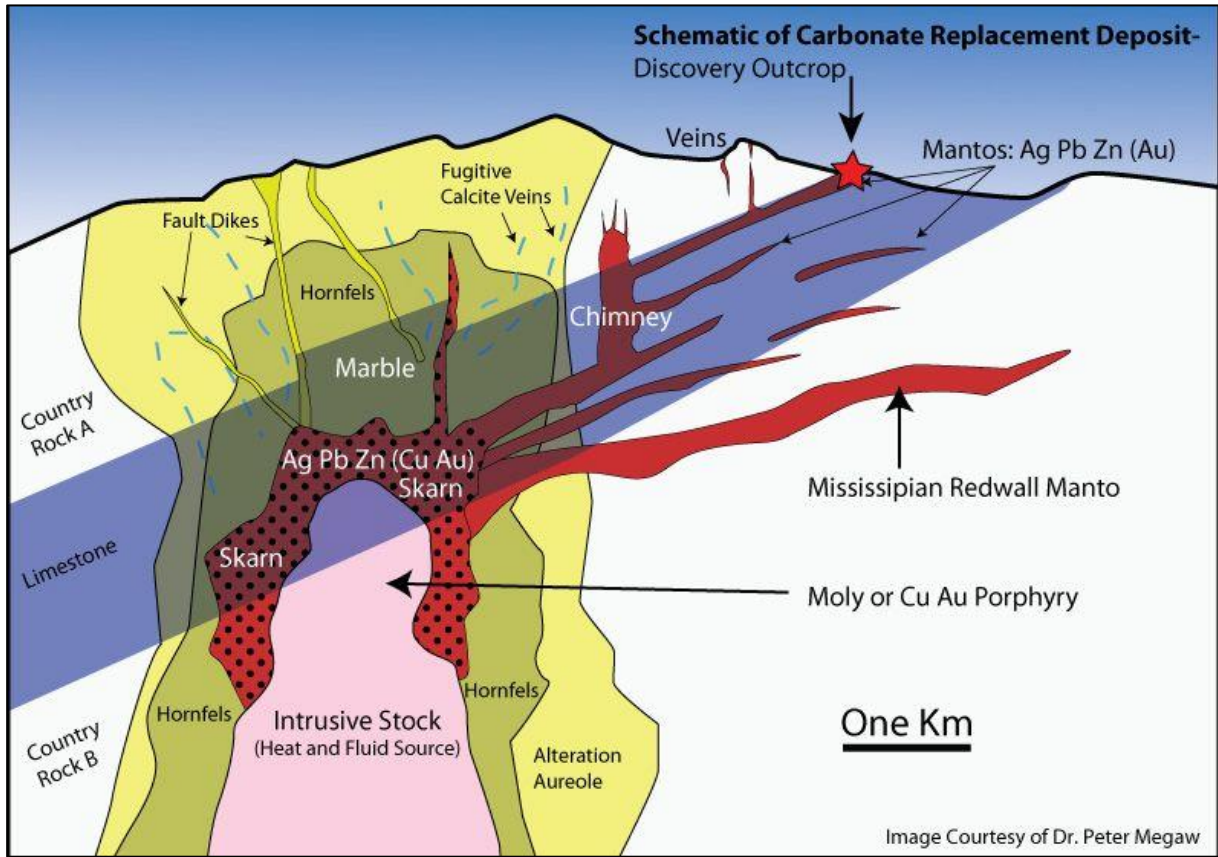
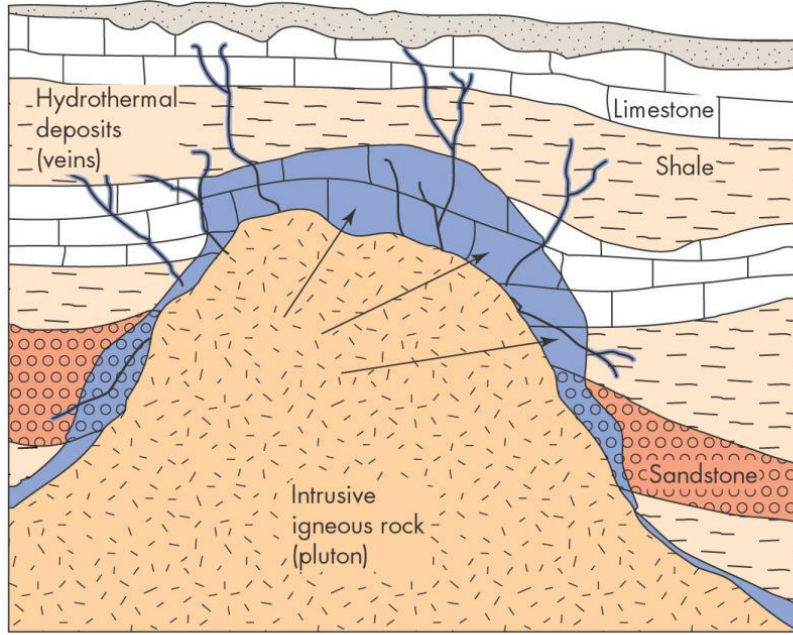


Skarn yatakları

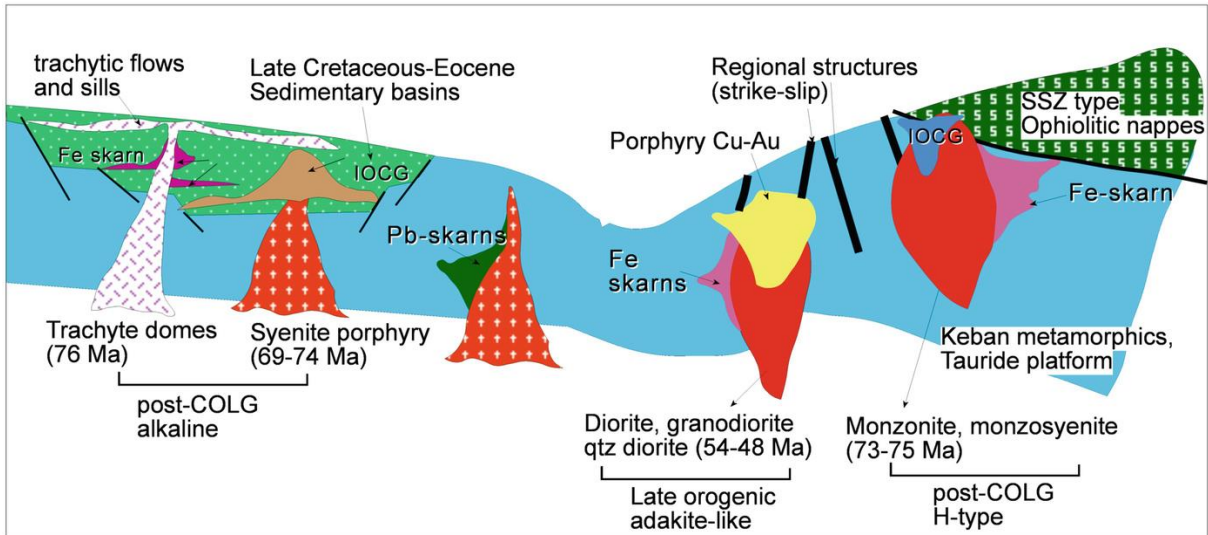
Skarn yatakları oluşum ortamı ve cevher metalleri açısından en karmaşık yatak sınıfını oluşturur. Bu yataklardan önemli miktarda tungsten üretilmekle birlikte (dünyadaki tungsten üretiminin %70'den fazlası), başlıca bakır, demir, molibden, çinko ve ayrıca az oranda kobalt, altın, gümüş, kurşun, bizmut, kalay, berilyum, NTE, flor ve bor da çıkarılır (Einaudi vd., 1981; Meinert, 1993). Çok çeşitli jeolojik ortamda oluşabilen skarn yataklarının yaşı Prekambriyen'den geç Tersiyer'e kadar uzanır. Ekonomik olan yatakların birçoğu nispeten genç olup bunların oluşumunda orojenik kuşaklardaki diyoritik-granitik magmatizma ile ilişkili magmatik-hidrotermal süreçler etkin rol oynamıştır.





■ Contact metamorphic zone where mineral deposits may be present. Notice the zone is wider in the limestone than in the sandstone or shale. This results because limestone is chemically more active under contact metamorphism.

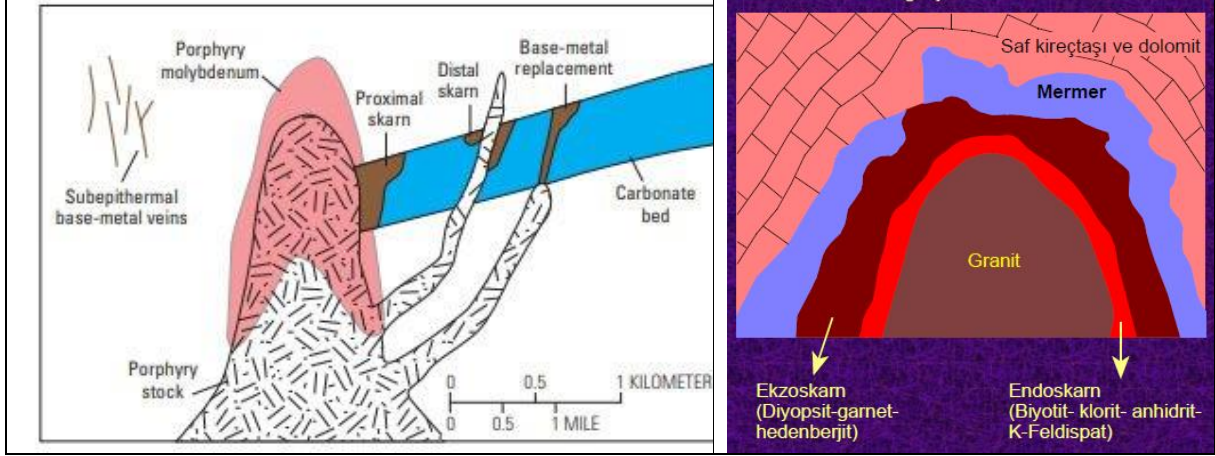
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



Kuşçu (2019).

Skarnlar, bölgesel veya kontak metamorfizma sırasında magmatik, metamorfik ve/veya denizel kökenli akışkanların rol oynadığı çeşitli metasomatik prosesler sonucu oluşurlar. Skarn oluşumları plütonların bitişğinde, faylar ve ana makaslama zonları boyunca, sık jeotermal sistemlerde, okyanus tabanının dip kısımlarında ve kabuksal derinliklerde gömülü metamorfik kayalarda görülür. Skarn yataklarını birbirinden farklı kılan tek parametre mineralojidir. Çeşitli kalk-silikat minerallerinin yer aldığı mineralojik birliktelik çoğunlukla granat ve piroksen ile temsil edilir. Skarnlar çeşitli ölçütlere göre sınıflandırılır: Ekzoskarn (sedimanter) ve endoskarn (magmatik) orijinal kayacı belirtmek üzere kullanılan terimlerdir. Magnezyen ve kalsik skarn orijinal kayacın baskın bileşimini ve ortaya çıkan skarn minerallerini tanımlamak üzere kullanılır. Örneğin, forsterit-diyopsit içeren magnezyen ekzoskarn dolomitten oluşmuştur. Kalk-silikat hornfels ise siltli kireçtaşı veya kalkerli şeyl gibi birimlerin metamorfizması sonucu oluşan ince-taneli kalk-silikat kayaları tanımlar. Orijinal kayacın doku ve bileşimi ortaya çıkan skarnın doku ve bileşimini kontrol eder. Ancak, ekonomik skarn yataklarının akışkan bileşiminin skarn ve cevher bileşimini

denetlediği büyük-ölçekli metasomatik transferler vasıtasıyla oluştukları ortaya konmuştur. Tüm skarnlarda ekonomik mineralleşme mevcut değildir, cevher içeren skarnlar skarn yatağı olarak adlandırılır. Büyük skarn yataklarının çoğunda, yerel ölçekte dağılımlarında önemli zamansal ve mekânsal farklılıklar olsa bile, skarn ve cevher mineralleri aynı hidrotermal sistemden oluşurlar. Mevcut cevher yataklarının metamorfizması ile skarn oluştuğu durumlar da söz konusudur (Franklin Furnace, USA; Broken Hill, Avustralya).



Skarn Mineralojisi

Mineraloji sadece skarnları tanımlamak için değil aynı zamanda kökenlerini anlamak ve ekonomik olan yatakları ekonomik olmayanlardan ayırt etmek için başvurulan bir araçtır. Skarn mineralojisi potansiyel bir cevher gövdesi çevresinde “alterasyon halesi” şeklinde sahada haritalanabilir. Skarnların çoğu zonlanma gösterdiği için, distal alterasyon özelliklerinin tanımlanması başlangıç arama çalışmaları için gerekli olabilir. Her ne kadar skarn minerallerinin çoğu kayaç-yapıcı mineral olsalar da, bazılarının bollukları düşük olmakla birlikte bunların bileşimsel değişimleri oluşum koşullarına yönelik önemli bilgi sağlamaktadır. Kalsit ve kuvars hemen hemen tüm skarnlarda görülür. Humit, periklaz, flogopit, talk, serpantin, brusit Magnezyen skarnların karakteristik mineralleri olmasına karşın diğer birçok skarn tiplerinde görülmezler. Özellikle elektron mikroprob sayesinde mineral bileşimleri hassas şekilde belirlenerek mineralojik adlar verilebilmektedir. Skarnları sınıflamada kullanılan en yararlı mineraller granat, piroksen ve amfiboldür. Hemen hemen tüm skarn tiplerinde mevcut olan bu mineraller bileşimlerinde belirgin farklılıklar gösterirler. Örneğin, manganlı piroksen olan johansenit, sadece çinko skarnlarda bulunur. Skarn sitemlerin birçoğunda, demir içeriğindeki değişim en önemli parametre olup ve bu nedenle mineraller demir uç üyesi ile tanımlanırlar (Hd₁₀ veya Ad₉₀).

Skarnın zamansal ve mekânsal gelişimi

Bir skarn yatağının oluşumu dinamik bir süreçtir. Büyük skarn yataklarının çoğunda, erken/distal metamorfizmadan (hornfels, reaksiyon skarn, skarnoid) geç/proksimal metamorfizmaya (iri taneli cevherli skarn) doğru geçiş söz konusudur. Karbonat ana kayacı içindeki çatlaklar boyunca dolaşan akışkanlar farklı tepkimelerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Fe, Si, Cu gibi magmatik bileşenlerin de eklenmesiyle metasomatik akışkanlar daha da kompleks hale gelirler. Bu erken metamorfizma ve yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkan metasomatizma (> 1200°C) sıcaklığın düşmesiyle retrograd alterasyon ile devam eder. Skarnın büyüklüğü, geometrisi ve alterasyon türünü kontrol eden en önemli parametre oluşum derinliğidir. Metamorfizma derinliğini tahmin etmeye yönelik sayısal jeobarometrik

çalışmalar mineral dengesi, sıvı kapanım veya bu yöntemlerin kombinasyonunu esas alır. Kantitatif yöntemler ise stratigrafik veya magmatik dokuların diğer jeolojik rekonstrüksiyon ve yorumlamasını kapsar. Soğuma kenarları, porfiri tane boyu, plüton morfolojisi ve breşleşmenin bulunması sığ veya derin ortamlar hakkında bilgi sağlar. Metamorfizma derinliği, konak kayacın intrüzyon öncesi, sonrası veya sırasındaki sıcaklığının fonksiyonudur. Ortalama bir jeotermal gradyan göz önüne alınırsa (35°C/km), 2 km derindeki konak kayacın intrüzyon öncesi sıcaklığı 70°C olmalıdır, 12 km derinde ise sıcaklık 420°C'ye çıkar. Bu nedenle, yerel magmatik aktiviteden sağlanan ısı ile 400-700°C aralığındaki sıcaklıktan etkilenen ve derin bir skarnı çevreleyen kayaç hacmi daha fazla ve daha sürekli olacaktır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklık bir plütonun kristalleşme tarihçesini etkilemekle birlikte skarn minerallerinin retrograd alterasyonunu da sınırlar. 12 km derinlikte ve 400°C sıcaklıkta, bölgesel bir orojenik yükselme veya tektonik bir değişim olmadıkça skarn granat ve piroksen stabilitesinin (duraylılık) daha altında soğuyamaz. Derindeki geniş yayımlı ve şiddetli metamorfizma konak kayaçların geçirimsizliğini etkiler ve metasomatik akışkanlarla tepkimeye girecek karbonat miktarını azaltır. Skarn oluşum derinliği konak kayaçların mekanik özelliklerini de etkiler. Derin bir skarn ortamında, kayaçlar kırılmadan ziyade elastik bir özellik gösterirler. Derinde sedimanter kayaçlar ile olan intrüzif sınırlar tabakalanmaya paraleldir; ya plüton tabaka düzlemleri boyunca yerleşir veya sedimanter kayaçlar kıvrımları veya intrüzif sınırlarda hizalanana kadar akarlar. Pine Creek (California) ve Osgood Mountains, Nevada skarnları 5-10 km'lik derinlikte oluşmuştur. İntrüzif sınırların tabaka düzlemlerine yaklaşık paralel olduğu bu yataklardaki skarn genellikle dar olmakla birlikte düşey yönde geniş bir zon oluşturmuştur. Örneğin Pine Creek'de skarn 10 m genişliğinde olup uzunluğu 10 km'den fazladır. Böylece, çok derinde oluşan skarn dar bir kabuk şeklinde gözlenir. Buna karşın, sığ derindeki konak kayaçlar kıvrımlanmadan ziyade kırılma ve faylanma ile deforme olmuşlardır. Sığ skarn yataklarında yapılan çalışmalar intrüzif kontakların tabakalanma ile keskin şekilde diskordan olduğunu ve skarnın tabakalanmayı keserek katmanların bir kısmını masif şekilde yerini aldığını göstermiştir. Sığ yerleşimli intrüzyonlar ile ilişkili hidro çatlaklanma konak kayaçların geçirimsizliğini büyük ölçüde artırarak sadece metasomatik akışkanların değil aynı zamanda sonraki aşamada öne çıkan soğuk meteorik suların dolaşımına olanak sağlar. Meteorik su girişi ve retrograd aşamada skarn minerallerin bozulması sığ ortamlarda oluşan skarnların tipik özellikleri arasındadır. Bilinen en sığ (en genç) skarnlar halen aktif jeotermal sistemler ve deniz tabanındaki sıcak su çıkışları boyunca oluşmaktadır. Bu skarnlar magmatik faaliyetin distal kısmını temsil etmekte olup yüzeyde görülen magmatik kayaçlar genellikle soğuma kenarları olan ince dayklar ve siller şeklindedir. Belirli bir skarnında belirli bir alterasyon türünün gelişmesi yerel jeolojik koşullara bağlıdır. Örneğin, çok derin ortamda oluşmuş bir skarn çevresindeki metamorfizmanın şiddeti sığ ortamda oluşana göre daha yaygın ve fazla olacaktır. Bununla birlikte, soğuma sırasında ortaya çıkan retrograd alterasyon ve meteorik sularla olan etkileşim sığ derinde oluşan skarnında daha yüksek derecede olacaktır.

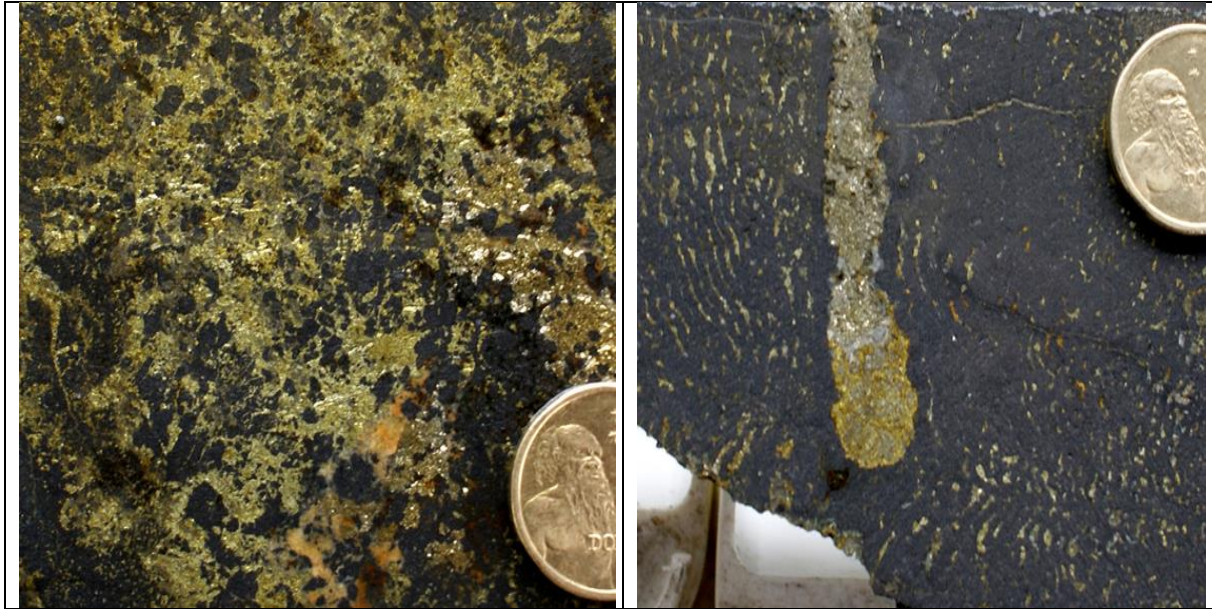
Au, Cu, Fe, Mo, Sn, W ve Zn-Pb skarn yatakları

Skarn yatakları orijinal kaya bileşimi, kayaç türü, baskın ekonomik metaller gibi tanımlayıcı özellikler ile akışkan hareketi mekanizması, oluşum sıcaklığı ve magmatik aktivitenin ne ölçüde rol oynadığı gibi jenetik özellikler göz önüne alınarak sınıflandırılır. Bunların içinde, en yaygın olarak kullanılan sınıflama skarnın içindeki ekonomik metal türü olup buna bileşim, tektonik ve jenetik değişimler ilave edilir. Bu tür sınıflama porfiri yatakların porfiri bakır, porfiri molibden ve porfiri kalay olarak sınıflandırılması gibidir. Au, Cu, Fe, Mo, Sn, W ve

Zn-Pb önemli skarn türleri olmakla birlikte yerel ölçekte F, C, Ba, Pt, U, NTE'ler de önemlidir. Skarn yataklarında granat ve vollastonit işletilen başlıca endüstriyel minerallerdir.

Demir Skarnlar

En büyük skarn yataklarını oluştururlar. Demir skarnlar manyetit içeriklerine bağlı olarak işletilse de Cu, Co, Ni ve Au da bulunabilir. Yataklardan bazıları çok büyüktür (>500 milyon ton, >300 milyon ton Fe içeriği), manyetite az miktarda silika gangı eşlik eder. Bazılarında önemli miktarda bakır bulunur ve bu açıdan bakır skarlara geçiş gösterirler. Okyanus adası yaylarındaki kalsik demir skarnlar kireçtaşı ve volkanik konak kayalara sokulum yapan demirce zengin Plütonlarla ilişkilidir. Granat ve piroksen başlıca skarn mineralleri olup bunlara epidot ve aktinolit eşlik eder. Farklı tektonik ortamlarda değişik türde plütonlarla ilişkili olan magnezyen skarlarda forsterit, diyopsit, periklas, talk ve serpantin başlıca skarn mineralleridir. Fazla demir olmaması nedeniyle, demirin tümü manyetit oluşumu için kullanılır.



Manyetit skarn içinde saçınımlı pirit

Manyetit skarn boyunca pirit ve kalkopirit saçınımları

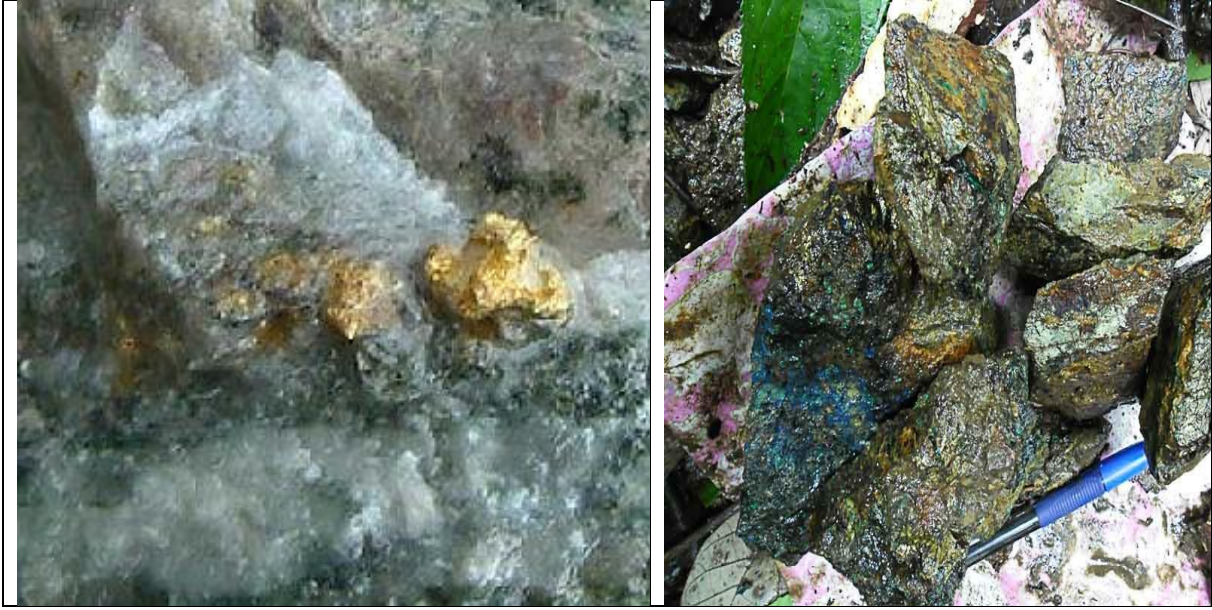
Ana metal (Yan ürünler)	Fe (Cu, Ag, Au)
Tektonik ortam	Kalsik Fe Skarnlar: Okyanus adası yayı Magnezyen Fe Skarnlar: Sinorojenik kıtasal kenarlar
Konak/ilgili kayaç türleri	Kalsik Fe Skarnlar: Fe'ce zengin, Si'ce fakir intrüzyonlar (ilksel okyanusal kabuk). Gabro-syenit daykları (genellikle kireçtaşı, karbonatlı klastik sedimanter birimlere, tuf veya mafik volkaniklere sokulan gabro-diyorit). Magnezyen Fe Skarnlar: Dolomit veya dolomitik sedimanter birimlere sokulan granodiyorit-granit türü sokulumlar.

Cevher Mineralojisi	Başlıca cevher: Manyetit. Ayrıca kalkopirit, bornit, pirit, pirotin, sfalerit, molibdenit, arjantit.
Tenör ve tonaj	Tipik tenör %40-60 arası. Kalsik skarnlar 3-150 Mton arasındadır, magnezyen Fe skarnlar ise daha büyük olabilir (>250 Mton)

Altın Skarnlar

Yüksek tenörlü (5-15 g/t Au) altın skarnlar indirgen olup sadece değerli metallere açısından madencilğe uygundur ve bazı metal konsantrasyonları fazlaca ekonomik değildir. Diğer altın skarnlar ise daha yükseltgen karakterli olup Au içerikleri düşük (1-5 g/t Au) ve Cu, Pb ve Zn içerikleri ise kayda değer miktardadır. Cu skarnlar yan ürün olarak yeterli miktarda altın barındırır (0.01->1 g/t Au). Yüksek tenörlü altın skarnların çoğu indirgen (ilmenit-içeren $Fe^{+3}/Fe^{+2} < 0.75$) diyorit-granodiyorit plütonları ve dayk/sil kompleksleri ile ilişkilidir. Bu tür skarnlar demirce zengin piroksen (tipik olarak $> Hd_{50}$) içerirler. Potasyum feldspat, skapolit, idokras, apatit ve yüksek-klor amfibol diğer yaygın minerallerdir. Arsenopirit ve pirotin başlıca sülfid fazlarıdır. Büyük bir kısmı elektrum şeklinde olan altına bizmut ve tellürid mineralleri eşlik eder.

Ana metal (Yan ürünler)	Au (Cu, Ag)
Tektonik ortam	Yaklaşan levha sınırlarındaki orojenik kuşaklar. Sin- ve geç okyanus içi ada yayı intrüzyonları ile ilişkilidirler. Platform karbonatları ve Arkeen Yeşiltaşlar içinde de yığılmışlardır (Magnezyen Au skarn).
Konak/ilgili kayaç türleri	Karbonatlar, kalkerli klastik veya volkanoklastik kayalara sokulmuş gabro, kuvars diyorit ve granodiyorit sil ve daykları.
Cevher Mineralojisi	Başlıca cevher: Nabit altın, pirotin, kalkopirit, pirit, arsenopirit, İkincil cevher: galen, arjantit, manyetit, tellüridler, sfalerit.
Tenör ve tonaj	0.4-13 Mt ve 2-15 g/t Au.



Bir kuvars damarı içinde (beyaz-açık gri) nabit altın (sarı) ve hematit saçınımları (kahverengi), granat (koyu yeşil) ve piroksen (açık yeşil) Nambija skarn, Campanillas madeni, Ekvator.

Cu-Au skarn içinde çatlak-dolgunu şeklinde kalkopirit ve azurit.

Tungsten Skarnlar

Tungsten skarnlar dünyanın birçok yerindeki orojenik kuşaklar boyunca kalk-alkalin plütonlarla ilişkili olarak oluşurlar. Tungsten skarnlar yüksek-sıcaklıklı, geniş yayımlı metamorfik zonlarla çevrili iri-taneli, eş boyutlu batolitler (pehmatit ve aplit daykları) ile ilişkilidirler. Bu özellikler derin bir oluşum ortamına işaret eder. Newberry ve Einaudi (1981) konak kayaç bileşimi (karbonatlı veya hematitik), skarn mineralojisi (ferröz veya ferrik demir) ve oluşum derinliğine göre tungsten skarnları indirgen ve yükseltgen olmak üzere iki gruba ayırmıştır. İndirgen skarnlardaki erken mineral topluluğu by hedenberjitik piroksen ve az miktarda Ca'lu granat ve bunlara eşlik eden ince-taneli, Mo'ce zengin şelit (povellit) ile temsil edilir. Bunu takip eden granatlar ise yarı-kalsik karakterdedir (spessartin ve almandin). Pirotin, molibdenit, kalkopirit, sfalerit ve arsenopirit başlıca sülfid mineralleridir. Biyotit, hornblend ve epidot ise sulu silikatlar olarak göze çarpar. Yükseltgen skarnlarda, andraditik granat piroksene göre daha fazla olup şelit ise Mo'ce fakirdir. Ferrik demir ferröz demire göre daha baskındır.

Ana metal (Yan ürünler)	W (Mo, Cu, Sn, Zn)
Tektonik ortam	Kıtasal kenar, derin karbonat-şeyl kayaçlara sokulan sin-orojenik-geç orojenik plütonizma. Yay gerisi bindirme ortamlarında tektonik olarak kalınlaşmış paketlerde görülür.
Konak/ilgili kayaç türleri	Saf veya saf olmayan kireçtaşı, tonalit, granodiyorit, kuvars monzonit ve granitlerin sokulduğu kalkerli-karbonatlı pelitler
Cevher Mineralojisi	Başlıca cevher: Şelit, molibdenit, kalkopirit, kasiterit, sfalerit

Tenor ve tonaj

Tenor % 0.4-2 W₃ (tipik olarak %0.7). Yataklar 0.1->30 Mt.



W-skarn yatağında gözlenen şelit minerali (kalsiyum tungsten minerali). En-echelon kuvars damarlarındaki yüksek tenörlü W, Cantung Tungsten Skarn Territories, Kanada.

Bakır Skarnlar

Bakır skarnlar en yaygın skarn türüdür. Okyanusal ve kıtasal ortamlarda dalma-batma ile ilişkili orojenik zonlarda görülürler. Bakır skarnların büyük çoğunluğu with I-tip, manyetit serisi, kalk-alkaline, porfiritik plütonlar ile ilişkilidir. Bu magmatiklerin büyük bir kısmı eş oluşumlu volkanik kayalar, ağsal damalar, gevrek çatlaklar ve breşleşme ve yoğun hidrotermal alterasyon özelliği gösterirler. Bu bulgular sığ bir oluşum ortamına işaret eder. Bakır skarnların büyük kısmı stok sınırlarına yakın yerlerde oluşmakla birlikte andraditik garnet ile temsil edilen yükseltgen skarn mineralojisine sahiptir. Diyopsidik piroksen, idokras, vollastonit, aktinolit ve epidot diğer fazları oluşturur. Hematit ve manyetit yatakların çoğunda görülür. Dolomitik konak kayaların mevcudiyeti masif manyetit damarları ile uyumludur. Bakır skarnlar, genellikle plüton yakınında masif garnetit ile zonlanmış haldedirler, mermer dokanağına doğru piroksen, idokras ve/veya vollastonit bolluğu artar. Büyük bakır skarnlar mineralleşmiş bakır plütonlarla ilişkilidir. Bu yatakların rezervi 1 milyar ton porfiri ve skarn cevheri ile skarndan işletilebilecek 5 milyon tondan fazla Cu civarındadır. Cevherli plütonlar potasyum silikat ve serizitik alterasyon ile karakteristiktir. Retrograd alterasyon yoğun ise, prograd evreye ait granat ve piroksen bozulma gösterir.

Ana metal (Yan ürünler)	Cu (Au, Ag, Mo, W)
Tektonik ortam	Andean-type plutons intrude older continental-margin carbonate sequences. To a lesser extent, they are associated with oceanic island arc plutonism.

Konak/ilgili kayaç türleri	Dikes and breccia pipes of quartz diorite, granodiorite, monzogranite and tonalite composition, intruding carbonate rocks, calcareous volcanics or tuffs. Copper skarns in oceanic island arcs tend to be associated with more mafic intrusions (quartz diorite to granodiorite), while those formed in continental margin environments are associated with more felsic rocks.
Cevher Mineralojisi	(Moderate to high sulphide content). Chalcopyrite, pyrite, magnetite, sphalerite, hematite, pyrite, pyrrhotite, etc. Distal to the skarn envelope, veins of pyrite, chalcopyrite, galena and sphalerite may occur.
Tenor ve tonaj	Average 1 to 2 % Cu. Worldwide, they generally range from 1 to 100 Mt, although some exceptional deposits exceed 300 Mt (the Candelaria deposit in Chile, for example, contains 366 Mt grading 1.08% Cu).



Whitehorse Copper Beli, Yukon bölgesinde bakır (altın-gümüş-molibden) skarn.
Bakır skarn karot örneği

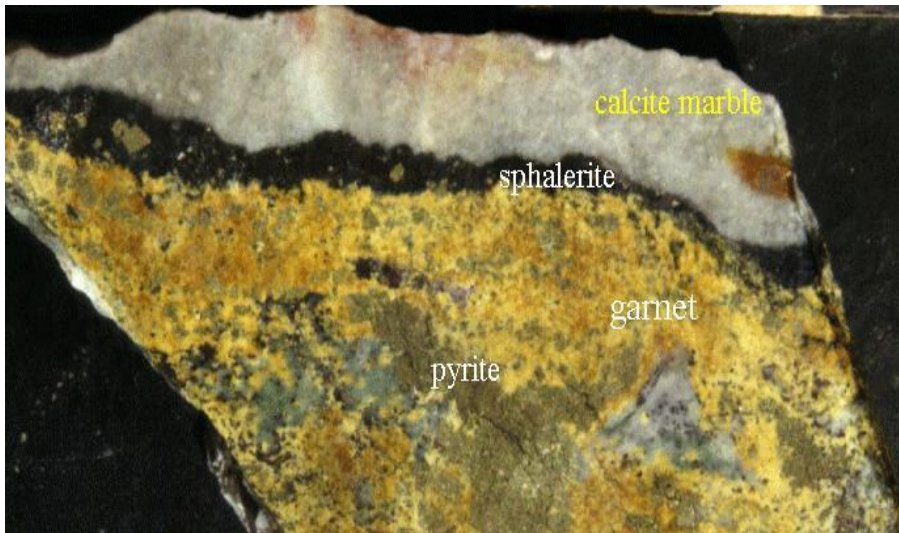
Çinko skarnlar

Çinko skarnların çoğu dalma-batma veya riftleşme ile ilişkili kıtasal ortamlarda görülür. Başta çinko olmak üzere kurşun ve gümüş çıkarılması için işletilen bu yataklar yüksek tenörlüdür (% 10-20 Zn+ Pb, 30-300 g/t Ag). Konak magmatik kayaçlar diyoritten yüksek-silika granite kadar uzanan geniş bir bileşim aralığı gösterir. Oluşukları jeolojik ortamlar da derin-yerleşimli batolitlerden sıg-yerleşimli dayk ve sil kompleksleri ve yüzeyde püsküren volkanik kayaçlar gibi çok farklı olabilir. Çinko skarnlar magmatik kaynaktan olan uzaklık, oluşum sıcaklığı, skarnın ve sülfür minerallerinin göreceli oranı ve cevher gövdesinin geometrik şekil göz önüne alınarak farklı gruplara ayrılmıştır. Ancak bu ölçütlerin hiçbirinin karşılanmadığı durumlar söz konusu olabilir. Granat ve piroksen bulunması çinko skarnları Zn-Pb-Ag cevherleri de içeren Mississippi Vadi-tipi yataklardan ayıran en büyük unsurdur. Zn-Pb-Ag içeriklerinin yanı sıra, Mn ve Fe'ce zengin mineraloji, litolojik ve yapısal dokanaklar boyunca

oluşmaları ve skarn merkezinde metamorfik halelerin bulunmaması çinko skarnları diğer skarn tiplerinden farklı kılan diğer özelliklerdir. Bu yataklardaki tüm skarn mineralleri (granat, piroksen, olivin, ilvayit, piroksenoid, amfibol, klorit ve serpantin) manganezce zengindir. Bazı yataklarda piroksen/granat oranı ve piroksenin manganez içeriği akışkan hareketi yönünde sistematik olarak artar ve bu özellik skarnındaki proksimal ve distal skarnların belirlenmesinde yol göstericidir. Proksimal skardan distal skarna doğru tipik zonlanma şu şekildedir: altere endoskarn plüton, granat, piroksen, piroksenoid ve sülfür/oksit replasman gövdeleri (bazen manto veya baca olarak da bilinir). Manganezce zengin mineral birliktelikleri çinko skarnların aranmasında önemli bir kılavuz olarak kullanılır.

Pb-Zn Skarn Deposit

Ana metal (Yan ürünler)	Pb, Zn, Ag, (Cu, W, Au)
Tektonik ortam	Geç orojenik plütonizma ile ilişkili kıtasal kenarlar boyunca
Konak/ilgili kayaç türleri	Granodiyorit, lökogradit, diyorit ve syenit (genellikle kuvars monzonit) ile ilişkili kalın kireçtaşı, kalkerli tüfler ve sedimanlar
Cevher Mineralojisi	Başlıca cevher: sfalerit ve galen Pirit, manyetit, arjentit, kalkopirit, kasiterit, bornite. Diğer nadir mineraller: şelit, stannit, tetrahedrit, molibdenit, florit ve nabit altın
Tenor ve tonaj	Bu yataklar küçük ölçeklidir (< 3 Mt) ancak 45 Mt ulaşabilir. Tenör: %15 Zn, %10 Pb ve > 150 g/t Ag ve Cd içerebilir. Bakır tenörü genellikle < %0.2



Garnet-amphibole-pyrite (sphalerite) skarn

Molibden skarnlar

Molibden skarnların çoğu lökograditlerle ilişkili olup değişken ölçeklerde büyüklüklerde oluşmuştur. Bu yataklar W, Cu, Zn, Pb, Bi, Sn ve U dahil olmak üzere çok çeşitli metal barındırır. Mo-W-Cu en yaygın metal grubu olup tungsten ve bakır skarnların bir kısmı

işletilebilir ölçekte Mo içerirler. Hedenberjitik piroksen molibden skarnlardan oluşan en yaygın kalk-silikat minerali olup grandit granat, vollastonit, amfibol ve florit diğer baskın minerallerdir. Bu mineral topluluğu yüksek flor içerikli indirgen bir ortama işaret eder.

Ana metal (Yan ürünler)	Mo (W, Cu, Pb, Zn, Sn, Au)
Tektonik ortam	Kıtasal kenar karbonatlı birimlerine sokulan geç orojenik plütonizma. Bazı yataklar okyanus-içi ada yaylarında gelişen Mo-içeren porfiri sistemler ile ilişkili.
Konak/ilgili kayaç türleri	Kalkerli klastik kayaçlara sokulan lökokrat kuvars monzonit-granit stok ve daykları
Cevher Mineralojisi	Başlıca cevher: Molibdenit. Diğer mineraller: Şelit, kalkopirit, galen, sfalerit, kasiterit, arsenopirit.
Tenor ve tonaj	Tenör %0.1-2 arası MoS ₂ . 12%'ye kadar ulaşır. Tonaj ise 0.1-2 Mt.



Molybdenite (MoS₂) mineralization in garnetiferous skarn
High grade molybdenite in skarn. Up to 12% Molybdenum

Kalay skarnlar

Kalay skarnlar, kıtasal kabuğun kısmi ergimesiyle oluşan yüksek-silikalı granitler ile ilişkilidir. Bu skarnlar proksimal-distal, kalsik-magnezyen, skarnca zengin-skarnca fakir, oksitçe veya sülfite zengin oluşlarına göre sınıflandırılır. Büyük kalay skarnların çoğu skarnca zenginden skarnca fakire doğru zonlanma gösterir. Örneğin, Tasmanya, Avustralya'daki Renison Bell'de başlı başına büyük bir magmatik/hidrotermal sistem mevcut olup sülfite-fakir granat-piroksen gang içinde az miktarda kasiterit içeren proksimal kalsik

kalay skarnından yüksek miktarda kasiterit içeren distal magnezyen masif sülfid replasman gövdesine doğru bir zonlanma mevcuttur. Zonlanmanın son kısmında kalk-silikat mineralleri görülmez. Bazı araştırmacılara göre, kalay yataklarının çoğu intrüzyon, erken skarn ve altere olmamış karbonatların üzerine gelişen greyzen alterasyon aşaması ile temsil edilir. Greyzen alterasyonu yüksek flor ve florit, topaz, turmalin, muskovit, ilmenit ve kuvars gibi minerallerle karakteristiktir. Çoğu durumda, bu alterasyon daha önceki alterasyon safhalarını ortadan kaldırır. Burada en önemli husus greyzen alterasyonunun diğer skarn tiplerinde hiç görülmemesidir.

Ana metal (Yan ürünler)	Sn (W, Zn, Fe)
Tektonik ortam	Kalın ve derine gömülmüş kıtasal kenar sedimanter birimlere sokulan geç-post orojenik granitler.
Konak/ilgili kayaç türleri	Karbonat ve kalkerli kırıntılı kayaçlara sokulan ayrımlaşmış (düşük Ca, yüksek Si ve K) ilmenit-serisi granit, adamellite ve kuvars monzonitil stoklar ve batolitler ile ilişkilidirler. Kalay skarnlar indirgenmiş ve derin kökenli ortamlarda oluşurlar ve greyzen alterasyon yaygındır.
Cevher Mineralojisi	Başlıca cevher: Kasiterit, Diğer cevher mineralleri: sfalerit, şelit, pirit, pirotin ve manyetit
Tenor ve tonaj	Yataklarda %1 Sn, kalayın büyük bir kısmı malayait, granat, amfibol ve epidot içinde yığılmıştır ancak ekonomik olarak kazanılması güçtür. Yatakların büyüklüğü 30 Mt'a ulaşsa bile çoğunun 0.1-3 Mt arasındaadır.



Mika ve kasiterit ile (SnO₂) birlikte bulunan greyzen örneği

Skarn yataklarında zonlanma

Skarn yataklarının çoğunda, skarn ile mermer arasındaki dokanakta proksimal granat, distal piroksen ve idokras şeklinde bir zonlanma mevcuttur. Yatakların her türünde renk ve bileşimsel değişimlerden ötürü daha geniş zonlanma görülebilir. Örneğin, proksimal granat genellikle koyu kırmızı-kahve renkli olup mermere doğru açık kahve ve nihayet soluk yeşil renk kazanır. Piroksen renginde değişim az olmakla birlikte mermere doğru demir ve/veya manganez artışı temsil eder. Bazı skarnlarda zonlanma kilometrelerce devam edebilir ve böylece arama çalışmalarında kılavuz görevi üstlenir.

Geochemistry of skarn deposits

Skarn formation spans almost the complete range of potential ore-forming environments. Most geochemical studies of skarn deposits have focused on mineral phase equilibria, fluid inclusions, isotopic investigations of fluid sources and pathways, and determination of exploration anomaly and background levels. Experimental phase equilibria studies are essential for understanding individual mineral reactions. Such studies can be extended using thermodynamic data to include variable compositions. Another approach is to use a self-consistent thermodynamic database to model potential skarn-forming solutions. Fractionation of elements between minerals also can be used to estimate conditions of skarn formation. Fluid inclusion studies of many ore deposit types focus on minerals such as quartz, carbonate, and fluorite which contain numerous fluid inclusions, are relatively transparent, and are stable over a broad T-P-X range. However, this broad T-P-X range can cause problems in interpretation of fluid inclusion data, because these minerals may grow and continue to trap fluids from early high temperature events through late low temperature events (Roedder, 1984). In contrast, high temperature skarn minerals such as forsterite, diopside, etc. are unlikely to trap later low temperature fluids (beyond the host mineral's stability range) without visible evidence of alteration. Thus, fluid inclusions in skarn minerals provide a relatively unambiguous opportunity to measure temperature, pressure, and composition of skarn-forming fluids. Such studies have been very useful in documenting the high temperatures (>700°C) and high salinities (>50 wt. % NaCl equiv. And multiple daughter minerals) which occur in many skarns. All the skarn types summarized in Meinert (1992) have fluid inclusion homogenization temperatures up to and exceeding 700°C except for copper and zinc skarns, deposits in which most fluid inclusions are in the 300-550°C range. This is consistent with the relatively shallow and distal geologic settings inferred respectively for these two skarn types. Salinities in most skarn fluid inclusions are high; documented daughter minerals in skarn minerals include NaCl, KCl, CaCl₂, FeCl₂, CaCO₃, CaF₂, C, NaAlCO₃(OH)₂, Fe₂O₃, Fe₃O₄, AsFeS, CuFeS₂, and ZnS (Table 2). Haynes and Kesler (1988) describe systematic variations in NaCl:KCl:CaCl₂ ratios in fluid inclusions from different skarns reflecting differences in the fluid source and the degree of mixing of magmatic, connate, and meteoric fluids. In general, magmatic fluids have KCl>CaCl₂ whereas high-CaCl₂ fluids appear to have interacted more with sedimentary wall rocks. Fluid inclusions can provide direct evidence for the content of CO₂ (both liquid and gas), CH₄, N₂, H₂S and other gases in hydrothermal fluids. Studies of gas phases and immiscible liquids in fluid inclusions typically show a dominance of CO₂, a critical variable in skarn mineral stability. Although no comparative studies have been done, it appears that CH₄ is slightly more abundant than CO₂ in reduced systems like tungsten skarns whereas CO₂ is more abundant than CH₄ in more oxidized systems like copper and zinc skarns (Megaw et al., 1988). Studies of fluid inclusions in specific skarn mineral phases are particularly useful in documenting the temporal and spatial evolution of skarn-forming fluids and how those

changes correlate with compositional, experimental, and thermodynamic data. Fluid inclusions also provide direct evidence for the temperature and salinity shift in most skarn systems between prograde and retrograde skarn events. For example, most garnet and pyroxene fluid inclusions in iron skarns have homogenization temperatures of 370-700°C and 300-690°C, respectively, with salinities up to 50 wt. % NaCl equivalent, whereas retrograde epidote and crosscutting quartz veins have homogenization temperatures of 245-250°C and 100-250°C, respectively, with salinities of less than 25 wt. % NaCl equivalent. In gold skarns, prograde garnet and pyroxene homogenization temperatures are up to 730°C and 695°C, respectively, with salinities up to 33 wt. % NaCl equivalent. In contrast, scapolite, epidote, and actinolite from these skarns have homogenization temperatures of 320-400°C, 255-320°C, and 320-350°C, respectively. In tungsten skarns, prograde garnet and pyroxene homogenization temperatures are up to 800°C and 600°C, respectively, with salinities up to 52 wt. % NaCl equivalent. In contrast, amphibole and quartz from these skarns have homogenization temperatures of 250-380°C and 290-380°C, respectively with salinities of 12-28 and 2.5-10.5 wt. % NaCl equivalent (data summarized in Meinert, 1992). Isotopic investigations, particularly the stable isotopes of C, O, H, and S, have been critically important in documenting the multiple fluids present in most large skarn systems (Shimazaki, 1988). The pioneering study of Taylor and O'Neill (1977) demonstrated the importance of both magmatic and meteoric waters in the evolution of the Osgood Mountain W skarns. Bowman et al. (1985) demonstrated that in high temperature W skarns, even some of the hydrous minerals such as biotite and amphibole can form at relatively high temperatures from water with a significant magmatic component (see also Marck de Lummen, 1988). Again, mixing of multiple fluid sources is indicated. Sulfur isotopic studies on a variety of sulfide minerals (including pyrite, pyrrhotite, molybdenite, chalcopyrite, sphalerite, bornite, arsenopyrite, and galena) from the skarn deposits indicate a very narrow range of $\delta^{34}\text{S}$ values, consistent with precipitation from magmatic fluids. For some of the more distal zinc skarns, sulfur isotopic studies indicate that the mineralizing fluids acquired some of their sulfur from sedimentary rocks (including evaporites) along the fluid flow path (Megaw et al., 1988). Overall, stable isotopic investigations are consistent with fluid inclusion and mineral equilibria studies which demonstrate that most large skarn deposits form from diverse fluids, including early, high temperature, highly saline brines directly related to crystallizing magma systems (e.g. Auwera and Andre, 1988). In many systems, the highest salinity fluids are coincident with peak sulfide deposition. In addition, at least partial mixing with exchanged connate or meteoric fluids is required for most deposits with the latest alteration events forming largely from dilute meteoric waters. Even though skarn metal contents are quite variable, anomalous concentrations of pathfinder elements in distal skarn zones can be an important exploration guide. Geochemical studies of individual deposits have shown that metal dispersion halos can be zoned from proximal base metal assemblages, through distal precious metal zones, to fringe Pb-Zn-Ag vein concentrations. Anomalies of 10s to 100s of ppm for individual metals can extend for more than 1000 meters beyond proximal skarn zones. Comparison of geochemical signatures among different skarn classes suggests that each has a characteristic suite of anomalous elements and that background levels for a particular element in one skarn type may be highly anomalous in other skarns. For example, Au, Te, Bi, and As values of 1, 10, 100, and 500 ppm, respectively, are not unusual for gold skarns but are rare to absent for other skarn.

Türkiye skarn yatakları

Tablo 1. Türkiye Skarn Tipi Cevherleşmeler ve Skarn Fasiyeslerinin Genel Özellikleri (*Sedimanter kökenli; ekzokarn / magmatik kökenli; endoskarn)

Yatak Tipi	İl	Bölge	Ana Kaya ve Sokulum Kayası	Magmatizma Yaşı	Skarn Fasiyesi ve Mineraloji	Eşlik eden Metaller
W-Skarn	Balıkesir	Susurluk	Kristalize Kireçtaşı-Mermer dokanağı (Mesozoyik) / Granitoyid (Oligo-Miyosen)	20-25 Ma	Endoskarn; Plajiyoklaz+piroksen skarn (plajiyoklaz, piroksen, kuvars, sfen, ortoklaz, kalsit, skapolit, şeelit)	Mo
					Ekzokarn; Piroksen+garnet skarn (vezüvyanit, skapolit, piroksen, vollasonit)	
W-Skarn	Bursa	Kozbudaklar	Kireçtaşı (Triyas) / Granitoyid (Eosen)	45 Ma	Endoskarn;Piroksen+plajiyoklaz skarn (Şeelit, vollasonit, kuvars, sfen, apatit, biyotit, amfibol, ortoklaz, kalsit, pirit, kalkopirit, manyetit, skapolit)	
					Ekzokarn; Piroksen+garnet skarn (Piroksen, garnet, vollasonit, klorit, şeelit, volfram)	
Fe-Cu Skarn	Çanakkale	Evciler	Kazdağ Masifi metamorfikleri / Evciler Plütönu	26 Ma	Prograd Evre; Andradit, diyopsit	Au, Cu
					Retrograd Evre; Epidot, kalsit, tremolit, klorit, kuvars	
Fe-Cu Skarn	Balıkesir/ Ayvalık	Ayazmant	Metapelit-Metabazitler (Erken Triyas) / Kozak Plütönu (Geç Oligosen)	18-20 Ma	Prograd Evre; Diyopsit, plajiyoklaz, garnet, skapolit	Cu, Au
					Retrograd Evre;Epidot, amfibol, plajiyoklaz, ortoklaz, klorit, kalsit, kuvars	
W-Skarn	Bursa	Uludağ	Metakarbonat /Granit/granodiyorit	28-32 Ma	Prograd Evre; Vollasonit,, andradit, garnet, klinopiroksen	Fe, Cu
					Retrograd Evre; Epidot, klorit, kalsit, kuvars	
Cu, Mn	Erzincan	İliç/Çöpler	Pütürge Metamorfikleri içerisinde rekristaliz kıt	47-51 Ma	Prograd Evre; Garnet, klinopiroksen	
					Retrograd Evre; Epidot, kalsit, kuvars	
Pb-Zn	Elazığ	Keban/Sarımağara	Munzur Kıt / Keban Plütönu	70-75 Ma	Prograd Evre; Andradit, grosullar, klinopiroksen, hedenberjit, vollasonit	Au, Cu, Mo, W
					Retrograd Evre; Epidot, klorit, kalsit, kuvars	
Fe	Sivas	Dumluca	Ofiyolitik melanj içerisinde rekristaliz kıt. blokları	75 Ma	Prograd Evre; Andradit, grossular, skapolit, hedenberjit, olivin, titanit	
					Retrograd Evre; Epidot, kalsit, kuvars	
Cu, Mo	Kırklareli	Demirköy	Dolapdere Formasyonu (Jura) / Demirköy Plütönu	Ar-Ar 80.94±0.57	Prograd Evre; Diyopsit, skapolit, grosullar, andradit, vollasonit, vezüvyanit	Mo
					Retrograd Evre; Epidot, aktinolit, klorit, kuvars, kalsit	
Fe, Cu	Niğde	Elmalı	Ulukışla Volkanikleri içerisinde resifal kıt	Eosen	Prograd Evre; Garnet, piroksen	Cu, Au, Co
					Retrograd Evre; Epidot, kalsit, kuvars, aktinolit	

REFERANSLAR

- Kuşcu İ. (2019) Skarns and Skarn Deposits of Turkey. In: Pirajno F., Ünlü T., Dönmez C., Şahin M. (eds) Mineral Resources of Turkey. Modern Approaches in Solid Earth Sciences, vol 16. Springer, Cham.
- Orhan A (2008) Susurluk (Balıkesir) skarn yatağının jeokimyasal karakteristikleri [Mineralogical and geochemical characteristics of the Susurluk (Balıkesir) skarn deposit]. Ph.D. Thesis, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, 258p (unpublished; in Turkish with English abstract).
- Orhan, A., Mutlu, H., (2017) Geochemical Characteristics and Rare-Earth Element Distributions of Kozbudaklar W-Skarn Deposit (Bursa, Western Anatolia). Bull. Min. Res. Exp. (2017) 155: 115-130.