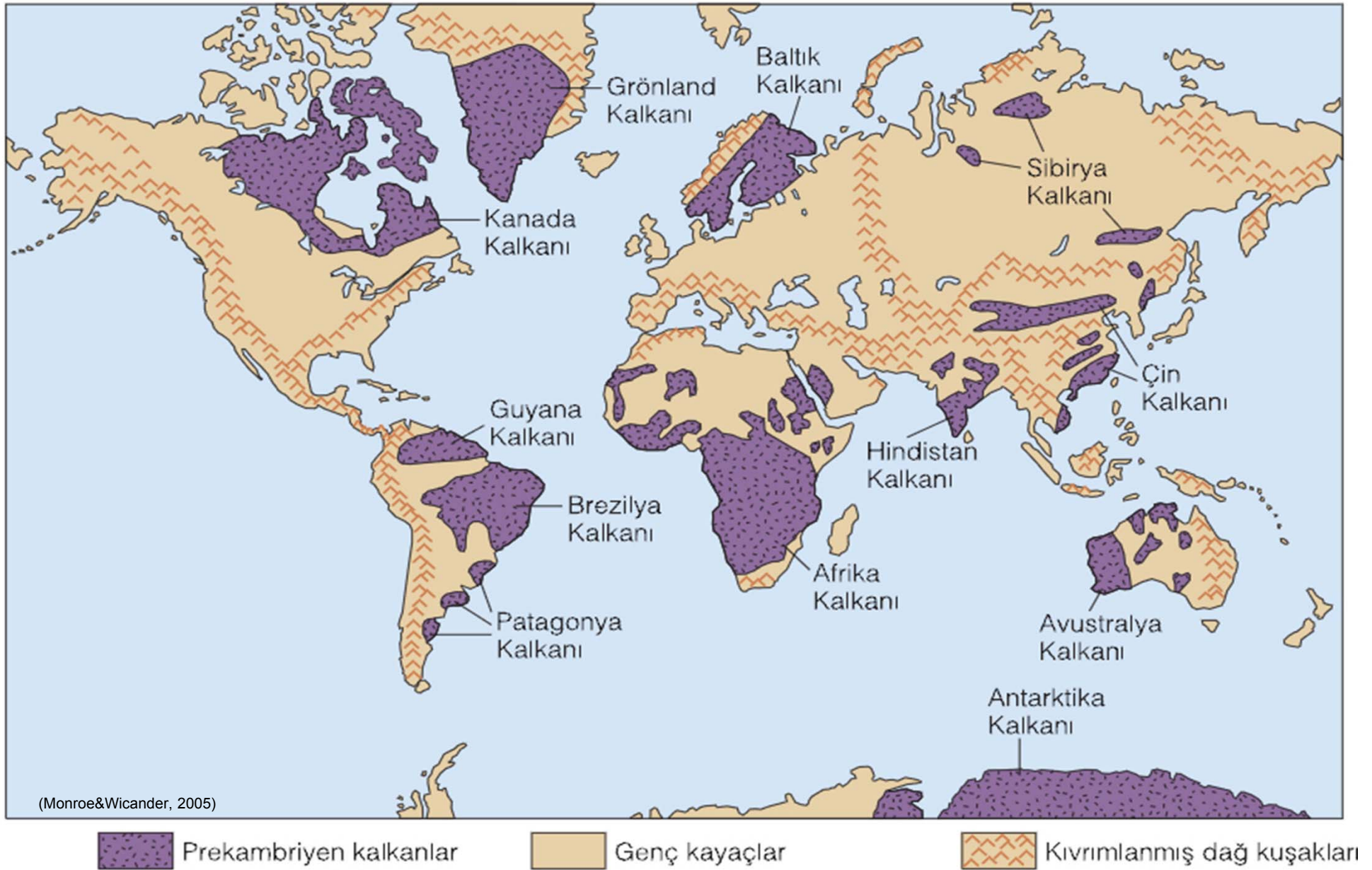


Metamorfizma ve

BÖLÜM 7 Metamorfik Kayaçlar

Metamorfik kayaçlar (Yunanca “**değişme**” anlamına gelen **meta** ve “**biçim**” anlamına gelen **morpho** sözcüklerinin birleştirilmesinden gelen) üçüncü ana kayaç grubudur. Genellikle Yeryüzünün altında gerçekleşen metamorfik süreçlerin diğer kayaçları dönüştürmesi sonucunda oluşurlar. **Metamorfizma** sırasında kayaçlar, **mineral bileşimlerini, dokularını ya da her ikisini birden değiştiren ve böylece yeni kayaçlar oluşturacak yeterlilikte ısı, basınç ve akışkan etkinliği** altına girerler. Bu dönüşümler **kayacın ergime sıcaklığının altında** gerçekleşir; aksi takdirde magmatik bir kayaç olur. Yer’in kıtasal kabuğunun büyük bir bölümü metamorfik ve magmatik kayaçlardan oluşmuştur. Bunlar birlikte, bir kıtanın yüzeyindeki çökel kayaçların altında bulunan **kristalin temel kayaçlarını** oluştururlar. Bu temel kayaçlar, kıtaların son 600 milyon yıllık dönemde **çok duraylı olarak kalmış kalkan** olarak bilinen bölgelerinde yaygın biçimde yüzeylerler. **Metamorfik kayaçlar, büyük dağ kuşaklarının kristalin çekirdeklerinin önemli bir bölümünü de oluştururlar.**



Metamorfik kayaç oluşumları. Kalkanlar, her kıtanın altında uzanmakta olan kristalin temel kayaçlarının yüzeye çıkmış kısımlarıdır; bu alanlar son 600 milyon yıldır oldukça duraylıdır. Metamorfik kayaçlar ana dağ kuşaklarının kristalin çekirdeklerini de oluşturur.

Metamorfik kayaçların önemi

Mermer ve **kayrak** (sleyt) gibi metamorfik kayaçlar **yapı taşları** olarak kullanılırken belirli metamorfik mineraller ekonomik açıdan önem taşır. Örneğin, **granatlar süstaşları ya da aşındırıcı** olarak kullanılır; **talk kozmetik ve boya üretiminde ayrıca yağlandırıcı** olarak kullanılır; **kyanitten** (disten) ise bujilerde **ısıya dayanıklı malzemelerin** yapımında yararlanılır. Sonuçta metamorfik kayaçların ve süreçlerin bilinmesi ekonomik olarak önemlidir.

Asbest, binalarda **yalıtım ve ateşe dayanıklı malzeme** yapımında kullanılan yapılarda ve yapı taşlarında yaygın bulunan metamorfik bir mineraldir. Bununla birlikte asbestin farklı şekilleri vardır ve tümü aynı sağlık risklerini ortaya çıkarmaz. Bu gerçeğin bilinmesi asbestin toplum sağlığı için yarattığı tehlikeler üzerine olan tartışmalarda yararlı olmuştur.

METAMORFİZMANIN ETKENLERİ

Metamorfizmanın üç etkeni **ısı**, **basınç** ve **akışkanlar**ın etkinliğidir. Metamorfizma sırasında ilksel kaya yeni koşullarda denge sağlayabilmek için **değişime** uğrar. Bu değişimler **yeni minerallerin oluşumuna** ve/veya **ilksel malzemelerin yeniden yönlenmesine** yol açan kayacın **dokusunda bir değişimle** sonlanabilir. Bazı durumlarda değişim azdır ve ilksel kayanın özellikleri hala tanınabilir. Diğer durumlarda ise tümüyle değişmemişse ilksel kayaç türü büyük güçlüklerle belirlenebilir.

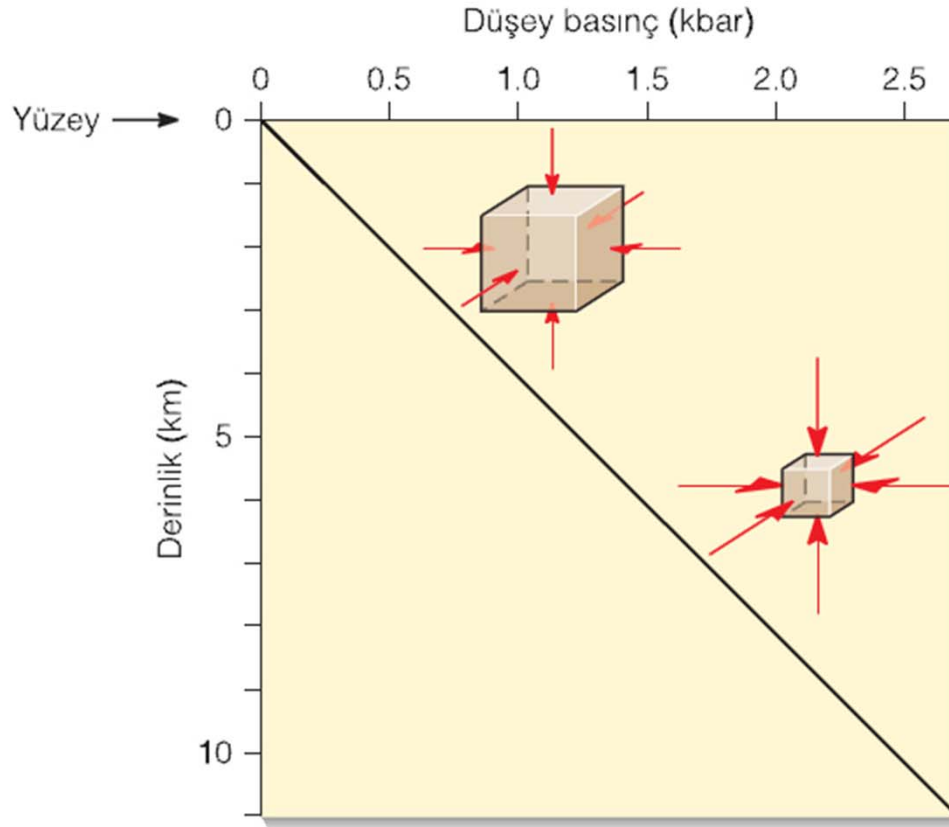
Isı

Isı, ilksel kayalar da olanlardan **farklı mineraller oluşturabilen kimyasal tepkimelerin hızını artırdığından** önemli bir metamorfizma etkenidir. Isı, **derindeki magmalardan ya da yaklaşan levha sınırları boyunca gerçekleşen yitimde** olduğu gibi kayaların yer kabuğunda **derine gömülmesinden** kaynaklanır. **Magma kütleleri kayaları kestiğinde** magmanın çevresindeki kayaları etkileyen şiddetli ısının etkisinde kalırlar; en şiddetli ısınma genellikle magma kütesinin yakınında olur ve magma kütesinden uzaklaştıkça dereceli olarak etkisi azalır. Sokulum halindeki magma kütesinin yakınındaki ana kayada, metamorfize olmuş kayalardan oluşan kuşak genellikle daha belirgin ve tanınması kolaydır. Derinlikle sıcaklığın arttığını ve **yerin jeotermal gradyanının** ortalama yaklaşık **25° C/km** olduğunu anımsayalım. Yeryüzünde oluşan kayalar yaklaşan bir levha sınırı boyunca gerçekleşen yitimle derinlere taşınabilir ve böylece **artan sıcaklık ve basınç** maruz kalabilir. Yitim sürecinde kimi mineraller, daha yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında daha duraylı olan başka minerallere dönüşebilir.

Basınç

Kayaçlar iki tür basınç etkisi altında kalabilir: **Litostatik** (çevresel) basınç ve **yönlenmiş / farklılaşan** (yatay ve makaslama basınçları).

Kayaçlar gömüldüğünde artan biçimde daha büyük **litostatik** basınç etkisine girerler; üzerlerinde bulunan kayaçların ağırlığından kaynaklanan bu basınç **her yönde eşit biçimde uygulanır**. Bir nesne suya bırakıldığında da aynı durum olur. Örneğin bir plastik köpük bardak okyanusta daha derine daldırıldığında, basınç derinlikle artacağı ve her yönden eşit olarak geleceği için plastik köpük bardak sıkışarak küçülür. Tam da plastik köpük bardağı örneğindeki gibi kayaçlar, kayacın içindeki mineral tanelerini birbirine daha sıkı yaklaştıracak biçimde derinlikle artan litostatik basıncın etkisinde kalırlar. Bu koşullar altında mineraller **yeniden kristallenirler**, yani daha küçük ve yoğun mineraller haline gelirler. Gömülmeden kaynaklanan litostatik basınçla birlikte kayaçlar, **farklılaşan basınçların** (yatay basınçlar/makaslama basınçları) etkisinde de kalabilir. Bu durumda basınç her yerde aynı değildir ve bunun sonucunda kayaçlar biçim değiştirir. Farklılaşan basınçlar tipik biçimde dağ oluşumu ile ilişkili deformasyonlar sırasında oluşarak ayırt edici metamorfik dokular ve özellikler ortaya çıkarabilirler.



1 kilobar (kbar) = 1000 bar
Deniz seviyesindeki atmosferik basınç = 1 bar

(a)

(a) Üzerindeki kayaçların ağırlığı dolayısıyla litostatik basınç, Yerkabuğunda her yönde eşit olarak uygulanır. Bu yüzden eğimli siyah çizgi ile gösterildiği gibi basınç derinlikle artar.

(b) 200 ml hacimli küçük plastik köpük bardaklar, yaklaşık 750 ve 1500 m lik derinliklere indirildiğinde de benzer bir durum olur. Artan su basıncı bardağa her yönde eşit olarak uygulanır ve sonuçta bardaklar genel biçimlerini korudukları halde hacimleri azalır.

C. Gillen, *Metamorphic Geology*, Figure 4.4,

(b)



Prof.Dr.Kadir Dirik Ders Notları

Akışkanların Etkinliği

Metamorfizmanın olduğu hemen her yerde mineral tanelerinin sınırları boyunca ya da kayanın gözeneklerinde değişen miktarlarda **su** ve **karbondioksit** (CO₂) vardır. Çözünmüş durumdaki iyonları içeren bu **akışkanlar, kimyasal tepkimeleri hızlandırarak metamorfizmayı artırır**lar. Susuz koşullarda birçok mineral çok yavaş biçimde tepkime verirken çok az miktarda olsa bile ortama sıvı girdiğinde, temelde iyonlar akışkanın içinde kolayca hareket ettiklerinden tepkime hızları artar ve böylece kimyasal tepkimeler ve yeni minerallerin oluşumu da çoğalır. Aşağıdaki tepkime yeni minerallerin akışkanların etkinliğiyle nasıl oluşabildiğine iyi bir örnek sunar. Burada sıcak bazalt kayacının içinde dolaşan **deniz suyu**, olivini metamorfik serpantin mineraline dönüştürür.

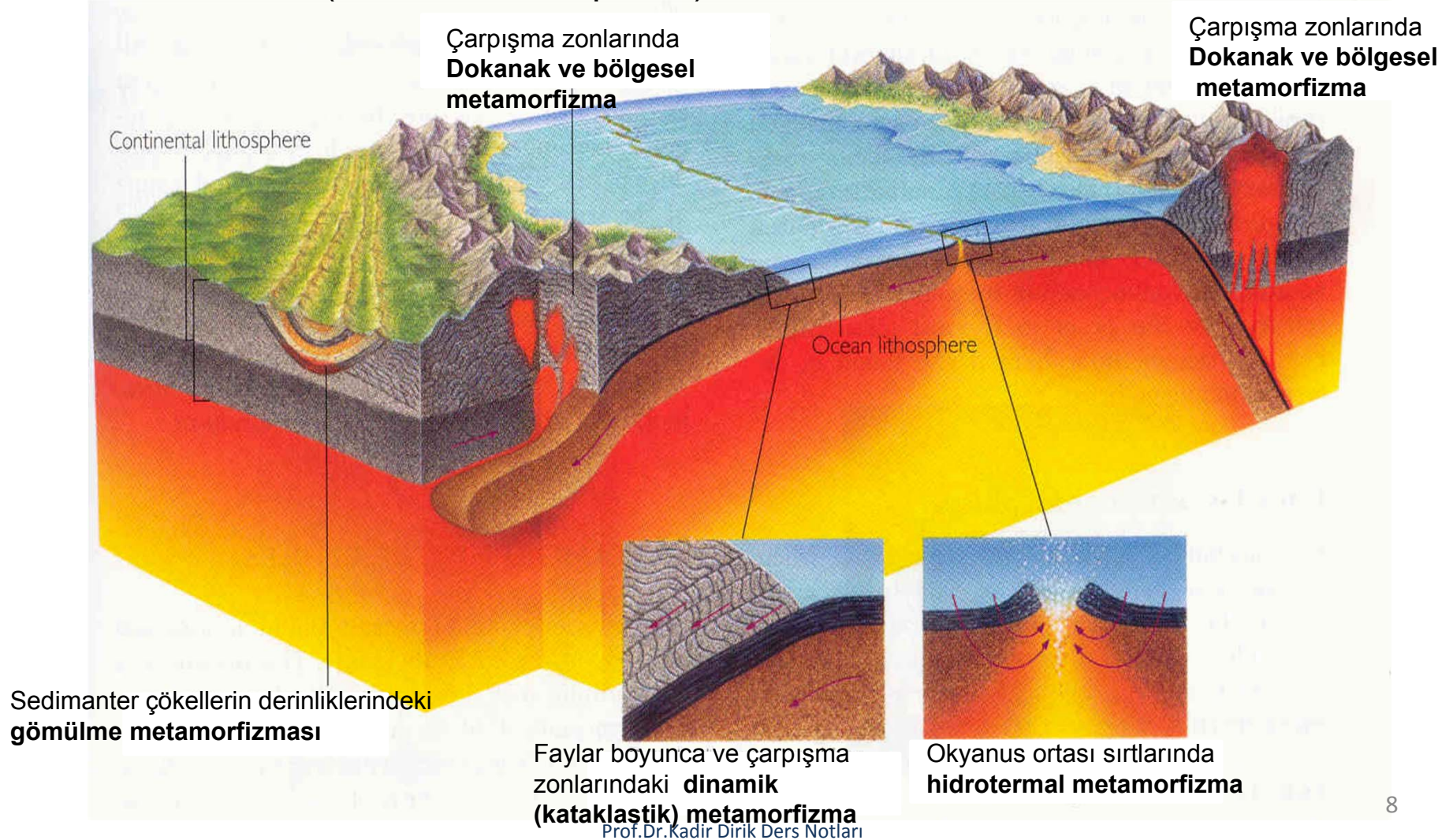


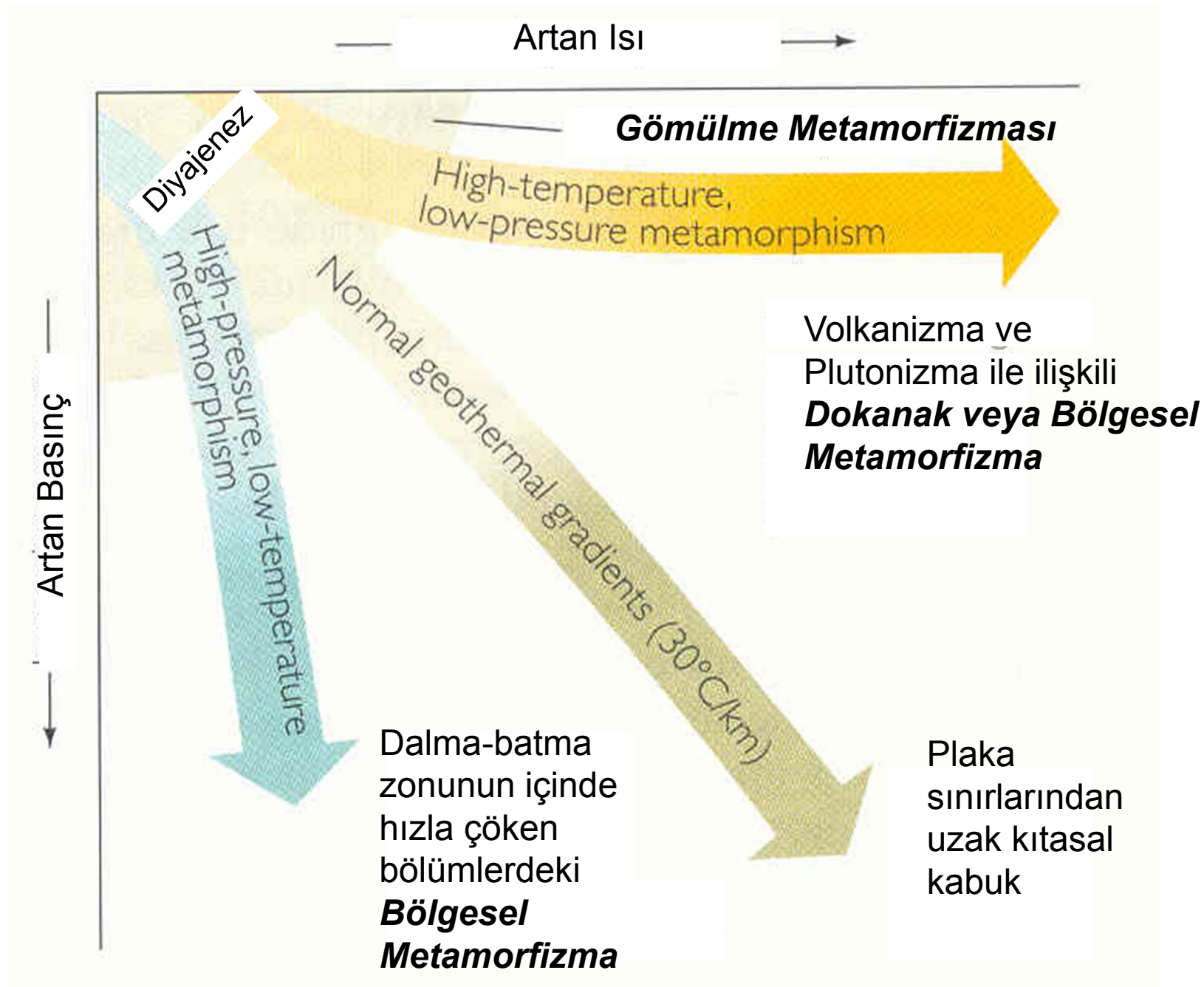
Metamorfik süreçlere katılan kimyasal olarak **etkin akışkanlar, başlıca üç kaynaktan gelir. Birincisi**, çökel kayaçlar oluştuğunda gözenek boşluklarında tutulmuş olan sudur. **İkinci** kaynak magma içindeki buharlaşabilen akışkanlardır. **Üçüncü** kaynak ise jips (CaSO₄.2H₂O) ve bir kısım killer gibi su içeren minerallerin sularını yitirmeleridir.

Isı, basınç ve akışkanların etkinliğinin yanı sıra **zaman** da metamorfik süreçlerde önemlidir. Kimyasal tepkimeler farklı hızlarda gerçekleşir ve bu yüzden tamamlanmaları için farklı zaman miktarı gerekir. **Silikat bileşikleriyle ilgili tepkimeler oldukça yavaş gerçekleşir** ve çoğu metamorfik kayaç da silikat minerallerinden oluştuğundan ötürü metamorfizmanın yavaş bir jeolojik süreç olduğu düşünülür.

METAMORFİZMA ÇEŞİTLERİ

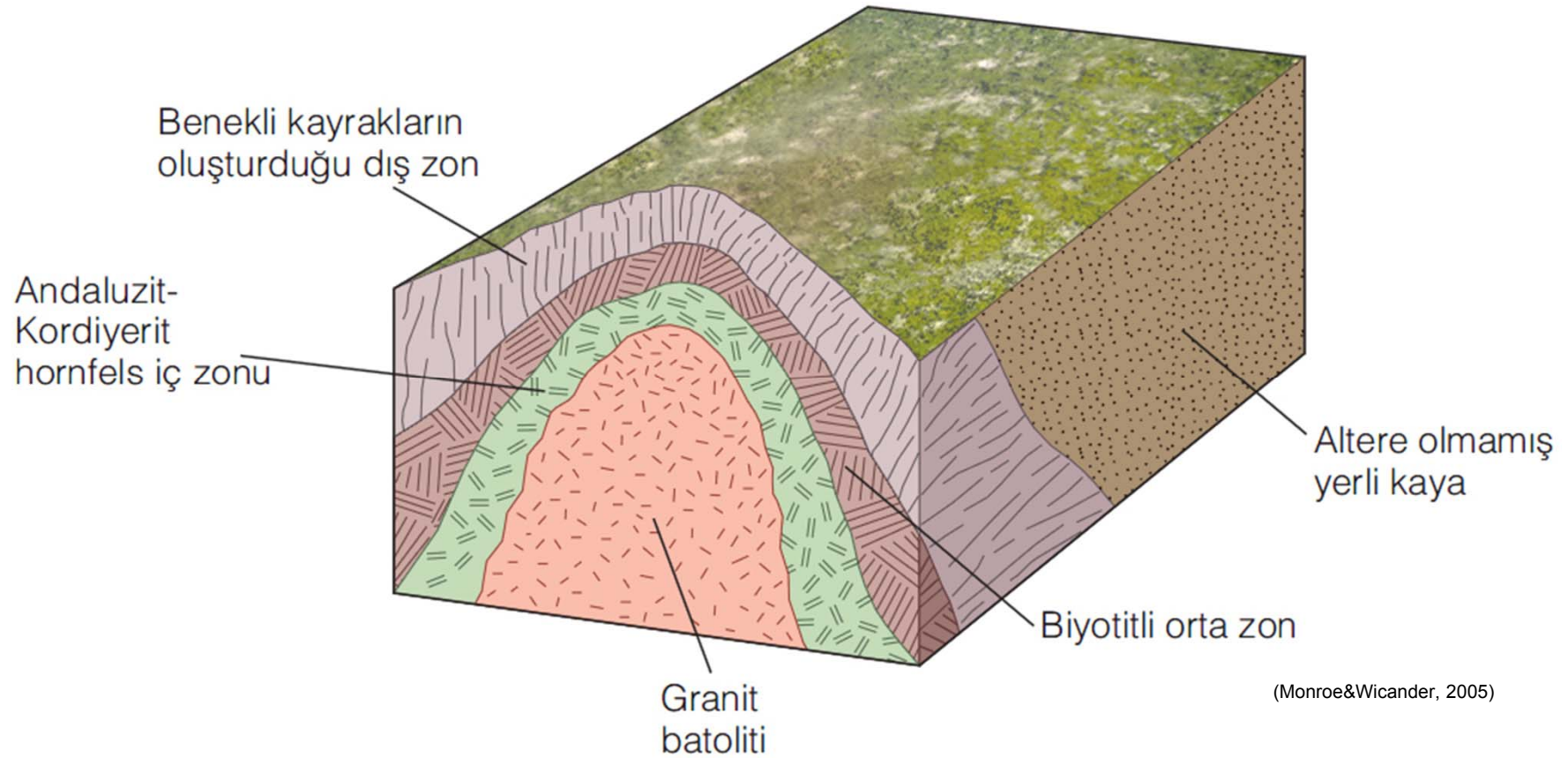
1. Dokanak (Kontakt) Metamorfizması (Contact Metamorphism)
2. Hidrotermal Metamorphism (Hydrothermal Metamorphism)
3. Dinamik Metamorphism (Dynamic metamorphism)
4. Bölgesel Metamorfizma (Regional Metamorphism)
5. Gömülme (Burial Metamorphism)





1. Dokanak (Kontakt) Metamorfizması

Bir magma kütlesi çevresindeki yan kayaçları değiştirdiğinde **dokanak metamorfizması** gerçekleşir. Sığ derinliklerde sokulan magma kütlesi çevre kayaçların sıcaklığını yükselterek termal değişmelere neden olur. Sokulumun soğumasıyla birlikte yan kayaçların içine sıcak akışkanların girmesi, yeni mineral oluşumlarına yardımcı olabilir. Kontakt metamorfizmada önemli etmenler, sıcaklık ile magma ve / veya yan kayacın akışkan içeriğidir. **Sokulumun bileşimi**, başlangıçtaki sıcaklığı kısmen denetler: mafik magmalar felsik magmadan daha sıcaktır ve kendisini çevreleyen kayaçlarda daha büyük bir ısı etkisine sahiptir. **Sokulumun büyüklüğü** de önemlidir. Dayk ve sill gibi küçük sokulumlarda sadece sokulumların hemen yanındaki kayaçlar etkilenir. Batolitler gibi büyük sokulumların soğuması ise uzun bir zaman aldığından yan kayaçlardaki sıcaklık artışı daha büyük alanları daha uzun süre etkiler. **Akışkanlar** da dokanak metamorfizmasında önemli bir rol oynar. Çoğu magmalar sulu olup çevredeki kayaçlara yayılabilen kimyasal olarak etkin, sıcak akışkanlar içerirler. **Bu akışkanlar kayaçlarla tepkimeye girip yeni minerallerin oluşumuna yardımcı olabilir.** Bir sokulumun hemen yanında sıcaklıklar yaklaşık 900°C ye ulaşabilirken uzaklaştıkça dereceli bir biçimde azalır. Bu tür ısı etkileri ve sonunda olan kimyasal tepkimeler genellikle **metamorfik hale** olarak bilinen *konsantrik* kuşaklar oluşturur. Metamorfik halelerin genişliği, sokulumun büyüklüğü, sıcaklığı ve bileşimiyle birlikte çevre kayaçların mineralojisine bağlı olarak değişiklikler sunar. Tipik olarak bu büyük sokulum kütlelerinin her biri sokulumdan uzaklaştıkça sıcaklığın azaldığını gösteren belli mineral topluluklarıyla ayrıtılan birkaç metamorfik kuşağa sahiptir.



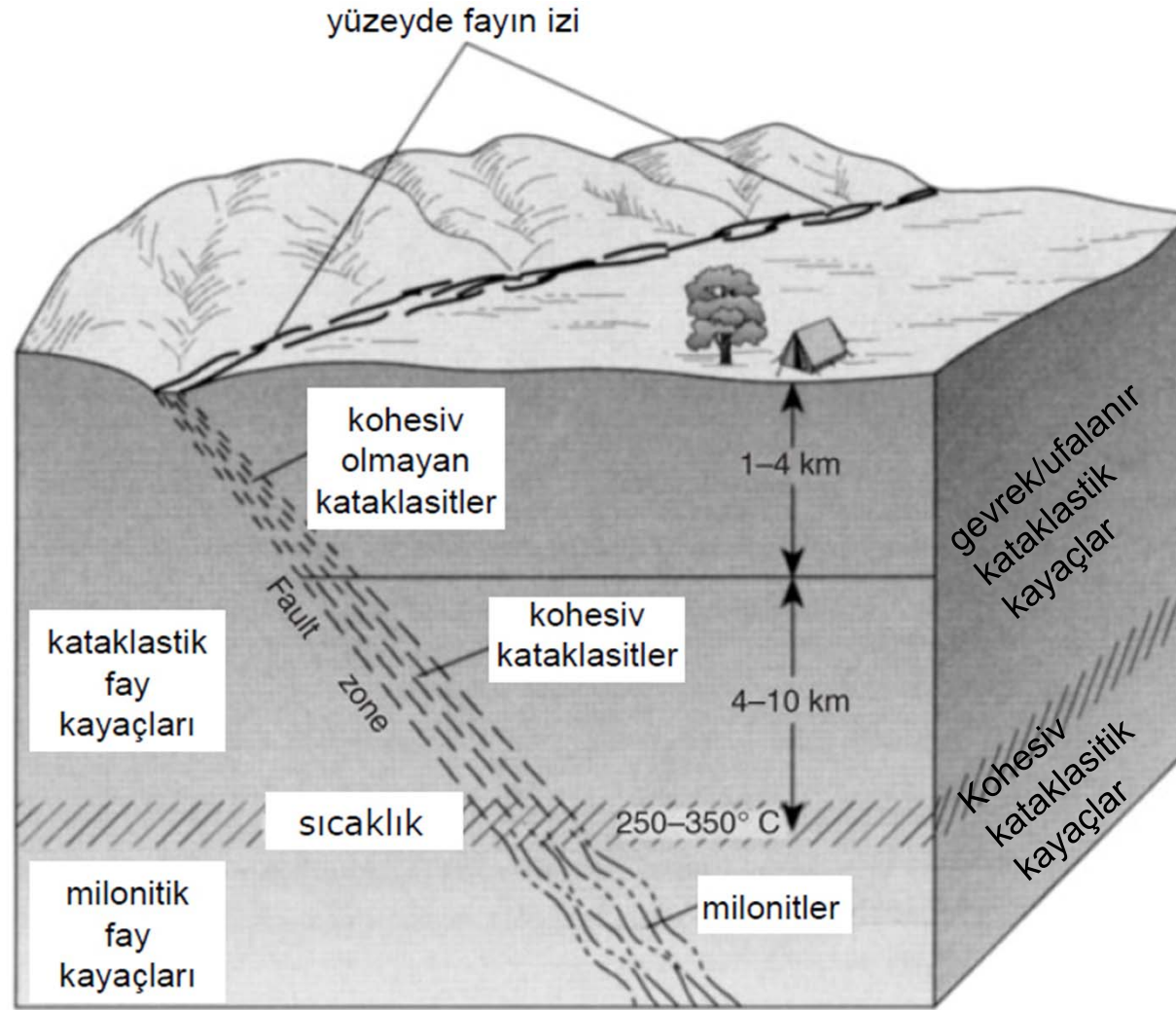
Metamorfik hale tipik olarak magmatik sokulumu çevreler. Bu idealleştirilmiş granit batolitiyle ilişkili olan çevresindeki metamorfik hale, sokulum kütesinden uzaklaştıkça sıcaklığın düştüğünü yansıtan üç mineral topluluğu kuşağını içerir. Batolitin yanındaki iç kuşakta **andaluzit-kordiyerit hornfels** oluşur. Bu kuşağı, içinde bir miktar **biyotitin** geliştiği yaygın yeniden kristallenmeli bir ara kuşak ile sokulumdan en uzakta **benekli kayraklarla** ayırt edilen dış kuşak bulunur.

2. Hidrotermal Metamorfizma

Sokulum yapan magmanın soğumasının son aşamalarında magma kristallenmeye başlar, sıcak ve sulu eriyiklerin büyük bölümü çoğunlukla magmadan ayrılır. Bu eriyikler yan kayaçlarla tepkimeye girerek yeni metamorfik mineraller oluştururlar. Genellikle Yeryüzüne yakın derinliklerde gerçekleşen bu süreçler **hidrotermal bozunmalardır** (Yunanca hydro “su” ve therme “ısı” sözcüklerinin birleşimi) ve değerli maden yataklarını ortaya çıkarırlar. Dünyadaki çoğu maden yatağının metal iyonları hidrotermal eriyiklerin göçünden kaynaklanmıştır. Avustralya, Kanada, Çin, Kıbrıs, Finlandiya, Rusya ve ABD’nin batısını içine alan değişik yerlerdeki bakır, altın, demir cevherleri, kalay ve çinko yatakları bunlara örnektir. Ayrıca Okyanus ortası sırtlarında yüzeye çıkan hidrotermal sıvılarda benzer etki yaparak bu zonlarda cevher gelişimlerine neden olmuştur.

3. Dinamik Metamorfizma

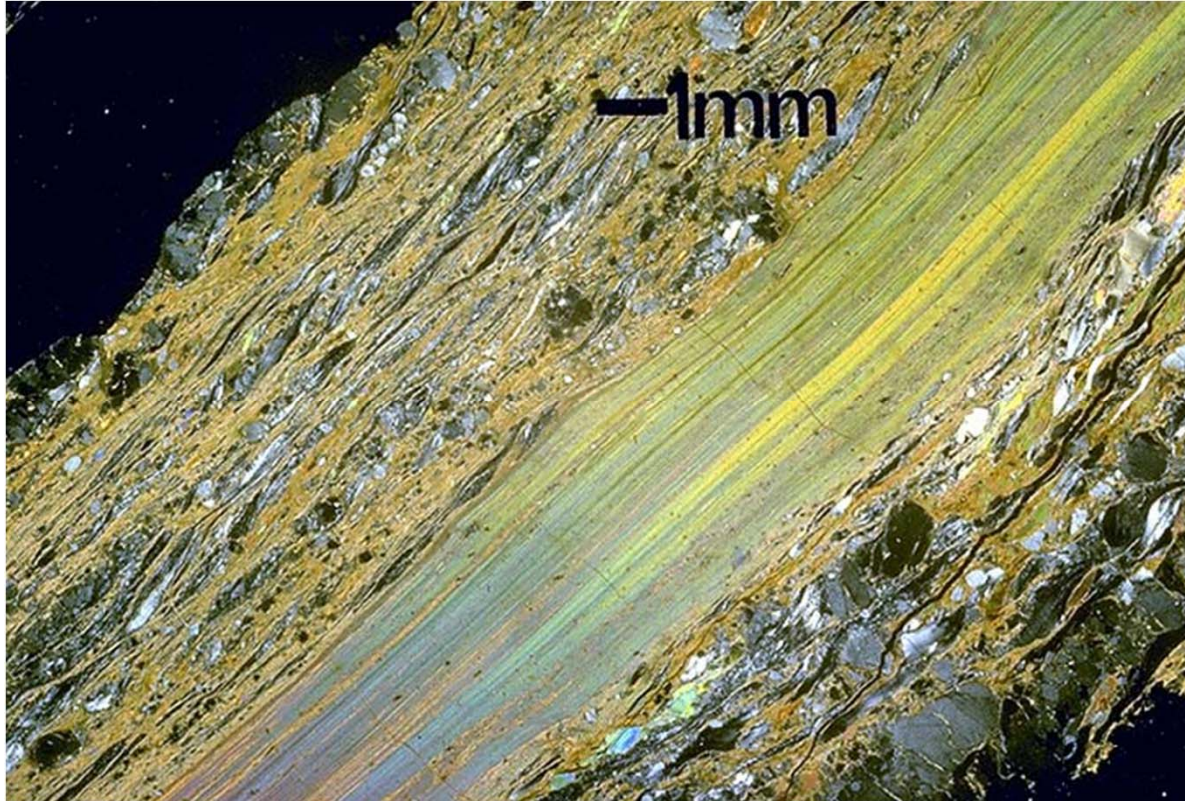
Dinamik metamorfizma, kayaçların yüksek farklılaşan basınçların etkisi altında kaldıkları fay (düzlem boyunca hareketin olduğu kırıklar) kuşaklarında gözlenir. Bu olay sonucunda fay kayaları (**fay breşi, kataklastik, milonit**) oluşur.



Yerkabuğunun bir bölümünü gösteren şematik blok diyagram: yüzeydeki fay izi ve derinliğe bağlı olarak fay zonu içinde kaya kayacındaki değişiklikleri gösteriyor. Kohesiv olmayan kataklasitler yerin 1-4 km derinliğinde gelişirler. Kohesiv kataklastiklerin oluşumu 15 km derinliğe kadar mümkün. Milonitler 10-15 km derinlikte ve 250-350 °C sıcaklık koşullarında oluşmaya başlar.



Kataklasit



Milonitin içinde gelişmiş ultramilonit: Kuvars-feldispat ve biyotiten oluşan iri taneli bir kayaç.

4. Bölgesel Metamorfizma

Birçok metamorfik kayaç geniş bir alanda gerçekleşen ve genellikle Yer kabuğunun derinliklerinde çok yüksek sıcaklık, basınç ve deformasyonun neden olduğu **bölgesel metamorfizma** sonucu oluşurlar. Bölgesel metamorfizma en belirgin biçimde levhaların birbirine yaklaştıkları ve birbiri altında yittikleri sırada kayaçların yoğun biçimde deforme olup yeniden kristallendikleri yaklaşan levha sınırları boyunca bulunurlar. Bu tür metamorfik kayaçlar, genellikle çok yoğun basınç ve/veya en yüksek sıcaklıkların etkili olduğu alanlardan daha düşük basınç ve sıcaklığın etkili olduğu alanlara doğru metamorfizma derecesinde bir dereceli geçiş sunarlar. Metamorfizmada böylesine bir derecelenme kayaçlarda bulunan metamorfik minerallerle belirlenebilir. Bölgesel metamorfizma sadece yakınlaşan levha kenarlarıyla sınırlı değildir. Deformasyonun geniş alanlara yayıldığı tüm bölgelerde yaygın olarak görülür.

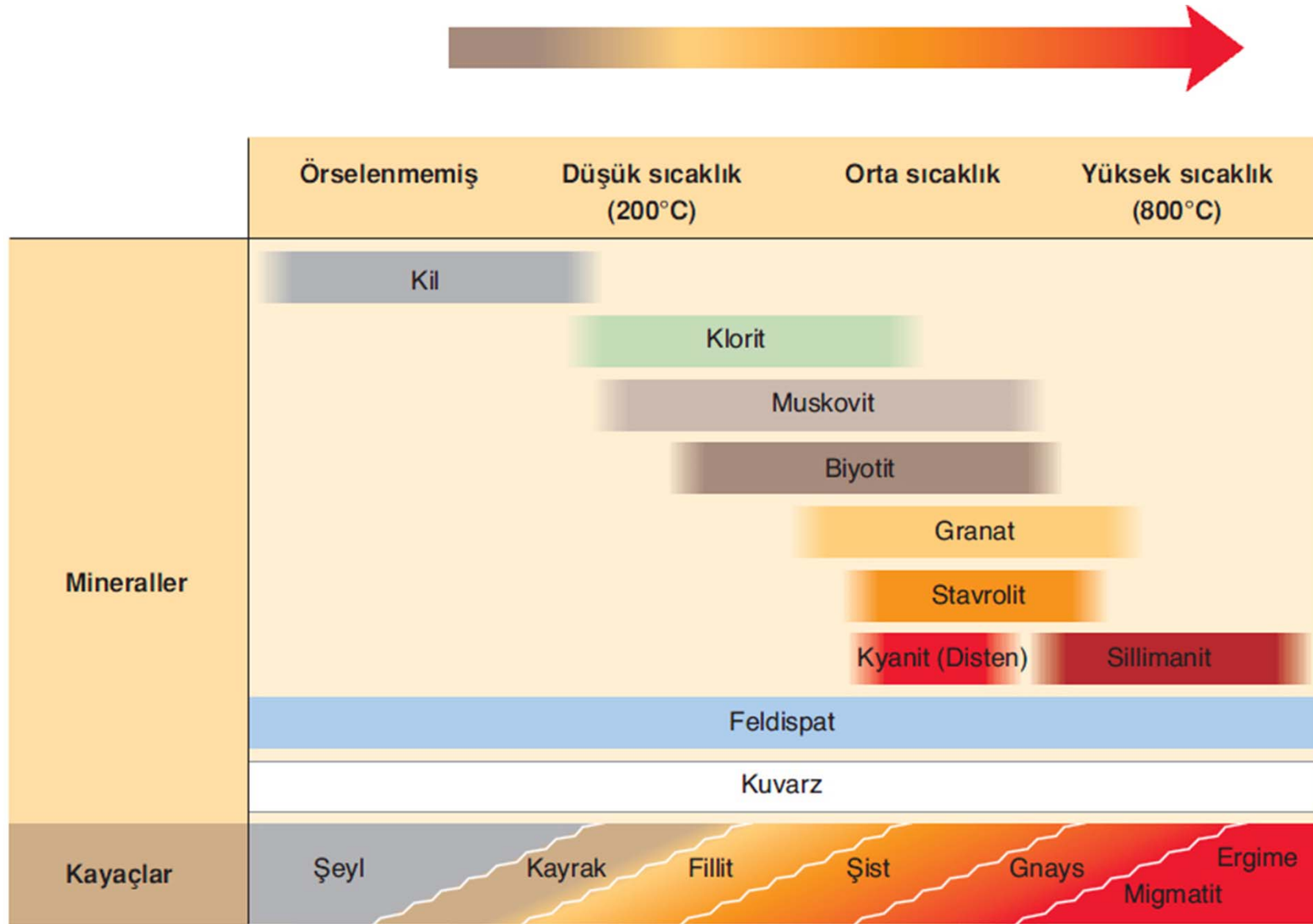
5. Gömülme Metamorfizması

İndeks mineraller

Kimi mineraller yalnızca belirli sıcaklık ve basınç aralıklarında oluşur. **İndeks mineraller** olarak bilinen bu tür minerallerin varlığı **düşük**, **orta** ve **yüksek** sıcaklık metamorfizması kuşaklarını belirleme olanağı verir.

Örneğin şeyl gibi kilce zengin kayaç metamorfizmaya uğradığında metamorfik süreçlere bağlı olarak yeni mineraller oluşur. Örneğin, **klorit minerali** yaklaşık 200 derecede görece düşük sıcaklıklarda ortaya çıktığından dolayı **düşük sıcaklık metamorfizmasını gösterir**. Sıcaklıklar ve basınçlar artmaya devam ettikçe o koşullar altında kararlı olabilen yeni mineraller oluşur. Böylece varlığı düşük sıcaklık metamorfizmasını gösteren kloritten itibaren yeni minerallere doğru bir geçiş, varlığının yüksek sıcaklık metamorfizmasını ve **500°C'yi aşan sıcaklıkları gösterdiği sillimanit** oluşur.

Farklı kayaç bileşimleri, farklı indeks minerallerini geliştirir. Kumlu dolomitler metamorfizmaya uğradığında tümüyle farklı bir indeks mineraller dizisi oluşur. Böylece metamorfizma ilerlerken genellikle belirli kayaç türlerinde belirli bir indeks mineraller dizisi oluşur. **Mika, kuvars ve feldispat** gibi yaygın mineraller **hem magmatik hem de metamorfik kayaçlarda oluşabilmesine karşın, andaluzit, sillimanit ve kyanit (disten)** gibi diğer mineraller genelde yalnızca **kilce zengin çökellerden türeyen metamorfik kayaçlarda bulunur**. Bu üç mineral de aynı kimyasal formüle (Al_2SiO_5) sahip olmalarına rağmen, her biri farklı basınç ve sıcaklık düzey aralığında oluştuklarından ötürü kristal yapısı ve diğer fiziksel özellikleri farklılıklar gösterir. Böylece, bu minerallerden çoğu zaman, **kilce zengin çökellerden gelen metamorfik kayaçlara yönelik indeks mineraller** olarak yararlanılır.



(Monroe&Wicander, 2005)

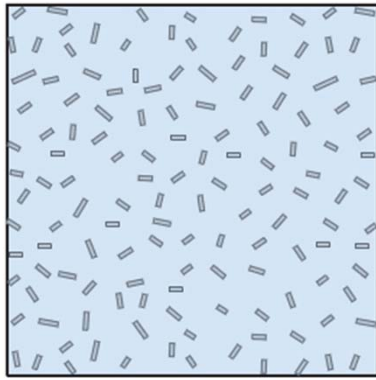
Şeylin artan metamorfizmasıyla birlikte mineral topluluğu ve kayaç türünde görülen değişiklik. Şeyl gibi kilce zengin bir kayaçta artan metamorfizmanın etkisi altında değişik renkte çubuklarla gösterilen yeni mineraller oluşur. Belirli minerallerin ilerleyen biçimde görünmesi jeologlara düşük, orta ve yüksek sıcaklık metamorfizması kuşaklarını tanımlama olanağı verir.

METAMORFİK KAYAÇLARIN SINIFLANDIRILIRMASI

Metamorfik kayaçlar, dokularına göre iki gruba ayrılır: **Yapraklanmalı** doku (foliasyon) gösterenler (Latince “yaprak” anlamına gelen *foliumdan*) ve **yapraklanmasız** dokulu olan metamorfik kayaçlar.

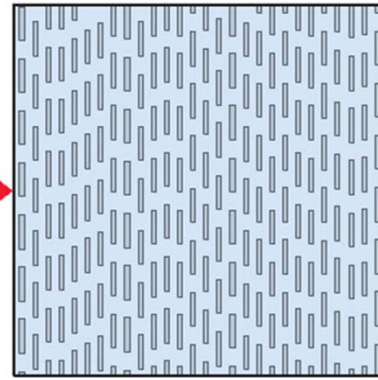
Yapraklanmalı (Foliasyonlu) Metamorfik Kayaçlar

Metamorfizma sırasında ısı ve farklılaşan basıncın etkisinde kalan kayaçlar, kendilerine **yapraklanma dokusu** veren tipik olarak birbirine paralel biçimde dizilmiş minerallere sahiptir. Mineral tanelerinin büyüklüğü ve biçimi, yapraklanmanın ince ya da kalın olmasını belirler. Eğer yapraklanma tek tek minerallerin çıplak gözle görülemeyeceği biçimde olursa kayaç, kayrak olarak adlandırılır. Kaba yapraklanmalar, kuvars ve feldspat gibi taneli minerallerin gnaysta olduğu gibi bileşim ve renk bakımından farklı, birbirine yaklaşık olarak paralel ve çizgili kuşaklar halinde ayrıldığında gerçekleşir.



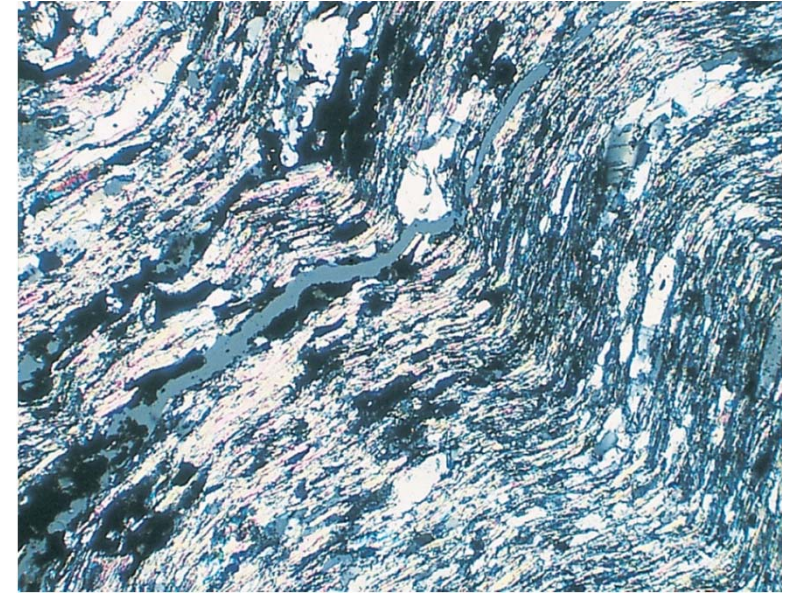
Her iki tarafa basınç uygulamadan önceki gelişigüzel dizilmiş uzun mineraller

(a)

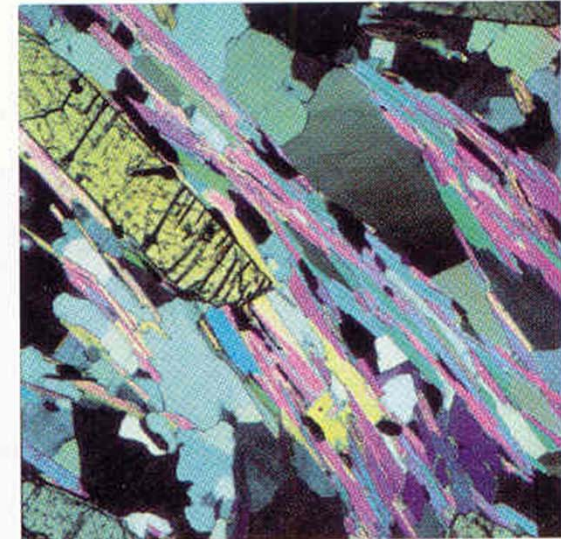
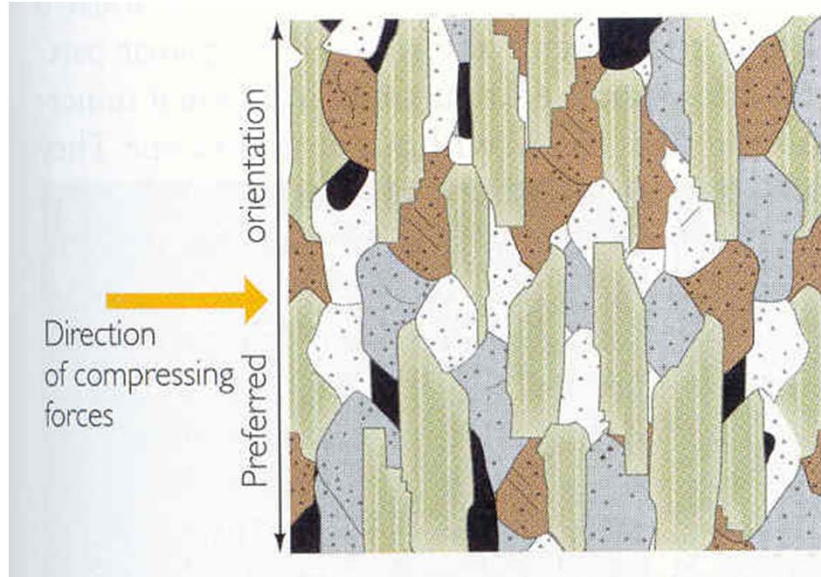


Her iki tarafa basınç uygulanmasından sonra birbirine paralel olarak dizilen uzun mineraller

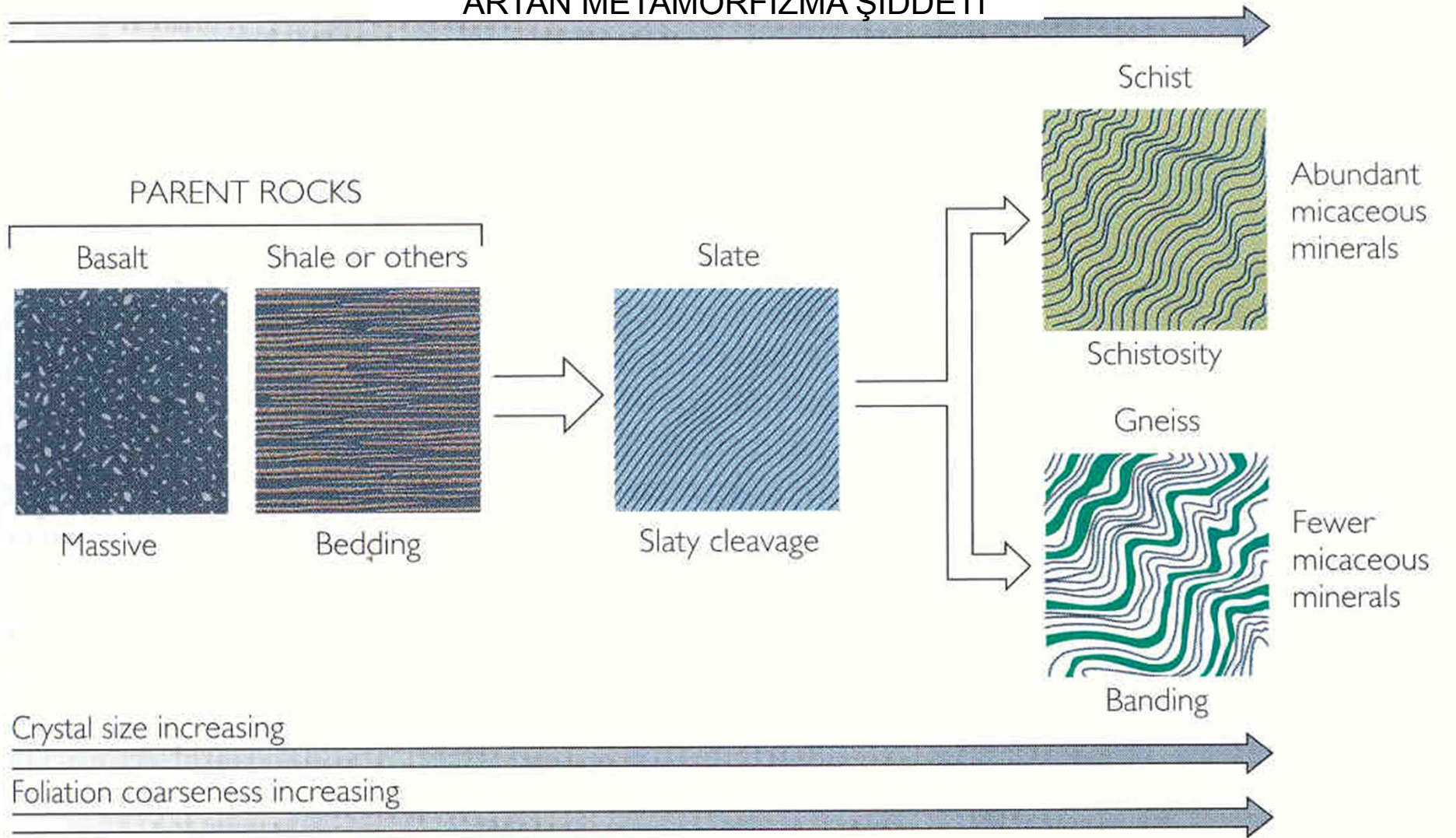
(b)



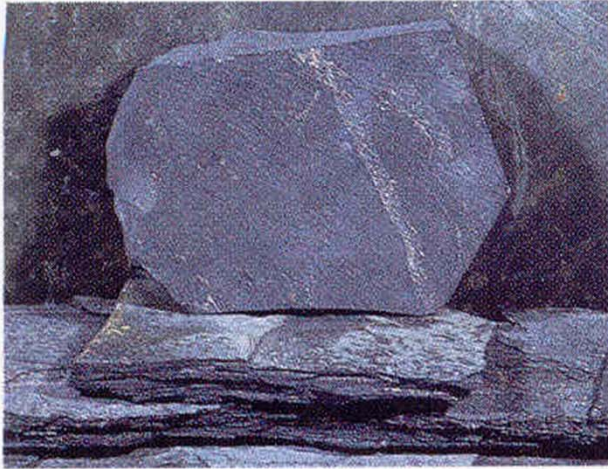
(a) Kayaçlar farklılaşan basıncın etkisinde kaldığında, mineral taneleri yapraklanmalı doku oluşturacak biçimde tipik olarak birbirine paralel olarak dizilirler. (b) Mineral tanelerinin birbirine paralel dizilmesini gösteren yapraklanmalı dokuya sahip bir metamorfik kayacın mikrofotografı.



ARTAN METAMORFİZMA ŞİDDETİ



Doku	Metamorfik Kayaç	Tipik Mineraller	Metamorfizma Derecesi	Kayaçların Özellikleri	İlksel Kayaç
Yapraklanmalı (Foliasyonlu)	Kayrak	Killer, mikalar, klorit	Düşük	İnce taneli, kolayca düz parçalara ayrılır	Çamurtaşı, kilitaşı, volkanik kül
	Fillit	İnce taneli kuvars, mikalar, klorit	Düşük-orta	İnce taneli, cilalı ya da parlak görünümlü	Çamurtaşları
	Şist	Mikalar, klorit, kuvars, talk, hornblend, granat, stavrolit, grafit	Düşük-yüksek	Belirgin yapraklanma, gözle görülür mineraller	Çamurtaşları, karbonatlar, mafik magmatik kayaçlar
	Gnays	Kuvars, feldispatlar, hornblend, mikalar	Yüksek	Gözle görülebilen ayrılmış açık ve koyu bantlar	Çamurtaşları, kumtaşları, felsik magmatik kayaçlar
	Amf ibolit	Hornblend, plajiyoklaz	Orta-yüksek	Koyu renkli, zayıf yapraklanmalı	Mafik magmatik kayaçlar
	Migmatit	Kuvars, feldispatlar, hornblend, mikalar	Yüksek	İç içe geçmiş granit ve gnays mercekleri ya da düzeyleri	Çökel kayaçlarla karışmış felsik magmatik kayaçlar



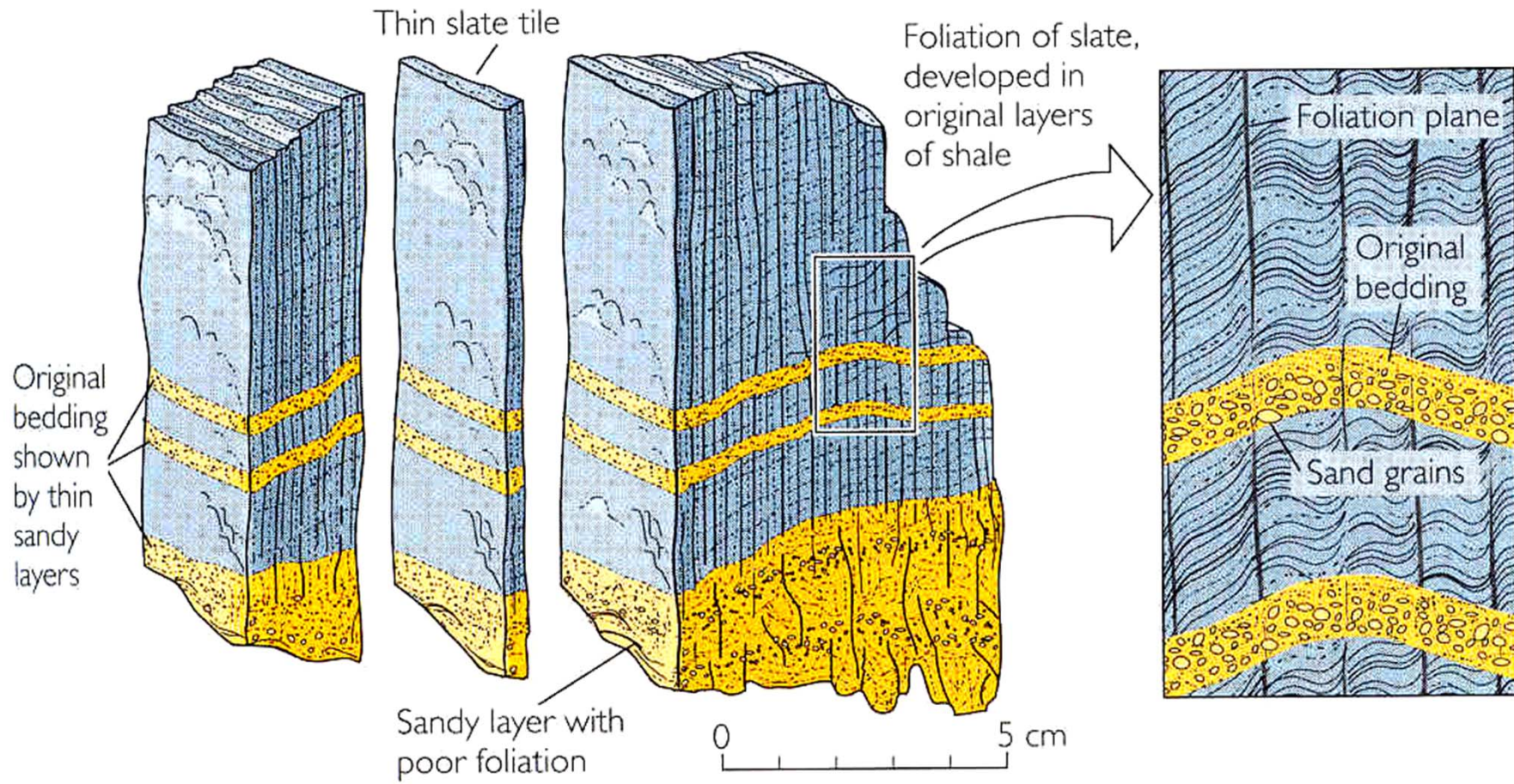
(a)



(b)



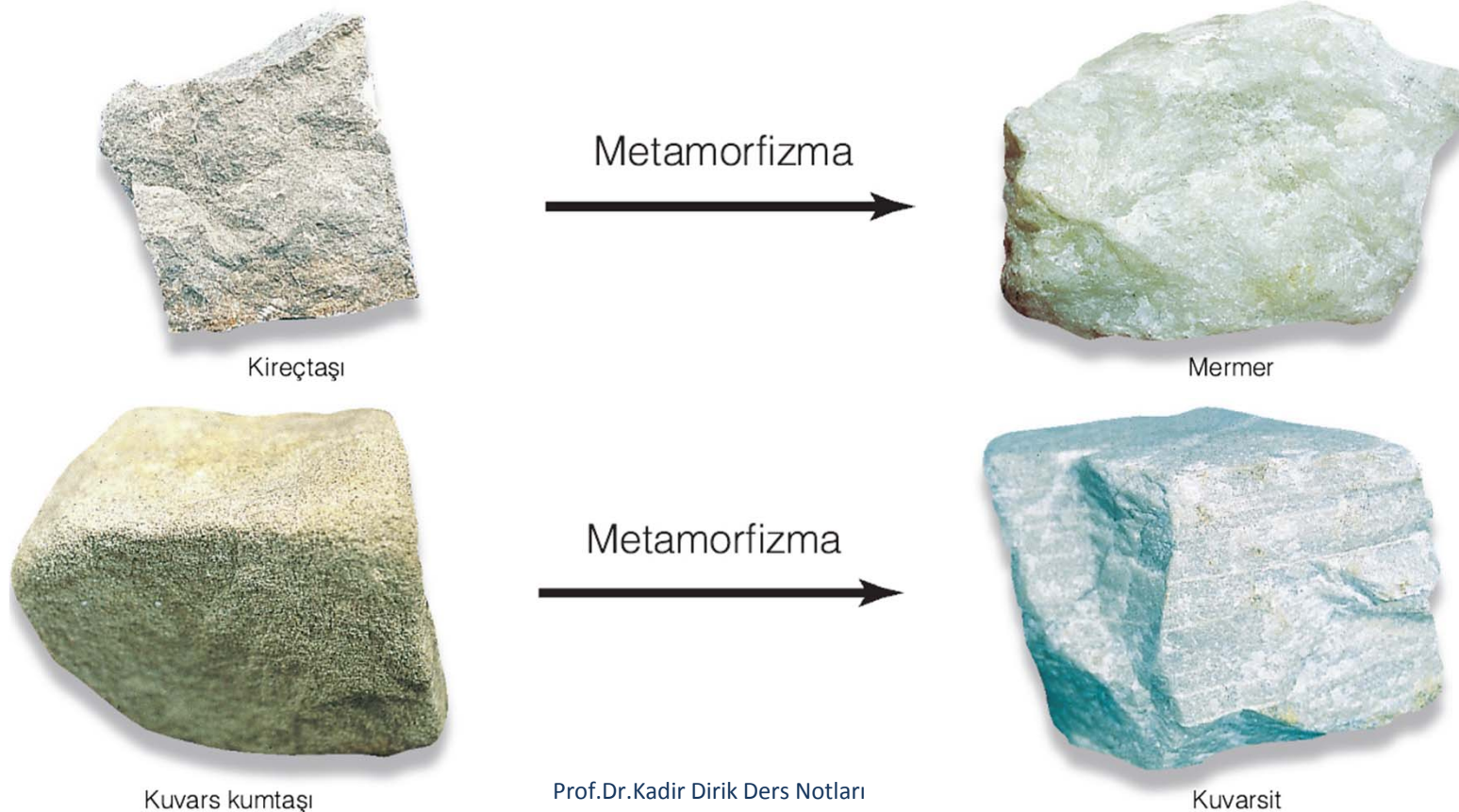
(c)



Foliasyon düzlemlerini ve kalıntı orijinal tabakalanmayı gösteren diyagram.

Yapraklanmasız Metamorfik Kayaçlar

Kimi metamorfik kayaçlarda mineral taneleri göze çarpan bir yönlenme göstermez. Bu kayaçlar **yapraklanmasız dokuya** sahip olarak nitelendirildiği kabaca eş boyutlu minerallerden oluşan bir mozaikten oluşurlar. Birçok yapraklanmasız metamorfik kayaç, hiçbir levhamsı ya da uzamış minerale sahip olmayan kayaçların kontakt ya da bölgesel metamorfizmasıyla oluşurlar. Sıklıkla taneli bir kayanın metamorfizma geçirdiğinin tek göstergesi, genellikle yeniden kristallenmenin sonucunda olan iri tane büyüklüğüdür.

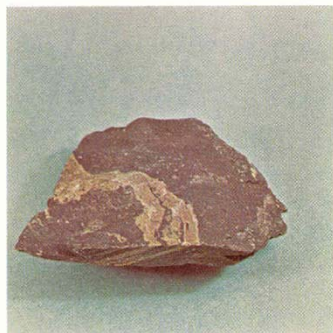


Doku	Metamorfik Kayaç	Tipik Mineraller	Metamorfizma Derecesi	Kayaçların Özellikleri	İlkel Kayaç
Yapraklanmasız (Foliasyon göstermeyen)	Mermer	Kalsit, dolomit	Orta-yüksek	Kenetlenmiş kalsit ya da dolomit kristalleri HCl ile köpürür	Kireçtaşı ya da dolotaşı
	Kuvarsit	Kuvars	Orta-yüksek	Kenetlenmiş, kuvars kristalleri, sıkı, yoğun	Kuvars kumtaşı
	Yeşiltaş	Klorit, epidot, hornblend	Düşük-yüksek	İnce taneli, yeşil renkli	Mafik magmatik kayaçlar
	Hornfels	Mika, granatlar, andaluzit, kordiyerit, kuvars	Düşük-yüksek	İnce taneli, eşboyutlu kristaller, sıkı, yoğun	Çamurtaşları
	Antrasit	Karbon	Yüksek	Siyah, parlak, konkoidal kırılmalı	Kömür

METAMORFİK KUŞAKLAR VE FASİYESLER

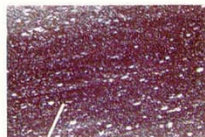
Yapılan çalışmalar metamorfik kayaçların, belirli silikat mineral topluluklarının varlığına göre farklı kuşaklara ayrılabilmesini göstermiştir. Her biri, bir ya da daha çok indeks mineralin varlığıyla tanımlanan bu mineral toplulukları, farklı metamorfizma derecelerini gösterirler. Bu çalışmalarda artan metamorfizma şiddetini göstermek için indeks mineral olarak **klorit, biyotit, granat, stavrolit, kyanit (disten) ve sillimanit** kullanılmıştır. Bunların kilce zengin çökel kayaçlardan gelen metamorfik mineraller olduğuna dikkat ediniz. Diğer mineral toplulukları ve indeks mineraller ise farklı ilksel bileşime sahip kayaçlardan türemiştir.

Metamorfik indeks minerallerinin ardışık biçimde ortaya çıkışı, metamorfizmanın dereceli olarak artışı ya da azalışını gösterir. Düşük dereceliden yüksek dereceli kuşaklara giderken belirli bir indeks mineralin ilk kez ortaya çıkışı, o mineralin oluşumu için gerekli olan en az sıcaklık ve basınç koşullarının olduğu yeri gösterir. Bu indeks mineralin ilk görüldüğü yerler bir harita üzerinde birleştirildiğinde ortaya eşit metamorfik şiddette bir çizgi ya da **izograd çıkar**. *izogradlar arasındaki bölgeye ise **metamorfik kuşak** denir.* Metamorfik indeks minerallerin bulundukları yerler gözetilerek, tüm bir alanın metamorfik kuşaklarını gösteren bir harita oluşturulabilir.



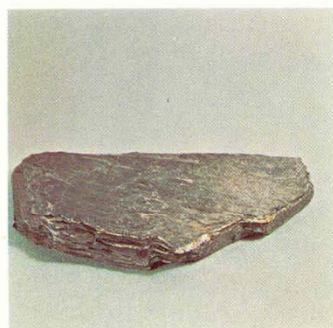
Hand specimen

Photomicrograph (X5)



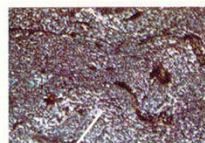
Deformed shale particles

Figure 98. Slate



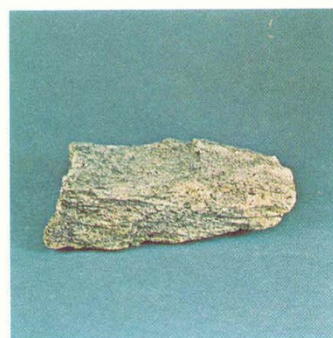
Hand specimen

Photomicrograph (X5)



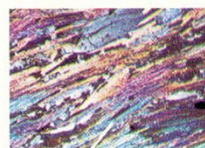
Mica crystals

Figure 99. Phyllite



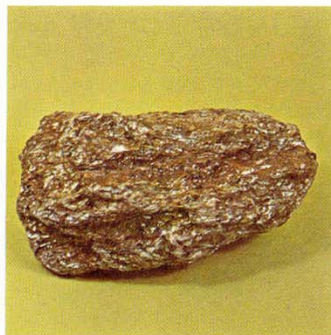
Hand specimen

Photomicrograph (X5)



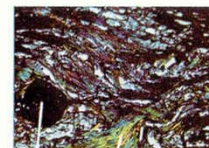
Mica crystals

Figure 100. Schist



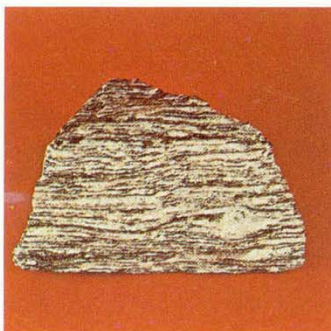
Hand specimen

Photomicrograph (X5)



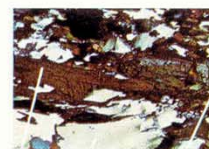
Garnet Mica

Figure 101. Schist



Hand specimen

Photomicrograph (X5)



Mica Quartz Feldspar

Figure 102. Gneiss



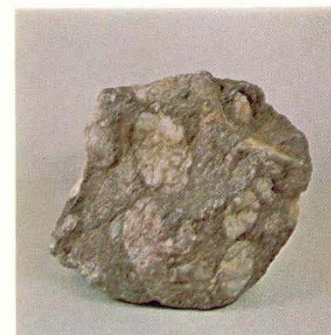
Hand specimen

Photomicrograph (X5)



Quartz Pyroxene Mica

Figure 103. Gneiss



Hand specimen

Photomicrograph (X5)



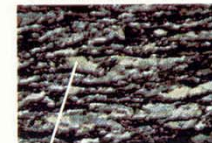
Quartzite matrix Quartzite pebble

Figure 104. Metaconglomerate



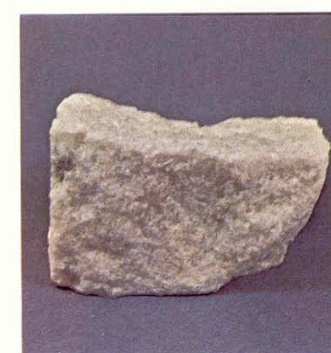
Hand specimen

Photomicrograph (X5)



Deformed sand grains

Figure 105. Quartzite



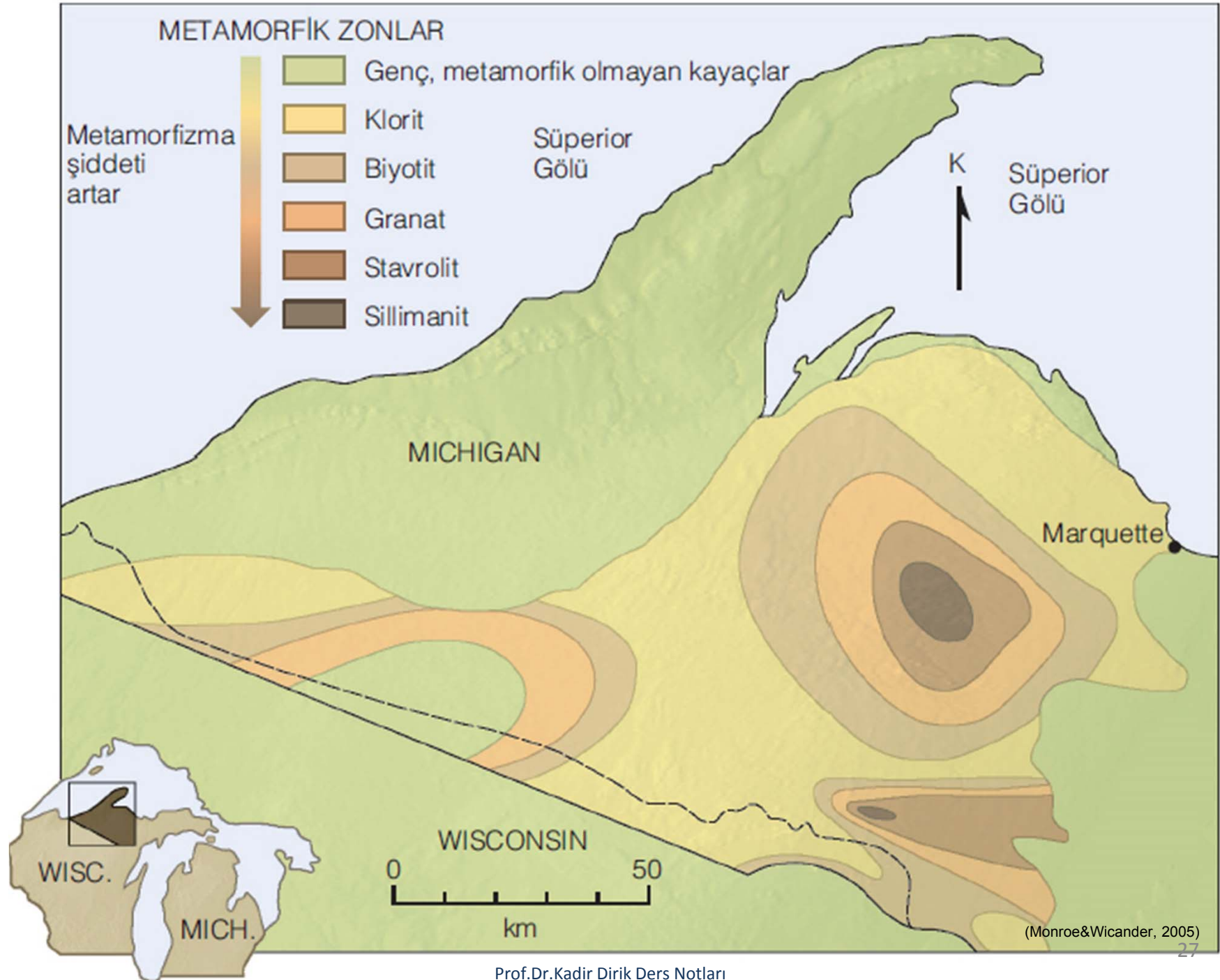
Hand specimen

Photomicrograph (X5)



Calcite crystals

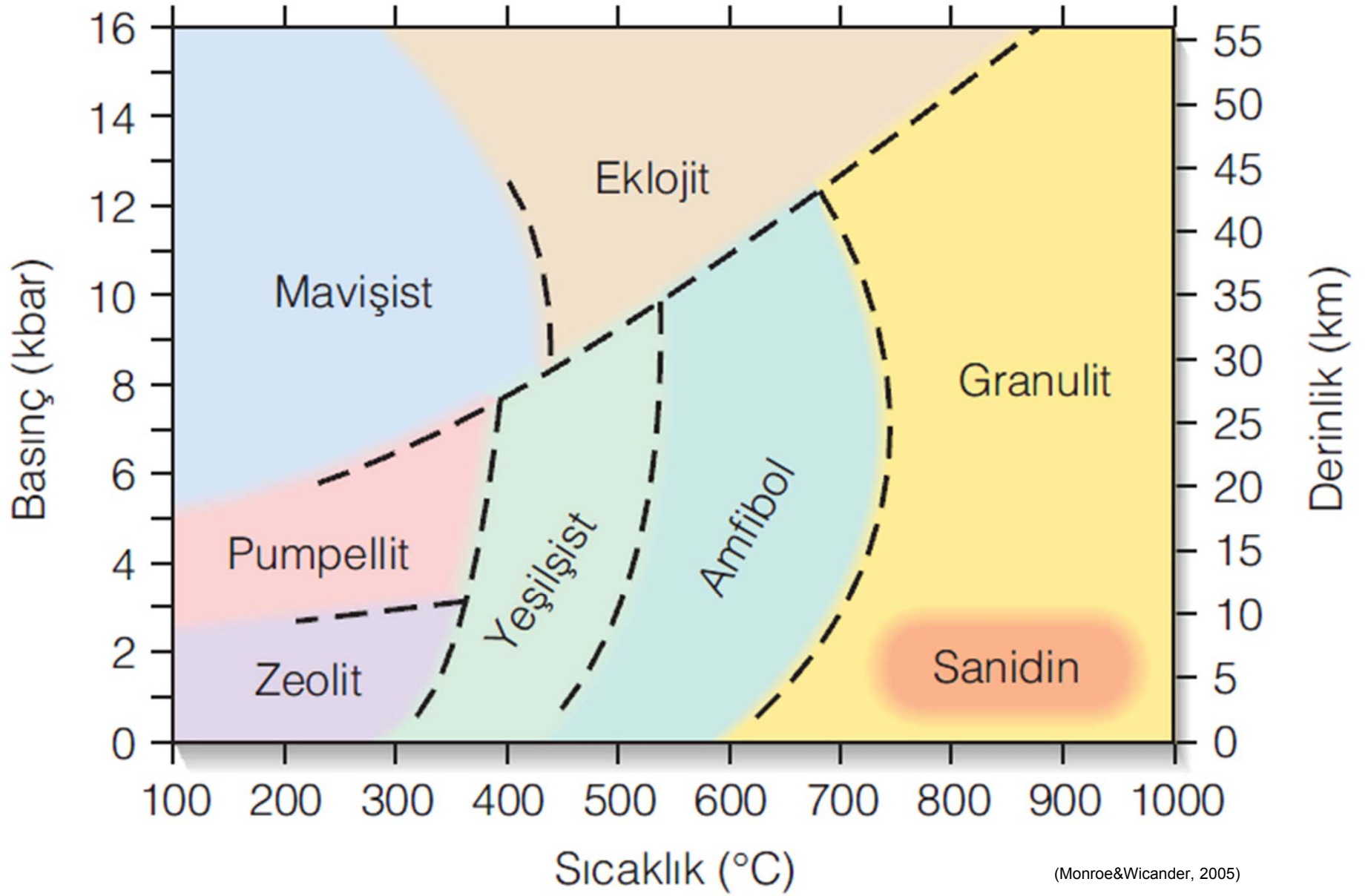
Figure 106. Marble



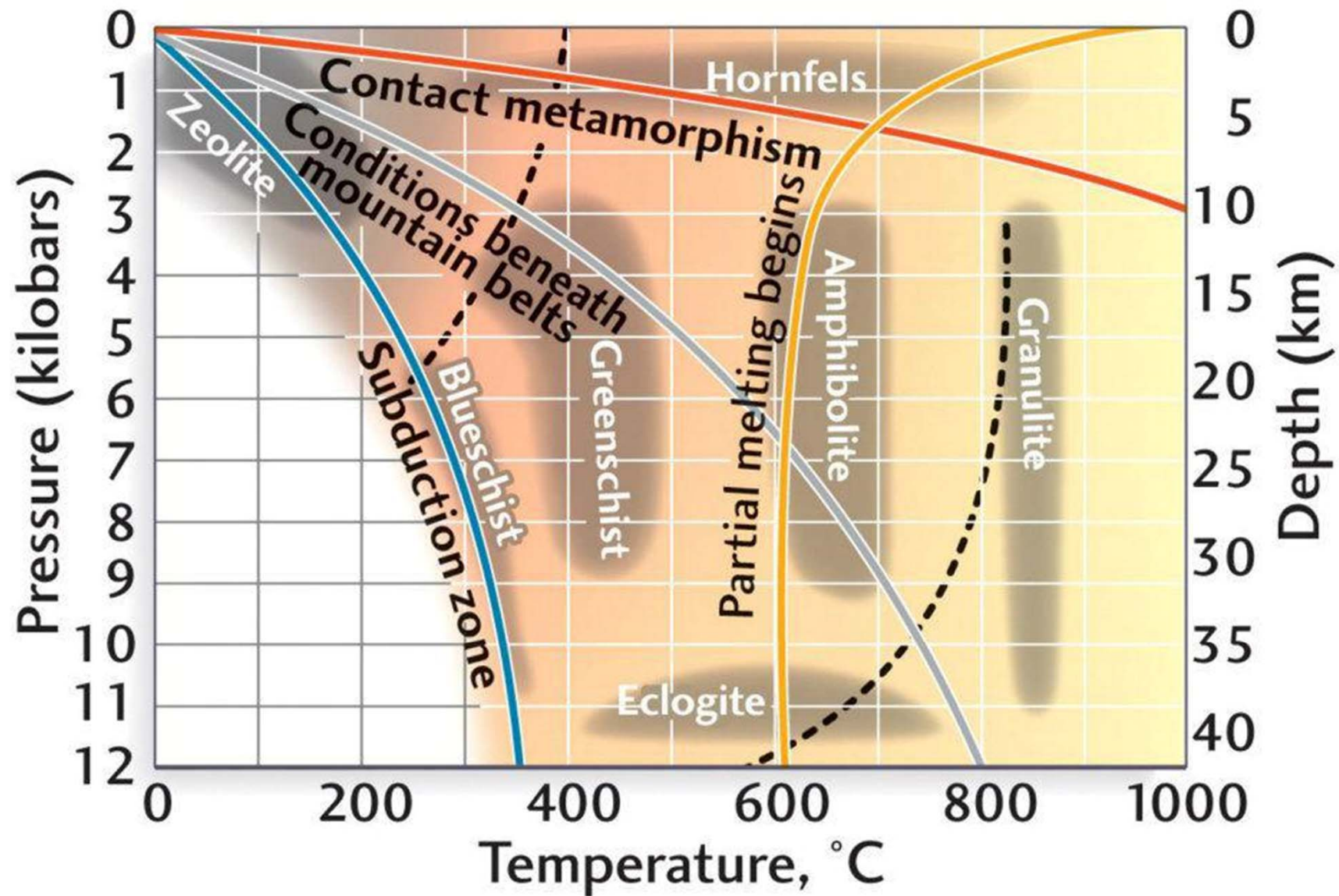
Metamorfik Fasiyes

Farklı metamorfik kayalarla yönelik yapılmış çok sayıda çalışma, herhangi bir kayacın dokusu ve bileşiminin metamorfizma ile bozunduğu halde tüm kimyasal bileşiminin çok az değişebildiğini göstermiştir. Öyleyse aynı ilksel kayadan türeyen ve giderek artan biçimde daha yüksek dereceli metamorfik kayalarda bulunan farklı mineral topluluklarının nedeni sıcaklık ve basınçtaki değişimlerdir.

•**Metamorfik fasiyes**, *aynı sıcaklık - basınç koşullarında oluşmuş kendine özgü mineral topluluklarıyla temsil edilen metamorfik kayalar grubudur*. Her fasiyes, içerdiği en ayırtman kayaç ya da minerale göre adlandırılır. Örneğin görece daha **düşük sıcaklık ve basınç** koşullarında oluşan yeşil renkli metamorfik **klorit** minerali, **yeşilşist fasiyesine** ait kayaları işaret eder. Artan biçimde daha **yüksek sıcaklık ve basınç** koşullarında ise **amfibolit ve granülit fasiyesi** gibi başka metamorfik fasiyesler gelişir. Genellikle ilksel kayaların kilce zengin olduğu alanlara uygulanmasına rağmen metamorfik fasiyes kavramı bazı değişikliklerle diğer durumlarda da kullanılabilir. Ancak ilksel kayaların **saf kuvars kumtaşları ya da saf kireçtaşları ya da dolotaşları olduğu alanlara uygulanamaz**. Böylesi kayalar sırasıyla yalnızca kuvarsitleri ve mermerleri ortaya çıkarırlar.

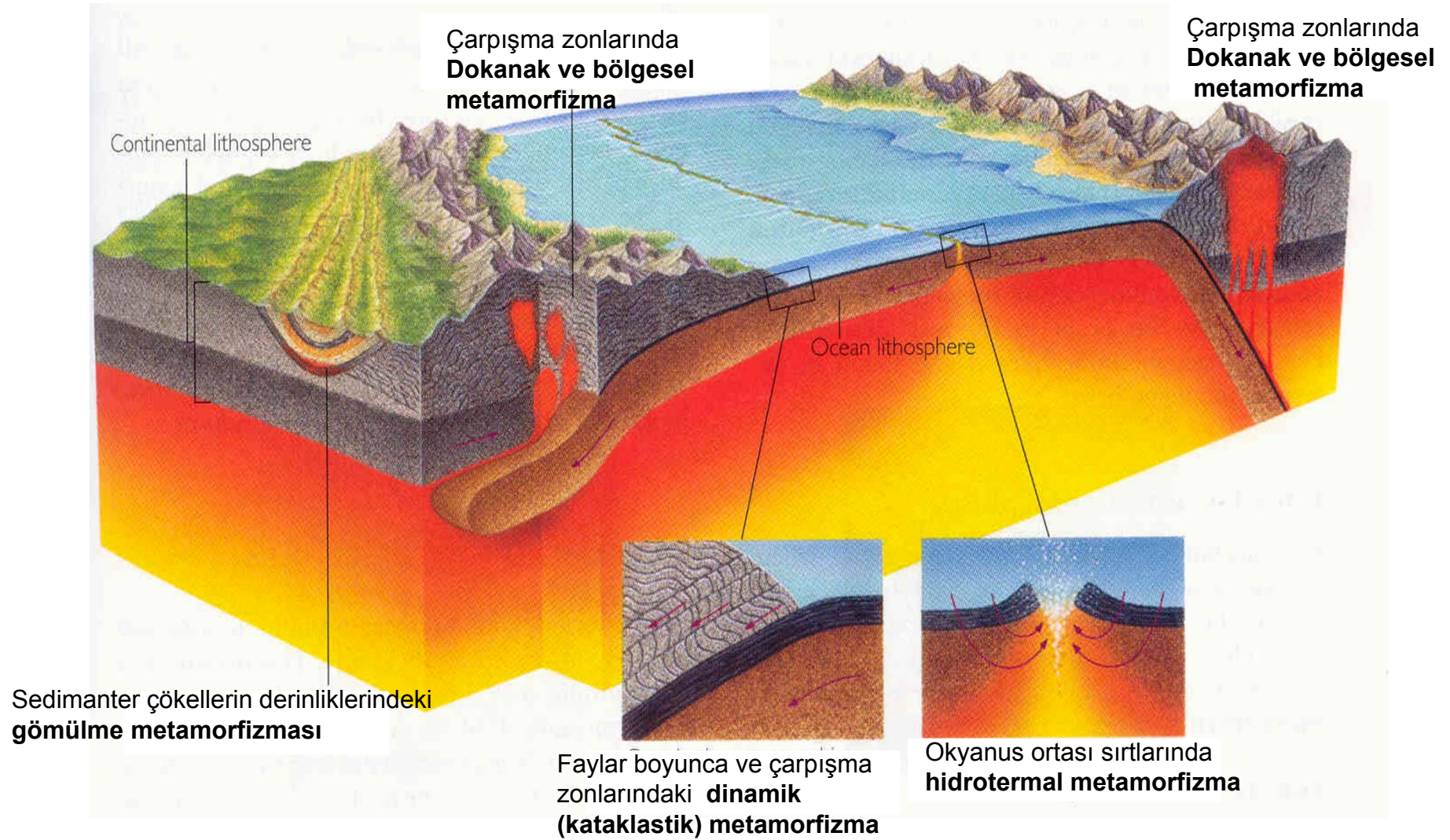


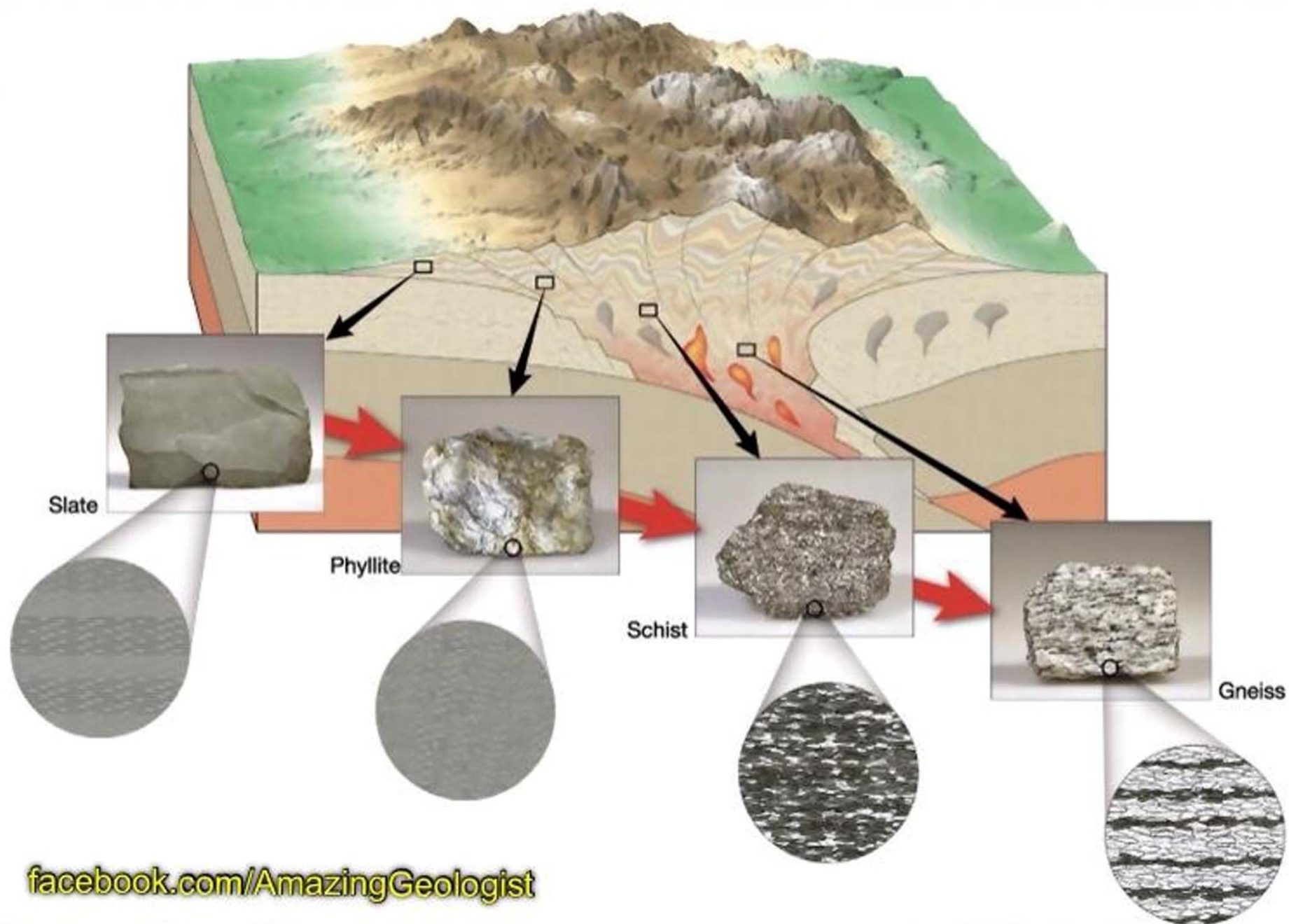
INDEX MINERALS, GRADE, AND FACIES DESCRIBE METAMORPHISM



LEVHA TEKTONĞİ VE METAMORFİZMA

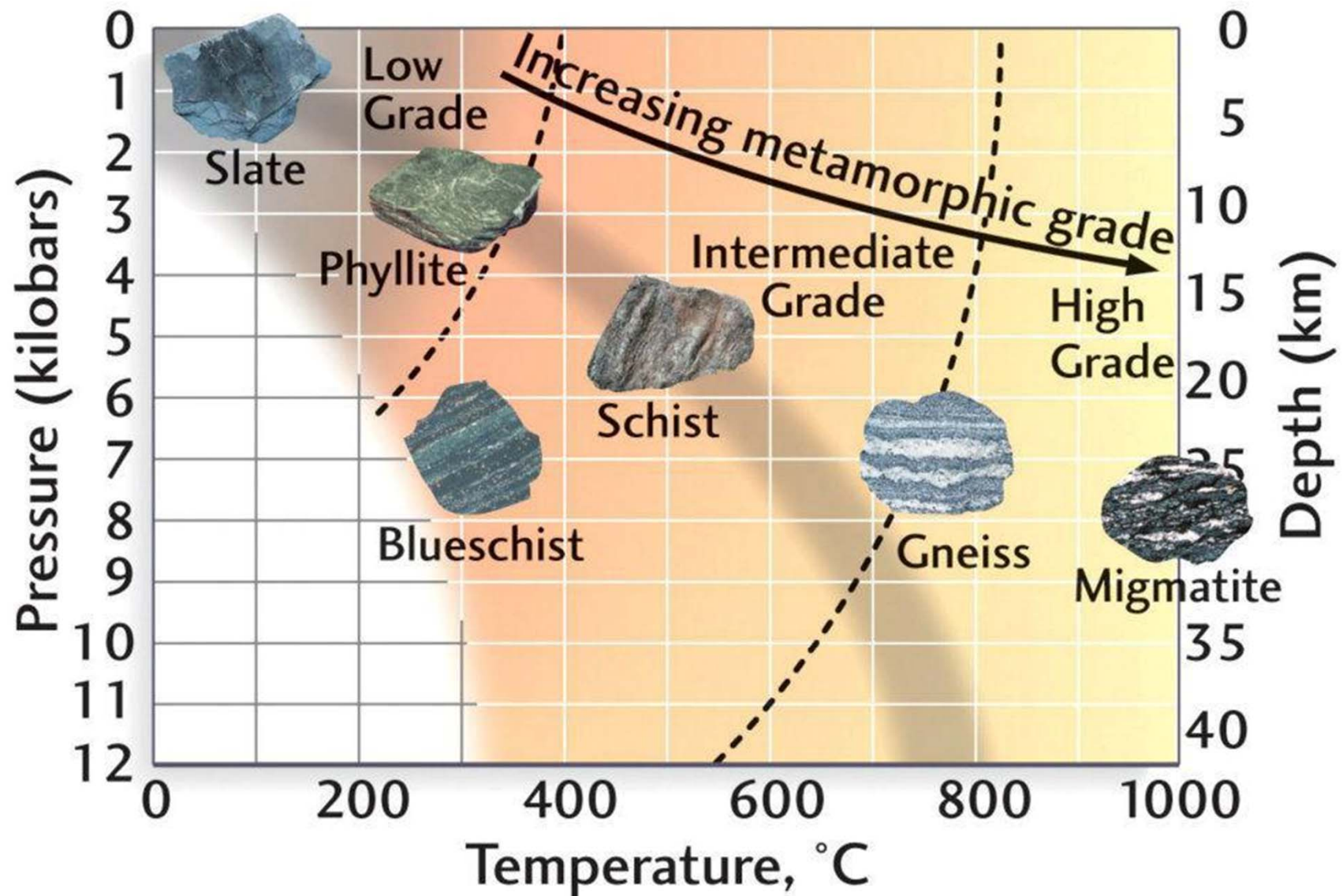
Üç levha sınırı tipinin tümüyle ilişkilendirilmesine karşın metamorfizma, yakınlaşan levha sınırlarında en yaygın durumdadır. Metamorfik kayalar, levha çarpışmalarının sonucunda sıcaklık ve basınç arttığından ötürü yakınlaşan levha sınırlarında oluşur. yakınlaşan bir okyanusal - kıtasal levha sınırı boyunca ortaya çıkan çeşitli basınç ve sıcaklık rejimleri ile metamorfik fasiyes tipi ve sonuçta oluşan kayaları gösteriyor. Okyanusal levhanın kıtasal levhayla çarpıştığı yaklaşan levha sınırında, okyanusal levha altta yiterken büyük bir basınç oluşur. Kayacın zayıf iletken olduğundan dolayı yiten soğuk okyanusal levha çok yavaş bir biçimde ısınır ve derinlikle artan basınç çoğunlukla metamorfizmaya yol açar. Böylesi bir ortamdaki metamorfizma, **mavi renkli amfibol minerali glokofan** ile temsil edilen **mavişist fasiyesine özgü** (düşük sıcaklık, yüksek basınç) kayaları oluşturur. Bu nedenle bir bölgede mavi şist fasiyesi kayalarının bulunuşu eski yitim kuşağının kanıtı olarak kullanılır. Kaliforniya Kıyı Dağlarında mükemmel bir mavi şist metamorfizması bulunur. Buradaki Franciscan Karmaşığı kayaları önceki bir yitim kuşağının varlığını açıkça kanıtlayan düşük sıcaklık, yüksek basınç koşullarında metamorfizmaya uğramışlardır. Okyanusal - kıtasal levha sınırları boyunca yitim sürdükçe hem sıcaklık ve hem de basınç derinlikle artar ve yüksek dereceli metamorfik kayalar ortaya çıkabilir. Sonuçta, yiten levha ergimeye başlar ve yukarı doğru hareket eden bir magmayı üretir.





Low Grade **High Grade**

INDEX MINERALS, GRADE, AND FACIES DESCRIBE METAMORPHISM



METAMORFİZMA VE DOĞAL KAYNAKLAR

Çok sayıda metamorfik kayaç ve mineral değerli doğal kaynaklardır. Bu kaynaklar değişik tiplerde cevher yataklarını içerdiği halde en çok bilinen ve geniş ölçüde kullanılan iki metamorfik kayaç yüzyıllardır çeşitli biçimlerde kullanılan **mermer** ve **kayrak**tır.

Birçok cevher yatağı sıcak, demirce zengin akışkanların zengin cevher yatakları üretecek biçimde yan kayaçların içine sokulan magma kütlelerinden ayrıldığı sırada kontakt metamorfizma ile oluşurlar. Kontakt metamorfizma ile ilişkili olan en yaygın **sülfid cevheri** mineralleri **bornit, kalkopirit, galen, pirit ve sfalerit**tir; en yaygın iki **oksit cevher minerali** ise **hematit ve manyetit**tir. **Kalay ve tungsten** de kontakt metamorfizma ile ilişkili önemli cevher yataklarıdır.

Ekonomik olarak önemli diğer metamorfik mineraller ise **talk pudrası** üretimi için talkı; kurşunkalemler ve kuru yağlayıcılar için **grafit**; niteliğine bağlı olarak aşındırıcı ya da süstaşı olabilen **granat ve korundum** ile tümü yüksek sıcaklığa dayanan porselenler ile bujiler ve ocak astarları gibi ürünlerin yapımında kullanılan **andaluzit, kyanit (disten) ve sillimanit**tir.

Maden yatağı	Ana Mineral	Formül	Kullanımı
Bakır	Bornit Kalkopirit	Cu_5FeS_4 CuFeS_2	İmalat, taşıma, iletişim ve yapı sektörlerinde kullanılan en önemli bakır kaynakları
Demir	Hematit Manyetit	Fe_2O_3 Fe_3O_4	Yapı, imalat, taşıma ve iletişim sanayilerinin hemen her alanında kullanılan çeliğin başlıca demir kaynağı
Kurşun	Galen	PbS	Bataryalar, borular, lehimde ve aşınmaya dirençli malzemenin gerektiği diğer alanlarda kullanılan başlıca kurşun kaynağı
Kalay	Kassiterit	SnO_2	Kalay kaplama, lehim, alaşımlar ve kimya sanayisinde kullanılan başlıca kalay kaynağı
Tungsten	Şelit Volframit	CaWO_4 $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$	Metalleri sertleştirme ve karpit imalatında kullanılan ana tungsten kaynağı
Çinko	Sfalerit	$(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$	Bataryalarda, demir galvanizleme ve pirinç yapımında kullanılan ana çinko kaynağı