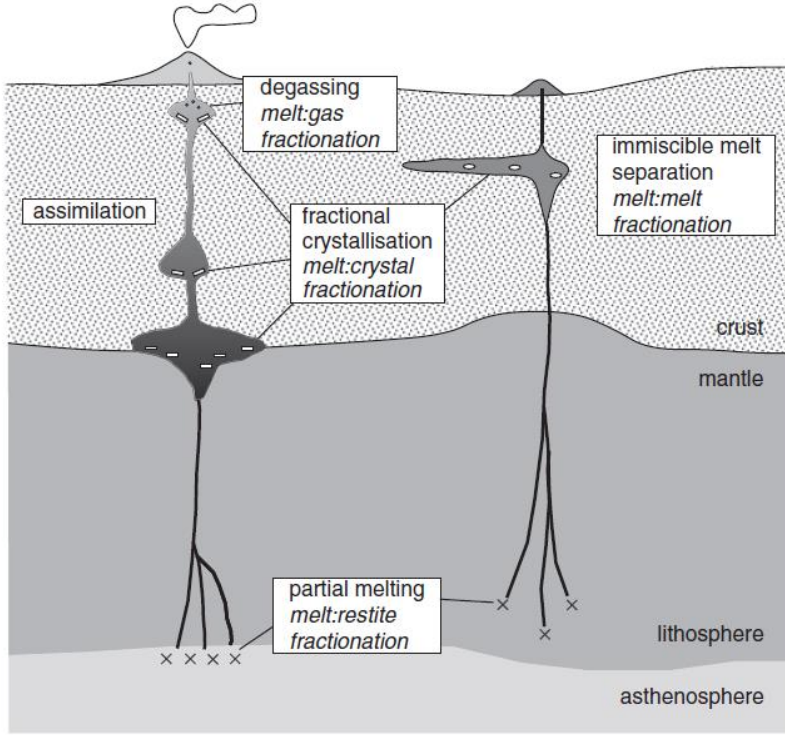


## MAGMATİK (ORTOMAGMATİK) MADEN YATAKLARI

Magmatik sistemlerdeki cevher oluşumunda beş ana işlev öne çıkmaktadır:

İlk dört işlev, mantodaki ergimeden kabuktaki nihai kristalleşmeye kadar uzanan magma evrimi aşamaları ile ilişkilidir. Bu aşamaların her birinde elementlerin farklı fazlara kimyasal bölünmesi cevher oluşumunda önemli rol oynamaktadır.

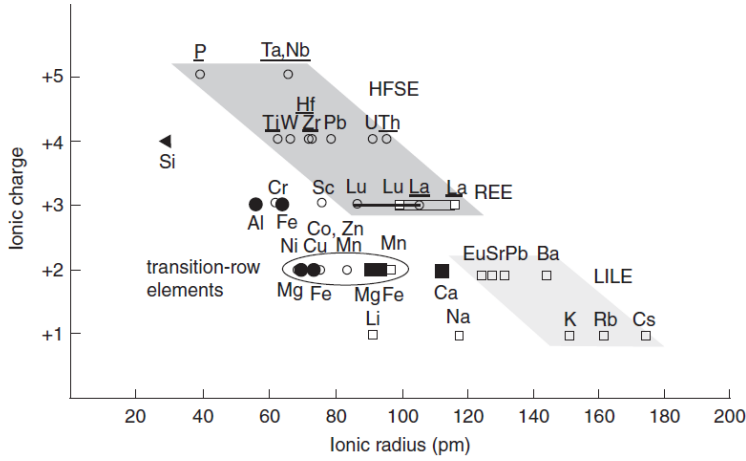


### (1) Cevher elementlerinin düşük dereceli kısmi ergime sonucunda yoğunlaşması:

Ergiyikteki uyumsuz element konsantrasyonlarının kaynak kayaca göre daha yüksek olması nedeniyle, kısmi ergime cevher oluşumunda önemli rol oynar. Kısmi ergime yüzdesi ne kadar düşükse ergiyik uyumsuz element bakımından o derece zengin olacaktır. Mantoda uyumsuz elementler temel manto minerallerinin (olivin, klinopiroksen, ortopiroksen, ve derinliğe bağlı olarak plajiyoklaz, spinel ve granat) kristal yapısına dahil olmazlar ve bu tür uyumsuz elementler söz konusu mineralleri oluşturan bileşenlere (Mg, Fe, Si ve Al) göre çok farklı iyonik yük ve değerliliğe sahiptir. Uyumsuz elementlerin çoğunlukla düşük-dereceli kısmi ergiyiklerde tutulması çok sayıda iz element cevherinin nadir ve sıra dışı kayalarda (özellikle karbonatitlerde) oluşmasına yol açmıştır. Bu işlev, ayrıca, Rusya Federasyonundaki Kola alkalin provensinde görüldüğü üzere oldukça alkalin magmatik kayalarda cevher oluşumlarına fırsat tanımıştır (Petrov, 2004).

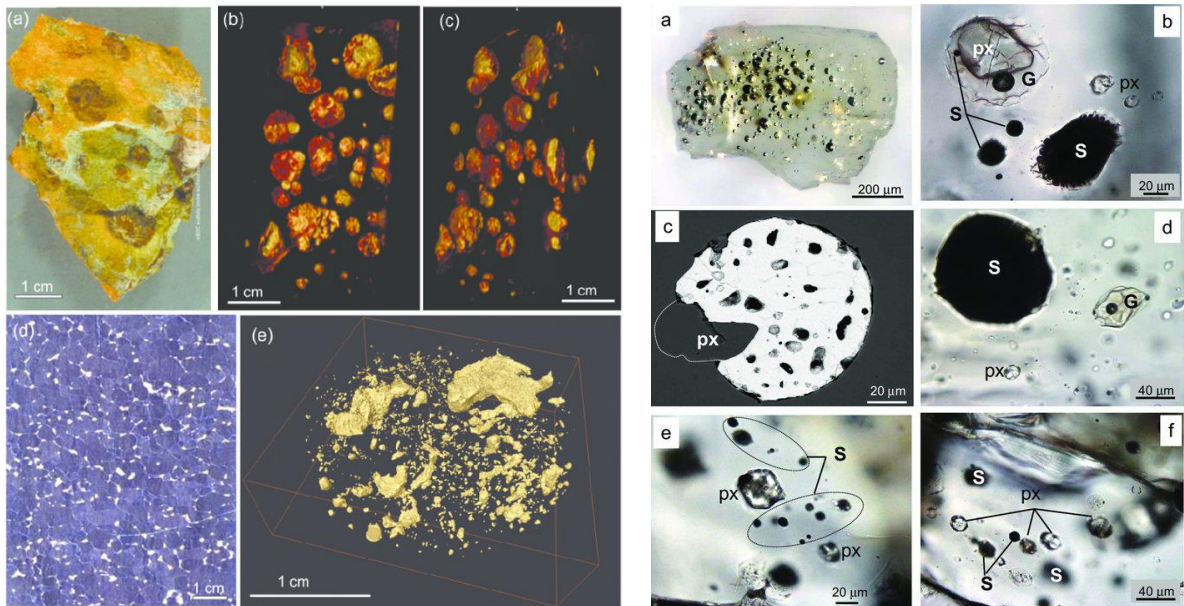
### (2) Magmanın kesintisiz kristalleşmesi sırasında magma odasında cevher minerallerinin birikmesi:

Magma odasındaki bölümlü kristalleşme sırasında silikat magmalarından doğrudan biriken az sayıda cevher minerali vardır (örneğin, krom kaynağı olarak kromit ve vanadyum kaynağı olarak manyetit). Bu mineraller ikincil veya aksesuar fazlar şeklinde magmatik kayalar içinde oluşurlar (mafik ve ultramafik kümülatlar). Bu cevher mineralleri ancak belirli şartlar altında çok yoğun şekilde birikim yaparlar (örneğin, kalın katmanlı intrüzyonların kümülat yığınlarındaki monomineralik ince tabakalarında olduğu gibi). Bu tür sıra dışı birikimler kümülat oluşumu ve magma odalarındaki belirli fiziksel ve kimyasal işlevler ile gerçekleşir.



### (3) Magma içinde iki karışmaz ergiyiğin ayrılması:

Bu işlev magmatik kayalarda sülfat minerallerinin birikmesinde rol oynayan en önemli mekanizmadır. Sülfat mineralleri manto kayaları da dahil olmak üzere çoğu kayacın ikincil bileşenleridir. Kısmi ergime ile sülfat mineralleri, sülfat çözünürlük sınırına (silika magmasında tipik değeri birkaç yüz ppm civarında) kadar silika ergiyiğinde çözünürler. Silika magması hareket ettiğinde ve doygunluk sınırına ulaştığında çözülmüş sülfatın bir kısmı karışmaz (immiscible) hale gelerek damlacıklar şeklinde magmadan ayrılır. Bu damlacıklar soğuma ile kristalleşecek ayrı bir sülfat ergiyik fazı oluşturacak şekilde ayrılırlar. Başta Cu, Ni ve Pt olmak üzere kalkofil ve siderofil elementler silika ergiyikle karşılaştırıldığında sülfat ergiyikte daha fazla uyumlu karakterde olduğundan karışmaz sülfat ergiyikte önemli ölçüde birikim yaparlar. Cevher nadiren diğer karışmaz ergiyik-ergiyik çiftlerinde de oluşabilir. Demir oksitçe zengin ergiyiklerin alüminyumlu felsik ve anortozik silikat magmalardan karışmazlık yoluyla ayrılması bazı intrüzyonlardaki manyetit-ilmenit Fe-Ti cevherlerinin oluşumu için alternatif bir mekanizma olduğu düşünülmektedir (örneğin Norveç-Tellnes bölgesindeki nelsonitler (Charlier vd., 2006). Benzer şekilde, fosforca zengin ergiyiklerin karbonatit tür magmalardan ayrılması da apatit baskın magmatik kayaların oluşmasına yol açtığı ileri sürülmüştür (Petrov, 2004) (örneğin; Kola alkalın provensindeki zonlu alkalın intrüzyonlarda foskorit oluşumu).



Soldaki mikrofoto: Komatit lav akması içindeki ince taneli olivin ortokümülatla yarı-küresel sülfid damlacıkları (Mt Clifford, doğu Yilgarn kratonu, batı Avustralya) (Robertson vd., 2015). Sağdaki mikrofoto: Olivin içinde silikat camı (G) ve klinopiroksen ve ortopiroksen (Px) ile beraber bulunan sülfid ergiyiği (S) (Kamenetsky vd., 2017).

#### **(4) Magmanın kesintisiz kristalleşmesi sırasında aşırı bölünme (fraksiyonlanma):**

Ergiyik sürekli olarak kristallendikçe çökelen mineral bünyesine katılmayan uyumsuz element konsantrasyonları artış gösterir. Geride kalan ergiyiğin çok az kısmında bile uyumsuz iz element zenginleşmesi mümkün olabilmektedir. Bu elementler, son kalan ergiyikten itibaren kristalleşen nadir minerallerin ana bileşenleri olabilir. Çoğu granitik pegmatit bu şekilde oluşmuştur. Pegmatitler çok sayıda nadir metalin (örneğin Li, Be, Nb, Ta, Sn ve U) cevherli kayasıdır. Bu elementlerin tamamı kayaç oluşturan yaygın minerallere göre uyumsuz olmakla birlikte bir ergiyikten kristalleşen birden fazla nadir mineralin ve ayrıca yapılarında bir uyumsuz element barındıran süs taşlarının (örneğin zümrüt Be, topaz F ile) ana bileşenidirler.

#### **(5) Yerkürenin belirli bir derinliğinde cevher minerali oluşumu:**

Bu durum, mantodaki grafit-elmas geçiş derinliğinin altında yerleşmiş magmalardan itibaren oluşan kimberlit ve lamproitlerdeki elmas çökelleri için söz konusudur. Elması özel bir maden yatağı yapan husus elmas konsantrasyonu değil mantodaki 140 km'lik bir derinlikten (bu derinlikte elmas duraylı bir mineraldir) oldukça düşük miktarda elmasın yüzeye taşınmasıdır.

### **1) DÜŞÜK DERECELİ KISMİ ERGİME SONUCUNDA OLUŞAN YATAKLAR: KARBONATİTLERDEKİ HAFİF NADİR TOPRAK ELEMENT (HNTE) YATAKLARI:**

Karbonatitler başta kalsit, dolomit ve siderit olmak üzere %50'den fazlası primer karbonat minerallerinden oluşan nadir magmatik kayaçlardır. Dünyada yaklaşık 500 karbonatit intrüzyonu ve az sayıda püskürük karbonatit oluşumu bulunmaktadır. Karbonatit intrüzyonlarının çoğunda uyumsuz iz element ve bazen de majör element zenginleşmeleri görülür. Karbonatitlerde oluşan bu yataklara örnek olarak:

İç Moğolistan'da (Çin) Bayan Obo HNTE, Nb ve Fe cevherleri  
Colorado (ABD) Powderhorn (Iron Hill) Ti ve Th kaynakları  
California (ABD) Mountain Pass HNTE cevherleri  
Palabora, Güney Afrika Cu, Co, Zr, Hf, Fe, apatit ve vermikülit ve yan ürün olarak Au, Ag, Ni ve Pt  
Mt Weld Batı Avustralya HNTE ve Nb

Tantal bazı karbonatitlerde işletilebilecek ölçüde mevcuttur. Karbonatitler ve kökensel olarak ilişkili kayaçlar HNTE'lerin başlıca kaynağıdır.

#### **HNTE'lerin jeokimyasal özellikleri**

Karbonatitlerden ve alkalın silikat magmatik kayaçlardan üretilen iz elementlerin çoğu kalıcılığı yüksek (HFS) elementlerdir. Geçiş metalleri olan bu elementler yüksek iyonik yük (+3 ile +5 arasında) ve göreceli düşük iyonik yarıçapa sahiptir ve bu nedenle mantodaki silikat minerallerine göre uyumsuz davranırlar. İntrüzif karbonatitler silindirik, yaklaşık olarak baca biçimli, yaklaşık 3 km yarıçaplı dikey dalımlı stoklar şeklinde oluşurlar. Düzensiz merceksi kütleler şeklinde oluşmaları da vardır. Geniş intrüzyonların birkaç km yakınında karbonatit dayk dizileri genellikle yaygındır. Bazı karbonatitler izole intrüzyonlar şeklinde olsa da birçoğu kompleks şekilde zonlanmış mafik veya ultramafik alkalın derinlik kayaçları içinde veya hemen yakınında görülür.

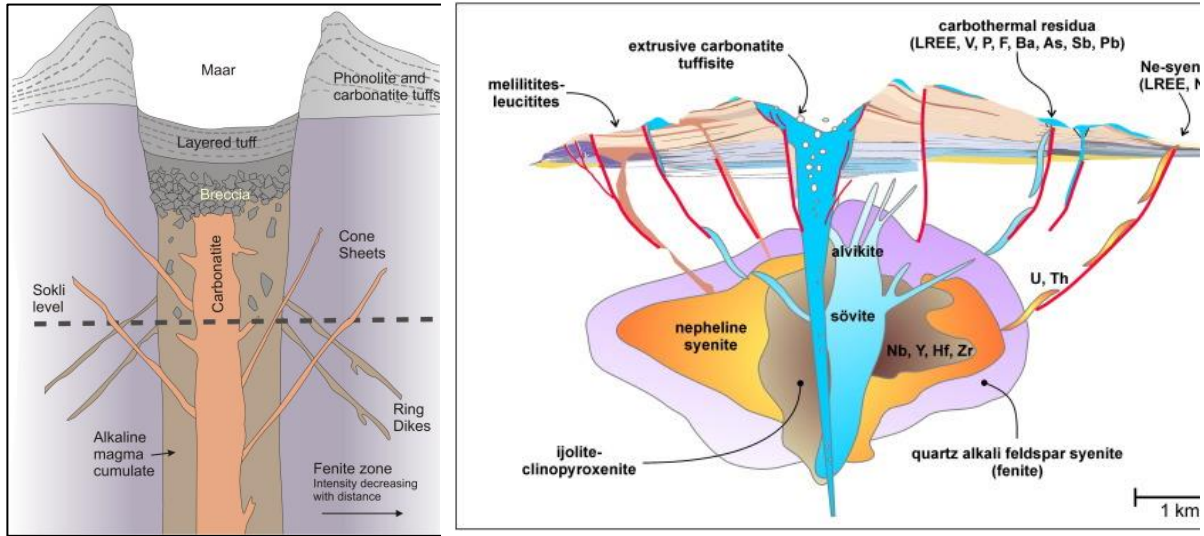
Bütün kabuk kayaçları içinde karbonatitler en yüksek nadir-toprak element oksit (NTEO) içeriklerine sahiptir. Toplam NTEO konsantrasyonları %0.5'e kadar varabilmektedir (bu değer ortalama kıtasal kabuktaki miktardan yaklaşık 30 kat yüksektir). NTE bakımından zengin magmatik karbonatitlerde, NTE'ler başlıca bileşen olarak farklı minerallerde birikir.

NTE flor-karbonatlar bastnasit [(La,Ce)CO<sub>3</sub>(F,OH)]

parisit [Ca(Ce,La)<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F<sub>2</sub>]

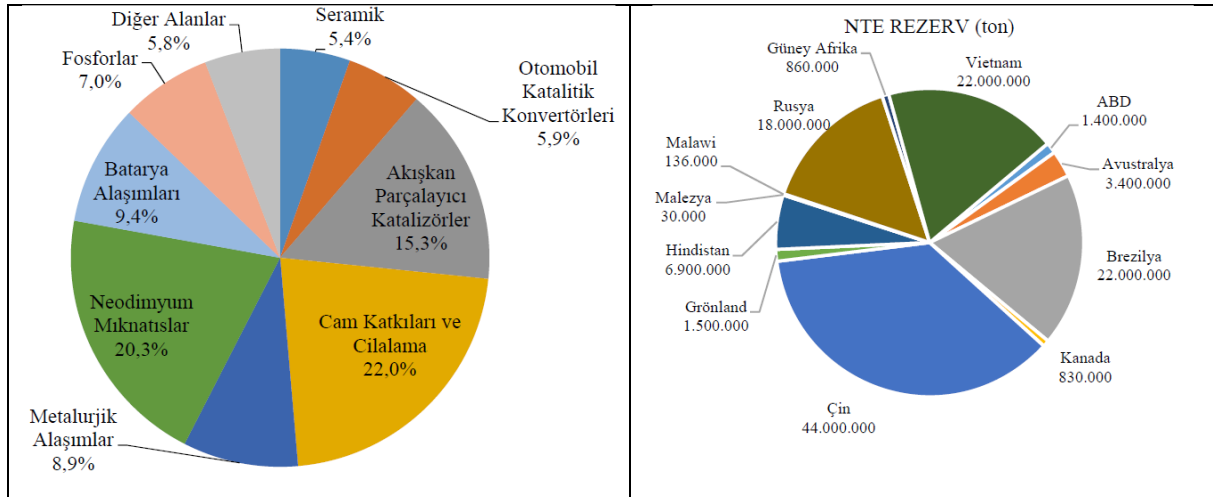
fosfat monazit [(Ce,La,Th)PO<sub>4</sub>]

Cevherler magmatik doku göstermekle birlikte tekdüze şekilde saçınımlı veya ana kaya içinde diğer minerallerle birlikte öbek şeklinde görülür.



Alkalın kayaları kesen bir karbonatit bacası (solda), püskürük türde karbonatit ve çevresinde gelişen NTE zenginleşmeleri (sağda) (Stoppa vd., 2016).

Ekonomik HNTE yatakları çok az sayıda karbonatit içinde görülür. Mt Weld'de (Batı Avustralya) cevher ayrılmış karbonatit içinde olup cevher lateritik ayrışma sonucu zenginleşmiştir. Buna karşın, Bayan Obo ve Mountain Pass'da görülen yüksek HNTE konsantrasyonları esasen ayrılmamış magmatik mineral ve doku özellikleri gösteren kayaçlarda oluşmuştur. Bu nedenle, bu cevherler "primer-birincil" magmatik yatak olarak düşünülmektedir. HNTE yatağı barındıran bu karbonatitlerin her ikisi de diğer karbonatitlere göre sıra dışıdır. Mountain Pass'daki cevher önemli miktarda gang olarak barit içeren kalsitik ve dolomitik karakterli karbonatit içindedir. Karbonatit sıra dışı şekilde ultrapotasyik bir alkalın intrüzyon ile ilişkilidir. Bayan Obo'daki yatak ise, kalsit karbonatit içinde olup en yüksek tenör geniş bir karbonatit intüzyonu içindeki demir oksit-florit-ejirin-ojit içeren kayacın kompozit mercerlerinde görülmüştür. Doğu Afrika Rifti ve Kanneshin'deki (Afganistan) diğer oluşumlarda yatak olabilecek kapasitede NTE zenginleşmesi mevcut değildir.



Nadir toprak element kullanım alanları ve dünya rezervleri (MTA, 2017).

### Karbonatitlerdeki HNTE cevherlerinin kökeni

Karbonatit magmalarını oluşturmak için gerekli ergime koşulları yüksek basınç altında gerçekleştirilen petrolojik ergime deneylerinden elde edilmektedir. Yaklaşık 2.5 GPa'dan yüksek basınç altında (90 km'den daha fazla derinlikte), dolomit manto peridotitlerinde duraylı kalabilmektedir. Manto kaynaklı ksenolitlerde %1-2 bolluğa ulaşan karbonat, manto peridotitlerinde iz bileşen durumundadır. 2.5-6 GPa basınç altında yapılan deneylerde karbonat-içeren peridotitlerinin düşük yüzdeli kısmi ergimesi neticesinde karbonatit ergiyikleri elde edilmiştir. %1 civarındaki kısmi ergime ile karbonat minerallerinin tamamen ergidiği görülmüştür. Dolomit-içeren manto peridotitinden itibaren karbonatit ergiyiği üreten ergimenin maksimum yüzdesi %3'den az olarak tahmin edilmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda ve ergime yüzdelerinde aynı kaynak kayaç, karbonat-içeren alkalın magma üretecektir. Solidus daha yüksek sıcaklık ve düşük basınç olduğundan, karbonatit ergiyikleri, çoğu durumda, üst mantodan yükselmek yerine olağandışı bir süreç olan ergime derinliğinden hızlı yükselme ile yüze ulaşabilir.

### Türkiye'deki NTE yatakları

Türkiye'deki nadir toprak element (NTE) yatağı ve cevherleşmeleri, jeolojik ortamları ve kökenine göre dörde ayrılabilir.

Birincisi, hafif nadir toprak elementlerince zengin, karbonatit-alkali magmatitlerle ilişkili yataklardır. En iyi bilinen örnekleri Kızılcıören (Eskişehir) ve Kuluncak (Malatya) yatakları olup sırasıyla %2.9 ve %0.7 TNTE tenörüne sahiptir ve La-Ce zenginleşmeleri tipiktir. Düşük TNTE tenörüne sahip Keban (%0.05) ve Divriği (% 0.13) cevherleşmeleri floritçe zengindir ve bu dört oluşumun da NTE desenleri, floritlerdeki sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklığı ve tuzlulukları benzerdir (Öztürk vd., 2019).

İkincisi Bolkardağı bölgesindeki Triyas şeylleri ve bunlardan oluşan boksitlerdir. Bunlarda Ağır Nadir Toprak Element (ANYE) zenginleşmesi tipiktir, boksitler ve boksitlerin protoliti şeyllerin TNTE tenörü yaklaşık % 0.15'dir. Bunlar Çin'deki granitik kayaçların üzerinde gelişen killerle ilişkili "iyon adsorpsiyon tip" yataklara jeokimyasal açıdan benzerdir (Öztürk vd., 2019).

Üçüncüsü, Çanaklı (Burdur) yatağı ile temsil edilen U, Th, ANTE ve manyetit, zirkon, rutil vb. ağır minerallerce zengin plaser tip yataktır ve ortalama %0.08 TNTE tenörüne sahiptir (Öztürk vd., 2019).

Dördüncü NTE potansiyel kaynağı fosforitlerdir. Bu kayaçlar dünyanın büyük NTE kaynağını oluşturmakla birlikte, Türkiye'nin Kretase Mazıdağı fosfatları çok düşük (40 ppm) TNTE içermektedir ve bu nedenle ekonomik değildir (Öztürk vd., 2019).

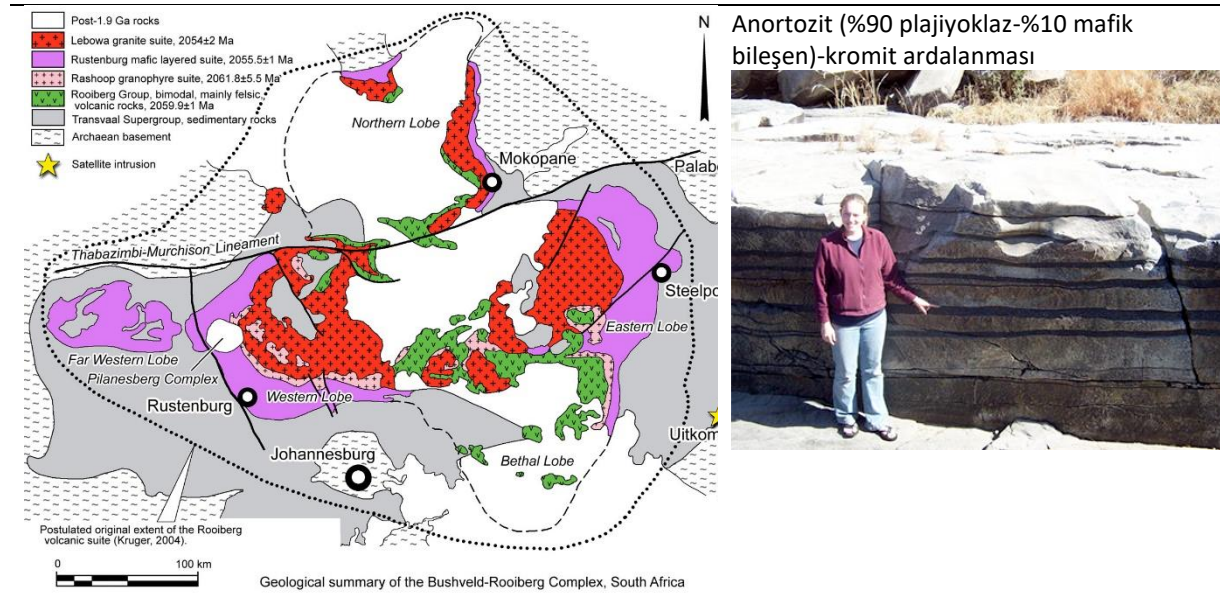
## 2) SİLİKAT MAGMANIN DİFERANSİYASYONU SIRASINDA OLUŞAN YATAKLAR: KROMİT YATAKLARI

Litofil bir element olan krom, mantodaki mafik ve ultramafik ergiyiklerin ürünü olan hem spinel hem de klinopriksene göre uyumlu davranır. Bu nedenle, kısmi ergime sırasında büyük ölçüde mantoda tutulur, böylece ortalama kabuktaki konsantrasyonu (~ 100 ppm) mantoya oranla (%1'e kadar) çok düşüktür. Kabuktaki büyük mafik-ultramafik magmatik kütlelerdeki ultramafik katmanlar yüksek Cr konsantrasyonuna sahiptir. Spinel kromit ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) kromun yegane cevher mineralidir. Çoğu ultramafik kayada aksesuar veya minör mineral olan spinel ~%55'e kadar  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  içerir. Ultramafik kayalarda değişen miktarlarda  $\text{Al}^{3+}$ - $\text{Fe}^{3+}$  ( $\text{Cr}^{3+}$  ornatın) ve  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{Fe}^{2+}$  ornatın) içeren kromitler katı eriyik özelliği gösterirler. Kromit cevherleri, mafik ve ultramafik intrüzif kayalarda monomineralik **kromitit** (= kromit kayacı) olarak görülen ve yaklaşık %30'dan fazla kromit içeren gövdelerdir. Kimyasal bileşimine bağlı olarak kromitin sanayide farklı kullanım alanları mevcuttur. Kromitten az miktarda krom elde edilir. Ana kullanım alanları Cr-içeren kimyasalların hammaddesi olarak, refrakter (ateşe dayanıklı malzeme) üretimi, ferro-krom (yüksek demirli krom) alaşımların elde edilmesi (paslanmaz çelik). Kromitteki Cr:Fe oranının 2.8/1 olması istenir.

Cevher kütlesi şekli ve jeolojik oluşum ortamı açısından iki tür kromit yatağı mevcuttur. Stratiform kromit yatakları büyük, katmanlı ultramafik-mafik intrüzyonlarda görülür, podiform kromit yatakları ise ofiyolitler veya Alpin peridotitler içerisinde oluşmuştur.

### Stratiform kromit yatakları

Great Dayk-Zimbabve, Bushveld Kompleksi-Güney Afrika, Stillwater Kompleksi-Montana ve Finlandiya'daki Kemi intrüzyonundaki yataklar en önemli cevherleşmelerdir. Cevherleri barındıran intrüzyonların tamamına yakını kratonlara ait kristalin kayalara sokulmuş, anormal ölçüde büyük, levha biçimli, yukarı doğru açılmış Arkeen veya Paleoproterozoik yaşlı intrüzyonlardır.



Yüzlek alanları göz önüne alındığında, intrüzyonların boyutları Kemi'de  $30 \text{ km}^2$  Bushveld Kompleksinde ise  $65.000 \text{ km}^2$ 'dir. Ana kaya intrüzyonları birkaç km kalınlığında olup üste doğru mafik birimlere geçiş gösteren ultramafik alt kümülat birimleri ile ardalanmalıdır.

Kümülat sekansları intrüzyonun tabanında yer alır. Ancak intrüzyonun mafik katman seviyesindeki uzanımı en alttaki ultramafik katman seviyesinden daha geniştir. İntrüzyona ait kümülat sekansları kalınlıkları 1 ile 100 m arasında tekrarlanan katmanlarla daha da karmaşık hale gelmiştir. İntrüzyonlardaki kümülat katmanlanmasının karmaşıklığına rağmen, mineral sekansı Bowen reaksiyon serisinin öngördüğü kristalleşme dizisine ve mafik magmaların sürekli kristalleşmesi sırasındaki likudus faz ilişkilerine uygun şekilde devam eder. Tabandan yukarı doğru mineral sırası olivin, kromit, ortopiroksen, plajiyoklaz ve klinopiroksen şeklindedir. Süksesyonun alt kısmındaki modal mineralojinin yaklaşık %1'ini kromit oluşturur.

Kromit yatakları kümülat sekansları içinde magmatik katmanlanmaya paralel olarak ince, stratiform, kromitçe zengin kayaç veya kromitit tabakaları şeklinde görülür. Katmanlar doğrultuları boyunca genellikle kilometrelerce devamlılık göstermekle birlikte yerel ölçekte dallanma veya faylar vasıtasıyla yer değiştirme yaygındır. Normal kümülat kayaçlardan farklı olarak, ince kromitit tabakaları keskin dokanaklı olup taneler arası (intercumulus) bir matris içinde yarı özşekilli-özşekilli kromit barındırırlar. Bu matris, başta olivin olmak üzere plajiyoklaz ve ortopiroksen ve ayrıca ikincil olarak bünyesine su almış serpantin ve talk gibi minerallerden yapılıdır.

Kromitit tabakaları en iyi şekilde büyük ancak karmaşık tabaka sekansı sunan ultramafik-mafik intrüzyonlarda oluşurlar. Farklı intrüzyonlarda farklı kaya tiplerinde görülürler. Örneğin, Bushveld Kompleksinde feldispatik ortopiroksenlerde, Kemi intrüzyonunda ise peridotitler içinde oluşmuşlardır. Buna karşılık, ortopiroksenin kümülat fazı olduğu her intrüzyonun değişik seviyelerinde bulunurlar. Kromititler en alt peridotit katmanları ile intrüzyonun üst kısmını oluşturan gabro katmanlarında görülmezler. Büyük intrüzyonlarda birbirine paralel çok sayıda kromitit tabakası vardır. Örnek olarak, Zimbabve'deki Büyük Daykta başlıca on bir adet kesintisiz kromitit tabakası tespit edilmiştir.

Kümülat sekansında görülen ani ve keskin mineralojik değişimler, kromitit birikmesi öncesinde veya sırasında kümülat yığınının kristalleşme düzeninin bozulduğuna işaret eder.

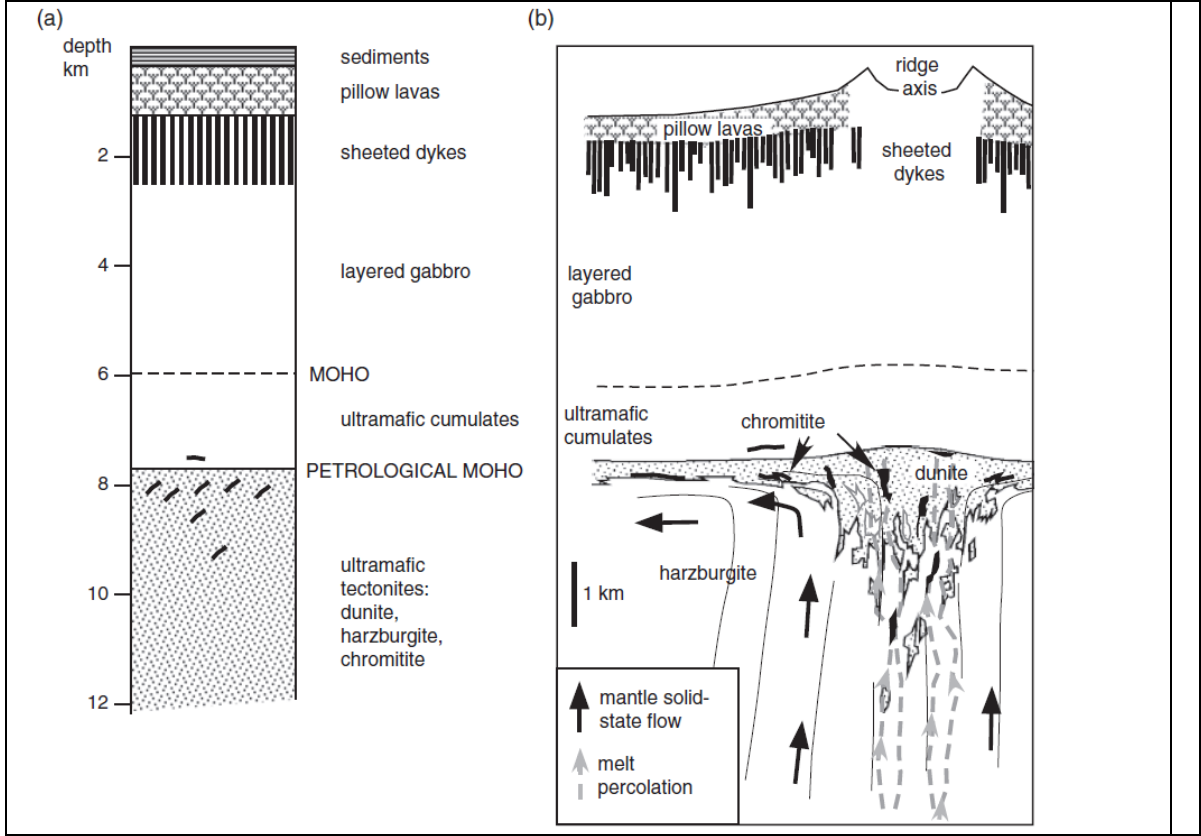
### **Ofiyolitlerdeki veya "Alpin Peridotitlerdeki" podiform kromit yatakları**

Ofiyolitler kıtasal kabuk üzerine tektonik olarak yerleşmiş okyanusal kabuk veya üst manto parçalarıdır. Kromit yatakları içeren ofiyolitlere örnek olarak Kempirsai-Kazakistan, Yeni Kaledonya, Arnavutluk ve Türkiye verilebilir.

Ultramafik tektonitler bazaltik bileşimli magmaların (okyanus ortası sırtı bazaltı-MORB) türediği üst mantonun kalıntısıdır. Tektonitler deniz tabanı yayılması sırasında mantonun katı-halde akması sonucunda deformasyona uğrar. Okyanus sırtı kabuksal magma odalarındaki kümülatlar alt ultramafik peridotit sekansı ile mafik gabro biriminden oluşur. Bazaltik bileşimli levha daykları ve bunların üzerindeki yastık lavlar magma odasından devamlı şekilde püsküren magmadan meydana gelmişlerdir. Podiform kromititler evrimini tamamlamış okyanus-ortası sırtlardan sıyrılmışlardır.

### **Ofiyolitlerdeki kromit yataklarının genel özellikleri**

Ofiyolitlerdeki kromit yatakları karmaşık baca veya yumru şekilli kromitit veya kromitçe zengin dünit gövdelerinden oluşur. Bu kayaçlarda, %25'den yüksek oranda bulunan kromitlere olivin veya olivinin düşük-sıcaklık bozuşma ürünü olan serpantin eşlik eder. Kromit yumruları dünya genelindeki ofiyolitlerde homojen bir biçimde gelişmemiş olup çoğunda nadir veya hiç olmayabilir. Yatakların çoğu harzburjit tür ofiyolitlerde (olivin-ortopiroksen kayacı) görülmekle birlikte lertzolit tür ofiyolitlerde (olivin-ortopiroksen-klinopiroksen±plajiyoklaz) nadir veya çok zayıf gelişmiştir. Manto tektonitlerindeki kromititler düzensiz dünit gövdeleri içinde veya harzburjit içindeyse bu kayalardan kalın dünit zonları ile ayrılır.

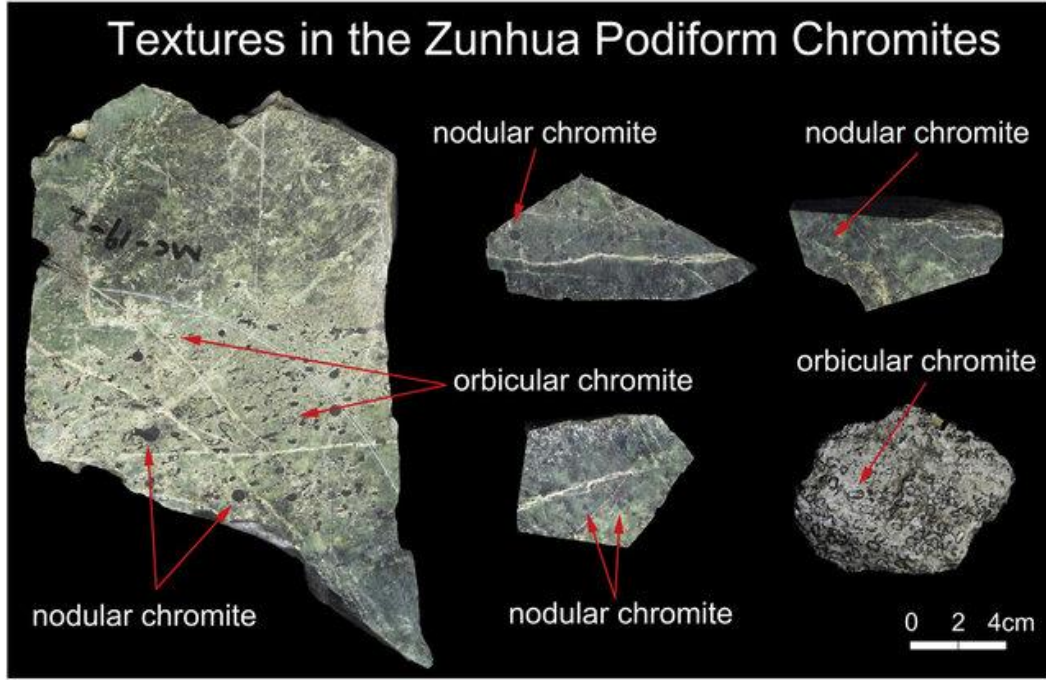


İdeal bir ofiyolit serisi

Cevher yumru ve leopar dokuları gibi nadir görülen doku yapıları ile karakteristiktir. Bu tür dokularda, çubuksu, orbiküler (dairesel) kromit taneleri olivince zengin bir matris içinde birkaç cm çapında öbekler oluşturur.







Bu dokular, bir magmaya ait kabarcıkların ikinci bir magma içinde askıda bulunduğu kompozit bir magmanın akması sırasında kristalleşmesi ile açıklanabilir. Orbiküler doku ise kromitin kabarcıkların ara yüzeyinde kristalleşmesi esnasında gelişmiştir.

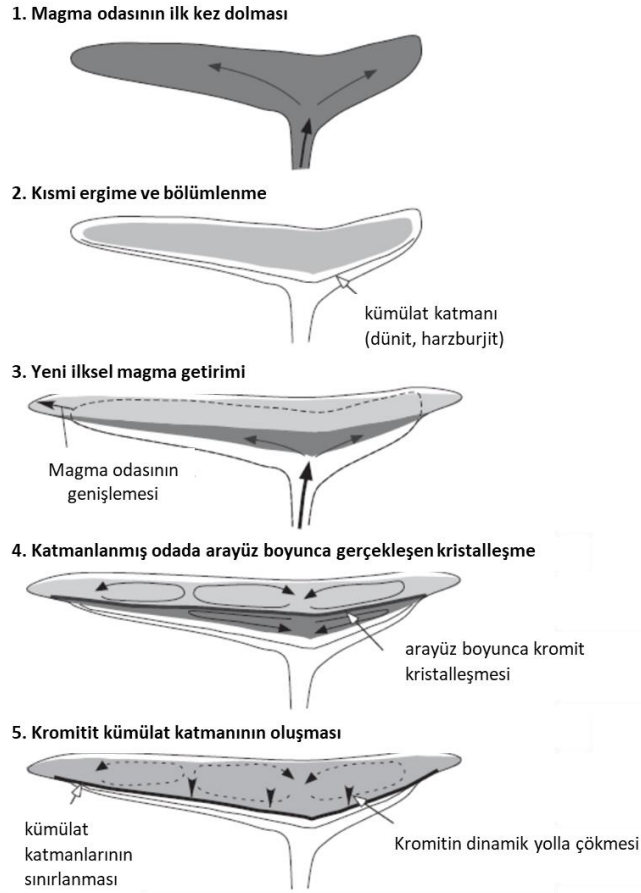
### **Kromitlerin kökeni**

Intrüzyonlardaki kromit katmanlarının ve ofiyolitlere ait ultramafik kayalar içindeki yumruların oluşumu uzun yıllardır tartışma konusuydu. Çoğu mafik magmanın soğuması sırasında kristalleşen kromit, kümülat sekansları tabanındaki dünit ve harzburjit içinde minör bir bileşendir (~ %1). Bu nedenle, kromit oluşumu için magma odasındaki normal bir bölümlü kristalleşmeden daha farklı bir işlev gereklidir.

#### **(a) Stratiform kromitler**

(i) Magmaya su eklenmesi gibi süreçlerle magmanın periyodik oksitlenmesi. Bu işlev kısa süreli kromit kristalleşmesine neden olabilir. Ancak Büyük Dayk'da görüldüğü üzere, farklı katmanlar boyunca kromitin bileşimindeki tedrici ve sistematik değişimler, kromit tabakalarının magmaya su ilavesi ile oluştuğu tezini geçersiz kılmaktadır.

(ii) Magma odasındaki diğer minerallere göre daha yüksek yoğunluğa sahip olması nedeniyle kromitin diferansiyasyon yoluyla çökmesi. Ancak çoğu kromit tabakasının ortopiroksen içinde yer almaktadır. Ortopiroksen çok az miktarda kromit içermesine karşın kromit tabakalarında kromitin modal bolluğunda tedrici bir artış veya azalış veya katmanlar boyunca kromit tane boyutunda bir azalma söz konusu değildir. Bu her iki durum birikmenin magma odasındaki çökme sonucu ortaya çıkması ile uyumludur. Çeşitli jeokimyasal ve petrojenetik bulgular kromit katmanlarını barındıran büyük magma odalarının tek bir magma getirimi ile değil birden çok periyodik magma (farklı bileşimli) beslenmesi ile doldurulduğuna işaret etmektedir.



### (b) Podiform kromititler

Ofiyolitler içindeki harzburjit ergime kalıntısı olup 10-20 km derinlikte MORB tipi ergiyiklerden türemiştir. Ergimeden itibaren ortaya çıkan kalıntı katı-haldeki manto akışı ile yukarıya taşınır. Sürekli olarak manto derinliklerinden üretilen MORB ergiyikleri hala sıcak olan bu kalıntı içindeki kanallar boyunca süzülür. Derinde oluşan bu ergiyik ortopiroksen ve olivin ile dengededir. Yukarı doğru yükselen MORB ergiyikleri harzburjit ile tepkir, ortopirokseni ergiterek olivin oluşturur ve böylece replasman dünit gövdeleri ortaya çıkar. Bu tepkime sonucunda ergiyiğin silika içeriği artar. Ortopiroksen → olivin tepkimesi ile ergiyiğin bileşimi kromite kayar ve böylece kromitit kristalleşir. Kromit taneleri içindeki ergiyik kalıntıları bunların mafikten ziyade ultramafik bileşimli ergiyikten çökeldiklerini gösterir.

Yumruların düzensiz şekilleri oluşum sonrası katı-haldeki manto akışı nedeniyledir. Bir ergiyikteki damlacıkların diğer ergiyik içinde askıda bulunması sonucu oluşan yumrulu doku iki magmanın karışımına işaret eder. Kromit iç kısımlarında olivin içeren bu yumruların yüzey bölümünde kristalleşir. Farklı okyanus tabanı yayılma merkezlerindeki mantonun petrolojik evrimindeki farklılıklar podiform kromititlerin neden bazı ofiyolitlerde bulunmasına karşın diğerlerinde mevcut olmadığını açıklayabilir. Manto peridotitinin ergime derecesi kalıntının harzburjit (yüksek dereceli ergime) veya lertzolit (düşük dereceli ergime) türde olacağını belirleyecektir. Bu farklılık rift veya yay ortamındaki yayılma hızı tarafından kontrol edilir. Harzburjit, sıcaklığın derinliğe bağlı olmaksızın yüksek olduğu hızlı yayılan rift merkezlerinde oluşur. Burada daha bazik karakterli ergiyik ortaya çıkar ve kalıntı materyal uyumsuz elementler bakımından lertzolite göre daha fazla tüketilmiştir. Yukarı yükselen ergiyik ve önceki ergimeden açığa çıkan kalıntı materyalin bileşimleri farklı olacaktır.

### Krom cevherinin kullanım alanları

Alpin tip cevherler (Podiform kromititler), Cr/Fe oranlarının stratiform tip cevherlere göre daha yüksek olması nedeniyle 1970'li yıllara kadar metalürji sanayiinde rakipsiz olarak kullanılmıştır. Bu yüzden yüzyılın ilk üç çeyreğinde kromit üretimi daha çok Alpin tip yataklardan yapılmıştır. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ve Cr/Fe oranı düşük, FeO içeriği yüksek olan stratiform tip yataklardan üretilen cevher ise, 1970'li yıllara kadar genelde kimya sanayiinde kullanılmıştır.

Ancak Alpin tip yataklarda rezerv belirleme güçlüğü ve uzun vadeli ticari bağlantıların yapılamaması gibi nedenler, stratiform tip yataklara ait krom cevherinin özellikle metalürji sanayiinde kullanımına imkân sağlayan teknolojileri geliştirmeyi zorlamış; elde edilen olumlu sonuçlara bağlı olarak da bu tip yataklardan yapılan krom cevheri üretimi giderek artma eğilimi göstermeye başlamıştır.

Krom yatakları, maden yatağının boyutuna ve topoğrafyaya bağlı olarak açık veya yeraltı işletme yöntemleriyle işletilmektedirler. Geçmiş yıllarda birçok krom yatağı açık işletme yöntemiyle işletilmişse de günümüzde krom yatakları büyük çoğunlukla yeraltı işletme yöntemleriyle işletilmektedir. Krom cevheri başlıca metalürji, kimya, refrakter ve döküm sanayiinde kullanılır.

### **Metalürji**

Metalürji sanayiinde krom cevherinin en önemli kullanım alanı paslanmaz çelik yapımında kullanılan ferrokrom üretimidir. Ferrokrom ise paslanmaz çelik metal ve silah sanayiinin çok önemli bir maddesidir. Krom; çeliğe sertlik ile kırılma ve darbelere karşı direnç verir, aşınma ve oksitlenmeye karşı koruma sağlar.

### **Kimya**

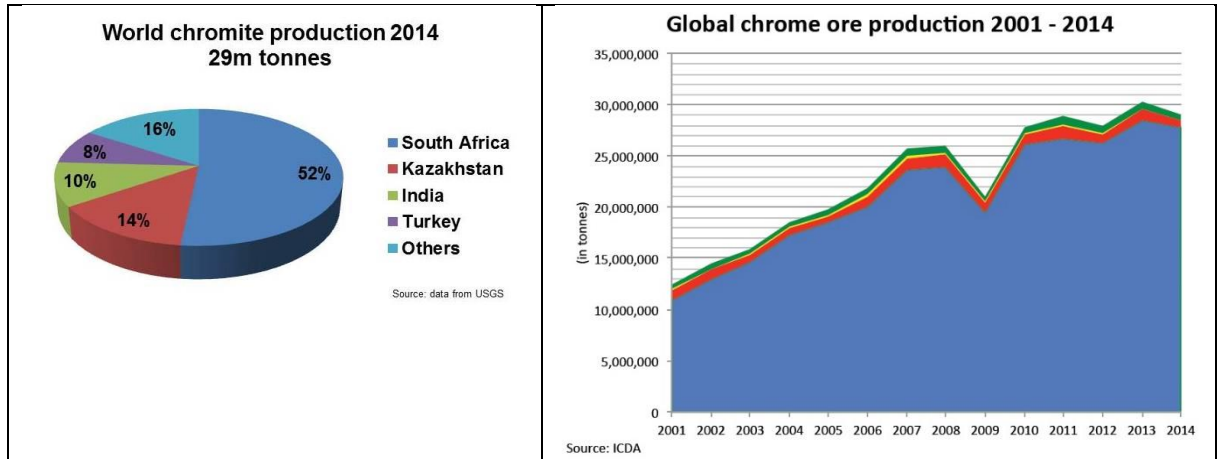
Çoğu krom kimyasalları, kimyasal kalitedeki krom cevherinden doğrudan elde edilen sodyum bikromattan üretilir. Sodyum bikromat, kromik anhidrit ve krom oksit en yaygın kullanılan krom kimyasallarıdır. Ticari olarak üretilen diğer tali bileşikler, kurşun kromat, bazik krom sülfat, sodyum kromat, potasyum bikromat, potasyum çinko kromat ve amonyum bikromattır. Krom kimyasalları paslanmayı önleyici özellikleri nedeniyle uçak ve gemi sanayiinde yaygın olarak; kimya endüstrisinde de sodyum bikromat, kromik asit ve boya hammaddesi yapımında kullanılmaktadır. Krom kimyasalları; metal kaplama, deri tabaklama, boya maddeleri (pigment), seramikler, parlaticı gereçler, katalizör, boyalar, konserve kutulama, su işleme, temizleme, sondaj çamuru ve diğer birçok alanda tüketilir.

### **Refrakter malzemesi**

Refrakter özellikteki krom cevheri, çelik üretiminde yüksek fırınlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek fırın yöntemiyle çelik üretiminin azalması, kromun refrakter amaçlı kullanımını da olumsuz yönde etkilemiştir. Krom cevherinin metalürji, kimya, refrakter ve döküm sanayiinde kullanımları ve bu alanlara göre tüketim oranları ayrıntılı olarak sadece Japonya, Fransa ve ABD için bilinmektedir.

ABD'de yıldan yıla büyük değişiklik göstermekle birlikte, son yılların ortalamasına göre toplam krom cevherinin %79'u metalürji sanayii, %13'ü kimya sanayii ve %8'i refrakter sanayiinde kullanılmıştır.

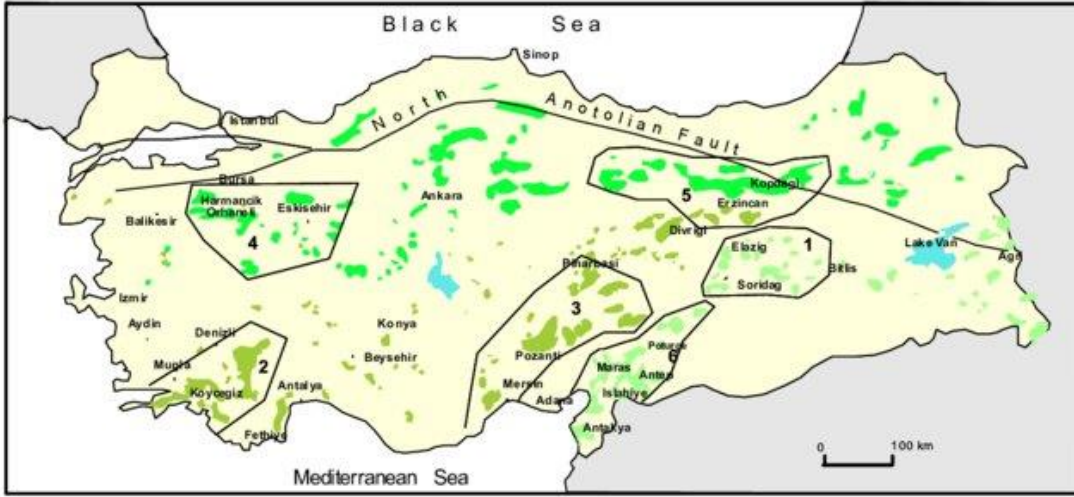
Özellik	Stratiform	Podiform
Yanal Uzunum	Kilometrelerce	Birkaç on metre ile sınırlı
Morfolojik Şekil	Kalınlıkları birkaç metreye kadar olan bantlar şeklinde	Mercek ve yığın şeklinde
Endüstride Kullanımı	Genellikle refrakter	Genellikle metaltüjrik
Rezerv	Milyonlarca ton	En fazla birkaç milyon ton, genellikle 100.000 tondan az
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Tenörü	Düşük	Yüksek
Tektonizma	Ya hiç yok, ya da çok az	Fazla
Kromitin Oluşum Yaşı	Prekambriyen	Prekambriyen sonrası
Dünya Üzerindeki Dağılımı	Çok sınırlı, sadece G. Afrika, Zimbabve, Finlandiya ve Grönland	Ultramafik kayaların bulunduğu her yerde; Urallar, Türkiye, Macaristan, Yunanistan.



### Türkiye'deki kromit yatakları

Türkiye'deki krom yataklarının dağılımını 6 bölgede toplamak mümkündür. Bunlar nispi önem sırasına göre şöyle verilebilir:

- 1- Guleman (Elazığ) yöresi
- 2- Fethiye-Köyceğiz-Denizli yöresi
- 3- Bursa-Kütahya-Eskişehir yöresi
- 4- Mersin-Karsantı-Pınarbaşı yöresi
- 5- Erzincan-Kopdağ yöresi
- 6- İskenderun-Kahramanmaraş yöresi

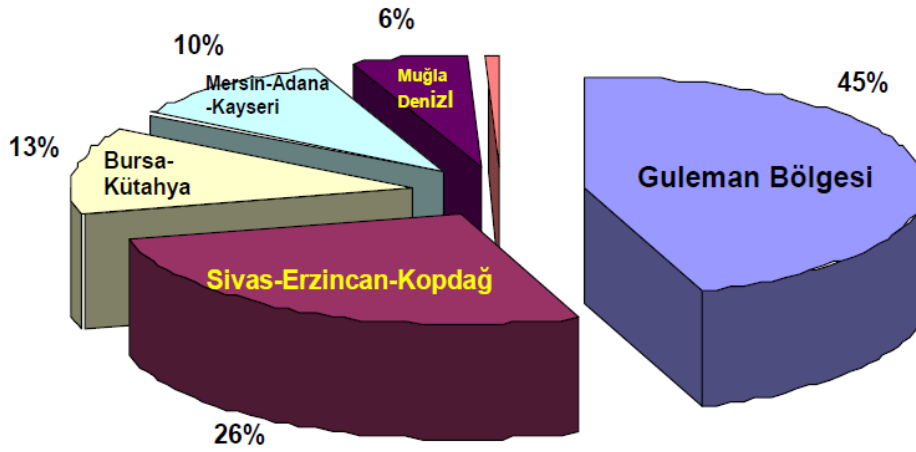


The three main ophiolite belts in Turkey are:

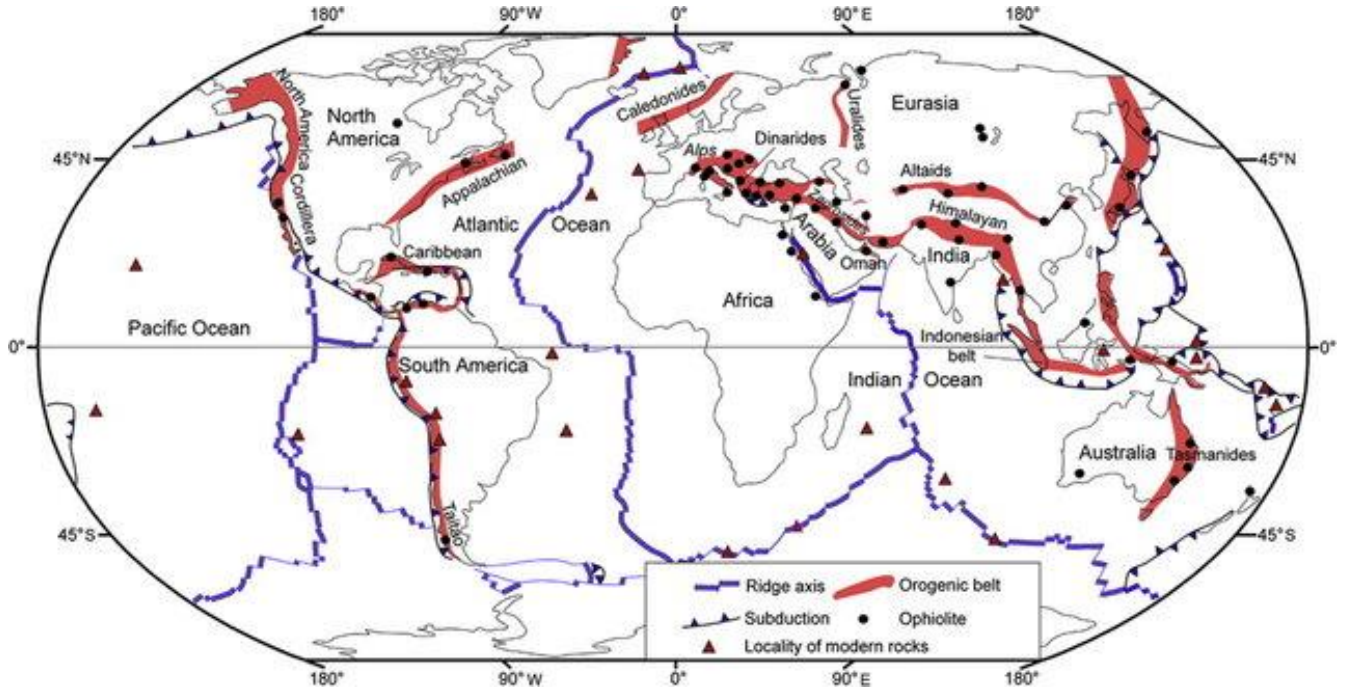
- The northern ophiolitic belt  
(Izmir-Bursa-Ankara-Erzincan-Erzurum)
- The median ( Tauric ) ophiolite belt  
(Mugla-Antalya-Beysahir-Mersin-Pozanti-Pinarbasi-Erzincan)
- The southern (peri-Arabic) ophiolitic belt  
(Antalya-Elazig-Soridag-South of Lake of Van)

Location of some Chromite areas:

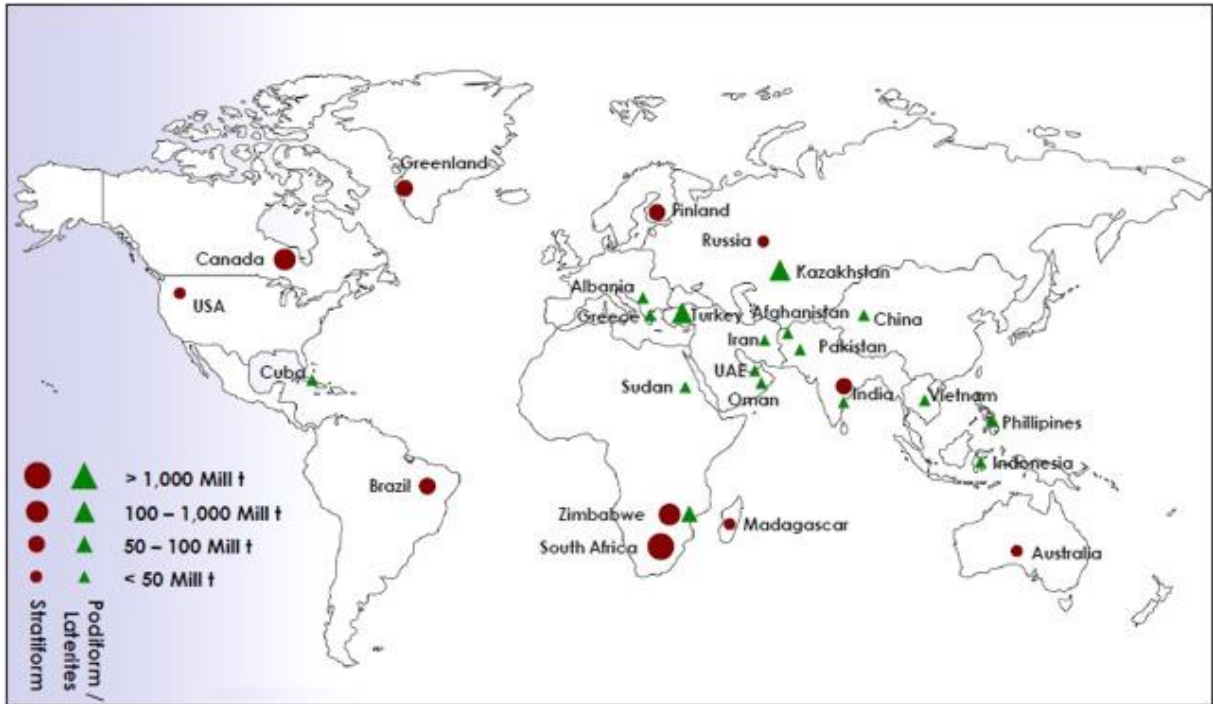
- 1 Guleman-Elazig region
- 2 Fethiye and Koycegiz Areas
- 3 Pozanti-Karsanti Area
- 4 Bursa and Eskisehir Areas
- 5 Kopdagi Area
- 6 Antakya, Islahiye and Maras areas



Türkiye krom rezervlerinin bölgelere göre dağılımı (DPT, 2001).



Dünyadaki başlıca orojenik kuşaklar ve ofiyolit lokasyonları (Saccani, 2014).



Dünyadaki başlıca stratiform ve podiform kromit yatakları