

*İZ ELEMENTLER ve
DAĞILIM*

KATSAYILARI

Jeokimya 3. ders

(Distribution Coefficients/Partition Coefficients)

YERKABUĞUNUN KİMYASAL BİLEŞİMİ

- Yer kabuğunda en bol bulunan elementler silikat minerallerinin çatısını oluşturan Si ve O'dir.
- Silikatlar dışında kabukta:
 - Nabit elementler (metal veya alaşım olarak)
 - Oksitler
 - Sülfatlar
 - Karbonatlar
 - Fosfatlar gibi basit veya karmaşık oksitler
 - Sülfidler ve halitler bulunur.

- Yer kabuğundaki bu karmaşık mineralojik bileşim nedeniyle, kabuk içinde elementlerin bolluklarını belirlemek çok güçtür.
- Yer kabuğundaki değişik kayaç birimlerinde yapılan çalışmalarla elementlerin bolluk dereceleri belirlenmiştir → Clark
 - Clark: Elementin kabuktaki yüzdesidir.

**Önemli metallerin işletilebilir değerde maden yatağı
oluşturmaları için gereken en az zenginleşme
oranları**

Metal	Clarke değeri % (a)	Ekonomik alt sınır % (b)	Zenginleşme oranı=b/a
Al	8.13	30	4
Fe	5.00	32	6
Ni	$8 \cdot 10^{-3}$	1.5	125
Cu	$6 \cdot 10^{-3}$	1	160
Mn	$1 \cdot 10^{-1}$	35	350
U	$2 \cdot 10^{-14}$	0.1	500
Zn	$7 \cdot 10^{-3}$	4	600
Au	$4 \cdot 10^{-7}$	0.0005	1250
Cr	$1 \cdot 10^{-2}$	30	3000
Pb	$13 \cdot 10^{-4}$	4	3100
Sn	$2 \cdot 10^{-4}$	1	5000

Örneğin yer kabuğunda bolluk bakımından 3. sırada bulunan Al, ekonomik olarak işletilebilecek bir yatağı **bugünkü ekonomik koşullarda** yaklaşık 4 kat zenginleşerek oluştururken Au'nın enaz 1250 , Zn'nun 600, Ni'in 125 kat zenginleşmesi gerekir.

ELEMENTLERİN JEOKİMYASAL SINIFLAMALARI

- Elementlerin birbirine benzer ve farklı özellikleri vardır (örneğin La benzeri davranan lantanidler ve Ac benzeri davranan aktinidler)
- Bu davranış biçimlerini anlamak ve bunlardan sonuçlar çıkarabilmek için, uzun yıllar alan çalışmalar sonucunda çeşitli jeokimyasal sınıflamalar geliştirilmiştir.

GOLDSCHMIDT SINIFLAMASI

■ **Litofil Elementler:**

- Oksit ve Silikat fazlarda bulunurlar ve yeryuvarının ilk 100 km'sinde yoğunlaşırlar.
- IA 8H, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr)
- IIA (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra)
- IIIA (B, Al, [Ga])
- IVA (C, Si, Sn, [Ge])
- VIIA (F, Cl, Br, I)
- IIIB (Sc, Y, La, Ac)
- IVB (Ti, Zr, Hf)
- VB (V, Nb, Ta)
- ve Mn, Cr, W, P, [Fe], [Co], [Ni], Lantanid ve Aktinidler

KÖŞELİ PARANTEZLER
İÇİNDEKİ ELEMENTLER
BİRKAÇ GRUPTA BİRDEN
BULUNURLAR!!!

■ **Kalkofil Elementler:**

- Kabukta bulunan ve oksitlerden ziyade S, As, Se gibi ametallere karşı daha duyarlı olan ve sülfürlü cevher kütleleri içinde yoğun olarak bulunan elementlerdir.
- Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, Mo, Fe, Co, Ni, [Ga], [Ge], Pb, As, Sb, Bi, S, Se, Te

■ **Siderofil Elementler:**

- Çekirdekte yoğunluk gösteren , demire karşı duyarlılıkları kükürte karşı duyarlılıklarından daha fazla olan ve nabit halde bulunabilen elementlerdir.
- Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Re, Au, [As], [W]

■ **Atmofil Elementler:**

- Yeryuvarı atmosferinde zenginleşen ve element halinde bulunan elementlerdir.
- N, O, H, C, He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn

■ **Biyofil Elementler:**

- Organizmaların bünyesinde bulunan elementlerdir.
- H, C, N, O, P

GOLDSCHMIDT

SINI FLAMASI

		Atmophile Lithophile Chalcophile Siderophile Artificial																	
	IA	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	
1	¹ H																	² He	
2	³ Li	⁴ Be											⁵ B	⁶ C	⁷ N	⁸ O	⁹ F	¹⁰ Ne	
3	¹¹ Na	¹² Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B				IB	IIB	¹³ Al	¹⁴ Si	¹⁵ P	¹⁶ S	¹⁷ Cl	¹⁸ Ar
4	¹⁹ K	²⁰ Ca	²¹ Sc	²² Ti	²³ V	²⁴ Cr	²⁵ Mn	²⁶ Fe	²⁷ Co	²⁸ Ni	²⁹ Cu	³⁰ Zn	³¹ Ga	³² Ge	³³ As	³⁴ Se	³⁵ Br	³⁶ Kr	
5	³⁷ Rb	³⁸ Sr	³⁹ Y	⁴⁰ Zr	⁴¹ Nb	⁴² Mo	⁴³ Tc	⁴⁴ Ru	⁴⁵ Rh	⁴⁶ Pd	⁴⁷ Ag	⁴⁸ Cd	⁴⁹ In	⁵⁰ Sn	⁵¹ Sb	⁵² Te	⁵³ I	⁵⁴ Xe	
6	⁵⁵ Cs	⁵⁶ Ba		⁷² Hf	⁷³ Ta	⁷⁴ W	⁷⁵ Re	⁷⁶ Os	⁷⁷ Ir	⁷⁸ Pt	⁷⁹ Au	⁸⁰ Hg	⁸¹ Tl	⁸² Pb	⁸³ Bi	⁸⁴ Po	⁸⁵ At	⁸⁶ Rn	
7	⁸⁷ Fr	⁸⁸ Ra		¹⁰⁴ Rf	¹⁰⁵ Db	¹⁰⁶ Sg	¹⁰⁷ Bh	¹⁰⁸ Hs	¹⁰⁹ Mt										
Lanthanides			⁵⁷ La	⁵⁸ Ce	⁵⁹ Pr	⁶⁰ Nd	⁶¹ Pm	⁶² Sm	⁶³ Eu	⁶⁴ Gd	⁶⁵ Tb	⁶⁶ Dy	⁶⁷ Ho	⁶⁸ Er	⁶⁹ Tm	⁷⁰ Yb	⁷¹ Lu		
Actinides			⁸⁹ Ac	⁹⁰ Th	⁹¹ Pa	⁹² U	⁹³ Np	⁹⁴ Pu	⁹⁵ Am	⁹⁶ Cm	⁹⁷ Bk	⁹⁸ Cf	⁹⁹ Es	¹⁰⁰ Fm	¹⁰¹ Md	¹⁰² No	¹⁰³ Lr		

Goldschmidt sınıflamasının dışında elementler yerkabuğundaki litolojik birimlerdeki bolluklarına göre de sınıflanırlar:

Ultrabazik kayalarda yoğun olarak bulunan elementler:

- Mg, Cr, Fe, Ni, Co, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt

Bazik kayalarda yoğun olarak bulunan elementler:

- Ca, Sc, Ti, V, Al, P, Mn, Cu, Zn, Ga, As, Br, Sr, Ag, Cd, Sb

Asidik kayalarda yoğun olarak bulunan elementler:

- Li, Be, B, F, Na, Si, Sr, Rb, K, Y, Zr, Sn, Cs, Ba, La, Hf, Ta, Tl, Pb

Ana ve İz Element Kavramları

- Elementler yeryuvarındaki bolluk derecelerine göre değişik isimler alırlar:
 - *Ana (majör) elementler:*
 - Kayaçlarda bolluk derecesi $> \%1$ veya daha fazla olanlar
 - Kayaç yapıcı elementler (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K gibi)
 - *Tali (minör) elementler:*
 - Kayaçlarda bolluk derecesi $\%1-0.1$ arasında olanlar (P, H, C gibi)
 - *İz (eser) elementler:*
 - Kayaçlarda bolluk derecesi $< \% 0.1$ (< 1000 ppm) arasında olanlar
 - Zr, Nb, Hf, As, Au vs...

Ana ve İz Element Kavramları

- ppm = parts per million = milyonda bir
- 1 gr = 0.001 kg = 0.000001 ton
- 1 t = 1000 kg = 1 000000 gr = 1×10^6 gr
- gr/t = milyonda bir = ppm
- ppb = milyarda 1

İz (eser) elementlerin analizleri gr/t = ppm
yada ppb olarak verilir.

Ekonomik alanda özellikle altın gibi değerli
elementlere ons olarak da değer biçilir.

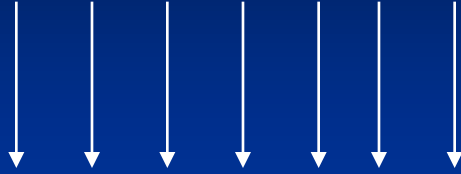
1 ons = 31.10 gr

- İz elementler bazen kendi mineral türlerini oluşturabilirler fakat genelde kayaç oluşturan minerallerin kristal kafeslerinde majör elementlerin yerine geçerler.
- İz elementler modern petrolojinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Özellikle iz element dağılımlarını açıklayan matematiksel modeller petrolojik hipotezlerin kantitatif olarak doğrulanmasında kullanılmaktadır.

İZ ELEMENTLERİN MAGMATİK SİSTEMLERDEKİ GENEL DAVRANIŞLARI VE DAĞILIMLARI

- Magmatik kayaçların kökenini oluşturan magmada bulunan iz elementler manto ergirken veya kristalleşirken ergiyik yada katı fazı (mineral) tercih ederler.
- Mineral fazı tercih eden elementler UYUMLU, ergiyik fazı tercih eden elementler UYUMSUZ elementler olarak tanımlanmaktadır.
- UYUMLULUK ve UYUMSUZLUĞUNUN dereceleri vardır ve iz elementler farklı bileşimdeki ergiyiklerde farklı davranışlar sergilerler...
 - Örneğin manto mineralojisinde P ergiyikte yoğunlaşırken, granitlerde minör bir faz olan apatitin yapısına girer.
- Katı veya ergiyik fazlar arasındaki bu paylaşım elementin büyüklüğü ve yüküne bağlı olarak herhangi bir minerale ait kristal kafesine girebilmesi ile ilişkilidir.

İYON POTANSİYELİ



$$\blacksquare IP = Z/r$$

■ Z: İyonik Yük

■ r: İyon yarıçapı

(HATIRLATMA....

İZOMORF KRİSTALLER :

Atom ve iyonlar birbirlerine benzer büyüklükte iseler karşılıklı olarak her oranda yer değiştirebilirler.

İyonik yüklerin değerlerinin aynı olması gerekmez. İki kristalin birbirine benzeyen yapısı veya izotipliği koşulu vardır.

Örn: Forsterit - Fayalit
 Mg_2SiO_4 Fe_2SiO_4

Na-Plajiolaz - Ca-Plajiolaz
Albit Anortit

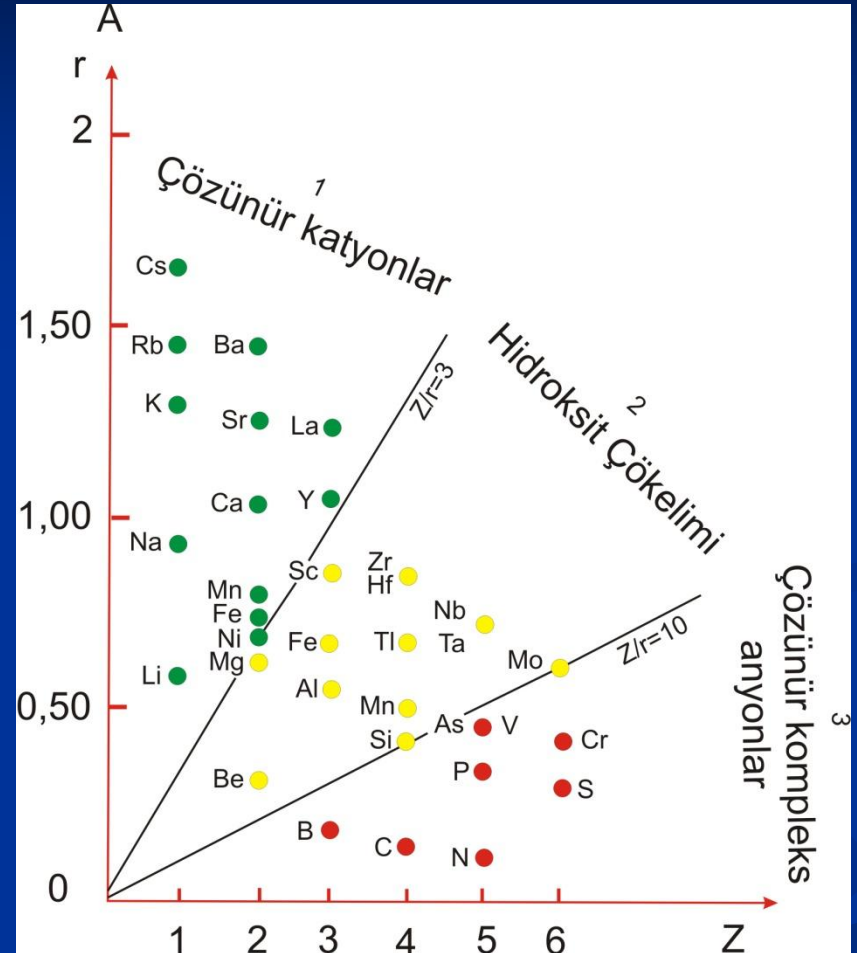
Au-Ag ($r = 1.44 \text{ \AA}$)

DIADOHİ:

Bir yabancı elementin kafesteki başka bir element için ayrılmış olan yeri alması.

Elementler arası benzerlik gerekmez (r gibi).Plajiolaz içine Mg ve Fe girmesi gibi...)

- $Z/r < 3$: Çözülebilir katyonlar.
Silikatların ayrışmasında 1 ve 2 değerli katyonların hemen eriyik hale geçtikleri bilinmektedir. Peridotitlerin ayrışmasında Mg, Ca ve alkaliler ortamdan uzaklaşır.
- Z/r : 3-10 Hidrolize çökelti oluşturur.
Hidroksil iyonları ile birlikte bulunurlar. Fe, Mn ve Al kalıntı yatakları bu şekilde oluşur. Boksitlerde Al ile birlikte Zr, Ti, Hf ve Be un bulunması buna örnektir.
- $Z/r > 10$ Oksijenle büyük kompleks anyonlar yaparlar. Çoğunlukla çözelti meydana getirirler. Si tam sınırda yer alır. İklima bağlı değişim gösterir. Tropikal iklimlerde büyük oranda silis göçü olur.



■ İz elementler genel olarak iyonik potansiyelleri baz alınarak değerlendirildiğinde :

● + LILE

(large ion lithophile element)

(büyük iyon yarıçaplı elementler)

$IP < 2$

Büyük iyon yarıçapları nedeniyle bazı minerallerin kristal kafesine giremeyebilir

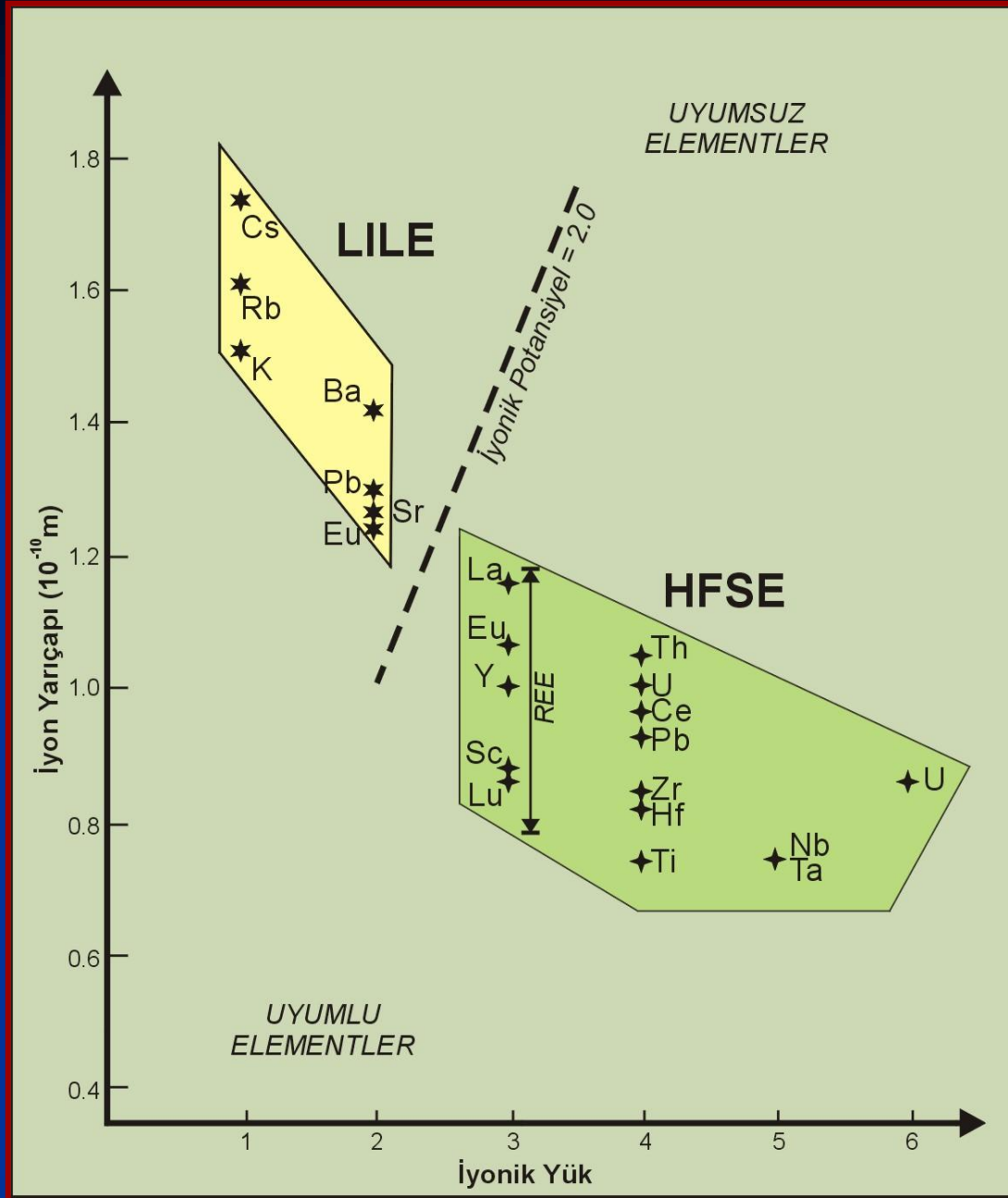
● ++++ HFSE

(high field strength element)

(yüksek çekim alanlı elementler)

Yüksek yükü nedeniyle bazı minerallerin kristal kafesine giremeyen elementler

$IP > 2$

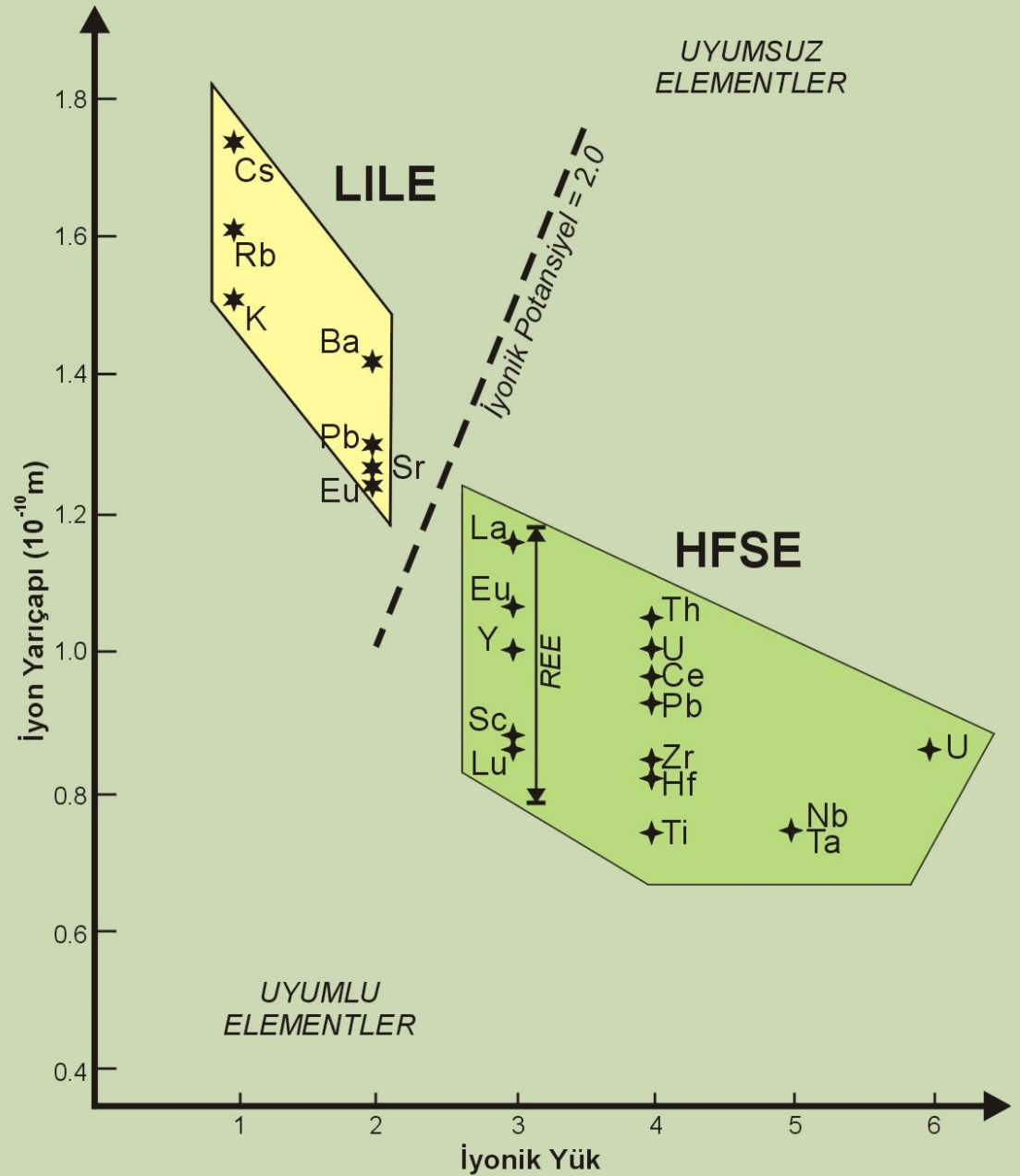


İz elementlerin iyon yarıçapları ve yüklerine göre sınıflandırılması (Rollinson, 1993).



LILE

Rb^+ , Cs^+ , Sr^{2+} , Ba^{2+} , (K^+) gibi elementler yüksek iyon yarı çapları nedeniyle olivin gibi bazı minerallerin kristal kafeslerindeki ilgili boşluklara yerleşemezler. Olivin kristallenirken olivinin kafesine giremeyen bu elementler eriyikte (magma) kalırlar. Ne zaman kalıntı magmadan feldispat, mika gibi LILE elementlerin (büyük iyon yarıçapı düşük yük) kafesine girebileceği mineraller kristallenmeye başlar bu elementler o minerallerin kafeslerine girer.



++++ HFSE

Zr^{4+} , Hf^{4+} , Ta^{4+} , Nb^{5+} , Th^{4+} , U^{4+} , Mo^{6+} , W^{6+} gibi elementler yüksek yükleri nedeniyle birçok mineralin kristal kafeslerindeki ilgili boşluklara yerleşemezler.

Yaygın olarak kendi minerallerini oluştururlar.

Molibdenit MoS_2

Volframit $(Fe, Mn)WO_4$

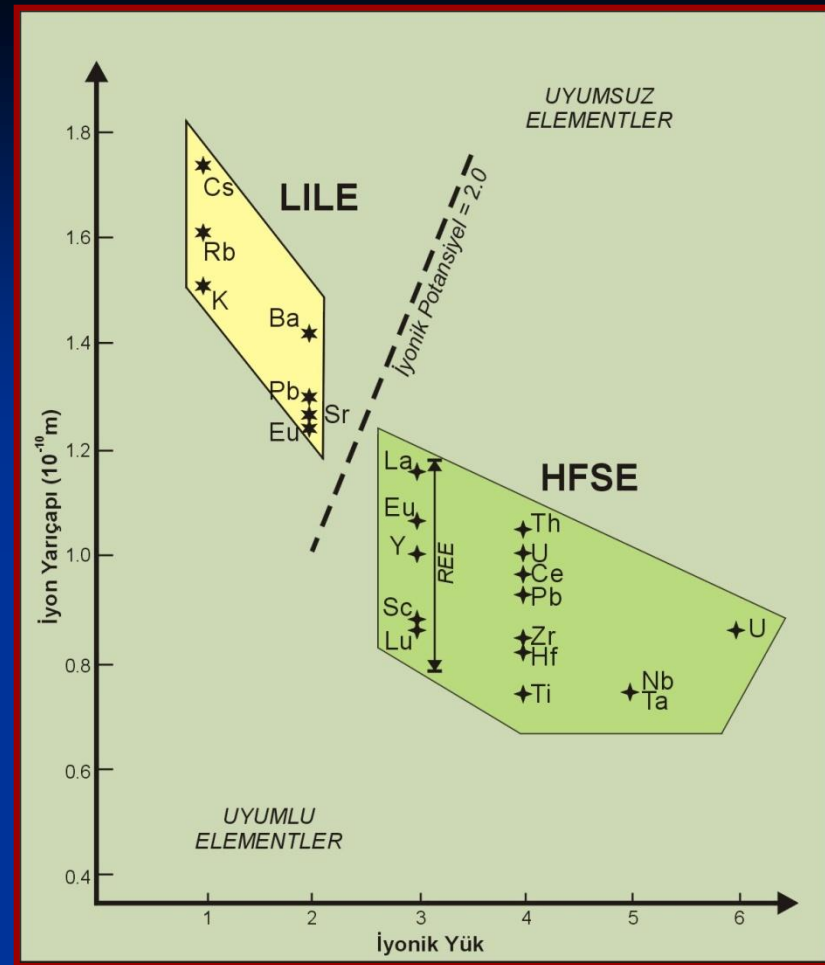
Dört değerli uranyum Th , Zr , NTE Ca ve iki değerli Fe ile izomorf olup ilgili mineral kristal kafesinde bunlarla yer değiştirebilir.

Apatit $Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$ kafesinde, U ile Ca yer değiştirebilir.

Toryum ise örneğin monazit $(Ce, La, Nd, Th)PO_4$ kristal kafesine

girebilir.

Zr ve Hf çok uyumsuz elementler olmakla beraber rutil (TiO_2) içinde Ti 'un yerini alabilirler. Hf eldesi için Zr içeren mineraller (zirkon) kullanılır.



Zirkon $ZrSiO_4$

La, Ce, Pr, Nd, Sm, 3.78 %

Hafnium 4.69 % Hf

Zirconium 43.14 % Zr

Silicon 14.76 % Si

Oxygen 33.63 % O

UYUMLULUK-UYUMSUZLUK...

- Bir elementin bir ortamdaki uyumluluğu veya uyumsuzluğu (dağılımı) dağılım katsayıları ile ifade edilir. Çeşitli dağılım katsayıları bulunmakla beraber en sık kullanılan:

Nernst Dağılım Katsayısı'dır...

$$K_d^i = C_s^i / C_L^i$$

i : element

K_d : Nernst Dağılım Katsayısı

C_s : element i 'nin katıdaki ppm veya ağırlıkça % konsantrasyonu

C_L : element i 'nin sıvıdaki (ergiyikteki) ppm veya ağırlıkça % konsantrasyonu

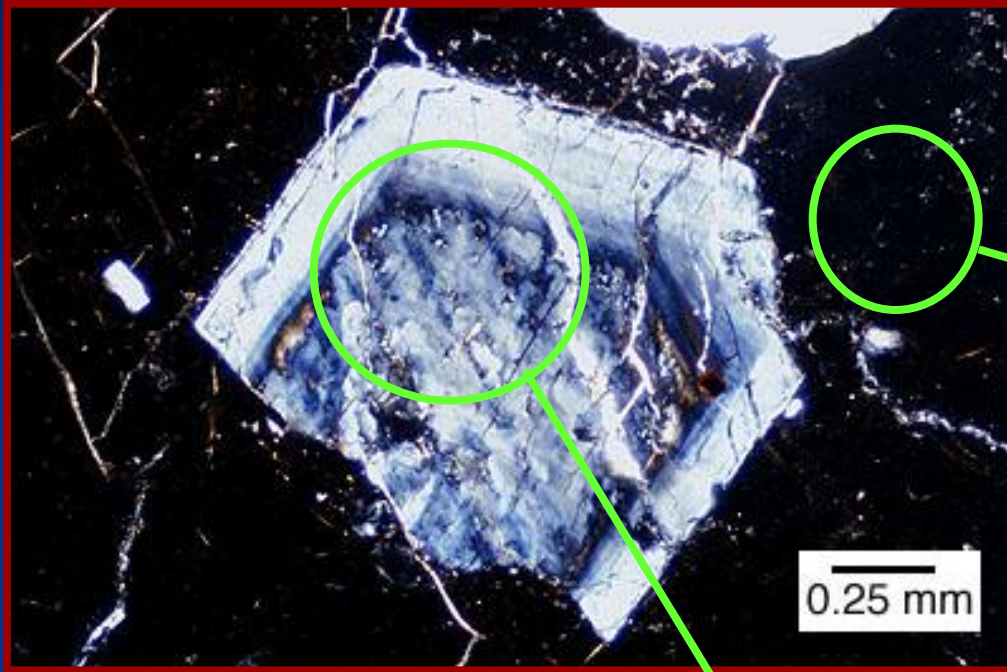
ÖNEMLİ NOT: Dağılım katsayısı mineral-ergiyik arasında yazılabileceği gibi mineral-mineral arasında da yazılabilir

Bir mineral / ergiyik dağılım katsayısı:

- $K_d = 1.0$ ise, element mineral ve ergiyik arasında dengeli dağılmıştır.
- $K_d > 1.0$ ise element mineral fazı tercih etmiştir, yani
 - Element o mineral için uyumludur.
- $K_d < 1.0$ ise element ergiyik fazı tercih etmiştir, yani
 - Element o mineral için uyumsuzdur.

Kısaca: iz elementleri magmatik sistemlerdeki davranışlarına göre uyumlu veya uyumsuz olarak ta ikiye ayırabiliriz.

Nernst Dağılım Katsayısı



Vitrofirik bir bazalt içinde
görülen zonlu plajiyoklas
minerali.

625 ppm

Plajiyoklas taki Sr

Sr için:

Matrikteki Sr

125 ppm

$$K_d = C_{Plj} / C_{Cam}$$

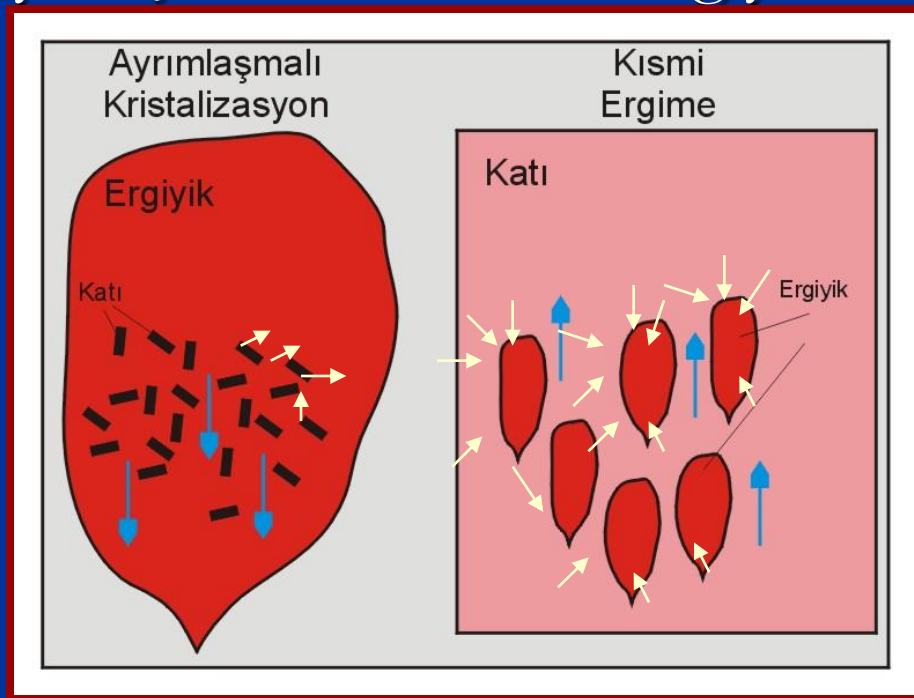
$$K_d = 625 / 125 = 5$$

■ ÖZETLE...

- Uyumlu elementler belirli minerallerin yapılarında yer bulabildikleri için katı fazı tercih ederler.
- Uyumsuz elementler ise ergiyik kısımda kalırlar.

Uyumsuz Elementler (Incompatible Elements)

- Ergime sırasında kaynak kayacı terk ederek ergiyik kısımda yoğunlaşırlar.
- Ayrımlaşmalı Kristalizasyon sırasında kristallere yerleşemediklerinden ergiyik kısımda yoğunlaşırlar.



Uyumsuz elementlerin kısmi ergime ve ayrımlaşmalı kristalizasyonda davranışlarının şematik gösterimi.

← **Elementin tercihi**

↑ **Ergiyik yada kristal fazın hareketi**

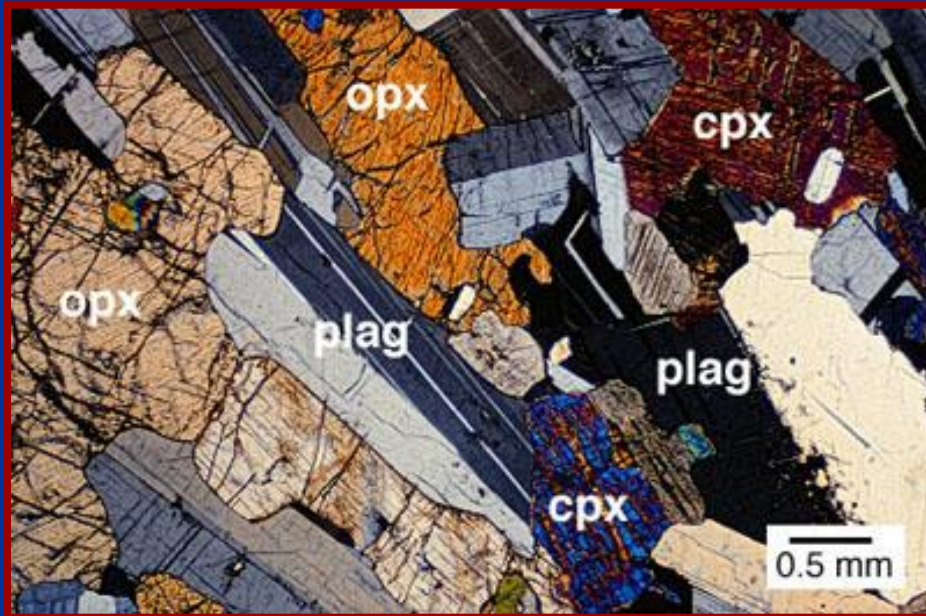
■ ÖNEMLİ NOT:

- Bir element bir faz için uyumlu iken, başka bir faz için uyumsuz olabilir.

Örneğin Ni olivin ve piroksen için uyumlu, plajioklaz için uyumsuzdur...

Kayaçlarda Dağılım Katsayıları

- Birden fazla mineralin olduğu kayaçlarda toplam (bulk) dağılım katsayısı hesaplanır.
- $D = W_A \cdot Kd_A + W_B \cdot Kd_B + \dots = \Sigma WKd$



A: Ortopiroksen	;	W_A : %35
B: Klinopiroksen	;	W_B : %30
C: Plajioklas	;	W_C : %35

Gabroik bir kayacın +N de mikroskop görüntüsü (Opx: ortopiroksen; cpx: klinopiroksen; plag: plajioklas) .

		Olivin	Ortopiroksen	Klinopiroksen	Granat	Plajioklas	Amfibol	Magnetit
Rb		0.010	<u>0.022</u>	<u>0.031</u>	0.042	<u>0.071</u>	0.29	
Sr		0.014	0.040	0.060	0.012	1.830	0.46	
Ba		0.010	0.013	0.026	0.023	0.23	0.42	
Ni		14	5	7	0.955	0.01	6.8	29
Cr		0.70	10	34	1.345	0.01	2.00	7.4
La	Nadir Toprak Elementleri	0.007	0.03	0.056	0.001	0.148	0.544	2
Ce		0.006	0.02	0.092	0.007	0.082	0.843	2
Nd		0.006	0.03	0.230	0.026	0.055	1.340	2
Sm		0.007	0.05	0.445	0.102	0.039	1.804	1
Eu		0.007	0.05	0.474	0.243	1.5*	1.557	1
Dy		0.013	0.15	0.582	1.940	0.023	2.024	1
Er		0.026	0.23	0.583	4.700	0.020	1.740	1.5
Yb		0.049	0.34	0.542	6.167	0.023	1.642	1.4
Lu		0.045	0.42	0.506	6.950	0.019	1.563	

Belirli elementlerin bazı minerallere göre dağılım katsayıları (Rollinson, 1993).

A: Ortopiroksen	;	W_A : %35
B: Klinopiroksen	;	W_B : %30
C: Plajioklas	;	W_C : %35

- Rb elementinin yukarıda verilen modal bileşimdeki mineraloji (kayaç) için toplam (bulk) dağılım katsayısı:

$$D_{Rb} = 0.35 \times 0.022 + 0.30 \times 0.031 + 0.35 \times 0.071 = 0.04185$$

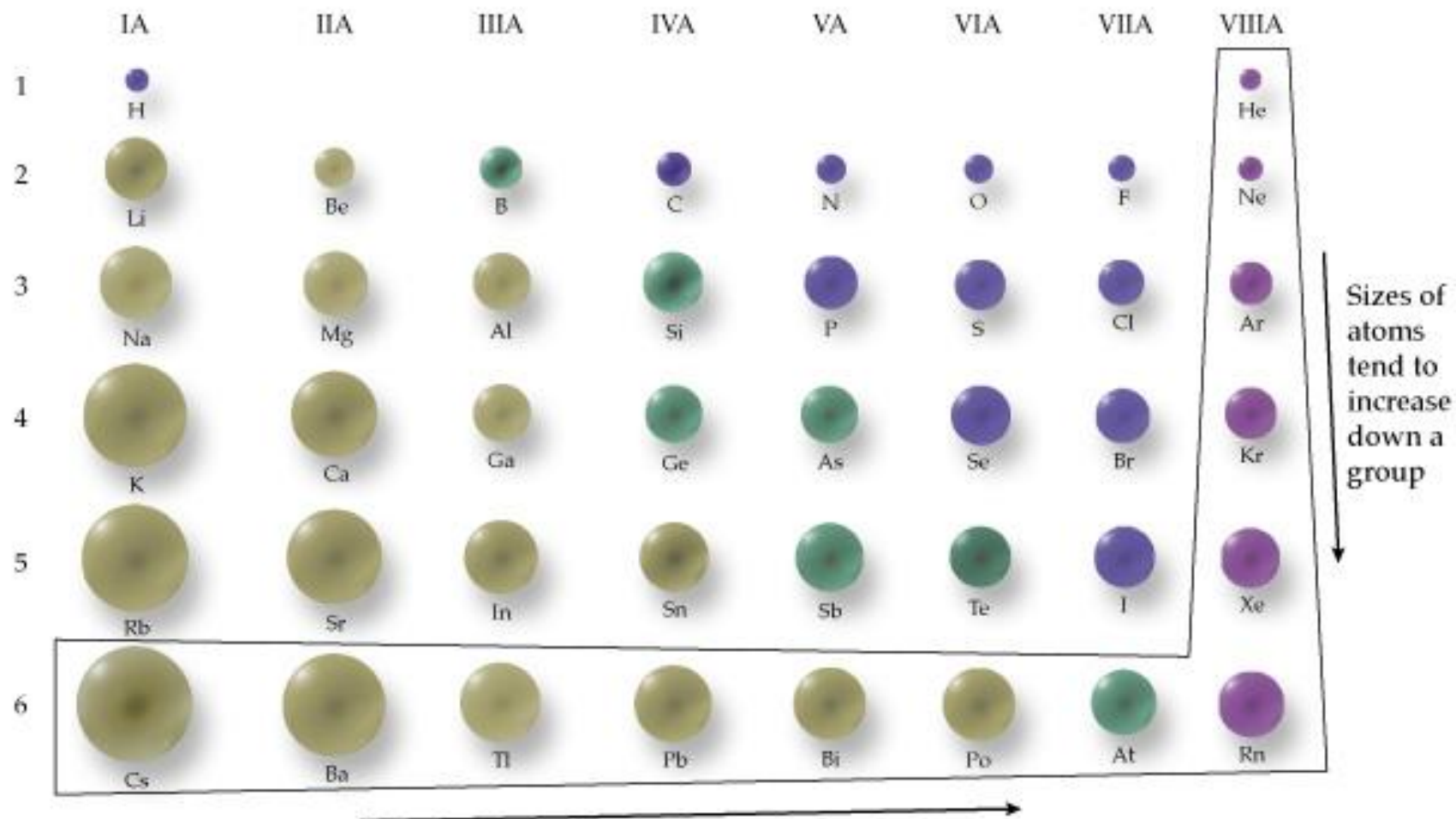
- Dağılım katsayıları magmatik evrim-petrolojik süreçlerin modellenmesinde elde edilmesi gereken ilk veri setini oluşturur.
- Bu nedenle elementlerin jeokimyasal ortamlardaki dağılım katsayılarının bilinmesi çok önemlidir.

Mineraller İçinde Element Dağılımı

Eştip (izotip) kristallerin yapıtaşları (atomlar veya iyonlar) birbirlerine yakın büyüklükte iseler karşılıklı olarak her oranda yer değiştirebilirler.

Yani kesintisiz karışım kristal dizileri oluşturabilirler.

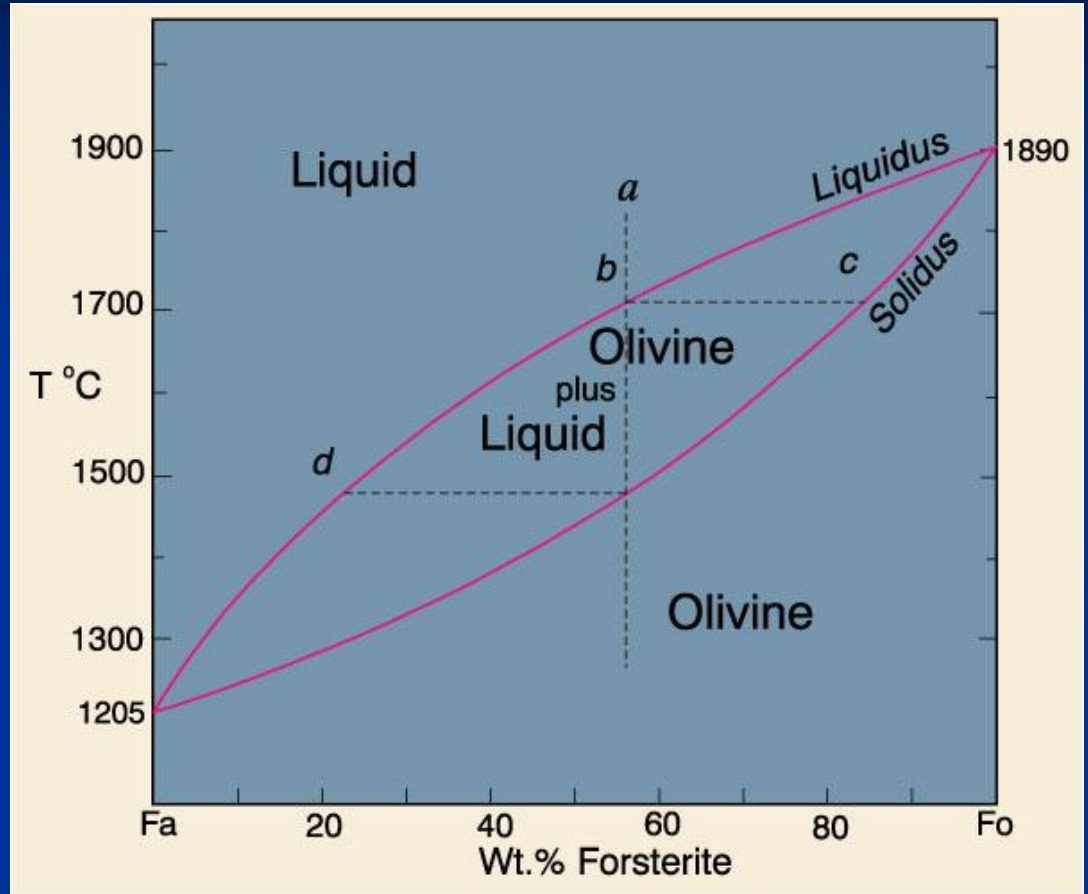
Relative Atomic Sizes of the Representative Elements



Olivin Grubu

Olivinler, forsterit (Mg_2SiO_4) ve fayalit (Fe_2SiO_4) uç bileşenleri arasındaki kesintisiz karışım kristal dizilerinden oluşmaktadır. Burada Fe ve Mg her oranda birbirinin yerini alabilir.

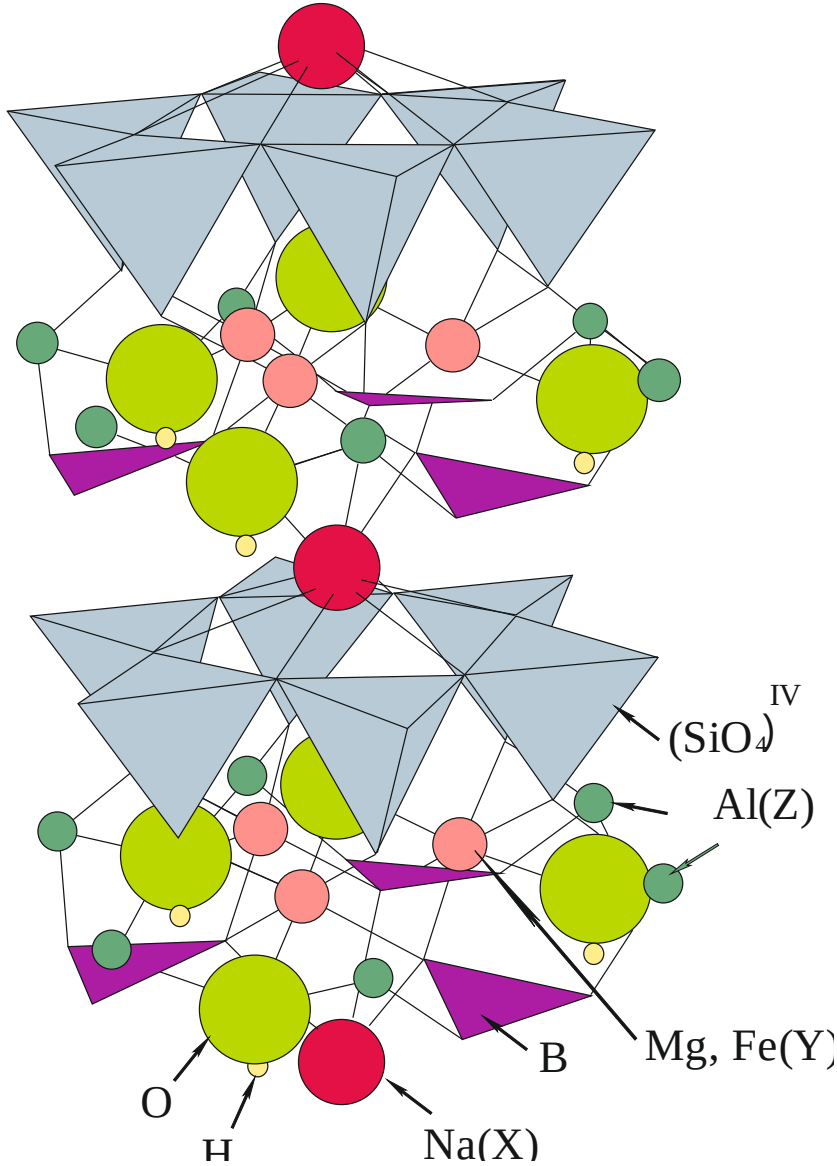
Kesintisiz karışım kristal dizilerde (izomorf seri) kafeste aynı yeri paylaşan elementler için büyüklük ve polarize olabilme özelliklerinin yakın değerlerde olması gerekir.



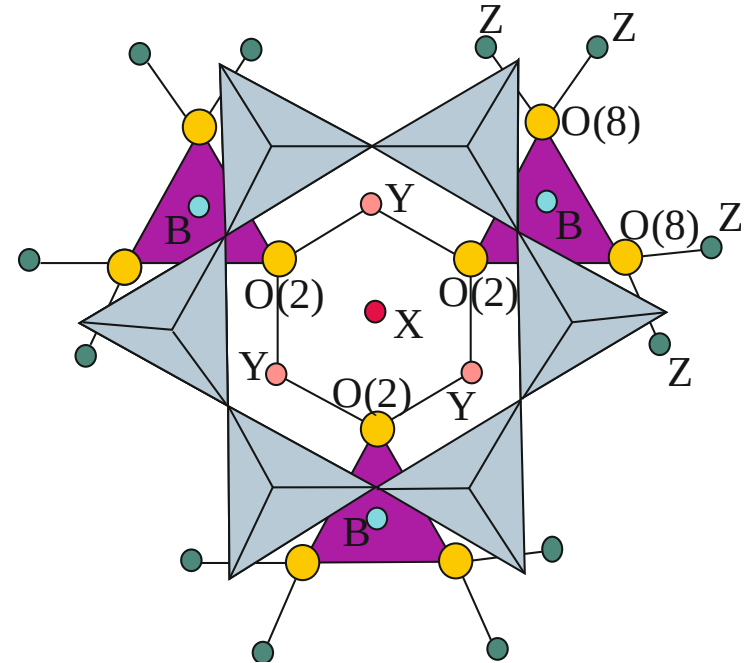
Turmalin grubu mineraller neden farklı renkler alır?



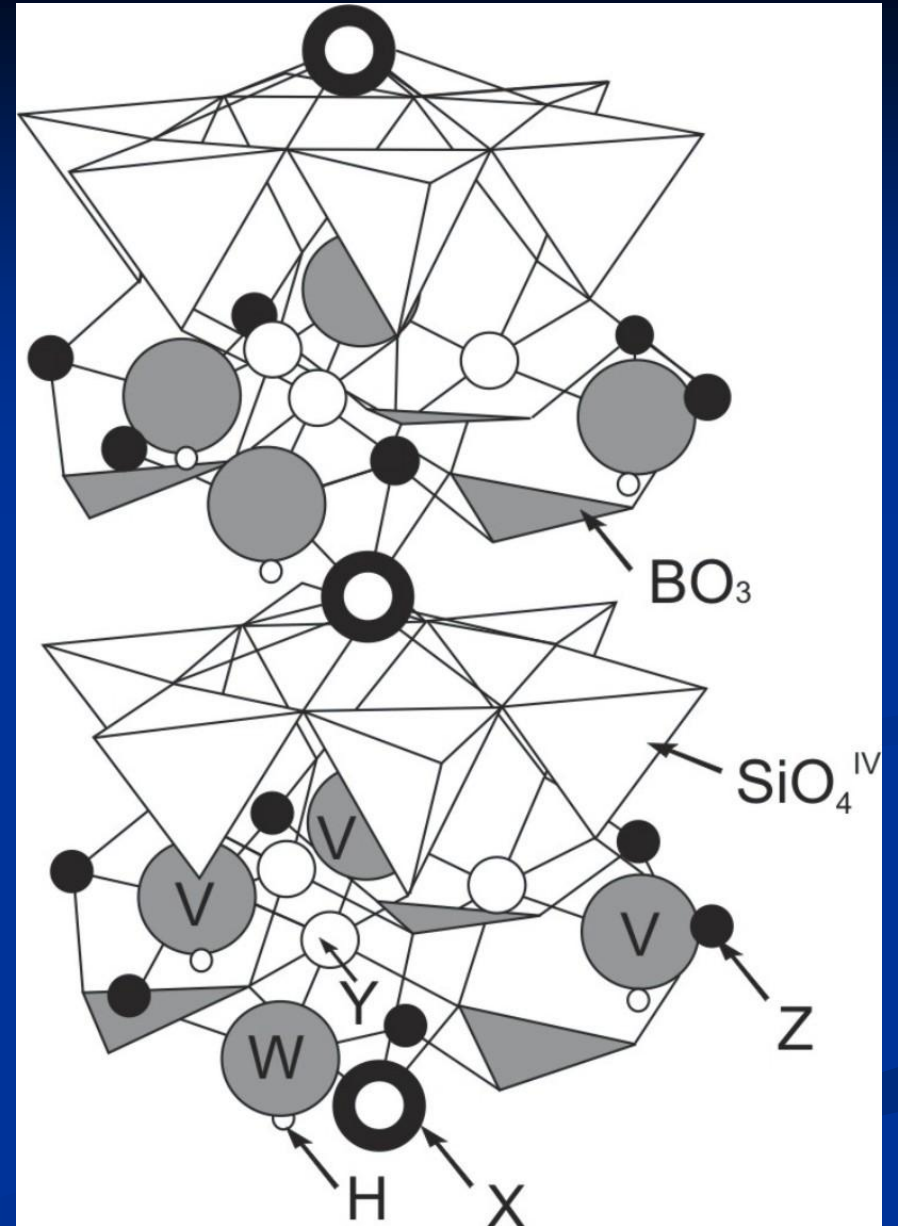
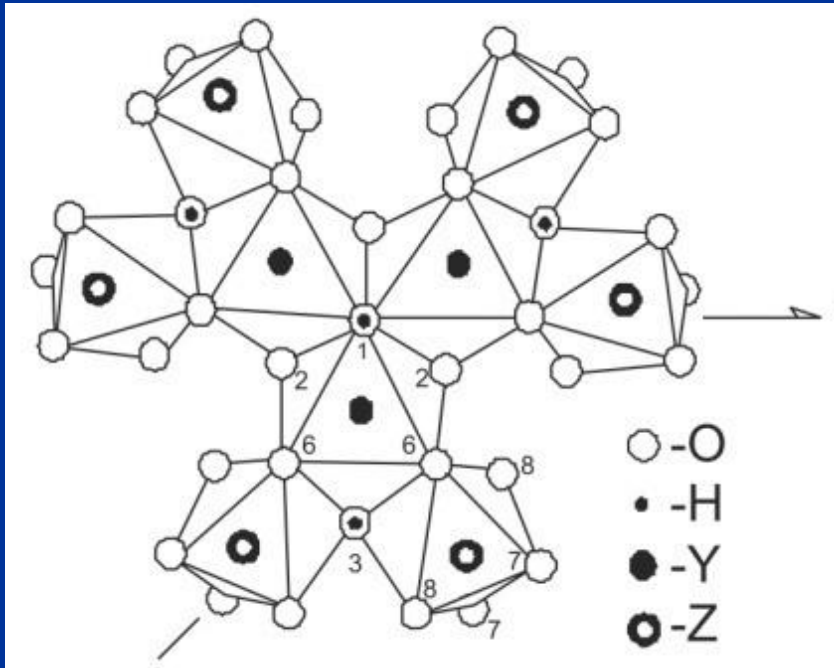
- $((\text{Ca}, \text{K}, \text{Na}) - (\text{Al}, \text{Fe}, \text{Li}, \text{Mg}, \text{Mn})_3 (\text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{V})_6 (\text{BO}_3)_3 (\text{Si}, \text{Al}, \text{B})_6 \text{O}_{18}(\text{OH}, \text{F})_4)$.



Turmalin grubu mineraller
 $\text{XY}_3\text{Z}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{V}_3\text{W}$
 genel formülüyle
 tanımlanırlar.



Turmalin grubu mineraller
 $XY_3Z_6(BO_3)_3Si_6O_{18}V_3W$
genel formülüyle
tanımlanırlar.



Turmalin kristal kafesi Ceksenine paralel üç boyutlu görüntüsü

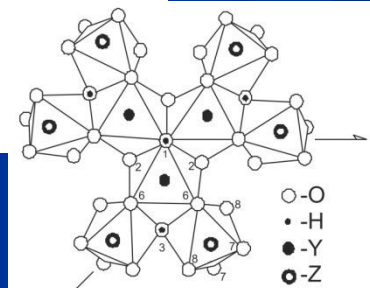
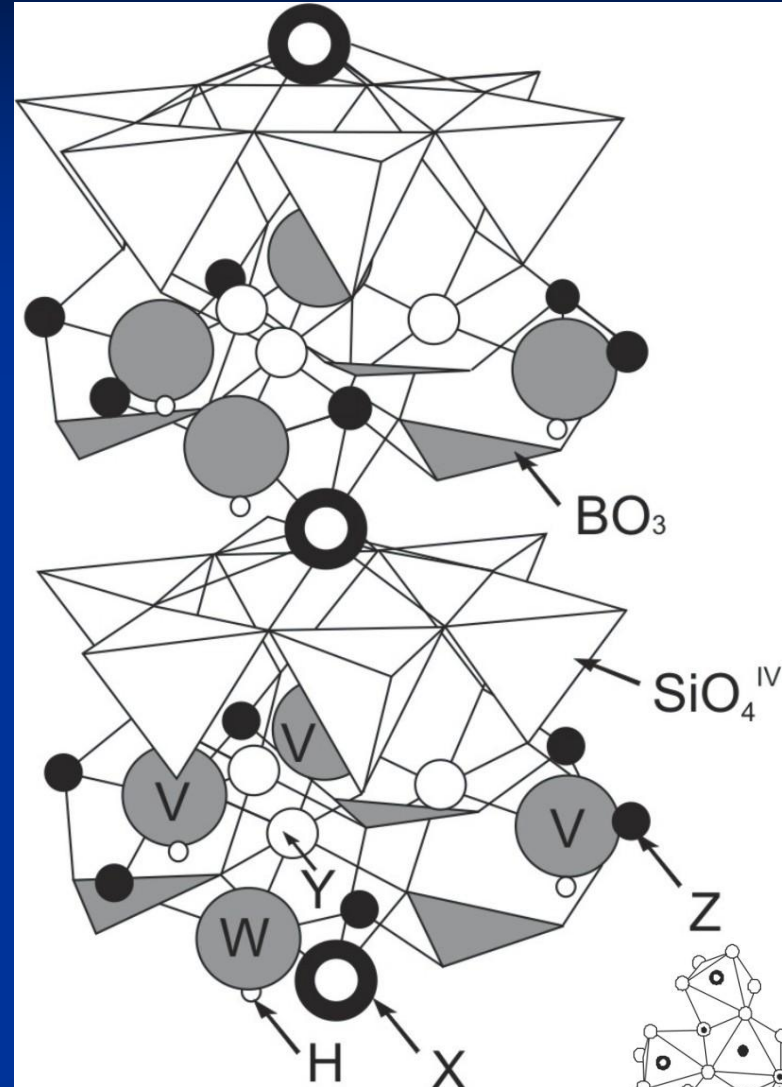


-Kristal kafesinin X konumu Na^+ , K^+ , Ca^{2+}

-Oktaederin Y konumu Ti , Li^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Mn^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}

-Z ise Al tarafından doldurulmakla birlikte Fe^{2+} , Fe^{3+} , V , Cr^{3+} , Ga

Turmalin kristal kafesi Çeksenine paralel üç boyutlu görüntüsü

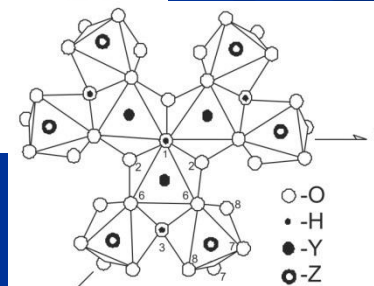
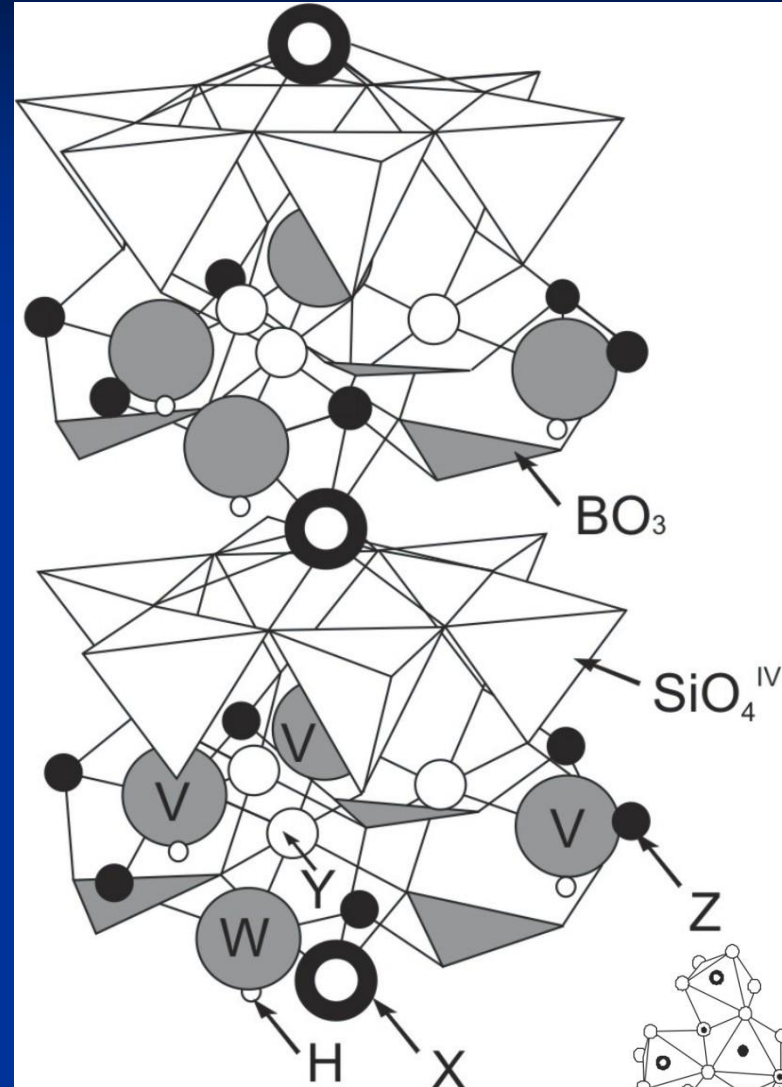


$XY_3Z_6(BO_3)_3Si_6O_{18}V_3W$ genel

-Kristal yapısında her tetraeder iki oksijeni paylaşarak Si_6O_{18} şeklinde hegzagonal diziler oluştururlar.

-Bu tetraederlerin altında iki farklı oktaeder yer almaktadır. Merkezdeki Y katyonları tarafından doldurulan üç büyük oktaeder, Z katyonlarının işgal ettiği birer çift küçük oktaeder ile bağlantılıdır.

Turmalin kristal kafesi Çeksenine paralel üç boyutlu görüntüsü

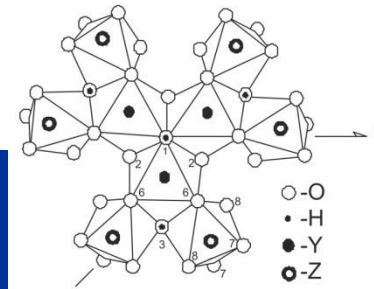
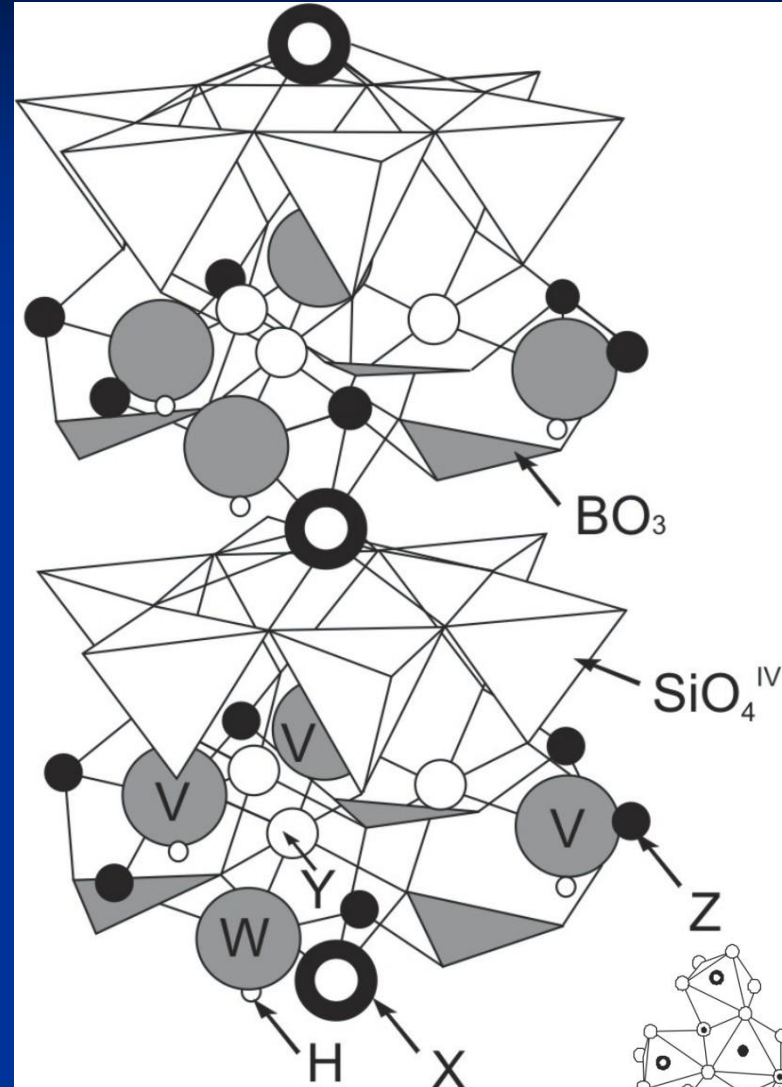


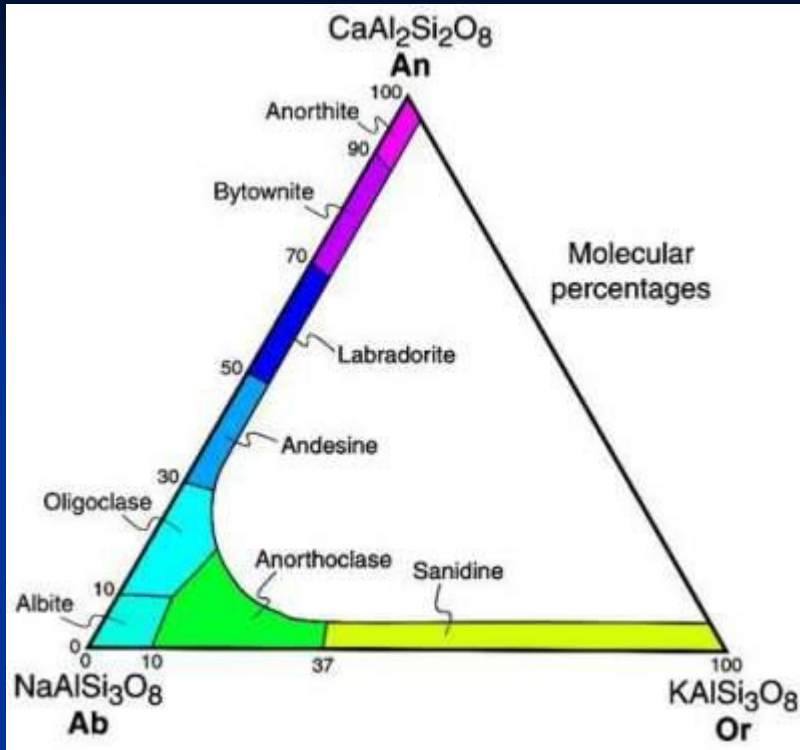
$XY_3Z_6(BO_3)_3Si_6O_{18}V_3W$ genel

Her biri üçer O atomu ile çevrili olan B, oktaeder katmanları birarada tutmaya yardım eder.

Genelleştirilmiş formülde W yerinde O^{2-} , OH^- , F^- ve Cl^- ve V yerinde O^{2-} , OH^- anyonları bulunabilmektedir.

Turmalin kristal kafesi Çeksenine paralel üç boyutlu görüntüsü





Na (+1) ve Ca(+2) farklı değerdedir. Bir Na yerine Ca geçerse iyon değeri dengesi Si(+4) yerini alan Al(+3) ile karşılanır.

Benzer yükte fakat farklı çaptaki iki iyondan yüksek yükteki katı fazda yeralma eğilimindedir.

İzomorf serilerin oluşmasında rol oynayan esas mekanizma diadohidir. Bu olay özellikle eser elementlerin jeokimyasında çok önemli olan bir kriterdir.

Buna karşın izomorf değişken iyonların aynı iyon değerde olmaları gerekmez. Plajiyoklaslarda



İz elementler kendi minerallerini oluşturmaktansa ana elementlerin bulunduğu minerallerin yapısına girerler.

Örneğin Ga hemen her zaman feldspat ve mika gibi Al içeren minerallerin yapısında Al un yerini alır.

Yer değiştirme olayının gerçekleşmesi daha çok iyon büyüklüğüne ve ikincil olarak da elektronegativiteye bağlıdır.

İyon çapları arasındaki fark % 15'den fazla olan elementlerin birbirlerinin yerini almaları **çok nadirdir.**

Yer değiştirme için diğer önemli bir etkende **iyon yüküdür.** Yer değiştirmenin gerçekleşebilmesi için yer değiştiren iyonların aynı yükte olmaları gerekir. Ancak bu konuda bazı istisnalar sözkonusudur.

Önceki örnekte plajiyoklaslarda Na^{+1} yerini Ca^{+2} un alması,

Benzer şekilde mikalarda Mg^{+2} un yerini Li^{+} 'un alması, veya

ortoklaz (KAlSi_3O_8) yapısında $\text{K}^{(+)}$ un yerini $\text{Ba}^{(2+)}$ un alması gibi.

	1											18						
1	1 H 1.0079											2 He 4.0026						
2	3 Li 6.941	4 Be 9.0122											5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.18
3	11 Na 22.99	12 Mg 24.305											13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.066	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
4	19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.88	23 V 50.941	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.847	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.61	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.8
5	37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc (97.91)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.29
6	55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	104 Rf (261.1)	105 Db (262.1)	106 Sg (263.1)	107 Bh (262.1)	108 Hs (265.1)	109 Mt (266.1)	110 Uun (269)	111 Uuu (272)	112 Uub (277)						

Lanthanide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
140.12	140.91	144.24	(144.9)	150.36	151.97	157.25	158.93	162.5	164.93	167.26	168.93	173.04	174.97

Actinide Series

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
232.04	231.04	238.03	(237)	(244.1)	(243.1)	(247.1)	(247.1)	(251.1)	(252.1)	(257.1)	(258.1)	(259.1)	

Group Legend	
 	Alkali Metal
 	Alkali Earth
 	Metal
 	Trans. Met.
 	Actinides
 	Lanthanides
 	Non-metal
 	Halogen
 	Noble Gas

Table 9-6 A brief summary of some particularly useful trace elements in igneous petrology

Element	Use as a petrogenetic indicator
Ni, Co, Cr	Highly compatible elements. Ni (and Co) are concentrated in olivine, and Cr in spinel and clinopyroxene. High concentrations indicate a mantle source.
V, Ti	Both show strong fractionation into Fe-Ti oxides (ilmenite or titanomagnetite). If they behave differently, Ti probably fractionates into an accessory phase, such as sphene or rutile.
Zr, Hf	Very incompatible elements that do not substitute into major silicate phases (although they may replace Ti in sphene or rutile).
Ba, Rb	Incompatible element that substitutes for K in K-feldspar, micas, or hornblende. Rb substitutes less readily in hornblende than K-spar and micas, such that the K/Ba ratio may distinguish these phases.
Sr	Substitutes for Ca in plagioclase (but not in pyroxene), and, to a lesser extent, for K in K-feldspar. Behaves as a compatible element at low pressure where plagioclase forms early, but as an incompatible at higher pressure where plagioclase is no longer stable.
REE	Garnet accommodates the HREE more than the LREE, and orthopyroxene and hornblende do so to a lesser degree. Sphene and plagioclase accommodates more LREE. Eu^{2+} is strongly partitioned into plagioclase.
Y	Commonly incompatible (like HREE). Strongly partitioned into garnet and amphibole. Sphene and apatite also concentrate Y, so the presence of these as accessories could have a significant effect.

Table 9-6. After Green (1980). *Tectonophys.*, **63**, 367-385. From Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.

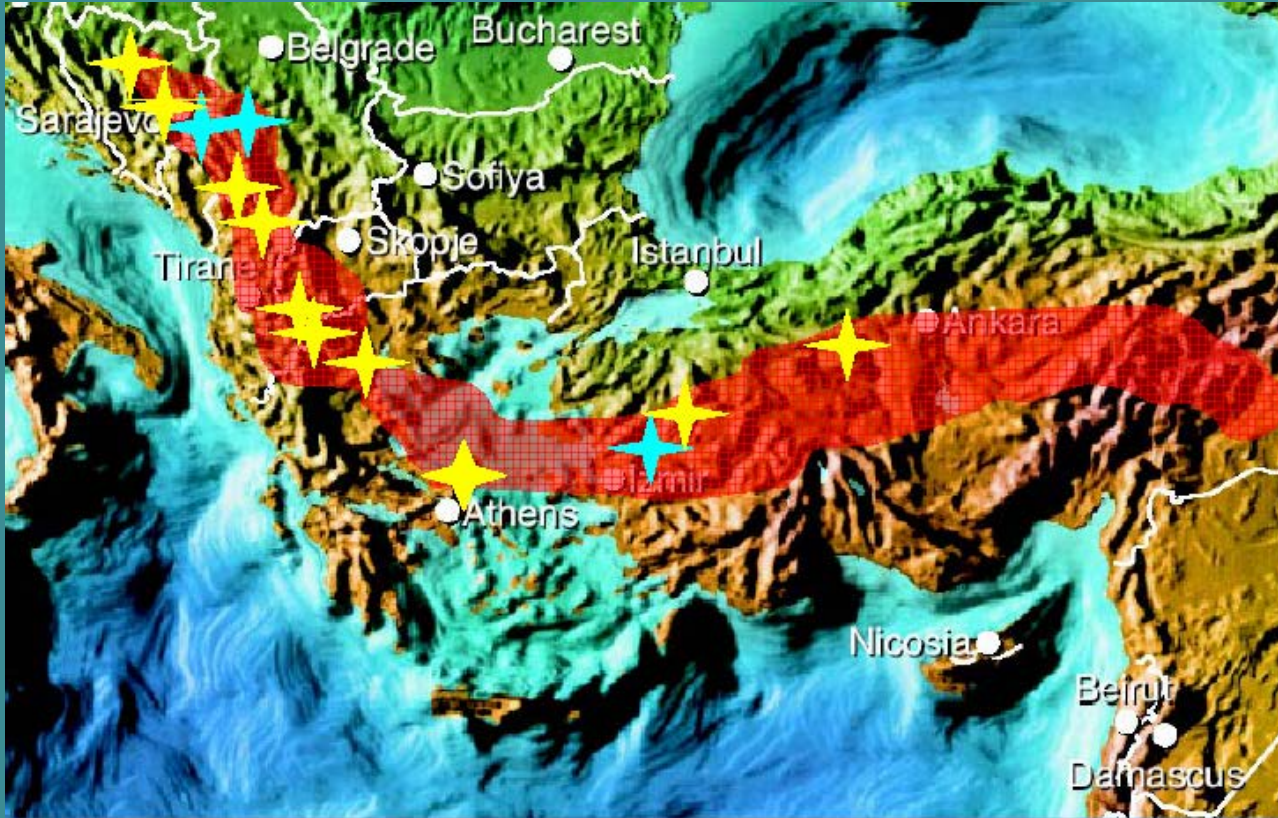
İzomorf Seriler ve Diadohi

Elementlerin kristal kafesinde dağılımı
ve birbirlerinin yerini alması

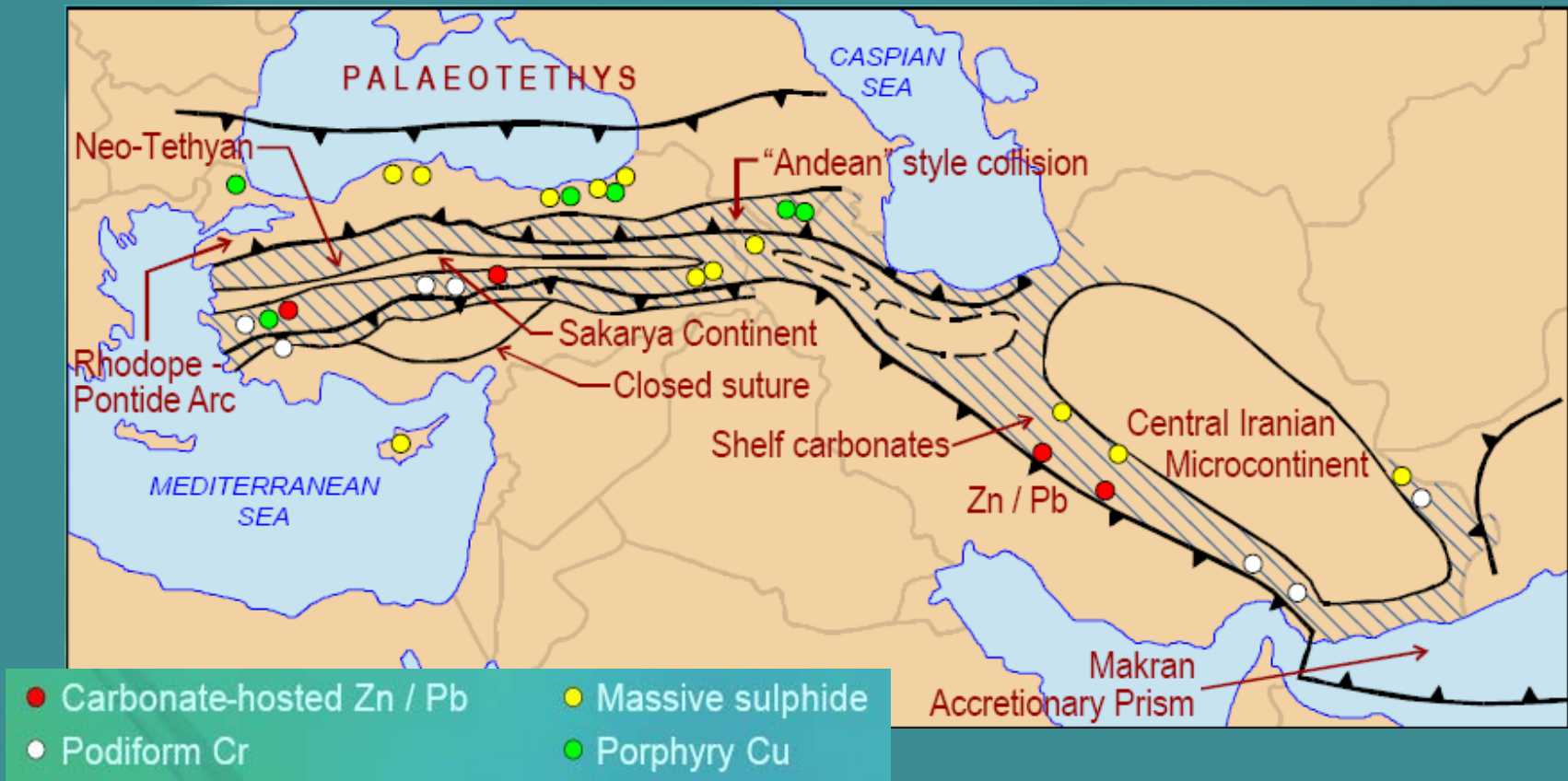


Ni-Co Yatakları

Sırbistan-Arnavutluk-Yunanistan ve Türkiye Neotetisin kuzey kolu olan bir Ni-Co provensi içinde yer alır. Çaldağ Ni-Co yatağı Manisa ili, Turgutlu ilçesinin 25 km kuzeyinde Çaldağ bölgesinde bulunmaktadır. Çaldağ yatağı, % 1,14 Ni ve % 0,05 Co olmak üzere, 38 milyon ton cevher içermektedir (European Nickel Şirketi resmi internet sitesi:www.enickel.co.uk).



GEÇ KRETASE-GEÇ EOSEN (65-40 m.y.)



Çaldağ Ni-Co Yatağı-Doktor Ocağı:

Serpantinleşmiş ultrabaziklerin üzerine gelen farklı Ni içeriğine bağlı lateritik zonlardan oluşmaktadır. Yatağın üst zonlarına doğru gidildikçe demirli ve silisli düzeyler baskın bir şekilde artmaktadır.



Çaldağ Ni-Co Yatağı-Doktor Ocağı:

Yatağın üst zonlarına doğru gidildikçe demirli ve silisli düzeyler baskın bir şekilde artmaktadır.



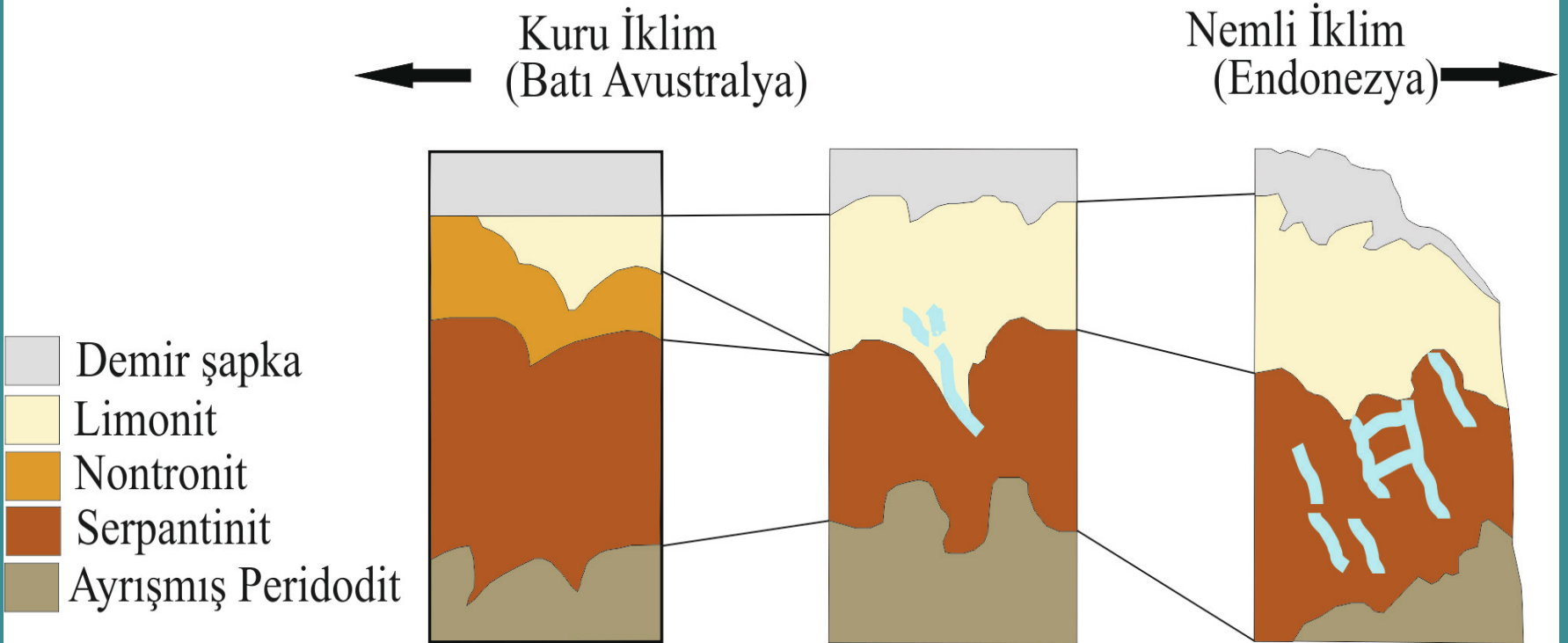
Kalıntı Tipi Yatak oluşumu

Lateritleşme

- Kalıntı yataklar genellikle tropikal iklimlerde bulunurlar.
- Düşük topografik rölyeflerde, yağışlı ve kurak iklimlerde , ayrışma olayları ile kimyasal yapı bozulur ve kayalardaki demir ve magnezyumca zengin olan mineraller ayrışmaya başlar.
- Bu kayalarda yüzeyde önce demir oksitlerce kısmi zenginleşme söz konusu olur.Silis, demir oksit ve karbonatlardan meydana gelen bu yapıya laterit adı verilir.

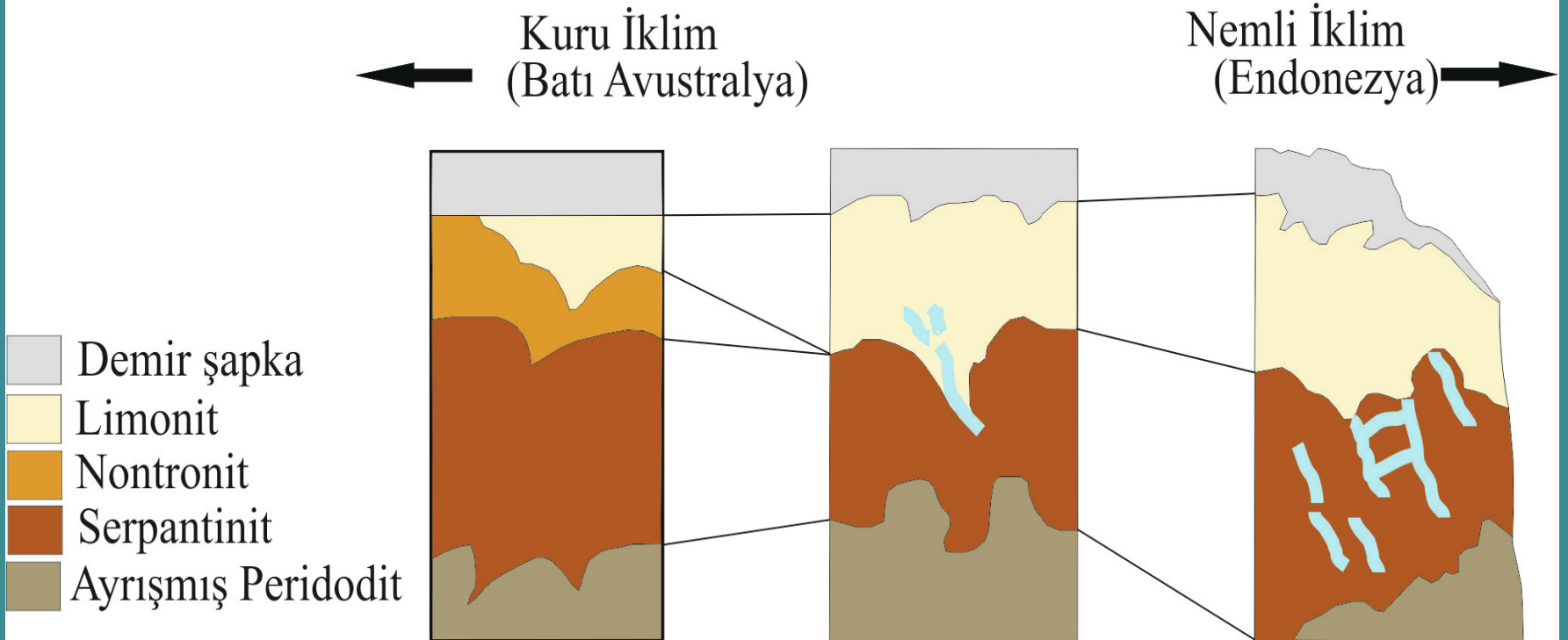
Kurak tropikal iklimlerde (Batı Avustralya) başlıca demiroksitlerin egemen olduğu limonitik zon sınırlı bir yayılım sunarken serpantinlerin üzerinde kalın bir kil (nontronit-smektit grubu kil) zonu geliştiği gözlenmektedir.

Kuru ve Nemli İklimle Bağlı Gelişen Laterit Profili



Buna karşın Nemli tropikal iklimlerde gelişen lateritlerde, oldukça iyi gelişen bir limonitik zona karşılık ihmal edilebilecek kalınlıkta bir nontronit zonu bulunmaktadır. Çaldağ lateritik yatağı parajenezinde, gerek lateritleşme sonucu oluşan kil mineralleri gerekse farklı zaman ve tektonik ortamda gelişen fay zonlarında oluşan kil mineralleri gözlenmektedir.

Kuru ve Nemli İklimle Bağlı Gelişen Laterit Profili



Felsdpatlı kayalardan (granit, siyenit vb. ve yüzey eşlenikleri) ve kireçtaşlarında lateritleşmeye bağlı gelişen olaylar sonuçlarında boksitler, peridotitlerde gelişen ayrışmalarda ise demirli kalıntı yatakları (lateritik demir oluşumları) söz konusu olur.

Ultrabazik kayaların ana elementleri olan Si, Mg ve Fe ayrışma olaylarına karşı verdikleri davranış farklılıkları ile ayrışma ortamında demirce zengin bir yüzey profili geliştirir.

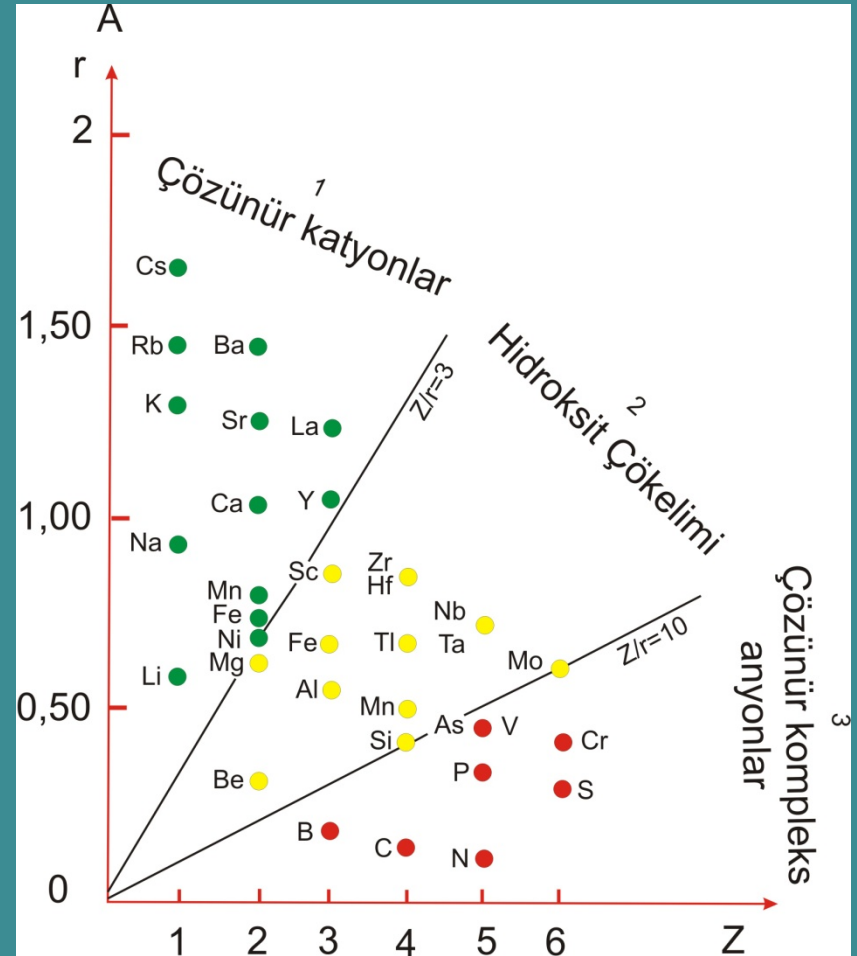
İyon Potansiyeli (IP)

- $IP = Z/r$

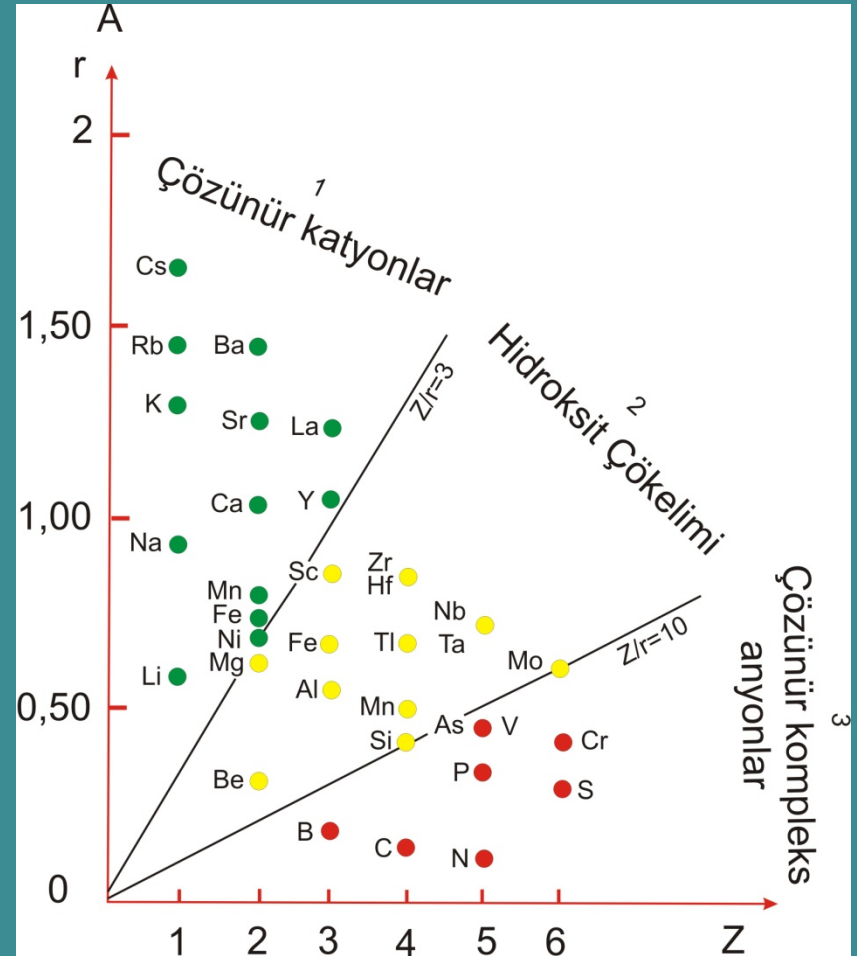
–Z: İyonik Yük

–r: İyon yarıçapı

- $Z/r < 3$: Çözülebilir katyonlar. Silikatların ayrışmasında 1 ve 2 değerli katyonların hemen eriyik hale geçtikleri bilinmektedir. Peridotitlerin ayrışmasında Mg, Ca ve alkaliler (K, Na vb) ortamdan uzaklaşır.



- **Z/r: 3-10** Hidrolize çökelti oluşturur. Hidroksil iyonları ile birlikte bulunurlar. Fe, Mn ve Al kalıntı yatakları bu şekilde oluşur. Boksitlerde Al ile birlikte Zr, Ti, Hf ve Be un bulunması buna örnektir.



Redox, ionic potential, and the behavior of cations

Some elements can have more than one positive oxidation state (i.e., they can form multiple cations), and the behavior of those different cations can be very different. This page explores that idea.

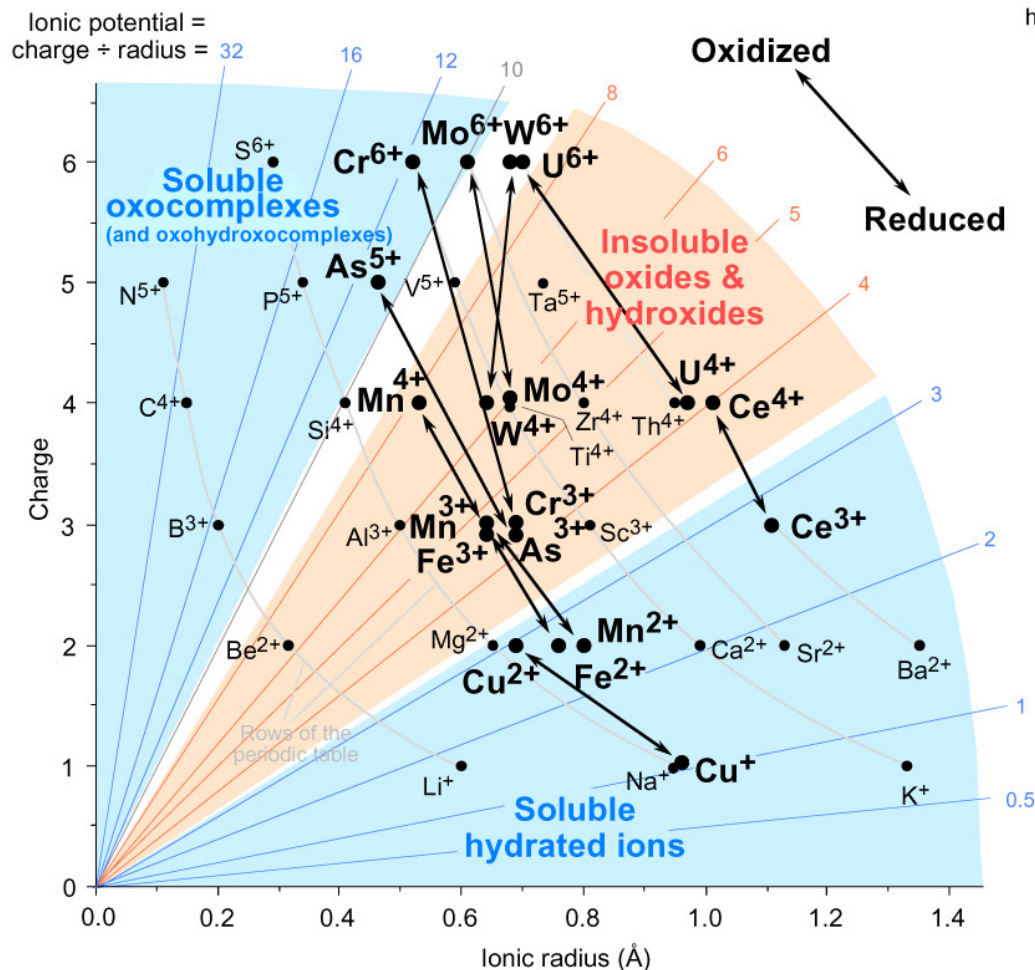
Solubility of cations depends on their ionic potential, or charge divided by radius, which is a measure of density of charge. Cations of low ionic potential like Na^+ are typically soluble, because they make weak bonds to

O^{2-} . Cations of high ionic potential, like S^{6+} , bond so well to O^{2-} that they make oxocomplexes like SO_4^{2-} (sulfate) that are soluble. In between, cations of intermediate ionic potential like Al^{3+} have sufficient density of charge to bond strongly to O^{2-} but not such dense charge as to repel each other, and so they make stable oxides and/or hydroxides and thus are insoluble.

Oxidation and reduction change some elements from a cation in one of these groups to a cation in another group. One important example is Fe, which in reducing conditions is the soluble Ca^{2+} -like or Mg^{2+} -like Fe^{2+} cation but in oxidizing conditions is the insoluble Al^{3+} -like Fe^{3+} cation. Mn behaves likewise. Ce behaves likewise but from $3+$ to $4+$, giving Ce anomalies in distributions of rare-earth elements.

Other elements change from a reduced insoluble form to a soluble oxidized form. U changes from reduced U^{4+} to oxidized U^{6+} , accounting for the presence of U as a solid in organic-rich (reducing) sediments but dissolved UO_2 in (oxidizing) seawater. Cr likewise changes from reduced Cr^{3+} in solids to oxidized and dissolved Cr^{6+} , which is why introduction of O_2 to groundwaters can lead to Cr-poisoning problems. The same holds for As^{3+} and As^{5+} .

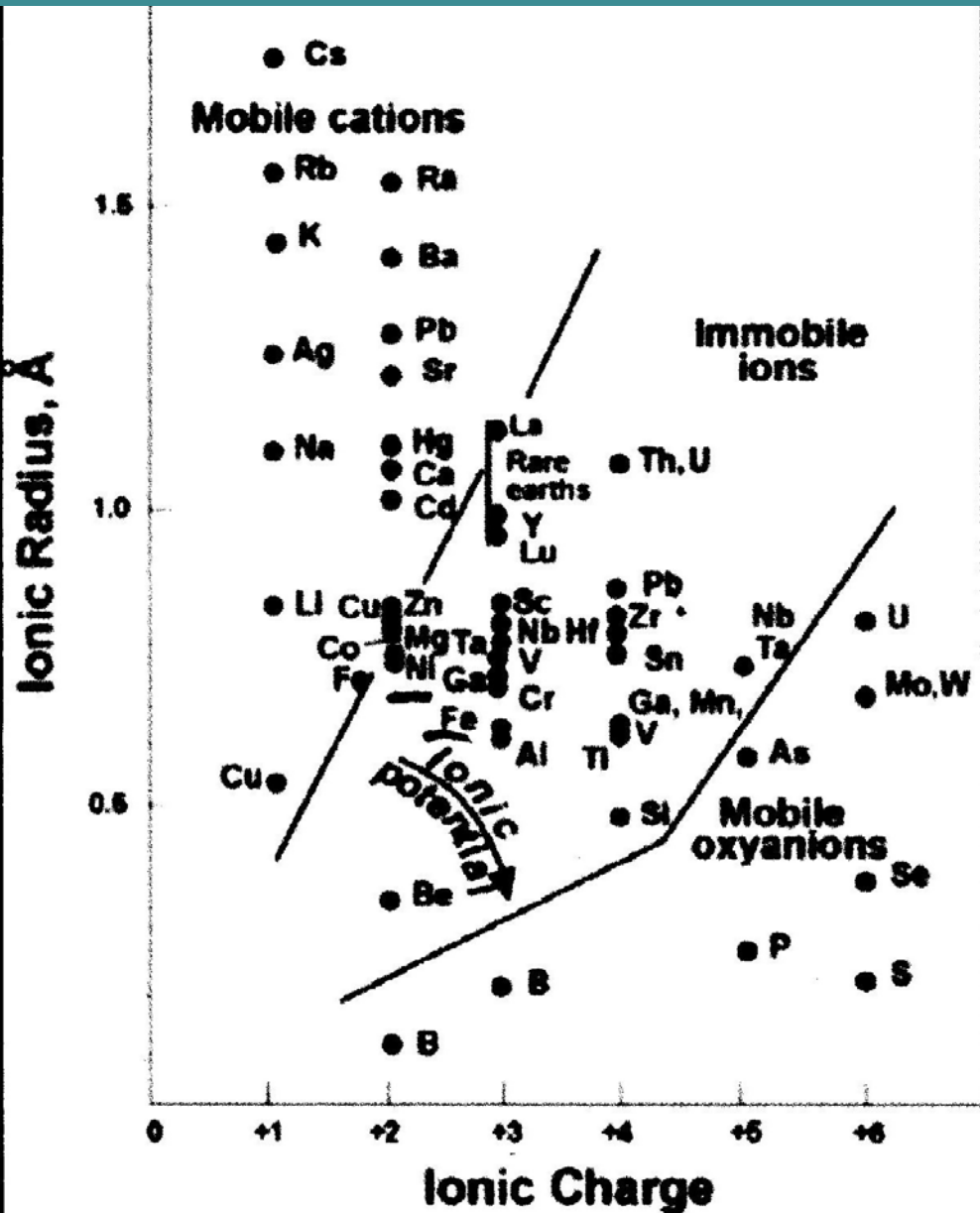
To summarize, different redox conditions can lead to very different behaviors of an element, with important geologic and environmental implications. However, we cannot say that, for *all* elements, reduced forms are more soluble (which is true for Fe and Mn) *or* that oxidized forms are more soluble (which is true for U, Cr, Mo, and As). Instead, we have to think in terms of ionic potential, and how that parameter changes from the reduced to oxidized form of each element.

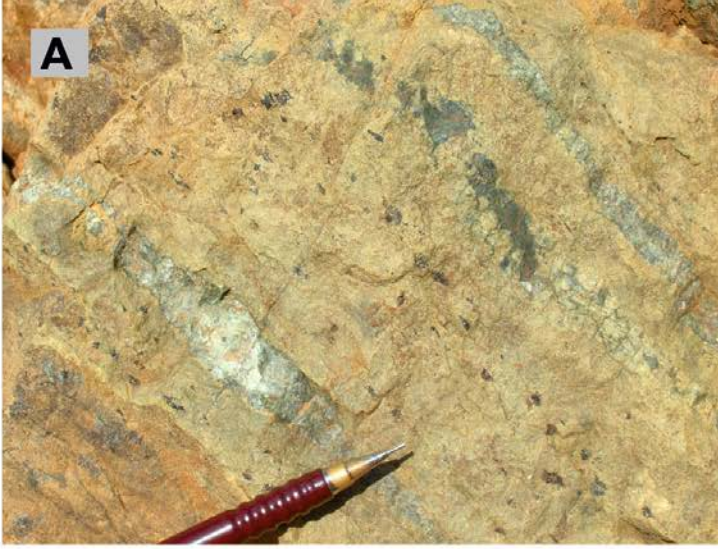


Cevher metalleri kalıntı toprağı içinde çözünürlüklerine bağı olarak farklı anomali desenleri oluşturlar.

Element	pH conditions			Immobilization factors			Heavy minerals
	Acid <5.5	Neutral pH 5.5–7.0	Alkaline pH >7.0	Fe/Mn oxides	Organic matter	Other	
Antimony	Low	Low	Low	Yes		Sulfide; reducing conditions	
Arsenic	Medium	Medium	Medium	Yes		Sulfide; clay conditions	
Barium	Low	Low	Low			Sulfate; reducing conditions; carbonate; clay	
Beryllium	Low	Low	Low	Yes	Yes	Clay	
Bismuth	Low	Low	Low	Very		Reducing conditions	
Boron	V. High	V. High	V. High				Tourmaline
Cadmium	Medium	Medium	Medium			Reducing conditions	
Cerium	Insoluble	Insoluble	Insoluble				Rare earth minerals
Chromium	V. Low	V. Low	V. Low				Chromite
Cobalt	High	Medium to Low	V. Low			Sulfide; adsorption	
Copper	High	Medium to Low	V. Low	Yes	Yes	Sulfide; adsorption	
Fluorine	High	High	High			CaF ₂ , adsorption	
Gold	Immobile	Immobile	Immobile				Native gold
Iron-Fe ⁺⁺⁺	High to V. Low	V. Low	V. Low	Yes			Magnetite
Iron-Fe ⁺⁺	High	Medium to Low	V. Low	Yes		Oxidizing condition	
Lead	Low	Low	Low			Insoluble carbonate, sulfate, phosphate; reducing conditions	
Lithium	Low	Low	Low	Yes		Clays	
Manganese	High	High	High to V. Low	Yes		Clays	
Mercury (aq)	Medium	Low	Low	Yes		Sulfide	Cinnabar
Mercury (vap)	High	High	High				
Molybdenum	Low	Medium	High	Yes		Adsorption; in presence of Pb, Fe, Ca, carbonate; sulfide; reducing conditions	

İYON POTANSİYELİ

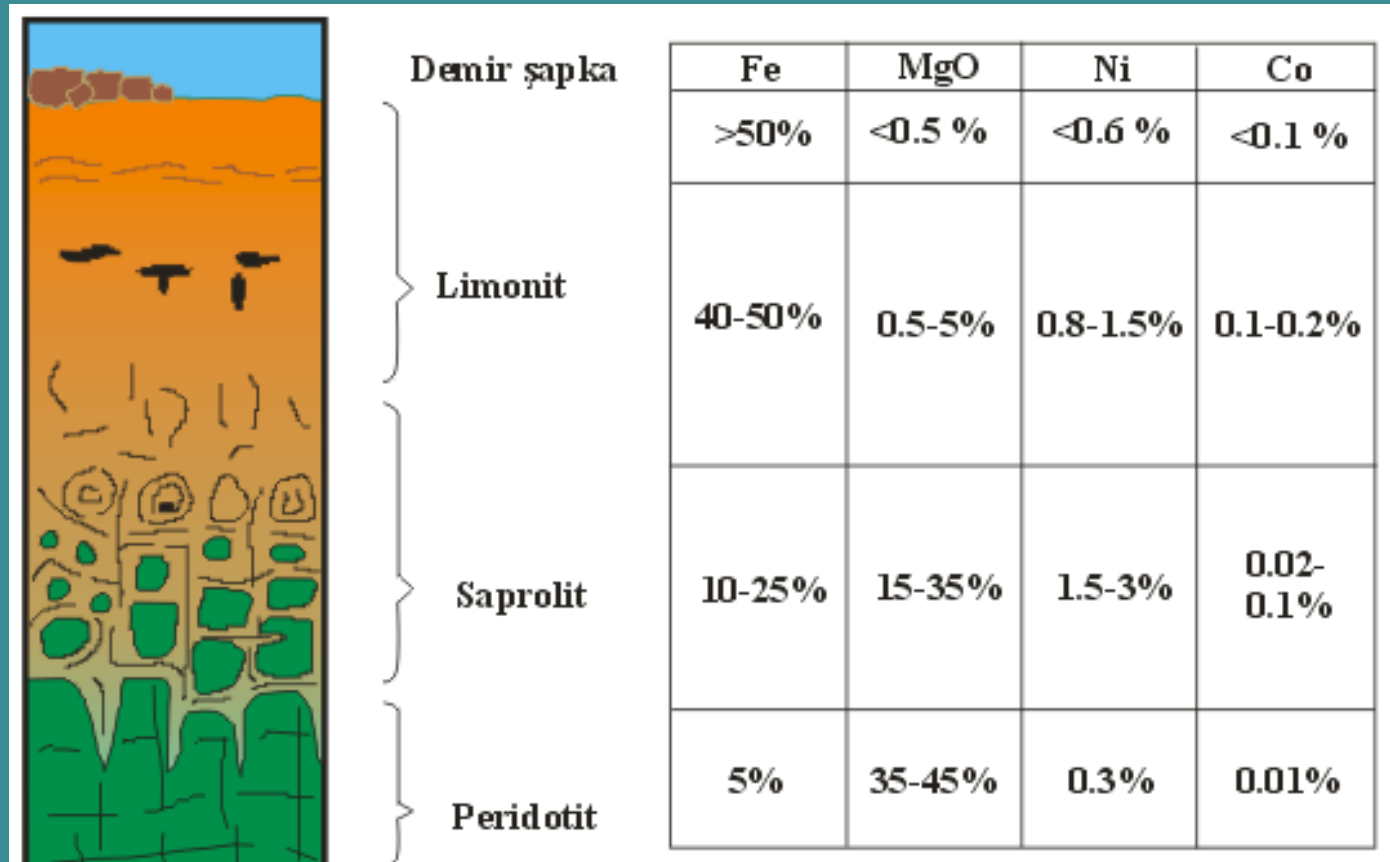




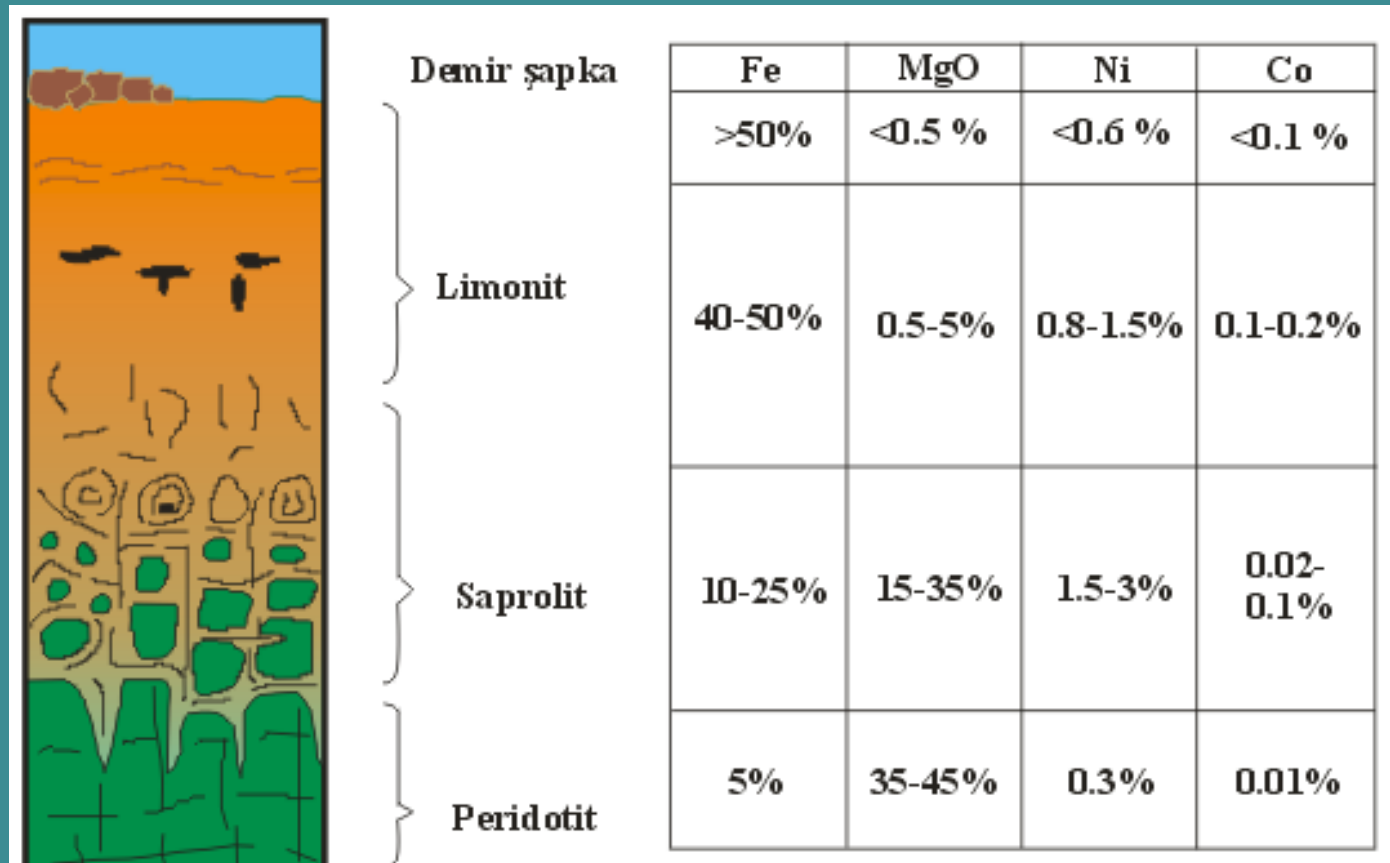
Çaldağ ofiyolitik seri içinde gözlenen dünit-harzburgit türü peridotitler. A, peridotitler içinde yaygın olarak gözlenen bantlı kromit oluşumları; B, peridotitlerin çatlak ve kırık sistemlerinde gelişmiş ağsı (boxwork) yapılı manyezit oluşumları.

- Mg çatlak ve kırıkları kullanarak ortamdan uzaklaşır. Bu çatlaklara dolan manyezit ağsı bir yapı oluşturur. Mg un boşalttığı yerlerde gözenekli yapı gelişir.

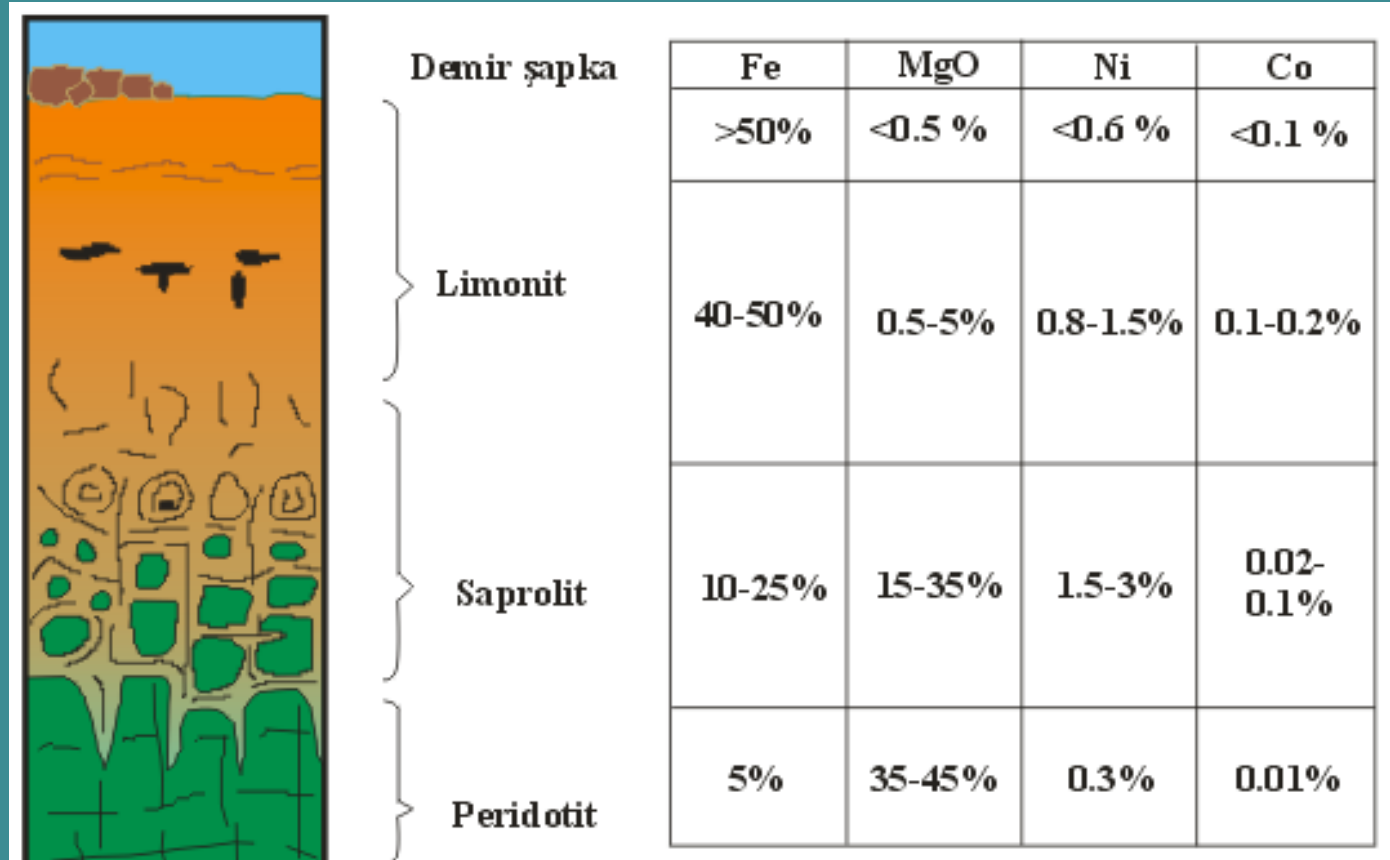
Demir şapka altında demir oksitlerden oluşan hidroksit ağırlıklı (götit, limonit, hematit) üst zon .
Bu zonda kil mineralleri de bulunur ve Fe yüzdesi % 40-50 dolayındadır. Ni işletilir tenörlerdedir.



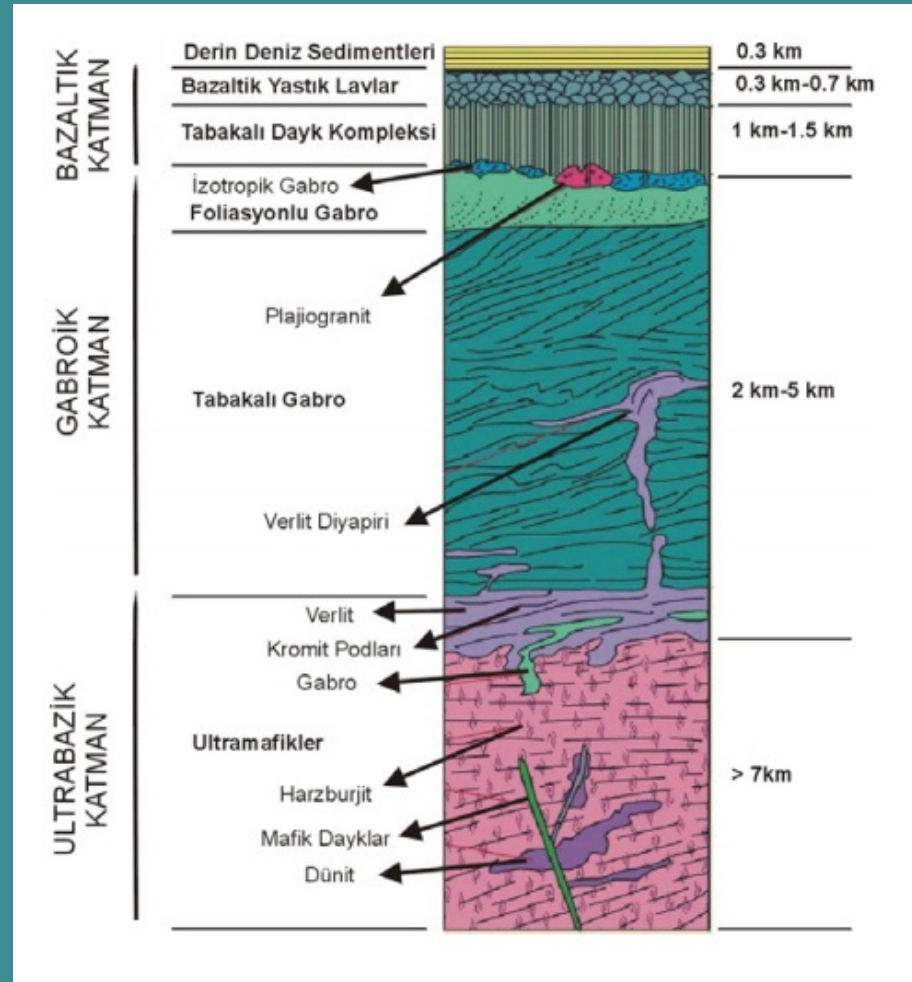
Limonitik zonun altında saprolit (kısmen ayrıışmış kil içerikli zon) zonu yeralır. Ni açısından en ekonomik bölüm burasıdır.



En alt bölümde ayrışmadan etkilenmeyen peridotit zonu yeralır. Bu zon farklı ultrabazik-ultramafik kayalardan oluşur. Değişik oranlarda serpantinleşmiş olabilir.



Okyanusal Kabuk



Dünit

(Tüm kayaç kimyasal analiz değerleri)



SiO₂: 44.61

Al₂O₃: 1.17

TiO₂: 0.03

MgO: 40.03

Fe₂O₃: 7.55

MnO: 0.11

CaO: 2.1

Na₂O: 0.02

K₂O: 0.04

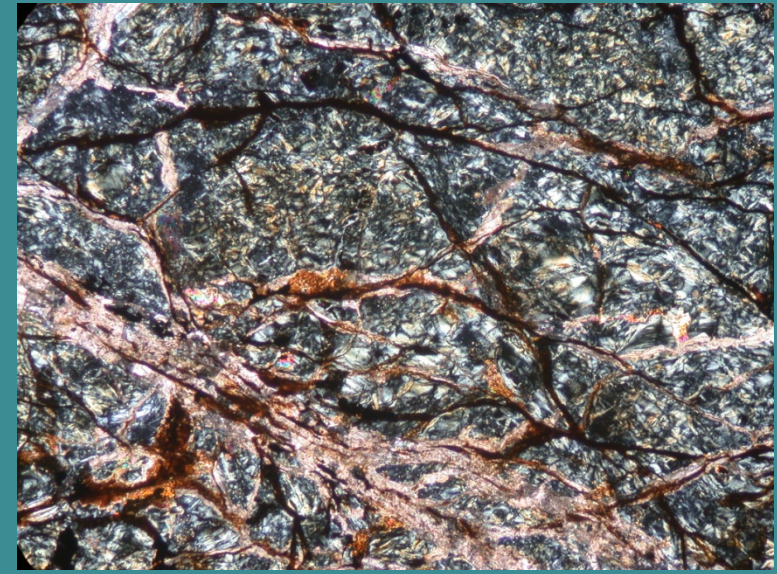
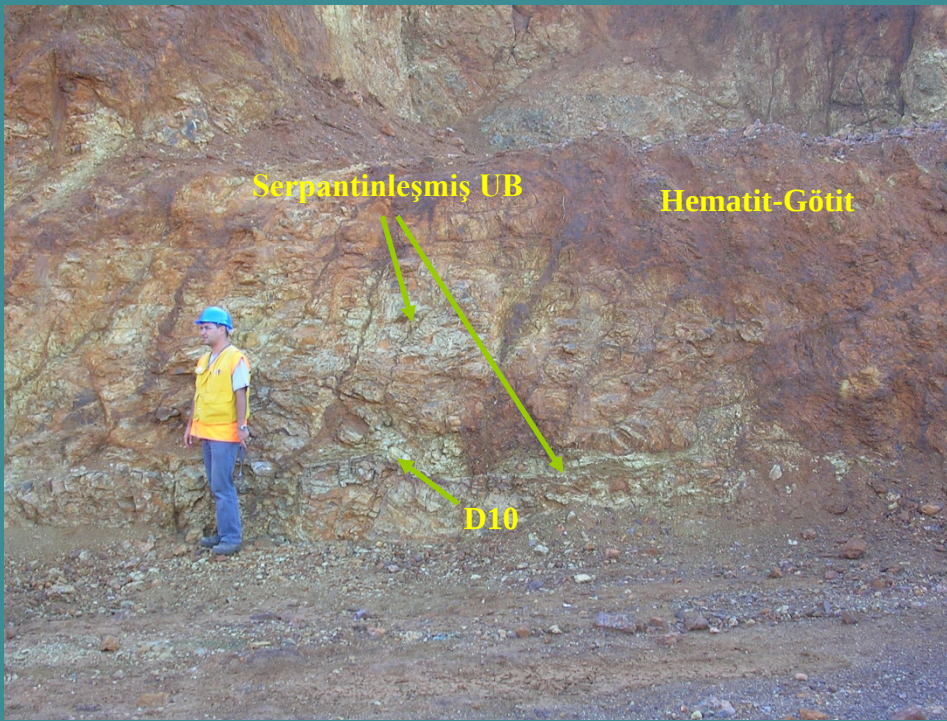
P₂O₅: 0.01

Cr₂O₃: 0.415

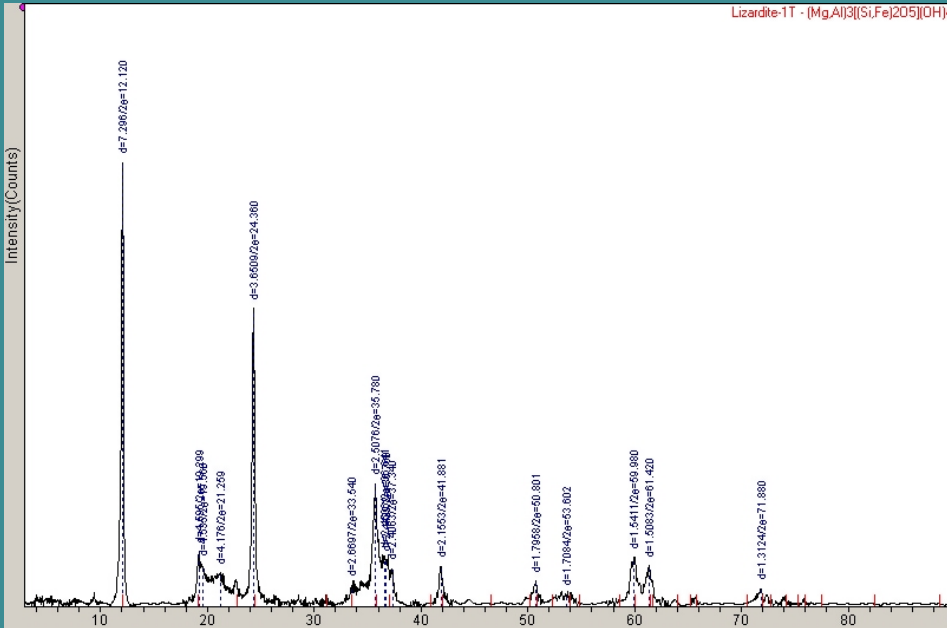
K.K.: 3.2

Ni: 2288 ppm

Co: 107 ppm



Serpantinleşmiş ultrabaziklerin mikroskop görüntüsü.



Çaldağ Ni-Co yatağı Doktor ocağı lateritinin tabanında serpantinleşmiş ultrabazikler (D-10) başlıca lizarditten oluşmaktadır.

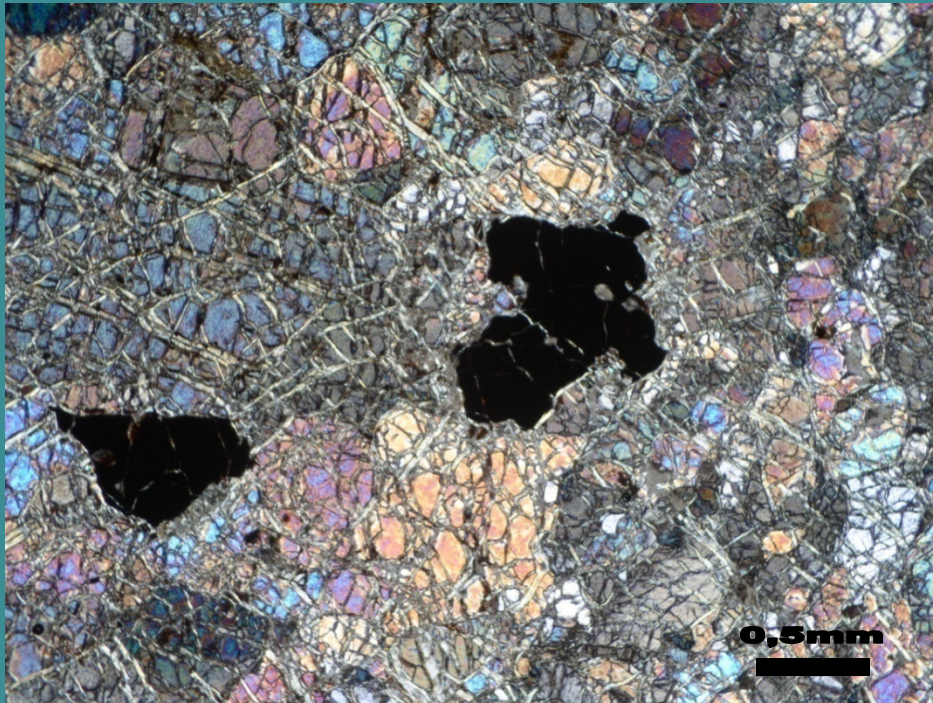
Bazik volkanikler

(Tüm kayaç kimyasal analiz değerleri)



SiO₂: 45.50
Al₂O₃: 15.28
TiO₂: 1.44
MgO: 1.03
Fe₂O₃: 14.28
MnO: 0.19
CaO: 9.51
Na₂O: 2.51
K₂O: 0.34
P₂O₅: 0.13
Cr₂O₃: 0.005
K:K: 3.2
Ni: 367 ppm
Co: 34.2 ppm

Ni, Co, Cr Hangi Minerallere Bağlı ?



1-Kendi minerallerini oluşturabilir.

-Cr

Kromit ($FeCr_2O_4$)

-Ni

Pentlandit (Fe, Ni)₉ S₈

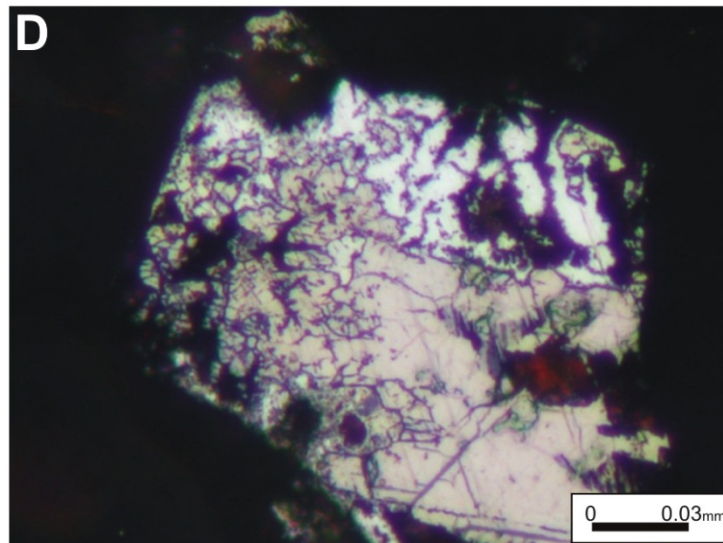
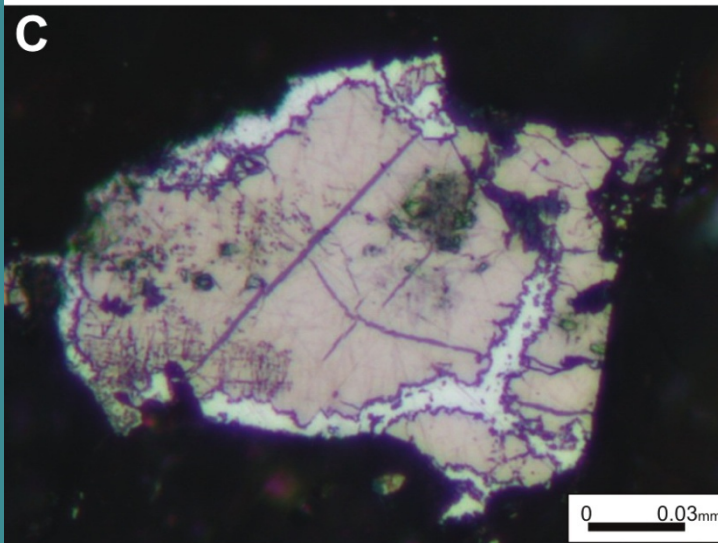
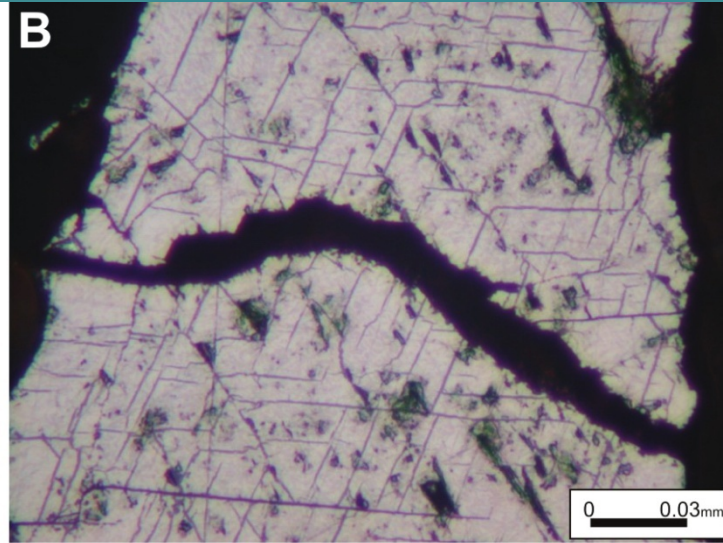
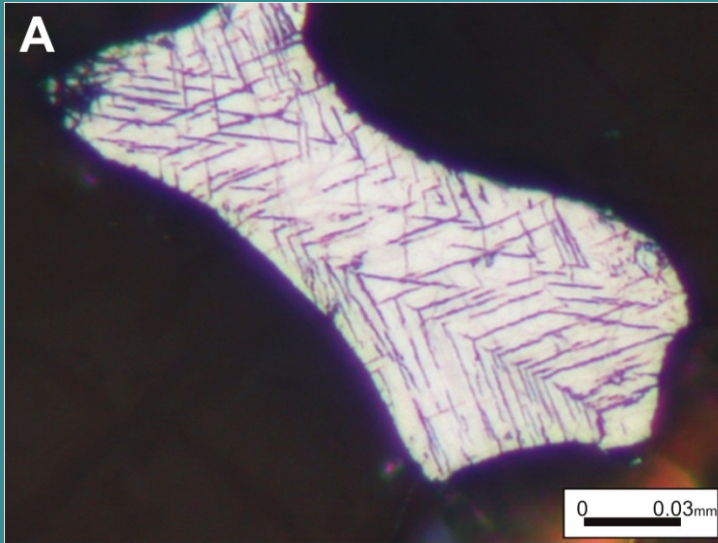
.....gibi diğer mineraller

2-Killi düzeylerde kil minerallerinin kristal kafesinde?

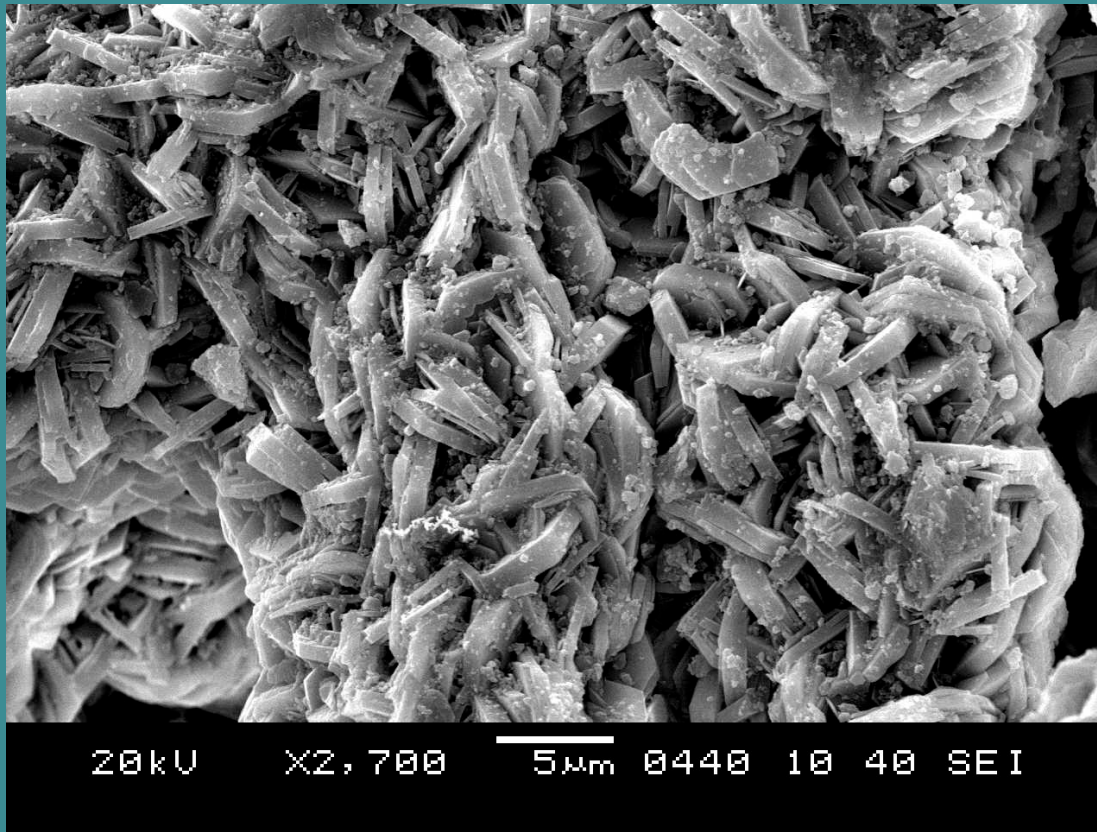
3-Olivinin kristal kafesinde ?

4-Fe-Laterit i oluşturan oksit-
hidroksit minerallerinin kristal
kafesinde?

- Pentlandit $(\text{Fe, Ni})_9\text{S}_8$



Kil Minerallerinin kristal kafesinde



Component		Conc.			
O		17.788	wt.%		
S		1.130	wt.%		
Ni		37.493	wt.%		
Al		13.919	wt.%		
Co		0.209	wt.%		
C		13.469	wt.%		
Si		15.207	wt.%		
Ca		0.785	wt.%		
		100.000	wt.%	Total	
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
C	Ka	1.17	0.216	13.469	wt.%
O	Ka	18.90	0.869	17.788	wt.%
Al	Ka	98.01	1.980	13.919	wt.%
Si	Ka	112.68	2.123	15.207	wt.%
S	Ka	8.64	0.588	1.130	wt.%
Ca	Ka	6.44	0.507	0.785	wt.%
Co	Ka	0.95	0.195	0.209	wt.%
Ni	Ka	112.41	2.120	37.493	wt.%
				100.000	wt.%
kV		20.0			
Takeoff Angle		35.0°			
Elapsed Livetime		100.0			

Nikel Silikat ve Karbonatlar Şeklinde



Yeşil cevherler adı verilen bu zenginleşme, magnezyum silikattan ibaret olan antigoritte,

Mg'nin yerine Ni'nin geçmesi şeklinde olmuştur. Böylece nikelli antigorit, peridotitlerin hemen üzerinde yer almıştır.

Nikel in değişik oranlarda magnezyum'un yerini alması ile ortaya çıkan mineral garniyerit'tir.

Birçok ayrıışmış ultramafik kaya özellikle lateritik olanların çatlak ve boşlukları yeşil renkli nikel mineralleri (nikel silikat ve karbonatlar) ile doldurulmuştur. Bunlardan en önemlilerinden biri takovit adlı mineraldir



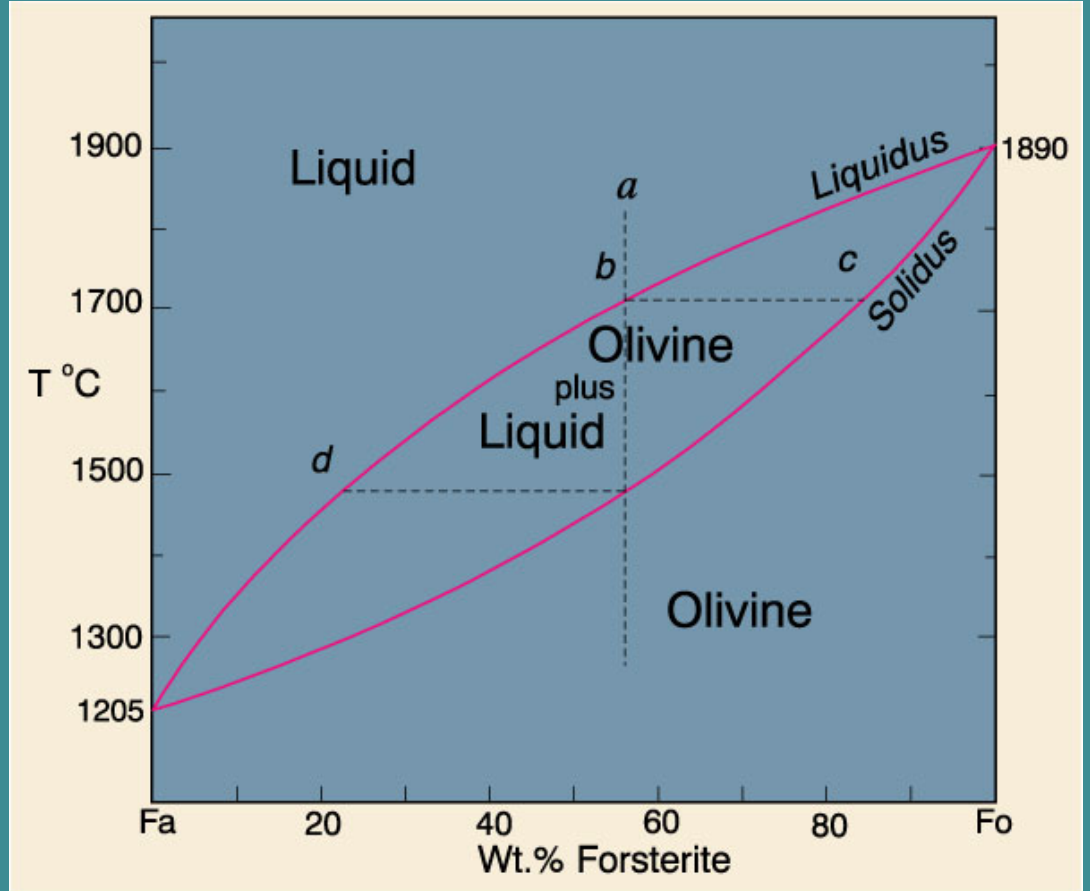
Mineraller İçinde Element Dağılımı

Eştip (izotip) kristallerin yapıtaşları (atomlar veya iyonlar) birbirlerine yakın büyüklükte iseler karşılıklı olarak her oranda yer değiştirebilirler. Bu olaya **izomorfi** denir.

Yani kesintisiz karışım kristal dizileri oluşturabilirler. Kesintili veya kesintisiz karışım serilerinde (izomorf seriler) karşılıklı yer değişen elementler o minerale özgündür.

Olivin Grubu

Olivinler, forsterit (Mg_2SiO_4) ve fayalit (Fe_2SiO_4) uç bileşenleri arasındaki kesintisiz karışım kristal dizilerinden oluşmaktadır. Burada Fe ve Mg her oranda birbirinin yerini alabilir. Bu iki elementin oranı örnekten örneğe değişirken bu elementlerin SiO_4 'e oranları sabittir.

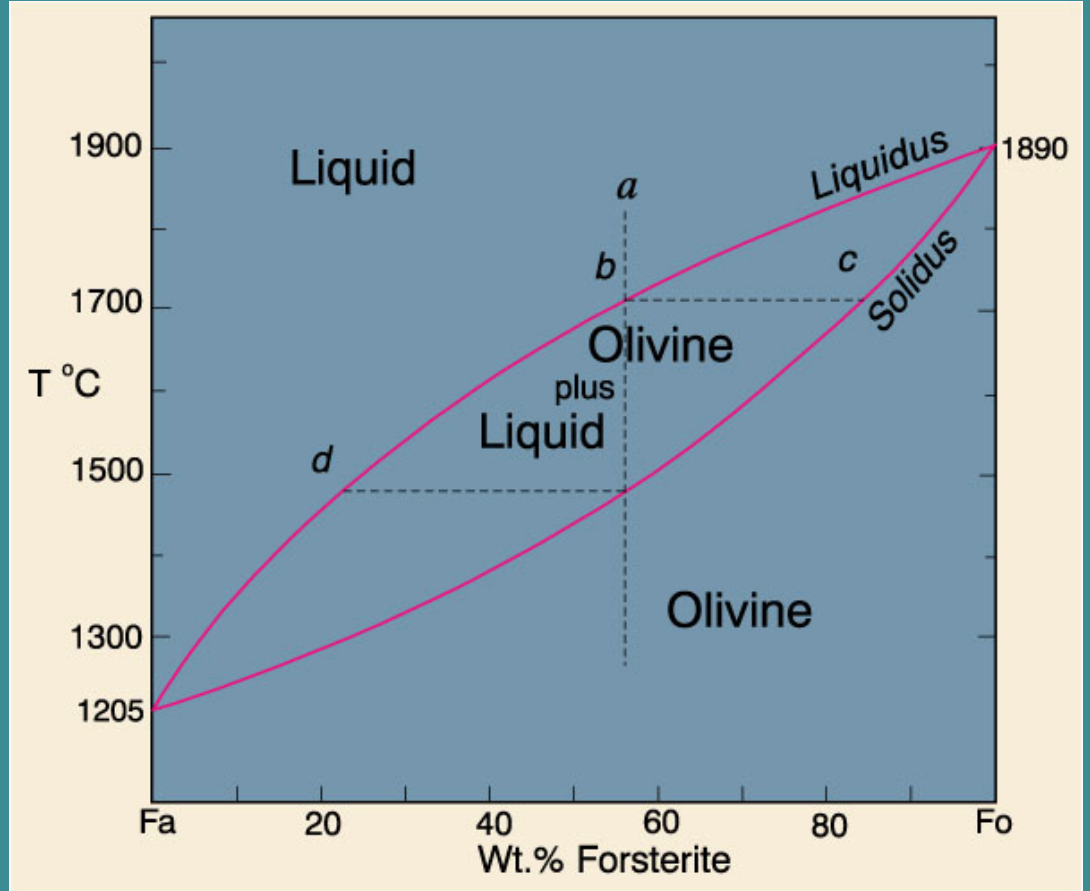


Olivin Grubu

Kesintisiz karışım kristal dizilerde (izomorf seri) kafeste aynı yeri paylaşan elementler için

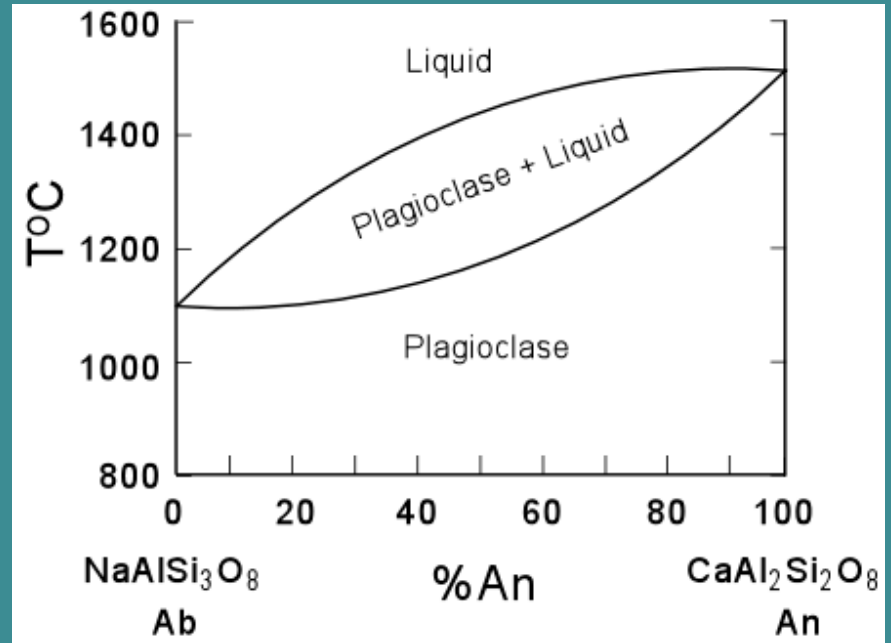
- büyüklük ve
- elektronegatifliğe bağlıdır.

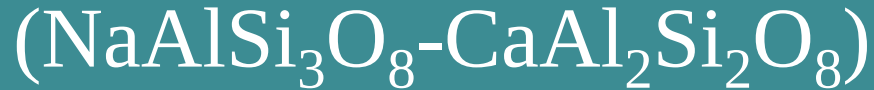
İyon çapları arasındaki fark %15'den fazla olan elementlerin birbirlerinin yerini alması çok enderdir.



Plajioklas Grubu

- Buna karşın izomorf değişken iyonların aynı iyon değerde olmaları gerekmez.
- Ancak yük farkının 1'den fazla olmaması gerekir.
- Plajiyoklaslarda ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)





Na (+1) ve Ca(+2) farklı değerdedir. Bir Na yerine Ca geçerse iyon değeri dengesi Si(+4) yerini alan Al(+3) ile karşılanır.

- Burada Al'un yarıçapı (0.47A) ile Si'un yarıçapı (0.34 A) arasında yarıçap farkı % 15 ten fazla olmasına karşın bu olay gerçekleşir.
- Benzer yükte fakat farklı çaptaki iki iyondan yüksek yükteki katı fazda yeralma eğilimindedir.
- İzomorf serilerin oluşmasında rol oynayan esas mekanizma diadohidir. Bu olay özellikle eser elementlerin jeokimyasında çok önemli olan bir kriterdir.

Buna karşın izomorf değişken iyonların aynı iyon değerinde olmaları gerekmez. Plajiyoklaslarda



Na (+1) ve Ca(+2) farklı değerdedir. Bir Na yerine Ca geçerse iyon değeri dengesi Si(+4) yerini alan Al(+3) ile karşılanır.

Benzer yükte fakat farklı çaptaki iki iyondan yüksek yükteki katı fazda yeralma eğilimindedir.

İzomorf serilerin oluşmasında rol oynayan esas mekanizma diadohidir. Bu olay özellikle eser elementlerin jeokimyasında çok önemli olan bir kriterdir.

Diadohi

İzomorf serilerde birbirlerinin yerini alan elementler o minerale özgüdür. Örneğin feldispatlarda (Ca-Na-K), olivinlerde (Fe-Mg). Diadoh element ise bu elementler dışında kalan ve kafese bu elementlerin yerine geçerek yerleşen elemente denir.

- Yer değiştirmenin gerçekleşebilmesi için yer değiştiren iyonların birbirine yakın büyüklükte olmaları gerekir.
- Kristal bağlarının uygunluğu gerekir.
- Elektrostatik nötrlüğün gerçekleşmesi gerekir.

Diadohi

- **A) KAMUFLAJ: YER DEĞİŞTİREN ANA VE İZ ELEMENTLER AYNI İYON YARIÇAP VE VALENS DEĞERİNDEDİRLER**

Örnek: Zirkonda (ZrSiO_4) 0.78 Å yarıçaplı Hf^{+4} zirkon kristal kafesinde 0.79 Å yarıçaplı Zr^{+4} yerine geçer.

- **B) YAKALAMA (CAPTURING): YER DEĞİŞTİREN ANA VE İZ ELEMENTLER FARKLI İYON YARIÇAPI VEYA VALENS DEĞERİNDEDİRLER**

Örnek: Mg içeren silikatlarda (piroksen, amfibol vb) 0.66 Å yarıçaplı Mg^{2+} 0.81 Å yarıçaplı Sc^{+3} elementini yakalar.

- **C) YAKALANMA (ADMISSION): KÜÇÜK ELEKTRİK YÜK DEĞERLİ VEYA BÜYÜK İYON ÇAPLI BİR ESER ELEMENTİN, DAHA YÜKSEK ELEKTRİK YÜKLÜ VEYA KÜÇÜK İYON YARIÇAPLI BİR ANA ELEMENTİN YERİNİ ALMASI OLAYIDIR.**

Örnek: Li^{+1} un Mg^{+2} YERİNE GEÇMESİ VEYA F^{-1} İN O^{-2} YERİNE GEÇMESİ BİLİNER EN TİPİK ÖRNEKLERDİR.

Diadohi

- İz elementler kendi minerallerini oluşturmaktansa ana elementlerin bulunduğu minerallerin yapısına girerler. Örneğin
- Ga hemen her zaman feldspat ve mika gibi Al içeren minerallerin yapısında Al un yerini alır.
- Mikalarda Mg^{2+} un yerini Li^{+} 'un alması
- Ortoklaz ($KAlSi_3O_8$) yapısında K^{+} un yerini Ba^{2+} un alması gibi.
- Sfalerit (ZnS) yapısında Cd^{2+} un Zn^{2+} nun yerini alması.
- Galen (PbS) yapısında Pb^{2+} yerine Ag^{2+} , S yerine Te geçmesi.

Turmalin kristal kafesi Ceksenine paralel üç boyutlu görüntüsü

Turmalin grubu mineraller
 $XY_3Z_6(BO_3)_3Si_6O_{18}V_3W$ genel
formülüyle tanımlanırlar.

-Kristal kafesinin X konumu Na^+ , K^+ , Ca^{2+}

-Oktaederin Y konumu Ti , Li^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Mn^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}

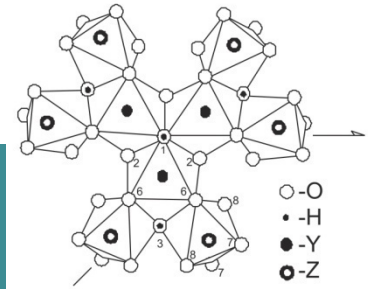
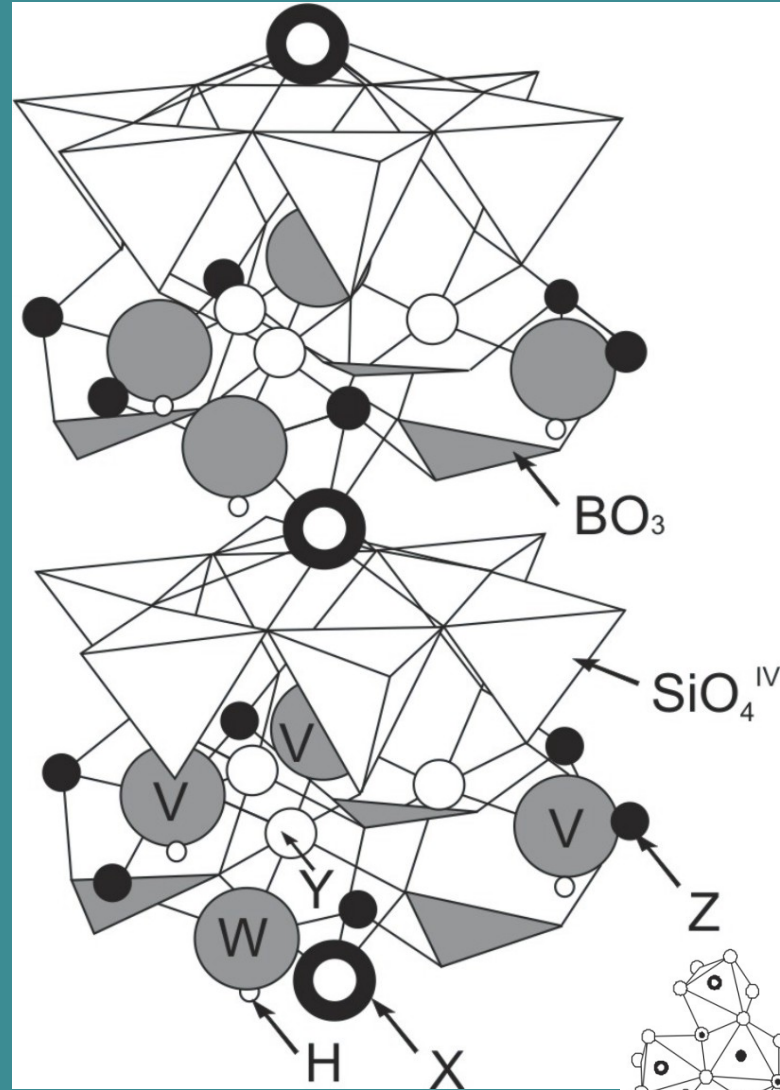
-Z ise Al tarafından doldurulmakla
birlikte Fe^{2+} , Fe^{3+} , V , Cr^{3+} , Ga

-Kristal yapısında her tetraeder iki oksijeni
paylaşarak Si_6O_{18} şeklinde hegzagonal diziler
oluştururlar.

-Bu tetraederlerin altında iki farklı oktaeder yer
almaktadır. Merkezdeki Y kanyonları
tarafından doldurulan üç büyük oktaeder, Z
kanyonlarının işgal ettiği birer çift küçük
oktaeder ile bağlantılıdır.

Her biri üçer O atomu ile çevrili olan B,
oktaeder katmanları birarada tutmaya yardım
eder.

Genelleştirilmiş formülde W yerinde O^{2-} , OH^- ,
 F^- ve Cl^- ve V yerinde O^{2-} , OH^- anyonları
bulunabilmektedir.



○ -O
● -H
● -Y
● -Z

Table 9-6 A brief summary of some particularly useful trace elements in igneous petrology

Element	Use as a petrogenetic indicator
Ni, Co, Cr	Highly compatible elements. Ni (and Co) are concentrated in olivine, and Cr in spinel and clinopyroxene. High concentrations indicate a mantle source.
V, Ti	Both show strong fractionation into Fe-Ti oxides (ilmenite or titanomagnetite). If they behave differently, Ti probably fractionates into an accessory phase, such as sphene or rutile.
Zr, Hf	Very incompatible elements that do not substitute into major silicate phases (although they may replace Ti in sphene or rutile).
Ba, Rb	Incompatible element that substitutes for K in K-feldspar, micas, or hornblende. Rb substitutes less readily in hornblende than K-spar and micas, such that the K/Ba ratio may distinguish these phases.
Sr	Substitutes for Ca in plagioclase (but not in pyroxene), and, to a lesser extent, for K in K-feldspar. Behaves as a compatible element at low pressure where plagioclase forms early, but as an incompatible at higher pressure where plagioclase is no longer stable.
REE	Garnet accommodates the HREE more than the LREE, and orthopyroxene and hornblende do so to a lesser degree. Sphene and plagioclase accommodates more LREE. Eu^{2+} is strongly partitioned into plagioclase.
Y	Commonly incompatible (like HREE). Strongly partitioned into garnet and amphibole. Sphene and apatite also concentrate Y, so the presence of these as accessories could have a significant effect.

Table 9-6. After Green (1980). *Tectonophys.*, **63**, 367-385. From Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.