

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**Alterasyon Türleri, Mineralojisi ve Jeokimyası**

**Prof. Dr. Doğan AYDAL**

## ALTERASYON



## YERKÜRENİN DIŞ SÜREÇLERİ

Yerkürenin dış süreçleri, genel olarak 3 başlıkta toplanabilir.

- **Günlenme** – Yerkürenin yüzeyindeki kayaçların fiziksel bozulması ( parçalanma ) ve kimyasal alterasyonu ( bozunma )
- **Kütle kaybı** – kayacın veya toprağın yerçekimi etkisiyle eğim aşağı hareketidir.
- **Erozyon** – Malzemenin su,rüzgar,buz veya yerçekimi gibi hareketli ajanlar tarafından fiziksel olarak yerinin değiştirilmesidir.

## ALTERASYON

**Alterasyon;** Kelime anlamı olarak ele alındığında değişim, değişme olarak açıklanabilecek bir terimdir.Ancak yerbiliminde metamorfizma’da bir değişimdir. İkisinin arasındaki fark ise şu şekilde açıklanabilir;

**Metamorfizma;** Doğal aktivitelerle şekil ve karakterde değişim, olgunlaşma olayı,

**Alterasyon;** Genelde kimyasal ağırlıklı değişme , başkalaşım olarak kabul edilebilir.

Alterasyonu, ilk aşamada oluşum ortamına göre iki ana sınıfa ayrılabilir. Bunlar;

- 1- **Weathering** Günlenme veya havalanma
- 2- **Hidrotermal alterasyon** olarak ayırt edilebilir.

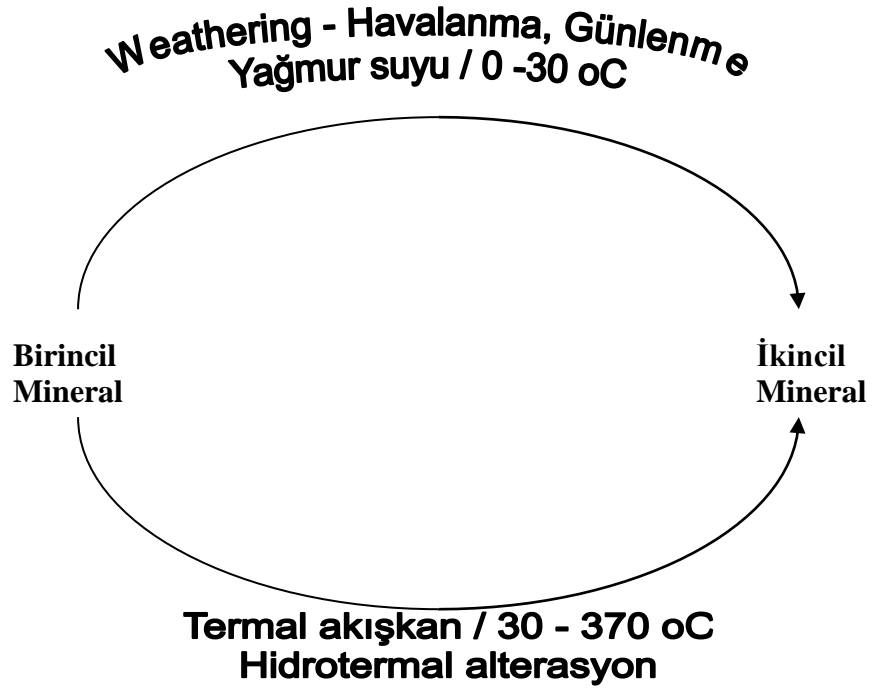
## GÜNLENME ( WEATHERİNG )

Atmosferik koşulların yarattığı fiziksel değişimler sonucu, kayaç ve mineral yapısındaki fiziksel ve kimyasal değişimler olarak tanımlanabilir ve kayaç yüzeyi taneli, karnabahar görüntülü olur. Ağırlıklı olarak volkanik kayaç ve magmatik kayaçlarda görülür. Kayaçtaki fiziksel değişim sonucu olarak, kayacı oluşturan mineral grubu ve tutturucularla aradaki bağların zayıflaması sonucu olarak granit ve iri mineraller içeren diğer volkanik kayaçlarda, arena oluşumu ve bazı volkanik kayaçlarda dahil olmak üzere soğan kabuğu şekilli (onion shape) oluşuklar bu gruba girer.

Günlenme iki çeşittir.

**Mekanik Günlenme** : Kayaçların daha ufak parçalara ayrılmasıdır.bunlara örnek olarak fiziksel ufalanma, süreksizliklerin açılması,y eni süreksizliklerin oluşumu,tanesel ufalanma, tane dokanaklarının açılması, çatlama(kuvars ), dilinimlerin açılması ( biyotit,feldispatlar ) verilebilir.

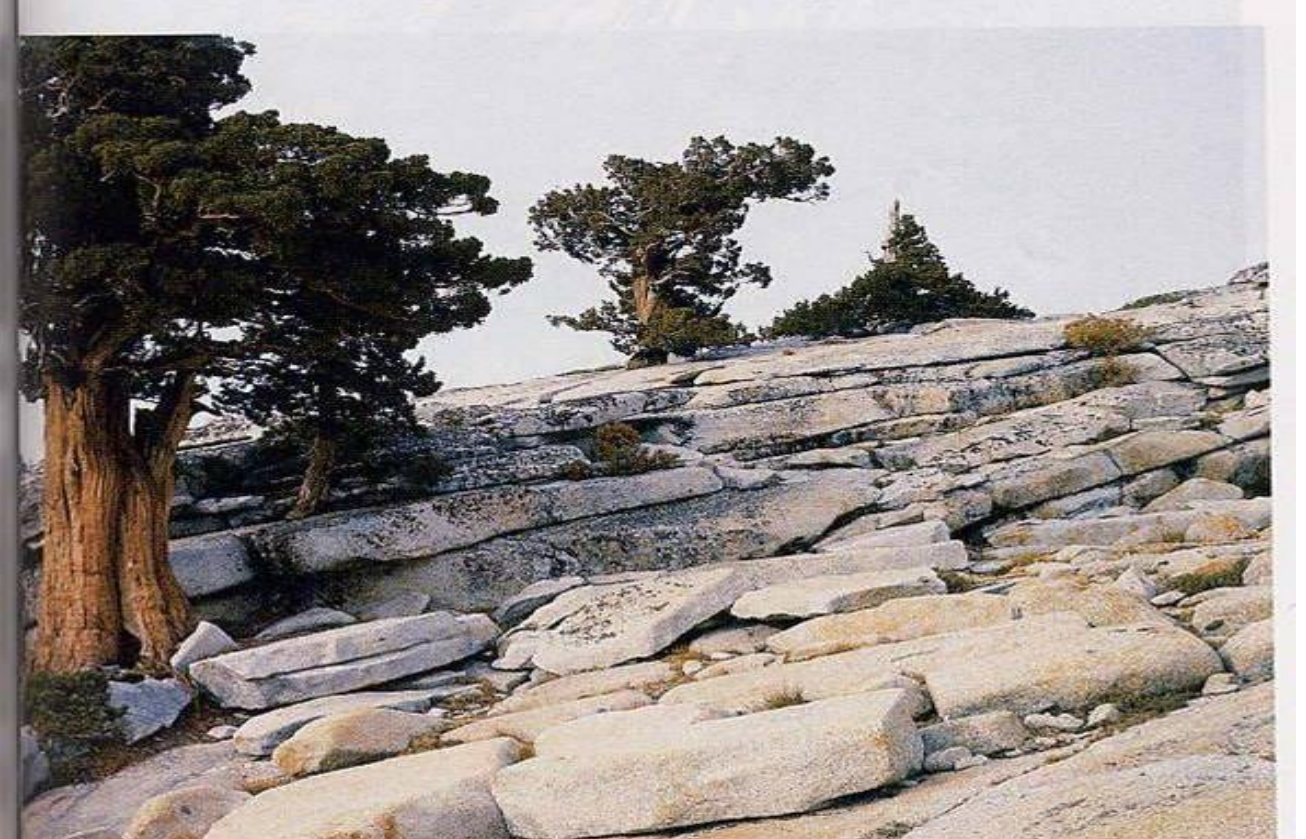
**Kimyasal Günlenme** : Kayaç içeriğinin ve minerallerinin iç yapısının kimyasal süreçlerle bozunmasıdır. Kimyasal günlenmedeki en önemli etmen sudur.( kimyasal süreçlerdeki iyon ve molekül transferini sağlar.



Mekanik günlenme 4 eşitir.

**Buz Sokulması:** Kayacın atlaklarındaki suyun donması ve ardından erimesi kayacın dağılmasını destekler.

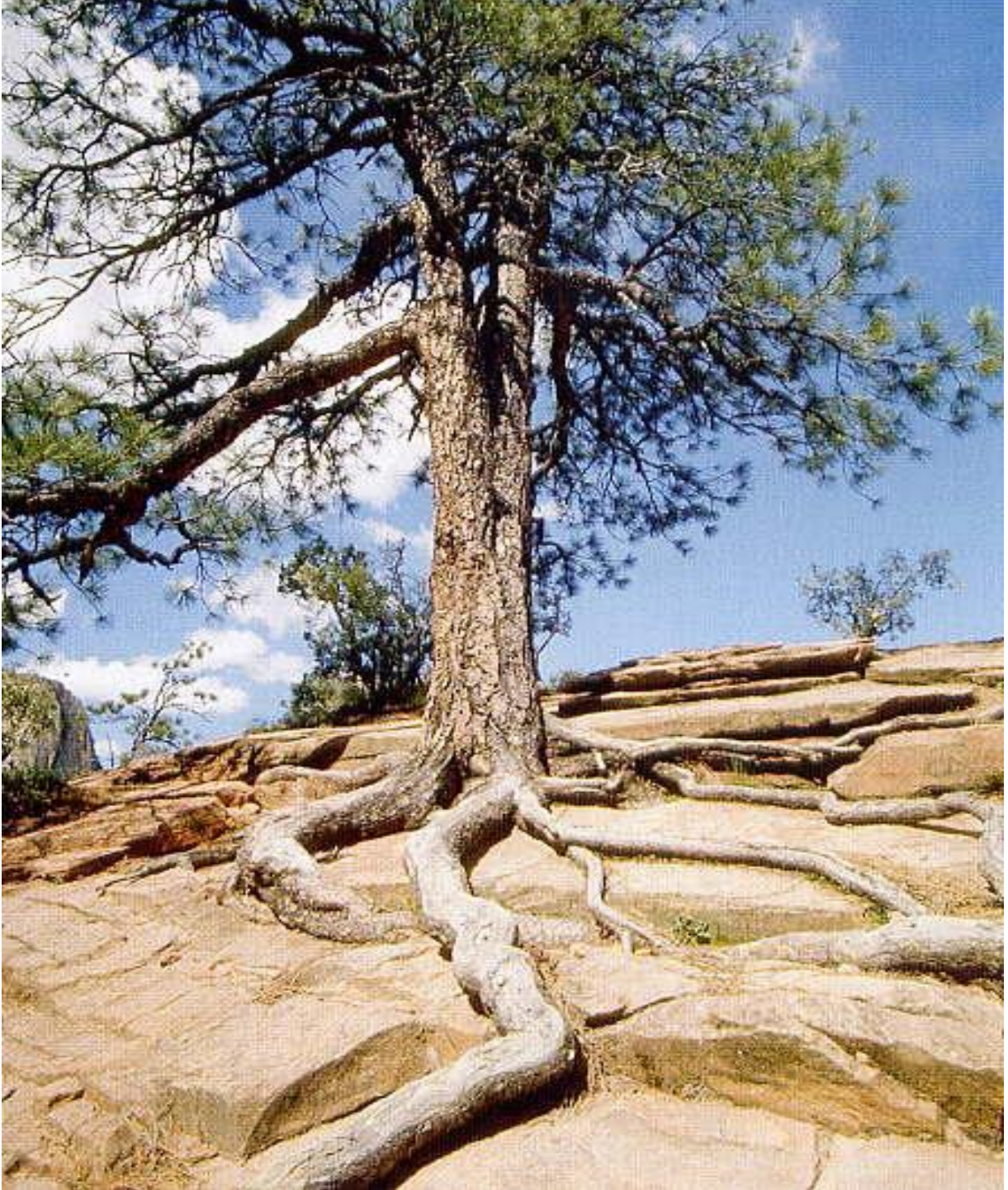
**Boşalma :**Sıkışma zonlarındaki rahatlama sonucu yer yüzündeki magmatik ve metamorfik kayacın folyasyonlanmasıdır.



### BOŐALMA

**Termal geniŐleme** : Isınma ve soğuma ile oluşan geniŐleme –büzölmedir.

**Biyolojik faaliyetler** : Bitki ve hayvanların sebep olduğu dağılmadır. Biyolojik faaliyetlerin başında köklerin tutunması olayını örnek verebiliriz.



## KÖKLERİN TUTUNMASI

### KİMYASAL GÜNLENME

**(deniz seviyesi)**  
**Kaya + oksijen + su + basınç ----- saprolit + toprak + çözülebilir**  
**inorganik**  
**( dağlar )**  
**ve organik iyonlar veya**  
**içerikleri**

Kimyasal günlenme 3 süreçle olur.

#### Erime;

- sudaki az miktardaki asit yardımıyla olan erime
- çözünebilen iyonların yeraltı suyunda muhafaza edilmesi



#### Oksidasyon;

- Elektron kaybı veya artışı çok olan kimyasal reaksiyonlardır.

- Ferromagnezyum minerallerinin ayrıştırılmasında önemlidir.

### Hidroлиз;

- Suyun herhangi bir madde ile reaksiyona girmesidir.
- Hidrojen iyonları diğer pozitif iyonlara saldırarak onların yerini alır.

Günlenmeye maruz kalan Kayaçların yapısındaki minerallerde değişimler söz konusu olur. Bu mineraller ve günlenme sonrası açığa çıkan artık ürünler aşağıdaki tabloda verilmektedir.

GÜNLENME ÜRÜNLERİ		
Mineral	Artık Ürünler	Çözeltideki Materyaller
Kuvars	Kuvars taneleri	Silika
Feldispat	Kil mineralleri	Silika K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>
Amfibol ( hornblend )	Kil mineralleri Limonit Hematit	Silika Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>
Olivin	Limonit Hematit	Silika Mg <sup>2+</sup>

### Kimyasal Bozuşma

**Kuvars** ----- genellikle değişmez

**Biyotit** ----- renk açılması; demir oksit boyaması ----- kil mineralleri

**Feldispatlar** ---- Montmorillonit ----- illit ----- kaolinit ----- gipsit

### Su ile Günlenme

Su, silikaca zengin kayaçları özellikle aminosilikat çatısı olan mineralleri çözer.

Su olmadan, kayaların kütlelerinde sadece fiziksel dağılma olur. Bunda kayaçların hacmi, yer yüzünde kapladıkları alan ve oksidasyon önemlidir. Ayrıca fiziksel parçalanma ve oksidasyon sonucunda da dışarı su atılabilir.

Jeokimyasal günlenme çözünmede, organizmaların ve organik çözeltilerin inorganik malzeme ile ve kayaçlarla reaksiyonu önemlidir. Günlenme asitle etkileşim sonucunda meydana gelebilir. Asit litosfer ve atmosfer kaynaklı olabilir. CO<sub>2</sub> içeren yağmur suları çözülerek CO<sub>2</sub> yi açığa çıkarır.

## GÜNLENMEDEKİ İZ ELEMENTLER

### LİTOSFERDEKİ KAYAÇLARDA BULUNAN İZ ELEMENTLERİN MİKTARLARI

Kayaların %99 unda bulunan iz elementlerin ortalama miktarları tablo da verilmiştir. Bu tablodaki element miktarları kayaç içerisinde tahmin edilenden daha fazla çıkabilir.

### MİNERAL BİRLİKTELİKLERİ

İz elementlerin başlıca kaynağı magmadır. Magma kimyasal elementleri katılaştırdığı zaman major ve minör ( iz ) mineraller şeklinde kristalleşir ve iz elementleri izomorf olarak major elementler içinde yer değiştirebilir. İzomorfik yer değişim için aşağıdaki şartlar yerine getirilmelidir.

1. Elementlerin iyon çaplarının birbirine yakın olması gerekir ( %10 tolerans )  
Fe<sup>+2</sup> yarıçapı 0,83A , CO<sup>+2</sup> iyon yarıçapı 0,82A yer değiştirebilir.
2. Eğer iki iyonun yükleri benzer olursa yer değişme daha kolay gerçekleşecektir.
3. Yer değişecek iyonların yaptıkları bağ sayıları eşit olmalıdır. Örneğin, Ba<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup> ile yer değişemez. Aradaki farklılıklar yer değişimini imkansız kılar. Tremolit ve olivinin kristal yapılarındaki iz elementler izomorf yer değiştirmeye örnektir.

### GÜNLENME SONUCU İZ ELEMENTLERİN DAVRANIŞLARI

Ana mineral günlenme sonucunda altere olduğundan iz elementler buldukları yapısal pozisyondan kurtulurlar. İz elementlerin bundan sonraki davranışı su veya türlü iyon taşıyan zayıf solüsyonlarla olacak kimyasal reaksiyonlara bağlıdır. İz elementlerdeki katyonların davranışları iyon yarıçapı ve yüklerine bağlıdır.

### İYON DEĞİŞİMİ

Kimyasal günlenmedeki önemli proseslerden biriside iyon değişimidir. Basitçe mineral zerrecikleri ve çözeltiler içerisindeki iyonlar arasında gelişen reaksiyondur. Günlenme için 4 önemli katyon değişimi vardır.

1. Solüsyon içerisindeki katyon ve mineralin yer değiştirebilir katyonlar arasında gerçekleşir. Mineral çevresi etrafındaki su içerisinde meydana gelir. Yer altı suyu jeokimyasal günlenme için elektrolit görevindedir.
2. Bağlantılı değişim; bir mineral içindeki katyonlar bir diğer mineralde yer alır.
3. Değişim mineralin organik bileşiklerle birlikteliğine bağlıdır.
4. Bitkilerin kök ve saçakları tarafından minerallerdeki suyun ve iyonların absorbe edilmesidir.

Kimyasal günlenme sonucu çeşitli alterasyonlar meydana gelir. bunlar ;

- istikrarsız minerallerin çürümesi
- istikrarlı minerallerin nesillenmesi
- Köşelerin yuvarlaklaşması gibi fiziksel değişimlerdir.

### Günlenmenin Değerlendirilmesi

İleri mekanik günlenme yüzey alanını artırarak kimyasal günlenmeye yardım eder.

### Gnlenmeyi etkileyen diğer etmenler

- **Kayaç karakteri**

kalsit içeren kayaçlar ( kireçtaşı ve mermer ) zayıf asidik çözeltelerde erirler. Silikat minerallerinin düzeni, kristalizasyon düzeni ile aynı yönde değişir.

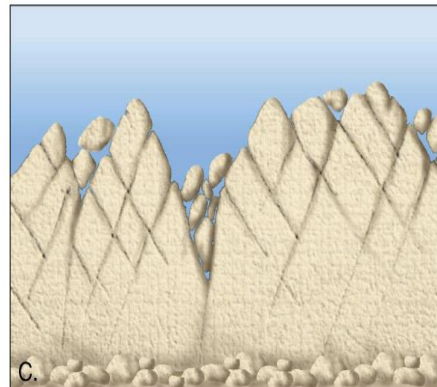
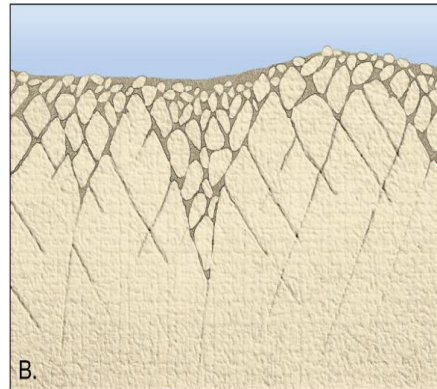
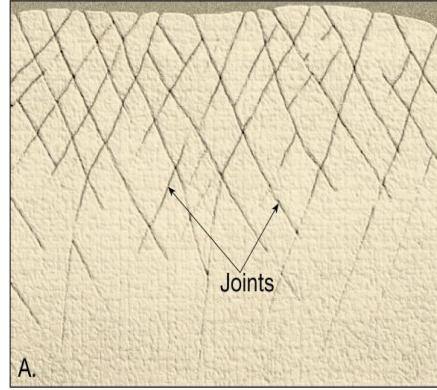
- **İklim**

Sıcaklık ve rutubet, en önemli faktördür.

Kimyasal günlenme,sıcak ve rutubetli bölgelerde oldukça etkilidir.

### Diferansiyel Günlenme

- Bölgesel ve yerel faktörler etkisiyle, kayaın ktlesince değişim olmaz.
- Kaya formasyonlarındaki alışılmadık değişimler olarak tanımlanabilir.



## Eklenme alanı kontrolündeki differansiyel günlenme

### HİDROTERMAL ALTERASYON

Hidrotermal alterasyona başlamadan önce “**Hidrolojik Model**” in alterasyon için önemi açıklanmaya çalışılacaktır.

#### Hidrolojik Modelin Önemi

Hidrotermal alterasyon oluşumunda jeotermal sistemi oluşturan akışkan/akışkanların hidrolojik modeli alterasyon oluşumu ve alterasyonun türünün oluşumunda önemli yer tutar. Burada sözü edilen model matematiksel model olmayıp kavramsal modeldir ve doğada topografik koşulları da göz önüne alarak, jeotermal sistemde derinlere süzülerek, ısıyı sığ derinliklere ve yeryüzüne taşıyan akışkanın oluşturduğu ve topografik yapıya da uygunluk gösteren modelden söz edilmektedir.

Bu model kabaca iki grupta incelenebilir.

#### Az Engelibeli veya Düz arazilerdeki Jeotermal Sistemler

- Birçoğu riftlerde oluşan sistemlerdir (Yeni Zelanda, USA, İzlanda ve Doğu Afrika gibi).
- Genellikle derindeki jeotermal akışkanın yüzeye (up flow zon üzerinde ) ulaşmasına olanak veren bir sistemdir ve yüzeyde temiz (berrak), alkali klor ( idli )ürlü sulardan oluşan havuz ve gölcükler ve silika sinterler şeklinde görülürler.
- Ağırıklı olarak meteorik orijinli olduğuna inanılır, ki bugün birçok çalışmalarla bu ispatlanmıştır, ve nötre yakın pH’a sahip ve düşük konsantrasyonludurlar.
- Bazı durumlarda birkaç sahada yatay yeraltı akımları oluştururlar ve küçük topografik değişimler buhar zonu oluşmasına izin verir ve burada H<sub>2</sub>S’in oksitlenmesi ile asidik ortam oluşur.
- Bir başka durumda ise rezervuardaki akışkandan ayrılan CO<sub>2</sub> yeraltında yoğunlaşarak CO<sub>2</sub> ce zengin asılı akışkan oluşturur ki bu kuyu teçhiz borularında aşınmaya neden olur.

#### Çok Engelibeli Arazilerdeki Jeotermal Sistemler

Bu tip sistemler Endonezya, Filipinler, Tayvan ve Japonya’da yaygındırlar. Burada ada yayı oluşumu sarp arazi şekli ve andezitik volkanizmaya izin verir. Bu durumun ilgili jeotermal sistem üzerinde önemli etkisi vardır. Özellikle alkali klor(ürlü)idli su yukarı akış (up flow) zonundan kilometrelerce uzakta, belki nadiren yüzeye ulaşır. Bunun yerine iki faz zon belki yüzlerce m. kalınlıkta oluşabilir ve yüzeyde fümeroller, buharlaşan yer ve solfatar olarak yüzey görüntüleri verirler.

İlave olarak dik eğimli arazi üzerine düşen bölgenin yağmur suyu derinden yükselen buhar ve gazların yoğunlaşması ile bir veya birkaç yoğunlaşmış seviye halinde derin alkali klor(ürlü )idli jeotermal suyun üzerinde asılı olarak bulunur. Bu yoğunlaşmış asit karakterli akışkan yeraltında yatay olarak belirli bir mesafe akabilir ve oldukça yüksek debili olarak bir miktar uzakta asit sıcak su olarak yüzeye boşalabilir.

Doğal olarak akışkanlar arasında karışım zonları vardır ve bu durum hidrotermal alterasyon sonuçlarına yansır. Bazı yerlerde bu asit akışkanlar faylar boyunca en az 2 km. kadar derine inebilir.

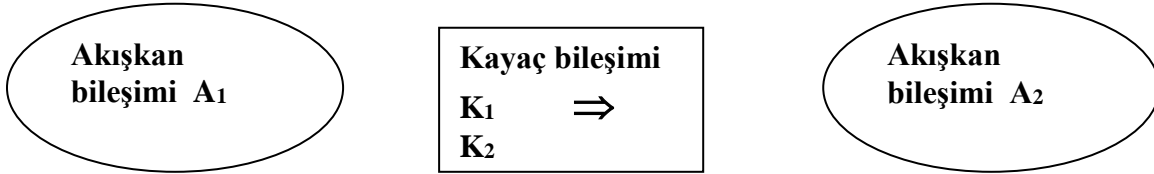
Ülkemizde az engelibeli arazi şekline uyan graben sahalarındaki Menderes ve Gediz Grabenleri gibi, jeotermal sahalar ilk gruba örnektir. Çok engelibeli arazilerde oluşan jeotermal sistemlere örnek ise, ülkemizde yaygın olarak bulunan volkanik sahalardaki jeotermal sistemler

olup, en önemlilerinden biri ağırlıklı olarak denizden beslenmeli Tuzla (Çanakkale) ve ilave olarak Kızılcahamam (Ankara) ile Diyadin (Ağrı) çermiğidir.

Ancak ülkenin jeolojik yapısı nedeniyle ideal koşullara uyan yani ağırlıklı olarak sodyum klor(ürlü)idli jeotermal akışkan bulmak genellikle nadirdir. Bunun yanında karbonat ve karbonat/klor, ve yer yer az sayıda da olsa sülfat ağırlıklı akışkanlar bulunmaktadır.

**Hidrotermal alterasyon;** Yerkabuğunun sığ derinliklerinde, meteorik sulardan süzülen ve ısıtılmış kayaçların çatlak ve gözenekleri arasında dolaşan, derinlere indikçe ısınan akışkanın, değişik ortamlardaki kayaçlarda bulunan kayaç yapıcı minerallerle olan element alışverişı ve doğrudan bileşik çökeltmesi sonucu, ve yeryüzünde ise, bu akışkanların yüzeye çıkması sonucu değişen ortama akışkanın uyum sağlayabilmesi için geçirdiği özellikle kimyasal değişim sonucu oluşur.

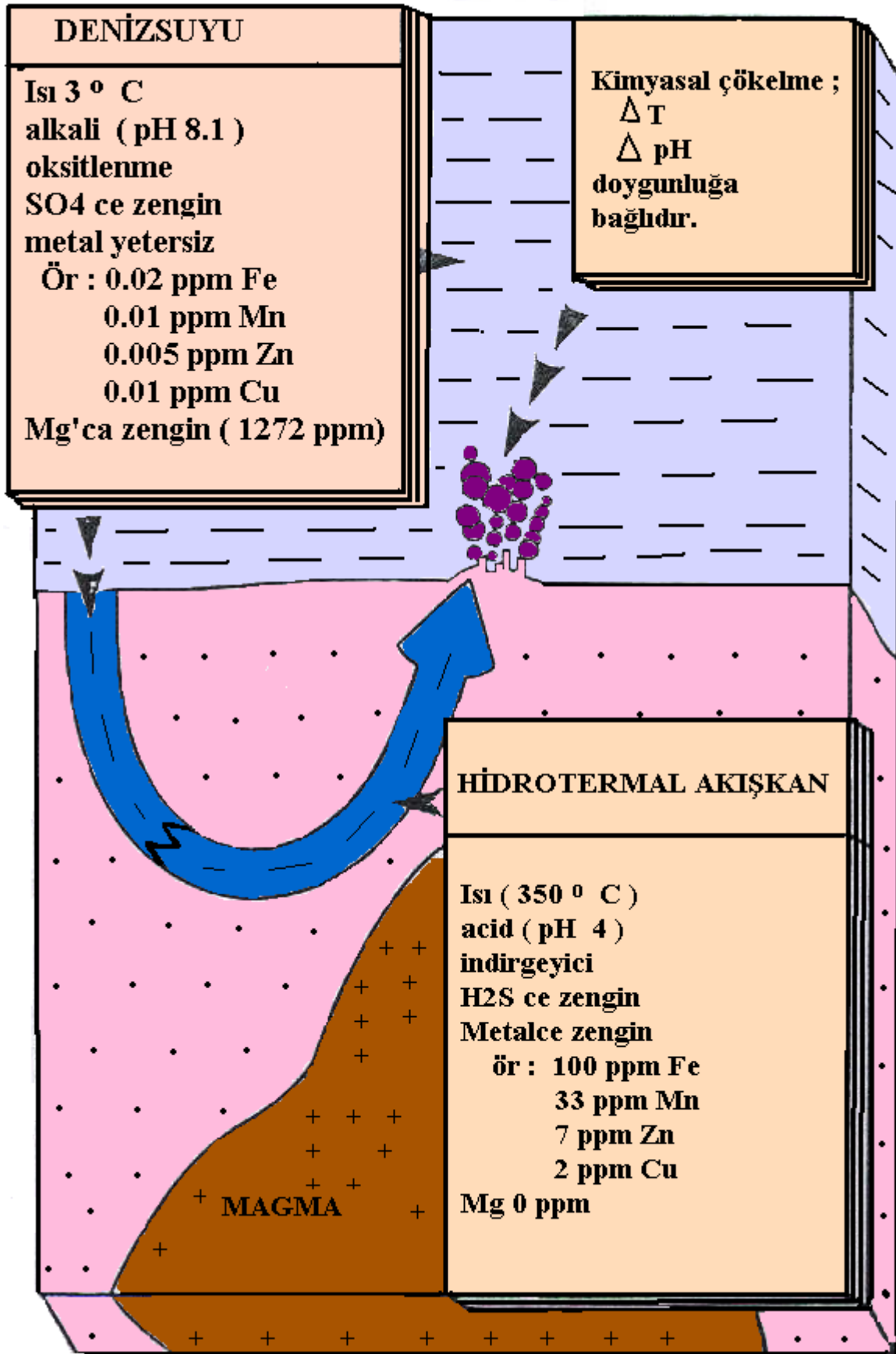
### SU KAYAÇ ETKİLEŞİMİ;



Burada A<sub>1</sub> bileşimindeki akışkan belirli K<sub>1</sub> bileşimine sahip olan kayaç içinden geçtikten sonra, kayaç K<sub>2</sub>, akışkan ise A<sub>2</sub> bileşimine dönüşmektedir.

Jeotermal sistemlerde akışkan ve kayaç arasındaki etkileşim, ikincil mineral takımı oluşturur ve bunların çokluğu ortamın etkili fiziksel ve kimyasal koşullarına bağlıdır. Genelde jeotermal sistemlerde kazanılan deneyimlerle bu ilişki, sondaj karotlarındaki ve kırıntılardaki minerallerin tayini ile rezervuar koşullarını anlatmak için kullanılır. Bazı durumlarda ortaya konan koşullarla, gerçekte ölçülen koşulların karşılaştırılması sonucu rezervuarda değişim olduğunu açığa çıkarır.

Birçok hidrotermal mineral aktif jeotermal sistemlerde görülür. Varolan prensiplerin dikkatli bir şekilde uygulanması ile geçmişte yok olmuş sahaların paleohidrolojik görünüşlerini yorumlamada bu tür jeotermal deneyimler anahtar oluşturur.



## Hidrotermal Alterasyon Modeli ( 21 ° N Doğu Pasifik’ te meydana gelen )

### Neden Jeotermal Alterasyon oluşur?

Bir hidrotermal alterasyonun oluşabilmesi için, aynı ortamdaki fiziksel ve kimyasal koşulların değişmesi gerekir. Jeotermal sistemlerde hidrotermal alterasyonu oluşturan değişik koşullar ise tahmin edilebileceği gibi sıcak/soğuk ortama sıcak veya soğuk ve kazanılmış bir kimyasal konsantrasyona sahip akışkanın gelmesidir.

Alterasyonun veya reaksiyonun boyutu, alterasyonun olduğu yerdeki etkili

- Sıcaklığa
- Alterasyon işleminin süresine
- Ortam farkına ( ki orada etkin jeotermal koşullar ile ortamın jeotermal koşullardan önceki altere olmamış, taze kayaç ortamı arasındaki farkı yansıtır .) bağlıdır.

Diğer bir deyişle, oluşan hidrotermal alterasyonun türü ve yoğunluğu jeotermal rezervuarın veya rezervuar kayaçların bulunduğu yeni ortamı yansıtır. Böylece volkanik kayaçların kolayca altere olacağı, volkanik ve jeotermal ortam arasındaki büyük farklılıktan dolayı kolayca anlaşılır. Fakat düşük dereceli metamorfik kayaç ( grovak )yalnızca zayıf bir şekilde, nötre yakın pH ve alkali klor(idli)ürlü su ile sözgelimi 200 °C de reaksiyona girer. Gerçekte kalın bir litolojik gruptan oluşan rezervuar kayaç istifi jeotermal akışkanın bileşimini birçok yönüyle kontrol eder.

### Hidrotermal Mineraller

Aktif jeotermal sistemlerde çok geniş bir aralıkta yer alan hidrotermal mineraller göze çarpmaktadır. Bunlardan bazıları buddington gibi nadirdir, bazıları ise örneğin aegrine ve lepidot muhtemelen jeotermal ortamlarda bulunmazlar. Buna karşılık çeşitli kil mineralleri, adularia, kuvars, kalsit, pirit ve epidot gibi benzeri mineraller ise yaygın olarak bulunurlar.

En çok bilinenler:

- Karbonatlar  
Kalsit, aragonit, siderit
- Sülfatlar  
Anhidrit, alunit, natroalunit, barit
- Sülfidler  
Pirit, pirohitit, markasit, sfalerit, galenit, kalkopirit
- Oksitler  
Hematit, magnetit, leukoksen, diaspor
- Fosfat  
Apatit
- Halit  
Florit
- Silikatlar – orto - ve ring  
Titanit, garnet, epidot
- Silikatlar – zincir  
Tremolit, aktinolit
- Silikatlar – levha  
İllit, biotit, pirofillit, klorit, kaolen grup, montmorillonit, prehnit
- Silikatlar – iskelet  
Adularia, albit, kuvars, kristobalit, mordenit, loumentit, wairakite

### **Alterasyonun Yoğunluğu ve Derecesi (mertebesi)**

**Alterasyonun yoğunluğu ( Ia )**; Taze kayacın akışkanla yeni mineraller ( hidrotermal ) oluşturmak üzere ne kadarının reaksiyona girdiğinin ölçüsüdür. Örneğin hidrotermal çözeltilerle hiç etkilenmemiş birim hacimdeki kayacın alterasyon yoğunluğu sıfırdır ( Ia=0.00 ), buna karşılık ilksel mineralleri tamamıyla yer değiştirmiş olan kayacın alterasyon yoğunluğu 100% (Ia=1.00) dir. Alterasyon yoğunluğu mikroskopta nokta sayımı veya yarı kantitatif X- Ray Diffraction tekniği ile tahmin edilebilir. Yoğunluk, oluşan yeni minerallerin tanımı ile ilgili herhangi bir şey vermez, sadece toplam büyüklüğü ile ilgilidir.

**Alterasyonun Derecesi (mertebesi)**; Oluşan yeni minerallerin tanımlanmasına bağlıdır ve yeraltı koşulları anlamında onların önemine dayandırılır. Yoğunluğa göre daha deneysel ve daha somut bir parametredir. X-Ray Diffraction veya diğer bazı enstrümantal teknikler yardımı ile makroskopik ve mikroskopik inceleme sonucu ortaya çıkarılır. Örneğin, Adularia, permeabilite anlamında düşünürsek, yüksek dereceli bir mineraldir, ve Epidot herhangi bir sıcaklık skalasında yüksek dereceye sahiptir.Burada mineralojik belirteç anlamında yüksek dereceye sahip fakat düşük yoğunluklu alterasyona sahip kayacın muhtemeldir(düşük permeabiliteli zonlar ). Diğer taraftan düşük dereceli fakat yüksek yoğunluklu genellikle daha soğuk, geçirimli koşulların etkili olduğu kayacın elde edilebilir.

### **HİDROTERMAL ALTERASYON TÜRLERİ**

Hidrotermal alterasyon oluşum ortamının yanı sıra, oluşma şekli olarak ta bir sınıflamaya tabi tutulabilir.

- 1- Doğrudan çökeltim
- 2- Yer değiştirme
- 3- Çözme ve Yıkama ( Leaching ) gibi.

Bunların yanında

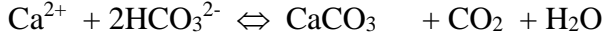
- 4- Fırlatma da bazı yazarlar tarafından bir alterasyon şekli olarak kabul edilmektedir.

### **Doğrudan çökeltim;**

Bu alterasyonun çok bilinen türüdür ve jeotermal sahalarda bulunan birçok hidrotermal mineraller çözeltilerden doğrudan çökeltirler. Bu çökeltimin olabilmesi için elbetteki rezervuar kayacın geçiş yolları yani mineral çökeltecek akışkanın hareket edeceği çatlaklar içermesi gerekir. Bunlar çatlaklar, faylar, hidrolik çatlaklar, uyumsuzluklar, damarlar boşluklar ve kılcal çatlaklar olabilir.

Kuars, kalsit ve anhidrit damarlarda ve boşluklarda kolayca çökeltir fakat buna karşılık klorit, illit, adularia, pirit, pirohitit, hematit, wairakite, florit, luumontit, mordenit, prehnit ve epidot gibi mineraller damar ve boşluklar dışında akışkandan doğrudan çökeltilecekleri diğer birçok yerde de gözlenmişlerdir. Kalsit, aragonit ve silikanın yaygın çökeltimlerinin yanında sondaj tijlerinde ( borularında ) ve boşalım kanallarında da kolaca çökeldikleri bilinmektedir. Demir içeren minerallerde kabuklaşma yapabilirler ( Arnorsson ).

Doğrudan çökeltmeye örnek verecek olursak; çatlak ve boşluklarda kalsit ve silis dolgular olarak görülen çok yaygın olarak bir doğrudan çökeltme şekli, yeryüzünde travertenler ve silika sinter olarak görülürler. Bilindiği gibi traverten  $CaCO_3$  bileşiminde olup, akışkandaki çözülmüş halde bulunan  $CO_2$ 'in, akışkanın yüzeye çıkması ile basıncın düşmesi sonucu akışkandan ayrılması ile aşağıdaki eşitliğe göre çökeltir.



Silika sinter ise, belirli sıcaklığa göre akışkan içinde çözünürlüğü dengeye ulaşmış çözülmüş haldeki toplam silis bileşiklerinin, yeryüzüne çıkan akışkanın yüzeyde soğumanın etkisi ile, akışkanın silis bileşiklerince aşırı doymun hale gelmesi sonucu akışkandan ayrılarak yeryüzünde çökmesidir.

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = A / (B - \log \text{SiO}_2) - 273.15$$

eşitliğinden akışkanın silise doymunluk durumu tahmin edilebilir. Bu kimyasal jeotermometre eşitliğinde A, B sabitleri akışkanın amorf silis, kristobalit, kalsedon ve kuvars ile denge haline göre değişik değerler alır.

### Yerdeğiştirme;

Birçok kayaç bazı birincil mineraller içerirler. Bunlar jeotermal ortamlarda duraysız olup, yeni koşullar altında, duraylı veya en azından yarı duraylı olabilecek yeni minerallerle yerdeğiştirme eğilimindedirler .

Yerdeğiştirme oranı çok değişkendir ve permeabiliteye bağlıdır, örneğin Planty Körfezindeki aktif bir volkan olan White Island andezit külü boşaltmış ve adada depolandığı yıl içerisinde, volkanik gaz faaliyetleri boyunca tamamıyla altere olmuştur (Ia= 1.00). Buna karşılık Broadlands deki Ohaaki sahasında oluşan kaynaklı ignimbritin geçirimsiz kısmı belki 300 000 yıldır yaklaşık 250 oC sıcaklıkta bile 0.1 yoğunluktan daha fazla altere olmadan kalmıştır.

Yer değiştirmenin tamamlanmadığı (alterasyon yoğunluğu 1.00 den az) yerde akışkan/mineral dengesi başarılmamıştır, bu durumu reaksiyon sonuçları karotlarda korunmuş veya dondurulmuş olarak görebilmek mümkündür. Rezervuar kayacı volkanik olan yerlerde birincil ve ikincil (hidrotermal) mineraller arasındaki farkı ayırt edebilmek oldukça zordur fakat bu, rezervuar kayacı sedimanter veya düşük dereceli metamorfik kayaç olan yerlerde daha da zordur (Gayzerler, Larderello, Kızıldere, Imperial Valley, Cerro Prieto, Ngawha gibi). Bunun nedeni bu kayaçların içerdiği birçok birincil mineraller (ör.; kuvars, feldispat, kalsit, prehnit, illit, epidot vb.), alkali kloridli akışkanların bulunduğu jeotermal ortamlarda da duraylıdır. Gerçekte mineraller akışkanın tuzluluğundan çok bileşimini kontrol ederler.

### Bazı sistemlerde birincil minerallerin yerdeğiştirme sırası ( Browne, 1982 )

Birincil Mineral	NZ Sahaları (TVZ)	Ngawha	Olkaria (Kenya)	Filipinler &Endonezya	İzlanda
Volkanik cam	1	Yok	1	1	1
Manyetit, titanomanyetit, ilmenit	2	1	5	2	

Piroksen, amfibol, olivin	3	Yok	2	3	2-3
Biyotit	4-5	2	Yok	Nadir?	
Ca plajoklas	4-5	Albit var	3	4	4
Mikroklin, sanidin, ortoklas	Yok	3	4	Yok	Yok
Kuars	Etkilenmedi	Etkilenmedi	Etkilenmedi	Yok	Yok

#### Leaching ( Çözme ve yıkama );

Bu işlem genelde jeotermal sistemlerin kenar kısımlarında ve dışında yer alır ve bu nedenle genellikle alınan kırıntı ve karotlarda rastlanmazlar. Örneğin, buharın yoğunlaştığı, H<sub>2</sub>S’in oksitlenmesi ile asidifiye olduğu ortamlarda kayalara saldırarak birincil mineralleri çözer fakat boşluklar başka minerallerle doldurulmazlar.

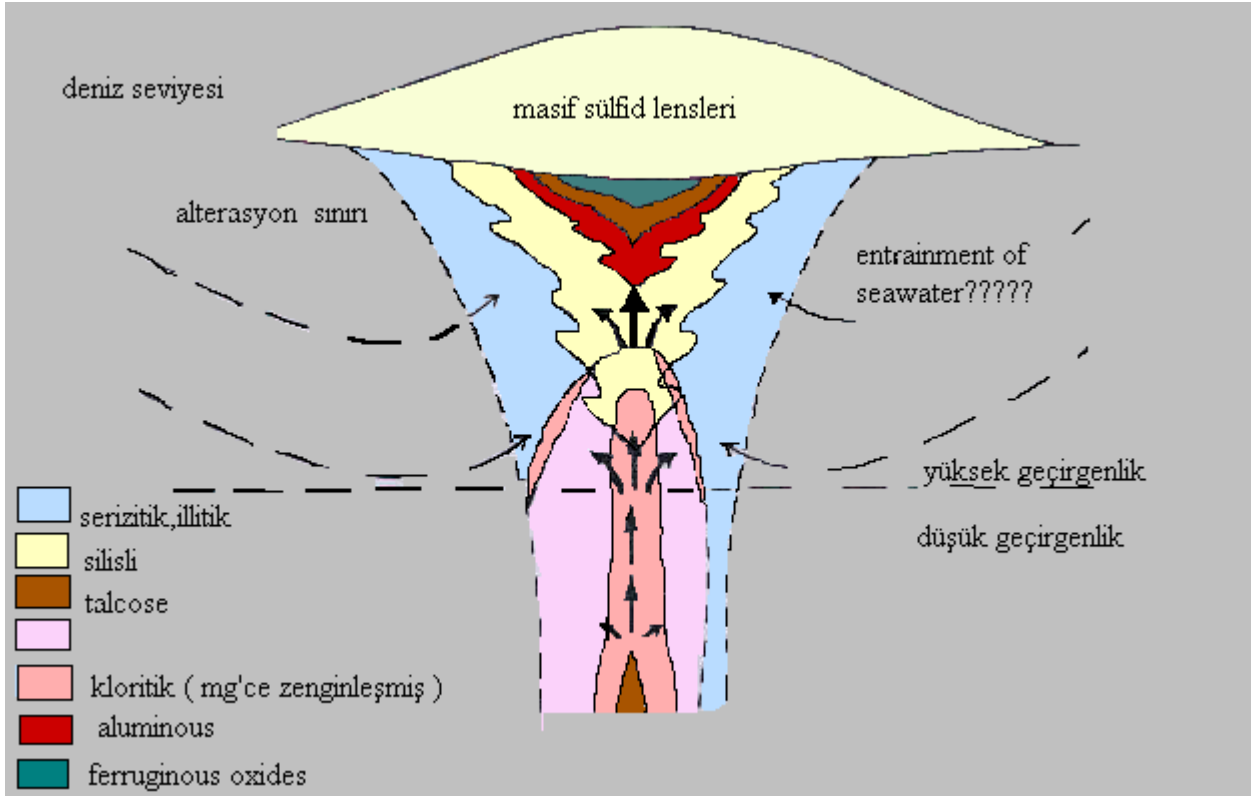
#### Fırlatma ( Ejecta );

Kuars, wairakeit vb. Diğer mineraller, sondajla bu minerallerin bulunduğu çatlaklara girince fırlatılırlar. Arasına melek kanadı, euhedral kalsit ki kayaca bağıntısı sağlam değildir, fırlatılırlar. Belkide bu kristaller kaynama zonundaki türbülans dolaylı oluşurlar.

#### Tipik alterasyon yer değiştirme ürünleri

Orijinal mineral	Dönüşüm	Yerdeğişim ürünü
Volkanik cam	→	zeolitler (ör. mordenit, lomontit), kristobalit, kuvars,kalsit, killer (rö montmorillonit)
Magnetit/ilmenit/titano-magnetit	→	Pirit,lokoksen, titanit,pirohitit, hematit
Piroksen/amfibol/olivin/biotit	→	Klorit, illit, kuvars, pirit, kalsit, anhidrit

Kalsik plajiyoklas	→	Kalsit, albit, adularia, wairakit, kuvars, anhidrit, klorit, illit, kaolin, montmorillonit, epidot
Anortoklas/sanidin/ortoklas	→	adularia



Çeşitli alterasyon bileşiklerinin karışık ifadesi ( LYDON 1988'den )

## ALTERASYON PETROLOJİSİNİN JEOTERMAL ARAMALAR İÇİN KULLANILMASI

Jeotermal rezervuarda hidrotermal mineraller oluştuğuna göre bunların tanımlanması rezervuardaki koşulların geçmişte ve günümüzdeki durumunu üzerine yorumlamalarda kullanılabilir .Böylece, rezervuardaki sıcaklık değerlerinin büyüklükleri mineralojik olarak tahmin edilebilir ve rezervuardan örnek elde edildikten kısa bir süre sonra ortaya çıkarılabilir. Bu bilgi bir jeotermal kuyunun sıcaklık anlamında duraylılık kazanması için uzun süre beklemeksizin planlama ve karar vermede kullanılabilir. Bundan daha önemlisi mineralojik olarak ortaya konan sıcaklık, belkide sahanın termal duraylılığı üzerine bilgi verebilir. Bütün

bunlar Őunu unutmamayı gerektirir ki tespit edilmiŐ olan “ mineral sıcaklığı” dengeye ulaşmış kuyu sıcaklığı ile karŐılaŐtırılmalıdır.

Bunların yanında bazı minerallerde vardır ki yeraltındaki, rezervuardaki permeabilite ilgili olabilir ve karot ve kırıntuların petrografik incelenmesi ile kuyu ve civarının permeabilitesinin erken göstergesi olarak erken bilgi elde edilebilir Bu bilgiler kuyuda kullanılacak kapalı borunun derinliğine karar vermede, kuyunun herhangi bir yerinde kimyasal anlamda tahribat olup olmayacağının ve belkide hangi derinlikte olacağının öğrenilmesinde kullanılabilir.

Akışkan bileşimi ve mineraloji arasındaki ilişki yıllar önce fark edilmiŐtir. Bu nedenle, mineralojik bilgiler değişen akışkanın doğası hakkında sonuç çıkarmada kullanılabilir, örneğin znmŐ CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ce zengin mi?, asit karakterde mi?, kullanılan akışkanı rezervuara re-enjekte edersek ne olur?, kuyu iki faz veya tek fazlı zonda mı?, kaynama nerede, hangi seviyede oluŐuyor?, kuyu beslenme zonun da mı, boşalım zonunda mı? Bazen bu soruların bir kısmına yanıt verilebilir.

### **Çalışma Yöntemi;**

Jeotermal petroloji için önemli ekipmanın petrografik mikroskop olduğu kolayca anlaŐılabilir. Sadece birçok mineralin tanımlanmasında kullanılmaz, önemli dokusal iliŐkiler hakkında da detaylı ölçekte bilgiler üreten tek alettir. İnce kesit yapımı gibi bazı ilave ekipmanlar gerektirse bile portatif ve basit bir ekipmandır. Birçok mineral optik karakteristiklerinden dolayı ezilmiŐ taneleri olsa bile bir araya getirilerek ve kırılma indisli sıvı setleri kullanılarak tanımlanabilir.Yöntemin temel dezavantajı, mikroskobu etkili kullanmak için petrografik eğitim gerektirir.

X-Ray Diffractometer (XRD), X- ıŐını kırınımı; minerallerin tanımlanması için çok değerli bir alet olup, bazı durumlarda da miktar bilgisi vermede de kullanılır. Özellikle kil ve zeolit türü minerallerin tanımlanmasında iyidir fakat pahalı ve nadiren portatiftir.

Differential Thermal Analysis; Isı farklılığı ayırım analizi (DTA) Yeni Zelanda da jeotermal çalıŐmalarda yıllardır kullanılmakta olup, killer arasındaki termal karakteristikleri, ince farklılıkların tespitinde yeteneklidir ve sülfid ve karbonatların varlığına da duyarlıdır.

Infra-red spectrometry, Kıvıll tesi spektrometre; kil, zeolit ve feldispat minerallerinin tayin edilmesinde çok yararlı bir yöntemdir. Miktar belirleyen bir alet olarak geliŐtirilmiŐtir ve çok küçük bir örnek yeterlidir (yaklaşık 10 mg.).

Jeotermal petrolojide, sıvı kapanım jeotermometresi de geçtiğimiz yıllarda önemli ve güçlü bir uygulama olmuştur. Standart ısıtma tablosu birçok mikroskoba monte edilebilir ve birçok mineraldeki kapanımın homojenleŐme sıcaklığı, iki taraflı parlatılmıŐ kristal üzerinde okunabilir. Kapanımlarda hapsolmüŐ akışkanın tuzluluğu, donma tablası kullanılarak tahmin edilebilir, fakat bu, özellikle sonuçları yorumlamaya gelince, genellikle daha zor bir iŐlemdir.

Jeotermal petrolojide, elektron mikroprob ve scanning elektron mikroskop dahil diğer ekipmanlarda kullanılmıŐ ve kullanılmaktadır. Bunların nemi giderek artacaktır ancak bugüne kadar genelde araŐtırma aracı olarak kullanılmıŐlardır. Gelecekte geniş olarak kullanılacağı umulan özellikle kayaç kimyası hakkında bilgi veren diğer grup enstrümanlar ise X-Ray Fluorescence ve Atomik Absorbsiyondur.

## ANA KAYAÇTA HİDROTERMAL ALTERASYON TARAFINDAN ÜRETİLEN DEĞİŞİMLER

Hidrotermal Alterasyon ana kayacın özelliklerinde değişikliklere neden olur bunlar fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılır.

### Kimyasal Değişiklikler

**Yer değiştirme, çözünüp yıkanma filtrelenme ve akışkandan çökme**, boyutları ve doğası büyük değişiklikler gösteren kimyasal değişikliklere neden olur. Fakat bu kayacın mineralojisinin bir fonksiyonu olduğu çok açıktır.

Bazı yerlerde hidrotermal alterasyon, en azından yersel ölçekte, eşkimyasal olarak olarak gelişir, fakat genellikle element içerikleri gerçekte kayaca ilave edilir veya ayrılırlar.

Tablo volkanik rezervuar kayacın pH'ı nötre yakın alkali klaridli su ile reaksiyonu sırasında geleneksel olarak anılan esas içeriklerin tipik davranışını açıklar. Benzer tablo iz elementler içinde yapılabilir.

<b>Hidrotermal Alterasyon Oluşumu Sırasında Jeotermal Rezervuarın Boşalım Bölümünde Temel Okside Elementlerin Tipik Davranışları</b>		
<b>Oksid</b>	<b>Tipik Davranışı; Kayaca</b>	<b>Bu Oksidi veya bu elementleri İçeren Hidrotermal Mineraller</b>
SiO <sub>2</sub>	<i>İlave olur &amp; ayrılır</i>	Kuvars, kristobalit, silikatlar
TiO <sub>2</sub>	Değişmez	Titanit, lökoksen
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	İlave olur & ayrılır	Birçok silikatlar
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO	İlave olur & ayrılır	Klorit, pirit, pirohitit, siderit, epidot, hematit,
MnO	Değişmez?	-
MgO	ayrılır	Klorit, dolomit
CaO	İlave olur & ayrılır	Kalsit, wairakit, epidot, prehnit, anhidrit, montmorillonit,titanit, florit
Na <sub>2</sub> O	İlave olur & ayrılır	Albit
K <sub>2</sub> O	İlave olur	Adularia, illit, alunite
CO <sub>2</sub>	İlave olur	Kalsit, siderit
S, SO <sub>3</sub>	İlave olur	Anhidrit, alunite, pirit, pirohitit, barit,
H <sub>2</sub> O	İlave olur	Tüm killer, epidot, prehnit, pirohitit, barit
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Değişmez	Apatit
Cl	ayrılır	-

## Hidrotermal Alterasyona Uğramış Rezervuar Kayaçta Görülen Fiziksel Değişimler

### Yoğunluk

Eriyikten doğrudan hidrotermal minerallerin rezervuar kayaca depolanması kayacın toplam yoğunluğunu artırır, ancak sadece çözümlenerek yıkama filtreleme, yoğunluğu azaltır. Yüzeye yakın, çok poroziteli ( % 50 ) ponza breşinin silisifikasyonu bu kayacın yoğunluğunu örneğin, 1.3 ten  $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  ) kadar artırır. Yoğunluktaki bu artış porozitesi yüksek kayaçta daha büyüktür. Buna karşılık orijinal porozitesi % 5 ten daha düşük kayaçlarda zorlukla fark edilebilir.

Düşük poroziteli kayaçlarda, hidrotermal alterasyonun, minerallerin yer değiştirmesi ile olduğu yerlerde, rezervuar kayaçların toplam yoğunluk değişimini tahmin etmek daha zordur. Çünkü yeni kayacın yoğunluğu yerinden ornatılan ve yerini alan minerallerin miktarına ve göreceli yoğunluklarına bağlı olacaktır. Örneğin, birincil andezinin (  $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  ) wairakitle (  $2.26 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  ) eşhacımsal yer değiştirmesi, yoğunlukta  $0.39 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  lük bir azalmaya neden olur, fakat eğer yer alan mineral epidotsa, ( $3.40 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ )  $0,753 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  yoğunluk artışı olacaktır. Böylece hidrotermal alterasyon işlemleri sırasında her zaman rezervuar kayaçların yoğunluğunun artması gerekli değildir ve bu gerçekten yola çıkarsak, gravite yönteminin, jeotermal rezervuarlarda tipik olarak görülen kütle homojensizliklerinin tespitinde neden başarılı olmadığını açıklayabilir.

### Porozite ve Permeabilite ( gözenek boşluğu ve geçirimsizlik )

Çözülüp yıkama dışında olan diğer hidrotermal alterasyonların etkisi, gözenek boşluğuna azaltır. Bunun rezervuar üzerine etkisi, küçük düzenli, sürekli oluşumuna karşılık, sistemin düşey yönde daha şiddetli olaylarla değişiminden dolayı daha karışıktır. Elbetteki duraylı jeotermal sahalarda, mineral çökelişi, çözünmeden daha etkili olduğu için permeabilitesi kaçınılmaz olarak düşecektir. Porozitede sürekli azalma ve buna ilave olarak alterasyon derecesi arttıkça, yoğunlukta artış Broadlands sahasında görülmüştür.

### Manyetik Özellikler

Taze volkanik kayaçlar az miktarda manyetit ve/veya titanomayetit içerirler ve bunlar kayaca önemli ölçüde magnetizasyon verirler. Hepsinde olmasa bile birkaç jeotermal dahada ( Tablo 5.1 ) her aşama genellikle hematit, pirit, lökoksen veya titanit gibi daha az manyetik minerallere kolayca değişir. Buda rezervuar kayacın de manyetize olmasına neden olur. Bu bazılarını, volkanik sahada jeotermal rezervuar sınırlarını manyetik yöntemle belirlemeye yönlendirir. Halbuki bu tür yöntemlerin saha uygulamaları daha karışıktır. Çünkü burada manyetit oldukça duraylıdır ( Olkaria ), veya burada ya yer değiştirme veya doğrudan eriyikten çökerek manyetit özelliğinin deki pirohitit oluşur ( Ohaaki, Ngawha, Wairakei ). Bu genellikle permeabilite ve  $\text{PH}_2\text{S}$  in düşük olduğu veya organik malzemenin var olduğu ( örneğin bazı sedimanter kayaçlar ) yerlerde olur.

### Rezistivite

Jeotermal rezervuarlardaki kayaçlar, sadece içerdekileri sıcak suyun elektrolitik konsantrasyonundan değil fakat aynı zamanda, kayacın matriksinde bulunan iletken kil ve zeolit minerallerinde göreceli olarak miktarından önemli ölçüde etkilenir. Bu nedenle bu tür minerallerin oluşumunu ve varlığını göz önünde bulundurmak önemlidir. Yaygın olarak bilinen kil mineralleri kaolinler ( kaolinit, hallosit, metahallosit, dikit ) Ca – montmorillonit ( smektit ), illit ( K – Mika ), klorit ve bu son üçünün ara katmanlı olarak değişik kombinasyonundan oluşur. Çünkü killer sulu minerallerdir ve oluşumları sıcaklığa bağlıdır. Gözlemler ve deneyimler, akışkan bileşimi,

özellikle akışkanın pH ının bu kil minerallerinin oluşumu üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermiştir.

### **Mineralojik Değişimler**

Yerdeğiştirme, çözülüp yıkanma ve çökelme, boyutu ve doğası çok değişmekle birlikte, kimyasal değişimlere de neden olur, fakat bunun kayacın mineralojisinin fonksiyonu olduğu açıktır; bazı yer değiştirmeler, en azından lokal ölçekte, eşkimyasal olarak gelişir, fakat birçok çalışma bazı içeriliklerin alterasyon sırasında gerçekte ilave edildiğini veya ayrıldığını göstermiştir.

## **AKTİF JEOTERMAL SAHALARDA HİDROTERMAL MİNERAL OLUŞUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

Burada anlatılan yaklaşım deneysel bir olgudur ve sondajlardan alınan karot ve kırıntılarının petrolojik çalışılmasından kazanılan deneyimlere, temel termodinamik prensiplere, hidrotermal cevher çökelimleri (depozitleri) ile ilgili fosil jeotermal sahalarda yapılan gözlemlere dayandırılmıştır. Çünkü biz zorunlu olarak, ispatlamaya gerek duymaksızın bazı gözlemler ve yorumlara dayanarak pratik yaklaşımlar kullanırız. Birçok gözlemin nedenleri halen açıklama beklemekte.

### **Hidrotermal mineralleri etkileyen faktörler**

- a) Sıcaklık,
- b) basınç temelde kaynama değerlerini kontrol eder,
- c) ana kayaç türü
- d) rezervuar geçirirliği ,
- e) akışkan bileşimi
- f) aktivitenin süresi

## **HİDROTERMAL ALTERASYON SINIFLAMASI**

Oluşum mekanına göre bir sınıflama

- Yeryüzünde (Yüzey ve Yüzeye yakın) oluşan
- Yeraltında (rezervuarda) oluşan

### **Yeryüzünde Alterasyon oluşumu:**

1. Doğrudan çökelme
2. Leaching (çözme ve yıkama)

Yeryüzüne kadar ulaşabilen jeotermal akışkanlar, rezervuar koşullarından farklı olan yüzey koşullarına uyum sağlayabilmek için, fiziksel ve kimyasal anlamda değişikliklere uğrarlar. Bu değişim ile akışkan içerisinde çözünmüş halde bulunan bazı elementler bileşikler oluşturarak çökelirler ve doğrudan çökelime örnek oluştururlar. Bunlar traverten, silika sinter gibi yüzey çökelimleridir ve ülkemizde traverten çok yaygın olarak bulunmaktadır.

Çözme ve yıkama ise, genellikle çok engebeli arazilerdeki jeotermal sistemlerde iki faz zon oluşturan ve üstteki buhar zonundan ayrılan su buharı ve gazların yüzeyde asit karakterli akışkan oluşturduğu ortamlarda görülür. Bu türde asit akışkan kayataktaki mineralleri çözerek eritir ve bünyesine alır ve asit karakterli alterasyon oluşumuna neden olur.

## YÜZEY VE YÜZEYE YAKIN ALTERASYON

Aktif jeotermal sahaların yüzeyinde oluşan hidrojeotermal alterasyon, özellikle günümüzde, çok az yüzey boşalımı veren sahaların yorumunda önemli bir rehber olarak kullanılmıştır. Alterasyonun boyutu ve kimliği bazı sahanın büyüklüğünün ve bunların termal tarihinin anlatımında kullanılmıştır.

Yüzey alterasyon birliği etkin akışkan türünün bileşimini yansıtır. Alkali klor(idli)ürlü kaynaklar genellikle amorf silika sinter, bikarbonatlı kaynaklar ise genellikle, CO<sub>2</sub> kaybından dolayı kalsit ve aragonit çökeltir. Asit yoğunlaşmasının ve volkanik gazların ürettiği, olağan yüzey mineralojisi çok daha karmaşıktır, fakat genellikle değişik türden sülfatları bulundurur (özellikle alunit, notroalanit ve jips), kaolin, pirit, demir oksitler, sülfür, cıva arsenik sülfidler ve silika kalıntıları gibi)

### **Silika sinter ve silika artığı kalıntısı**

Terminoloji;

Silika sinter, sıcak suyun soğumasından dolayı yüzeyde çökelen silikayı anlatmak için kullanılan bir terimdir ve “silisifiye veya silisleşmiş kayaç” teriminden farklıdır ki burada silisifikasyon (işlemi) olayı esas olarak yerin altında oluşur. Sinter, silika artığından (kalıntısı) farklıdır. Geçmişte bu materyallerin yanlış tanımlanmasından dolayı problemler ortaya çıkmıştır. Böyle bir durumda, bir jeotermal saha veya epitermal türden prospeksiyondan, sonuca varımla ortaya çıkartılan sahanın hidrojeolojisi yanlış olacaktır. Buradaki açıklamalar, silika sinter ve silika artığı (kalıntısı) nın arasındaki farkı ayırt etmenin önemli olduğu yerlerde, duruma yardımcı olmak için anlatılmaktadır.

### **Silika sinter**

Asit- sülfat alkali kloridli sulardan da çökelebiliyor olmasına rağmen (Rotokawa, Yeni Zelanda), genellikle nötr pH'a sahip, soğuyan, alkali kloridli sulardan çökeler. Sinter başlangıçta amorf ve suludur fakat zamanla kristallenir ve suyunu kaybeder (bu değişimler, XRD chart (grafları) üzerinde geniş bir amorf bölgede (hörgücünde) kristobalit ve kuvars yansımaları görüldüğü zaman ve düşük sıcaklıklı endotermik piklerin büyüklüğünün, sinterin yaşının arttığı yönde azalması ile DTA modelleri üzerinde görülür).

Çökeltme oranı, akışkandaki silika doygunluk derecesine ve yerel akış karakteristiklerine bağlı olarak genelde yavaştır. Yılda 2 cm. oranında olabilir. Buna karşılık Orakeikorako (Yeni Zelanda)da bir kısım yerlerde ve kuyulardan üretim yapılan Wairakei sahasında, boşalım drenajlarında silika daha hızlı birikmektedir.

Silika sinter genellikle beyazdır fakat hemen her renkte olabilir; soluk kahverengi, portakal, gri, siyah (obsidyen gibi ), pembe ve kırmızı sinterler bilinmektedir. Bazı sinterler üzerindeki yeşil renkler, dünyada bazılarının bakışları bunları malakit veya klorit gibi görmesine rağmen, genellikle yüzeysel algidir. Sinter genellikle sert ve yoğundur fakat bazı yerlerde süngerimsi boşluklu sinterler olabilir. Akış rejimine bağlı olarak aşağıdaki görüntü şekilleri gözlenebilir ; Banding (Bantlanma), Gayzerit, Teraslanma, Ripl (yarım halka şeklinde dalgacıklar) dune (kumul tepesi), bitki artıkları, overhangs (göl ve havuz oluşturan sularda su seviyesi üzerinde askıda duran malzemeler) ve dribbles (damlalar), Inclusions in sinter (sinterde sıvı kapanımlar).

## **Silika Kalıntı**

Silika kalıntı genellikle alkali kloridli suyun üzerinde, buhar zonunda oluşur. Jeotermal buhar değişmez bir kural olarak bir miktar CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S le birlikte bulunur. Son element (H<sub>2</sub>S) genellikle yüzeye yakın bir yerde kolayca oksitlenerek kuvvetli asit olan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e dönüşür ve hemen anında civarındaki kayalara saldırır. Volkanik kayalar, ponza ve camlar, seçilen bu uygun ortamda , alunit (veya natroalunit), hematit, jarosit, kaolin ve pirit içeren olağan asit göstergesi olan mineral birliğini üretmek üzere kolayca çözülürler Fakat ana kayacın tamamı çözünmez ve yer değiştirmez, birtakım silika , silika kalıntı (artık) çökeli oluşturmak için direnir . Bu durumu fark etmek, kalıntının, sintere ( gayzerit olmaması nedeniyle ), kumul tepeciğine, damla şekline, asılı çökele, terasa ve yarım halka şekilli dalga yapılarına göre negatif karakteristiğinden dolayı genelde güçtür. Halbuki arasına, genel bantlaşmalar gösterebilir; bu görüntü örneğin tefra gibi tabakalanma gösteren çökellerin bu tür asit karakterli saldırımın olduğu yerlerde, tefra tabakalarının bu saldırıya karşı koyarak yalancı bir tabaka şekli olarak kalır. Silika kalıntı bazen gayzerit benzeri yapı gibi, tepcikler oluşturabilir ancak bunun yatay olarak birkaç cm.yi geçmediği belirtilmektedir. Silika kalıntı genellikle gevrektiler, fakat bazen nert reçine görünümlü çökeller oluşturur. X-RD analizleri silika kalıntının genellikle kristobalit içerdiğini göstermiştir. Ancak çok muhtemeldir ki bu zamanla kuvarsa dönüşür. Silika kalıntı hemen hemen tamamen değişmez bir kural olarak, yukarıda sözü edilen minerallerin bir veya daha fazlası, genellikle sülfat ve kaolen ile birlikte bulunur. Silika kalıntı yeryüzünün hemen altında da oluşabilir, ancak sintere benzemez, ve kolayca aşındırılabilir. Ayrıca yüzeysel silika kalıntı bile nadiren bitki artığı içerir.

### **Sığ asidik alterasyonun önemi ve derin rezervuar içine nüfuzu (etkisi)**

Yüksek engebeli arazilerdeki birçok jeotermal sahada buhar ve yoğunlaşmış buharla birlikte karışmış, aşağı süzülen yüzey suyunun karıştığı kalın bir zon (birkaç yüz m.) vardır. Bu tür bazı sahalarda pH'ı nötre yakın alkali kloritli sular yüzeyde görülmezler ve uygun denklikteki sondajlarla alınırlar. Bu farklı iki türden akışkanın ürettiği hidrotermal alterasyon, birbiri ile tezat oluşturur. Özellikle derindeki asit akışkanın yüzeydeki asit akışkandan çok daha sıcak olduğu yerlerde. Örneğin Bacon-Manita , güney Luzondaki, sahasına göz önüne alınırsa, burada sondajlar sadece doğal, nötr pH lı akışkanlarla değil aynı zamanda asit akışkanlarla da karşılaşmıştır. (pH=2,9 Mo-1 kuyusu akışkanı). Halbuki bu asit akışkanlar, adet olduğu üzere klor ve sülfat anyonlarının her ikisinde de konsantrasyonu yüksektir ve bu tür için uygun terim ise sülfat-klorit karışımıdır. Asit akışkanların olduğu yerlerde sıcaklık 25-280°C arasında değişir ve bu akışkanlar 2500 m. derinden gelirler. Asit akışkanların hidrotermal alterasyon oluşturduğu Jeotermal sahalarda tezat oluşturan akışkan tipleri ile bu alterasyonlar uyuşur. Birçok sahada olağan olarak alkali kloritli akışkanla üretilen mineral topluluğu, kalk-silikatlar ilave olarak kalsit, klorit ve adularia bulundurulur. Anhidrit, kuvar ve pirit bazen bu takım içinde yer alır (Bacon-Manitoda) ve aynı zamanda asidik üretim birliği içinde de bulunur.

Bacon-Monito da asitlerce üretilen mineraller tipik olarak aşağıdaki zonları kapsarlar;

kaolinit (120°C ye kadar),  
kaolinit+dikit (120-180°C),  
dikit+profillit (yaklaşık (210-230°C ) ve  
pirofillit +illit (230-280°C ).

Akışkan pH' ının 2.5 olduğu ve hemen hemen diğer bütün içeriklerin (elementlerin) çözüldüğü ve yüzeye yakın silikaca zengin zonalarda opal, kristobalit, tridimit (+alunit) ortaya

çkar. Daha derin kaolinit zonlarında pH' ı 2.5 ve 3.0 arasında değişen akışkanlardan alunit, kristobalit, opal ve kaolinit oluşur. Asit karakterli akışkanlarla üretilen diğer mineraller, anhidrit, diaspor, andalusit, topaz, zunyite, lazulit enargite dir.

Asit ortam üretimi mineral birliklerinin görünümü şöyledir; genelde dar zonlarda oluşurlar ve nötr pH' lı akışkanların ürettiği mineral birliklerle kesin sınırları vardır. Filipinlerde asit üretimi minerallerin gözde olduğu model, yoğunlaşan akışkanın, eğim atımlı düşey faylarla aşığı doğru inmesi ve reaksiyona girdiği rezervuar kayaçlarla ısıtılarak sözü yukarıda edilen gözlenen mineral birliğini üretmesidir. Bu akışkanlar, akım kanallarından uzakta, rezervuara indikleri zaman hızla notralize olurlar ve böylece kanallardan uzağa doğru adım adım gelişen aşığıdaki zonlanma olur.

Profillit ⇒ alunit ⇒ kaolinit ⇒ smektit

Bu tip jeotermal sahalar ile yüksek sülfürlü epitermal mineral çökelleri arasında açık benzerlikler vardır. Halbuki aynı asit üretimi bu mineral birlikleri, yükselen magmadan türeyen akışkanlardan da olabilmektedir. Bu durumlarda yoğunlaşan SO<sub>2</sub> gazı artı belkide HCl ve HF gazları, asit karakterli mineralleri üretir. Yüksek sülfür veya yüksek sülfidleşmeye ait oluşan bu epitermal mineral çökelimleri, bu tür çökelimlere ait literatürde örneğin Goldfields ( Nevada ), Mt Kasi (Fiji), Lepanto (Philippines) okuyabilirsiniz.

## HİDROTERMAL YATAKLAR

Hidrotermal çözeltiler birkaç tipte oluşabilirler:

1. Juvenil çözeltiler; asidik veya ortaç bileşimli, oksijenik kabuksal magmaların farklılaşması ile veya oksijen içermeyen kabuk altı bazik magmaların farklılaşması ile oluşurlar.
  2. Ultrametamorfik süreç çözeltileri; bölgesel metamorfik koşullar altında, mineral bünyesindeki OH'ın sığ derinliklerde serbestleşmesi ile oluşurlar. Metamorfik su, metamorfik cephenin ön kısmında yer alarak hidrotermal alterasyonu ve kayacın granitleşmesini sağlar.
  3. Dalan litosfer dilimlerinin dehidratasyonu sonucunda serbestleşen çözeltiler;
  4. Diyajenez ve epimetamorfizma esnasında serbestleşen, göçen ve zenginleşen birleşik gözenek sularından türeyen çözeltiler; gözenek suyu kayacın %30'unu kapsayabilir, 9 km derinlikte 300°C'ye kadar ısıtılabilir ve kayaçlardaki elementleri çözündürüp bünyesine alabilir.
  5. Atmosferik ( vadoz ) suyun yerkabuğunun derinliklerindeki döngüye katılması sonucu oluşan çözeltiler.
- Sonuç olarak, hidrotermal sularla taşınan elementler orijinal magmadan türeyebildikleri gibi, derinlerdeki çevre kayaçlardan çözündürülerek veya daha az derecede daha sığ derinliklerdeki kayaçlardan da türeyebilirler ve bu nedenle de daha düşük sıcaklıklara sahiptirler. Oluşan hidrotermal çözeltiler; koloidal çözeltiler, gerçek çözeltiler veya daha olası şekliyle kompleks iyonik ve moleküler çözeltilerdir. Çözeltilerdeki elementler esas itibariyle kloritler, bikarbonatlar veya sülfatlar şeklinde taşınırlar.

Hidrotermal çözeltiler etkisiyle oluşan yataklar şu şekilde sınıflandırılabilirler;

Hipotermal Yataklar; 500-300°C sıcaklık aralığında ve oldukça derin ortamlarda ( yeryüzünün 4-1 km altında ) oluşurlar.

Mezotermal Yataklar; 300-200°C sıcaklık aralığında ve 2 km civarındaki derinliklerde oluşurlar.

Epitermal Yataklar; 200-50°C arası sıcaklıklarda ve yaklaşık 1 km derinlikte oluşurlar.

Hidrotermal çözeltilerden itibaren gerçekleşen mineral çökelimleri aşağıdaki etkenlerin sonucunda meydana gelir:

1. Çözeltiler ve yan kayaçlar arasındaki veya hidrotermal çözeltiler ve yüzey suları arasındaki değişim reaksiyonları.
2. pH veya Eh değerindeki değişimler.
3. Sıcaklıktaki düşüş.
4. Yarı geçirgen kayaçların filtreleme etkisi.
5. Adsorbsiyon, absorpsiyon ve kimyasal özümseme.
6. Basınç değişiklikleri.

Hidrotermal çözeltiler, taşıdıkları bileşenleri minerallerin çözünürlüğü ile basınç ve sıcaklıktaki azalmalara bağlı olarak belirli bir sırada çökeltirler ( Smirnov, 1976 ). Bununla birlikte, mineral ayrılımasının sıcaklık ile belirlenen sırası çoğunlukla bozulur. Bu bozulma lokal ( göreceli ) basınç gradyanlarının etkisi, çözeltilerin karbonat gibi kimyasal açıdan aktif bir kayaçla karşılaşması veya deniz tabanında daha soğuk olan alkali deniz suyu ile karışması yüzünden meydana gelebilir. Bu tip aksaklıklar olduğunda mineraller sinjenetik gözeneklerde, sedimanların tabakalarına düzlemlerinde, efüzif kayaçların küçük boşluklarında veya çözünme ve hacimsel değişimler ( minerallerin ve kayaçların rekristalizasyonu sonucunda oluşan ) ile meydana gelen epijenetik boşluklarda çökeltirler. Son duruma örnek olarak jips → anhidrit veya arsenopirit → skorodit verilebilir. Mineraller çoğunlukla kıvrımlanma ve faylanma gibi tektonik kökenli boşluklarda çökeltirler.

## METASOMATİK YATAKLAR

Metasomatik yataklar, karbonatlar veya piroklastikler gibi kayaca ait minerallerin çözeltilerden gelen florit gibi mineraller tarafından ornatılması sonucunda oluşurlar. Metasomatik yataklar aşağıdaki özelliklerine göre karakterize edilirler:

.Düzensiz şekilli olmaları.

.Yapısal elemanları yan kayaç içinde devam eden ornatılmamış kayaca ait kalıntılar içermeleri.

.Esas kayaca ait kalıntı minerallere sahip olmaları.

.Esas kayaca ait dokusal elemanların metasomatik kütle içinde de devam etmesi.

." Druse " ( damar veya kayaç içindeki düzensiz boşluklar, boşlukların iç yüzeyleri veya duvarları, boşluğu kuşatan kayacın mineralleri ile genellikle aynı türdeki minerallerden oluşan küçük mineral projeksiyonları ile kaplıdır ); " comb " ( minerallerin damar duvarına dik olacak şekilde birbirine yarı paralel kristalleşmeleri ve " cellular " (birbiriyle bağlantılı olan veya olmayan boşluklar ) dokuların bulunmayışı).

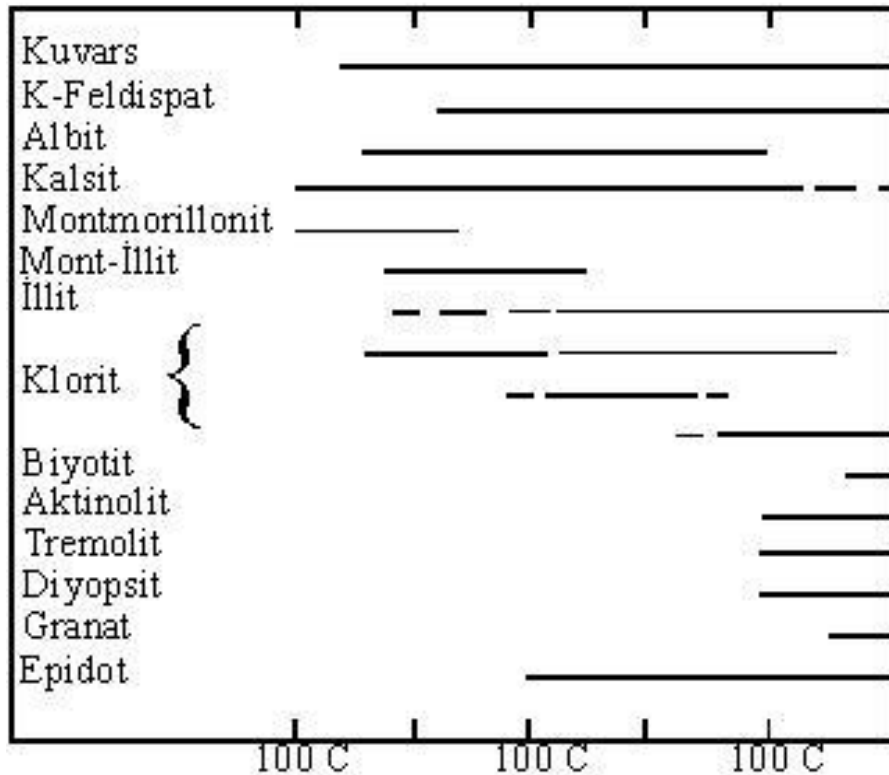
Orijinal minerallerden sonra oluşan yeni minerallerin psödomorflarının bulunması. Azalan sıcaklık ile birlikte Ca ve SiO<sub>2</sub> daha mobil hale geçeceği için, kalsit ve kuvars, oluşacak metasomatik minerallerin en sonucusudur. Seçimli metasomatizma, belirli bazı zayıf kaya zonlarını birbirinden ayırır. Bu tip bir ayrılmaya belirli mineral tiplerinin mevcudiyeti, elverişli bir gözeneklilik veya örtü katmanlarının geçirimsizliği sebep olabilir.

Oluşan mineraller esas alındığında, metasomatizma aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- .Alkali (albitleşme: plajiyoklaz + biyotit → muskovit + serizit).
- .Silis (hornfels, ikincil kuvarsit, jasperoidler ve benzeri).
- .Arjillitik (asidik ortamlarda dikit, alkali ortamlarda montmorillonit oluşur).
- Karbonat (Ca, Mg, Mn, Fe).
- .Magnezyum (kireçtaşları ve dolomitlerde olduğu kadar bazik kayalarda da krizotil ve masif manyezitin oluşması).

Hidrotermal yataklarda yankayaç alterasyonunun en sık gözlenen tipleri serizitleşme, kloritleşme, kaolinleşme, silisleşme, dolomitleşme, lisvenitleşme (Ultrabazik kayaların Ca, Mg ve Fe-karbonatlara, talka ve kuvarsa alterasyonu), talklaşma, alünitleşme, floritleşme, baritleşme ve piritleşmedir (Şekil 4).

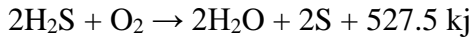
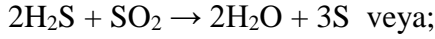
Hidrotermal endüstriyel mineraller ve kayalar arasında, **apatit, flogopit ve grafit**, yüksek sıcaklık grubuna aittir. **Barit, vitherit, İzlanda sparı (kalsit), manyezit, dolomit, talk ve asbest** orta sıcaklık grubuna aittir. Vermikülit ve kaolen ise düşük sıcaklık grubuna aittir. Farklı koşullar altında, **kaolen** ve **vermikülit** bozunma sonucunda da oluşabilirler.



Bazı alüminosilikat alterasyon minerallerine ait sıcaklık aralıkları. Üç klorit duraylılık bölgesi, artan sıcaklığa bağlı olarak genişleyen kloritlerden karışık katmanlı kloritlere ve genişlemeyen kloritlere geçişi göstermektedir.

## SUBLİMATLAR

Kükürt ve sossolit mineralleri, aktif veya bir süre için durağan volkanik faaliyet alanlarında, su buharının yanı sıra SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub> içeren fümerollerden ve su buharı ile birlikte SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> içeren solfataralardan itibaren çökeliirler. Örneğin kükürt, yüzeye H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> ve S<sub>2</sub> gazları şeklinde gelebilir ve çıkış kanallarının ve kraterlerin duvarlarında çökelebildiği gibi, gazlardan itibaren veya aşağıdaki reaksiyonlar yardımıyla doğrudan da kristalleşebilir:



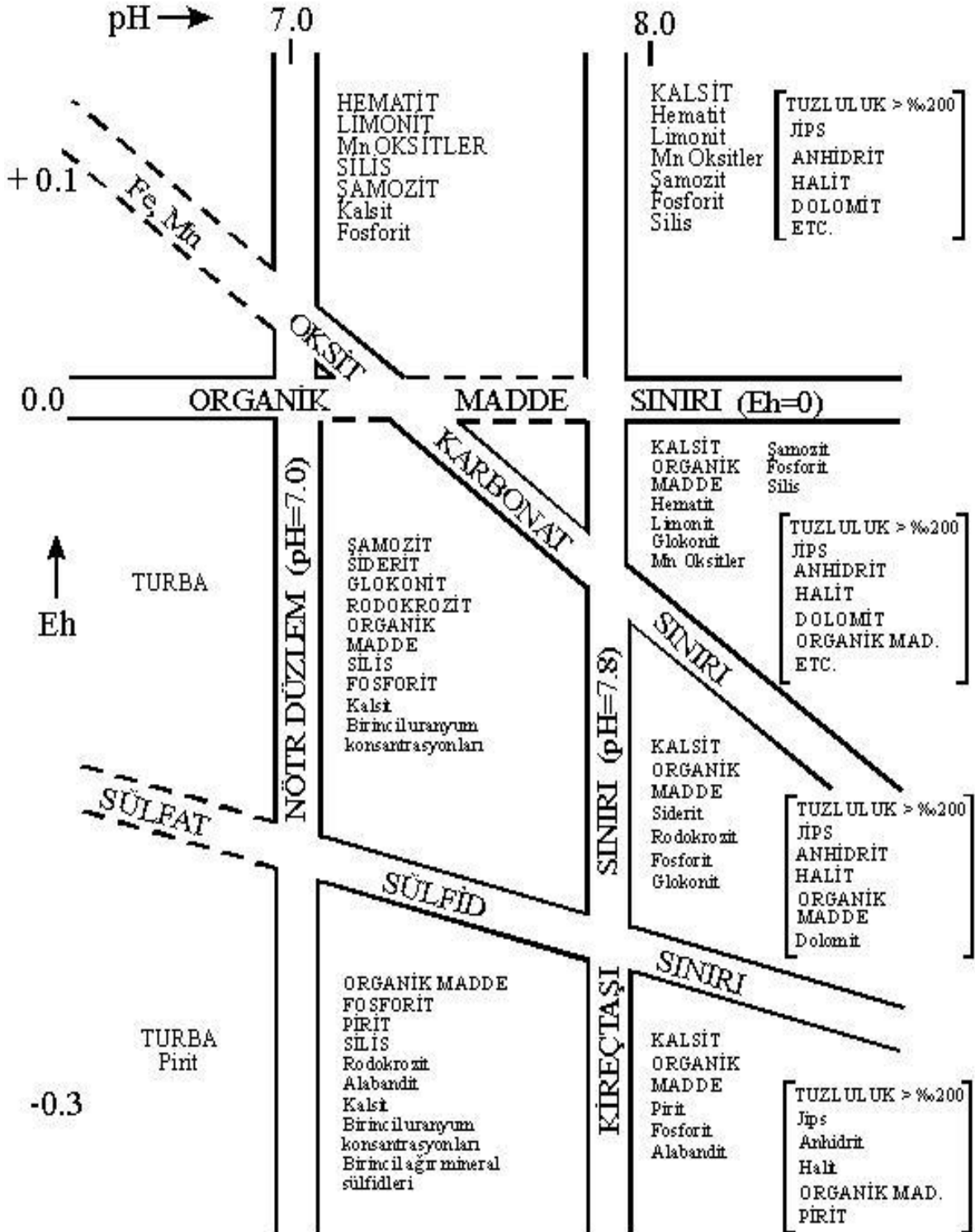
Her iki reaksiyonda da fazla H<sub>2</sub>S, yeni oluşan kükürtün atmosferik oksijen ile temasa girip oksitlenmesini önlemektedir. Hidrotermal çözeltilerin krater gölü tabanında çıktığı yerlerde, solfatar-sedimanter kükürt yatakları oluşur. Sıcak gazlar sublimat veya solfatar-sedimanter kökenli kükürt ile birleştğinde, Japonya'da Hokkaido Adasında'ki Siretoko-Iosan volkanında olduğu gibi, kükürt akıntısı volkanlarını oluştururlar. Sassolit, amonyum boratlar ( larderellit; bir amonyum borit ) ile birlikte fümerol ve sofionlardan (borik asit fümerolleri) itibaren çökerek oluşur. Sofionlar gazlı sıvı maddelerin kilogramında 0.3 ve 0.5 gr H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> içerirler.

## BOZUNMA

Bozunma, sedimanter yatakların tümünün oluşumunda önemli bir rol oynadığı kadar **kaolen, laterit, boksit, mangan, masif manyezit, fosfatlar** ve nikel ve uranyum içeren bazı cevher yataklarının oluşumunu da sağlayan jeolojik bir süreçtir. Bozunma olayı, esasen yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında oluşmuş kayaların yüzeyel koşullara doğru yaklaştıkça mekanik ve kimyasal değişimlere uğradığı karmaşık bir mekanizmadır. Hidroliz, oksidasyon, karbonatlaşma ve hidratlaşma şeklinde sıralanabilen esas bozunma süreçlerinin ürünleri; kil minerallerini, demir oksitlerini ve hidroksitlerini, boksit minerallerini ve daha seyrek olarak da kaolen profillerindeki siderit gibi karbonatları ve jips-anhidrit gibi hidratlaşmış mineralleri içermektedir.

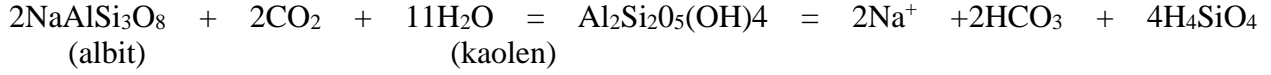
Magmatik kayalardaki kayaç oluşturan mineraller, Bowen reaksiyon serisine uygun olarak, oluştukları sırada bozunurlar: Olivin ve anortit, bunu takiben K-feldispat, muskovit ve en son olarak da kuvars bozunur. Mineral bileşimi bozunma oranını kontrol ettiği gibi bozunma ürünlerinin bileşimini de kontrol etmektedir. Ultrabazik ve kaolenit türü kayalardan türeyen nontronit veya asitik magmatik kayalardan türeyen montmorillonit, demir içeren kayalardan oluşan kırmızı kaolen, lökokratik granit, apfit, pegmatit ve arkoz gibi lökokratik kayalardan oluşan beyaz kaolen bu tip yataklara örnek olarak verilebilir. Bozunma reaksiyonları yağmurun esas su kaynağı olduğu katı-sıvı sınırında gerçekleşirler. Yağmur suyu, atmosferik CO<sub>2</sub> yüzünden biraz asidik niteliktedir (pH 5.7, volkanik sahalarda pH < 4).Hidratlaşma ve kayaç oluşturan silikatların hidrolizi her ne kadar pH değerini arttırsa da, yüzey suları alkalinitesindeki herhangi bir artış sürekli akış ile ve organik maddelerden ayrılan CO<sub>2</sub>'in varlığı ile engellenir. Oksidasyon-redüksiyon potansiyeli veya Eh değeri, iyonların süperjen ortamlarda göç edebilme yeteneğini etkiler. İyon hareketinin hızı, pH, Eh değerlerine, pH/Eh oranına (Şekil 5), K iyonlarının kil mineralleri ile sabitlenmesine, organik madde özleri ile olan reaksiyona ve elementlerin iyon potansiyeline bağlıdır. Genel olarak, alkali toprak elementleri alkali elementlerden, Ca ise Mg'dan daha mobildir ve yeni oluşan kil minerallerinin ara katmanları arasına girebilir. Demir ve alüminyum daha az mobil elementlerdir.

Ortamın pH ve Eh'ına bağlı olarak eksojenik koşullar altında bilinen mineral türlerinin oluşumu

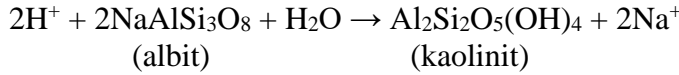


En önemli bozunma süreci, döngü halindeki yeraltı suyunun ana kayaç mineralleri ile olan etkileşimidir. Kaolinleşme olayında feldispatın ayrışması aşağıdaki denkleme uygun olarak gerçekleşir.

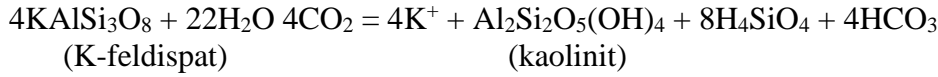
1. Yüksek akış hızında:



2a. Düşük akış hızı ve artan  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  konsantrasyonunda:



2b. K-feldispat üzerine  $\text{CO}_2$  etkisi altında:



3. Alkalilerin uzaklaşmamış olduğu ortamda, çok düşük akış hızında:



Bazık plajiyoklazın ortaç bozunma ürünü olan montmorillonit, ayrışmanın ileri safhalarında kaolinite geçer. Kaolinit oluşumu için önceden gerekli olan koşullar, düşük  $\text{K}^+$  konsantrasyonu,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  (genellikle  $\text{Fe}^{3+}$ 'nin organik maddelerce indirgenmesiyle oluşur) ve bir miktar  $\text{SiO}_2$ 'nin yüksek liçing derecesi,  $\text{H}^+$  (pH 4-5 arası) iyonu ve  $\text{CO}_2$ 'nin varlığı ve oksidasyon ortamıdır. Bu koşullar, yağışın evaporasyonu aştığı ve ana kayaç rölyefinin ve dokusunun yüzey altı suyunun döngüsünü desteklediği ortamlarda sağlanır. Bu nedenle, triklinik kaolinit düşük Si/Al oranı ve yüksek sıcaklık koşullarında oluşmaktadır. Diğer taraftan montmorillonit  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  iyon konsantrasyonunun  $\text{K}^+$  konsantrasyonunu aştığı,  $\text{SiO}_2$  içeriğinin  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'den daha yüksek olduğu ve zayıf alkali liçingi koşullarında buharlaşmanın yağıştan fazla olduğu durumlarda oluşur. Montmorillonit özellikle volkanik kül gibi özgül yüzeyi yüksek olan silikat kayaçlarından itibaren oluşmaktadır. İllit oluşumuna uygun olan koşullar; yüksek  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  ve  $\text{H}^+$  içeriği, düşük Al/Si oranı ve yüzey altı suyunun ortalama akış hızı ile birlikte ortalama yağıştır.

## BOZUNMA ETKİSİ

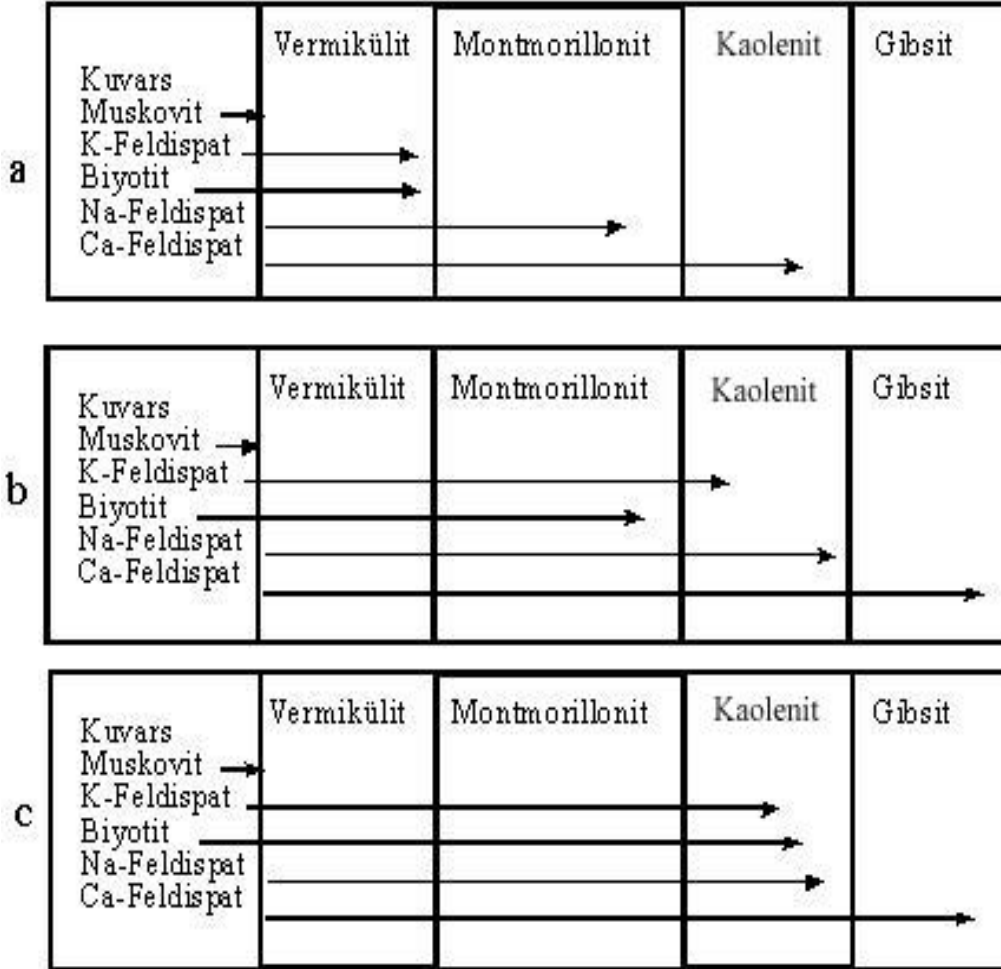
İklimsel koşulların bozunma üzerinde büyük etkisi olduğu kesindir. Yeraltı suyu tablasının derinlerde olduğu kurak iklimlerde, çözünebilir bileşenler yüzeyde yığılırlarken, dağılık haldeki organik materyaller oksite olurlar. Yağışın üzerinde olan buharlaşma, yeraltı suyu döngüsünü sınırlayarak, mekanik bozunmanın kimyasal bozunmaya galip gelmesine izin verir. Alkali ortamlarda ( pH 7.5-9.5 ) silis, montmorillonit, illit, vermikülit ve klorit ile birlikte bir silis kabuğu ( şükret olarak adlandırılır, laterit ve kalişin benzeridir ) oluşturmak üzere çöker.

Yağışın buharlaşmanın üzerinde olduğu nemli ortamlarda, yüzeye yakın yeraltı suyu akışı, çözünebilir maddelerin indirgeyici (yeraltı suyu seviyesinin altında) ve asidik (pH 3.5-6.5 arası) ortamlarda hızlı bir şekilde yıkanmasına neden olur. Savanah ortamlarında birbiri ardı sıra

gelen kurak ve yağışlı sezonlar, nötral pH noktasının üzerinde (  $\text{SiO}_2$ 'nin ortamdan uzaklaşması ) ve altında (  $\text{Fe}^{3+}$ 'ün lateritik kabuğa taşınması ) değişimlere neden olur. Allitleşme ( allitization ) sürecinde demir oksitler kadar jibsit ( gibbsite ) veya böhmit ( boehmite ) de oluşmaktadır.

Diğer taraftan sürekli olarak nemli olan koşullar altında, devamlı asidik karakterli pH ortamından alkalilerin, alkali toprakların,  $\text{Fe}^{2+}$ 'nin ve biraz  $\text{SiO}_2$ 'nin düzenli olarak uzaklaşması, kaoleniti veya halloysiti ve hidratlanmış oksitleri meydana getirir. Kaolinleşmenin veya lateritleşmenin oluşup oluşamayacağını sağlayan esas faktör, nemli ortamlardaki hidrodinamik rejimdir ki, bu da yağış dağılımına ek olarak sahanın jeomorfolojik konfigürasyonu anlamına gelir. Bozunma ürünlerinin mineral bileşimleri ile iklim ve özellikle de sıcaklık arasındaki ilişki Şekil-6'da görülebilir.

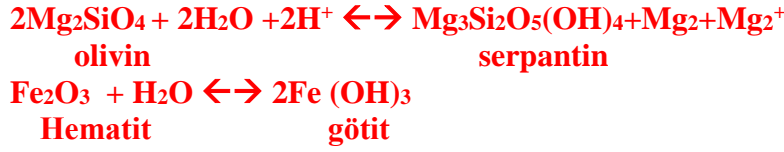
Bozunma ürünlerinin tabiatı, bunların toprak profilindeki konumlarına bağlıdır. Laterit profilinin derin seviyelerinde kaolinleşme aktifken daha büyük derinliklerde serizitleşme meydana gelir. Bozunma serilerinin son üyesi olan kaolen, basit şekliyle tamamlanmamış laterit şeklinde tanımlanabilir.



İklimsel koşulların fonksiyonu olarak granit bozunmasına ait artık ürünlerin mineral bileşimleri (Tardy, 1969). a. yarı kurak iklim, b. yarı hümid iklim, c. hümid iklim



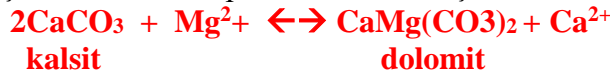
**2. HİDRATLAŞMA:** Hidrotermal çözelti içerisindeki moleküller suyun bir kısmının kaybıdır. Dehidratlaşma ise yan kayaçta bazı sulu minerallerin çözülmesi sonucu çözeltiliye suyun ilavesidir.



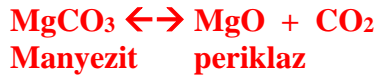
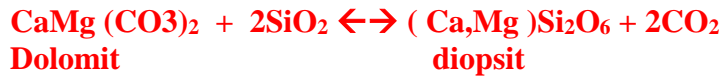
Dehidratlaşma genellikle alterasyon ortamında sıcaklık ve basıncın artışıyla gerçekleşir.



**3. ALKALİ VE TOPRAK ALKALİ METASOMATİZMASI :** Özellikle kalsitten dolomitin oluşumu, K’lu feldispattan kloritin oluşumu ve feldispat bileşiminin değişiminde önemlidir.



**4. DEKARBONATLAŞMA:** Özellikle skarn formasyonlarında gerçekleşen ve kalsit veya dolomit içeren birimlerden CO<sub>2</sub> atılması sonucu silikat ve oksitlerin oluşumuna yol açan bir alterasyon reaksiyonudur.



**5. SİLİSLEŞME:** Silis jeli vadoz su ile yüzlerce metre derinliğe kadar taşınarak kireçtaşlarını silisleştirir ve hatta bunlar tamamen *kuvarsitlere* bile dönüşebilirler. Silisleşme aynı zamanda Güney Afrika, Kuzey Sahara, Avustralya ve benzeri yerlerde olduğu gibi, çöllerdeki bozunma profilinde bulunan bir silis seviyesini (silcrete: silis çimentolu konglomera) oluşturabilir ve karbonat kumlarının ve daha nadiren jipsin yerini opal veya kalsedonun almasına sebep olabilir.

Silikatlaşma ise silikatlı minerallerin oluşumu veya silikatların başka iyonların yerini almasıdır. Boşluklarda çözeltiliden kuvarsın çökelişi silisleşmeye en kolay örnektir.



**6. OKSİTLENME VE İNDİRGENME** : Bu tür reaksiyonlar çoğunlukla iki veya 3 değerlikli Fe ve sülfürlü bileşikler etkilir.Fakat Mn, V, vw U içeren bileşiklerde etkili olabilir.En önemli oksidasyon reaksiyonu ortamın oksijen içeriğinin artmasına bağlı olarak manyetitten hematitin oluşumudur.



Manyetit

hematit

## ALTERASYONLARIN ADLANDIRILMASI

Alterasyonların adlandırılması, farklı şekillerde yapılır. Bu konuda jeoloji literatüründe bir standart adlama yoktur. Adlandırma ikincil kayaçların kimyalarına göre veya mineral içeriklerine göre yapılır. Örneğin; eğer ikincil kayaçlar birincil kayaçlara göre belirli bir element açısından zenginleşmişse alterasyon o element adıyla ifade edilir (silisleşme, potasik ve sodik alterasyon gibi). Burada ikincil kayaçların birincil kayaçlara oranla silisyum, potasyum ve sodyum açısından zenginleştiği anlaşılır. Mineral içeriklerine göre yapılan adlamada ise değişik iki yol izlenir. İkincil kayaçların birincil kayaçlardan farklı olarak içerdiği minerallerin adları verilerek alterasyonlar tanımlanır. Örneğin; kloritleşme, killeşme, karbonatlaşma, serisitleşme gibi. Bu adlama daha ziyade monomineralik alterasyonlar yani baskın olarak tek bir ikincil mineralin yaygın olduğu alterasyon adlamalarında geçerlidir. Eğer ikincil kayaçlar birden fazla alterasyon minerallerini yaygın olarak içeriyorsa o zaman alterasyonlar özel isimler alırlar. Örneğin; grayzenleşme, propillitleşme, skarnlaşma gibi.

Yan kayaç alterasyonları magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlar içinde gözlenebilir.bu kayaçların tümünde aynı alterasyon tipleri gözlenebileceği gibi (örneğin silisleşme,karbonatlaşma gibi) Her kayaç grubuna özgü alterasyon tipleride vardır (örneğin; ultramafik kayaçlara özgü lisvenitleşme gibi).

Hidrotermal süreçlerle oluşan yataklar çevresinde, yan kayaçlarda yaygın alterasyonlara yani yan kayacın birincil minerallerinin dönüşümü sonucu oluşan ikincil mineral oluşumlarına rastlanır. Bu dönüşümler /alterasyonlar renk doku mineralojik ve kimyasal değişimleri kapsar. Alterasyonlar her zaman gözlenmeyebilir. Gözlendiği taktirde kayaçta renk değişimleri, yaygın mineral dönüşümleri ve rekristalizasyonlar (yeniden kristallenmeler) gibi özelliklerle ayırt edilirler. Alterasyonun şiddeti kayacın oluşum sıcaklığı ile şu andaki veya alterasyona uğradığı andaki sıcaklık arasındaki farkla doğru orantılıdır. Alterasyonun yaygınlığı ise zaman, çözeltilerin miktarı vb. gibi faktörlere bağlıdır. Uzamsal açıdan maden yatağı ile ilintili bu değişimlere yan kayaç alterasyonu adı verilir. Alterasyonun yaygınlığı bazen cm lerle ölçülür. Bazen de bu değişimler maden yatağı çevresinde km lerle uzanımı olan (3/5 km) porfiri bakır yataklarında olduğu gibi çok geniş haleler oluştururlar.

Temel olarak alterasyona neden olan çözeltilerin kaynağı ile ilgili olarak 2 ayrı alterasyon türü söz konusudur. Bunlar; Hypogen ve süpergen alterasyonlardır. Hypogen alterasyon; aşağıdan gelen ve genellikle magmatik kökenli çözeltilerin neden olduğu alterasyondur. Süpergen alterasyon ise yukarıdan gelen yani genellikle meteorik kökenli çözeltilerin oluşturduğu alterasyonu ifade eder. Yan kayaç alterasyonunu kontrol eden iki temel etken vardır.

Bunlar:

- Ana kayacın doğası, özellikleri

Kimyasal bileşimi

Tane boyu

Fiziksel durumu (çatlak / porozite durumu)

Permeabilitesi

- Cevher oluşturan çözeltilerin özellikleri

Kimyasal

pH ve Eh 1

basınç ve sıcaklık

hidrotermal çözeltiler genelde zayıf asidiktirler fakat yan kayaçla reaksiyona girdiklerinde veya yer altı suyu ile karışırlarsa nötr veya zayıf bazik (alkali) olabilirler. Yan kayaç mineralleri Hidrotermal çözeltilerden farklı derecelerde etkilenirler. Yan kayaç minerallerinin Hidrotermal çözeltilerden etkilenme dereceleri aşağıdaki gibi ifade edilir:

- Dayanımları en az olan mineraller
  - Karbonatlar, zeolitler, feldispatoidler ve Ca-plajiolazlar
- Dayanımları orta derecede olan mineraller
  - Piroksen, amfibol ve biyotitler
- Dayanımları en fazla olan mineraller
  - Na-plajiolazlar, K-feldispatlar ve muskovit
- Çözeltilerden etkilenmeyen mineraller
  - Kuvars (genelde etkilenmez)

## YAN KAYAÇ ALTERASYON ÇEŞİTLERİ

Yan kayaç alterasyonunun geliştiği basınç ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak farklı türde alterasyon mineralleri oluşur. Değişen şartlara göre bazen tek bir mineral oluşabileceği gibi bazen de birkaç mineralden oluşan bir birliktelik gelişebilir. Böylece cevher yatağının çevresinde değişken mineralojik yapısıyla karakterize olan bir zonlanma gelişebilir.

Mineral parajenezine göre şu alterasyon türleri ayırt edilebilir. **1. silisleşme, 2. İleri arjilik alterasyon, 3. serizitik veya fillik alterasyon, 4.serizitik alterasyon, 5. propilitik alterasyon, 6. potasik alterasyon, 7. grayzenleşme 8. skarnlaşma, 9.orta arjilik alterasyon, 10. kloritleşme 11.karbonatlaşma, 12. feldispatlaşma ve 13. turmalinleşme**

**1. SİLİSLEŞME :** Yan kayaçla hidrotermal çözeltiler arasındaki reaksiyonlar sonucunda yan kayacın kuvars veya kriptokristalen kuvars içeriğinde bir artışın görülmesidir. Yani yan kayaca sonradan SiO<sub>2</sub> ilavesidir. SiO<sub>2</sub> yan kayaca doğrudan hidrotermal çözeltilerden katılabileceği gibi , feldispat veya diğer bazı minerallerin alterasyonu sonucu yan ürün olarak ta katılabilir.



**K’lu feldispat**                      **muskovit**                      **kuvars**



Silisleşme cevherli zonların ortaya çıkarılmasında kullanılabilir en önemli yol göstericilerden biridir.

**2. İLERİ ARJİLLİK ALTERASYON:** Başlıca mineralleri;dikit-kaolinit, profilit ve kuvarstır. Diğer taraftan serisit, alunit, pirit, Turmalin, topaz, zünyit ve yüksek sıcaklıklarda andalusit bulunabilir.

Yan kayacın alkali ve toprak alkali element içeriğinde aşırı bir azalmanın oluşmasıdır. Kuvars ve kil minerallerinin gelişimi ile karakteristiktir. Sıcaklığın 300 °C nin üzerinde olduğu durumlarda profilit veya profilit-andalusit gibi kil mineralleri gelişirken bu sıcaklığın altında ise kaolen ve dikit oluşur. Topaz,Turmalin,alunit,serizit ve piritte genellikle mevcuttur. Bu tür alterasyonun dağılımı diğer alterasyon türlerine nazaran daha düzensiz olmakla birlikte ,kükürt içeriği zengin olan cevherleşmelerin merkezlerinde yer alır. İleri arjillik alterasyon feldispat ve mikalardaki Al nin hareketsiz olması durumunda gelişebilir. Eğer Al de hareketli ise ve ortamdan uzaklaşırsa, silisleşme ve serizitleşmeye geçiş gösterir. İleri arjillik alterasyon,oluşumu esnasında cevherli zonların gelişimine yol açan hidrotermal sıvıların geçebileceği yüksek permeabiliteli zonlar oluşturması nedeniyle son derece önemlidir.

**3.SERİZİTİK VEYA FİLLİK ALTERASYON :** Serizit mineralinin yoğun olmasıyla tanınır.özellikle Al ce zengin sleyt ve granit gibi kayaçların olduğu ortamlarda mevcuttur. Feldispatların alterasyonla mika ve kuvarsa dönüşümüyle gerçekleşir. Dolayısıyla bu tür alterasyonun en karakteristik mineralleri serizit ve kuvarstır. Piritte genellikle bunlara eşlik eder. Rutil, lökoksit ve klorit ender olarak bulunabilir.Yan kayaçta ikincil olarak K’lu feldispatların veya biyotitlerin oluşması durumunda potasik alterasyona geçiş gösterir.

**4.ARJİLLİK ALTERASYON :** İleri arjillik alterasyonun bir alt türüdür ve düşük sıcaklıklarda gelişir. Bu alterasyon kaolinit ve montmorillonit türü kil minerallerinin baskın oluşuyla ayırt edilir. Her iki kil minerali plajiyoklazların ayrışmasıyla oluşur. Ayrıca amfibollerin alterasyonu da montmorillonite yol açabilir. Çok az miktarda serizit mevcuttur. Arjillik alterasyon kendi içerisinde bir zonlanma gösterebilir. Böylece serizitik zona doğru gidildiğinde kaolen grubu killeri,dış zona doğru ise montmorillonit grubu killeri görülür.

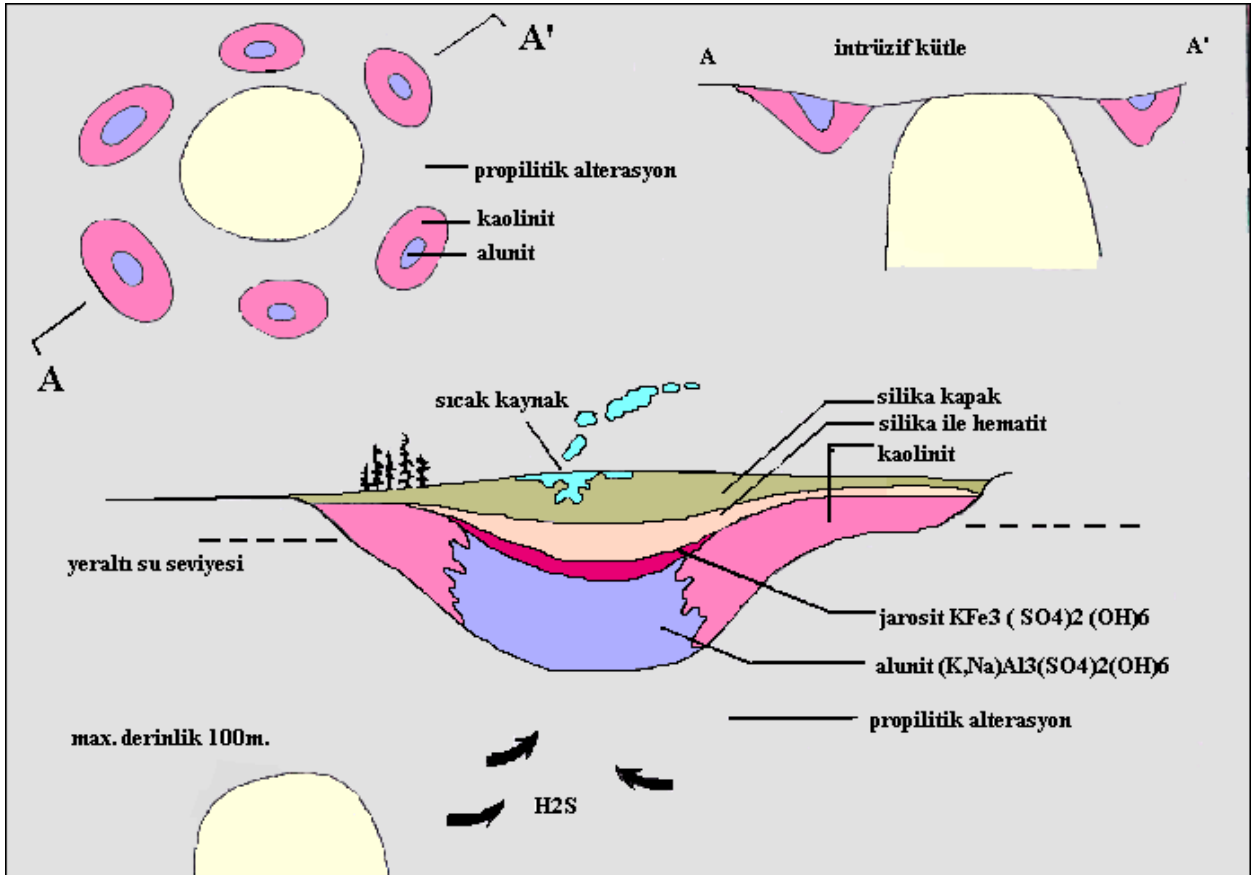
**5. PROPİLİTİK ALTERASYON :** Bu alterasyon tipik olarak plajiyoklazın yerini alacak şekilde epidot, klorit ve kalsitin; hornblend ve biyotitlerin yerini alacak şekilde de epidot , klorit ve montmorillonitin oluşmasıdır. Buna göre kayaca H<sub>2</sub>O,H<sup>+</sup>, CO<sub>2</sub> ve S ilave edilir.Karakteristik mineraller klorit,epidot, albit ve karbonatlardır. Az oranda serizit, pirit, ve manyetit ve daha az oranda da zeolit ve montmorillonit oluşabilir. Bu tür alterasyon cevherli zonların en dış kesimlerinde yer alır ve genellikle çok geniş bir yayılım gösterir. Bu nedenle varlığı durumunda maden yataklarının aranmasında kullanılabilir iyi bir yol göstericidir.

**6.POTASİK ALTERASYON:** K-silikat alterasyonu olarak ta bilinir.Yan kayada mevcut olan K’lu feldispatların yeniden kristallenmesi veya ikincil olarak yeni K’lu feldispat ve/veya biyotitlerin oluşumudur. Anhidrit, apatit, florit ve kalsit bu alterasyon zonunda bazen önemli oranlarda bulunabilir.

**7.GRAYZENLEŞME :** ileri arjillik veya serizitik alterasyona benzer bir mineralojik bileşim gösterir. Fakat bu tür alterasyonda daha fazla serizit veya muskovit bulunurken, profillit görülmez. Bu alterasyonun tipik mineralojisi kuvars, muskovit, ve topaz olup , Turmalin, florit , kassiterit voframit ve manyetit az oranda bulunabilir.

**8. SKARNLAŞMA :** Genel olarak karbonatlı yan kayaca büyük oranda Si, Al, Fe ve Mg ilavesi sonucu amfibol ( özellikle aktinolit cinsi ), piroksen ( özellikle diopsit ), garnet, epidot gibi genellikle Fe ‘ ce zengin olan ve Ca içeren mineral birlikteliklerinin oluşmasıdır. Bu genel alterasyon türleri dışında daha başka alterasyonlarda vardır. Turmalinleşme, alüinitleşme, piritleşme, kloritleşme,hematitleşme, serpantinitleşme,ve zeolitleşme gibi. Bu türlerde genellikle tek bir mineralin yoğun olarak geliştiği görülür.

**9. ORTA ARJİLİK ALTERASYON :** Ana mineralleri kaolin ve montmorillonit grubu mineralleridir. Bunlara amorf kil ( allofan ) de eşlik edebilir ve bu mineraller plajiolazların alterasyonları sonucu oluşurlar. Bu alterasyon türünde sülfid minerallerinin miktarı genelde önemli değildir.ortaarjilik alterasyon dışa doğru propilitik alterasyona geçebilir.



**10. KLORİTLEŞME :** Ana mineralleri klorit, kuvars ve turmalindir. Bu minerallerin yanı sıra propilitik alterasyonda gözlenen diğer mineraller ve anhidritte bulunabilir. Kayaçtaki mafik minerallerin kloritleşmesi veya dışarıdan Mg ve F getirmesi sonucu ortaya çıkar.

**11. KARBONATLAŞMA :** Missisipi tipi kurşun- çinko yataklarında kireçtaşlarının dolomitleşmesi veya damar tipi yataklarda silikat kayaçlarının ankeritleşmesi şeklinde görülür. Özellikle damar tipi altın yataklarında yakın olarak görülür. Bu alterasyon tipinde görülen başlıca mineraller; ankerit, serizit,kuvars,albit,pirit ve arsenopirittir.

**12. FELDİSPATLAŞMA :** potasyum veya sodyum metasomatizması sonucu oluşur. Feldspatlar, izomorf karışımları ve oluşum özellikleri bakımından 2 gruba ayrılırlar.

1- Alkali Feldspatlar

2- Kalko-sodik feldspatlar (plajiyoklazlar)

### **Alkali Feldspatlar**

Ortoklaz  $KAlSi_3O_8$

Sanidin

Mikroclin

Anortoz  $NaAlSi_3O_8$

Albit

#### **a) Potasyum Feldspatlar:**

Bu mineraller arasında kristolografik yapı değişiklikleri vardır. Büyük çaplı bir katyon olan  $K^+$  un bulunduğu veya çok bulunduğu yapılar monoklinik,  $Na^+$  bakımından zengin olanlar triklinikdir. Alkali feldspatlarda K ile Na feldspatlar arasında kati çözelti oluşum alanları çok dar olup, K yerini belirli ölçülerde ve bazı fiziki şartlarda Na alabilir. Tabiatta K-Feldspatlar çoğunlukla Na-feldspatlarla birlikte ve daha tali olarak da Ca-feldspatlarla birlikte bulunur. Bu grup içerisinde gerek oluşum gerekse seramik sektörü için en önemli olan ortoklastır.

#### **2- Plajiyoklaslar**

##### **a) sodyumlu Feldspatlar $NaAlSi_3O_8$**

Sodyumlu feldspatlardan, plajiyoklas grubunun kalsiyum içermeyen üyesi albit olup, formülü  $NaAlSi_3O_8$ 'dir. Doğada albit, K-feldspat ile kati çözelti oluşturmayıp ancak bir miktar K-feldspat ile birlikte bulunur. Albitlerin seramik ve cam hammaddesi yönünden önemi çok fazladır.

##### **b) Kalsiyumlu feldspatlar**

Kalsiyumlu feldispatların Na ve Ca miktarlarına göre oluşturdukları izomorf seri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Bazı feldspat minerallerinin kimyasal bileşimi**

	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Albit	11.0	-	-	19.4	68.8
Ortoklas	-	10.9	-	18.4	69.7
Anortit	-	-	20.1	28.6	43.3

**Bulunuş Sekli:**

Feldspat, yerkabuğundaki birçok magmatik, metamorfik ve sedimanter kayacın bileşiminde büyük ölçüde bulunması dolayısıyla ticari olarak çeşitli kaynaklardan üretimi veya feldspat oranı yeterli olduğu takdirde bu kayaçların direkt olarak sanayide kullanımı mümkün olmaktadır. Ticari feldspat kaynağı olarak halen kullanılan kayaç türleri şunlardır.

**a. Pegmatitler :** Potasyum feldispatın hakim mineral olarak bulunduğu ve ayrıca başka ekonomik mineraller de içerebilen, kaba taneli magmatik bir kayaçtır. Genellikle granit-granodiyorit bileşimli kayaçlarla ilişkili olarak bulunur. Ayrıca metamorfik provenşlerde de bulunmaktadır. Sanayide direkt olarak veya zenginleştirmeyi müteakip kullanılmaktadır.

**b. Aplitler :** Mineralojik olarak, damar kayacı şeklinde ve granit bileşiminde bir kayaç dokusunu; ticari olarak ise, büyük ölçüde albitten oluşan feldspatik bir damar veya dayk kayacını ifade eder. Kaolinleşmiş türleri de sanayide kullanılmaktadır. Bunlar da granitik kayaçlarla ilişkili olarak oluşmuşlardır.

**c. Feldspat Filonları :** Granitik kayaçların kendi bünyeleri içinde veya kontakt halindeki yan kayaçlarda enjeksiyon damarları halinde oluşmuş feldspatça zengin sokulumlardır. Çok zengin tenorlu Na veya K-Feldspat içerirler, impürite oranları daha düşüktür.

**d. Nefelinli Siyenit :** Silisçe fakir kristalin bir kayaç olup albit ve mikroklin türü feldspat ile nefelinden oluşur. Az miktarda mafik silikatlar ve diğer aksesuar mineralleri içerir. Dünyada geniş yayımlıdır. Ancak ticari olarak halen Kanada, Norveç, SSCB ve ABD'de işletilmektedir. Kanada'da 1930'larda, Norveç'de ise 1950'lerde işletilmeye başlanmıştır. Serbest silis içermemesi, yüksek alkali ve alümine içerdiği, yüksek ergitme gücü ve dar erime aralığı, cam endüstrisine ideal uyum gösteren karakteristiklerdir. Bu mineralin feldspata kıyasla daha yüksek alümine ve alkali katilimi anlamına gelmektedir. Kayacın endüstriyel özelliklerini temin eden nefelin minerali Na<sub>3</sub>KAl<sub>4</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>16</sub> kimyasal bileşimine sahip, Na/K=3/1 olan, hegzagonal sistemde kristalleşen, Moh's sertliği 5, 5-6 ve özgül ağırlığı 2,5 -2,7 gr/cm<sup>3</sup> olan bir mineraldir. Alterasyon sonucunda sodalit, kankrinit, zeolit türleri ve özellikle de analsime dönüşür. Nefelinli siyenitin bazı türleri: kongressit, kregmantit, ditroit, fenit, foyait, iyolit, laurdalit, litfieldit,

melteigit, miyaskit, monmoutit, raglanit, rouillit ve urtit'tir. Nefelinli siyenit, Türkiye açısından da potansiyel feldspat kaynağı olarak istikbal vaat etmekte olup, Kırşehir masifindeki sodalitli siyenit ve miyaskit türü kayaçlar, zenginleştirme çalışmaları sonucunda Norveç nefelinli siyenitine eşdeğer alkali zenginleşmesi ve demir oksit/karbonat impriteleri alt limit değerlerinde oldukça iyi verimle kazanılmış bulunmaktadır.

**e. Alaskit :** ABD'de Kuzey Carolina'da Spruce Pine'de en yaygın olarak gözlenen belirli bir kayaç türünü ifade eder. Ancak ticari olarak farklı bileşimdeki granitik kayaçlara uygulanır. Granit-pegmatit arası bir kimyasal bileşime sahip olduğu söylenebilir. Ortalama mineralojik bileşimi:%45 plajiyoklaz, %25 kuvars, %20 Mikroklin, %10 muskovit seklindedir.

**f. Grafik Granit:** K-Feldspatın hakim olduğu, sekonder mineral olarak kuvars içeren ve yüksek K20 oranı istendiğinde kullanılan bir pegmatitik kayaç cinsidir. Ticari değer üstte belirtilenler kadar fazla değerdir.

**g. Pertit :** K-Feldspat içinde mikroskobik plajiyoklaz büyümelerinden teşekkül eder. Grafik granit ve pegmatitlerde perlit oluşumu yaygındır ve kayaca belirgin bir dokusal özellik kazandırır.

**h. Feldspatik Kumlar :** Doğal veya islenmiş halde feldspat ve kuvars karışımından oluşmuş kumlardır. Feldspata zengin kayaçların erozyonu ve taşınıp depolanması sonucu oldukça zengin plaser yataklar oluşabilir ve büyük rezerv arz edebilir. Bazı pegmatitik metalik maden işletmelerinde zenginleştirme sırasında yan ürün olarak da elde edilmektedir. Bu tür feldspat kumları kaolinlerin yıkanması sırasında da açığa çıkmaktadır.

**i. Altere Granitler :** Granitik kayaçların atmosferik şartlar altında veya hidrotermal etkilerle belirli lde alterasyonu sonucu, içerdiği feldspatlarda kaolenleşme gelişir ve kayaç bünyesindeki mafik mineraller belirli lde uzaklaştırılarak demir oksit impritesi azalır. Saf feldspat kaynaklarının son yıllarda rezerv yönünden darboğaza girme eğilimi göstermesi neticesinde söz konusu granitlerin seramik sanayisinde değerlendirilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye'de de Çanakkale Seramik Fabrikaları, Karabiga civarında bu tür oluşumlardan, massede kullanılan feldspat/kaolin/kuvars karışımı bir malzeme üretmektedir. Japonya'da ise, bu tür aşırı derecede altere olmuş ve gri halini almış granitik kütlelerden, belirli yıkama / süzme ve sınıflandırma metodlarıyla kaolin, feldspat ve silis kumu ayrı mamuller olarak üretilmektedir. Türkiye açısından, üzerinde önemle durulması gereken potansiyel bir kaynaktır.

**13. TURMALİNLEŞME :** Yan kayaçta Turmalin miktarının artması şeklinde ortaya çıkar. Orta ve yüksek oluşum sıcaklığına sahip yataklarda gözlenen bir alterasyon türüdür. Tipik olarak kalay ve altın yataklarında gözlenir.

Bu alterasyon türlerine göre daha az gözlenen alterasyonlar ise;

- alunitleşme
- piritleşme

- hematitleşme
  - fenitleşme
  - serpantinleşme
- şeklindedir.

Alunitleşme, piritleşme, hematitleşme, fenitleşme ve serpantinleşme gibi alterasyon türleri maden yatakları açısından diğer alterasyon tipleri kadar önemli değildir. Alunitleşme, hem hypogen hem supergen kökenli olabilir. Yan kayacın alunitçe zenginleşmesidir. Piritleşme yan kayaca dışarıdan bir kükürt getirimi ile oksitler ve mafik minerallerin piritte dönüşümü sonucu oluşur. Hematitleşme daha ziyade uranyum yataklarında görülen bir alterasyon türüdür. Fenitleşme karbonatitlere bağlı yataklarda, karbonatit ve alkali kompleksler etrafında gözlenen bir alterasyon türüdür. Kayaç SiO<sub>2</sub> açısından fakirleşirken Na, K, CO<sub>2</sub>, CaO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> açısından zenginleşir. Nefelin, Egirin, sodik amfibol ( ribekit ) ve alkali feldispat ( ortoklaz, mikroklin ve albit ) oluşumu ile karakteristiktir.

Alkali feldispatlar yaygın olarak hematit kapanımları içermeleri nedeniyle kırmızı renklidirler. Bu ikincil mineraller açısından zenginleşmiş altere kayaçlar “fenit” olarak isimlendirilirler. Serpantinleşme ve buna eşlik eden talk oluşumu hem ultrabaziklerde hemde kireçtaşlarında olabilir. Bazı altın ve nikel yatakları için tipik bir alterasyon türüdür. Bu alterasyon türü, kireçtaşlarında gözleniyorsa kayaca dışardan SiO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O ve sık sıkta Mg getirimi var demektir.

## MAGMATİK SİSTEMLER

### MAGMATİK KAYAÇLARDA GÖZLENEN ALTERASYONLAR

**Potasik Alterasyon** ( biyotitçe zengin ) : Potasyum silikat - biyotit alterasyonu olarakta isimlendirilir.

*Mineral parajenezi:* Biyotit ( flogopit ) , K-feldispat ( ortoklaz ) ve manyetit ana mineralleridir. Bu minerallerin yanı sıra daha az ve değişen oranlarda kuvars, anhidrit, albit, aktinolit, Rutil, apatit, serisit ,klorit ve epidot içerir.

*Bulunuş ortamları :* porfiri yatakların en iç kesimlerinde gözlenirler. Özellikle diyorit, monzonit, granodiyorit gibi kayaçlara bağlı porfiri yataklar veya mafik-ortaç bileşimli volkanik yan kayaçla sahip porfiri sistemlerde yaygın olarak gözlenir.

**K-silikat alterasyonu** : potasik alterasyon olarak ta adlandırılır.

*Mineral parajenezi:* K-feldispatlar ana mineralidir. K- feldispatlar ortoklaz veya mikroklin bileşiminde olabilir. Bu minerallere değişen oranlarda kuvars, albit, muskovit, Anhidrit ve epidot eşlik edebilir.

*Bulunuş ortamı :* özellikle granodiyorit- kuvars monzonit, granit, siyenit gibi feslik intrüzyonlara bağlı porfiri sistemlerin en iç kesimlerinde gözlenirler.

**Sodik alterasyon:** sodik-kalsik alterasyon olarak ta bilinir. *Mineral parajenezi:* ana mineralleri albit ve aktinolitdir. Bu ana minerallere değişen oranlarda diyopsit, kuvars, manyetit, titanit, klorit, epidot ve skapolit eşlik eder.

**Fillik alterasyon:** Serisitik alterasyon olarak ta isimlendirilir. *Mineral parajenezi:* Ana minerali serizittir. ( muskovit-illit ). Serizitin yanı sıra kuvars , pirit, klorit, hematit ve anhidritte içerebilir. *Bulunuş ortamı:* porfiri sistemlerde en iç kısımdaki potasik alterasyon zonunu çevreleyen bir kuşak şeklinde gözlenir. Daha önce oluşan potasik alterasyonu da etkiler. Porfiri sistemlerde cevher büyük ölçüde bu zon içinde bulunur.

**Ortaç arjilik alterasyon :** serisit- klorit- kil veya arjilik alterasyonu olarak ta bilinir. *Mineral parajenezi:* Ana mineralleri serisit ( illit- smektit), klorit ve kaolinitdir. Ayrıca montmorillonit, kalsit epidot ve piritte içerebilir. *Bulunuş ortamı :* yayılımları genelde belirli tektonik hatlar tarafından kontrol edilir. Porfiri sistemlerin üst kesimlerinde gözlenirler.

**İleri arjilik alterasyon:** *Mineral parajenezi :* Ana mineralleri profilit ve kuvarstır. değişen oranlarda da serisit, andalusit, diaspor, korund, alunit, topaz, turmalin, dumortiyorit, pirit ve hematit içerebilir. *Bulunuş ortamı:* Genelde porfiri sistemlerin üst kesimlerinde gözlenir. Ayrıca diğer alterasyon tiplerini kesen pirit damarlarının etrafında kenarlarını çevreleyen bir kuşak şeklinde de gözlenir.

**Grayzenleşme :** Ana mineralleri topaz ve muskovittir. Ayrıca değişen oranlarda kuvars ve Turmalin içerir. Peraluminus granitlere bağlı cevherleşmelerle ilintili bir yüksek sıcaklık alterasyonudur.

**Kalsik skarn :** Ana mineralleri granat, klinopiroksen ve vollastonittir. Ayrıca değişen oranlarda aktinolit, tremolit, vezuviyan ve epidot içerebilirler. Karbonatlı kayaçlarla intrüzif donanaklarında gözlenirler. Yan kayaçlar içinde gelişmişlerse eksoskarn, intrüzifler içinde gelişmişlerse endoskarn adını alırlar. Andradit ve diyopsit açısından zengin skarnlar daha ziyade porfiri bakır sistemleriyle ilişkili skarnlarda daha yaygındır.

**Magnezyum skarn:** Ana mineralleri forsterit ve diyopsit veya serpantin ve talktır. Değişen oranlarda kalsit, manyetit ve tremolitte içerebilirler. Mg’lu skarnlar dolomitik yan kayaçlarda gelişir. Yüksek sıcaklıklarda oluşan skarnlar forsterit-diyopsittejn oluşurken daha düşük sıcaklık skarnları serpantin ve talktan oluşur. Serpantin ve talk ayrıca serpantin ve klinopiroksenlerden retrograt evrede oluşabilir.

**Retrograt skarn :** ana mineralleri kalsit ve klorittir. Ayrıca hematit, illit-smektit, montmorillonit-nontronit ve piritte içerebilirler. Genelde daha önce oluşan yüksek sıcaklık skarn minerallerinin yerini alırlar. Ayrıca karbonatlı yan kayaçlar içindedeki gelişebilirler.

**Profilitik alterasyon :** Ana mineralleri klorit, epidot, albit ve kalsittir. Ayrıca aktinolit, serisit, kil ve piritte içerebilir. Genelde porfiri sistemlerin en dış zonunda gelişirler. Bazı propilitik alterasyonlarda iç kesimler aktinolitçe zenginken dışa doğru epidot daha yaygın olarak gözlenir.

## EPİTERMAL SİSTEMLER

### YÜKSEK SÜLFÜRLÜ EPİTERMAL ALTERASYONLAR

**Boşluklu silika alterasyonu ( vuggy silica ):** Boşluklu kuvars alterasyonu olarak ta bilinir. Ana minerali kuvarstır. Ayrıca değişen oranlarda rutil, alunit, kükürt, barit, hematit, pirit ve jarosit de bulunabilir.

*Bulunuş ortamı:* Kırık – çatlak ve fay zonlarına bağlı olarak gözlenir. Geçirgenliği yüksek litolojilerde ise değişik büyüklüklerde zonlar veya kütleler şeklinde gözlenebilir. Porfiri sistemlerin üst seviyelerinde gözlenebilirler. Ancak daha ziyade yüzeye yakın epitermal sistemle için karakteristiktir.

**Silisik alterasyon :** Ana minerali kuvarstır. Bunun yanı sıra değişen oranlarda kalsedon ,alunit, barit, pirit ve hematit içerir.

*Bulunuş ortamı :* kayaca dışardan silika ilave edildiğini gösterir. Silisik alterasyon kayaçta ornatma / yerini alma şeklinde gözlenebileceği gibi kayacın yıkanması sırasında oluşan boşlukların kuvars tarafından doldurulması şeklinde de gözlenebilir. Pofiri sistemlerde ve sığ epitermal derinliklerde yüksek sülfürlü ortamlar için karakteristik bir alterasyon türüdür.

**İleri arjilik alterasyon :** Asit sülfat alterasyonu olarak ta bilinir. Ana mineralleri kuvars, kaolinit / dikit ve alunittir. Değişen oranlarda diaspor,profilit,rutil, zunyit, aluminofosfat ve sülfatlar,kükürt, pirit ve hematitte içerebilirler.

*Bulunuş ortamı:* bazı porfiri sistemlerin üst zonlarında litocap geniş yayımlı zonlar şeklinde ve ayrıca yüksek sülfür içerikli epitermal yatakların etrafında onları kuşatan bir zarf şeklinde gözlenir.

**Arjilik alterasyon:** Orta derecede arjilik alterasyon olarak ta adlandırılır. Ana mineralleri kaolinit / dikit montmorillonit, illit ve simektittir. Daha az oranlarda kuvars ve piritte içerir. Bulunuş ortamı,yüksek sülfürlü epitermal sistemlerde ileri arjilik ve piropilitik alterasyon arasında bir geçiş zonu olarak gözlenir.

**Propilitik alterasyon:** Ana mineralleri kalsit, klorit, epidot ve albittir. Ayrıca değişen oranlarda serisit, kil ve pirit içerebilir. Bulunuş ortamı ; epitermal sistemlerde 500m den daha derinlerdeki yoğun alterasyon zonlarının dış kesimlerinde gözlenirler.

## **DÜŞÜK SÜLFÜRLÜ EPİTERMAL – JEOTERMAL SİSTEMLERDE GÖZLENEN ALTERASYON TÜRLERİ**

**Silisik alterasyon:** Ana mineraller kuvars, kalsedon ve opaldır. Ayrıca değişen oranlarda pirit ve hematitte içerebilir.Bulunuş ortamı, genelde oldukça sığ derinliklerde kırık, çatlak ve damarların etrafında veya geçirgen zon ve kayaçlarda gözlenir. Kayaç silika minerallerince ornatılır. Ayrıca yer altı su seviyesi düzleminde kayacın ornatılması sonucu yatay tabaka şekilli silisik zonlar şeklinde de gözlenir. Bu tabaka / bant şekilli silisleşmiş zonları sıcak su çökelleriyle karıştırmamak gerekir. Yatay, silisleşmiş zonların üzerinde ileri arjilik alterasyon zonları gözlenir.

**Adularya alterasyonu :** Ana mineralleri ortoklazdır ( adularya ) ayrıca daha az oranlarda kuvars,serisit - illit ve piritte gözlenebilir. Bulunuş ortamı ; sığ- orta derinliklerdeki epitermal sistemlerde yaygın olarak gözlenen bir alterasyon türüdür. Adularyanın varlığı sistemde kaynamanın gerçekleşmiş olduğuna işaret edebilir. Yoğun adularya alterasyonu görünüş ve renk açısından silisleşme ile karıştırılabilir. Genelde plajiolazların seçimli olarak adularya tarafından ornatılması şeklinde gözlenir. Bu özelliği ile kırık – çatlak sistemlerinin etrafında gözlenen sınırlı yayılımı olan alterasyonlardan ayrılır.

**Serisitik alterasyon:** Arjilik alterasyon olarak ta isimlendirilir. Ana mineralleri serisit ( muskovit, illit – simektit )tir. Ayrıca değişen oranlarda montmorillonit, akaolinit, kuvars,kalsit, dolomit ve piritte içerir. Bulunuş ortamı ; damarların etrafında veya geçirgen litolojilerde ornatmalar / yerini almalar şeklinde gözlenir. Cevherli zonlardan uzaklaştıkça serisitten kil minerallerine geçiş gösterebilir. Cu, Pb-Zn ve Sn açısından zengin derin epitermal sistemlerde alterasyondaki karbonat minerallerinin oranı artabilir. Ayrıca bazı epitermal sistemlerin yüzeye yakın kesimlerinde tabaka şekilli, yatay, karbonat içeren serisitik zonlarda gözlenebilir.

**İleri arjilik alterasyon( asit sülfat alterasyonu ):** Ana mineralleri kaolinit, alunit, kristobalittir. Değişen oranlarda opal,kalsedon,kükürt, jarosit ve pirit te içerebilir. Bulunuş ortamı; aktüel epitermal sistemlerde yer altı su tablasının ( eski epitermal sistemlerde paleo su tablası ) üzerindeki zonlarda yoğun olarak gözlenir. Bu ortamlarda gözlenmesinin nedeni su tablasının üzerindeki zonların oksijen açısından zengin olması ve epitermal sistemdeki yüzeye çıkan gazların ( H<sub>2</sub>S, S gibi ) oksidasyonu ve yoğunlaşmasıdır. Bu alterasyon zonlarına çamur havuzları, fümeroller ve kükürt çökelleri eşlik eder.

**Silika karbonat alterasyonu :** Lisvenitleşme olarak ta bilinir. Ana mineralleri kuvars,manyezit, kalsit ve dolomittir. Ultramafik kayaçların jeotermal çözeltiler tarafından sığ derinliklerde ornatılması ile oluşurlar .

**Propilitik alterasyon :** Zeolitik alterasyon olarak ta isimlendirilir. Ana mineralleri kalsit, epidot ve vairakittir. Daha az oranlarda da klorit, albit, illit – simektit, montmorillonit içerebilir. Epitermal sistemlerin etrafında geniş alanlarda gözlenen bir alterasyon türüdür. Alterasyonda zeolit oranının azalması alterasyon derinliğinin ve sıcaklığının arttığını gösterir.

## MESOTERMAL ALTERASYONLAR

**Karbonat alterasyonu:** Ana mineralleri kalsit ve ankerittir.daha az oranlarda dolomit, kuvars, muskovit , klorit, pirit ve pirotinde gözlenir. Bulunuş ortamı; damarlarda ve damarların etrafında veya makaslama zonlarında gözlenir. Ayrıca mafik – ultramafik kayaçların ornatılması şeklinde de gözlenir. Bölgesel ölçekte geniş alanlarda gözlenebilir fakat her zaman cevherleşme ile ilintili olmayabilir.,

**Kloritik alterasyon :** Ana mineralleri klorittir. Kloritin yanı sıra değişen oranlarda muskovit, kuvars, aktinolit, pirit ve pirotinde içerebilir. Bulunuş ortamı özellikle mafik ,volkanik ve volkanoklastik sedimanter kayaçlar içindeki damarlarda ve damarların etrafında gözlenir.

**Biyotitik alterasyon :** Ana minerali biyotittir. Değişen oranlarda ise klorit, kuvars, pirit ve pirotin içerir. Bulunuş ortamı; özellikle sedimanter kayaçlar içindeki damarlarda ve damarların etrafında gözlenir.

**Jasperoid alterasyonu:** Çört alterasyonu olarak ta bilinir. Ana mineralleri kuvarstır. Kuvarsın yanı sıra değişen oranlarda pirit ve hematitte içerir.kireçtaşlarının veya diğer sedimanter kayaçların tamamen ince taneli kuvars tarafından ornatılması şeklinde ortaya çıkarlar. Breşleşmelerde sık sık ornatmalara eşlik eder. Bu tür alterasyon genelde Carlin tipi altın yatakları ve kireçtaşları içindeki florit, barit ve kurşun-çinko yatakları içinde tipik olabilir. Ayrıca skarnların dış zonlarında da jasperoid alterasyonları gözlenebilir. Alterasyona neden olan

ozeltilerin kekeni magmatik , sedimanter veya metamorfik olabilir. Bu alterasyonlar orta derinliklerdeki ( > 2 km den sığ derinliklere kadar ) oluşum koşullarında yaygın olarak gözlenir.

## **VOLKANOJENİK MASİF SÜLFİD YATAKLARINDA GÖZLENEN ALTERASYONLAR**

**Serisitik alterasyon :**Ana mineralleri serisit ve kuvarstır.Ayrıca değişen oranlara pirit, klorit, andalusit ve kloritoid de içerebilirler. Oluşum ortamı genelde masif sülfid merceğinin altındaki stockwork kök zonunda gözlenir. Orta ve asidin volkanik kayaçlarda yaygın olmasına rağmen daha bazik kayaçlarda da gözlenebilir. Andalusit ve kloritoid metamorfizma geçirmiş alterasyon zonlarında gözlenir.

**Kloritik alterasyon :** Ana mineraller klorittir. Tali mineraller kuvars,serisit, pirit, kordiyorit ve biyotittir.Oluşum ortamı masif sülfid yataklarının alt kesimleridir. Fe’ce zengin kloritler stockwork kök zonunun en iç kesimlerinde gözlenirken Mg’lu kloritlerin dağılımı düzensizdir.Mg – kloritler genelde stockwork zonunun dış ve st kesimlerinde gözlenirler. Kordiyorit ve biyotititnvarlığı metamorfizma geçirmiş Mg – Fe klorit alterasyon zonlarını belirtir.

**Silisik alterasyon:** Ana mineralleri kuvarstır. Tali mineralleri pirit, serisit ve K-feldispattır. Oluşum ortamı; masif sülfid yataklarının alt kesimlerinde gözlenir. Özellikle tüflü geçirgen kesimlerde yaygındır. Zaman zaman bu silisleşmiş kesimler kimyasal sedimanlar olan rtlerle karıştırılır. Silisik alterasyonlar daman tipi yatakların yan kayaçlarında da gözlenir.

**Karbonat alterasyonu :** Ana mineralleri dolomit ve siderittir. Değişen oranlarda ve daha az miktarlarda ankerit, kalsit, kuvars , serisit, klorit ve piritte içerebilirler. Bulunuş ortamı yanal ve düşey yönde de devamlılıkları/yayımları fazladır. Saınımlar ve cepler şeklinde gözlenirler. Sülfid yataklarının özellikle taban kayaçlarında yaygındırlar. Karbonatların bileşimi cevherli zondan uzaklığa bağlı olarak değişiklikler gösterebilir.

## **SEDİMANLARA BAğLI MASİF SÜLFİD YATAKLARINDA GÖZLENEN ALTERASYONLAR**

**Silisik alterasyon :** Ana mineralleri kuvarstır. Kuvarsın yanı sıra değişen oranlarda muskovit, siderit ,dolomit, granat ,selsian ,pirotin , pirit ve baritte içerebilir. Bulunuş ortamı; sülfid yatağının tabanındaki kayaçlarda yaygın olarak gözlenir. Ayrıca yatağın barite zengin kesimlerinde de gözlenir. Seyrek olarak tavan kayaçlarında da gözlenir. Kalker içeren kesimlerde silisleşmeler daha belirgin ve yaygındır ancak silisleşme zonları silis içerikleri yüksek silisli şeyl ve rt gibi kayaçlarla karıştırılmamalıdır. Silisleşmiş kesimler metamorfizma geirmişlerse granatlı kuvarsitler olarak karışımıza çıkabilir.

**Turmalinleşmeler :** turmalinit alterasyonu olarak ta bilinir. Ana minerali turmalindir. Turmalinin yanı sıra tali olarak muskovit, kuvars ve pirotinde içerebilir. Bulunuş ortamı masif sülfid yataklarının taban kayaçlarında yaygın olarak gözlenir. Bu kesimlerde saınımlı piritlerde turmalinlere eşlik eder. Turmalinleşmeler feldispatta zengin tabakalarla sınırlıdırlar.

**Karbonat alterasyonu :** Ana mineralleri ankerit, siderit, kalsit ve kuvarstır. Az miktarda muskovit ve pirotinde içerebilir. Alterasyon minerallerin dağılımı genelde saınımlı , öz şekilli taneler halindedir. Masif sülfid merceğinin hemen altındaki kayaçlarda ve ayrıca yatağın barite

zengin kesimlerinde yaygın olarak gözlenir. Özellikle kalkerli seviyelerde belirli hatlara bağlı olarak sağınımlı ankerit ve sideritler geniş alanlarda yayılım gösterirler.

**Serisitik alterasyon :** Ana mineralleri serisit, klorit ve kuvarstır. Değişen oranlarda pirotin,pirit ve albitte içerebilir. Bulunuş ortamı masif sülfid yatağının etrafında gözlenirler. Yayılımı geniş alanlar kaplayabilir. Feldispatça zengin kayaçlar daha kolaylıkla serisitleşebilirler. Yüksek dereceli metamorfik etkiler altında kalmış serisitik alterasyon zonları K – feldispatça zengin metamorfik kayaçlar olarak karşımıza çıkarlar.

**Albitleşme :** Ana mineraller albit, klorit ve muskovittir. Ayrıca değişen oranlarda da biyotit içerebilir. Bulunuş ortamı masif sülfid merceği ve etrafındaki kayaçlarda gözlenir. Özellikle feldispatça zengin kayaçlarda belirgin olarak ortaya çıkar.Ayrıca belirli kırık - fay hatları boyunca da yaygın olarak gelişebilir. Diğer taraftan mafik intrüzyonların etrafında da bu tür alterasyonlara rastlanabilir.

## **METAMORFİK BÖLGELERDE PRE- METAMORFİK HİDROTERMAL ALTERASYONLARIN BELİRLENMESİ**

Hidrotermal maden yatakları ve hidrotermal yan kayaç alterasyonlarının metamorfizması jeolojinin fazla araştırılmamış bir alanıdır. Bunun nedeni dede hidrotermal alterasyonlarda gözlenen mineral parajenezlerinin metamorfik mineral parajenezleri ile son derece benzer hatta aynı olmasıdır. Bununla birlikte yan kayaç alterasyon zonlarında gözlenen mineraller kimyasal bileşimlerdeki farklılıklarla normal hidrotermal çözelti etkisi altında kalmamış metamorfik minerallerden ayırt edilebilirler. Örneğin, hidrotermal alterasyon ürünleri kloritleri, Fe / Mg oranlarıyla feldispatlar ise Ba içerikleriyle normal metamorfik eşdeğerlerinden ayrılabilirler. Bu örnekte olduğu gibi gerçek metamorfik dönüşümlerle hidrotermal alterasyon sonucu değişimleri bir birinden ayırmak için bir takım ölçütler her zaman bulunabilir. Örneğin yeşil şist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış bir bölgede bir porfiri sistemin propilitik zonunu ayırt edebilmek son derece güçtür ama olanaksız değildir. Propilitik alterasyon,mineral ( klorit ,epidot , karbonat ,pirit ) parajenezleri ve yeşil şist fasiyesi mineral parajenezleri aynı minerallerden oluşur. Fakat kayaçta anormal pirit bolluğu, mineral parajenezlerinin tedrici olarak serisitik zona geçmesi ve alterasyon minerallerinin belirli alanlarda sınırlı kalması gibi kriterler mineral parajenezlerinin normal metamorfik süreçlerle oluşmadığını porfiri sistemlerle ilişkili olduğunu ortaya koyar. Yeşil şist fasiyesinden daha yüksek dereceli metamorfizma etkisinde kalmış bölgelerde durum daha karmaşık bir hal alır. Bu koşullar altında bir yatağın veya alterasyonun metamorfizma öncesi veya metamorfizma ile eş yaşı olduğunu yada metamorfizma sonrasında oluştuğunu saptayabilmek çok güçtür. Üstelik birde retrograt metamorfik etkiler varsa durum dahada karmaşıklaşır. Orta ve yüksek dereceli metamorfizmadan etkilenmiş bölgelerde yatak – metamorfizma ilişkilerini saptayabilmek için yatakta ve yan kayaçlarda yapı ve doku çalışmaları yapmak gerekir. Bu gibi durumlarda cevher minerallerinin yan kayaçlarla aynı deformasyon ve metamorfik olaylardan etkilenip etkilenmediği araştırılır.

Hidrotermal alterasyonun varlığını araştırmak için tüm kayaç kimyası ve mineral kimyası belirlenir. Örneğin, metamorfizmaya uğramış asid sülfat, asid zonunda düşük K + Na ve Al zenginleşmesi beklenir. Bazı anahtar minerallerin kimyaları incelenir. Çünkü alterasyon ürünü minerallerde bazı elementler veya element oranları normal metamorfik minerallerden farklılıklar gösterir. Örneğin granat, manyetit, muskovit ve kloritin Zn, Ba , Mn ve Fe / Mg içerikleri ve oranları normal metamorfik eş değerlerine göre farklılıklar gösterir ve hidrotermal ortamlar için karakteristik olabilirler. Diğer taraftan bazı metamorfik mineraller ve kayaçlar Scott'ta (1989) göre aşağındaki ilksel mineral veya kayaçlara işaret ederler.

**Metamorfik mineraller**

Çört/Kuvarsit  
Hematit/Manyetit  
Granat  
Sillimanit  
Gahnit (ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)  
Muskovit  
Kordiyerit

**İlksel mineraller**

Jel silika veya opal kalsedon  
Fe-Hidroksitler  
Fe-Mn Klorit/Şamozit  
kaolinit  
Çinko içeren kaolinit  
İllit  
Alüminyumca zengin kil ve kloritler

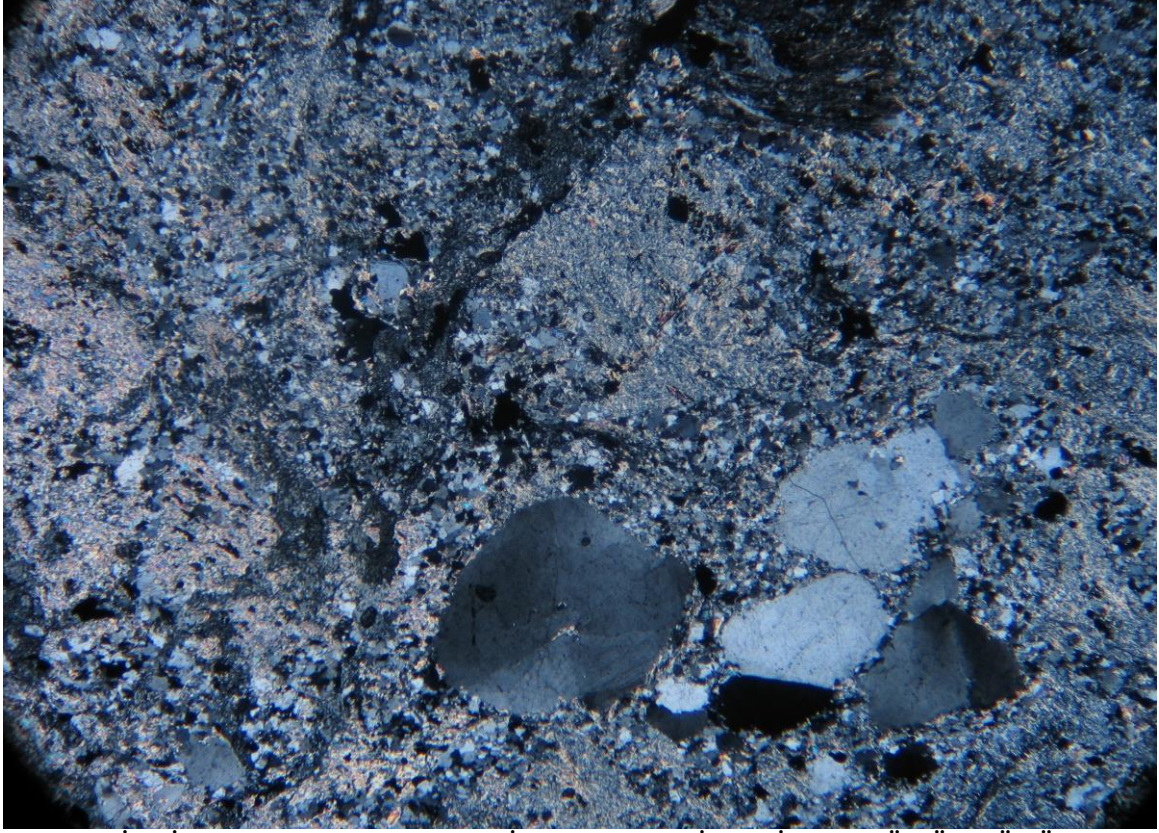
**SIK RASTLANA ALTERASYON MİNERALLERİ VE FORMÜLLERİ**

Aktinolit	$Ca_2 ( Mg,Fe )_5 [ (OH)_2 Si_8 O_{22} ]$
Adularya	$K [ AlSi_3 O_8 ]$
Albit	$Na [ AlSi_3 O_8 ]$
Alunit	$KAl_3 [ ( OH )_6 / (SO_4)_2 ]$
Andalusit	$Al_2 [ O / SiO_4 ]$
Anhidrit	$CaSO_4$
Apatit	$Ca_5 [ F,OH,Cl ] / (PO_4)_3 ]$
Barit	$BaSO_4$
Biyotit	$K ( Mg,Fe )_3 [ (OH)_2 AlSi_3 O_{10} ]$
Brusit	$Mg(OH)_2$
Diaspor	$AlOOH$
Dolomit	$CaMg (CO_3)_2$
Dumortiyerit	$(Al,Fe)_7 [ [ O_3 / BO_3 / ( SiO_4 )_3 ]$
Epidot	$Ca_2 (Fe,Al ) Al_2 [ O / OH / SiO_4 / Si_2O_7 ]$
Florit	$CaF_2$
Granat	$R_3Z_2 [ SiO_4 ]_3$
Hematit	$Fe_2O_3$
İllit ( Hidromuskovit )	$( K,H_3O ) Al_2 [ (OH)_2 / AlSi_3 O_{10} ]$

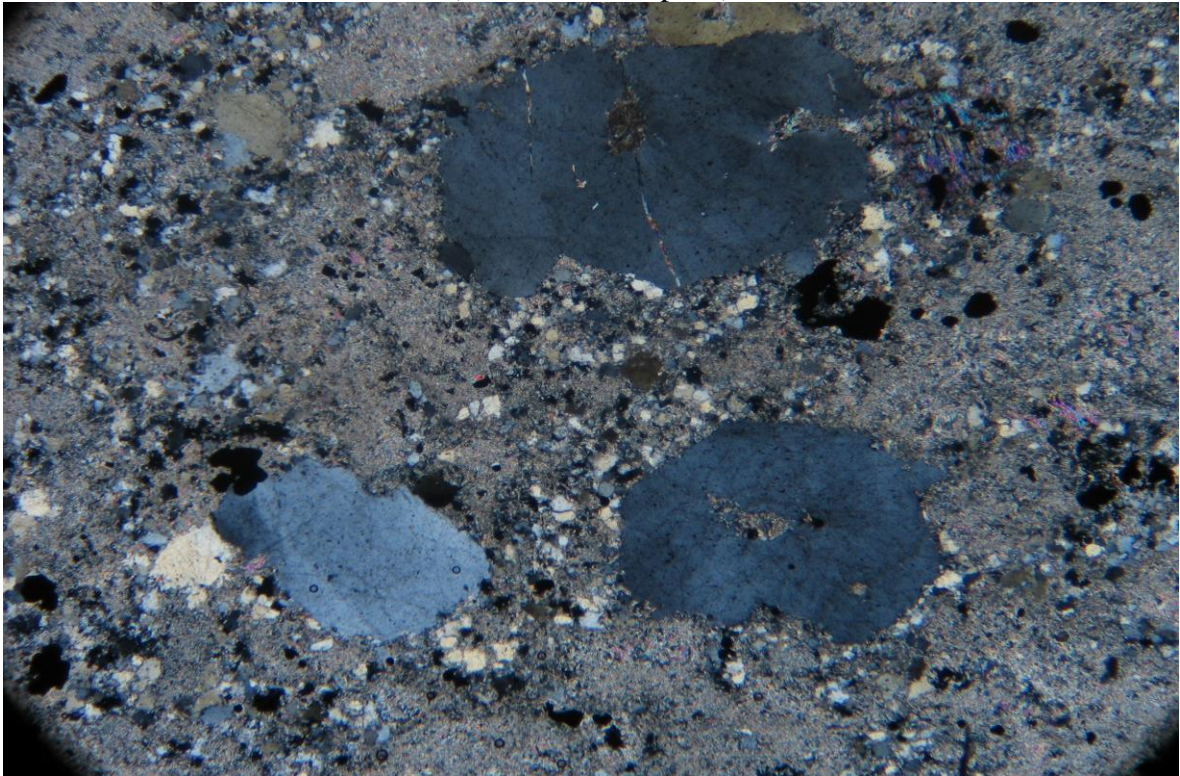
Kalsit	$\text{CaCO}_3$
Kaolinit	$\text{Al}_2 [ (\text{OH})_4 / \text{Si}_2\text{O}_5 ]$
Klinopirroksen ( Diopsit-Ojit )	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ti}, \text{Al})_2 [ (\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6 ]$
Klorit Ortoklorit (Mg, Fe, Al) <sub>6</sub> [(OH) <sub>8</sub> /AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ] ; leptoklorit (Mg,Fe) <sub>1-2</sub> [(OH) <sub>8</sub> /AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ]	
Kloritoyit	$\text{Fe}_2\text{Al}_4 [ (\text{OH})_4 / \text{O}_2 / (\text{SiO}_4)_{21} ]$
Kuars	( mikro-kriptokristalin ) $\text{SiO}_2$
Kuars ( kriticalin )	$\text{SiO}_2$
Manyetit	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
Manyezit	$\text{MgCO}_3$
Muskovit	$\text{KAl}_2 [ (\text{OH}, \text{F})_2 / \text{AlSi}_2\text{O}_8 ]$
Plajiyoklaz	$\text{Na} [ \text{AlSi}_3\text{O}_8 ] < > \text{Ca} [ \text{AlSi}_3\text{O}_8 ]$
Potasyum Feldispat (Ortoklaz)	$\text{K} [ \text{AlSi}_3\text{O}_8 ]$
Pirit	$\text{FeS}_2$
Pirofillit	$\text{Al}_2 [ (\text{OH})_2 / \text{Si}_4\text{O}_{10} ]$
Rutil	$\text{TiO}_2$
Serisit (ince taneli muskovit)	$\text{KAl}_2 [ (\text{OH}, \text{F})_2 / \text{AlSi}_3\text{O}_{10} ]$
Serpantin	$\text{Mg}_6 [ (\text{OH})_8 / \text{Si}_4\text{O}_{10} ]$
Siderit	$\text{FeCO}_3$
Skapolit	$(\text{Na}, \text{Ca})_8 [ (\text{C}_{12}, \text{SO}_4, \text{CO}_3)_{1-2} / \text{Al}_{1-2} (\text{Si}_2-3\text{O}_8)_6 ]$
Smektit (montmorillonit)	$\{ \text{Al}_{1,67} \text{Mg}_{0,33} \} [ (\text{OH})_2 / \text{Si}_4\text{O}_{10} ] \text{Na}_{0,33} (\text{H}_2\text{O})_4 \}$
Talk	$\text{Mg}_3 [ (\text{OH})_2 / \text{Si}_4\text{O}_{10} ]$
Titanit	$\text{CaTi} [ \text{O} / \text{SiO}_4 ]$
Topaz	$\text{Al}_2 [ (\text{F}, \text{OH})_2 \text{SiO}_4 ]$
Turmalin	$\text{NaFe}_3 (\text{Al}, \text{Fe})_6 [ (\text{OH})_4 / (\text{BO}_3)_3 / \text{Si}_6\text{O}_{18} ]$
Vezüviyanit (idokraz)	$\text{Ca}_{10} (\text{Mg}, \text{Fe})_2 \text{Al}_4 [ (\text{SiO}_4)_5 / \text{Si}_2\text{O}_7 ]_2 ]$

Vairakit	$\text{Ca [ AlSi}_2\text{O}_6 ]_2\text{H}_2\text{O}$
Vollastonit	$\text{CaSiO}_2$
Zunyt	$\text{Al}_{12}[\text{AlO}_4/\text{OH,F}]_{18}\text{Cl/Si}_5\text{O}_6]$

## ALTERASYON ÖRNEKLERİ



FİLLİK ALTERASYONUN MİKROSKOP ÇİFT NİKOL GÖRÜNTÜSÜ  
( Kuvars,serisit, pirit )





Pilanesberg alkali kompleksi



Tswaing Meteorit krateri



Lonehill Graniti



İllit altrasyonun arazi görünümü



propilitik alterasyon arazi görüntüsü



Volkanik kayaçlar tarafından kaplanmış propilitik alterasyon



epitermal mineralizasyon ve arjilik alterasyon



arjilik alterasyon ( kuvars )



jasperoid alterasyonu



Porifi zonu - Ağır manganez alterasyonu ve altın, gümüş mineralizasyonu



epitermal altın ve gümüş mineralizasyonu



limonitleşme



hematit ile birlikte breşik masif silika



kuvars ve zinobar ile çimentolanmış breşik masif silika



silisleşme



alunitik alterasyon



radıolarit



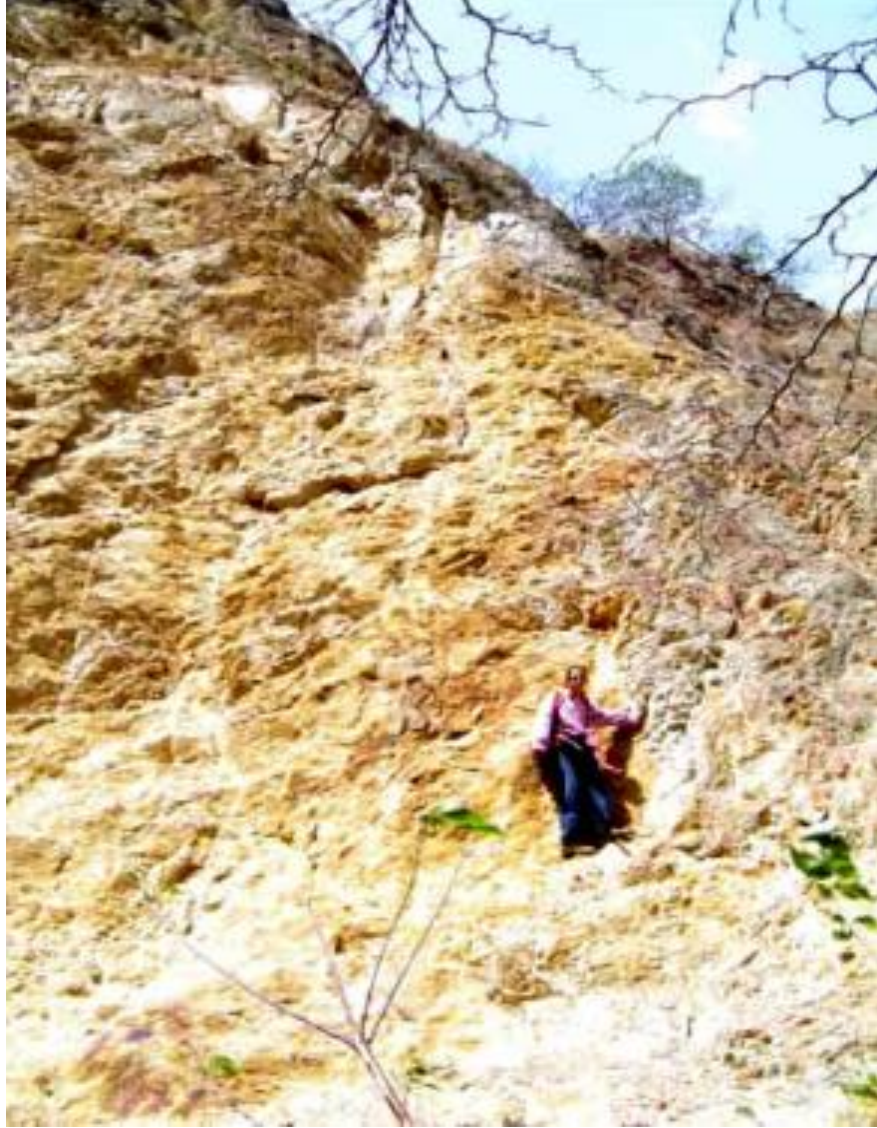
serpantinit ve alterasyonu sonucu oluşan aspest



aşırı kırılan ultramafik kayalar ( harzburgit, dünit, piroksenit )



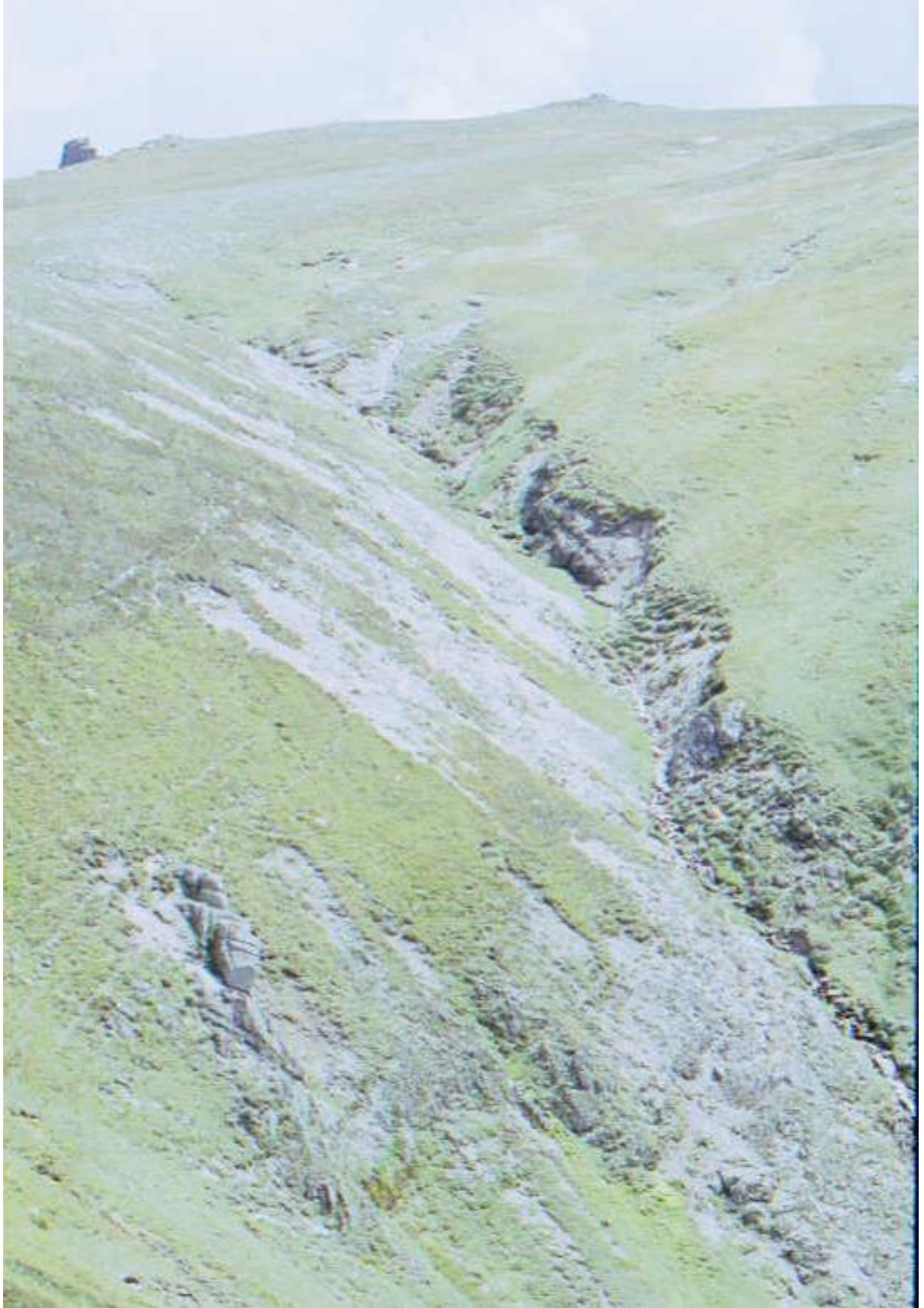
kumtaşı daykı



kil, serisit ve oksitlerin alterasyonu



alterasyon damarı



alterasyon damarı



**Produits d'altération du basalte en place dans une coupe, au Nord-Ouest du Hemma. La terre arable de la couche supérieure représente le stade ultime de cette altération.**



boşluklu silika ve alunit alterasyonu

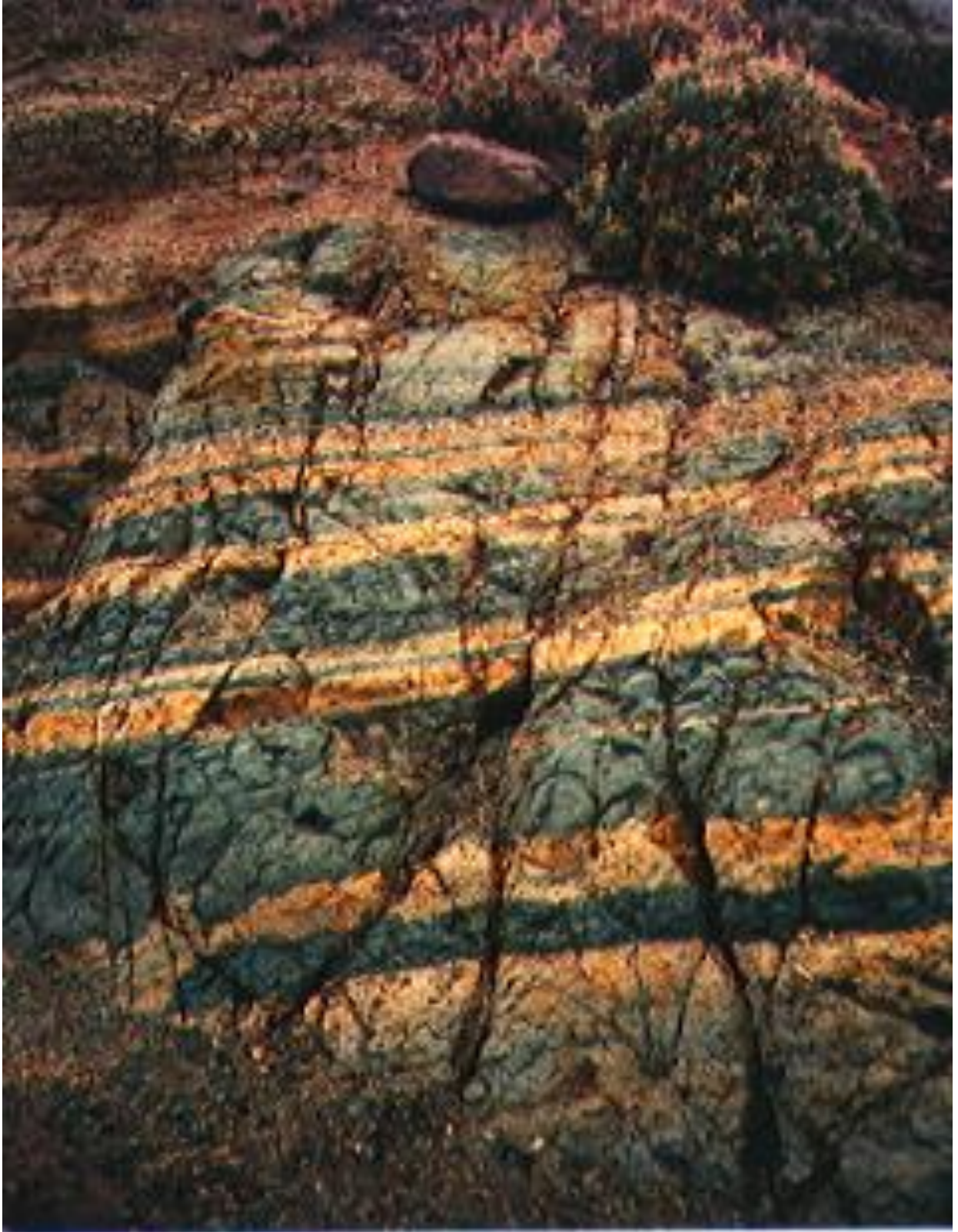


erozyon



günlenme tarzı alterasyon





hidrotermal alterasyon



kalsedon, kalsit ,alunit damarı



kaolinit, alunite alterasyonu ile dolan boşluklu silika



kireçtaşı



klorit alterasyonu



kontak zonlarındaki mineralizasyon



lateritik alterasyon



kuvars – serisit alterasyonu ve kuvars turmalin damarı



kuvars – turmalin



silisik alterasyon