

2022-2023 Bahar Dönemi

ZTO105 TOPRAK BİLİMİ

Öğretim Görevlisi Dr. Esra Güneri

A.Ü. Z. F. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

eguneri@ankara.edu.tr; egbagci77@gmail.com

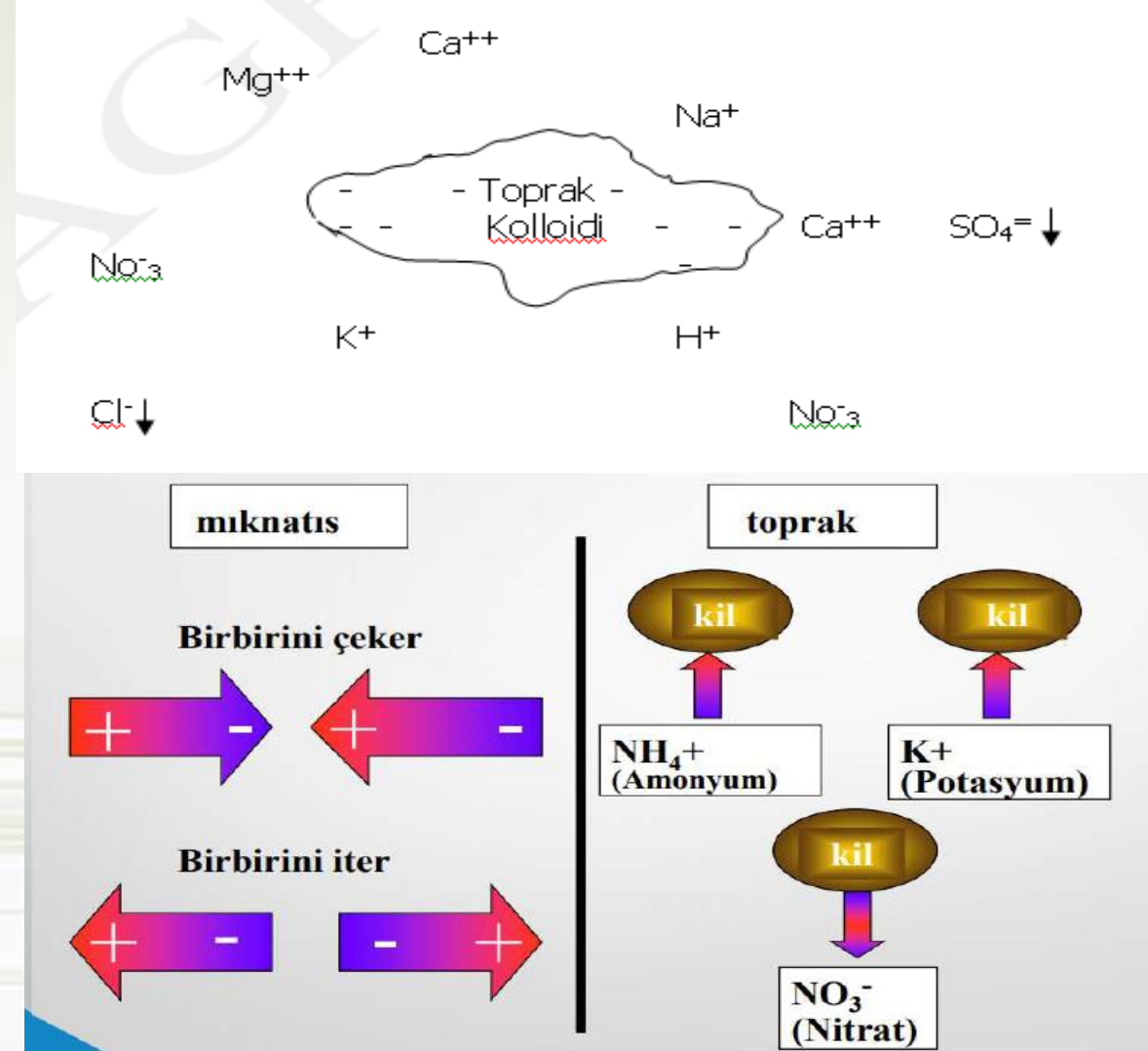
0312 596 1744; 0312 596 1541 (Toprak Anabilim Dalı
Sekreterliği)

Haftalık Ders İçeriği

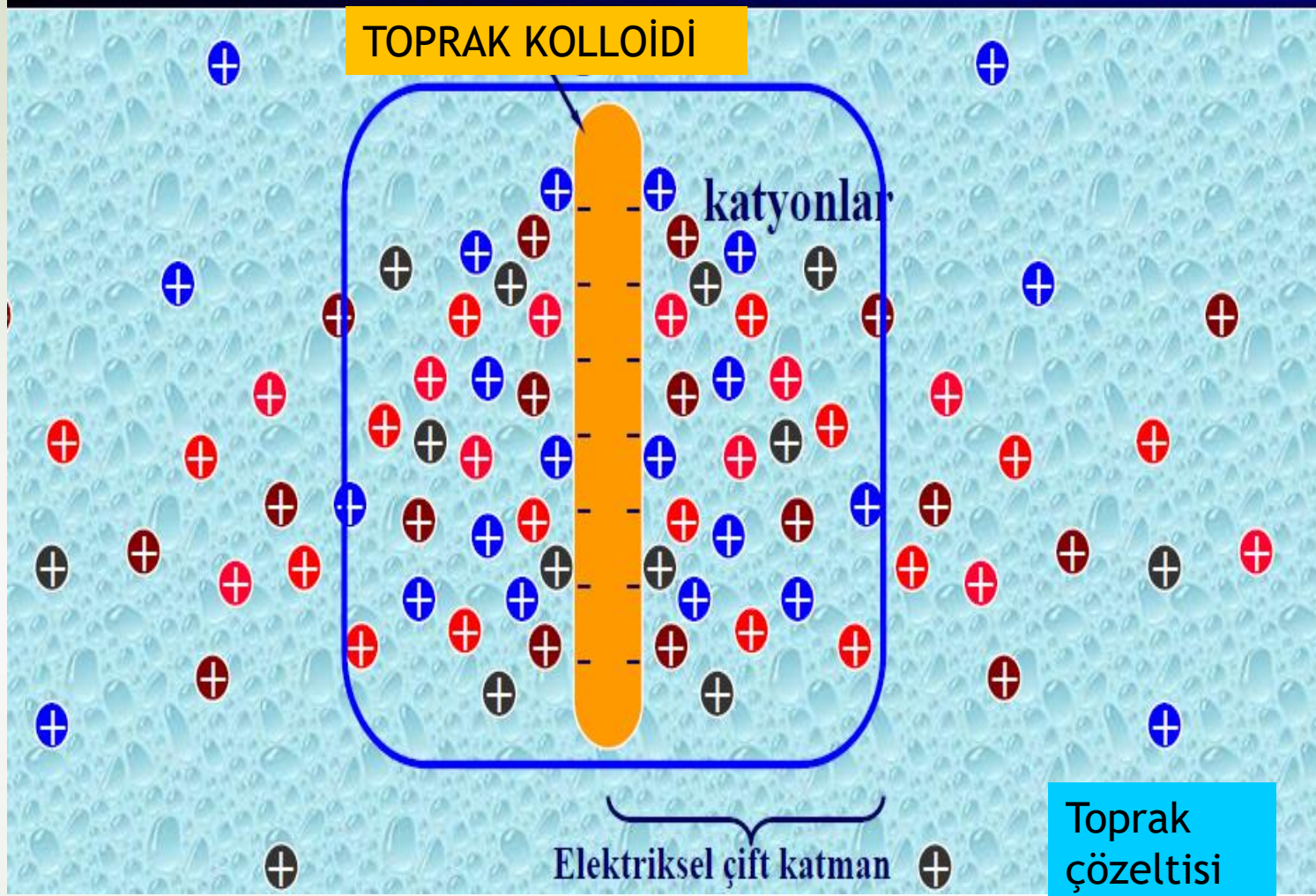
- 1-2. Hafta: Giriş (Toprağın Tanımı, Temel Bileşenleri) ve Toprak Ana Materyalleri (İnorganik, Organik ve Taşınmış Ana Materyaller)
3. Hafta: Topraklara Karakter Kazandıran Etmenler (Ana Materyal, Topoğrafya, İklim, Biyosfer, Zaman)
4. Hafta: Toprak Oluşumunda Meydana Gelen Olaylar (Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Olaylar)
5. Hafta: Toprak Profili (Toprak Horizonları ve Özellikleri)
6. Hafta: Toprakların Biyolojik Özellikleri (Toprak Canlıları ve Organik Madde)
7. Hafta: Toprakların Fiziksel Özellikleri (Bünye, Strüktür, Özgül Ağırlık, Hacim Ağırlığı, Kıvam, Renk)
- 8. Hafta: Ara Sınav**
9. Hafta: Toprakların Kimyasal Özellikleri (toprak reaksiyonu, tuzluluk, besin maddeleri)
10. Hafta: Toprakların Kimyasal Özellikleri (toprak kolloidleri, katyon değişimi, bazla doygunluk,)
11. Hafta: Toprak Havası, Suyu ve Sıcaklığı
12. Hafta: Toprakların Sınıflandırılması
13. Hafta: Toprak Sorunları ve Islahı

Toprakların Kimyasal Özellikleri-Toprak Kolloidleri

- Toprağın fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal özelliklerini etkileyen unsurları toprak kolloidleri olarak adlandırılır ve toprağın katı halde bulunan iyon değişim yüzeyleridir.
- Kolloidal fraksiyonların tane boyutu oldukça küçüktür, bu sebeple aktif yüzey alanları geniş, yani bağlanma yüzeyleri fazladır.
- Kolloidler elektrik yüklüdür ve bir mıknatıs gibi davranırlar. Besin maddelerini çekerler, tutarlar veya iterler, bırakırlar.



Toprak Kolloidleri



Diğer bir ifadeyle, toprak kolloidleri, toprak çözeltisindeki anyon ve katyon miktarını yani iyon konsantrasyonunu ve bitkilerin besin maddesi alımını kontrol eden mikron boyutundaki katı unsurlardır.

Bu sebeple toprağın katı ve sıvı yüzeylerinin doğal kimyasal dengesi toprak kolloidlerinin hakimiyetindedir.

Toprak Kolloidleri

İki kısımda incelenir:

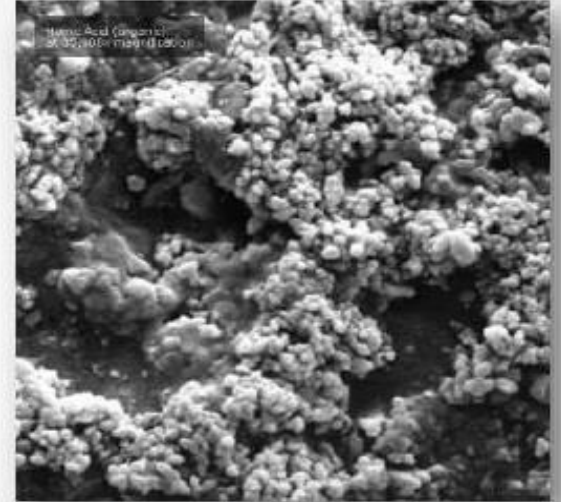
- Organik kolloidler=Humik maddeler-humus)
- İnorganik (mineral) kolloidler=Kil mineralleri

- Organik kolloidler organik maddenin stabil ayrışma ürünü olan humus ve bileşimindeki humik maddeler ile temsil edilir.
- İnorganik-Mineral kolloidler ise çeşitli tiplerde kil mineralleri temsil eder ve kil kolloidler olarak tanımlanır.

Elektron mikroskop görüntüleri



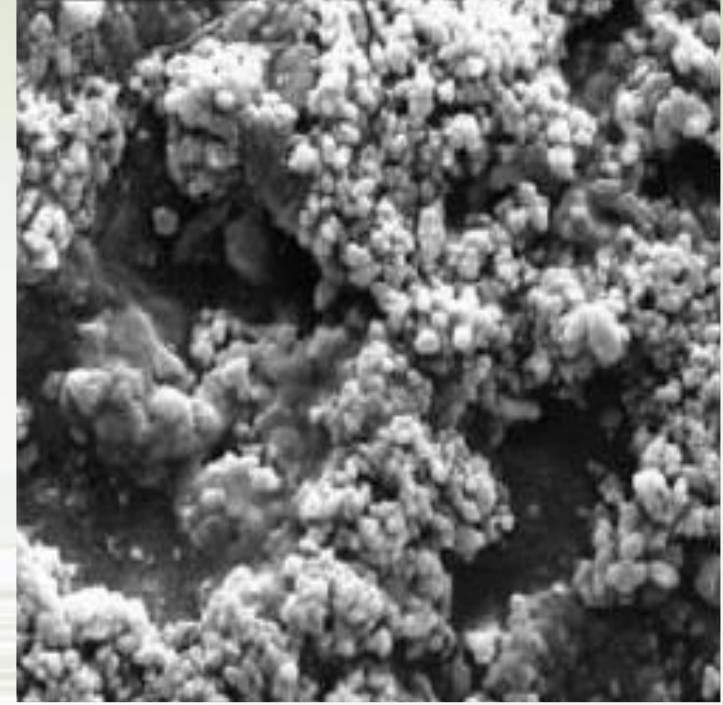
Kil mineralleri



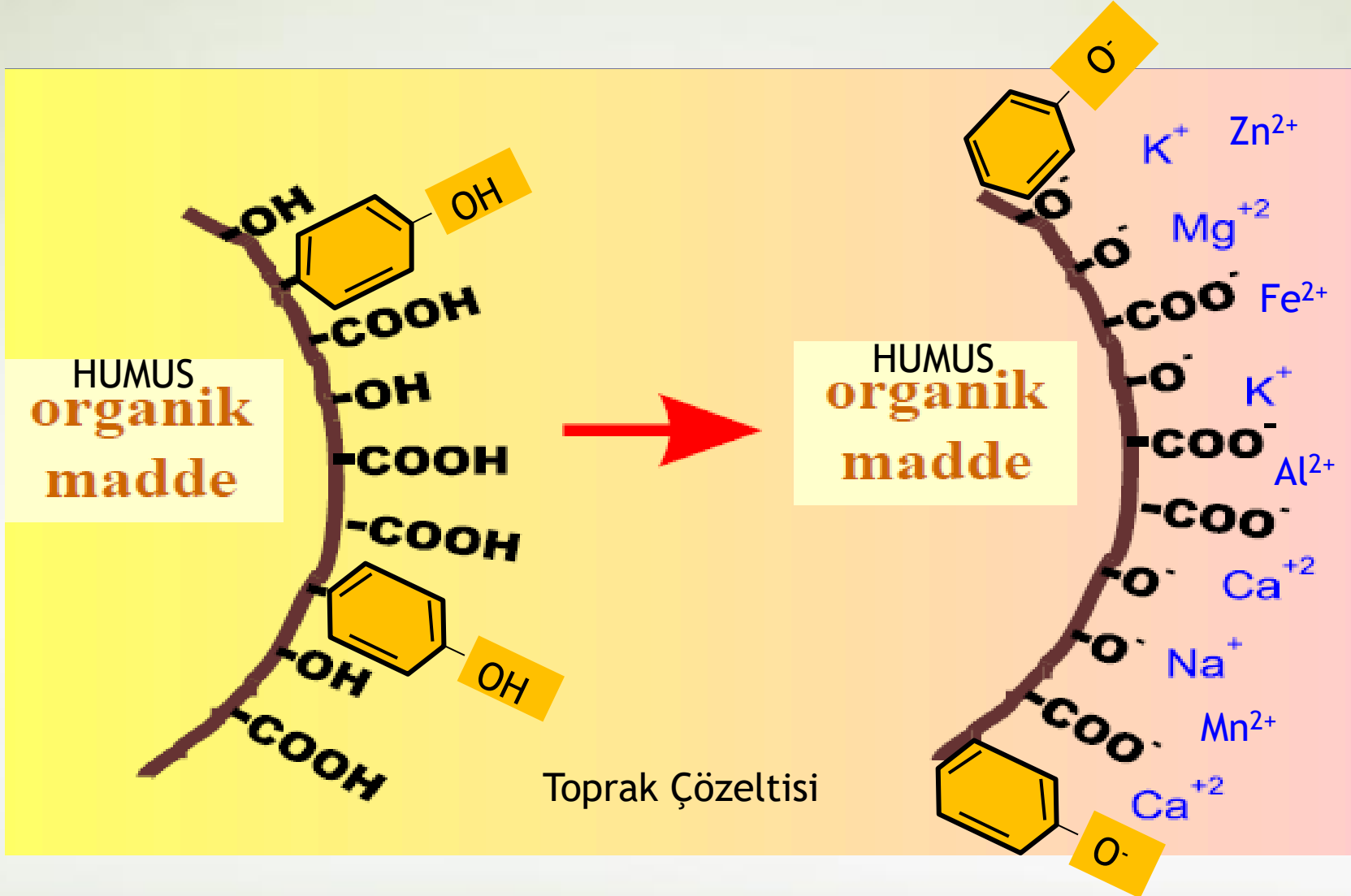
Humik maddeler

Toprak Kolloidleri-Organik

- Organik kolloidlerin özellikleri doğrudan humusu oluşturan kimyasal yapı ile ilişkilidir=HUMİK MADDELER.
- Humus kimyasal bileşimi C, H, ve O'den oluşmaktadır.
- Humuslar kristal bir yapı göstermez, AMORF yapıdadır.
- Humusların tane büyüklüğü değişkendir, stabil değildir.
- Humus oluşumu ve ayrışması yüzey alanını etkiler.
- Geniş bir yüzey alanı ve boşlukları vardır.
- Yüksek katyon değişim kapasitesine sahiptir (KDK=300-1400 me/100g).



Toprak Organik Kolloidleri



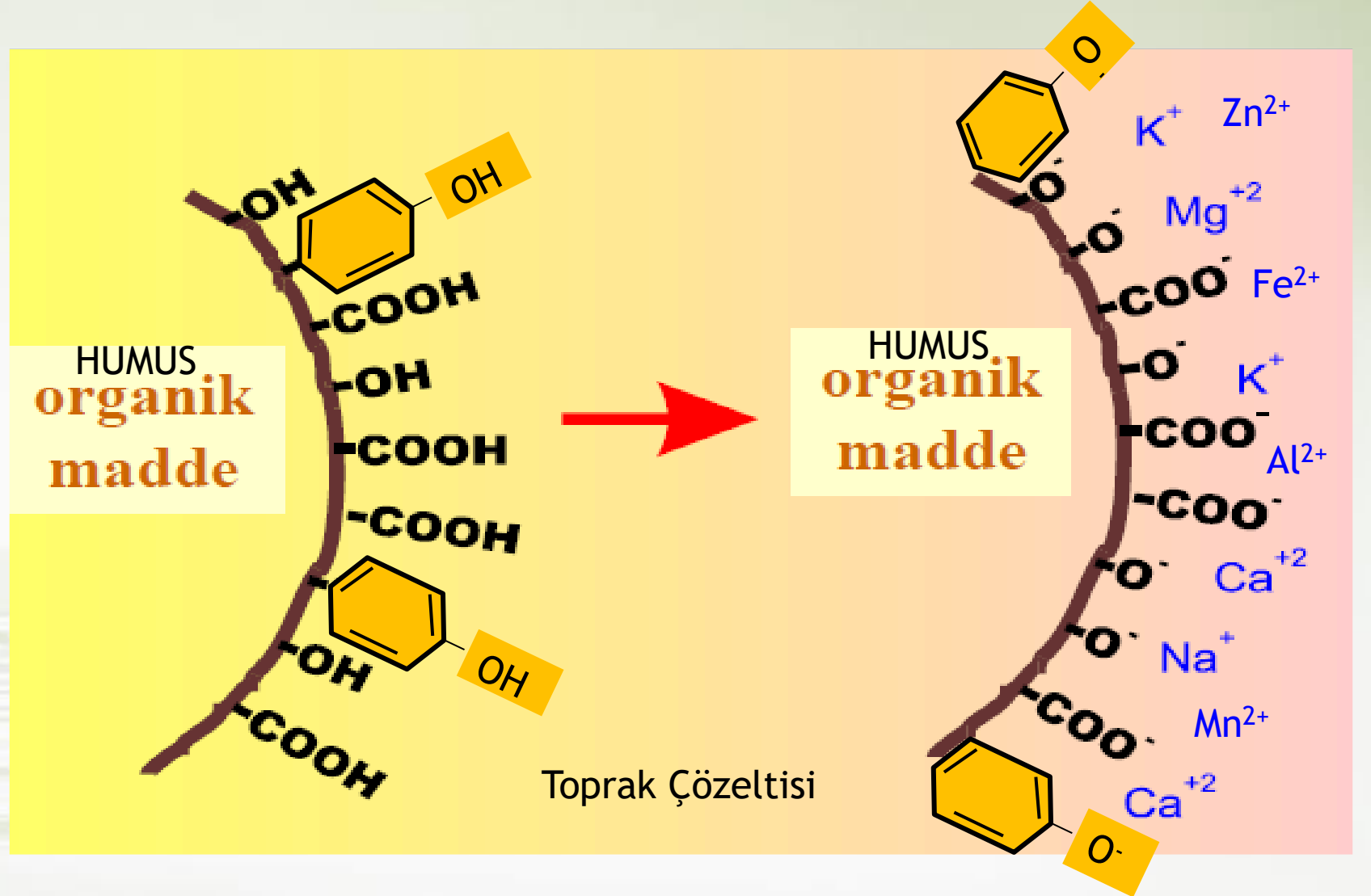
Humusun birleşimi C,H,O iyonlarının farklı bileşimlerinden oluşur.

Bu bileşimler;

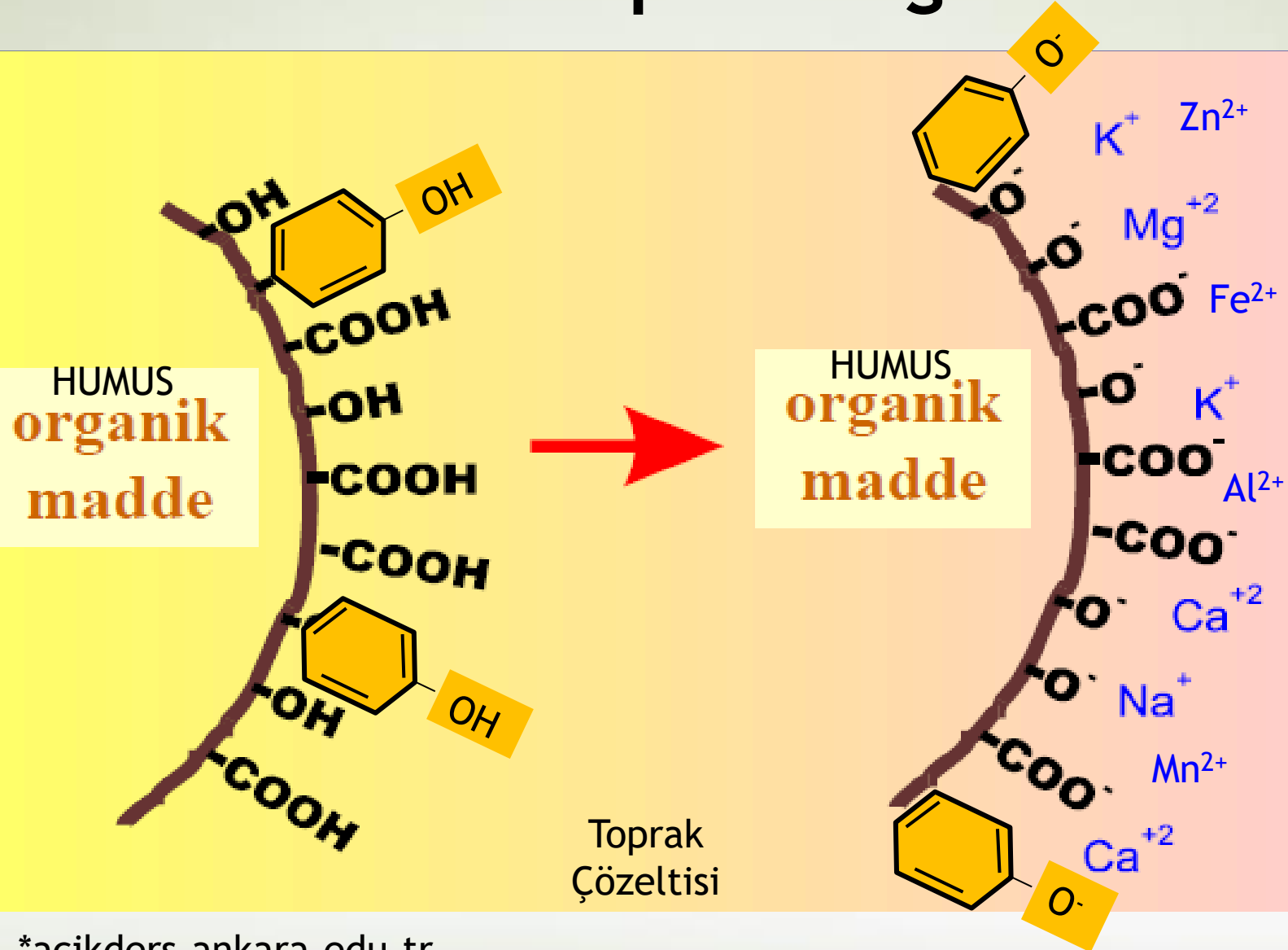
- COOH (karboksil)
- OH (hidroksil)
- Fenol-OH (fenolik hidroksil) gruplarıdır.

Toprak Organik Kolloidleri

Yüzey alanı oldukça yüksektir, bu sebeple yüksek derecede anyon (negatif yüklü iyon) ve katyonlar (pozitif yüklü iyon) ile kaplıdır.

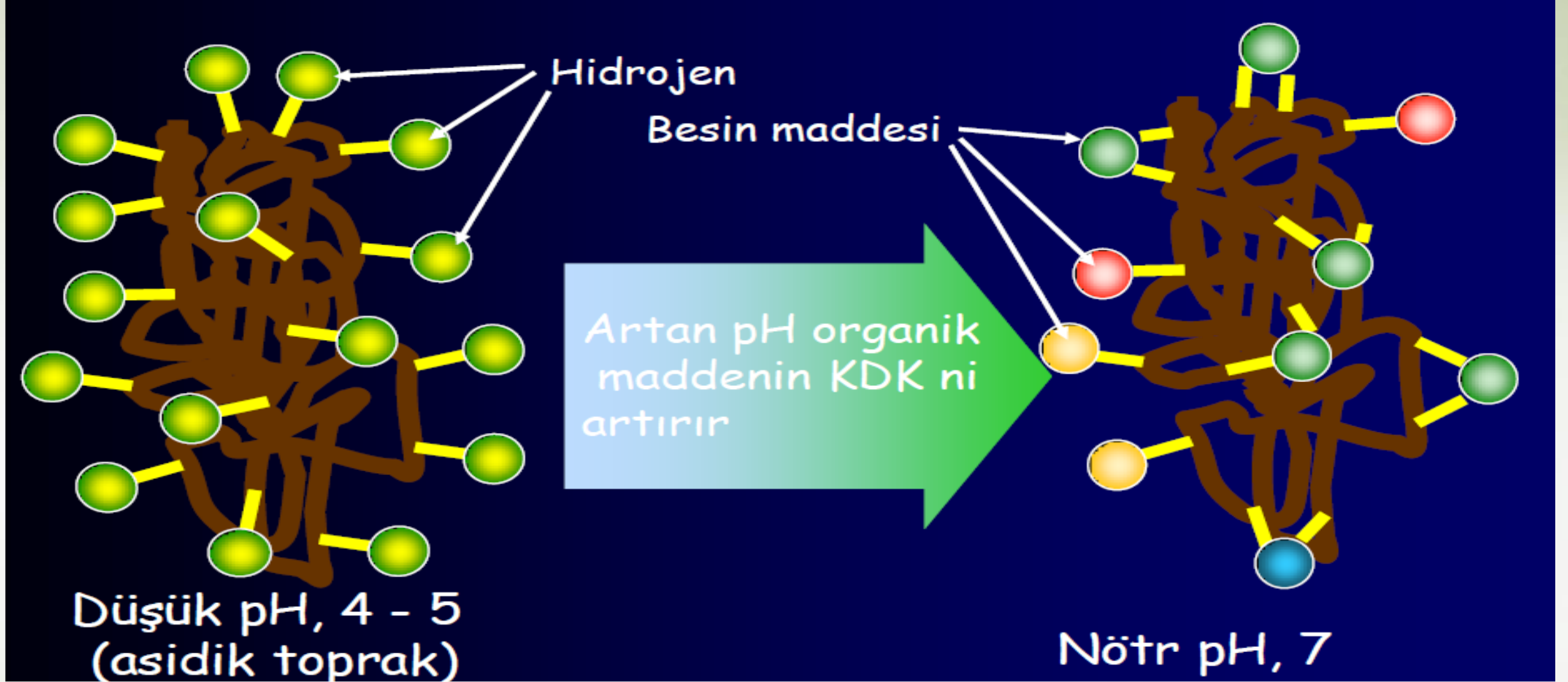


Toprak Organik Kolloidleri



Katyonlar, aktif yüzeylerde adsorbe edilmiş durumdadır, koşullara göre yer değiştirebilir, yani kolloid yüzeyinden toprak çözeltisine geçebilir (desorbe edilir) veya toprak çözeltisinden kolloid yüzeyine bağlanabilir (adsorbe edilir). Bu özellik yüksek kation değişim kapasitesi (KDK) olduğu anlamına gelir.

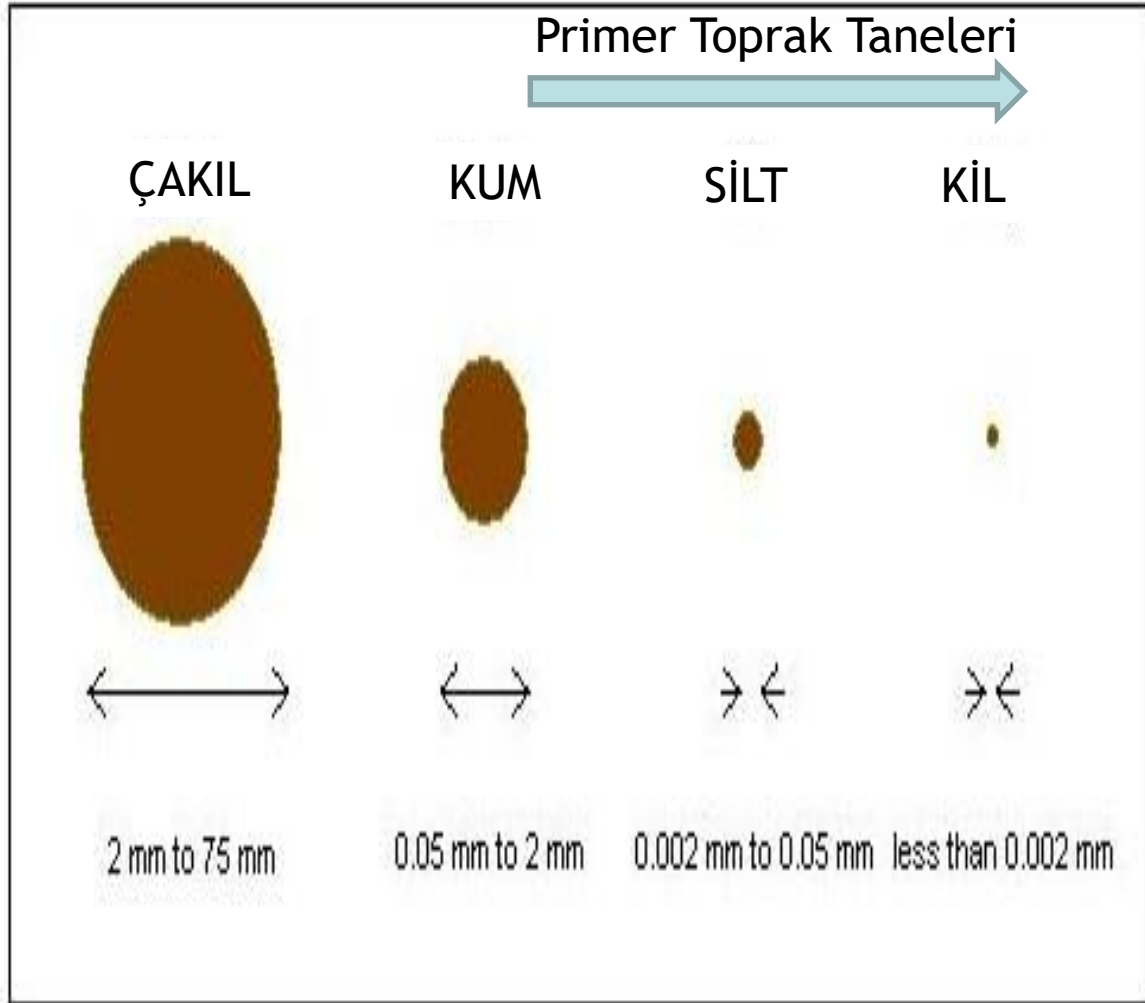
Toprak Organik Kolloidleri



Genel olarak toprak organik maddesinin işlevlerini tekrar edelim

Özellik	Toprağa Etkisi
Renk	Koyu renk verir. Isınmayı kolaylaştırır.
Su tutulması	Organik madde kendi ağırlığını 20 katı su tutar. Şişme ve büzülme korur.
Kil mineralleri ile birleşim	Agregat oluşumu sağlar, toprak strüktürünü korur. Boşluklu yapısı gazların değişimine izin verir ve permeabiliteyi artırır.
Şelatlama	Organik bileşiklerin Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} ve diğer poli-değerlikli katyonlarla durağan kompleksler oluşturmasıdır. Yüksek bitkilere mikrobelerin yararlılığını artırır.
Suda çözünürlük	Organik maddenin killerle beraberliği nedeniyle organik madde çözünmezdir, sadece kolloidal organik madde yıkanma ile kaybedilir.
Tamponlama	Organik madde zayıf asit, nötral ve alkalın pH'larda tamponlama yapmaktadır. Toprakta uniform bir pH reaksiyonunun devamlılığını sağlar.
Katyon değişimi	Humusun KDK'sı 300-1400 me/100g'dır. Toprakların katyon değişim kapasitesini artırır.
Mineralizasyon	Organik maddenin CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^- , SO_4^{2-} gibi bileşenlerine ayrışmasıdır. Bitki gelişimi için besin elementlerinin bir kaynağıdır.
Organik moleküllerle birleşimi	Pestisitlerin parçalanması, devamlılığı, biyoaktivitesini etkiler.

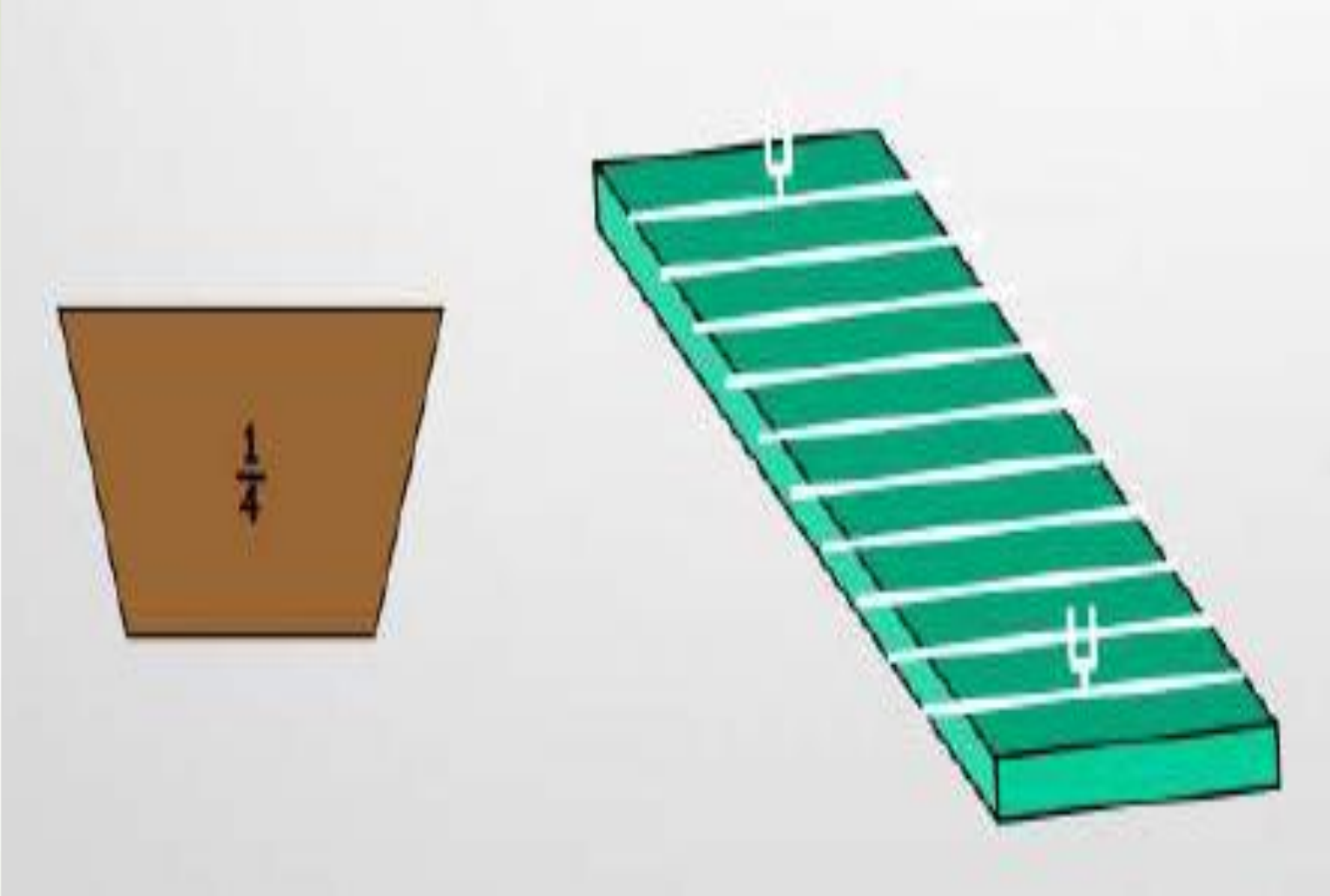
İnorganik Toprak Kolloidleri- KİL'ler



Killer; Si, Fe, Al ve bunların oksihidrat bileşiklerini içeren feldspat, mika ve diğer silikat primer minerallerinin ayrışması sonucu doğal olarak oluşmuş, yeterli miktarda su ile temas ettiğinde plastik özellik gösteren ve kurduğunda sertleşebilen sekonder mineraldir.

Kil'ler $< 0,002$ mm (< 2 μ m) boyutlarında olan primer toprak taneleri olarak tanımlanır.

İnorganik Toprak Kolloidleri- KİL'ler

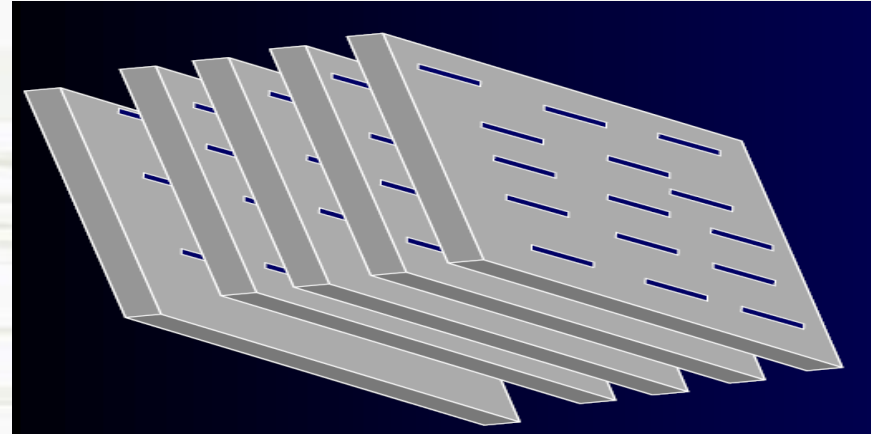


- Boyutunun küçük olması aktif yüzey alanının geniş olması anlamına gelir.
- Örneğin; kilden yapılmış bir kabın $\frac{1}{4}$ 'ü, bir futbol sahasından daha fazla yüzey alanına sahiptir.

İnorganik Toprak Kolloidleri- KİL'ler



- Çünkü, Kil taneleri kağıt destesine benzeyen ince tabaka (çok sayıda levha) yığınları halinde bulunur.
- Her bir levha negatif yüke sahiptir.
- Negatif yükler bağlantı kuracağı pozitif yüklerle denge halindedir.



İnorganik Toprak Kolloidleri- KİL'ler



İklim bölgelerine ve primer mineraline bağlı olarak oluşan killerin levha dizilimlerinde ve kimyasal bileşimlerindeki değişimler farklı KİL tiplerinin (kil mineralleri) oluşmasına neden olur.

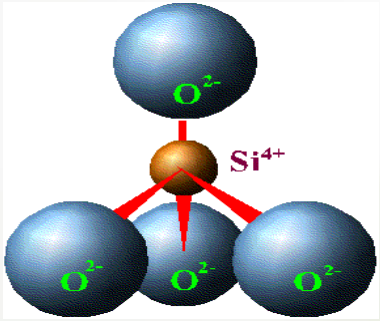
Oluşum bölgelerine ve primer mineraline göre Kil Tipleri:

- Silikat Killeri (ılıman bölgelerde)
- Fe-Al oksihidrat Killeri (tropik ve yarı tropik bölgelerde)

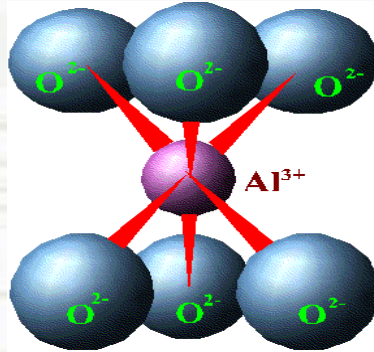
Kil Mineralleri - Silikat Kileri ve yapıları

Silikat kileri,

- “*silis tetra-ederleri*”nin yan yana dizilip bağlanması ile oluşan **silis (Si) levhaları** ile
- “*alüminyum okta-ederleri*”nin yan yana dizilip bağlanması ile oluşan **alüminyum (Al) levhalarının** 1:1 (Si-Al) ve 2:1 (Si-Al-Si) oranlarında bağlanmaları sonucunda oluşan **kristal ünitelerinin**, kitap sayfaları gibi üst-üste dizilmeleri (tabakalanmaları) ile meydana gelmektedirler.



Tetra-ederlerin köşelerinde 4 adet Oksijen (O) ve merkezinde 1 adet silisyum (Si) atomu vardır.



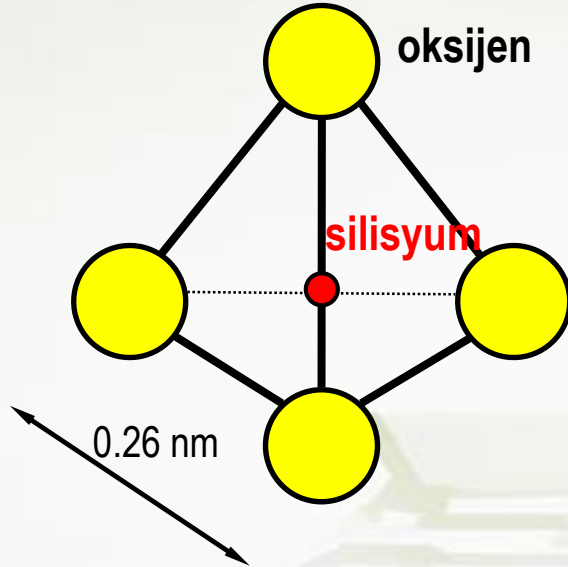
Okta-ederlerin köşelerinde 6 adet Oksijen (O) veya Hidroksil (OH), merkezde ise alüminyum (Al) veya magnezyum (Mg) atomu vardır

• Silisyum Tetra-eder yapısı

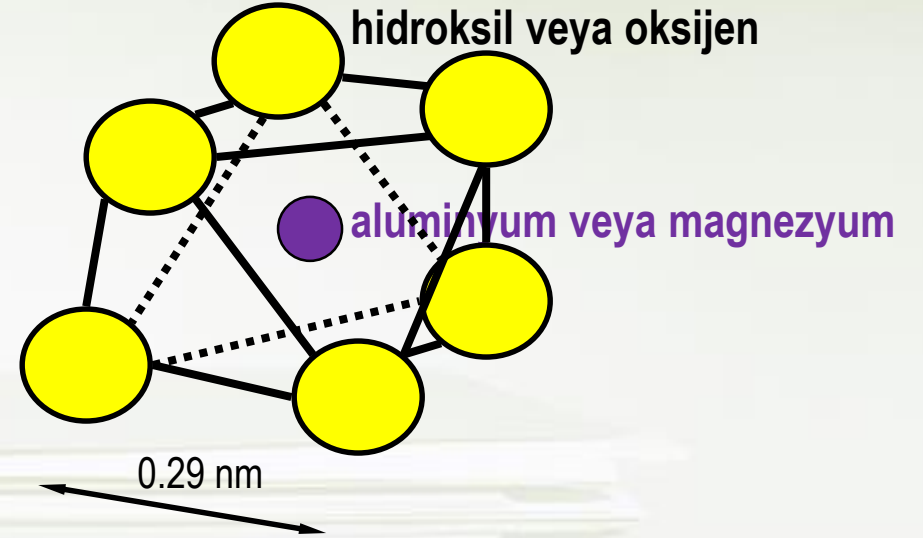
• Alüminyum Okta-eder yapısı

Kil Mineralleri - Silikat Kileri ve yapıları

Silisyum Tetra-eder yapı

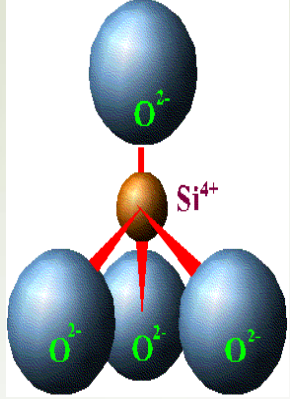


Alüminyum Okta-eder yapı

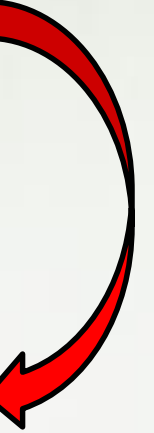
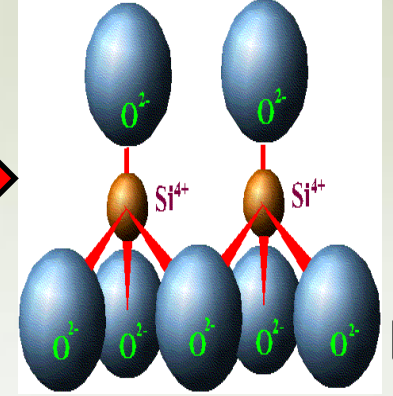
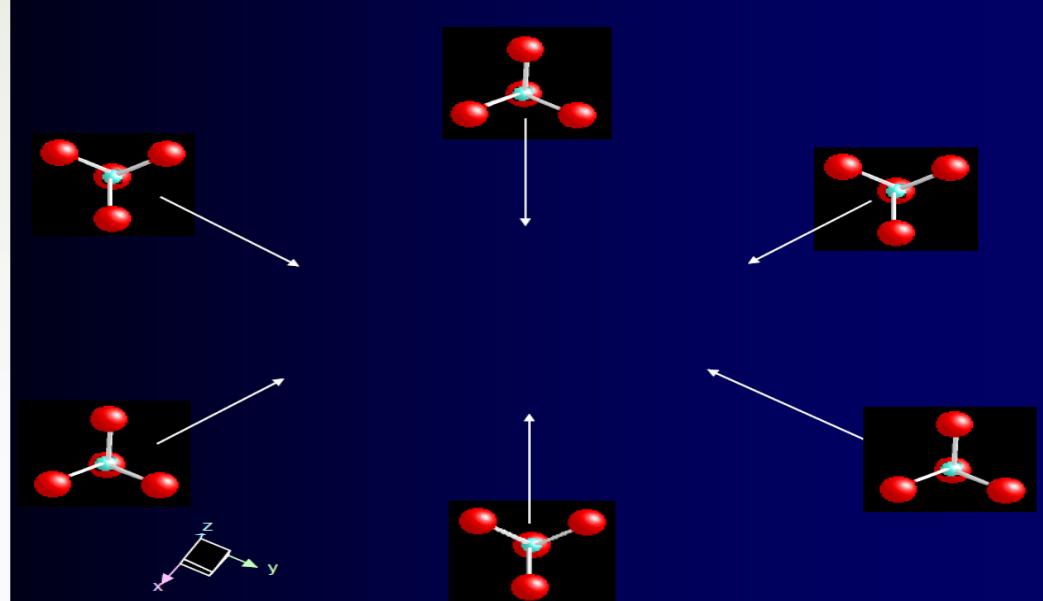


Silisyum Tetra-eder Levha Oluşumu

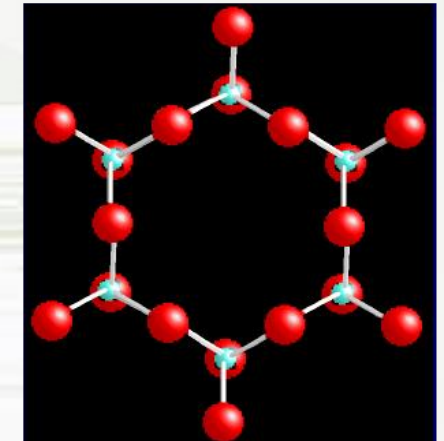
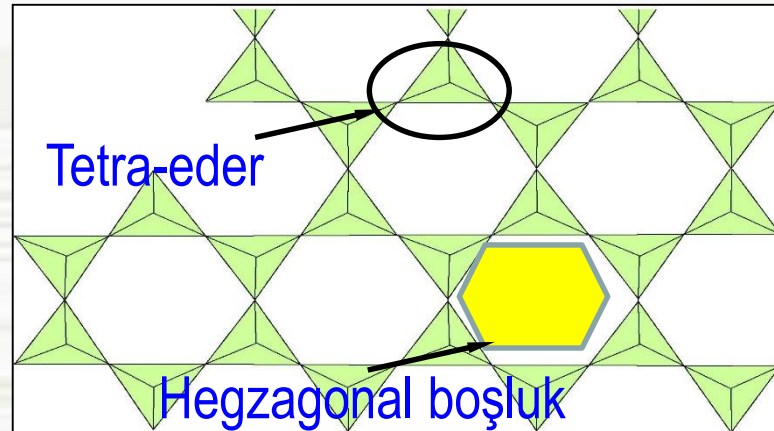
Silisyum Tetra-eder yapı



Levha oluşumu için yan yana dizilim



Anlaşılması için basit görünümü

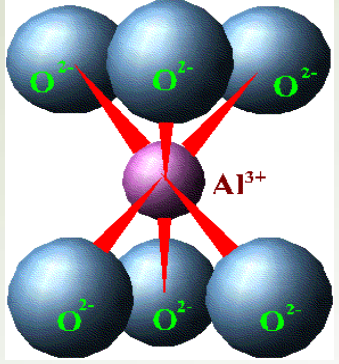


Si₆O₁₈

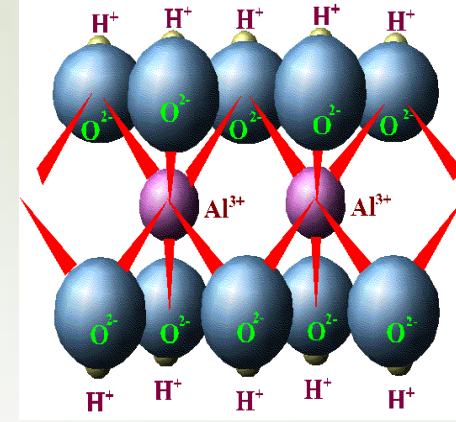
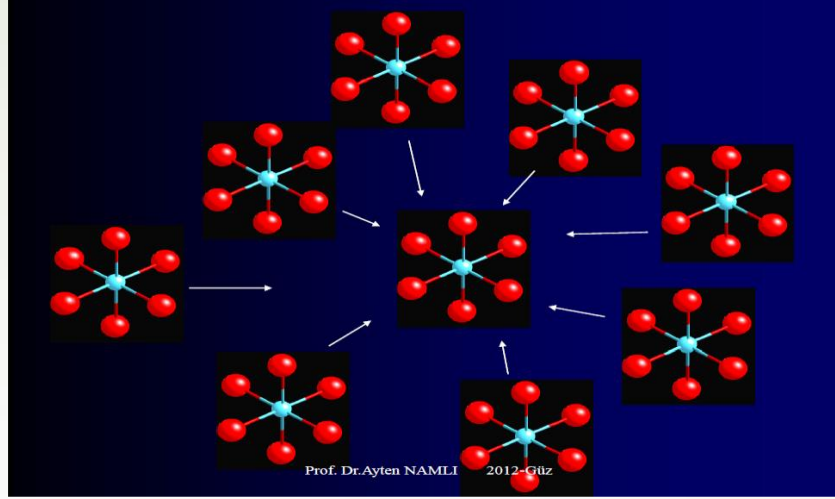
Silisyum Tetra-eder Levha

Alüminyum Okta-eder Levha Oluşumu

Alüminyum Okta-eder yapı

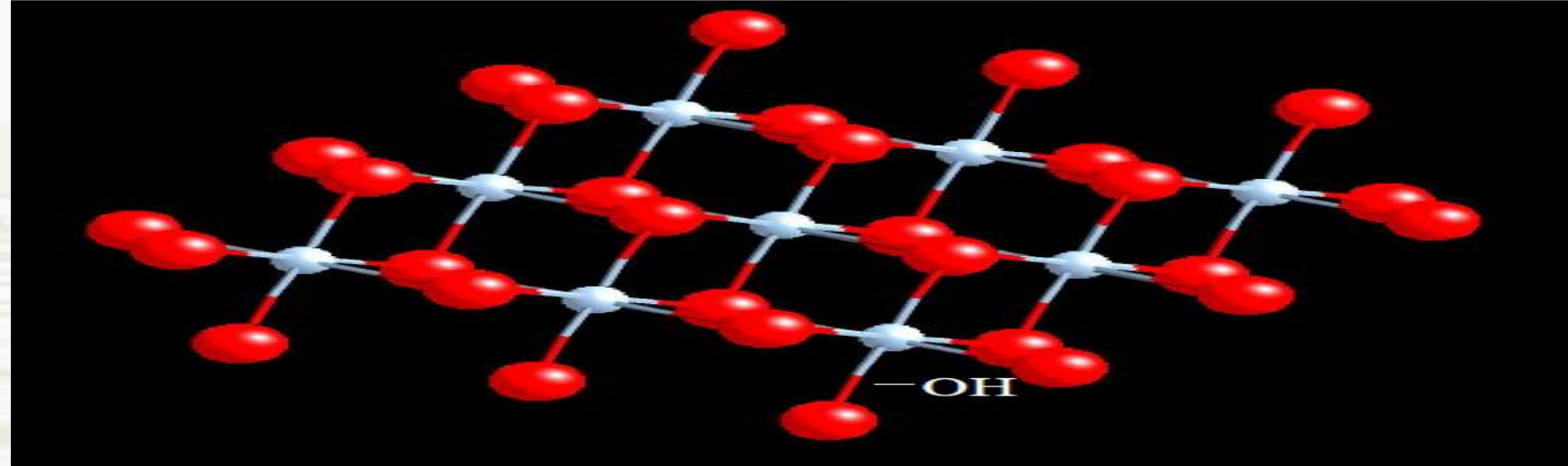


Levha oluşumu için yan yana dizilim



Al okta-eder Levha

Anlaşılması için basit görünümü

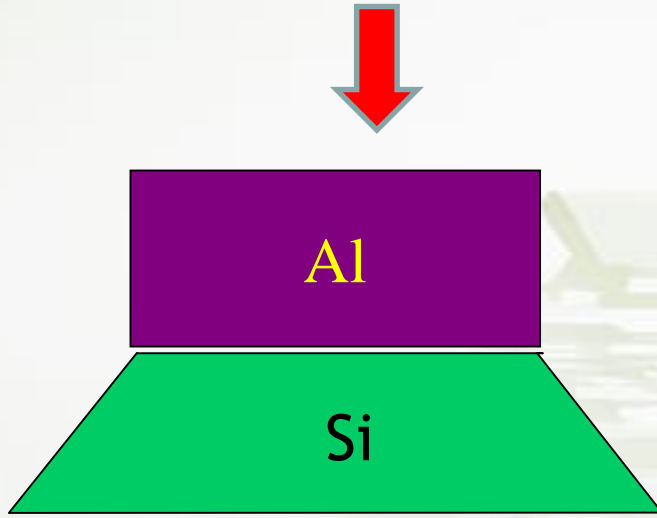


Alüminyum Okta-eder Levha

Kil Minerallerinin oluşumu

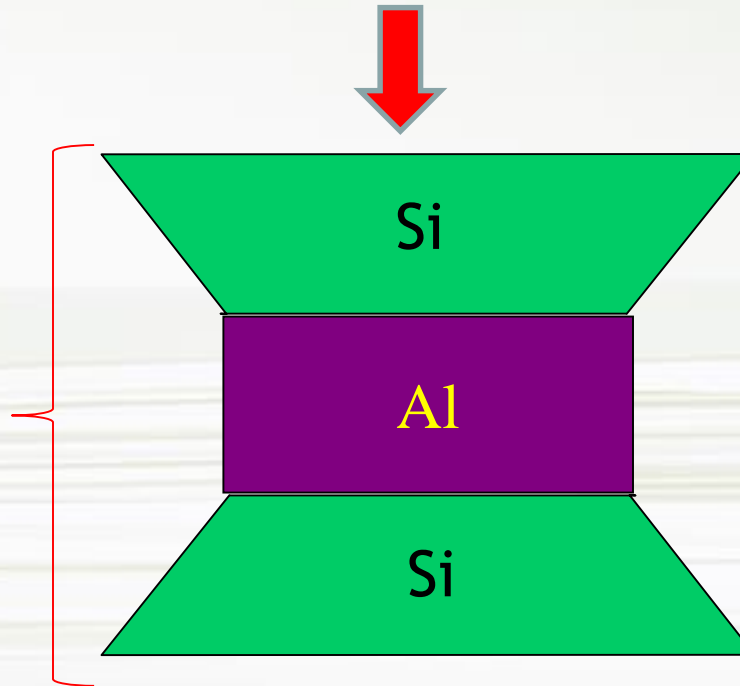
- Si-levha ve Al-levhalarının farklı oranlarda üst üste dizilimi (tabakalanmaları) ile oluşan kristal üniteler farklı kil mineralleri (kil tipleri) oluşur şeklinde tanımlamıştık....

➤ İki tabakalı=1:1 tipi tabakalanma



Bir Kristal ünite

➤ Üç tabakalı=2:1 tipi tabakalanma

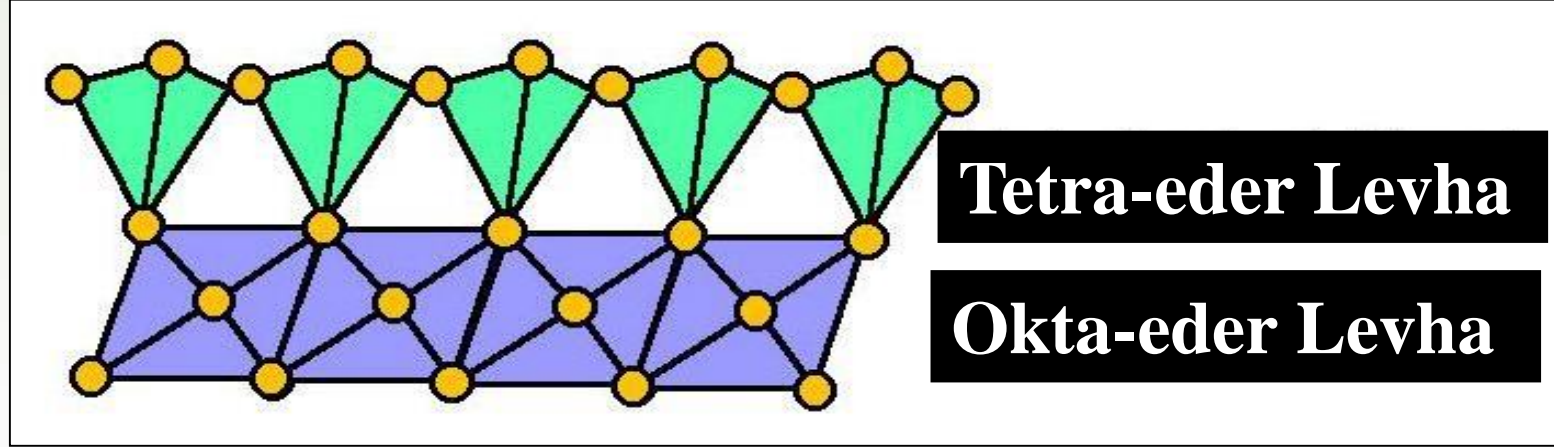


➤ Karışık tabakalı=2:1:1

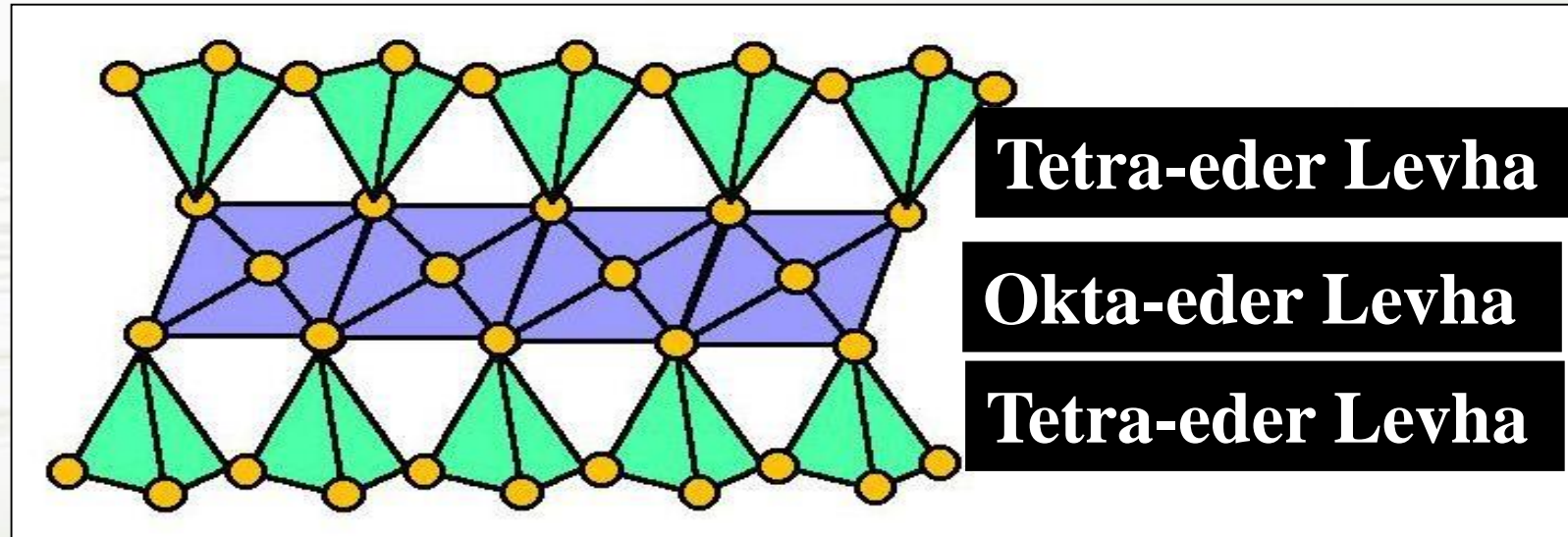
➤ Zircir yapılı

“Tetra-eder Levhaları” ve “Okta-eder Levhaları” nın farklı kombinasyonları farklı kil minerallerini meydana getirir

1:1 Tipi Kil Minerali
(örneğin, kaolinit)

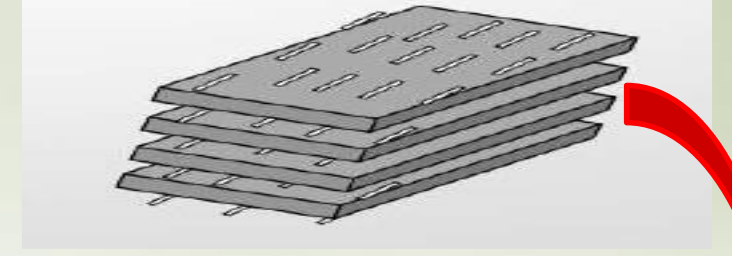


2:1 Tipi Kil Minerali
(örneğin, montmorillonit, illit)

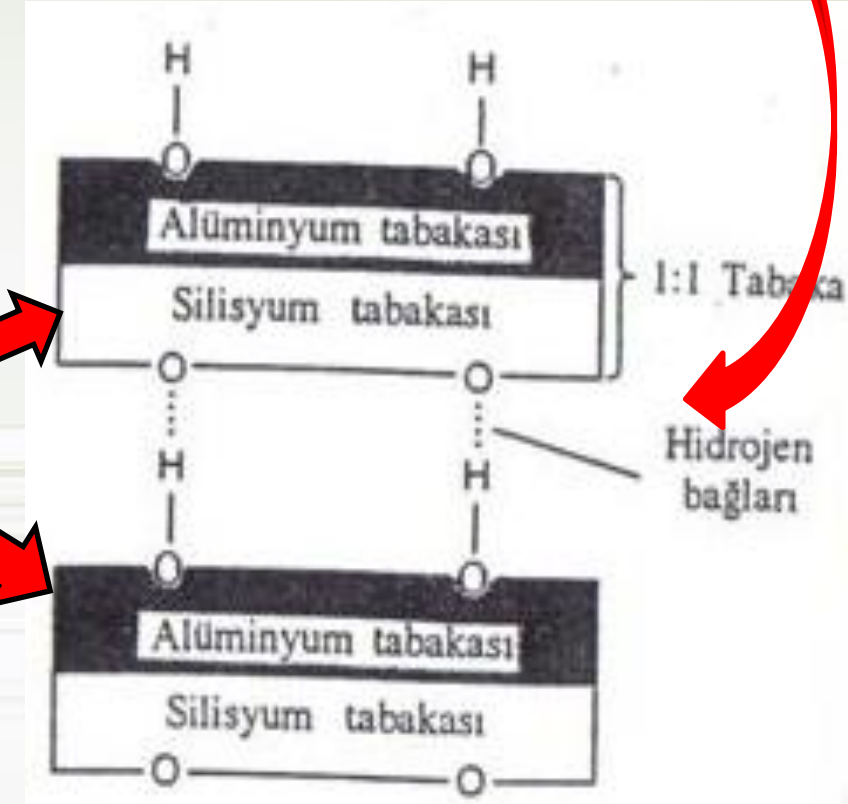
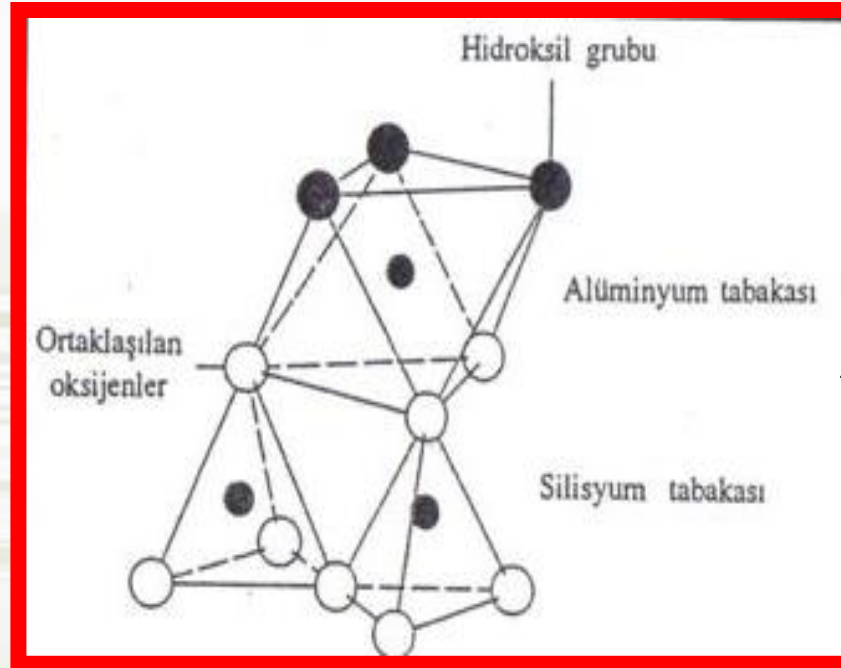


Kil Minerallerinin oluşumu- 1:1 tipi kil minerali

- Bir **Si-levhasının** uç noktalarındaki OKSİJENler ile **bir Al-levhasının** uç noktalarındaki HİDROKSİLLer ortak bağlantı noktalarıdır ve **bu iki levhanın** üst üste dizilimleri arasında kuvvetli **hidrojen bağları KÖPRÜ** kurar.

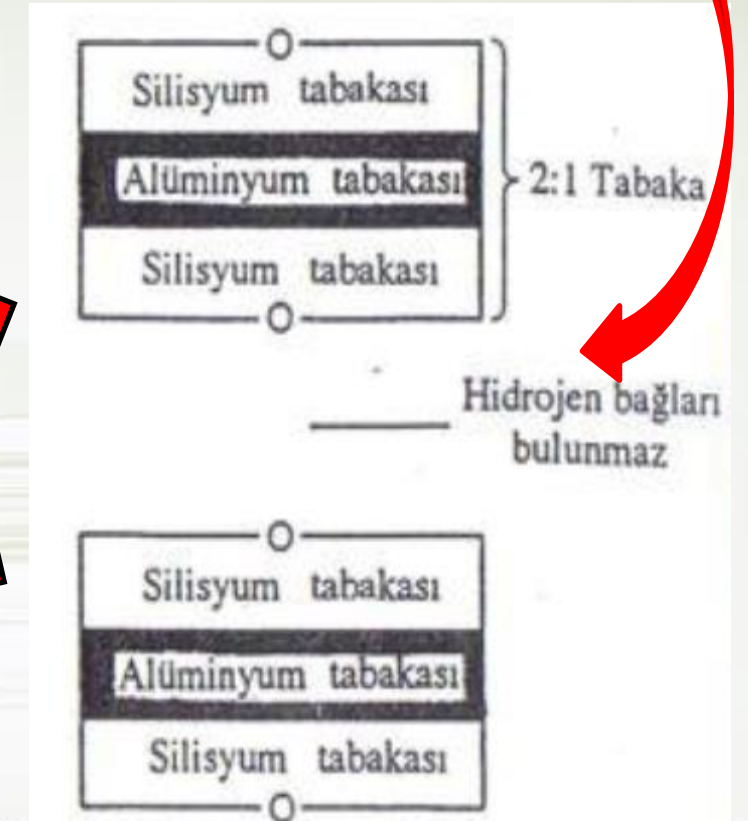
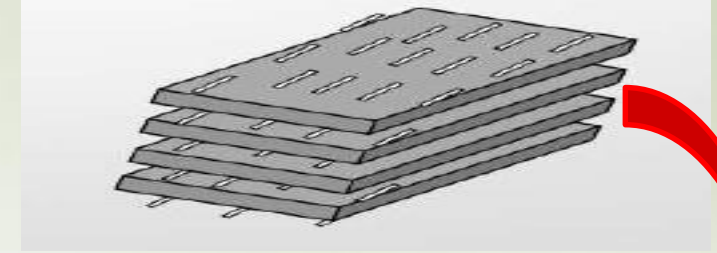
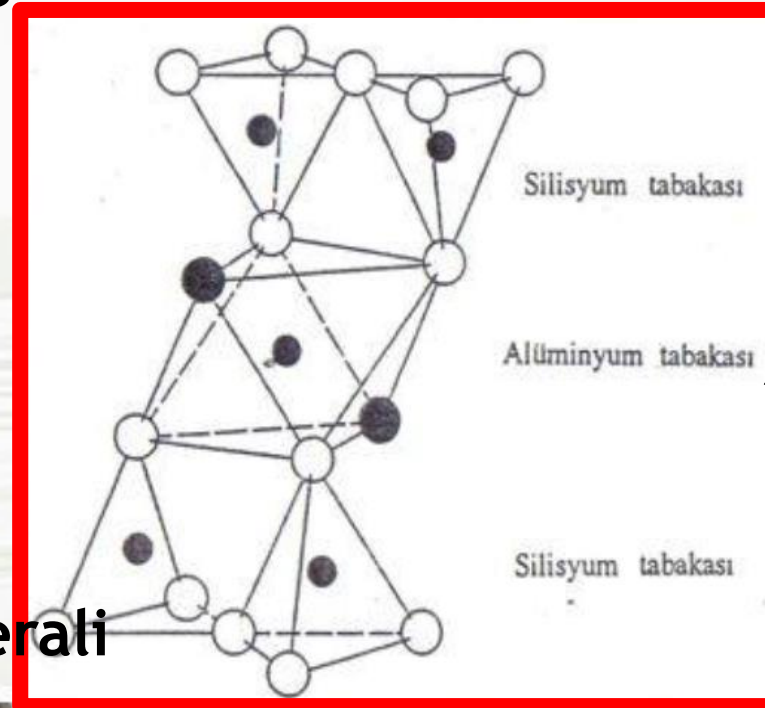
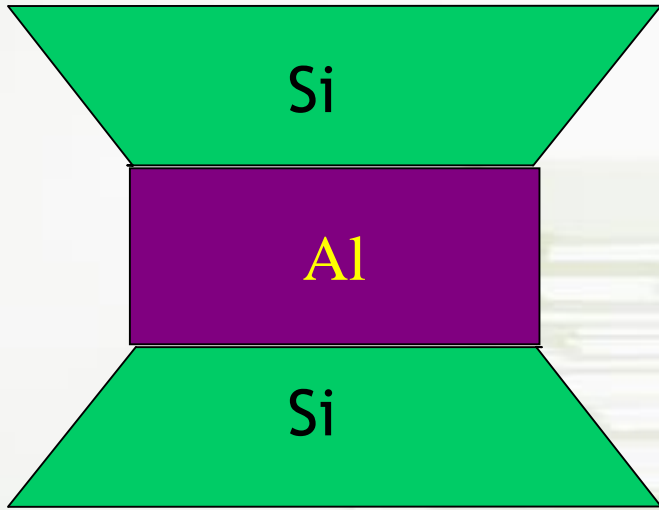


iki tabakalı=1:1 tipi kil minerali



Kil Minerallerinin oluşumu - 2:1 tipi kil minerali

- İki Si-levhasının uç noktalarındaki OKSİJENler ile bir Al-levhasının uç noktalarındaki HİDROKSİLLer ortak bağlantı noktalarıdır ve bu üç levhanın üst üste dizilimleri arasında bulunan Si-levhaları nedeniyle hidrojen bağları bulunmaz.



Üç tabakalı=2:1 tipi kil minerali

KİL MİNERALLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

I. Kristal yapıda olmayan (amorfl) kil mineralleri

II. Kristalin yapıda olanlar

A. İki tabakalı olanlar (1:1 tipi)

- Boyutları eşit: Kaolinit grubu
- Uzun çubuk şekilli: Halloysit grubu

B. Üç tabakalı olanlar (2:1 tipi)

1. Genişleyen kafes yapısı olanlar: Montmorillonit grubu: vermikulit, nantronit, saponit
2. Genişlemeyen kafes yapısı olanlar: İllit grubu

C. Karışık tabakalı olanlar: Klorit grubu

D. Zincir yapıda olanlar: Attapulgit, sepiolit

I. Kristal yapıda olmayan (amorf) kil mineralleri

Allofanlar

- Amorf yapıdadırlar (şekilsiz)
- Yüksek katyon değişim kapasitesine sahiptirler.
- Silisyum ve diğer 3 ve 4 değerlikli tetraederlerin rastgele kümelenmeleri ile oluşmuşlardır.
- Volkan küllerinden oluşan topraklarda bulunurlar.

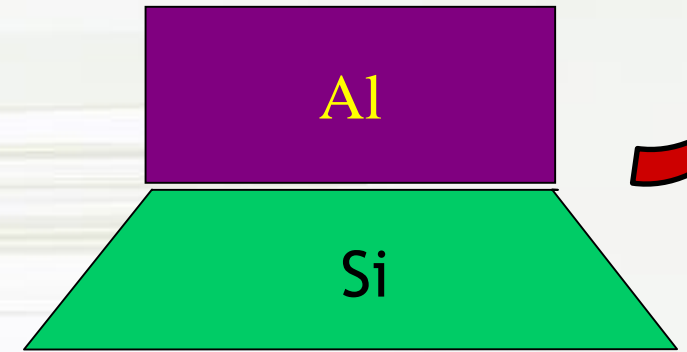
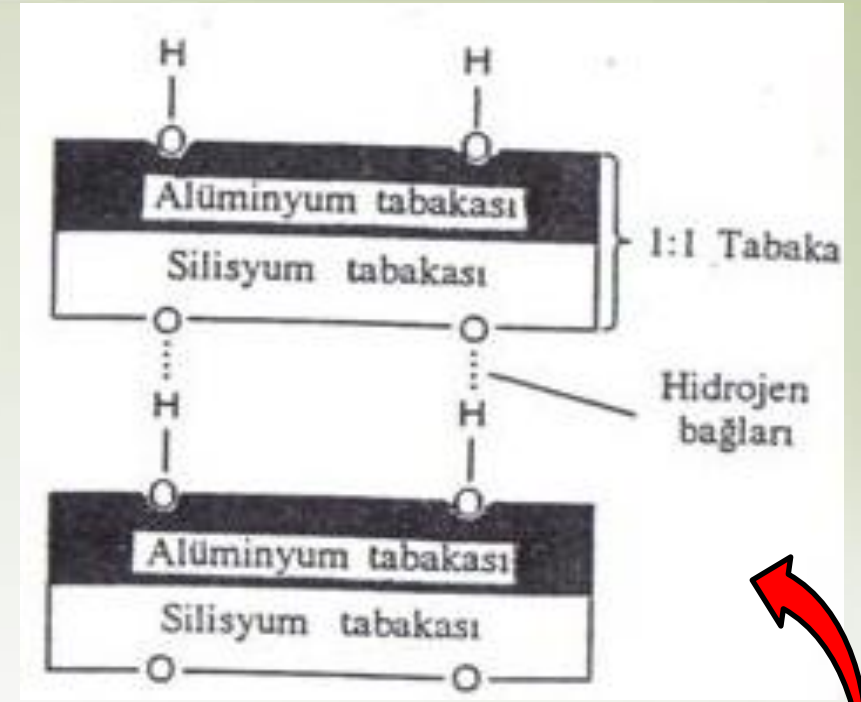
II. Kristalin yapıda olanlar

A. İki tabakalı olanlar (1:1 tipi)

- Boyutları eşit: Kaolinit grubu
- Uzun çubuk şekilli: Halloysit grubu

➤ Kaolin:

- Sulu alüminyum silikatlarıdır.
- Bir okta-eder tabakaya bağlı bir tetra-eder tabakadan oluşur.
- Si ve Al levhaları arasında H köprüsü vardır
- KDK düşüktür (3-15 me/100 g)
- 0.2-2 mikron büyüklüğündedir
- Genişlemeyen bir mineraldir
- Fiziksel özellikleri (plastiklik, kohezyon, adhezyon, şişme, çatlama) en zayıf olan kil mineralidir.



Kaolinit



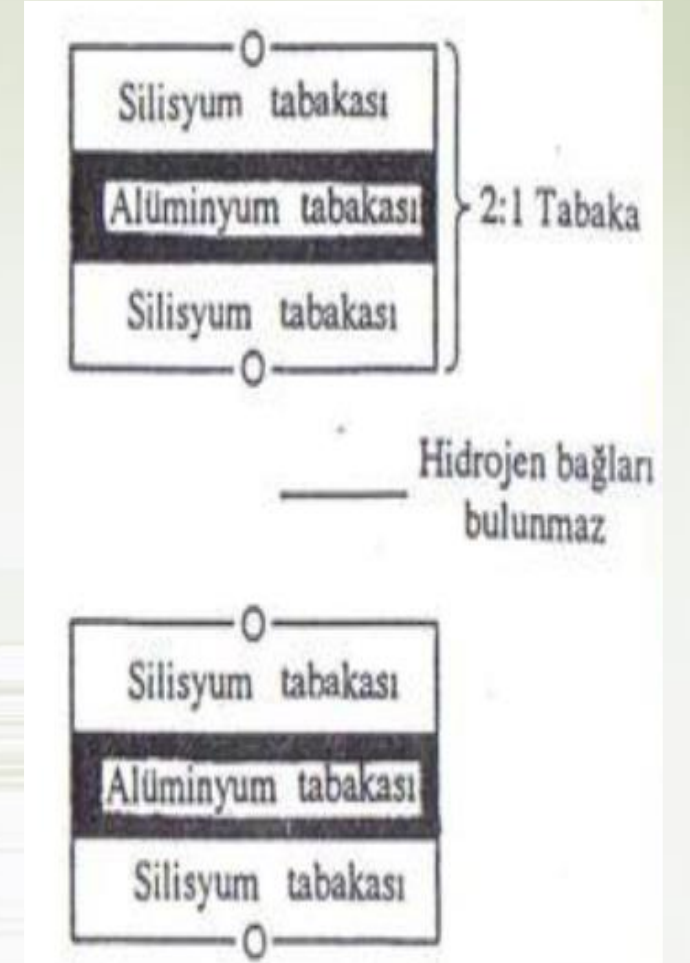
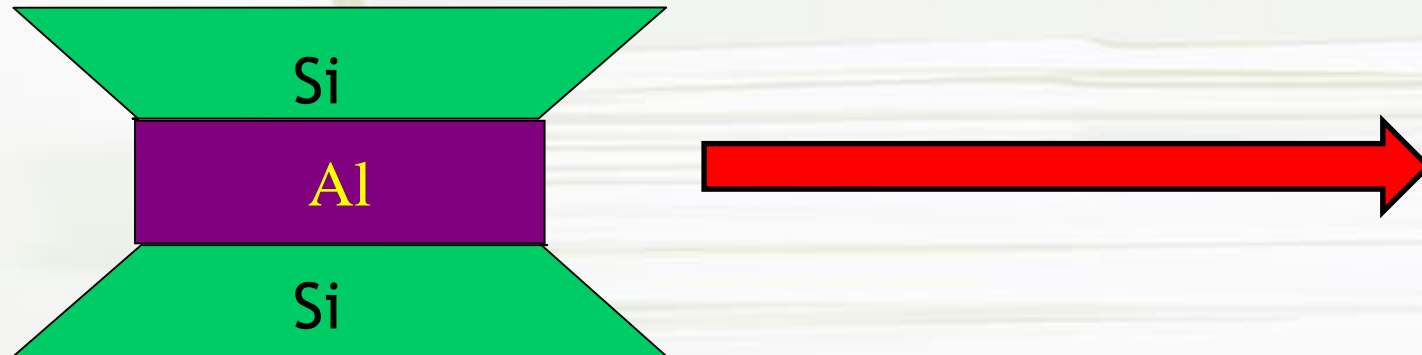
II. Kristalin yapıda olanlar

B. Üç tabakalı olanlar (2:1 tipi)

1. Genişleyen kafes yapısı olanlar:

Tabakalar arasında zayıf O-O bağı genişlemelerini sağlar, yani su alınca şişer.

- Montmorillonit grubu kil mineralleri olarak sınıflandırılır: Bunlar; montmorillonit, vermikulit, nantronit, saponit kil mineralleridir.



II. Kristalin yapıda olanlar

B. Üç tabakalı olanlar (2:1 tipi)

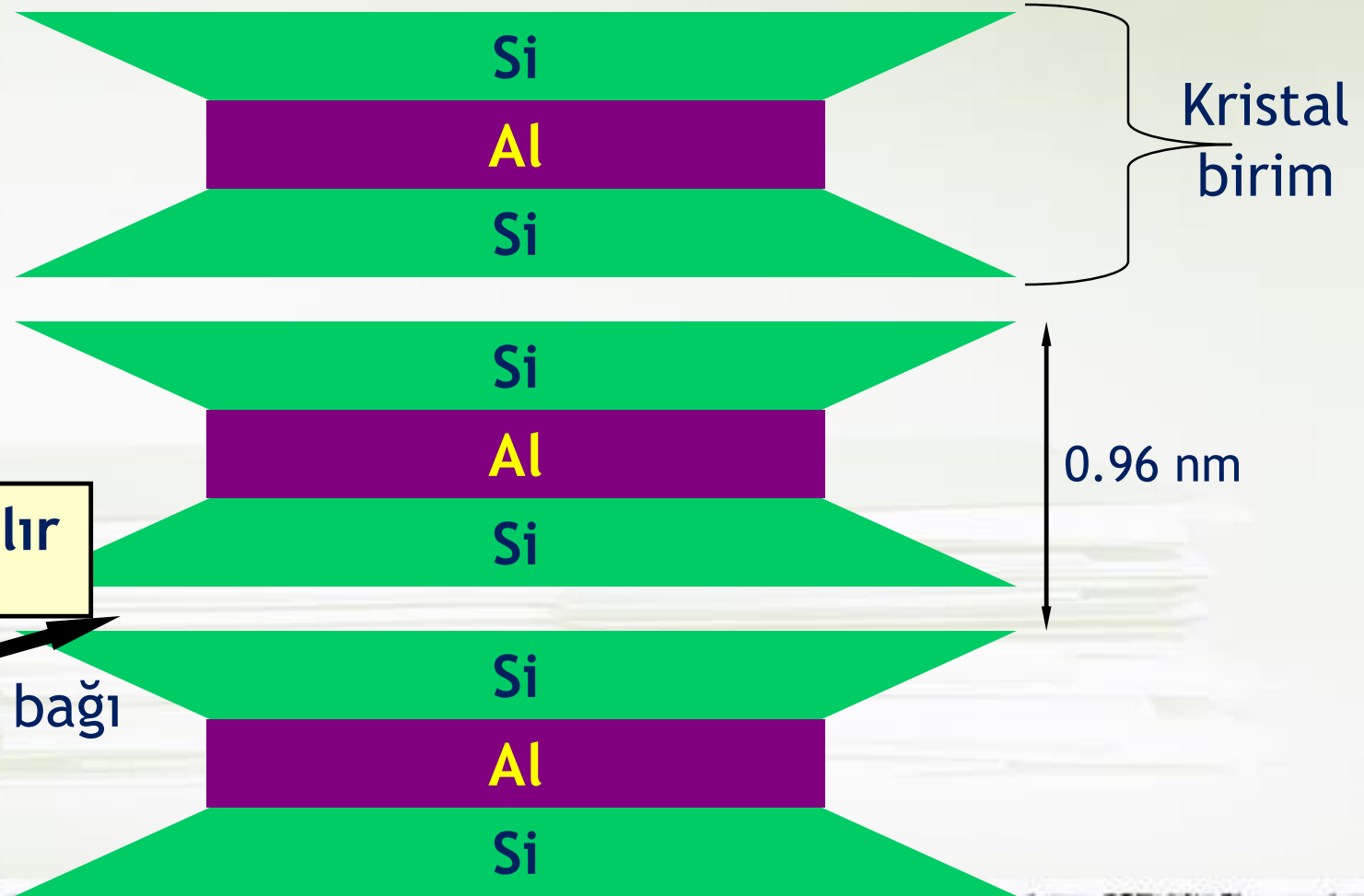
1. Genişleyen kafes yapısı olanlara örnek:

➤ Montmorillonit :

- Tetraederlerin tümü Si^{4+} iyonu içerir.
- Oktaederlerin sekizde biri Al^{3+} iyonu yerine Mg^{2+} iyonu içermektedir.
- 2:1 tabaka yapısına sahiptir. Smektit olarak da adlandırılır.
- Su ile temas ettiğinde, su üniteler arası boşluğa girer ve kil şişer (gevşek O-O köprüsü)
- Yüksek plastiklik ve kohezyon özelliğine sahiptir.
- Su ve iyon adsorpsiyonu için büyük yüzey alanı dolayısıyla çok yüksek katyon değiştirme kapasitesine sahiptir (80-120 me/100 g).
- Kil mineralleri içinde; su alımı, katyon adsorpsiyonu, şişme, çatlama, plastiklik ve dispers olma özellikleri en yüksek olandır.

Montmorillonit

- smektit olarak da adlandırılır; su ile temasta genişler



∴ su ile kolaylıkla açılır

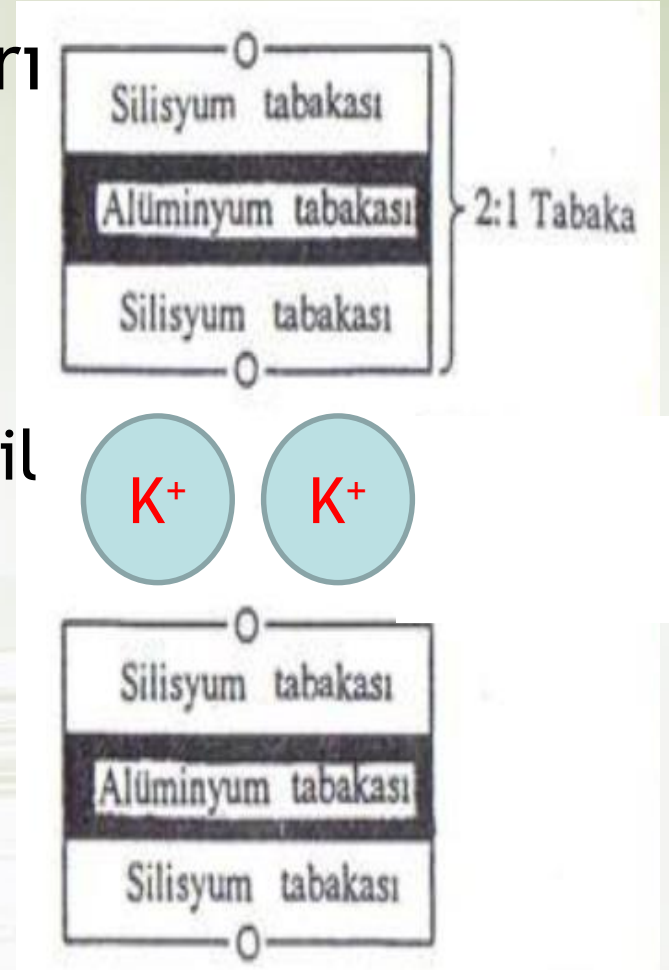
zayıf Van der Waal's bağı
(O - O köprüleri) ile
bağlanmıştır

II. Kristalin yapıda olanlar

B. Üç tabakalı olanlar (2:1 tipi)

2. Genişlemeyen kafes yapısı olanlar: Tabakaları arasında K^+ iyonları girer. Tabakaların bağlanmasını bu iyonlar sağladığından genişleyemez, yani su alınca şişmez.

- İllit grubu kil mineralleri olarak sınıflandırılır: İllit kil minerali



II. Kristalin yapıda olanlar

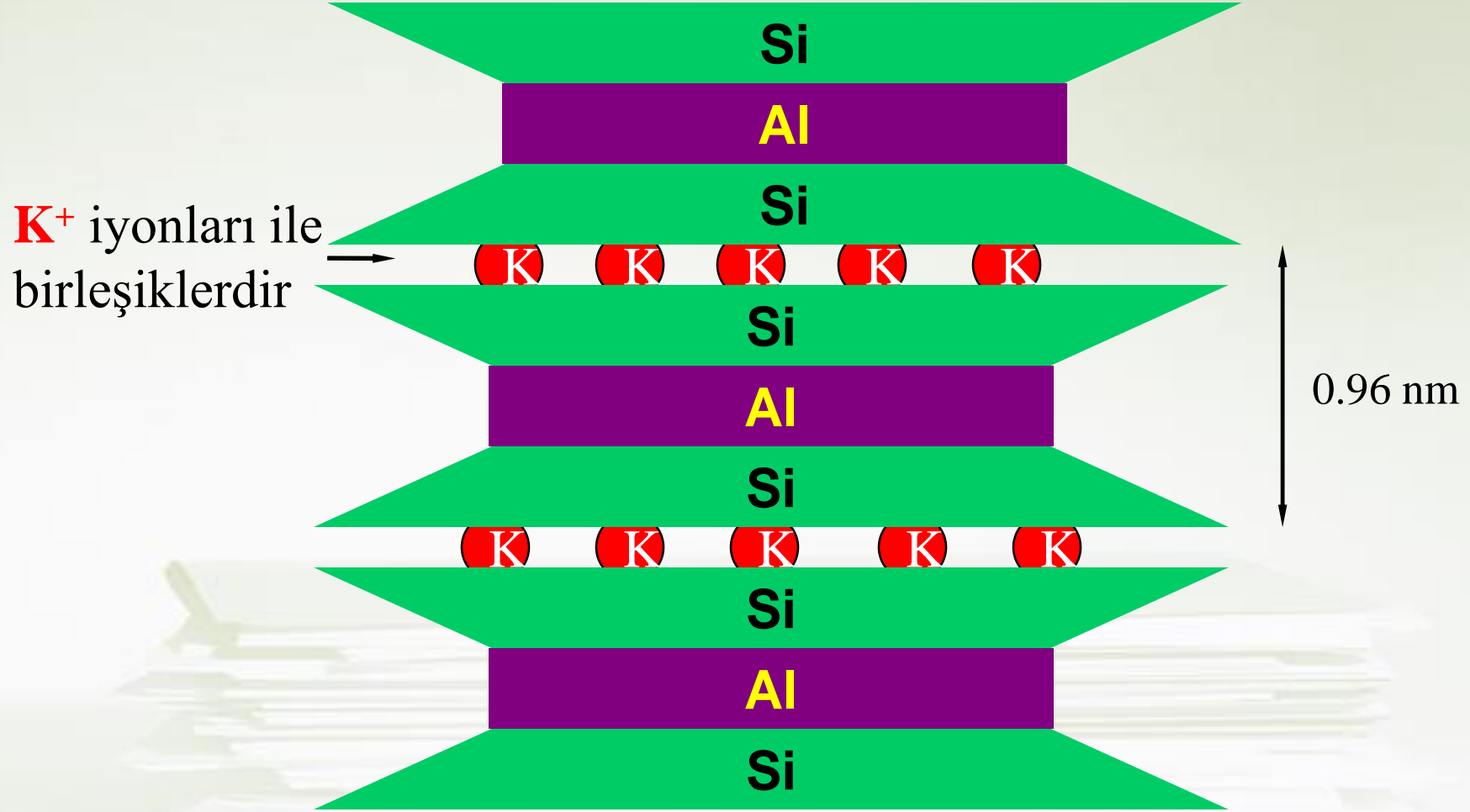
B. Üç tabakalı olanlar (2:1 tipi)

2. Genişlemeyen kafes yapısı olanlara örnek:

➤ İllit :

- İllit minerallerinin yapı özellikleri genellikle mika minerallerinin yapısına benzer.
- Muskovit ve Biyotitin ayrışmasıyla oluşur.
- İki silisyum tetraeder tabakası arasında yer alan alüminyum oktaederler şeklindedir (2:1).
- Potasyum (K^+) iyonlarının üniteler arasında köprü vazifesi görmesi ve bunları bağlamalarından dolayı genişlemezler.
- Su alımı, katyon adsorpsiyonu, şişme, çatlama, plastiklik ve dispers olma özellikleri kaolinite göre yüksek, montmorillonite göre düşüktür.

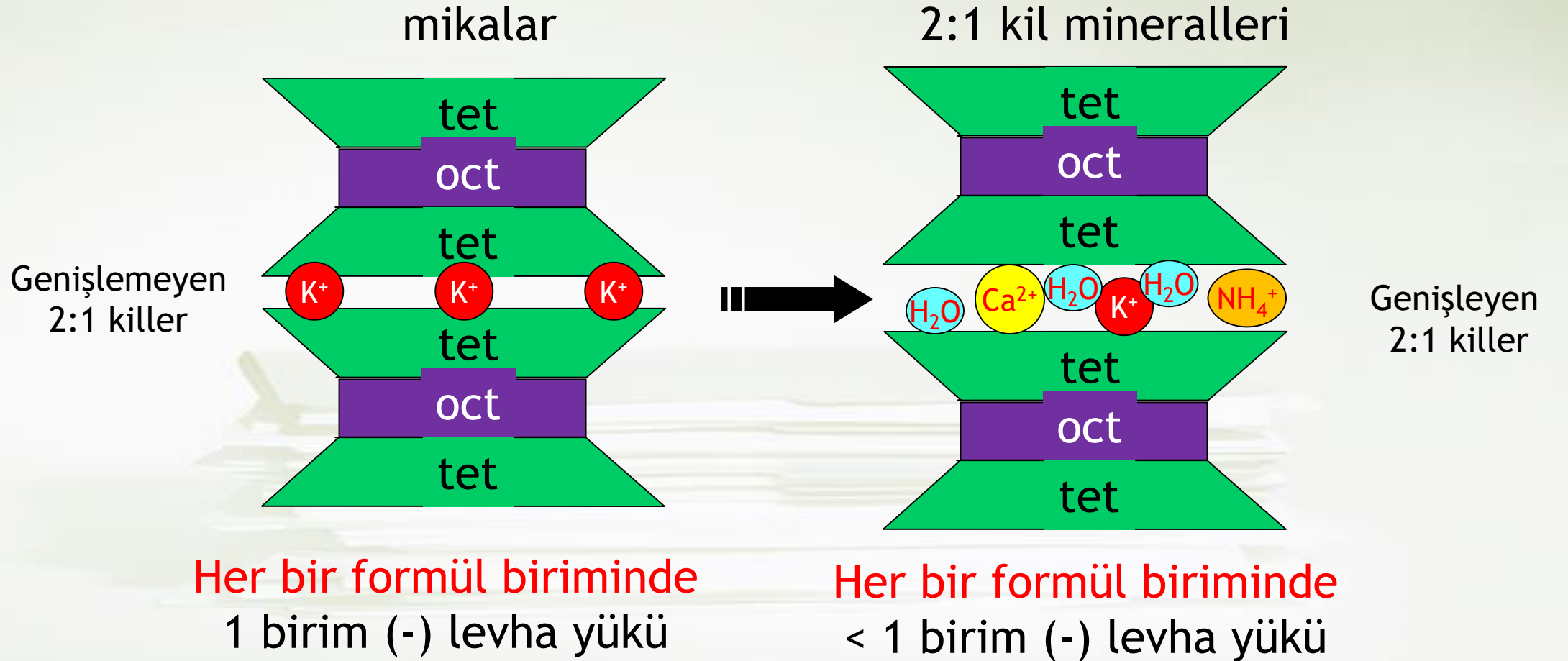
İllit



K⁺ iyonları büyüklüğü Si-tetra-eder levhalarındaki hegzagonal boşlulara tamamiyle uygundur

İnce-tabakalı silikatlar: yüklü 2:1 levhaları

Genişleyen ve genişlemeyen 2:1 tipi kil minerallerinin farkı



II. Kristalin yapıda olanlar

C. Karışık tabakalı olanlar

- Klorit grubu kil mineralleri olarak sınıflandırılır: Klorit minerali
- Bir 2:1:1 tipi kil mineralidir, levhalıdır.



D. Zincir yapıda olanlar

- Attapulgit; sepiolit zincir yapılı levha yapısı yoktur yani levhasızdır
- İğne benzeri bir görünüm sergiler.



Silikat Killerinin Negatif Yük Kaynakları

Killerin en önemli özellikleri olan iyon değişimi yapabilme kabiliyeti, onların **negatif elektrik yüküne sahip** olmaları ile mümkün olmaktadır. Silikat killerde 2 Şekilde negatif yük kazanımı söz konusudur:

1. Hidroksil grubunun açığa çıkması ile negatif yük kazanımı
2. İzomorfik (iyonik) yer değişimle negatif yük kazanımı

Diğer bir ifadeyle; Kil mineralleri iyonik yer değişirme veya OH gruplarındaki hidrojenlerin dissosiyasyonla negatif **yük** kazanmaktadır.

1. Hidroksil grubunun açığa çıkması ile yük kazanımı

- Tüm silikat killерinin kırılan kenar ve köşelerinde doymamış negatif yük alanları oluşur, yani OH⁻ grupları açığa çıkar. Bu oluşum pH değişimlerine bağlıdır, dolayısıyla pH'ya bağlı yükler de denir. Oksijenin bir valansı kristalin içindeki Al'a bağlı bulunmakta diğeri açıkta kalmaktadır. Açıkta kalan kısımda, özellikle yüksek pH derecelерinde, H⁺ ler dissosiyе olurlar ve oksijene bağlı negatif yük kazandırırılar.

Oksijenin bir valansı kristalin içindeki Al'a bağlı bulunmakta diğeri açıkta kalmaktadır

- O - H⁺

Negatif elektrik yüklü kristal yüzeyi

Gevşek tutulmuş değişebilir H⁺

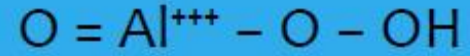
Bu şekilde negatif yük kazanımı çoğunlukla 1:1 tipi killerde görülür. Örneğin; Kaolinit killерinin düz olan dış yüzeylerinde meydana gelen kırılmalar OH⁻ gruplarını açığa çıkarır ve h⁺'nin disosyе olması ile negatif yük kazanır.

2. İzomorfik (iyonik) yer değişimle negatif yük kazanımı

- Kristal şebeke içinde, bir iyonun yerini, düşük değerlikli diğer birinin alması ile “(-) negatif” yük kazanımı gerçekleşir. Buna izomorfik yer değiştirme ile yük kazanımı denir.
- Bu yüklere, kristal kafese bağlı oldukları için **daimi** yani **“Permanent yük”** denir.
- Bu şekilde elde edilen yüklerle hem H^+ iyonları hem metalik iyonlar (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) değişim yapabilir.
- Bu şekilde yük kazanımı en çok 2:1 tipi kil minerallerinde görünür. Örneğin; montmorillonitte izomorfik yer değişim Al^{3+} levhalarında olur. İllitlerde ise Si^{4+} levhalarında olur. Bunlar Fe^{3+} ve Mn^{2+} ile yer değişim yapabilirler.

İzomorfik (iyonik) yer değişimle negatif yük kazanımı

Alüminyum levhası
İyon değişmesi yok



Fazla yük yok

Alüminyum levhası
Alüminyumun yerini Mg almış



Fazla 1 negatif yük var

Silis levhası
İyon değişmesi yok



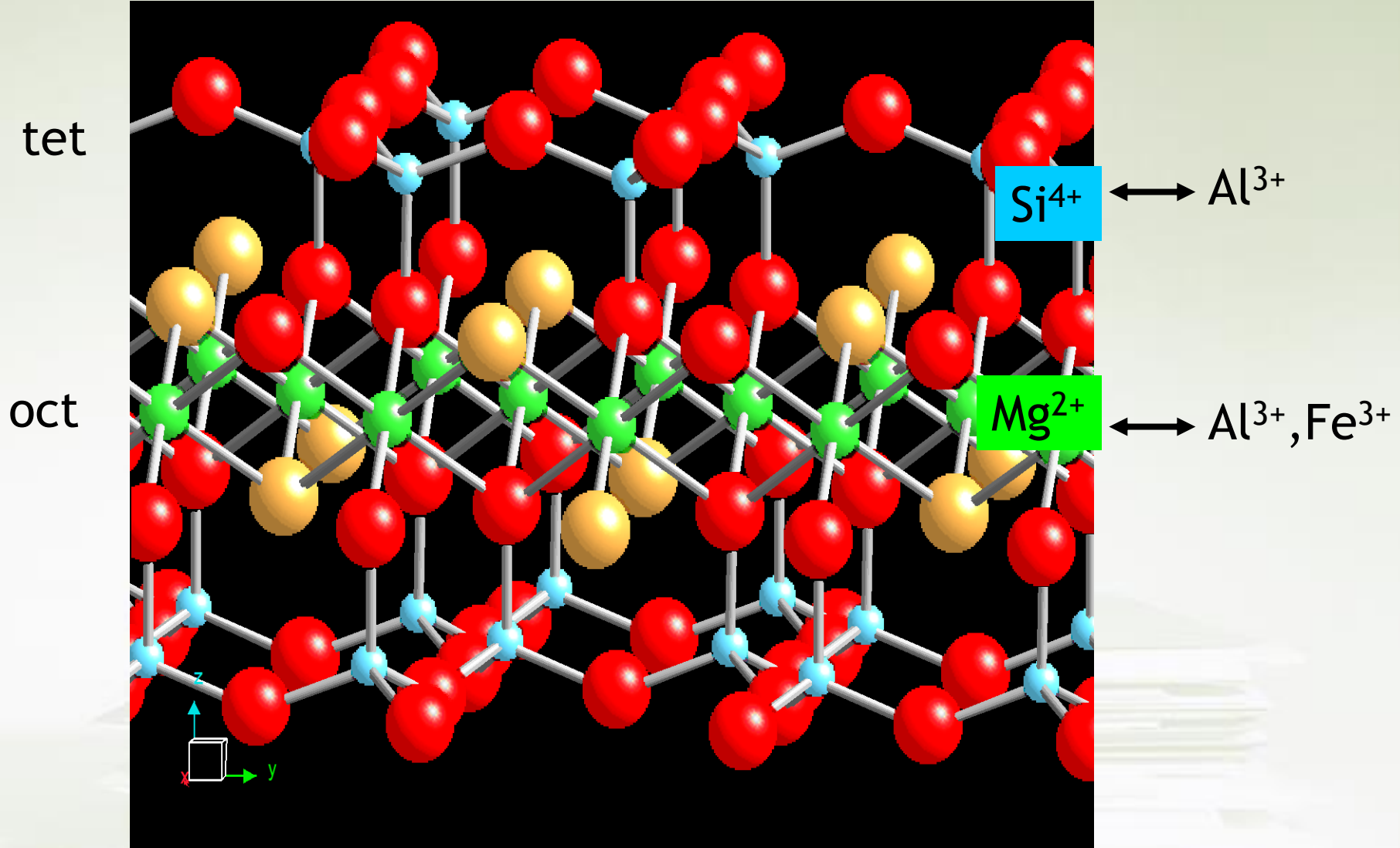
Fazla yük yok

Silis levhası
Si yerine Al geçmiş

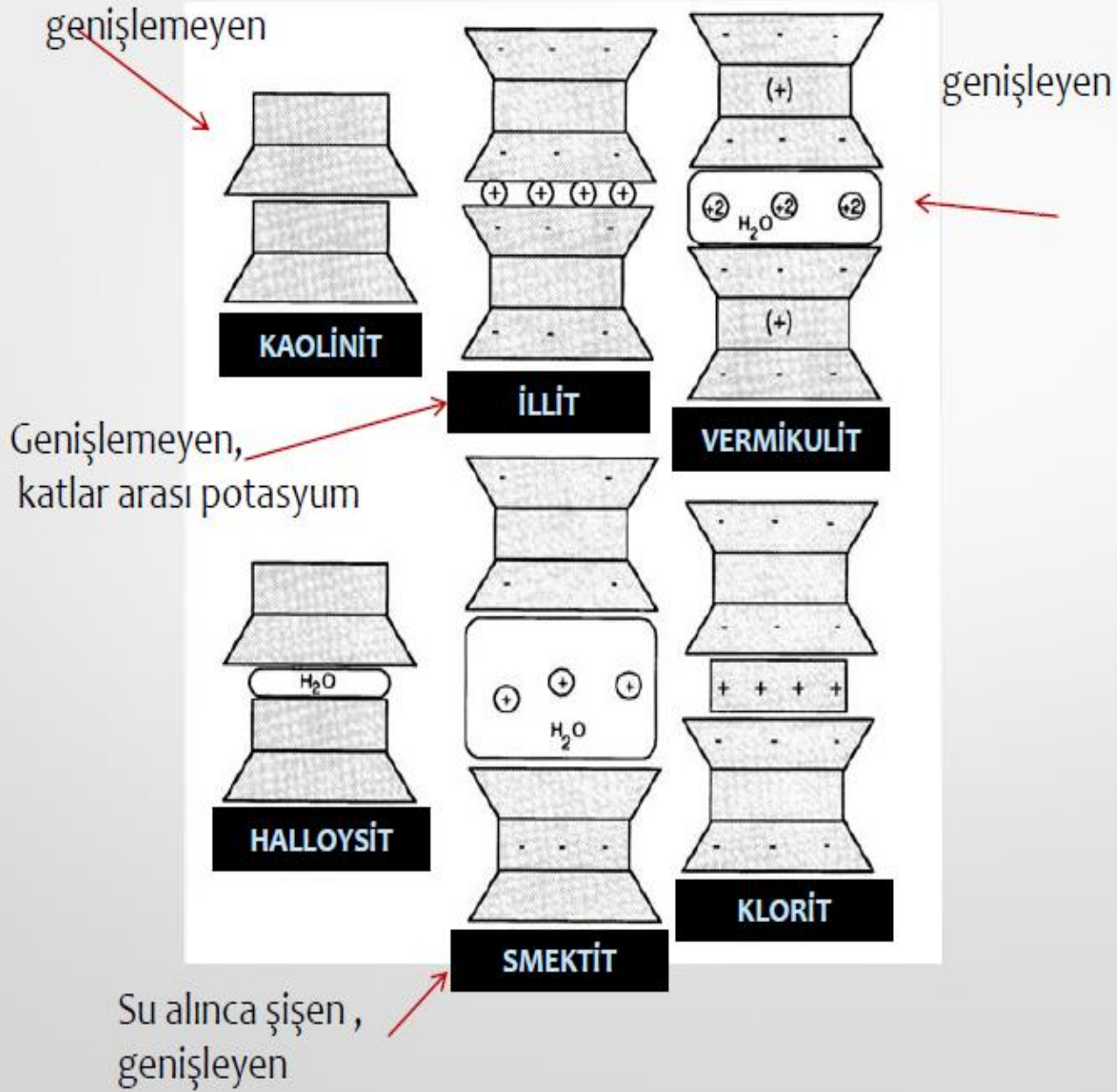


Fazla 1 negatif yük

İyonik Yer-değişirme



Kristal şebeke içinde, bir iyonun yerini, düşük değerlikli diğer birinin alması ile “-” yük kazanımı



Silikat Killerinin kimyasal yapılarındaki bu değişiklikler killerin fiziksel özelliklerine etki eder. Silikat killerinin fiziksel özellikleri:

- Plastiklik
- Çatlama ve Kohezyon
- Şişme
- Kümeleşme

Silikat Killerinin Fiziksel Özellikleri, birbiriyle yakından ilişkilidir ve ortamdaki suyun durumuna göre etkileşim halindedir

- **Plastiklik;** su ile temas eden kil minerallerin ezilip, yoğurulup, şekil alabilme yeteneğidir. Levhalar arasına su girmesi nedeniyle oluşur. Levhalar su ile karşılaştığında birbiri üzerinde hareket etmesinden kaynaklanır. Yükü fazla olan yüksek su tutma kapasitesine sahiptir. Ör; montmorillonit kaolinitten daha fazla su tutar, bu yüzden daha plastiktir. Plastiklik toprak strüktürünün değişmesine neden olabilir. Toprak işlemlerinde plastiklik özellik gösteren topraklar sorun oluşturur.
- **Çatlama ve Kohezyon;** plastiklikle yakından ilişkili özelliklerdir. Su alan kil, suyun ortamdaki uzaklaşmasıyla kurumaya, büzölmeye ve çatlamaya başlar ve yeni strüktürel şekiller oluşturur. Bu çatlamlar sırasında ortamdaki su moleküllerinin ayrılması sonucu kil tanelerinin birbirini karşılıklı çekmelerine yani kohezyonuna neden olur. Kuruyan kilin hacmi küçölür ve çatlaklar genişler. Ör; montmorillonit kaolinite göre daha fazla çatlama yeteneğindedir. İllit ise orta düzey çatlama yeteneği gösterir.

Silikat Killerinin Fiziksel Özellikleri, birbiriyle yakından ilişkilidir ve ortamdaki suyun durumuna göre etkileşim halindedir

- **Şişme;** killerin strüktürel üniteleri arasına suyun girmesi ile şişmesi olayıdır. Genişleme özelliği gösteren bir kilse, şişme özelliği fazladır. Ör; montmorillonit. Genişmeleyen özelliğe sahip bir kil ise, şişmez. Ör; kolinit. Uzun kuraklık dönemlerinde montmorillonit killi içeren topraklarda büyük çatlaklar oluşur. Gelen yağış bu çatlaklardan hızla toprak içine girer ve şişen killer çatlakları kapatıp toprağın geçirgenliğini azaltır.
- **Kümeleşme;** bir sıvı içinde katı halde askıda bulunan tanelerin birbirine bağlanması ve çökmesi olayına kümeleşme denir. Toprak çözeltisinde bulunan katyonların etkisiyle kil tanelerinde kümeleşmeler olur. Kümeleşmede, toprak katyonlarının çeşidi ile kolloidin tipi etkilidir. Katyonların; kümeleştirme özelliği bakımında büyükten küçüğe sıralaması: $H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$. Toprakta H ve Ca iyonlarının oranı yüksek ise bunlar kolloidlerle daha sıkı tutulur ve kümeleşme sağlar, dayanıklı agregat oluşturur. Fazla Na ise tam tersi bir etki ile kolloidlerin birbirinden uzaklaşmasına dispers olmasına neden olur. Organik kolloidlerin varlığı ise toprak tanelerinin kümeleşmesinde etkin bir role sahiptir

Kil Mineralleri - Fe ve Al hidros-oksit killeri

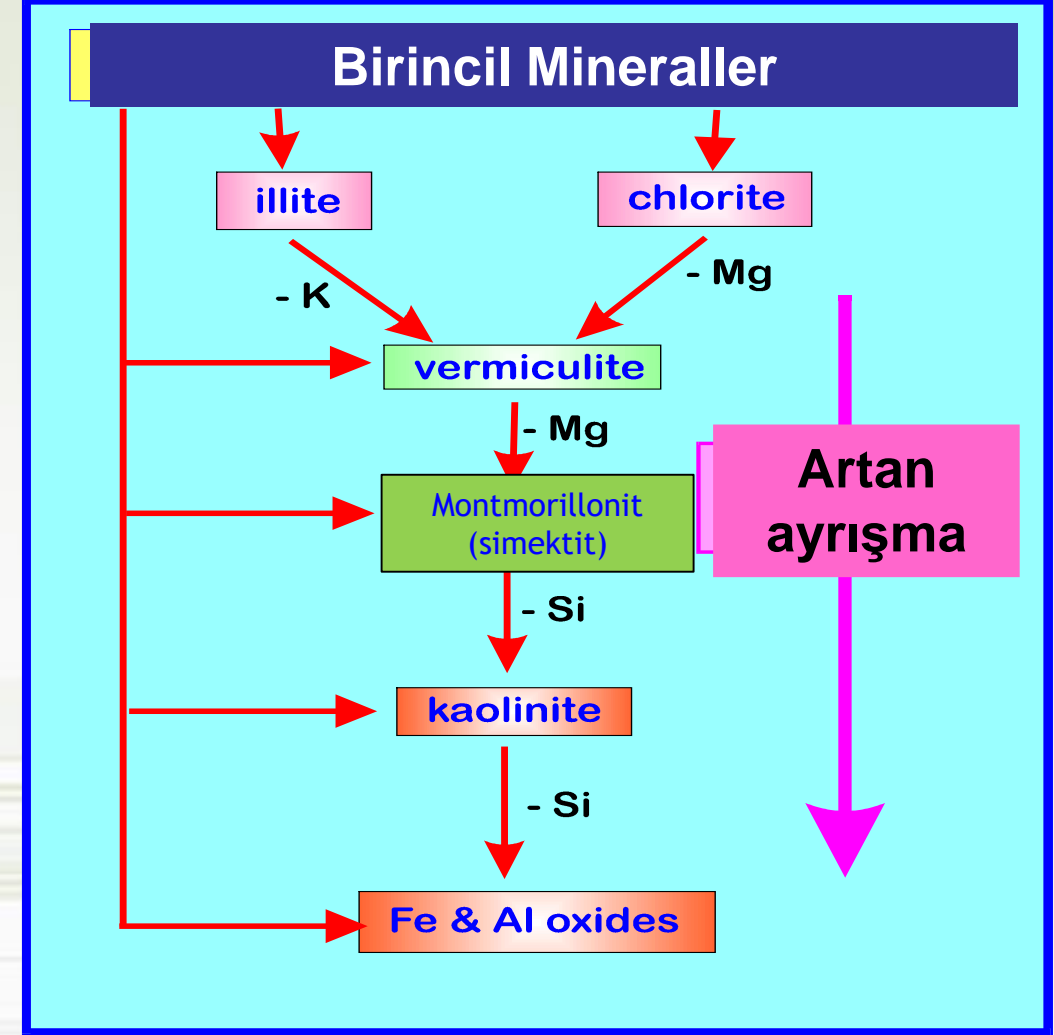
- Fe ve Al içeren primer minerallerin ayrışması ile açığa çıkarlar.
 - **Fe hidros-oksit killeri**; Götit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ve Limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) minerallerinin ayrışma ürünüdür.
 - **Al hidros-oksit killeri**; Gibsit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) mineralinin ayrışması sonucu oluşur.
- Silikat killere benzer bir kristal yapıya sahiptir. Benzer şekilde aktif yüzeyleri vardır ve ancak silikat killere göre daha az negatif yük taşımaktadır. Bu nedenle KDK'si kaolinitten bile daha küçüktür.
- Silikat killeri kadar yapışkan, plastik ve kohezif değildirler.
- Toprağın iyi fiziksel özelliklere sahip olmasını sağlarlar.
- Tropik ve yarı tropik bölgelerde, Latosollerde bulunurlar.

Killerin Oluşumu

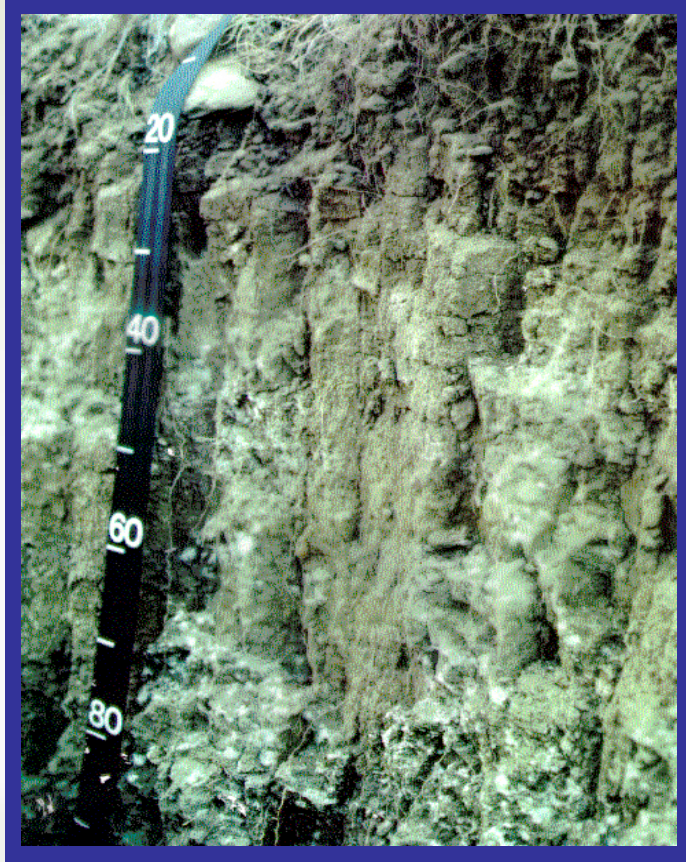
- Killerin oluşum ve oluşum süreçlerini kil mineralojisinin tespiti ile belirleriz.
- **Kil mineralojisi; primer minerallerin ayrışma süreçlerini yansıtır.**
- Silikat killeri, çeşitle primer silikat minerallerinden değişik iklim koşullarında oluşmaktadır.
- Oluşan killer daha fazla ayrışma ve değişimlere maruz kaldığında farklı kil tiplerine dönüşmektedir.

Mikalar → illit / Klorit → Vermikulit → Montmorillonit (Smektit) → Kaolinit → Al,Fe-Oksitler

- Genç killer, az ayrışmış topraklarda ince-taneli olan mika grubu illit ile klorit, vermikulit kil mineralleridir (Entisol, Inceptisol toprak sınıflarında görülür)
- Orta derecede ayrışmış topraklarda vermikulit, smektit, kaolinit kil mineralleri oluşur. (Vertisol, Mollisol, Alfisol, Ultisol toprak sınıflarında görülür)
- Tropik bölgelerde yüksek derecede ayrışmış topraklarda silis asitleri yıkanır geriye kaolinit kil mineralini izleyen oksihidrat killeri kalır (Ultisol--> Oxisol toprak sınıflarında görülür)



Smektit kil minerali içeren Toprak

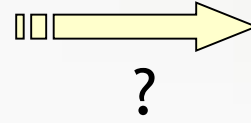


Vertisol Toprak Sınıfı

Demir ve Al-oksitçe Zengin Toprak



Oxisol Toprak Sınıfı



Mikalar → İllit / Klorit → Vermikulit → **Montmorillonit (Smektit)** → Kaolinit → **Al,Fe-Oksitler**

Toprakların Kimyasal Özellikleri-İyon Değişimi

- Toprak kolloidlerinin katyon ve anyonları (iyonları) adsorbe ederek (yüzeyine bağlaması) toprak çözeltisine başka iyonlar vermesi (desorbe etmesi-yüzeyinden bırakması) olayına **iyon değişimi** denir.
- İki şekilde gerçekleşir:
 1. Katyon değişimi
 2. Anyon değişimi



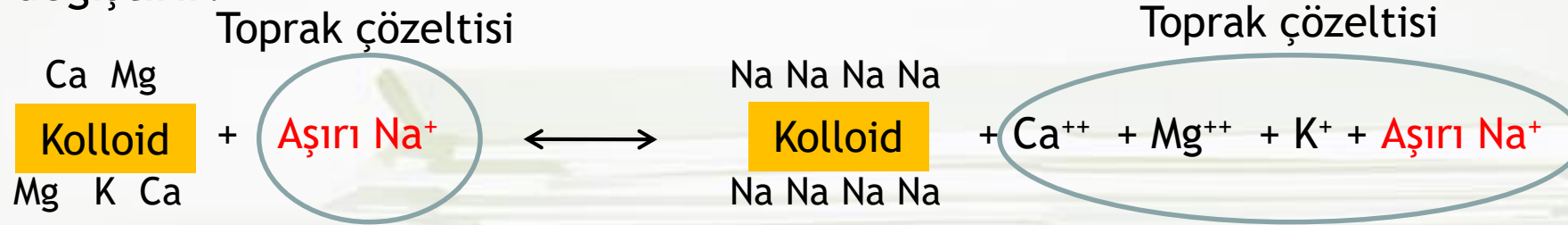
İyon tutulması ve değişimi

- Toprakların iyon değişimi ve iyon tutulumunda kolloidlerin negatif yük kaynakları etkilidir
 - İyonik yer değiştirme
 - Kırılmış bağlar (pH'ya bağlı yükleri)
 - Organik kolloidler
- Örneğin; toprak çözeltisinde pH düşerse, kolloid yüzeyindeki katyon toprak çözeltisine geçer ve kolloid toprak çözeltisinden H'ni bağlar. Toprak çözeltisinin pH'sı bir miktar yükselir ve çözeltiye besin maddesi sağlanmış olur. Reaksiyon tam tersi de olabilir.



İyon tutulması ve değişimini etkileyen etmenler

- **Katyonun tipi:** iyon değişimi katyonun değerliğine ve hidrate çapına göre değişir
 - Değerlilik; +1, +2, +3, +4 değerlikli olmaları: yüksek değerlikli ve yalın yarı çapları fazla ise yer değiştirme gücü yüksektir.
 - Hidrate (sulu) çapı: iyonlar değerliği kadar hidrate çapa sahiptir. İyonların yük ve hidrate çapına göre küçükten büyüğe sıralaması: $Li^+ < Na^+ < H^+ < K^+ < NH_4^+ \ll Mg^{2+} < Ca^{2+} < Al^{3+}$
- **Toprakta bulunan Katyonun derişimi (konsantrasyonu, yoğunluğu, miktarı):** toprak çözeltisinde herhangi bir iyonun konsantrasyonundaki artış kolloidlerin adsorbe ettiği iyonu değiştirir.



- **Toprak kolloidlerinin cinsi:** organik veya mineral (inorganik) kolloid olması tutulan katyonun miktarını etkiler
 - Humik maddeler-humus (organik kolloidler)
 - Kil mineralleri (mineral-inorganik kolloidler)

Toprakların Kimyasal Özellikleri-Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

- Topraklarda iyon değişimlerinin en önemli sonucu kolloid yüzeylerinde adsorbe edilmiş değişebilir katyonların toprak çözeltisinde bulunan katyonlarla yer değiştirmesidir. Buna **katyon değişimi** denir.
- Toprağın sahip olduğu negatif yükler nedeniyle tutabildiği yani adsorbe edebildiği değişebilir katyonların toplam miktarına **KATYON DEĞİŞİM KAPASİTESİ (KDK)** denir ve me/100g olarak ifade edilir.
- **me**:1 miliekivalan gram; 1 miligram H⁺ iyonu ile bağlanan veya onun yerine geçen diğer bir iyonun miktarıdır.
- Buna göre: bir toprağın KDK'sı 10 me/100 g olarak ifade edilmesi; 100 g toprağın 10 mg H⁺ veya ona eşdeğer katyonu tutabileceğinin göstergesidir.

KDK hesabı...

- **Örnek;** Bir toprakta tutulan bazik katyonların tamamının Ca olduğu varsayılırsa; 100 g toprak 300 mg Ca tutuyorsa bu toprağın KDK'sı nedir?

- Öncelikle 1 mg H ile yer değiştirecek Ca iyonunun miliekivalan ağırlığını bulmalıyız. Bunun için Ca'un atom ağırlığı 40 ve değeri +2 olduğuna göre;
 - $40:2 = 20$ mg Ca anlamına gelir. Yani 1 me Ca = 20 mg Ca demektir.

- Buna göre 100 g toprakta 1 me Ca 20 mg Ca ise

$$\begin{array}{r} x \qquad \qquad 300 \text{ mg Ca} \\ \hline \end{array}$$

$$\text{KDK} = 300/20 = 15 \text{ me}/100 \text{ g'dır.}$$

Toprak kolloidlerinin Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

Kaolinit	3-15 me/100g
İllit	10-40 me/100g
Klorit	10-40 me/100g
Montmorillonit	80-120 me/100g
Vermikulit	100-150 me/100g

KİL MİNERALLERİ = İNORGANİK KOLLOİDLER

Humus (Humik maddeler) KDK=300-1400 me/100g → ORGANİK KOLLOİDLER

KDK'ya etki eden toprak özellikleri

Kolloid tipinin etkisi

- Humus miktarı eşit olmak koşulu ile; aynı miktarda kil içeren toprağın sahip olduğu kilin tipi farklı ise KDK'sı değişir.
- Ör; humus ve kil miktarı aynı olan toprakları karşılaştıralım: montmorillonit kil tipine sahip olan toprağın KDK'si kaolinit kil tipine sahip olan toprağa göre 10-12 kat daha yüksektir.

Toprak tekstürü ve organik madde etkisi

- Kil tipi aynı kalmak koşulu ile; toprak tekstüründeki (bünyesindeki) kil oranının fazla olması toprağın KDK'sının yüksek olmasına neden olur.
- Ör; kumlu olan hafif bünyeli topraklarda kil kolloidleri ve humus (organik kolloidler) miktarı düşük olduğundan, killi olan ağır bünyeli topraklara göre KDK'si daha düşüktür.

Bir topraktaki kil oranı, kil tipi ve miktarı ile humus miktarı belirlendiğinde, o toprağın KDK'ni tahmin etmek mümkündür.

Toprak pH'sının etkisi: toprak pH'sında meydana gelen değişimler toprak kolloidlerinin adsorbe ettiği katyon tipinin değişmesine neden olur. Yüksek pH'larda bazik katyonlar, düşük pH'larda asidik katyonlar kolloid yüzeylerinde tutulur veya serbest bırakılır.

Toprakların Kimyasal Özellikleri-Bazla Doygunluk ve Hidrojenle Doygunluk

- KDK ile birlikte önem kazanan diğer kimyasal özellikler; toprakların bazla doygunluk yüzdesi ile hidrojenle doygunluk yüzdesi özellikleridir.
- **Bazla doygunluk yüzdesi:** Bir toprağın kolloidal komplekslerinin içerdiği değişebilir bazik katyonların (yani Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) katyon değişim kapasitesinin yüzdesi olarak ifade edilen miktarlarına **bazla doygunluk yüzdesi** adı verilir.
değişebilir bazlar / KDK x 100 olarak ifade edilir
- Bir toprağın bazla doygunluk yüzdesi 80 ise, kolloidin negatif yüklerinin % 80'i bazik katyonlar ile % 20'si asidik katyonlar (yani H^+) tarafından doyurulmuş demektir.
- **Hidrojenle doygunluk yüzdesi:** Bir toprağın kolloidal komplekslerinin içerdiği değişebilir hidrojenin kapasitesinin yüzdesi olarak ifade edilen miktarlarına **hidrojenle doygunluk yüzdesi** adı verilir.
değişebilir H / KDK x 100 olarak ifade edilir.

Bazla doygunluk (BD) hesabı....

Örnek; bir toprağın KDK'sı 16 me/100 g ve değişebilir bazik katyonların toplamı 12 me/100g ise Bazla doygunluk yüzdesi nedir?

$$BD = 12/16 \times 100 = \%75' \text{dir.}$$

Yani; toprağın katyon değişim kapasitesinin %75'ni bazik katyonlar (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), %25'ni asidik katyonlar (H^+ ve Al^{3+}) oluşturmaktadır.

KDK'ya bağlı hidrojen doygunluğu hesabı...

- **Örnek 1;** Hacim ağırlığı (HA) $1,25 \text{ g/cm}^3$ olan killi bir bir toprağın $\text{KDK}=10\text{me}/100\text{g}$ ise ve topraktaki değişebilir katyonların tamamının H olduğu varsayılırsa, bu toprağın kapladığı 1 dekar alandaki değişebilir H iyonları miktarı nedir?

➤ $\text{HA}=1,25 \text{ g/cm}^3$ olan toprağın 1 da arazinin 20 cm derinliğinde toprak miktarı 250.000 kg'dır.

➤ 1 da arazideki Toprak miktarı = 1000m^2 (1 da) x 0,20 m (20 cm derinlik) = 200.000 kg'dır

Buna göre; $\text{HA}=1,25 \text{ g/cm}^3$ olan toprağın miktarı = $200.000 \times 1.25 = 250.000 \text{ kg}$ topraktır.

➤ 1 me H= 1mg H iyonu olduğuna göre;

KDK'sı 10 me/100 g ise 100 g toprak 10 mg H iyonu tutabilir **veya değiştirebilir** demektir.

250.000 kg toprak 25kg H tutulabilir veya değiştirebilir anlamına gelir.

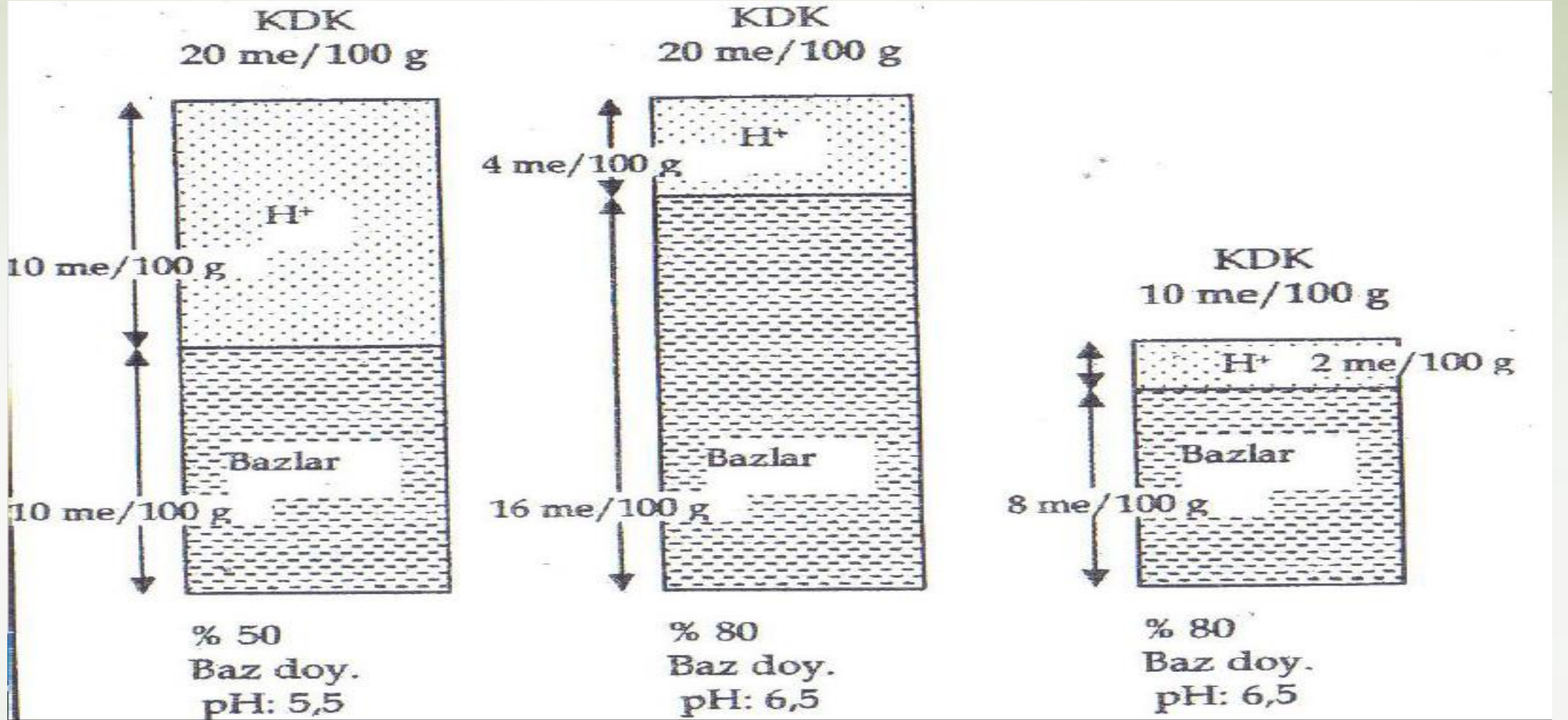
KDK'ya bağlı baz doygunluğu hesabı...

- **Örnek 1;** Hacim ağırlığı (HA) $1,25 \text{ g/cm}^3$ olan killi bir toprağın $\text{KDK}=10 \text{ me}/100 \text{ g}$ ise ve topraktaki değişebilir katyonların tamamının Ca olduğu varsayılırsa, bu toprağın kapladığı 1 dekar alandaki değişebilir Ca iyonları (tutulabilir) miktarı nedir?
- Öncelikle 1 mg H ile yer değiştirecek Ca iyonunun miliekivalan ağırlığı bulmalıyız. Bunun için Ca'un atom ağırlığı 40 ve değerliği +2 olduğuna göre;
 - $40:2 = 20 \text{ mg Ca}$ anlamına gelir. Yani 1 me Ca = 20 mg Ca demektir.
- Bu durumda KDK'sı $10 \text{ me}/100 \text{ g}$ ise $10 \text{ me} \times 20 \text{ mg Ca} = 200 \text{ mg Ca}$ anlamına gelir. **Yani 100 g toprakta 200 mg Ca tutulabilir veya değiştirebilir.**
- Buna göre
 - 100 g toprak 200 mg Ca iyonu tutabilirse
 - 250.000 kg toprak 500 kg Ca tutulabilir veya değiştirebilir anlamına gelir.

Bazla doygunluk-pH ilişkisi

- Kurak ve yarı kurak bölge topraklarında yıkanma olmadığından veya çok az olduğundan kolloidlerce tutulan bazik katyonların miktarı fazladır, buna karşılık H⁺ iyonu miktarı azdır. Bu nedenle bazla doygunluk %100'e ulaşır. Bu topraklarda toprak pH'sı genellikle 7'nin üzerinde olup, pH 8-10 arasında değişim gösterir.
- Yağışlı bölgelerde ise bazik katyonların yıkanmasının etkisiyle ortam hakimiyeti asidik katyonlara geçer. Bu durumda bazla doygunluk azalır ve H⁺ ile doygunluk artar. Sunucunda yağışlı bölge topraklarında %100' yakın H⁺ doygunluğu gözlenebilir.

Toprak pH'sı ile KDK-BD-HD arasındaki ilişki

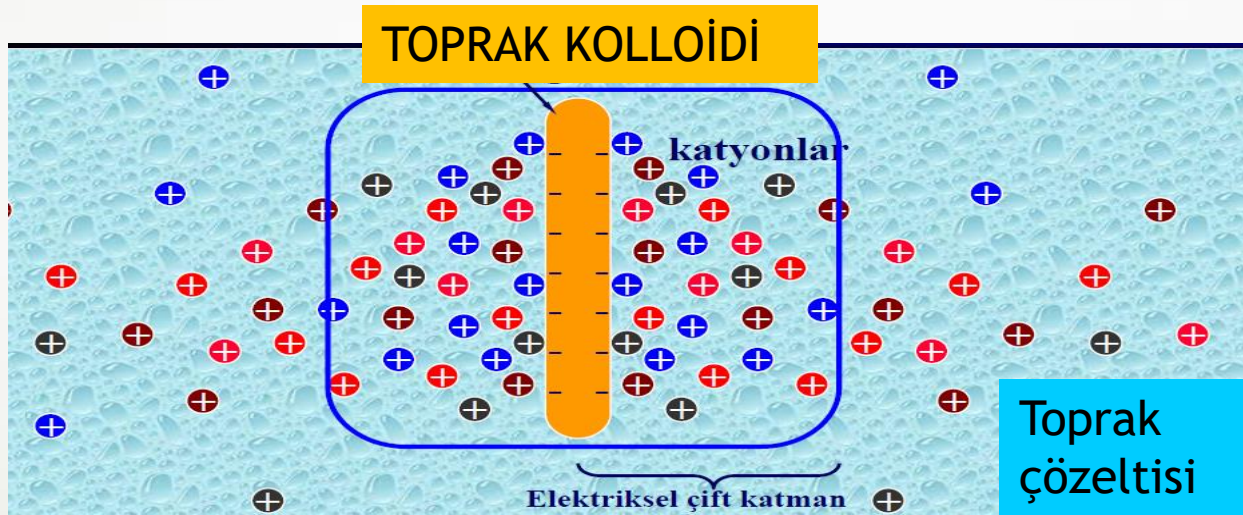


Çeşitli materyallerin KDK değerleri

Materyal	(me/100 gr kuru ağırlık)
Organik madde	150-500
Kaolinit	3-15
Halloysit	5-10
Hidrate halloysit	40-50
İllit	10-40
Klorit	10-40
Montmorillonit	80-150
Vermikulit	100-150 +
Allofan	25-70
Al ve Fe hidroksit	4
Feldispat	1-2
Kuvars	1-2
Bazalt	1-3
Zeolit*	230-620

Buraya kadar anlattıklarımızdan yapılacak çıkarımlar...

- Topraktaki besin maddelerinin yayılsılığı; toprak kolloidleri ve bunların KDK'sı ile toprak pH'sına ve nemine bağlıdır.
- Toprak pH'sı ve nem durumuna göre toprak kolloidleri tarafından adsorbe edilen iyonlar aynı zamanda toprak canlıları ve bitkiler için besin maddeleridir. Kolloidlerce adsorbe edilen iyonların miktarı besin maddelerinin yayılsılığının bir ölçüsüdür.



Ayrıca, topraktaki katyonların konsantrasyonu toprak kolloidlerinden uzaklaştıkça azalır. Bu durum toprak pH'sı ve yağışa bağlı olarak katyonların yıkanmasına neden olur.

Diğer bir ifade ile toprak kolloidleri toprakta besin maddelerinin tutulumunu sağlayan yani kaybını önleyen en önemli unsurlardandır.