaptığı Qahşmada Le Bel ve Valley Copper yatağının incelenmesinde Jones yataklarının oluşum basıncının 200 ile 300 bar arasında olduğunu tahmin etmişlerdir ve bu basınç aralığı bir ile iki kilometre derinliğe karşıt gelmektedir.

Porfiri Balar Yataklarında, Metallerin Kaynağı

Porfiri bakır kuşaklarıyla dag kuşaklarının çakışması porfiri bakır kulaklarının tektonik etmenler tarafından denetlendiğine if ayet eder, İzotopik verilere göre meteorik sular porfiri ortamda ayrışma ve sökelimde etkin olursada sülfürün kaynağı manto veya ergimiş okyanus kabuğudur,

Yataklardaki metalin kökeni daha da fazla varsa, yuna dayanır, Hidrotermal sıvıdaki metal ve sülfür magmatik kristalleşmenin yan ürünü olarak zenginleşebilir. Buna karşıt son zamanlarda Noble (1970) ve Banks ve Page (1977) magmanın porfiri bakır oluşturmaoak hacimda metal ve sülfür taşıyamayaeafım ileri sürmüşlerdir. Bu araştırmacılar hidrotermal sıvının magmadan Özgür olarak fakat onunla aynı kaynaktan oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Bu teoriye göre, porfiri sokulumla cevher yatafının beraber bulunul nedeni magma ve hidrotermal sıvının aynı yoldan ilerleyerek bu günkü konumlarını almış olmalarıdır. Başka bir olasılık ise sülfür ve metalin çevre kayalardan derlenmiş olmasıdır. Bu teoriye göre metal ve sülfür magmanın sıcaklığıyla dolanan sıvı tarafından yan kayalardan derlenir,

Çekelim Sonrası Değişimler

Kordillera porfiri bakır yataklarında metamorfizma önemli değildir. Yalnızca Merkezi British Columbia'da plutonik porfiri yatağı olan Gibraltar'da nüne. ralleşmeyle eg yaşlı deformasyondan söz edilmiştir (Drummond ve diğerleri,1976).

Yaşlı bölgelerde metamorfizma ve deformasyon sonucu dokudaki yeniden düzenlemeler ve İkincil reaksiyonlarla ilksel zonlaşma ve ayrışma silinmiş olabilir. Düşük derecede metamorfizma geçirmiş bölgelerde değişime en dayanıklı oluguklar propüllk, fülük ve arjilik ayrışma zonlandır, buna karsa yüksek derecede metamorfizma geçirmiş bölgelerde yalnızca fillk ayrışma ürünlerinden türemiş; aliminyum silikat mineralleri granitoid kütlelerinde ilksel hidrotermal devinimi işaret eder.

Bu tekrar türü yazıda yüzeysel (supergene) etkiler üzerinde durulmamıştır, çünkü Kanada Kordillerası boyunca önemli yüzeysel zenginleşme yalnızca birkaç yatakta bulunur. Bu yataklardan bazıları tenor zenginleşmesi gösterir fakat yüzeysel ayrışma zonlan me.

talurjik sorunlar yaratır, Afton yatağında ise yüzeysel zonu zenfüüşmemistir, yalnızca sulfit yatağı dof al değıgünle element şeklinde bakır ve oksit yatafına dönüşmüştür ve bu yüzden cevherin öğütülmesi ve bakırın elde edilmesi basitleşmiştir.

Özellikle aramalar sırasında Kanada Kordillerası boyunca yüzeysel görünüşlerini oluşturan ayrılmış yüzleklerin değerlendirilmelerinde porfiri ortamındaki yüzeysel etmenlerin İyi bilinmesi gerekir. Yüzeysel (supergene) etmenlerin ayrıntılı değerlendirilmesi isin Ney ve diğerlerinin (1976) çalışmalarına bakılmalıdır.

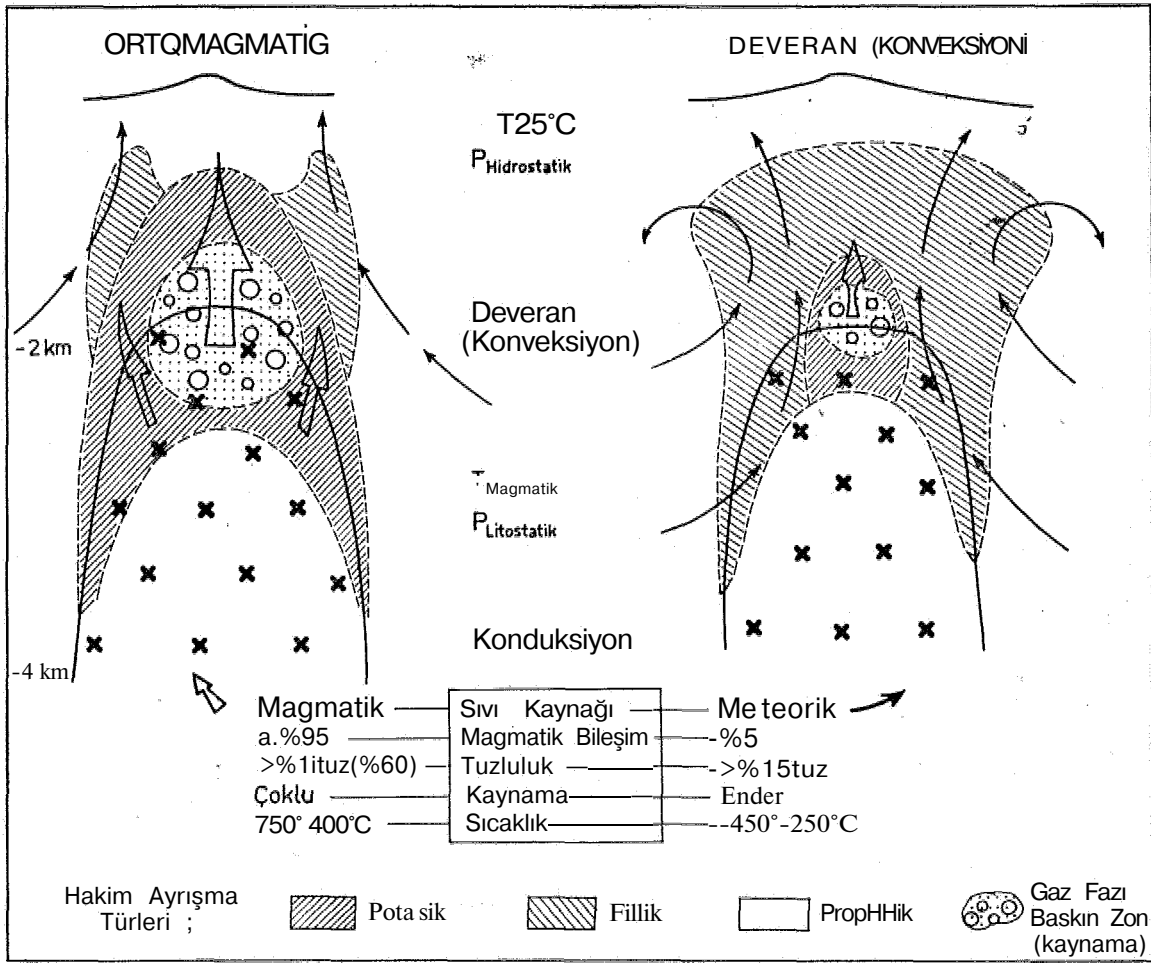
Levha Tektoniği ile İlişkileri

Porfiri bakır yatakları ada yaylan ve kıta kenarlarında bulunur ve bu iki tektonik ortam levha sınırlarıdır (Mitchell ve Garson, 1972), Bu tür tektonik ortamda magmatizma, yitme ve porfiri bakır yatakları arasında oluşum yönünden ilişkinin olduğu belirtilmiştir ve bu görüş kabul edilmiştir (Sillitoe, 1972; Creasey 1977). Bu genelleştirme dışında daha ayrıntılı ilişki en genç Senozoyik kuşaklarında bile açık defildir (Gustafson, 1978) ve daha da yaşlı kuşaklarda ise ayrıntılı ilişkinin saptanması oldukça güçtür (Sangster, 1978). Örnek olarak OK Tedi'de en genç porfiri yatafı 1.1.ile 1.2 milyon yalındadır (Page ve McDougall, 1972) fakat yitme yaklaşık 30 milyon yıl önce meydana gelmiştir. Ayrıca bazı porfiri yatakları kıtasal ortam içerisinde yer alır.

Güneybatı Amerika Birleşik Devletleri'deki Mesozyoik ve senozoyik porfiri yatakları kıta kenarından yüzlerce kilometre içeridedir ve Prekambriyen kabuğun kenarının batı ucundan 200 km kıta içinde yer alır (Rogers ve diğerleri, 1974), Kıtanın içerisine dofru bu kadar uzaklık, yatakların yitme zonuyla oluştuğu savana ayları düşer ve bu nedenle mineralleşmeyle yitme zonu arasındaki ilişki günümüzde tartışılmaktadır (Lowell, 1974; Sillitoe, 1978)

Porfiri Batar Yataklarının Oluşum Modelleri

Tek bir modeli değişik porfiri yataklarını oluşturmuş ayrışma ve mineralleşme olaylarını yeterince açıklayamaz. Bir seri aşamalı model yardımıyla yüksek geçirgenlikte bölgelere yerleşmiş gaz fazmca zengin magmanın oluşturduğu cevherleşme ortamı açıklanabilir, Hidrotermal ortamların en son afamaları magmatik etmenlerin ve meteorik etmenlerin hakim olduf u İki ayrı sistemde birbirleriyle karşılaştırmal! olarak verilmeye çalışılmıştır (Şekil 7). Heriki sistemde de magmatik sokulum yerleşiminden sonra yeterince zaman geçmiş ve ısıtılmış suyun yan kayalarda deveran ettif i aşamaya geçmiştir. Deveran yapan sıvı magmadan yan kayalara hem meteryal ve nemde ısı tapmaktadır ve deveran eden sistem içinde elementlerin dağılımını sağlamaktadır. Sokulumun olduf u ve hidrotermal sistemin devinimde bulunduğu yerde sıcaklık derinde magmatik sıcaklıktan yüzeysel çevre kayaların sıcaklığına kadar değişir (800°C ve 200°C arasında). Derinde sıvı basıncı litostatiktir ve olasılıkla en fazla 4 ile 5km lik yüke eşittir; yüzeysel ise sıvı basıncı hidrostatik basınca yaklaşıp. Tartışılan her iki oluşum modelindeki en önemli farklılık hidrotermal sıvının kaynağı ve akış yollarının ayrı olmasıdır.



Şekli 7 Karşılaştırmalı ortomagmatik ve deveran sıvı modelleri. Açıklamalar metin içindedir.

Şekil 7 de iki model karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Klasik ortomagmatik oluşum modelinde uçucu faz ve metallerin magmanın kristalleşmesi sırasında zenginleştiği ve katılmış olan magma kazım çatısının yüksek gaz basıncıyla parçalanması sonucu hidrotermal sıvı post magmatik aşamada yukarı doğru yükselir. Yukarı yükselen sıvı ilk önce yan kayaları kırıklandırır ve çatlaklar oluşturur ve daha sonraki aşamada ayrışma ile mineralleşme meydana getirir (Burnham, 1967; Holland, 1972; Whitney, 1975; Henley ve McNabb 1978). Yan kayalarda daha ileri parçalanma magmatik basınç, hidrotermal sıvının kaynaması ve hidrotermal sıvının dolaşımının daha da artmasıdır ve deveran (konveksiyon) modelinde ise hidrotermal sıvı yer altı suyundan oluşmuştur ve bu sıvının kaynağı meteorik, Özgün su (connate water) veya deniz suyudur (Cathles, 1977; Norton ve Knapp, 1977; Norton, 1978). Bu modelde sıcaklık nedeniyle hareket eden deveran akımı magmanın yerleşimiyle oluşur, magmatik sokulumla yan kayaların geçirimsizliği daha da artmıştır ve bu parçalanma sıvının dolaşımının bağlamasını sağlar. Deveran akımı sıvı sokulum içinde ve çevre kayalarca dolaştırılır ve cevher ile yan minerallerin zenginleşmesine neden olur.

Porfiri bakır yataklarını oluşturan gelişim halindeki dinamik sistemde zamanla ve yersel olarak magmatik ve meteorik sıvıların oranı değişir. Sıvı kapanım, duraylı izotop ve sıvı dinamiği araştırmaları yardımıyla aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1 - Ortomagmatik modelde, soğuyan magmatik kütle yükselen hidrotermal deveranın oluşumunu sağlar. Çevre kayalardan az oranda meteorik su sisteme katılır. Deveran modelinde geçiren gevre kuyuları sıvının ana kaynağıdır, magmatik kütle üstünden 2 km ve yanından 5 km uzaklıklardan yeraltı suyu dolaşım sistemine katılabilir,

2 - Ortomagmatik sistemde magmatik bileşenler hidrotermal sıvının %90'ını oluşturur, deveran sisteminde ise yalnızca %5'ini oluşturur.

3 - Cevher zonları içerisinde hidrotermal sıvının tuzluluğu genellikle yüksektir, ortomagmatik sistemde %15'in üzerinde ve en fazla %70 sodyum klorürün ağırlığına karşı gelen tuzlulukta sıvı vardır. Deveran modelinde tuzluluk orta ve düşük oradadır ve genellikle %15 sodyum klorür ağırlığına karşı gelen tuzluktan daha azdır, kaynama yersel olarak yüksek tuzluluğa neden olabilir.

4 — Sıvı kapanmalarda yer yer çok yüksek tuzluluğun bulunması ve faz ile sıvı bulunması kaynamanın meydana geldiğini belirtir. Ortomagmatik modelde kaynama veya yüksek sıcaklıkta süper kritik noktada sıvıların kapandığını gösteren v&rüer göktür. Sıvı basıncı litostatik ve hidrostatik basıncı arasında alçalıp yükselmeler gösterince İkinci veya çoklu kaynamalar meydana gelir. Hidrolik basınçtaki bu sık değişimlerin nedeni kayaların kırılınması ve oluşan kırıkların yeniden doldurulmasının sık sık tekrar edilmesidir. Deveran modelinde kaynama yersel olarak gelişir ve mineralleşme süresince kısa bir zaman aralığında meydana gelir,

5 — Ortomagmatik sistemde hidrotermal sıvının sıcaklığı magmatik sıcaklık def er ler! İle 400 °C arasmada değişir ve yüksek sıcaklık koşulları uzun süre etmen olmuştur. Deveran modelinde çevre kayalarla ısı alış verisi daha etkin olmaktadır ve hemekadar sıcaklık kısa bir zaman aralığında 450° G ye çıkmakta ise de hızla yaklaşık 250 °C ye düşmektedir. Bu düşük su cahlık uzun süre etkin olmaktadır,

6 — İki modelde aşağıda belirtilen aynıma düzenleri meydana gelir, Ortomagmatik sistemde potasik ve propiillik ayrışma düzenleri meydana gelir. Bu nedenle ileri derecede aynıma ve sokulum çevresinde cevherleşme halkaları oluşur, Deveran modelinde fillik ayrışma baskındır ve yersel olarak gelişen merkezi potasik çekirdeğin etrafında ince bir propillik ayrışma zonu olugabilir. Aynıma ve mineralleşme hem tüm kayaya etkiyen türde (pervassive) hem de çatlaklarla kontrol edilir türde gelişir.

T — Her iki ortamda sülfür minerallerinin dağılım düzeni benzerdir, fakat cevher bileşimlerinin kaynağı konusunda önemli farklılıklar vardır, Ortomagmatik sistemde metaller ve sülfür magmadan türemiş ve kalıntı sıvıda, (residual fluids) zenginleşmiştir. Deveran, sisteminde metaller ve sülfür cevher kayalardan ısıtılmış yeraltı suyu tarafından yıkanarak elde edilmiştir,

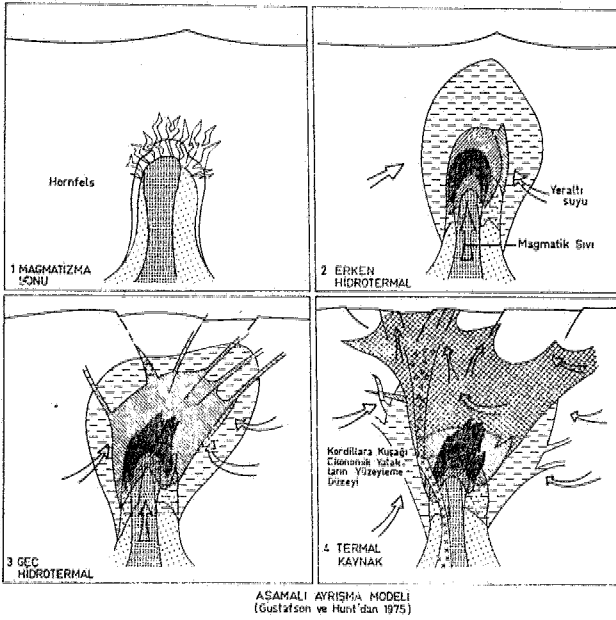
Birkaç tane porfiri yatağı, örneğin British Columbia'da Granisle ve Bell yatakları (Wilson ve diğerleri, 1980) her iki modele de uyar. Birçok yatak her iki modelde elemanlarını içerir ve genellikle oluşumlarının İlk evrelerinde ortomagmatik ve daha sonraki evrelerinde deveran modelindeki ayrışma ve mineralleşme özellikleri gösterir. Oluşum evrelerini ve bunların sıralarını saptamak oldukça güçtür, çünkü en son evrede oluşmuş aynıma ve mineralleşme daha öncekilerin izlerini tümüyle silmiş olabilir. Bu nedenlerle Şekil 7 deki gibi en son aşamayı gösteren modeller gerçek porfiri bakır yataklarının oluşumlarını açıklamada, yetersiz kalır. Yatukların oluşumunu zamanla değişim gösteren aşamalı modeller daha gerçeğe yakın şekilde açıklar. Şekil 8 de porfiri bakır sistemlerinde oluşan dört ana ayrışma ve mineralleşme aşamaları gösterilmiştir. Bu şekil Gustafson ve Hunt'un (1975) Şili'de

El Salvador yatağına ait açıklamalarına dayanarak çizilmiştir.

Magmanın sokulumu dolanan ısı akımı nedeniyle termal metamorfizmaya neden olur (Şekil 8, aşama 1), Bu metamorfizma biyotit hornfels oluşturur ve genellikle bu biyotitlere İlk oluşum biyotitleri (early developed biyotite) adı verilir. Daha ileri aşamalarda üste ve yana doğru hidrotermal sıvının akışı Plutonda soğumayı hızlandırır ve kırıkların artmasıyla element taşımını hızlanır (Şek, 8, aşama 2), Birinci aşamadaki ısınma ve ardından İkinci aşamadaki kütle ve ısı taşımını sonucu mineralleşme oluşmaya başlar ve potasik aynıma geliştiği, çevresinde propillitik ayrışma zonu ve olası, lıkla İnce bir fillik zonu meydana gelir. Aşama 1 ve 2, ortomagmatik modelin gelişmiş evrelerini oluşturur, Hidrotermal devrimin ikinci aşaması potasik zonda yüksek sıcaklık ve litostatik basıncı koşulları altında gelişir. Kısa zaman aralıklarında sıvı basıncı litostatik basıncı aşar ve kırılınmayla breşlemede Önemli rol oynar. Bu evrelerde ayrışma tüm kaya hacmini etkiler ve yan kayalarla hidrotermal sıvı arasında kimyasal dengelenmeye kadar devam eder. Aynışma ve mineralleşme İkinci aşamanın sonlarına doğru tamamlanıp bitebilir fakat genellikle devam eder ve gelişir.

Kanada Kordillerası boyunca her üç tür bakır yataklarında oluşum süreçlerinin birinci ve İkinci aşamaları izlenir, Bazılandda, örneğin klasik tür Granisle yatağında (Wilson ve diğerleri, 1980) ve birkaç volkanik tür yatakta (Copper Mountain, Stikine Copper ve Shaft Creek) cevher oluşumu ortomagmatik evrede meydana gelmiştir, Plutonik yataklarda yan kayalar granitik bileşimde olduğu İgln termal metamorfizma etkisinin (aşama i) saptanması zordur, tklnei aşamadaki potasik aynışma düzensiz dağılım gösterir; bu ayrışma yaygın değildir veya daha sonraki ayrışmalarla silinmiştir. Plutonik yatak türlerinde ana mineralleşme ortomagmatik evrede meydana gelir.

Daha ileri evrelerde ayrışma ve mineralleşme deveran eden hidrotermal sıvı tarafından denetlenir ve bu suda meteorik bileşenler daha fazladır, (Şek, 8, aşama 3), Yeraltı suyu kırılınmış sokulumu doğru ve sokulumun İçerisinde dolaşır ve yaygın bir fillik ayrışma oluşturur. Bu ayrışma daha Önce oluşmuş olan ayrışmaları gölgeler. Kayalarda geçirimsizlik olduğu sürece sıvının basıncı hidrostatiktir ve ısı kaybı sınırlıdır. Daha soğuk ve asidik olan bu ortamda potasik, yum feldspat ve biyotit bozuktur. Tüm kaya hacmini etkileyen aynışma meydana gelir ve British Columbia'daki Highland Valley plutonik yatağında görüldüğü gibi kırık ve damarların İçerisinde İnce bir retograd reaksiyon filimleri oluşur. Bu aşamada derin kökenli (hypogene) yıkanmalar sonucu önceden oluşmuş bakır sülfürlerde yeniden zenginleşme ve ornatılma meydana gelir (Oustafson ve Hunt, 1975; Brimhall, 1979),



Şekil 8 : Ayrışma ve cevherleşme ardışık dört aşamasını gösteren model. Açıklama metin içindedir.

Sistem soğudukça hidrotermal devinim azalır ve devinim eden sistem derine doğru bozunur (aşama 4). Sonuçta düşük sıcaklık ve derişik asitlikte sıcak su kay-

naklarındaki ortama dönülen sistem arjillik ayrışma oluşturur ve daha önce oluşmuş, ayrışma zonları üzerine eklenir. Aynı zamanda yeraltı suyu ile cevherleşme sonrası potasik sülfit zonları ile temasıyla beryl, bacasları ve diatremeler meydana gelir. Bu son aşama klasik türde Kordilera yataklarında enderdir. Fakat volkanik tür Island Copper yatağında ve birkaç plutonik tür yatağında (Highland Valley) oldukça gelişmiştir.

Sonuçlar

Porfiri bakır yataklarının değişik özellikleri periferi hidrotermal sistemin gelişimindeki dört asal ve birkaç geçiş aşamaları sırasında meydana gelmiştir. Bütün aşamalar bir yatağın tümüyle gelişmez ve her aşama eş önemde değildir. Değişik etmenler, örneğin porfiri mineralizasyonu oluşturan plutonun magma bileşimi, gaz oranı, sayısı, boyutu, yerleşim zamanı ve yerleşim derinliğiyle çevre kayaların bileşimi ve kırıklanma derecesi birçok değişik özelliklerin oluşumuna neden olur. Ayrıca sıvıların karışım hızı, sıvıdaki yoğunluk çelikli ve basınç ile sıcaklık gradyanı meydana gelen sonuçları etkiler. Aynı yatağın değişik aşınma derinliği bile değişik görünümlere neden olur. Porfiribakır yataklarının ve özellikle gömülü yatakların aranmasında yatağın tektonik özelliğinin, jeolojisinin ayrışma düzeninin ve jeokimyasının ayrıntılı bilinmesi gerekir. Bu özellikleri gözeten bilimsel düzeyi yüksek oluşum modelleri ilerideki arama programlarının hazırlanmasında yararlı olacaktır.

