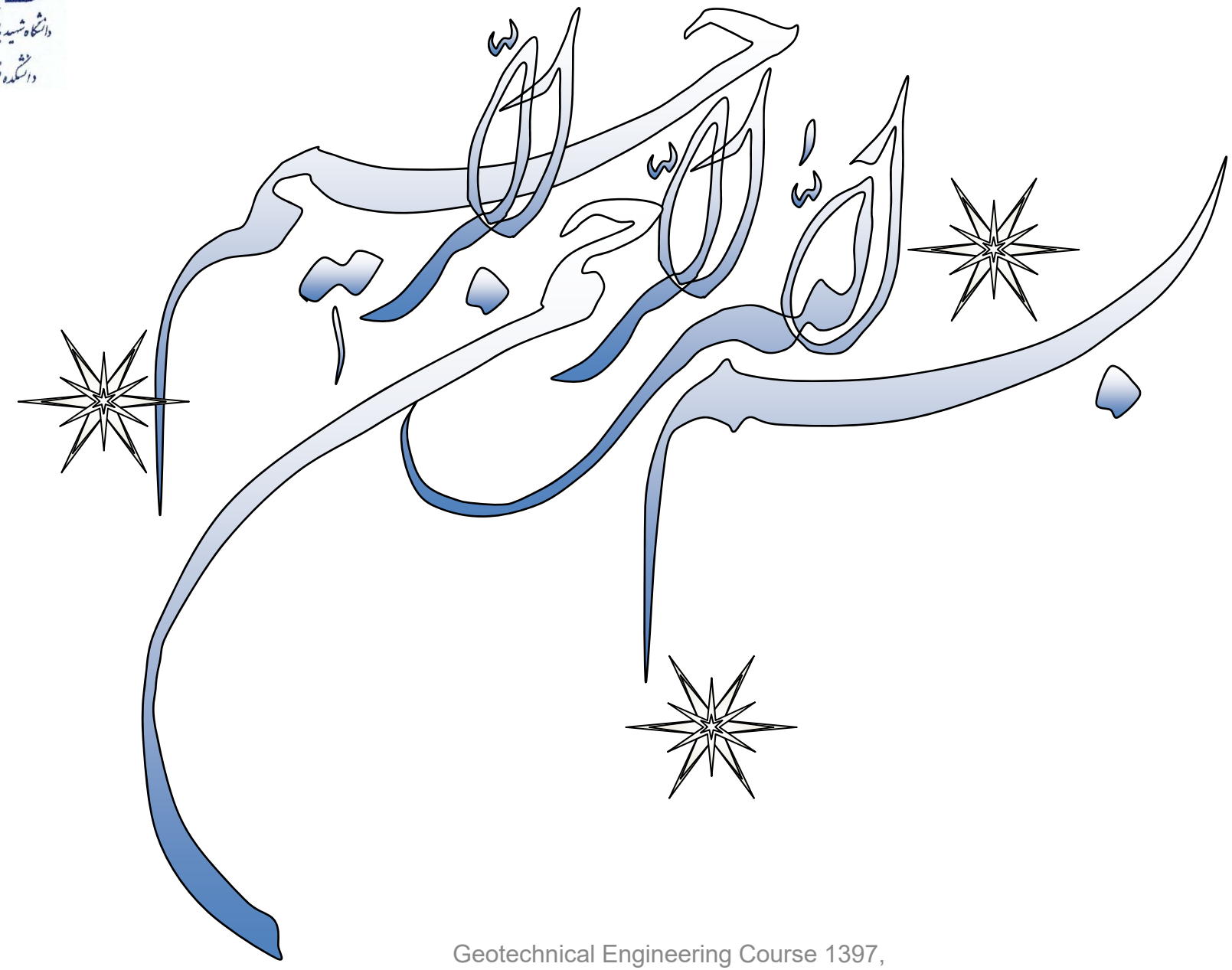


بسمه تعالی

دانشگاه شهید با هنر کرمان

دانشکدهٔ فنی و مهندسی – بخش مهندسی معدن

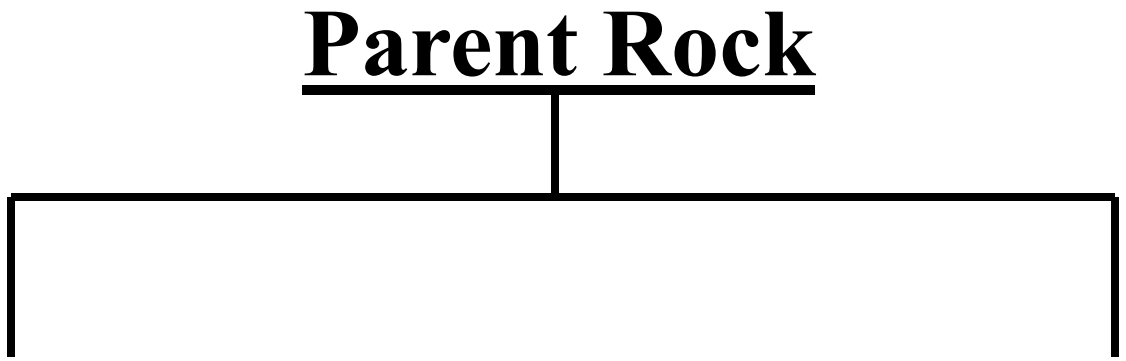
ترم دوم ۱۳۹۷

ژئوتکنیک

(۲)

سعید کریمی نسب

Soil Formation



Residual soil

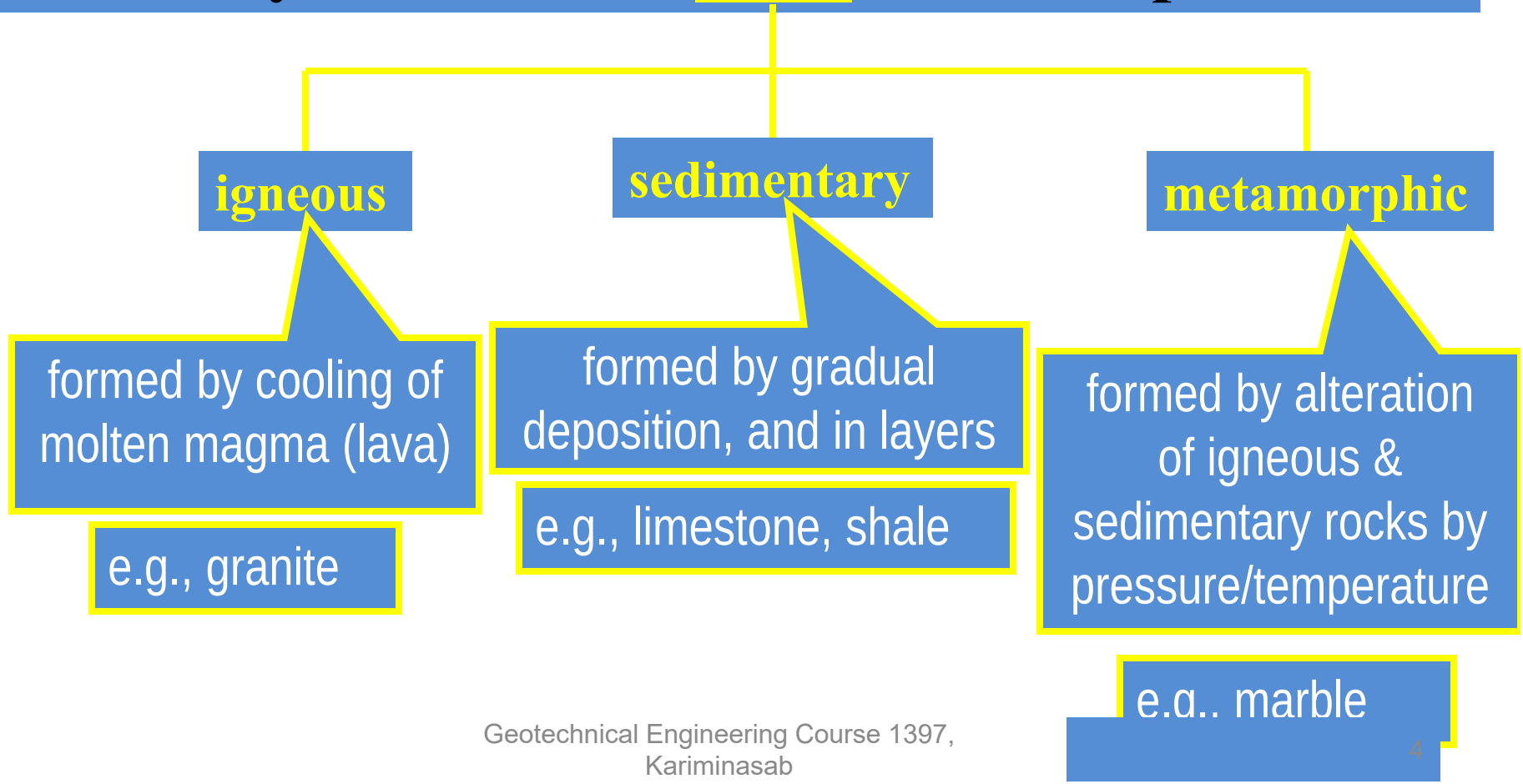
~ in situ weathering (by physical & chemical agents) of parent rock

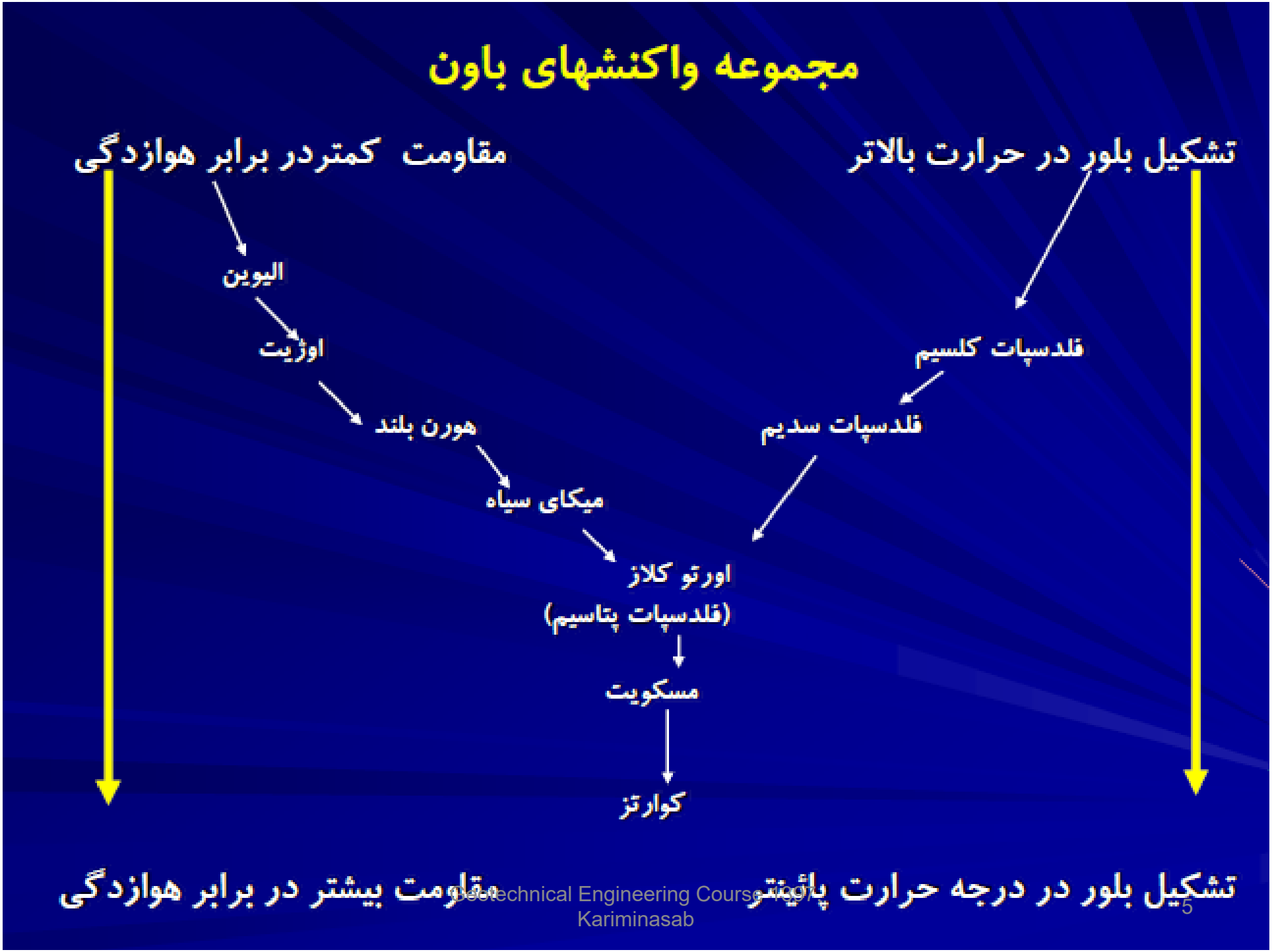
Transported soil

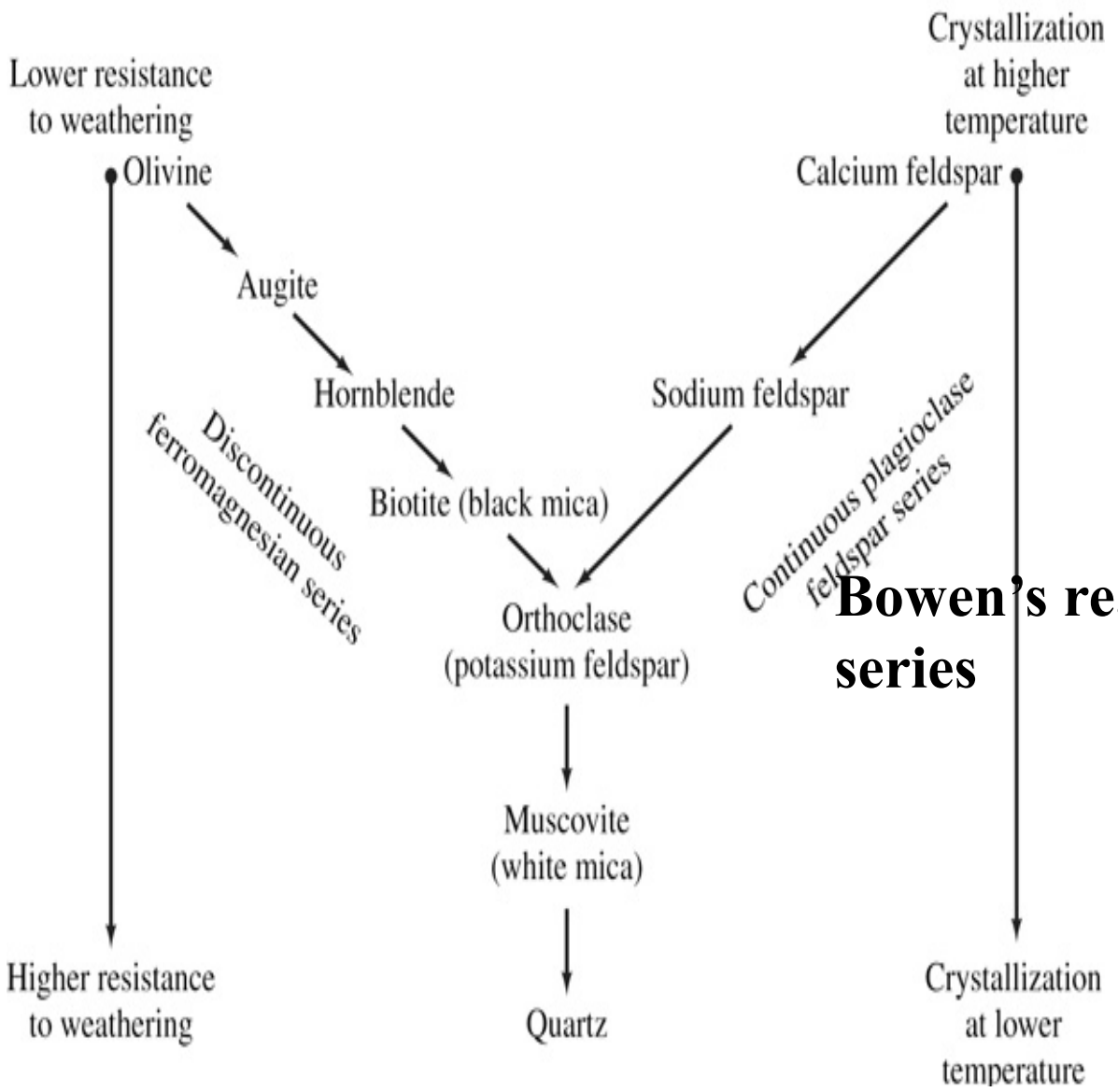
~ weathered and transported far away by wind, water and ice.

Parent Rock

~ formed by one of these three different processes

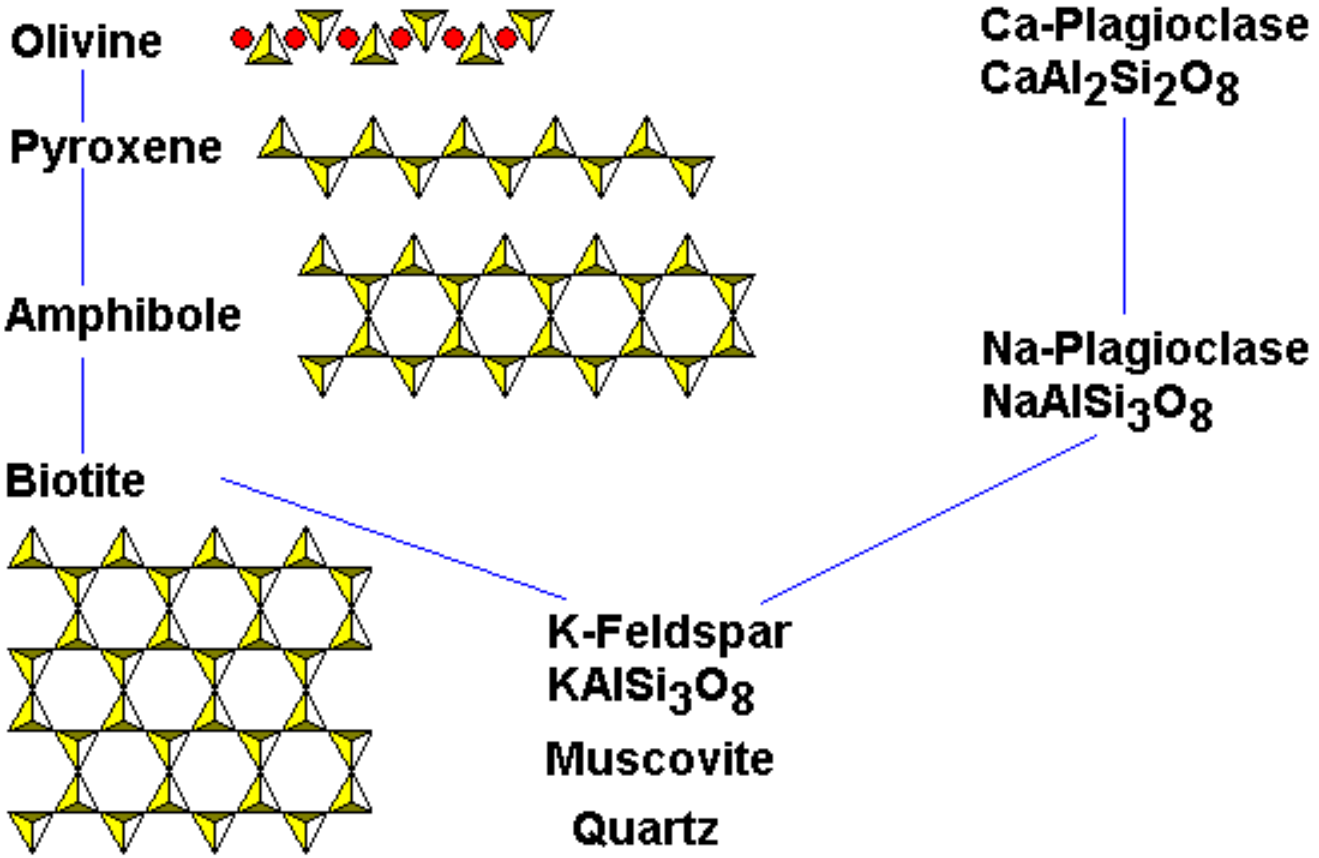



مجموعه واکنشهای باون
مقاومت کمتردر برابر هوازدگی
تشکیل بلور در حرارت بالاتر
الیوین
اوژیت
هورن بلند
میکای سیاه
فلدسپات کلسیم
فلدسپات سدیم
اورتو کلاز
(فلدسپات پتاسیم)
مسکویت
کوارتز
تشکیل بلور در درجه حرارت پائینتر
مقاومت بیشتر در برابر هوازدگی



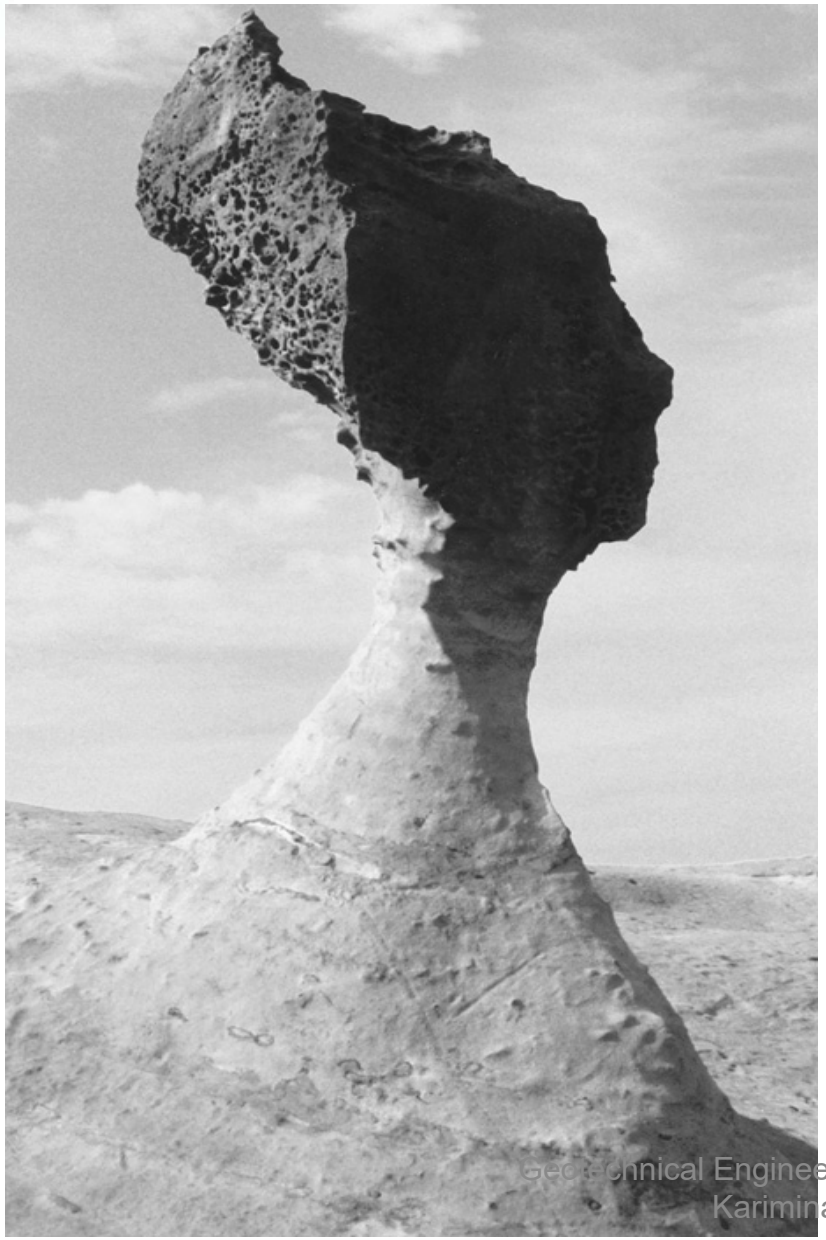
Bowen's reaction series

Bowen's Reaction Series





Mechanical erosion due to ocean waves and wind at Yehliu, Taiwan



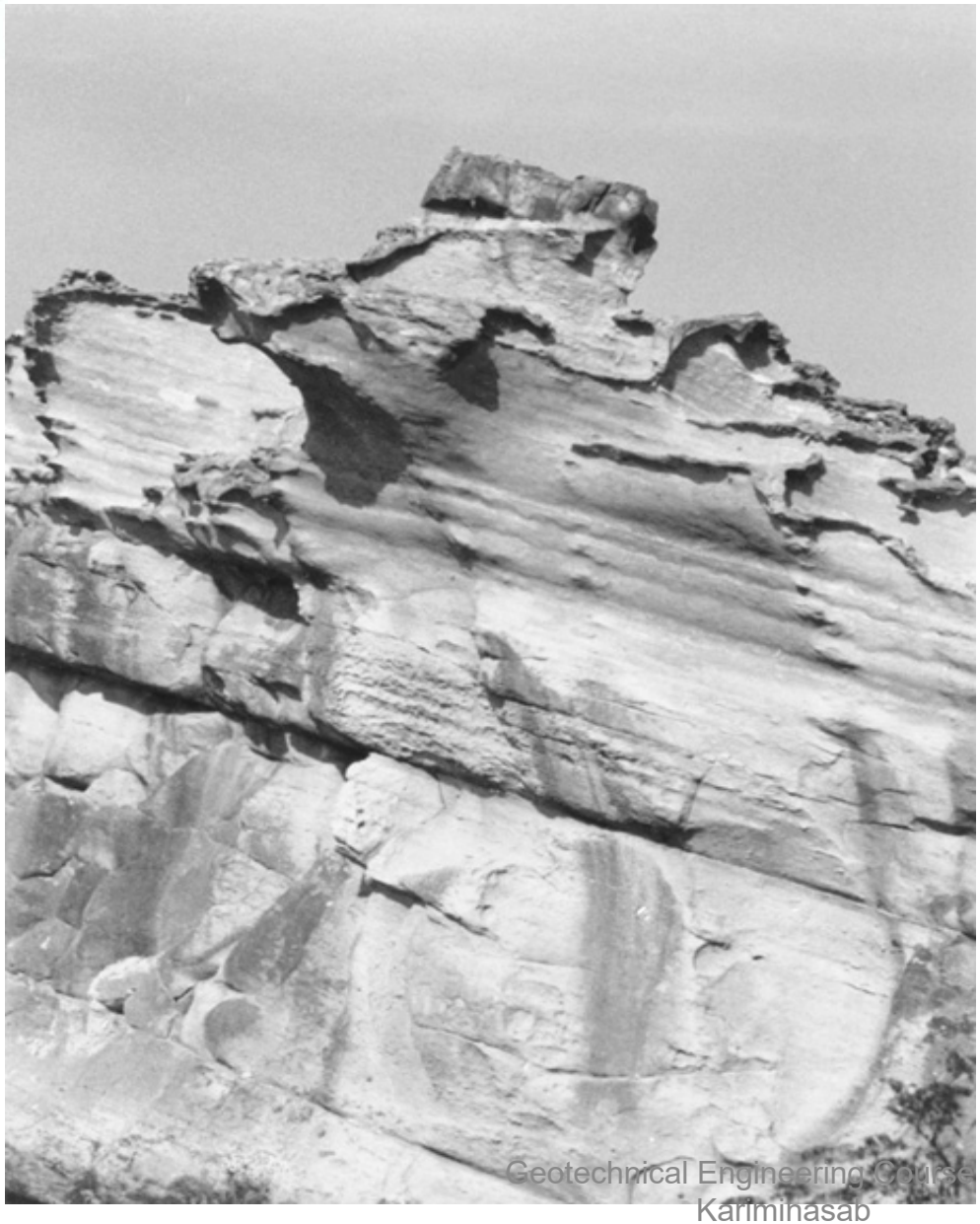
Mechanical erosion due to ocean waves and wind at Yehliu, Taiwan



Mechanical erosion due to ocean waves and wind at Yehliu, Taiwan



Mechanical erosion due to ocean waves and wind at Yehliu, Taiwan



Mechanical erosion due to ocean waves and wind at Yehliu, Taiwan



Mechanical erosion due to sea waves and wind at Qeshm, Iran

ذرات خاک و اندازه آنها

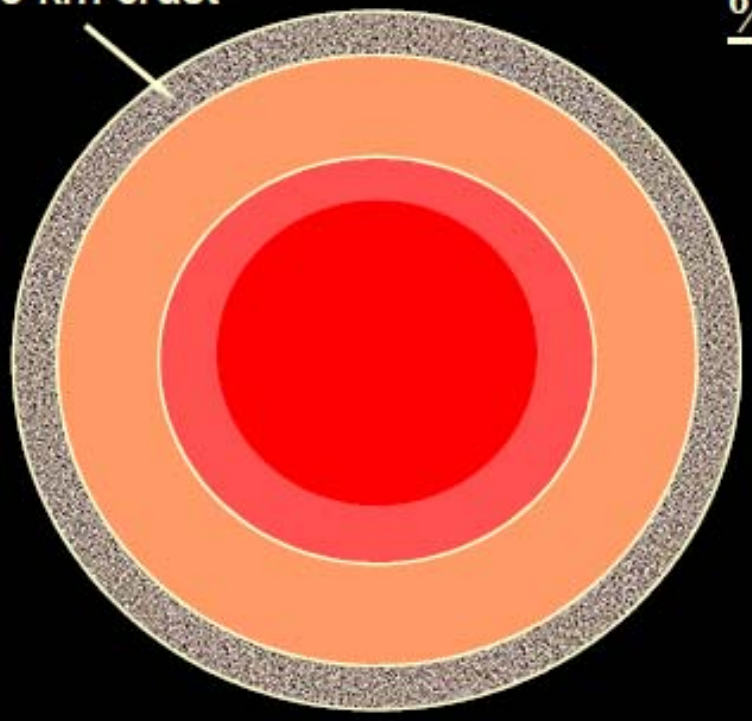
- شن ،ماسه،سیلت و رس را خاک می نامند، با توجه به اینکه کدامیک غالب باشند آنرا به آن نام می نامند .
- در مبحث مکانیک خاک، مهمترین طبقه بندی خاک، طبقه بندی بر مبنای اندازه ذرات دانه ها ست .
- این طبقه بندی تلویحاً کانیهای تشکیل دهنده خاک را نیز شامل می شود.در حال حاضر حدود پیشنهادی توسط سیستم طبقه بندی متحد مکانیک خاک متداولترین است که در مورد پذیرش اداره استاندارد آمریکا ASTM قرار گرفته است.

طبقه بندی متحد (یونیفاید)

رس و لای	< 0.075 mm
ماسه	0.075 - 4.75 mm
شن	4.75 – 76.2 mm

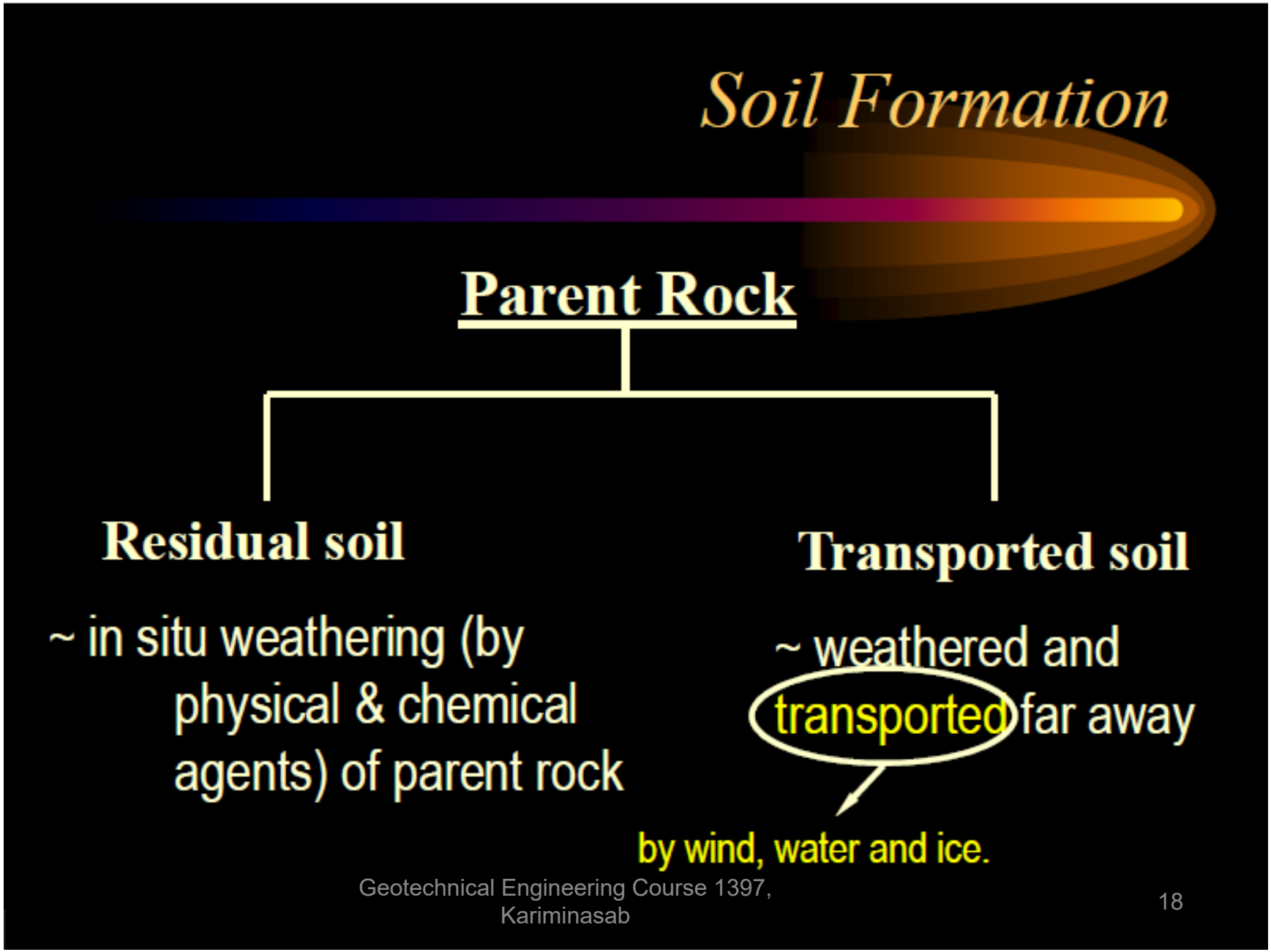
Clay Mineralogy

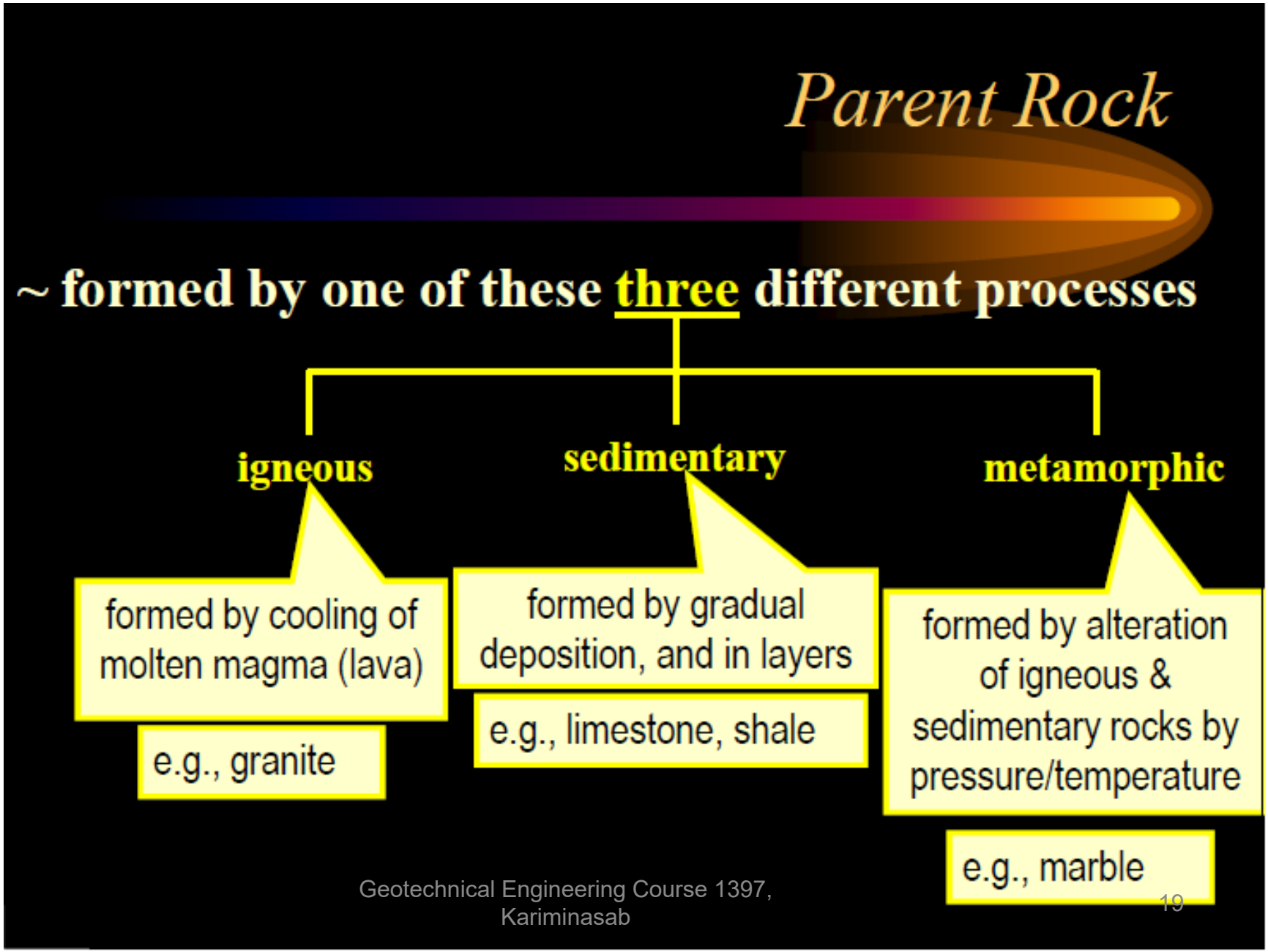
Elements of Earth



% by weight in **crust**

O	= 49.2	82.4%
Si	= 25.7	
Al	= 7.5	
Fe	= 4.7	
Ca	= 3.4	
Na	= 2.6	
K	= 2.4	
Mg	= 1.9	
other	= 2.6	


Soil Formation
Parent Rock
Residual soil
~ in situ weathering (by physical & chemical agents) of parent rock
Transported soil
~ weathered and transported far away
by wind, water and ice.


Parent Rock
~ formed by one of these three different processes
igneous
sedimentary
metamorphic
formed by cooling of molten magma (lava)
e.g., granite
formed by gradual deposition, and in layers
e.g., limestone, shale
formed by alteration of igneous & sedimentary rocks by pressure/temperature
e.g., marble

Residual Soils

Formed by in situ weathering of parent rock

Transported Soils

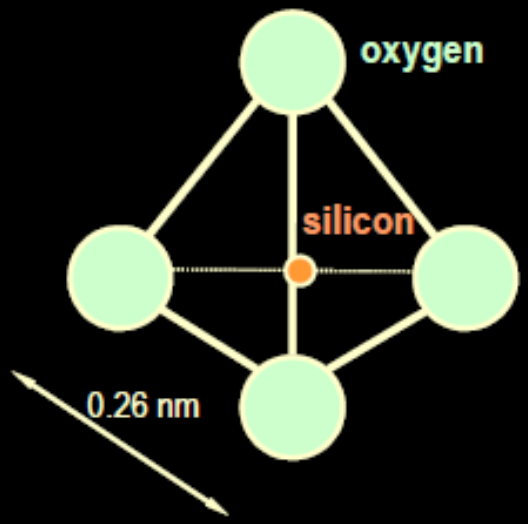
Transported by:	**Special name:**
➢ **wind**	**"Aeolian"**
➢ **sea (salt water)**	**"Marine"**
➢ **lake (fresh water)**	**"Lacustrine"**
➢ **river**	**"Alluvial"**
➢ **ice**	**"Glacial"**

Atomic Structure

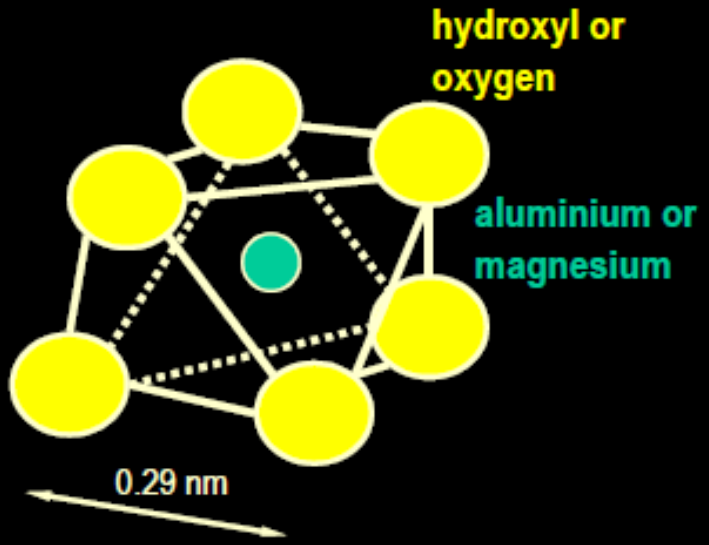


Basic Structural Units

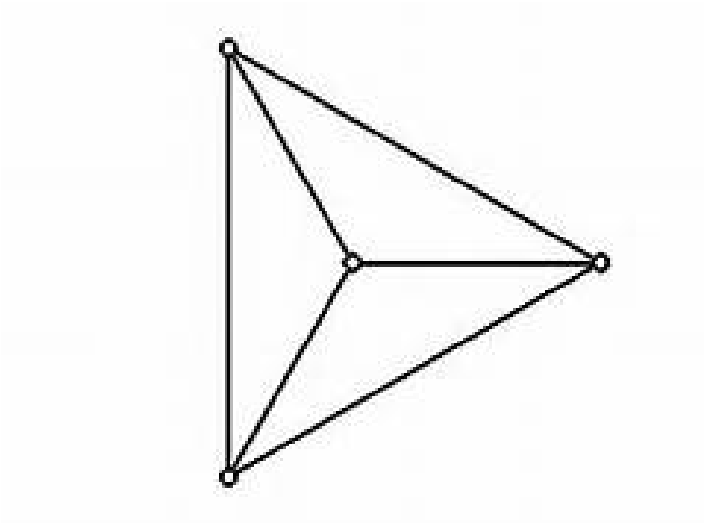
Clay minerals are made of two distinct structural units.

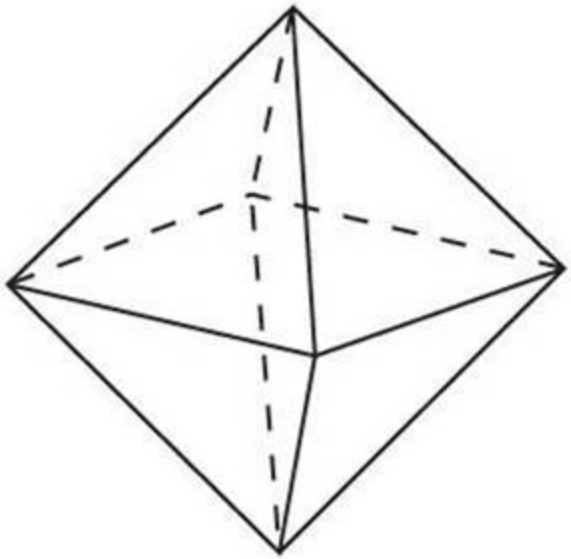


Silicon tetrahedron



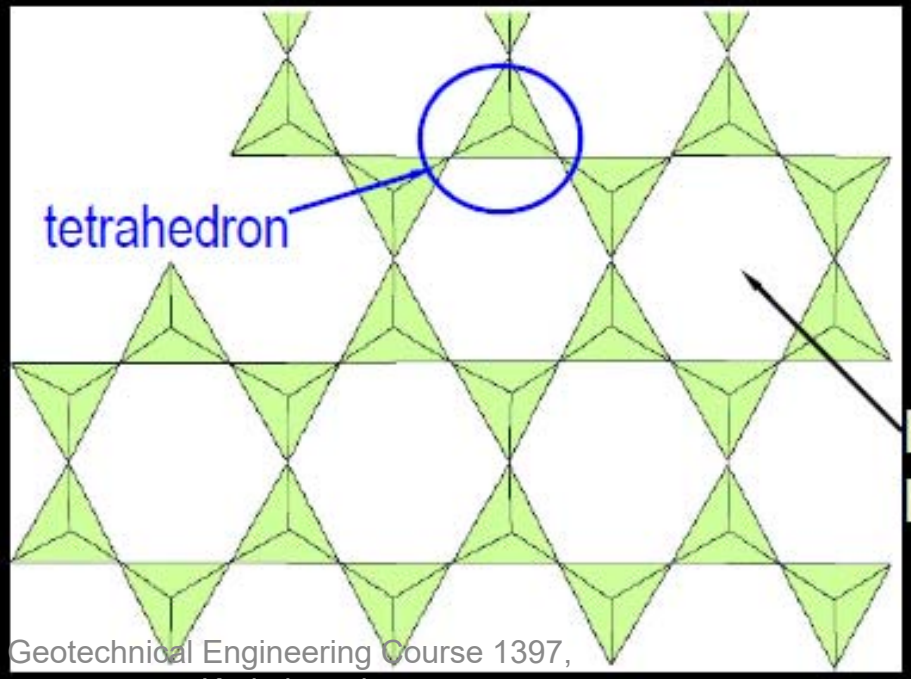
Aluminium Octahedron





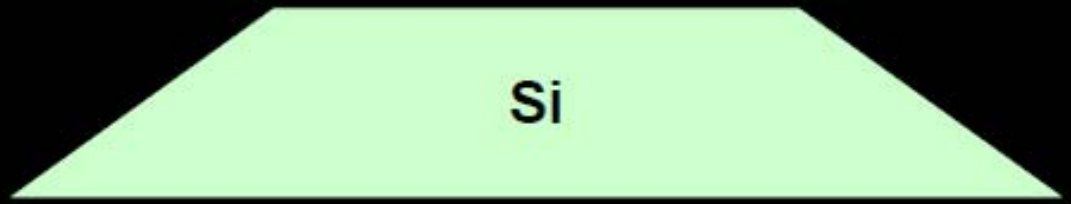
Tetrahedral Sheet

Several tetrahedrons joined together form a tetrahedral sheet.



Tetrahedral & Octahedral Sheets

For simplicity, let's represent silica **tetrahedral sheet** by:



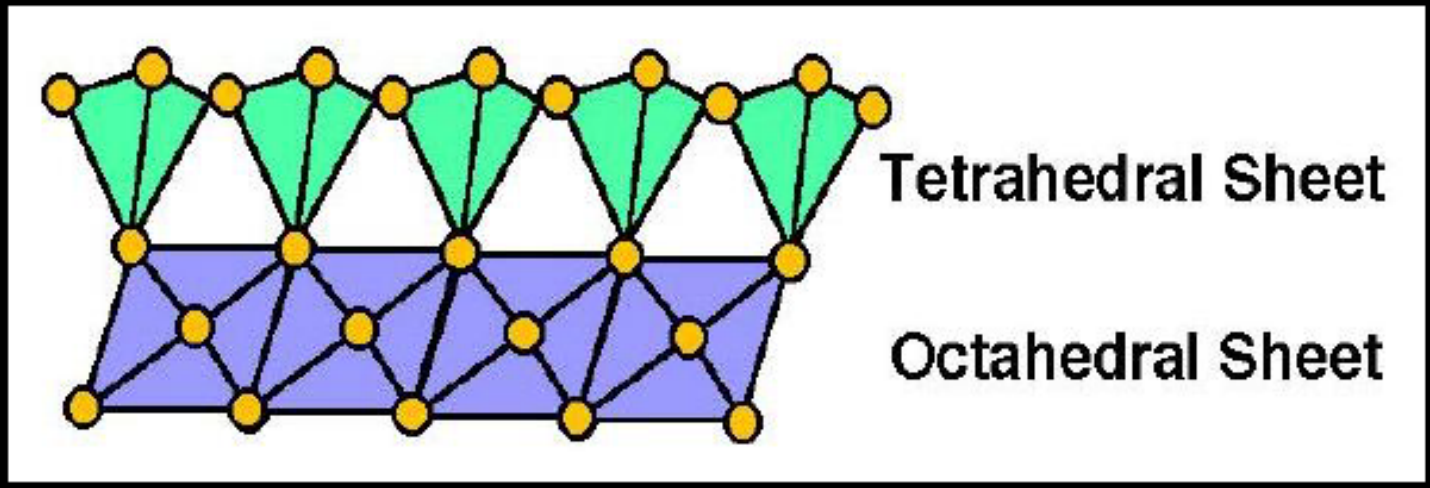
and alumina **octahedral sheet** by:



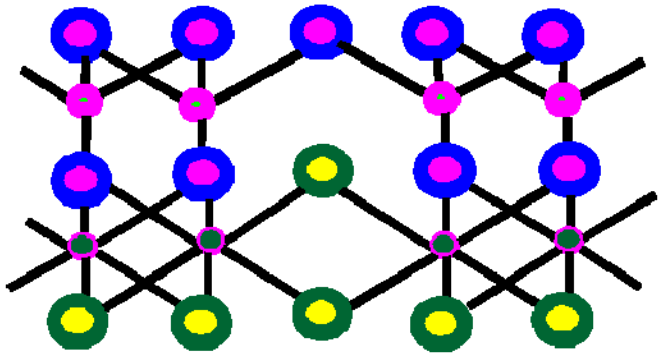
Different Clay Minerals

Different combinations of tetrahedral and octahedral sheets form different clay minerals:

1:1 Clay Mineral (e.g., kaolinite, halloysite):



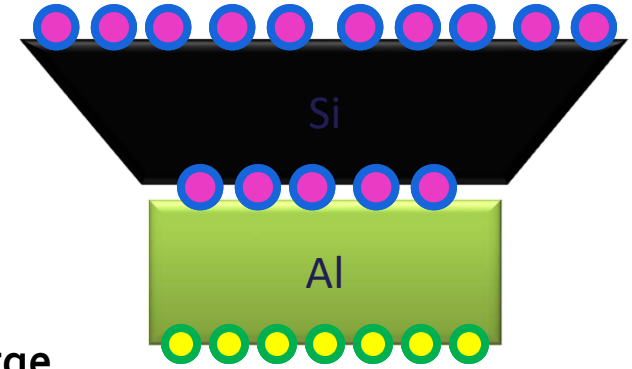
How clays are forming basically ?



Exposed Oxygen

Shared Oxygen

Balance Oxygen Charge

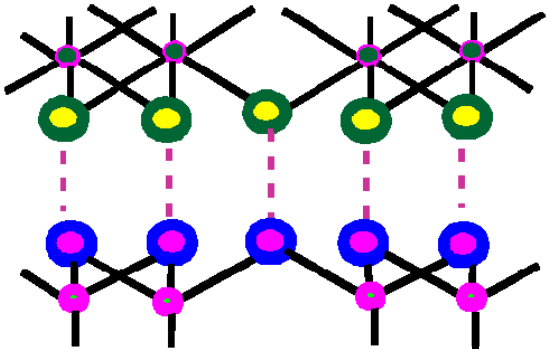


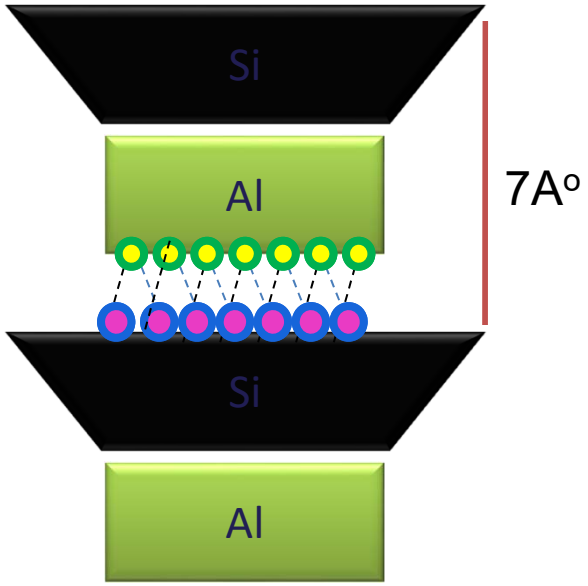
Clays unit structure

Clay Types

- **A) 1:1 Type Minerals**

  Mostly Kaolinite





Hydrogen bonding between layers. This gives 1:1 type minerals a very rigid structure .

clays

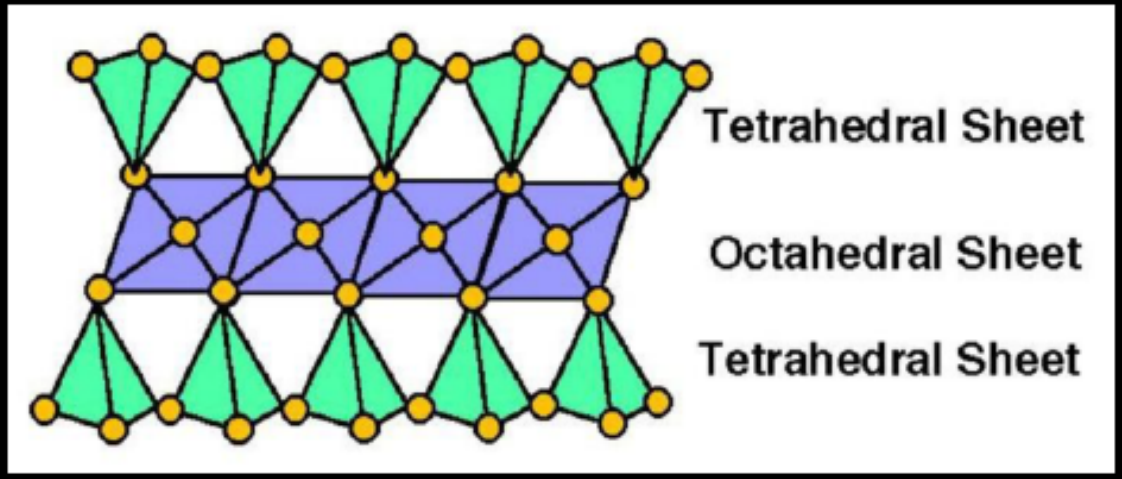
Well crystallized

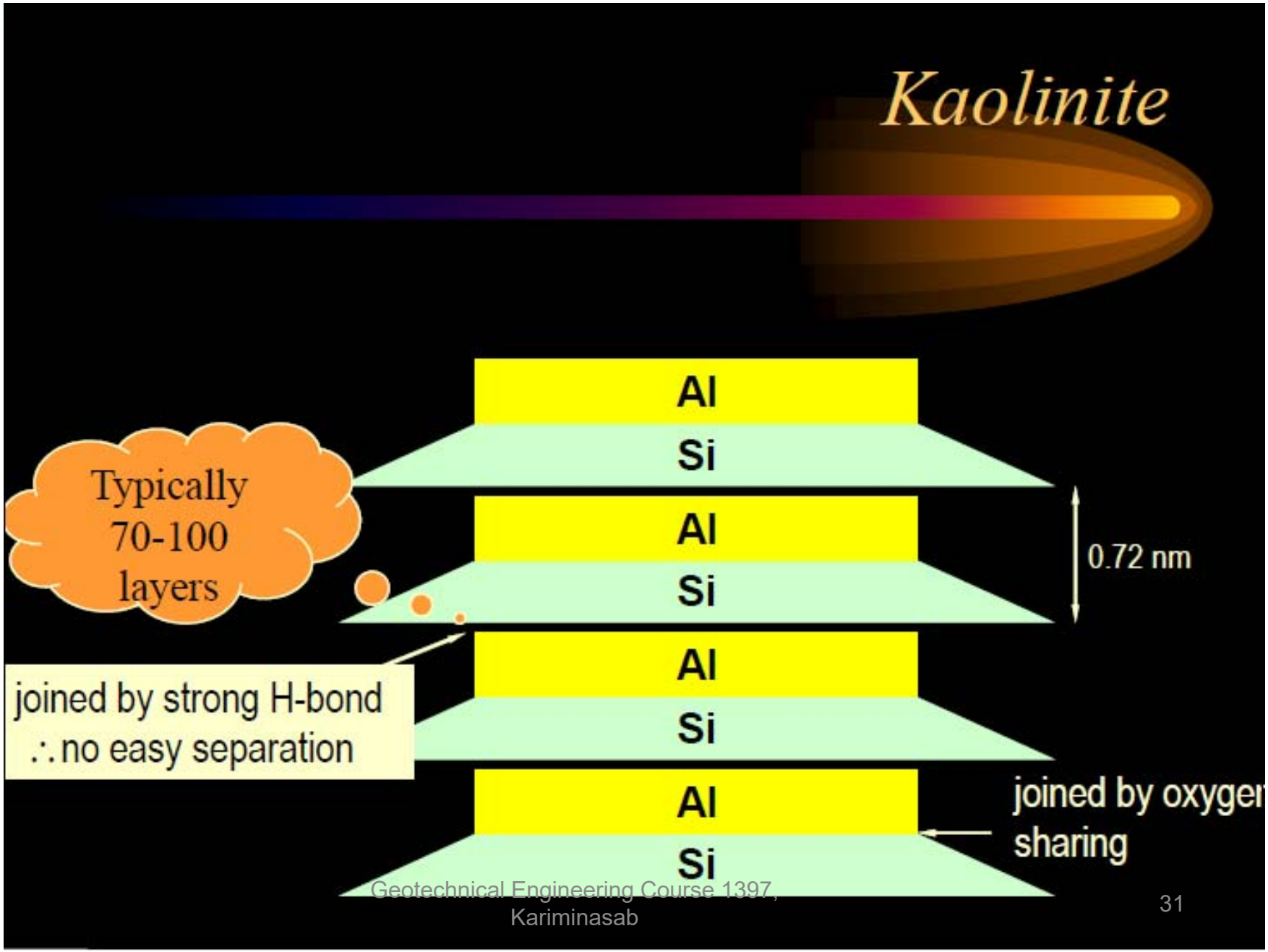
- ✓**Low cation adsorption**
- ✓**Little isomorphous substitution**
- ✓**Larger particle size (0.1 - 5 m m)**

Different Clay Minerals

Different combinations of tetrahedral and octahedral sheets form different clay minerals:

2:1 Clay Mineral (e.g., montmorillonite, illite)




Kaolinite
Al
Si
Al
Si
Al
Si
Al
Si
0.72 nm
Typically
70-100
layers
joined by strong H-bond
∴ no easy separation
joined by oxygen
sharing

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی

Kaolinite

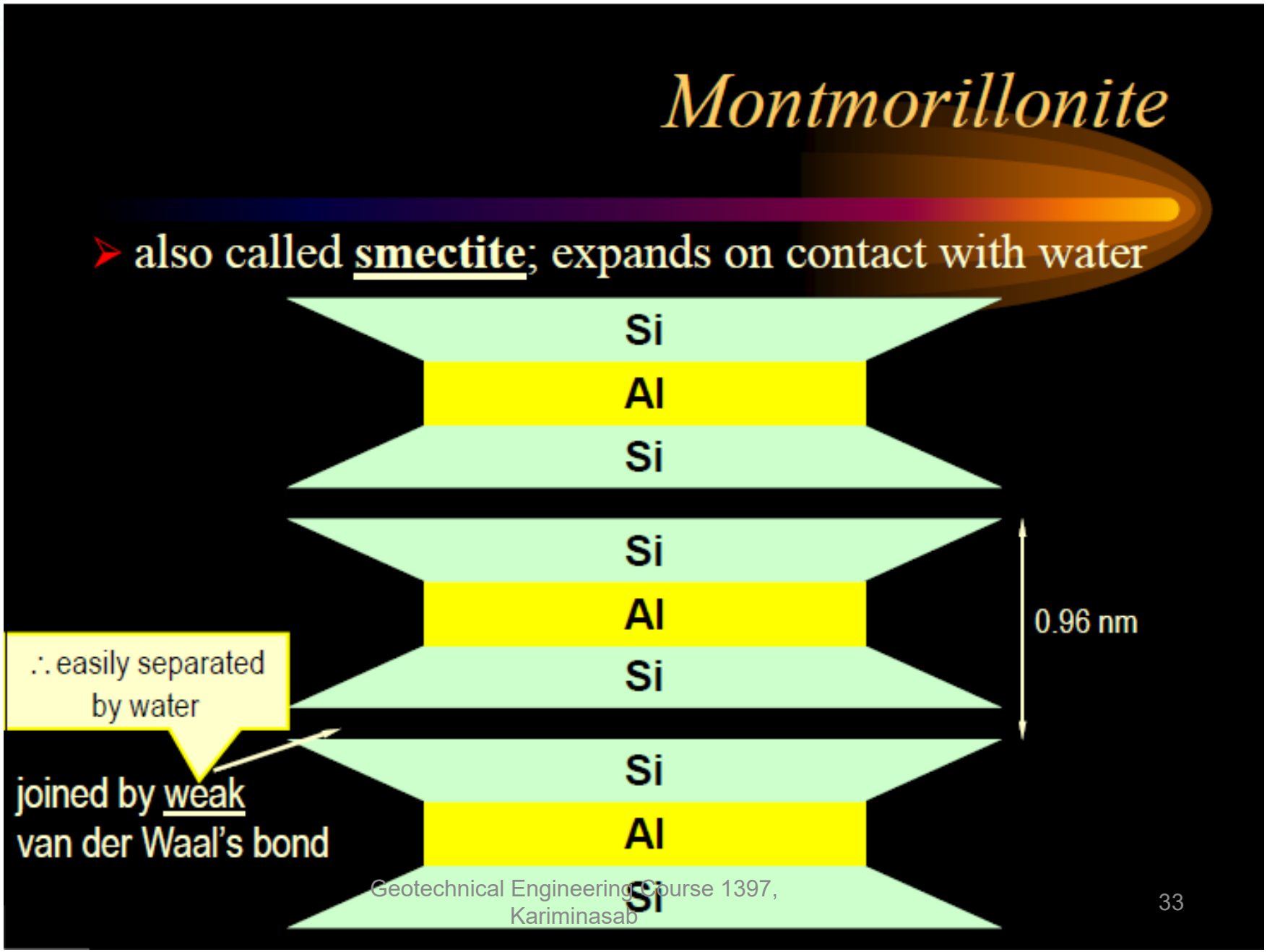
- used in paints, paper and in pottery and pharmaceutical industries
- $(OH)_8Al_4Si_4O_{10}$

Halloysite

- kaolinite family; hydrated and tubular structure
- $(OH)_8Al_4Si_4O_{10}.4H_2O$

Montmorillonite

- also called **smectite**; expands on contact with water



Montmorillonite

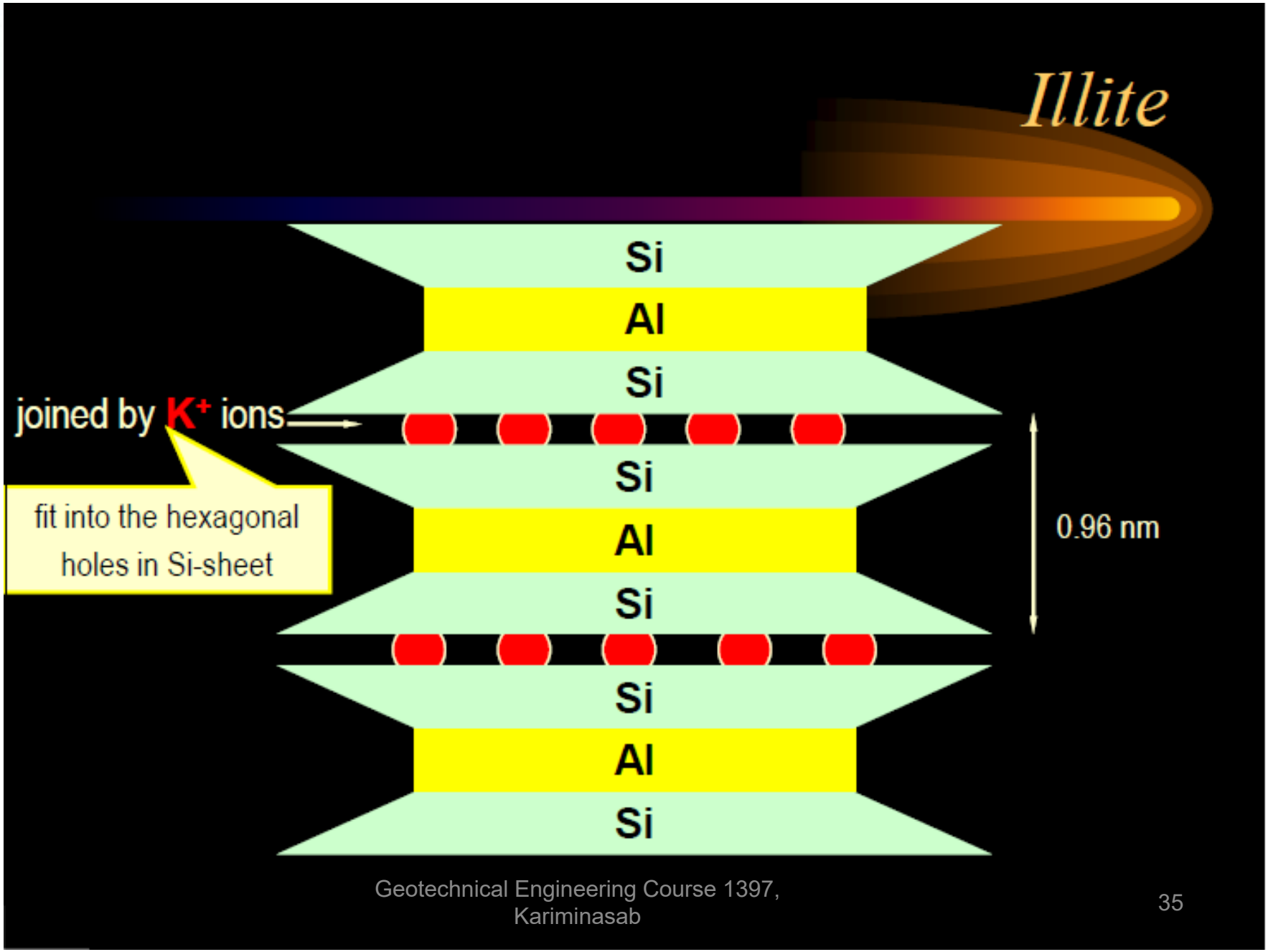
- A highly reactive (expansive) clay
- $(OH)_4Al_4Si_8O_{20}\cdot nH_2O$

swells on contact with water

high affinity to water

Bentonite

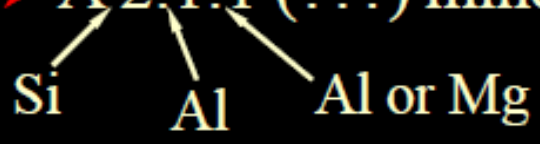
- montmorillonite family
- used as drilling mud, in slurry trench walls, stopping leaks


Illite
Si
Al
Si
joined by K+ ions
fit into the hexagonal holes in Si-sheet
Si
Al
Si
0.96 nm
Si
Al
Si

Others…

Chlorite

- A 2:1:1 (???) mineral.



Vermiculite

- montmorillonite family; 2 interlayers of water

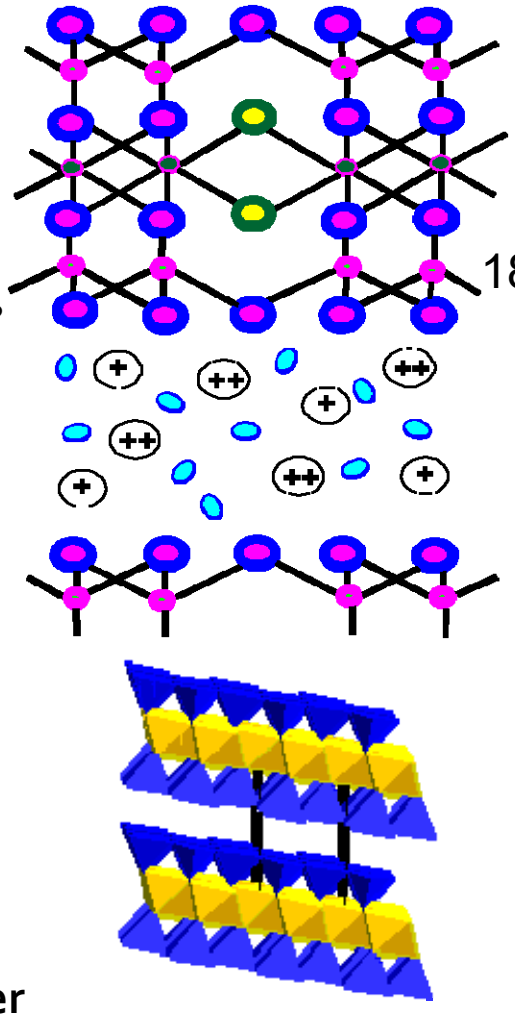
Attapulgite

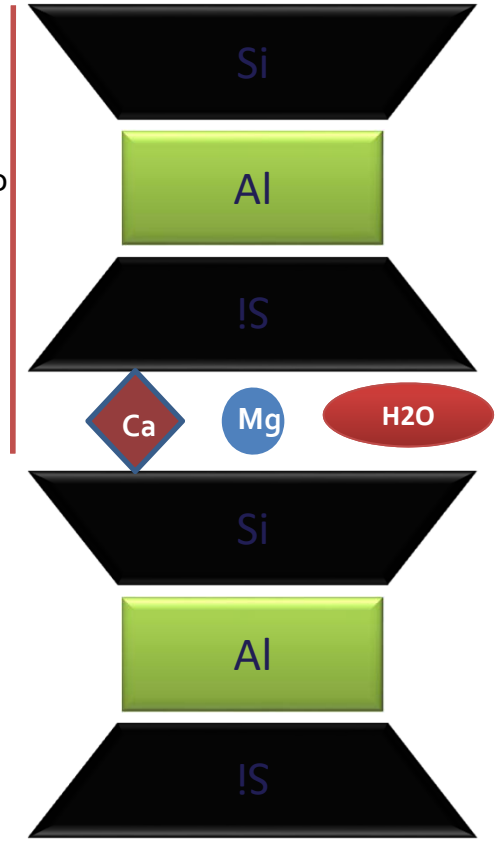
- chain structure (no sheets); needle-like appearance

Clay Types

- **B) 2:1 Type Minerals**

  1. Expanding lattice
- **Smectite group**
- **Mostly *Montmorillonite***





expanding clays

- ✓ **Freely expanding**
- ✓ **Water in interlayer**
- ✓ **Large shrink-swell**
- ✓ **Small size**
- ✓ **Poorly crystallized**
- ✓ **Large internal surface**
- ✓ **Isomorphous substitution**
- ✓ **Large cation adsorption**
- ✓ **Adsorbed cations in interlayer**

Clay Types

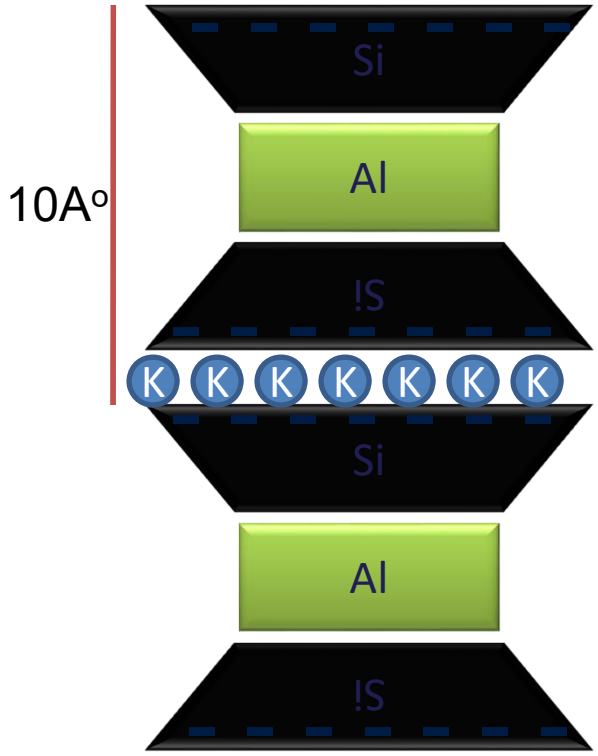
- 2. Non-expanding lattice
- **Fine-grained micas or illite**

Some distribution of Al for Si in the tetrahedral layers leads to permanent net negative charge

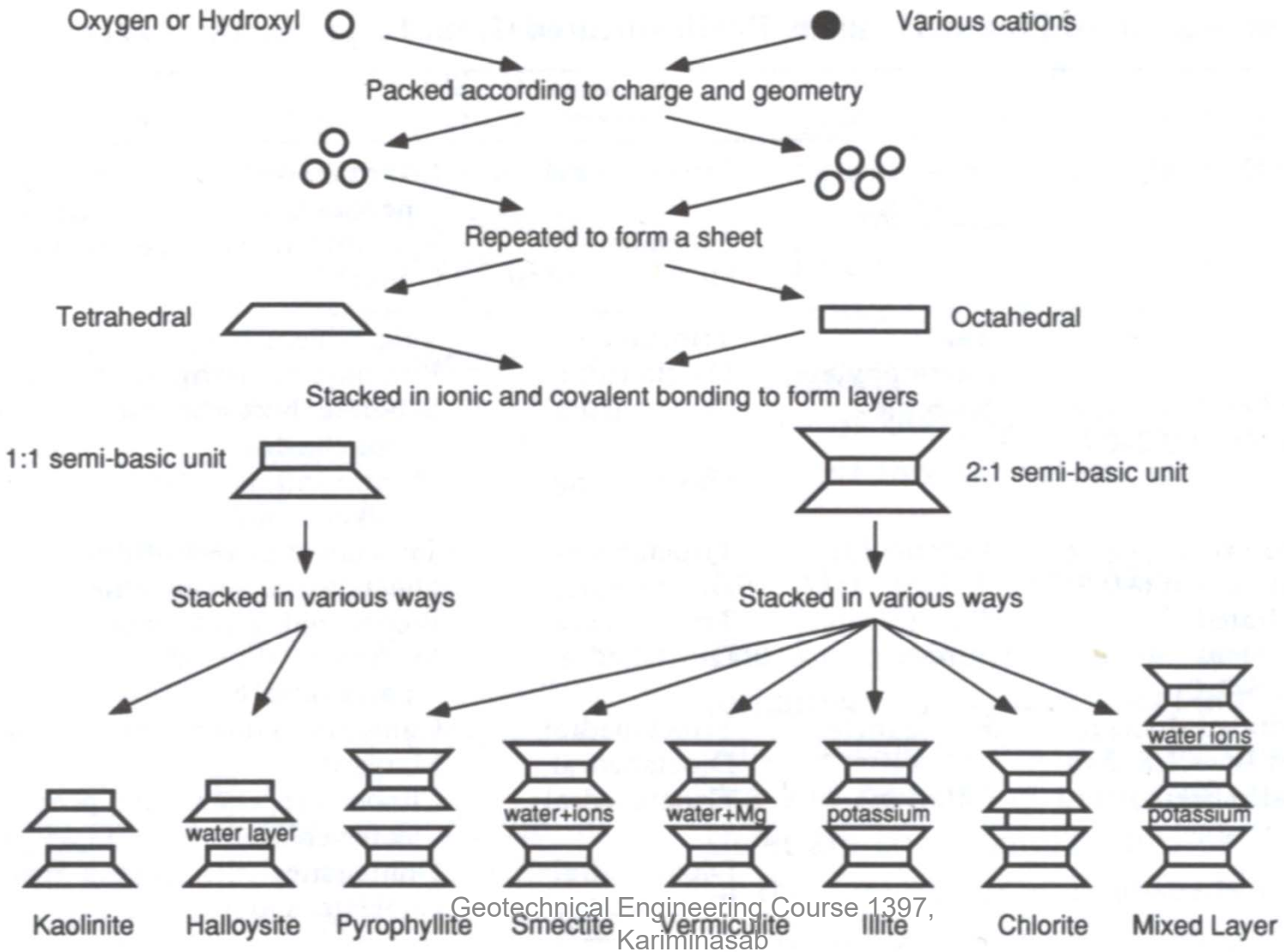
Al^{+3} and K^{+} substitute for Si^{+4} (tetrahedral sheet)

weathering at edges = release of K^{+}

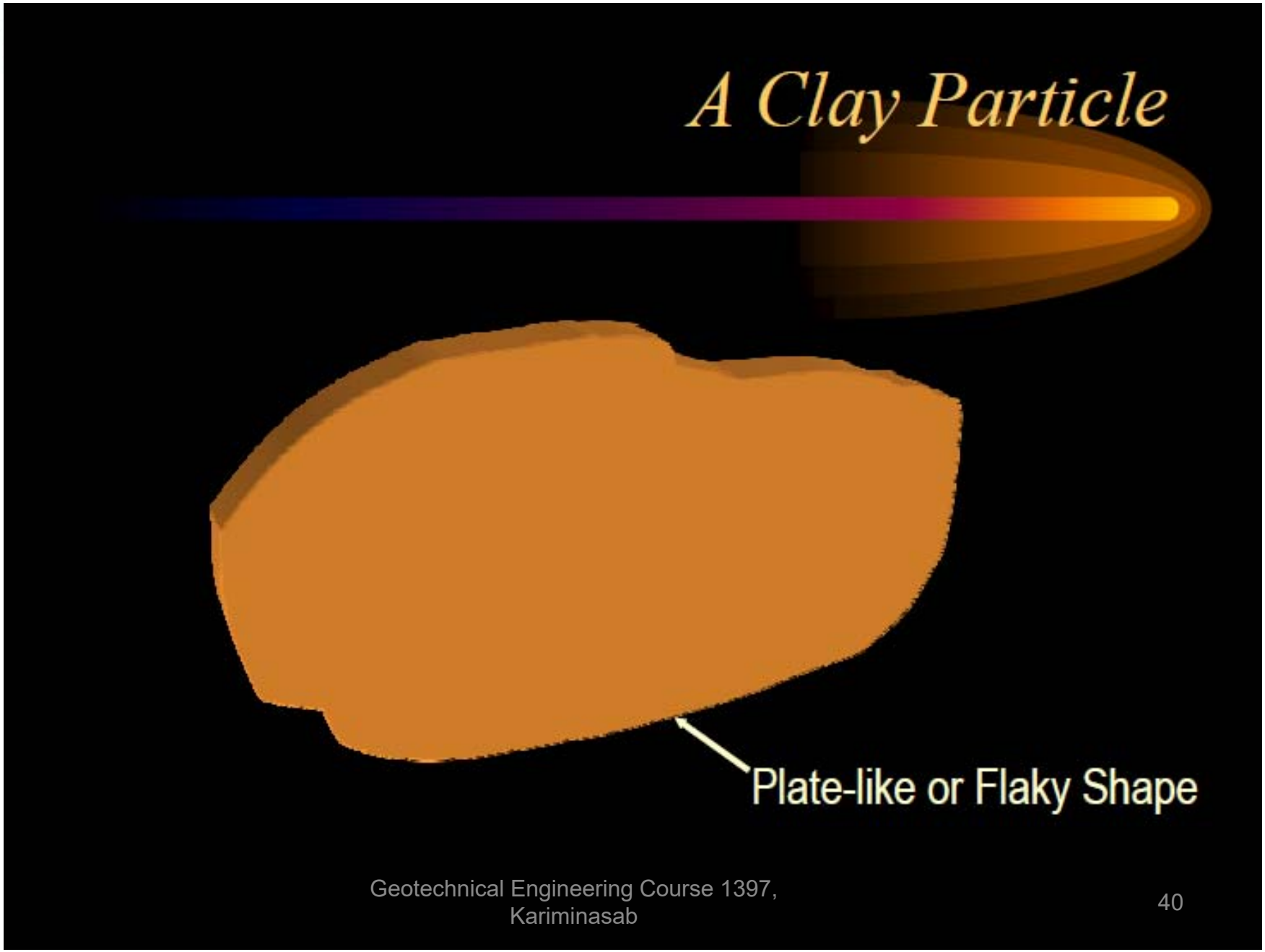
- ✓**very limited expansion**
- ✓**medium cation adsorption**
- ✓**limited internal surface**
- ✓**properties between kaolinite and vermiculite**

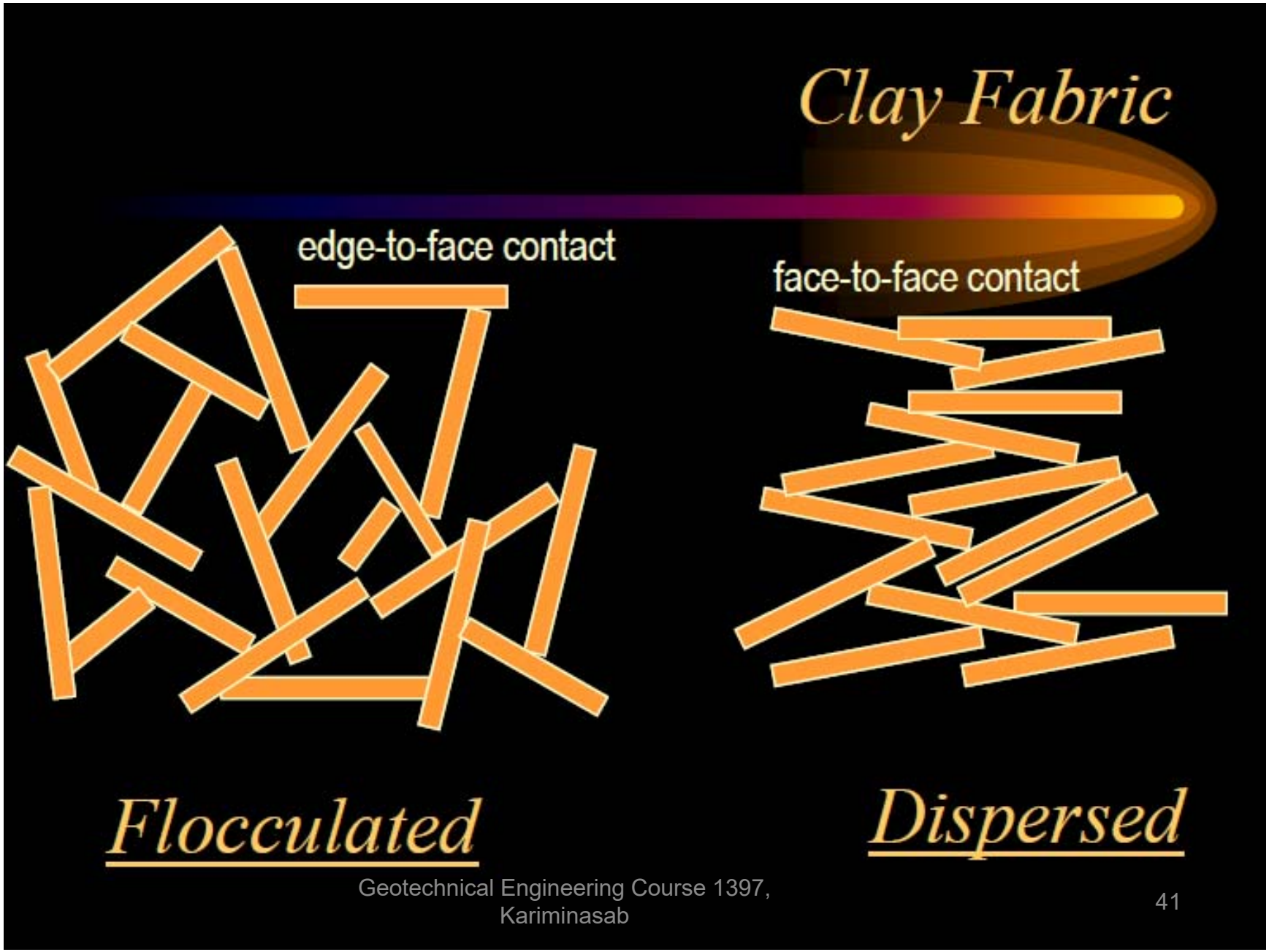


non expanding clays



Noncrystalline clay - allophane


A Clay Particle
Plate-like or Flaky Shape


Clay Fabric
edge-to-face contact
face-to-face contact
Flocculated
Dispersed

Clay Fabric

- Electrochemical environment (i.e., pH, acidity, temperature, cations present in the water) during the time of sedimentation influence clay fabric significantly.
- Clay particles tend to align perpendicular to the load applied on them.

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی

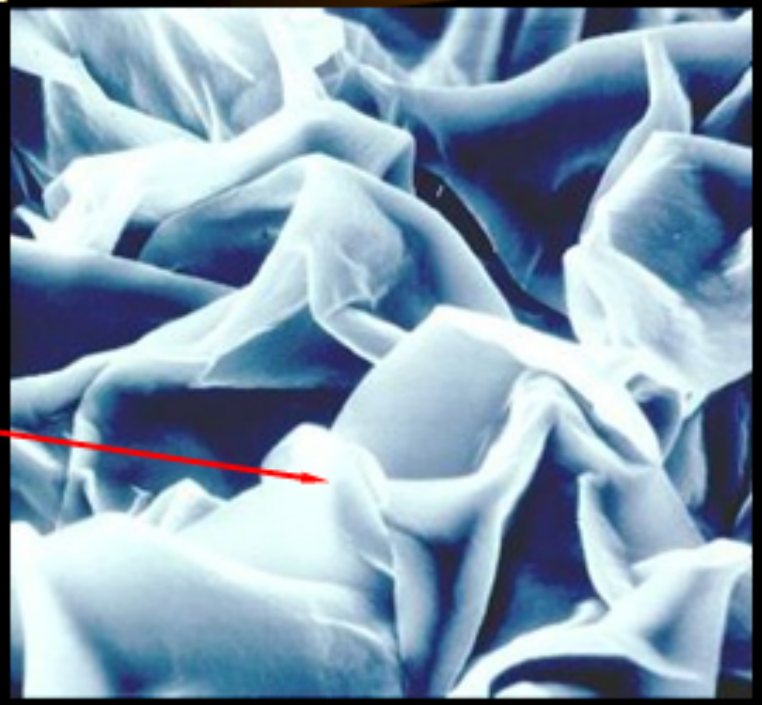
Identifying Clay Minerals



Scanning Electron Microscope

- common technique to see clay particles
- qualitative

plate-like structure



دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی

Others ...

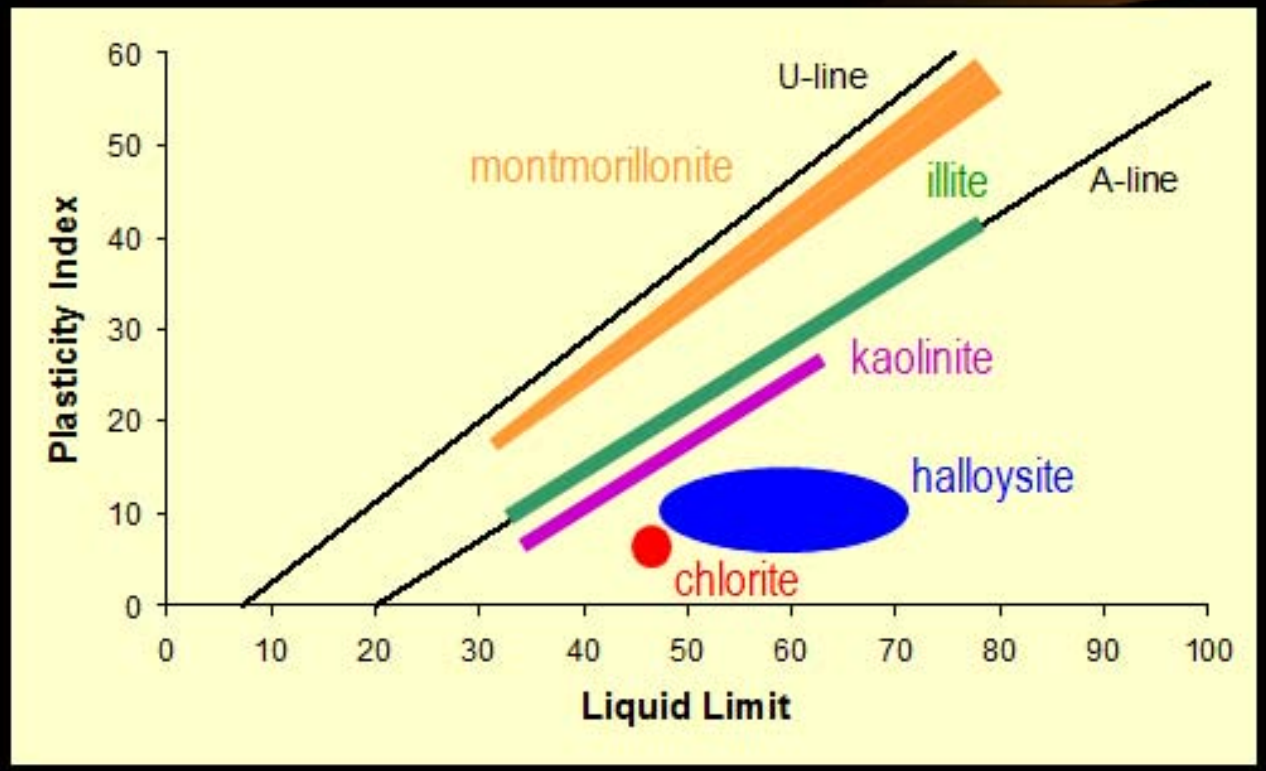
X-Ray Diffraction (XRD)

- to identify the molecular structure and minerals present

Differential Thermal Analysis (DTA)

- to identify the minerals present

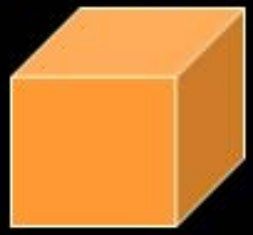
Casagrande's PI-LL Chart



Specific Surface

- surface area per unit mass (m^2/g)
- smaller the grain, higher the specific surface

e.g., soil grain with specific gravity of 2.7



10 mm cube

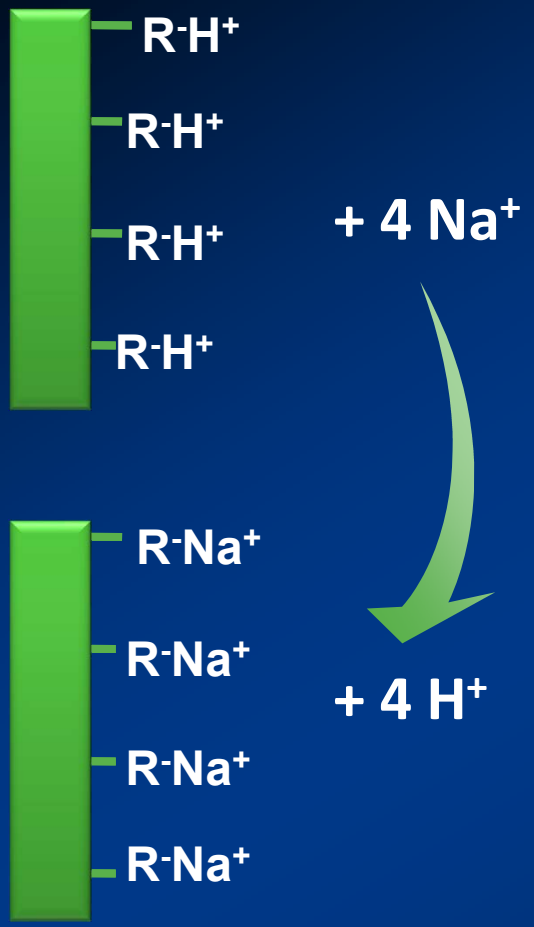


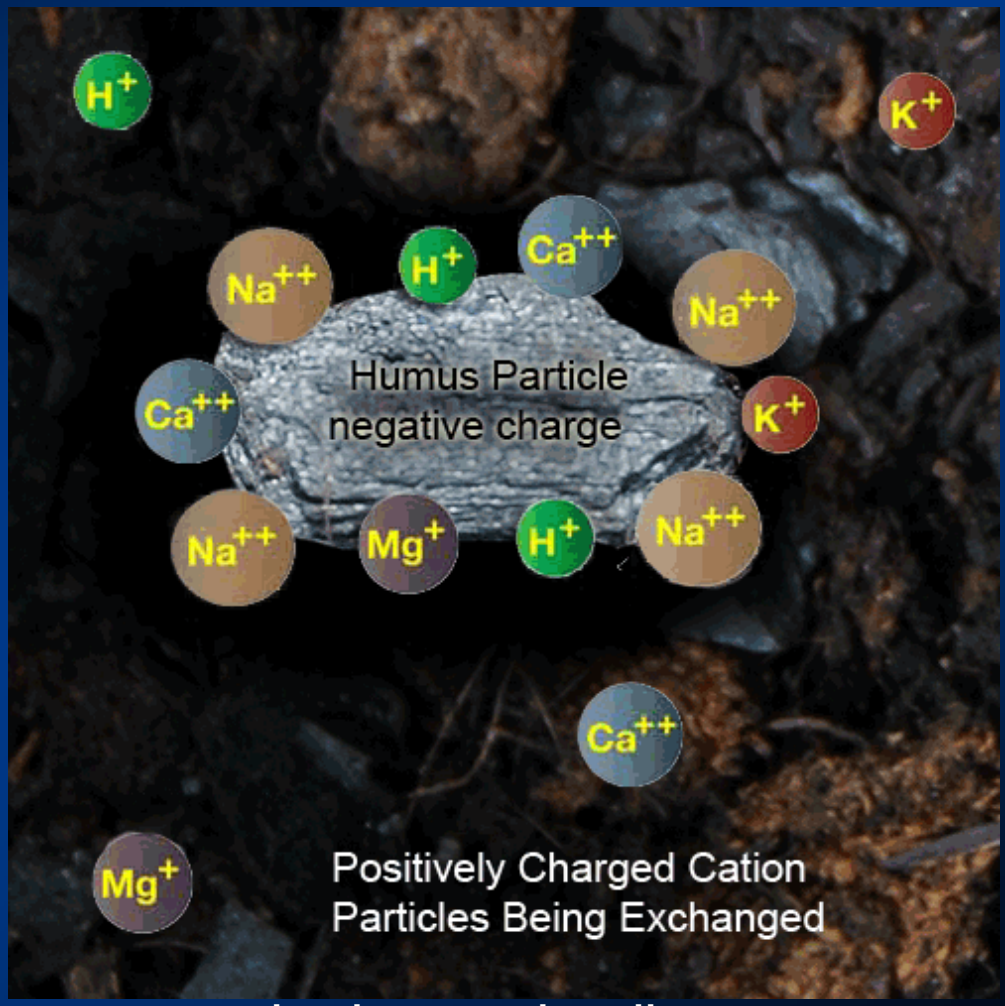
1 mm cube

spec. surface = 222.2 mm^2/g

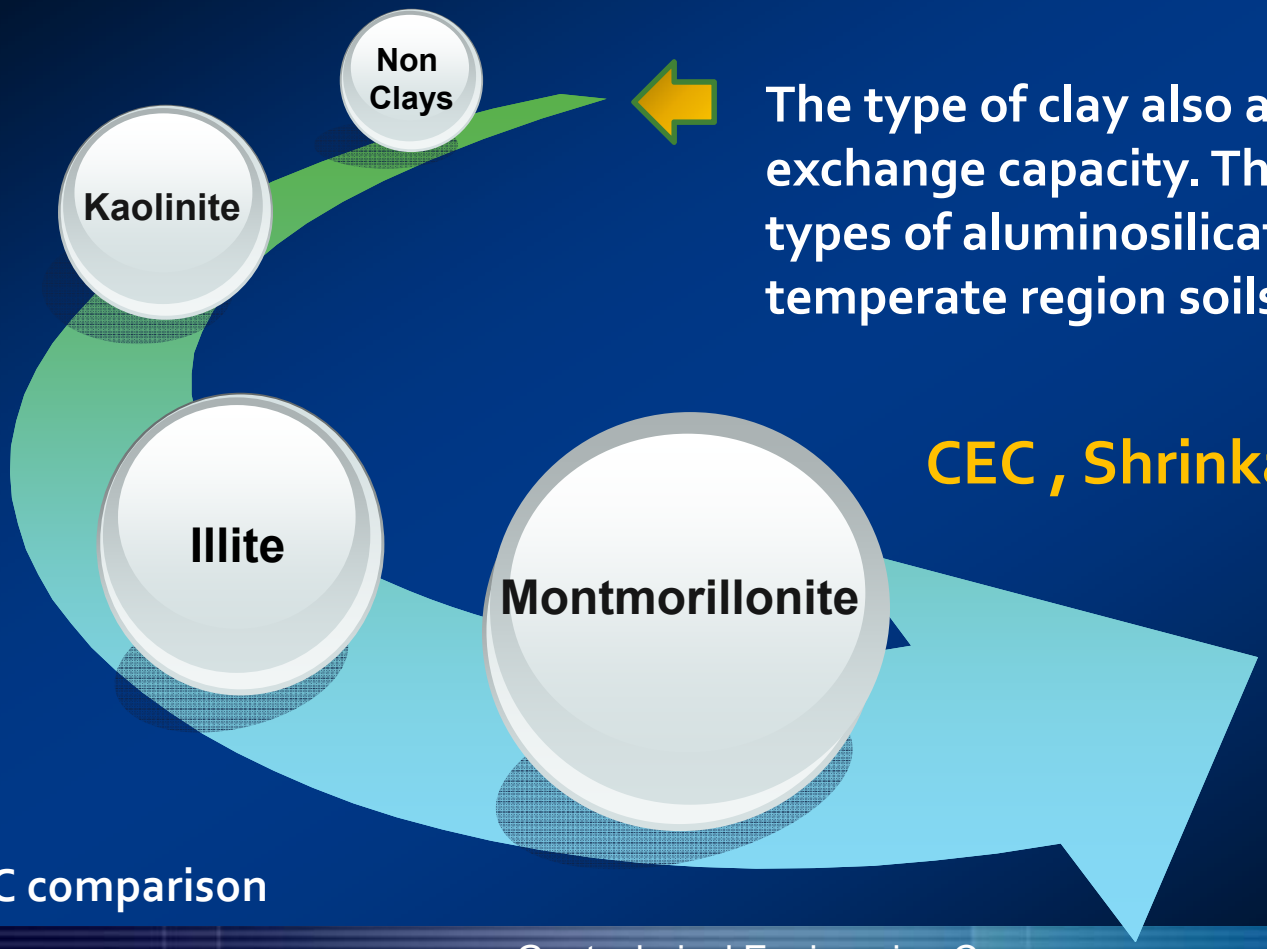
spec. surface = 2222.2 mm^2/g

What happens in soil





what happens in soil



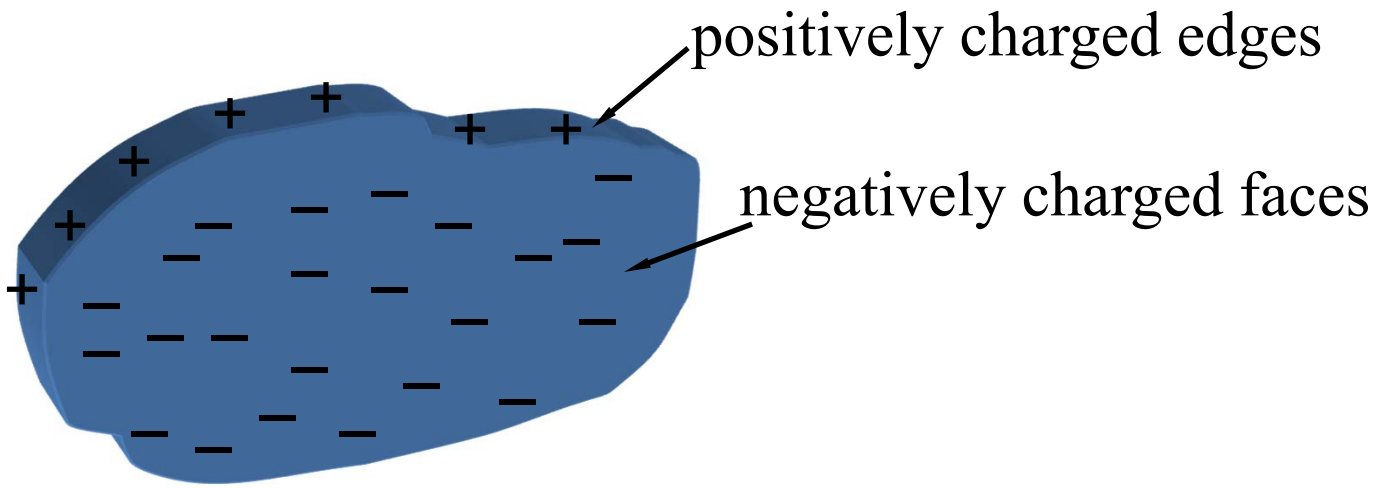
The type of clay also affects cation exchange capacity. There are three types of aluminosilicate clays in temperate region soils:

CEC , Shrinkage & Swelling

CEC comparison

Isomorphous Substitution

- substitution of Si^{4+} and Al^{3+} by other lower valence (e.g., Mg^{2+}) cations
- results in charge imbalance (net negative)



Clay Particle with Net negative Charge

Definition

$$\text{Specific surface} = \text{surface} / \text{volume}$$

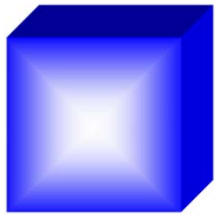
$$\text{Specific surface} = \text{surface} / \text{mass} \longrightarrow \text{Preferred}$$

$$\frac{\text{Surface related force}}{\text{Gravational force}}$$

Surface related forces: van der Waals forces, capillary forces, etc.

Example:

$1 \times 1 \times 1\,\text{cm}$ cube, $\rho = 2.65\,\text{g/cm}^3$



$$S_s = \frac{6 \cdot 1\,\text{cm}^2}{1\,\text{cm}^3 \cdot 2.65\,\text{g/cm}^3} = 2.3 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2/\text{g}$$

$1 \times 1 \times 1\,\mu\text{m}$ cube, $\rho = 2.65\,\text{g/cm}^3$



$$S_s = \frac{6 \cdot 1\,\mu\text{m}^2}{1\,\mu\text{m}^3 \cdot 2.65\,\text{g/cm}^3} = 2.3 \cdot \text{m}^2/\text{g}$$

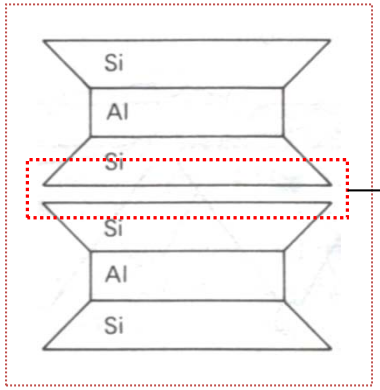
S_s is inversely proportional to the particle size

3.2 Typical Values

Montmorillonite

50-120 m^2/gm (external surface)

700-840 m^2/gm (including the interlayer surface)



Interlayer surface

Illite

65-100 m^2/gm

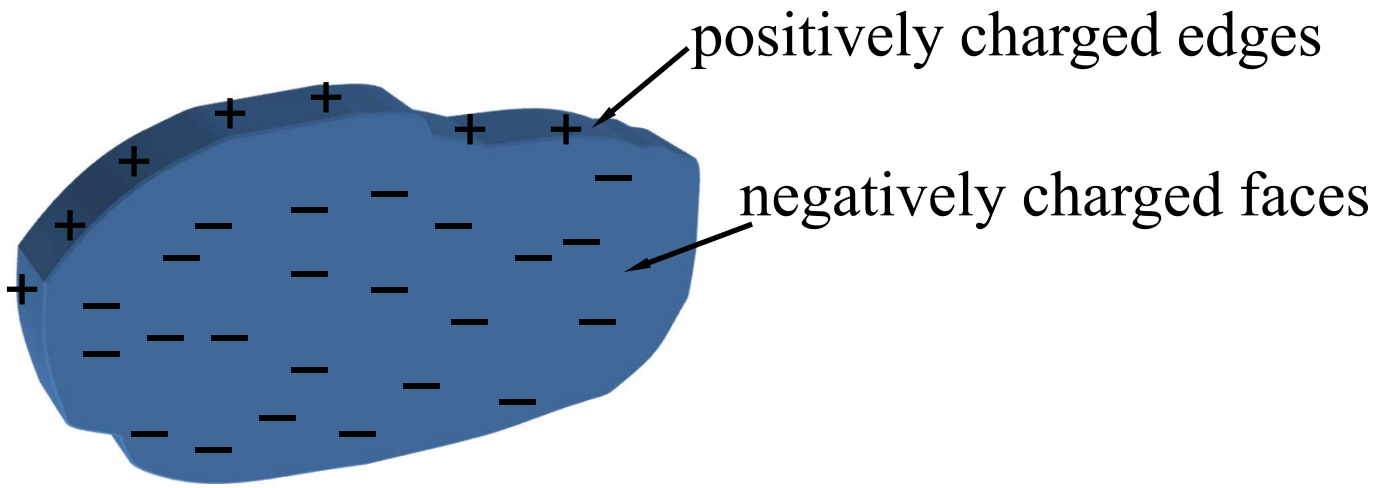
Kaolinite

10-20 m^2/gm

Interaction of Water and Clay Minerals

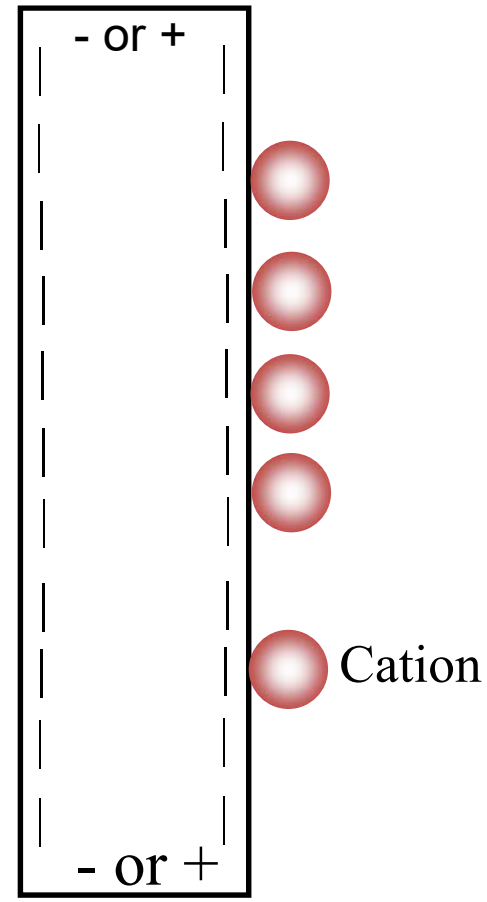
Isomorphous Substitution

- substitution of Si^{4+} and Al^{3+} by other lower valence (e.g., Mg^{2+}) cations
- results in charge imbalance (net negative)



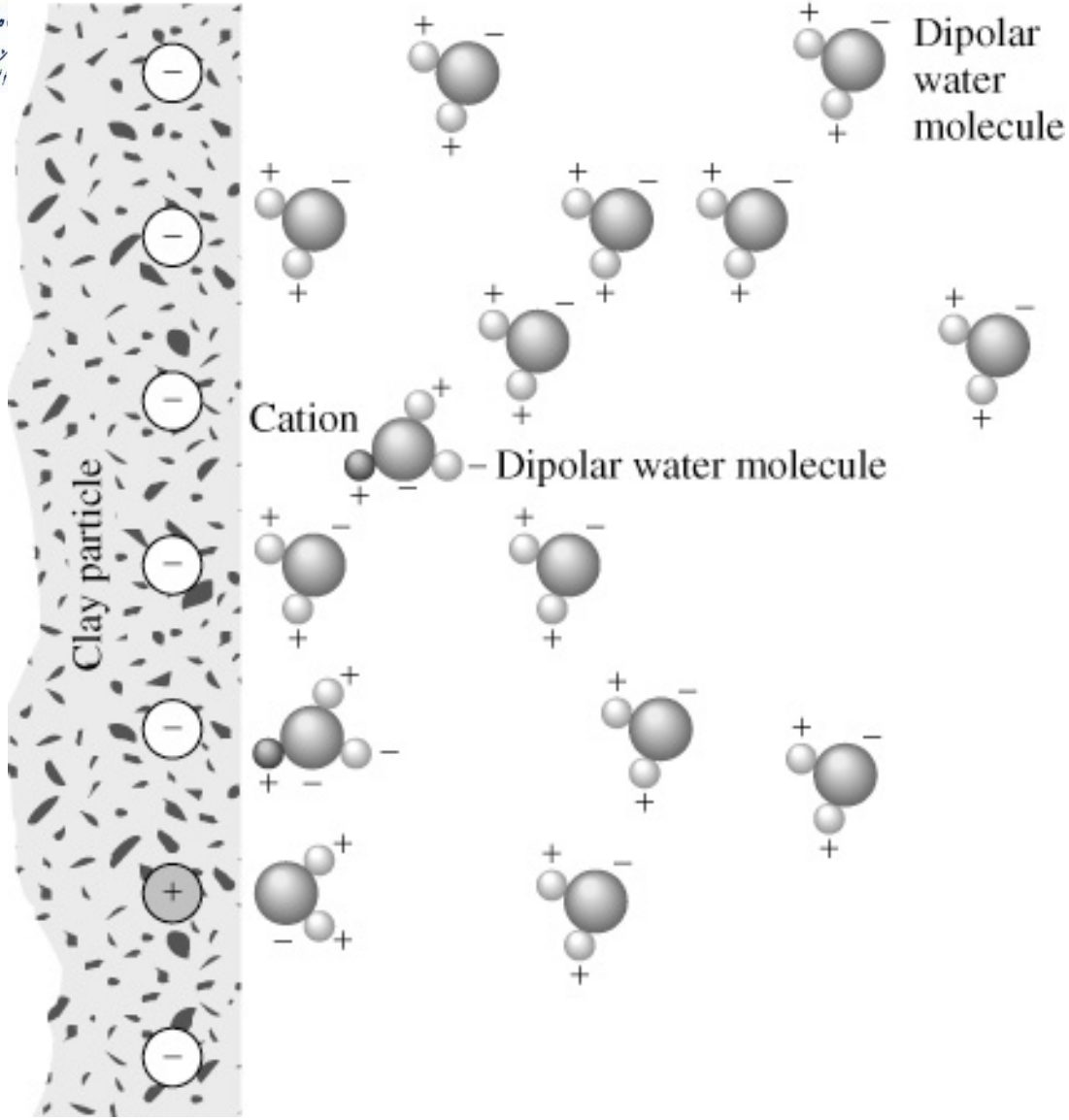
Clay Particle with Net negative Charge

“Charged” Clay Particles



Dry condition

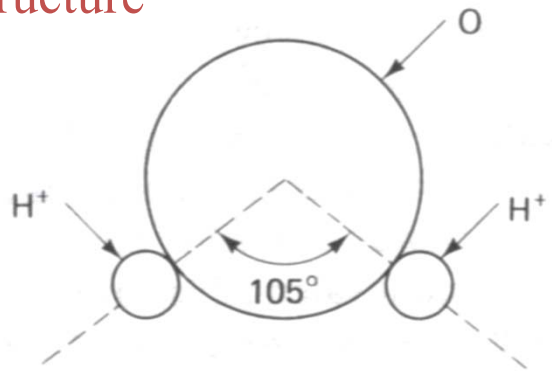
- External or interlayer surfaces are negatively charged in general.
- The edges can be positively or negatively charged.
- Different cations balance charge deficiencies.



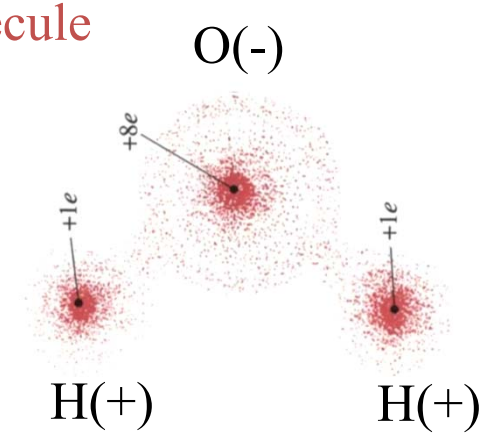
Attraction of dipolar molecules in diffuse double layer

4.4 Polar Water Molecules

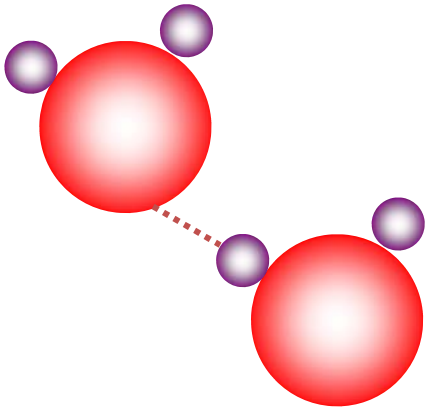
Structure



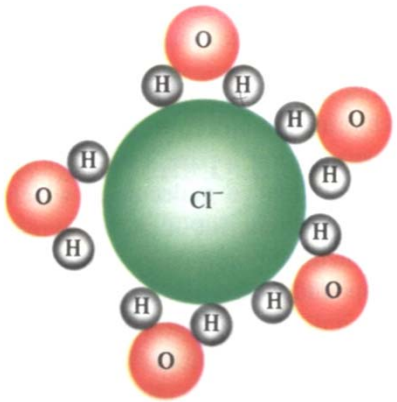
Polar molecule

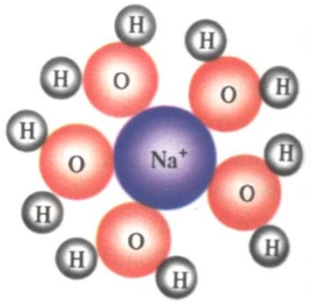


Hydrogen bond

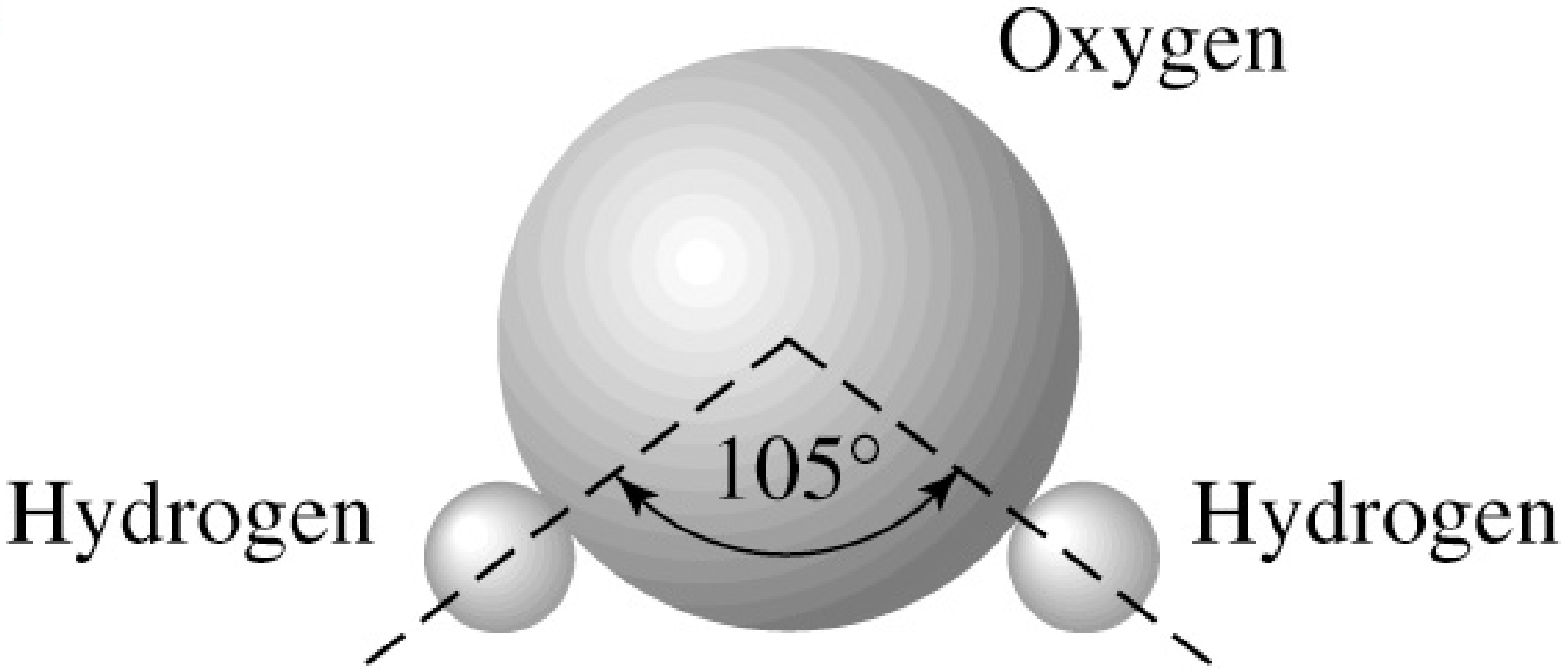


Salts in aqueous solution





hydration



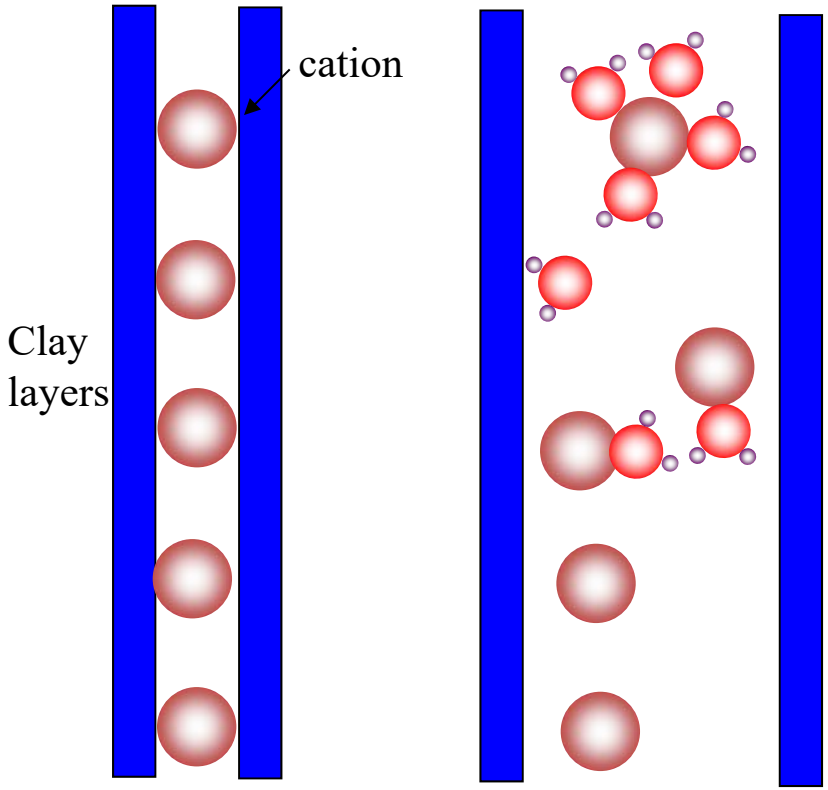
Dipolar character of water

Clay-Water Interaction

2. Ion hydration

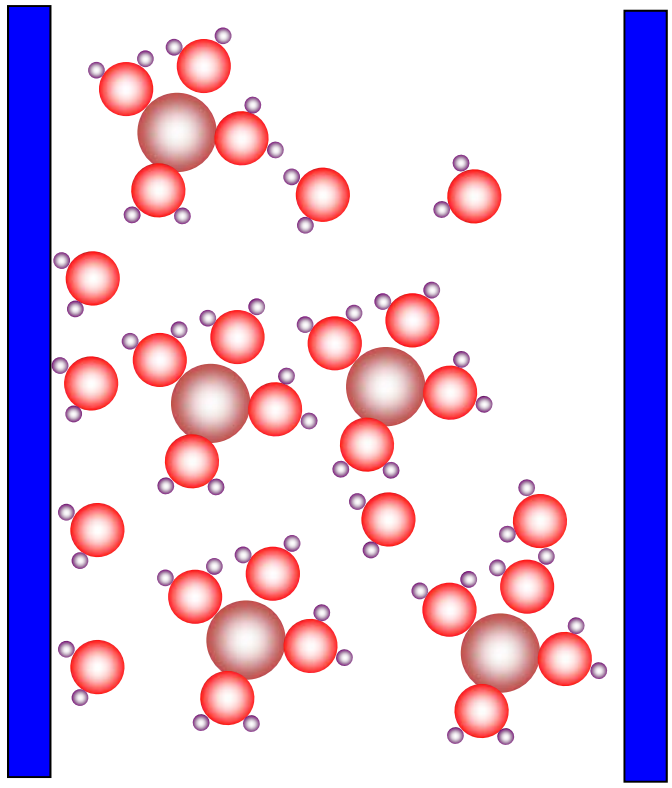
Na^+ crystal radius: 0.095 nm

radius of hydrated ion: 0.358 nm



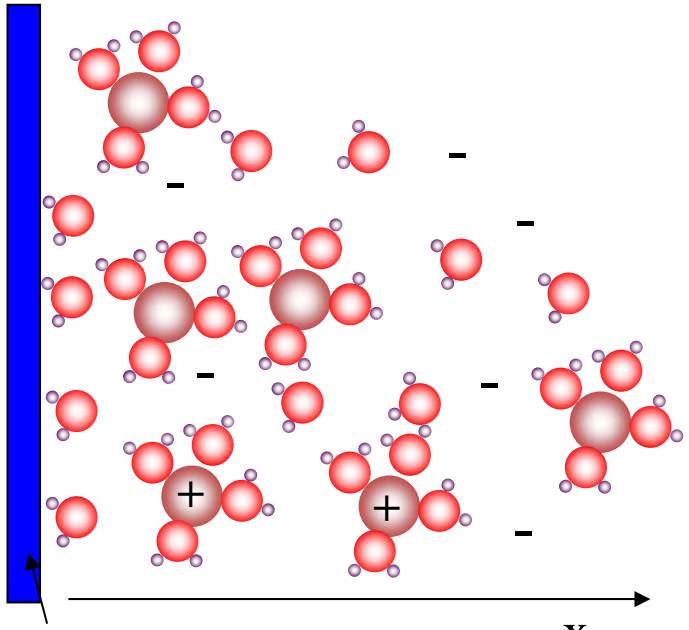
Dry condition (Interlayer)

The water molecules wedge into the interlayer after adding water

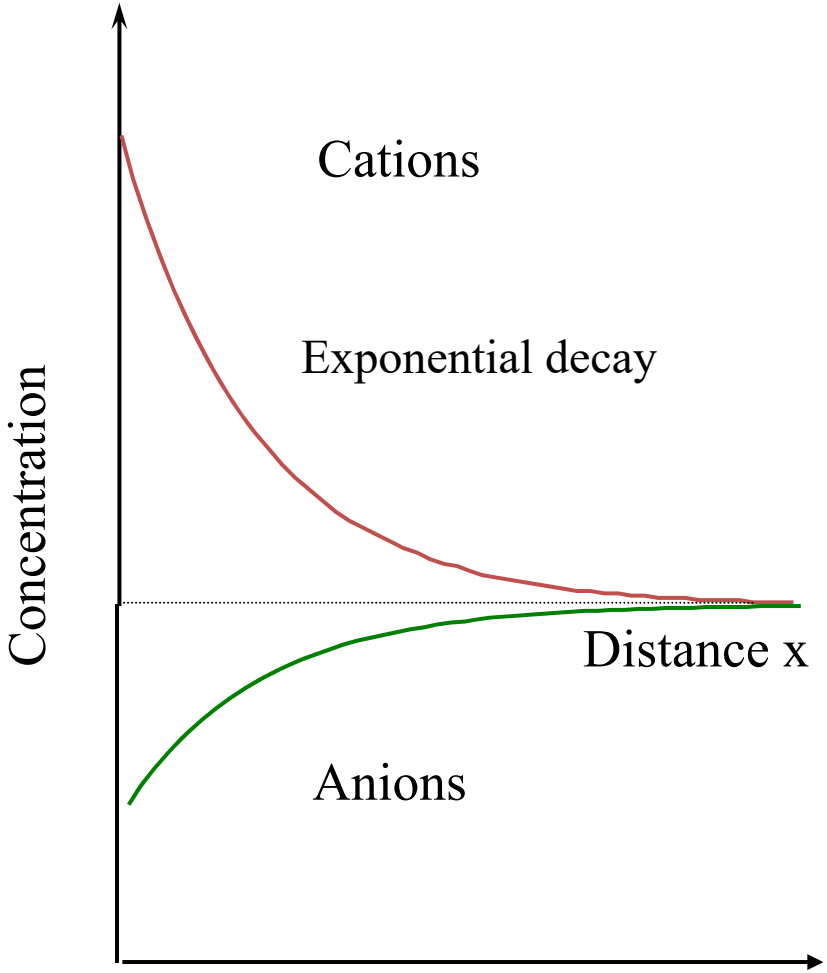


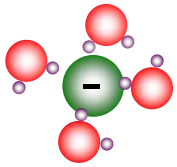
The cations are fully hydrated, which results in repulsive forces and expanding clay layers (hydration energy).

Diffuse Double Layer

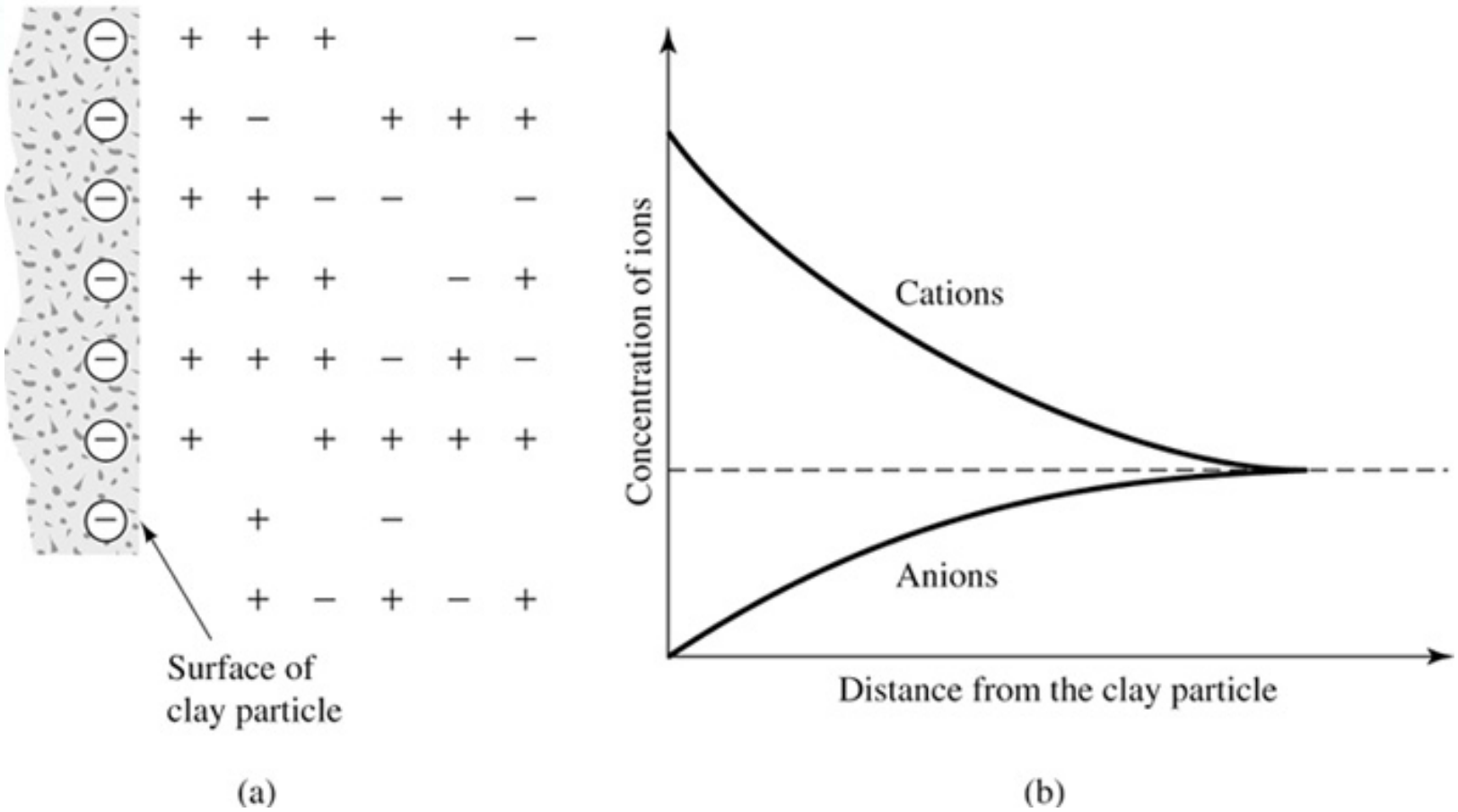


Clay particle with negatively charged surface





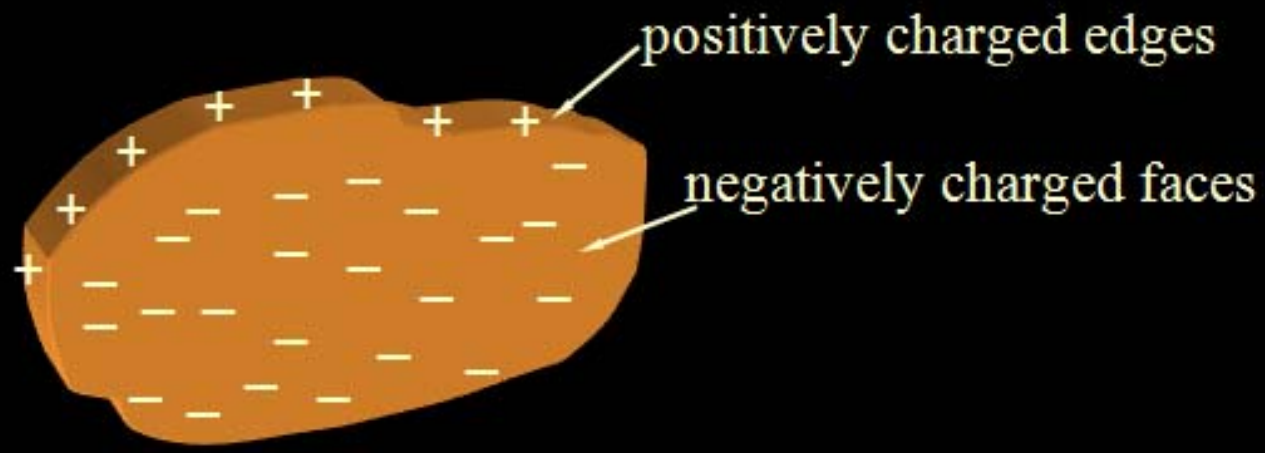
(c)2001 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning™ is a trademark used herein under license.



Diffuse double layer

Isomorphous Substitution

- substitution of Si^{4+} and Al^{3+} by other lower valence (e.g., Mg^{2+}) cations
- results in charge imbalance (net negative)



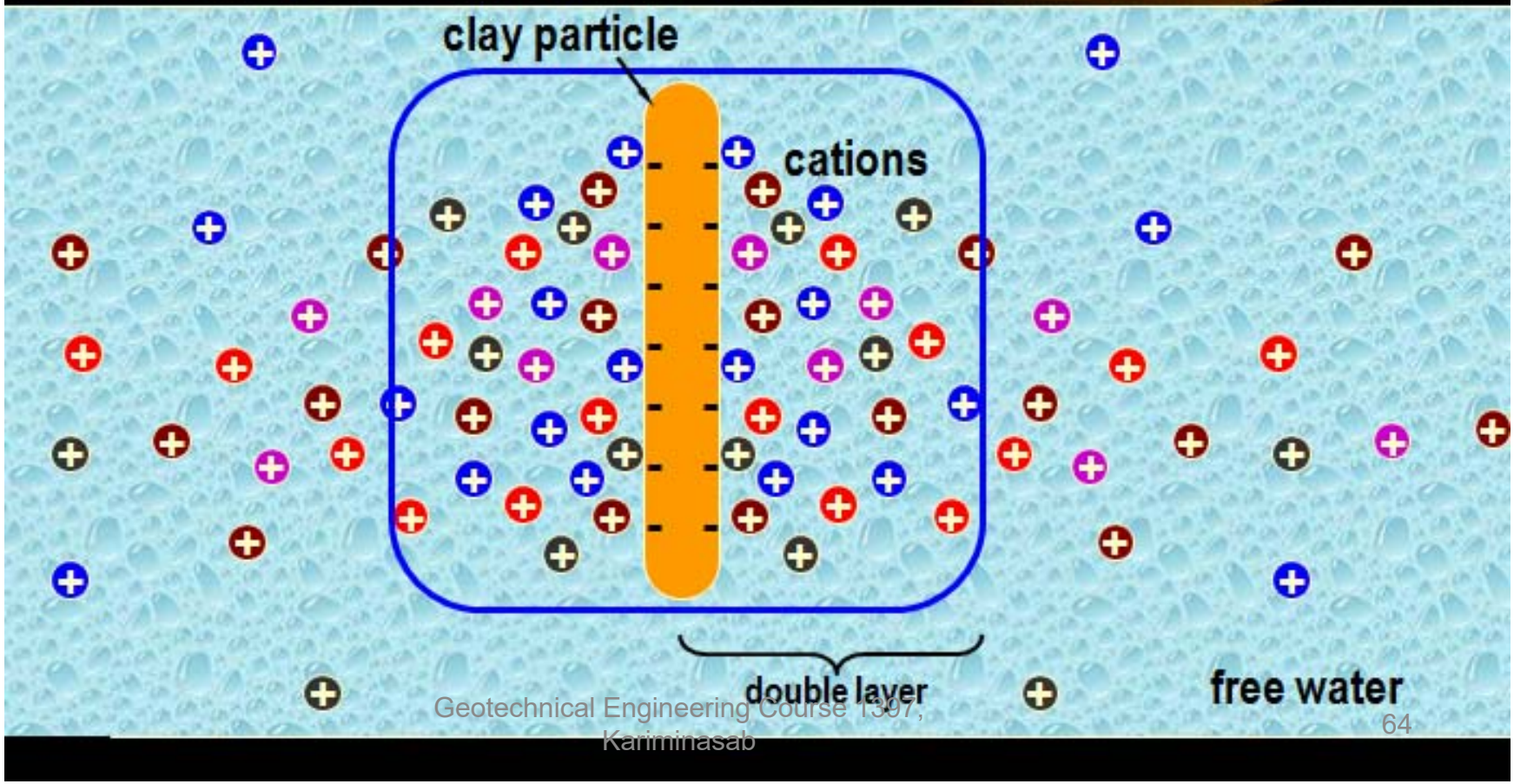
Clay Particle with Net negative Charge

A Comparison

Mineral	Specific surface (m^2/g)	C.E.C (meq/100g)
Kaolinite	10-20	3-10
Illite	80-100	20-30
Montmorillonite	800	80-120
Chlorite	80	20-30

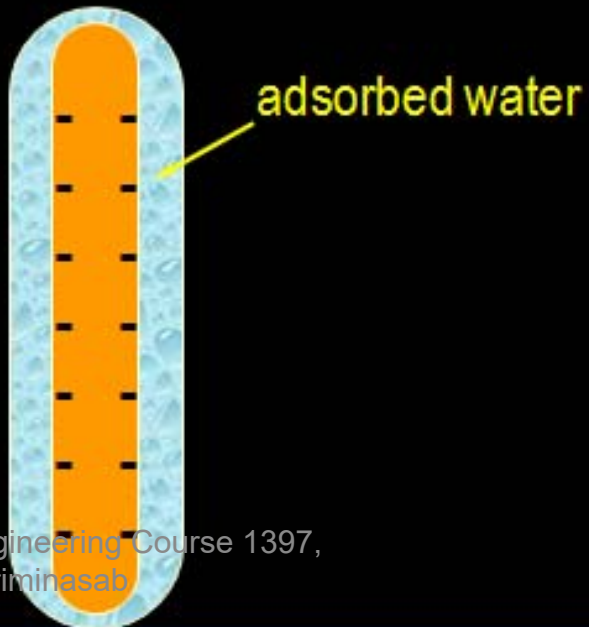
Cation Concentration in Water

- cation concentration drops with distance from clay particle

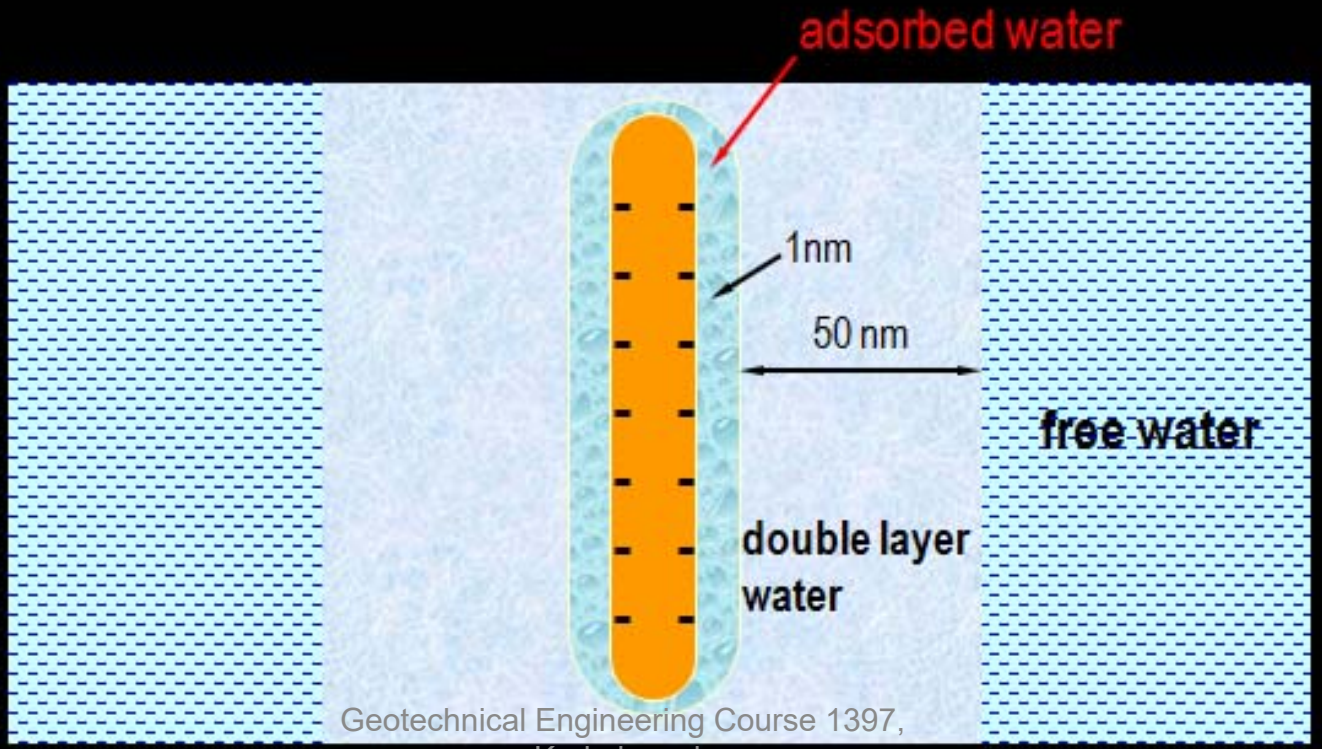


Adsorbed Water

- A thin layer of water tightly held to particle; like a skin
- 1-4 molecules of water (1 nm) thick
- more viscous than free water



Clay Particle in Water



Summary - Clays

- Clay particles are like plates or needles. They are negatively charged.
- Clays are plastic; Silts, sands and gravels are non-plastic.
- Clays exhibit high dry strength and slow dilatancy.

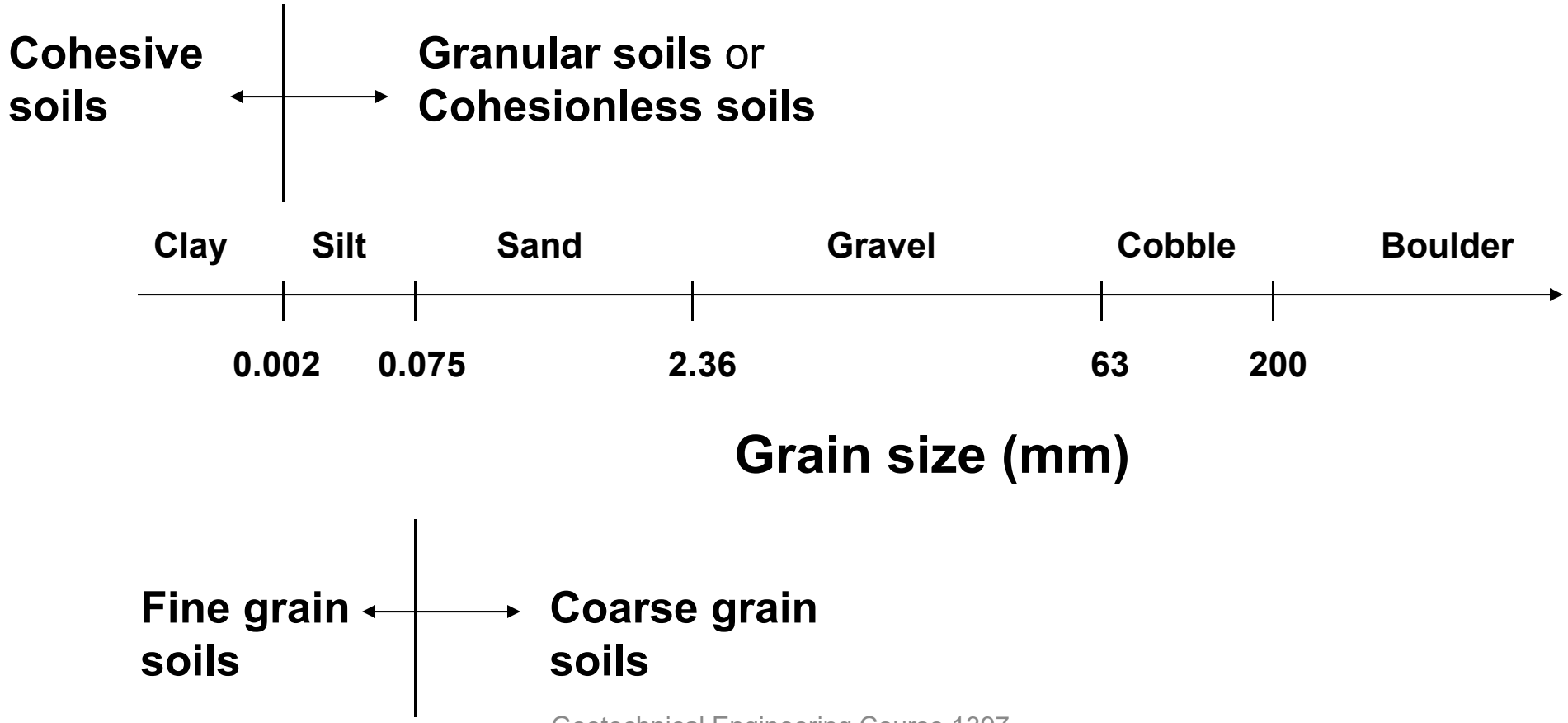
Summary - Clays

- Clay particles are like plates or needles. They are negatively charged.
- Clays are plastic; Silts, sands and gravels are non-plastic.
- Clays exhibit high dry strength and slow dilatancy.

Summary - Montmorillonite

- Montmorillonites have very high specific surface, cation exchange capacity, and affinity to water. They form reactive clays.
- Montmorillonites have very high liquid limit (100+), plasticity index and activity (1-7).
- Bentonite (a form of Montmorillonite) is frequently used as drilling mud.

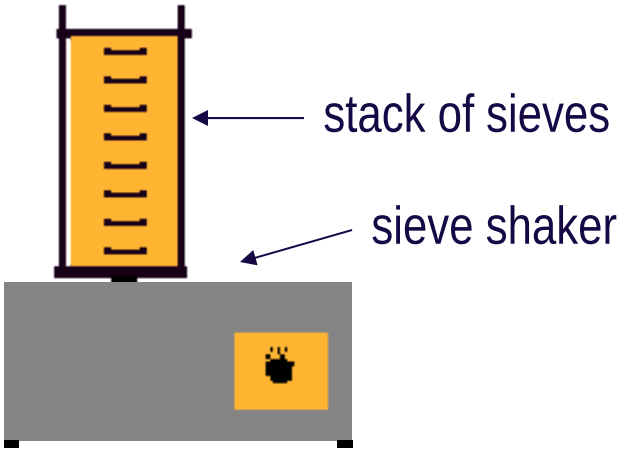
Major Soil Groups



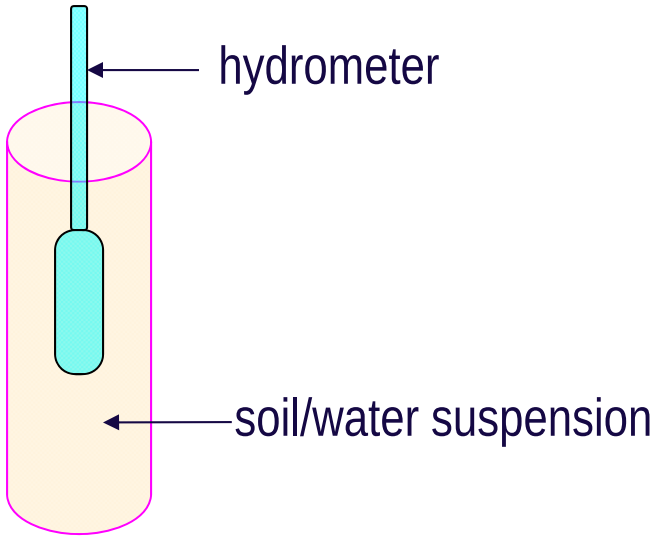
Grain Size Distribution

Determination of GSD:

- In coarse grain soils ..... By sieve analysis
- In fine grain soils ..... By hydrometer analysis



Sieve Analysis



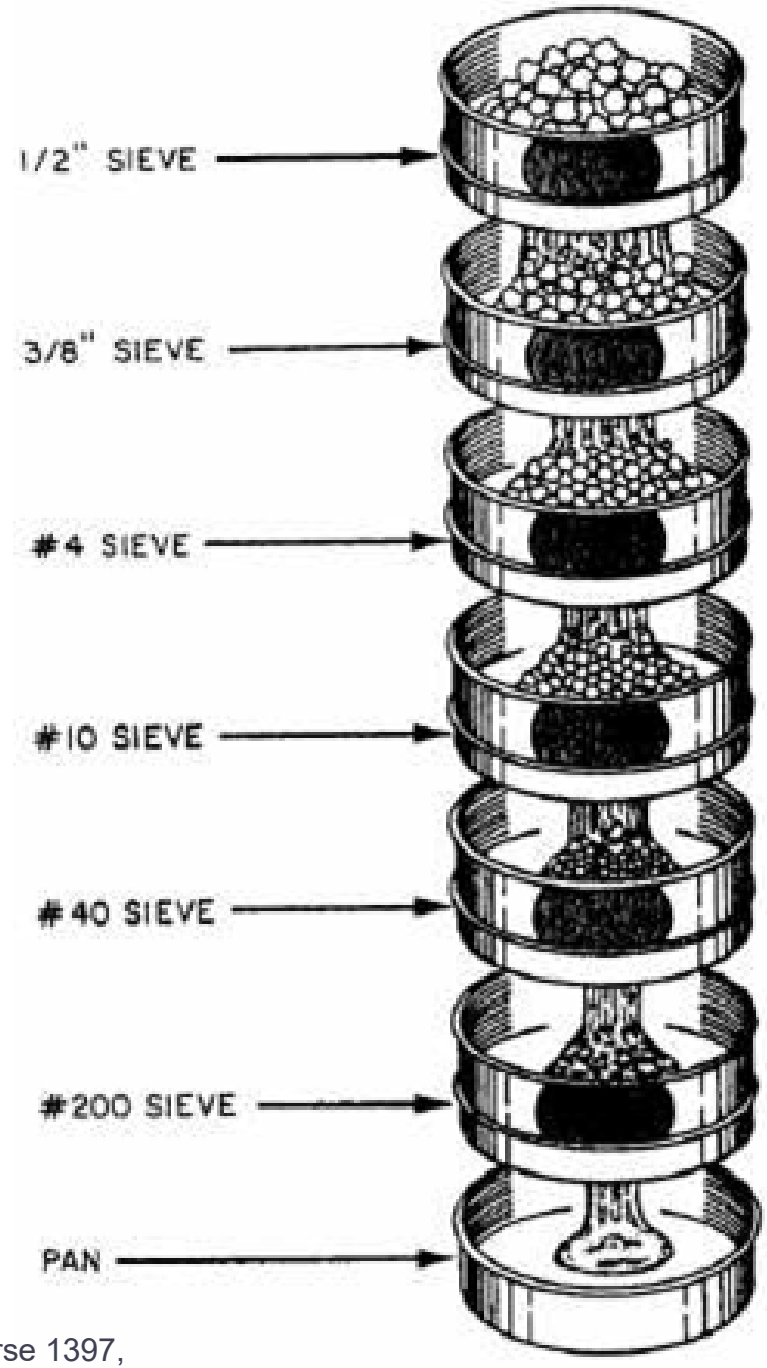
Hydrometer Analysis

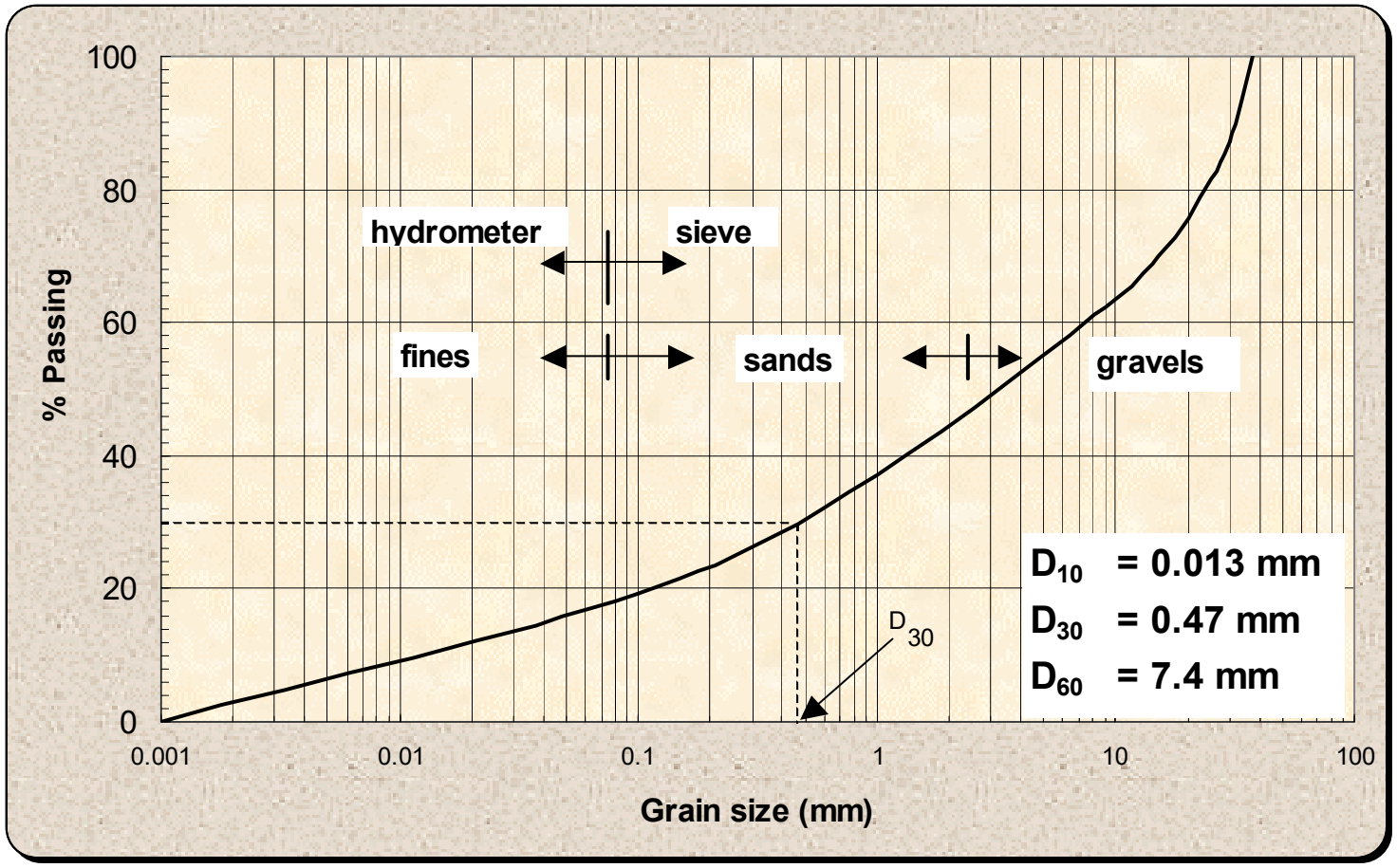
تجزیه سرندی:

- عبارتست از اینکه نمونه داخل خاک در داخل یک سری الک که از درشت به ریز بر روی هم قرار گرفته اند، قرار گرفته و الک ها را تکان می دهند.




MARKET GRADE SIEVE
10
MARKET GRADE SIEVE
20
MARKET GRADE SIEVE
40
MARKET GRADE SIEVE
50
MARKET GRADE SIEVE
80
MARKET GRADE SIEVE
100

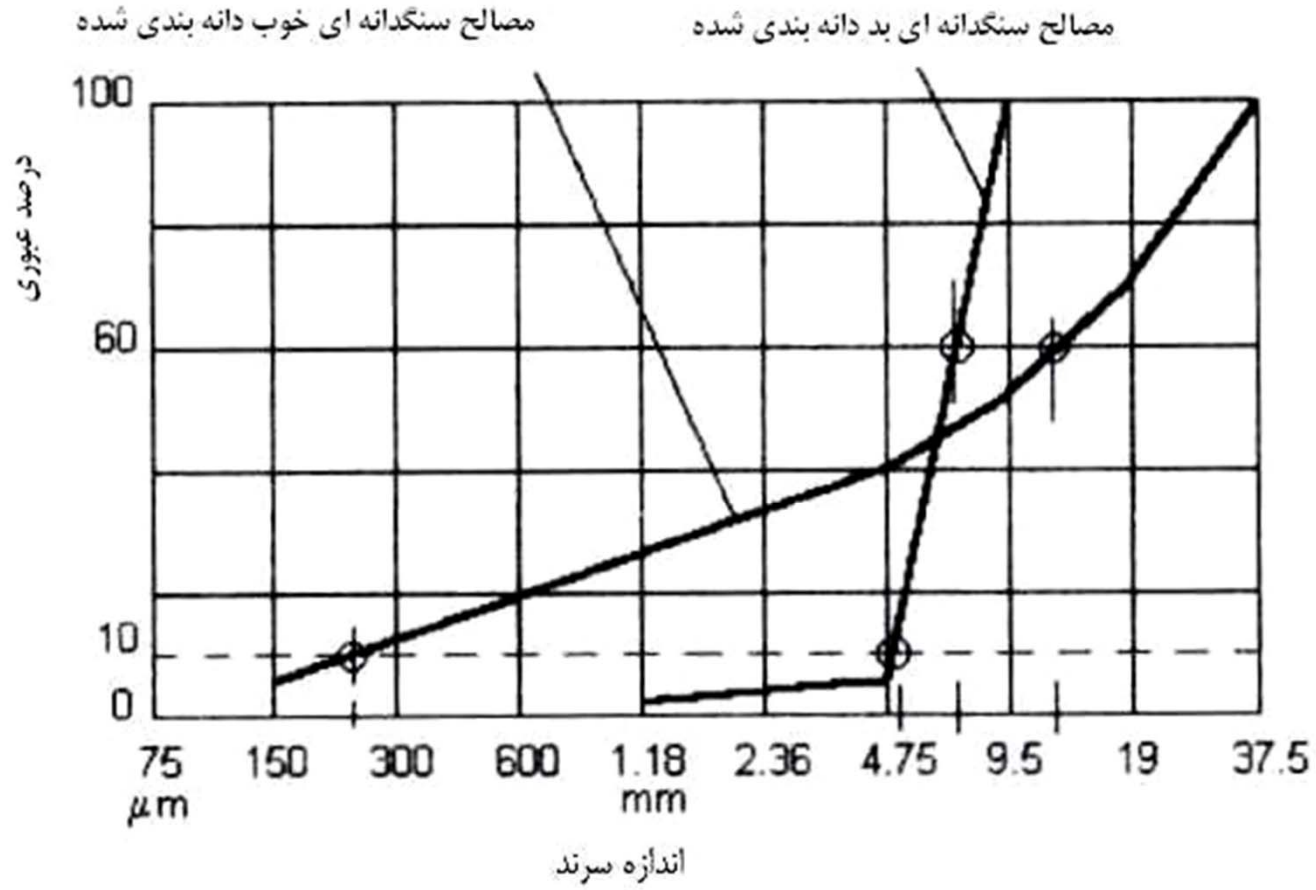

1/2" SIEVE
3/8" SIEVE
#4 SIEVE
#10 SIEVE
#40 SIEVE
#200 SIEVE
PAN



Grain Size Distribution Curve

- can find % of gravels, sands, fines
  - define D_{10}, D_{30}, D_{60}.. as above.

مصالح سنگدانه‌ای خوب دانه‌بندی شده و بد دانه‌بندی شده، ضریب یکنواختی



مثال :

مصالح خوب دانه بندی شده : $C_u = 12/0.22 = 54$

مصالح بد دانه بندی شده : $C_u = 8/5 = 1.6$

Coefficient of Uniformity

- **Cu برای مصالح سنگدانه‌ای بد دانه‌بندی شده، دارای حداقل مقدار نزدیک به یک می‌باشد. مقادیر بیشتر Cuنشان دهنده تخلخل کمتر و درنتیجه نفوذپذیری کمتر می‌باشد.**

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

مصالح سنگدانه‌ای خوب و بد دانه‌بندی شده

- **مصالح سنگدانه‌ای خوب دانه‌بندی شده [Well-Graded Aggregates] مورد استفاده در کارهای ساختمانی بتنی، تخلخل پایین داشته و درنتیجه محتوای سیمان مورد نیاز را به حداقل می‌رسانند.**

مصالح سنگدانه‌ای خوب و بد دانه‌بندی شده

- بنابراین، نفوذپذیری آنها نسبتاً پایین است و معمولاً برای استفاده در کارهای زهکشی مناسب نیستند. ***مصالح سنگدانه‌ای بد دانه‌بندی شده***
- [Single-Size Aggregates] و یا ***با دانه‌بندی یکنواخت***
- [Open-Graded Aggregates]، تخلخل بالایی داشته و استفاده از آنها در مسائل زهکشی، ارجحیت دارد.

مصالح سنگدانه‌ای خوب و بد دانه‌بندی شده

- **این مصالح سنگدانه‌ای بطور ایده‌ال از سرندی با ابعاد مشخص عبور کرده و برروی سرند با اندازه کوچکتر بعدی باقی می‌مانند.**
- **منحنی دانه‌بندی آنها بایستی بصورت یک خط مستقیم تقریباً عمودی بدست آید، اما در عمل ذرات ریزتری نیز همراه آنها وجود دارد که نسبت این ذرات ریز با توجه به خصوصیتشان محدود می‌شود.**
- **مصالح سنگدانه‌ای بد دانه‌بندی شده توسط *اندازه اسمی* [Nominal Size] آنها تعیین می‌شوند.**

مصالح سنگدانه‌ای خوب و بد دانه‌بندی شده

- اندازه اسمی، اندازه سرندی است که تمام و یا تقریباً تمامی ذرات، یعنی ۹۵ تا ۱۰۰ درصد دانه‌ها، از آن عبور می‌کنند. به‌منظور تسهیل نامگذاری مصالح سنگدانه‌ای بد دانه‌بندی شده، اندازه سرند عبور دهنده تمام ذرات به عدد صحیح بعدی گرد می‌شود.

- بعنوان مثال، سنگدانه‌هایی که تمام آنها از سرندهای ۹/۵ و ۱۹ میلیمتری عبور کند به ترتیب بعنوان سنگدانه‌های بد دانه‌بندی شده با اندازه ۱۰ و ۲۰ میلیمتر نامیده می‌شوند.

اندازه ذرات

- درصورتی‌که نفوذپذیری تحت تاثیر اندازه واقعی خلل و فرج ماده قرار داشته باشد، این اندازه نیز از اندازه ذرات کوچکتر که منجر به پر کردن فضاهای خالی موجود بین ذرات بزرگتر می‌شوند، تاثیر می پذیرد.

اندازه ذرات

- بسیاری از نویسندگان، D_{10} و یا D_{15} را بعنوان اندازه موثر ذرات (موثر، به‌دلیل اینکه آنها کنترل کننده نفوذپذیری می‌باشند)، درنظرمی‌گیرند.
- با درنظرگرفتن مفهوم کلی مورد نظر، تفاوت بسیار کمی بین دو اندازه مذکور وجود دارد.
- در مصالح سنگدانه‌ای بد دانه‌بندی شده با دانه‌بندی یکنواخت، اندازه فضاهای خالی موجود و میزان نفوذپذیری مستقیماً به اندازه اسمی مصالح دانه‌ای بستگی دارد.

ضریب دانه بندی

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

- شیب نسبتاً تند منحنی دانه‌بندی مربوط به سنگدانه‌های بد دانه‌بندی شده، کاملا مشخص است.

- مقدار این شیب توسط *ضریب یکنواختی* [Coefficient of Uniformity] ماده، **Cu**، که عبارتست از نسبت اندازه سرند ۶۰ درصد عبوری ذرات به اندازه سرند ۱۰ درصد عبوری ذرات، تعیین می‌شود:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Uniformity Coefficient C_u (measure of the particle size range)

$C_u = D_{60}/D_{10}$

$C_u < 5$: Very Uniform

$C_u = 5$: Medium Uniform

$C_u > 5$: Non-uniform

Coefficient of Gradation or Curvature C_g [C_c]

(measure of the shape of the particle size curve)

$C_g = (D_{30})^2 / D_{60} \times D_{10}$

C_g from 1 to 3: well graded

Where: D_{10} = diameter of particle size at 10% passing

D_{30} = diameter of particle size at 30% passing

D_{60} = diameter of particle size at 60% passing

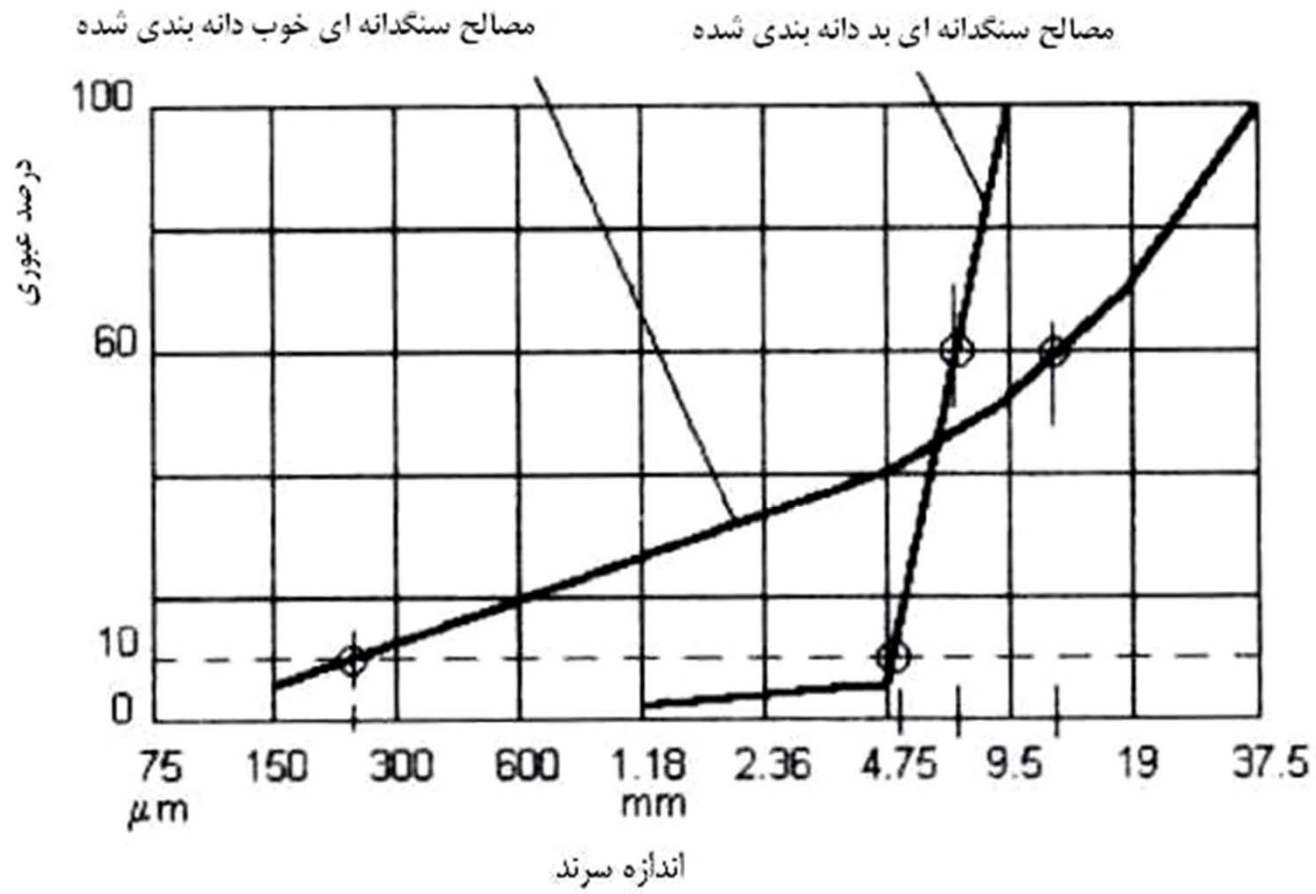
$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

ضریب دانه بندی
ضریب انحنا

ضریب یکنواختی

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

مصالح سنگدانه‌ای خوب دانه‌بندی شده و بد دانه‌بندی شده، ضریب یکنواختی.



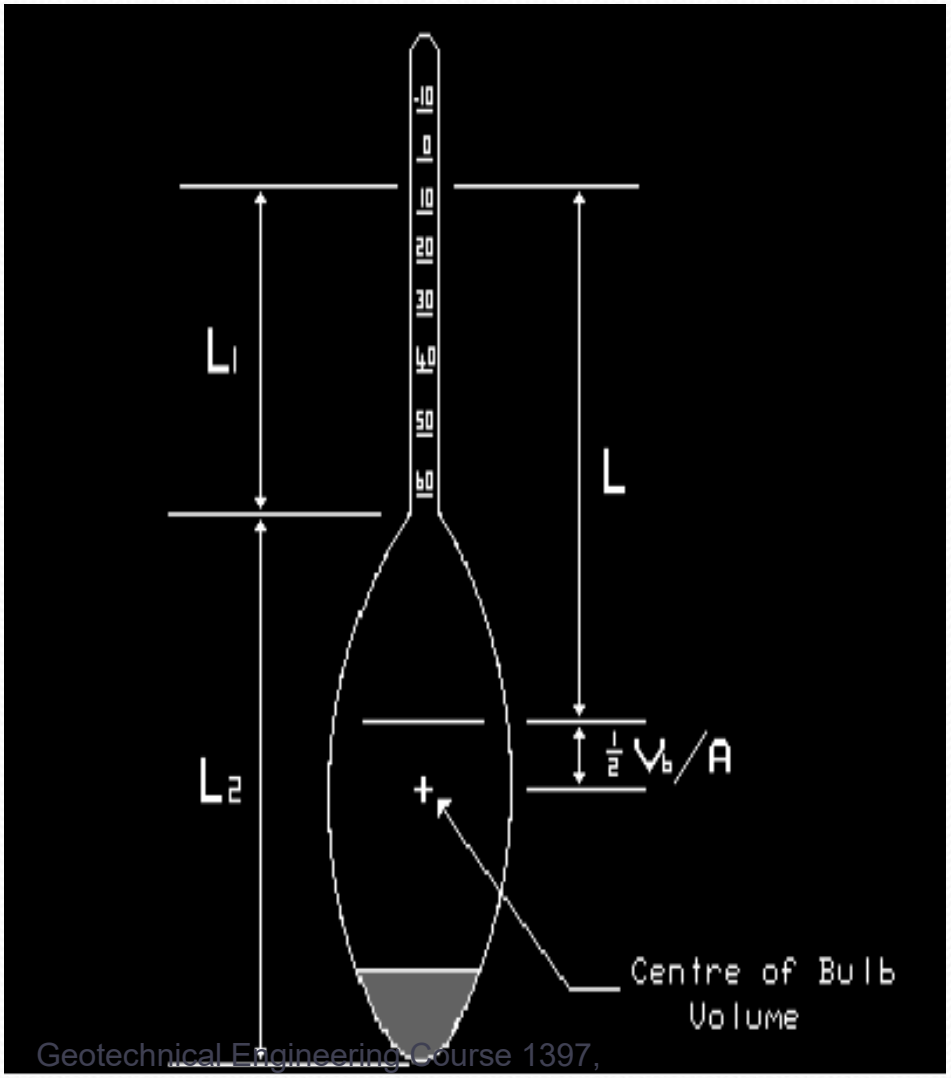
مثال :

مصالح خوب دانه بندی شده : $C_u = 12/0.22 = 54$

مصالح بد دانه بندی شده : $C_u = 8/5 = 1.6$

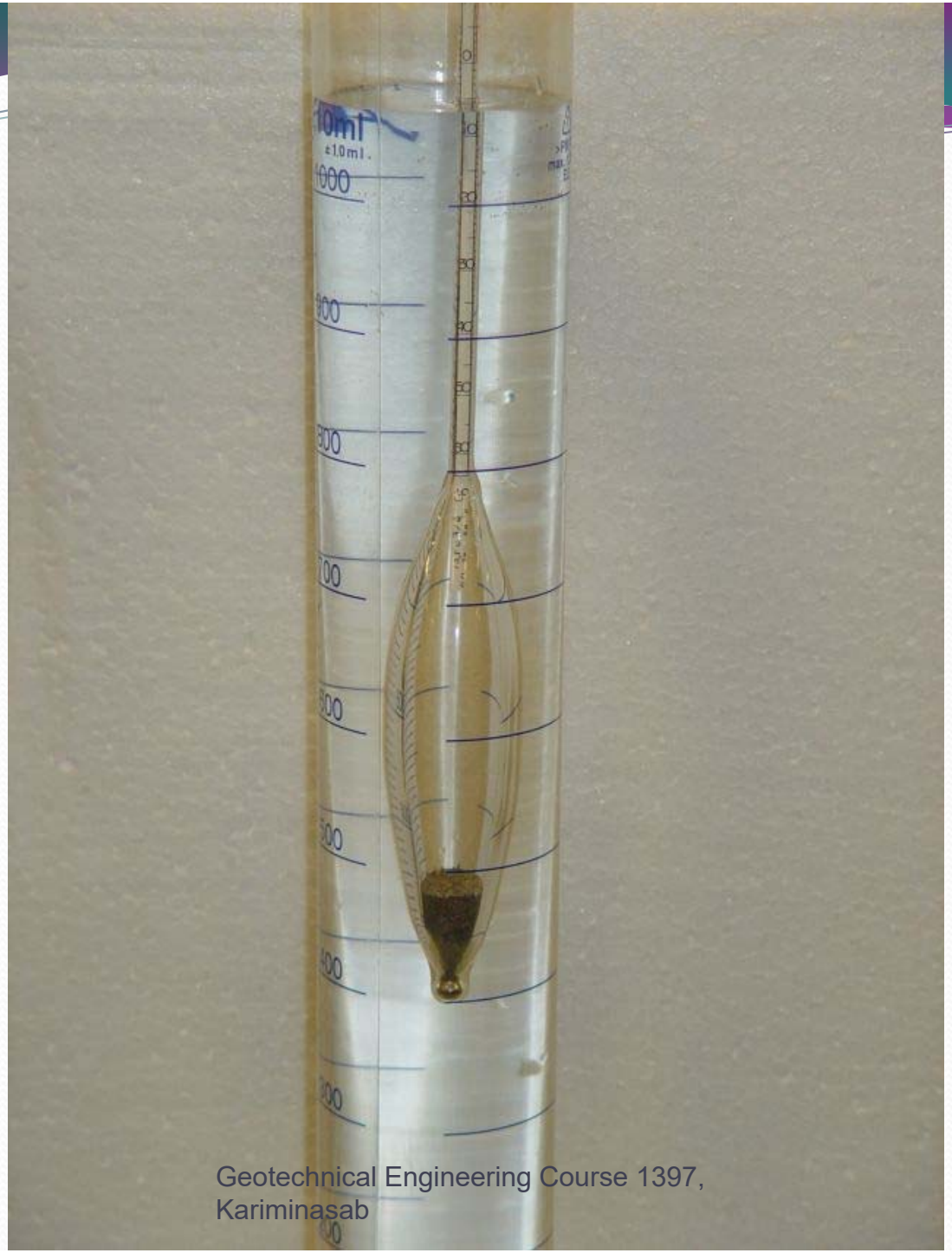


Dimensional features of ASTM 152H hydrometer for the purpose of calculating effective depth



Hydrometer







- آزمایش هیدرو متری برای تعیین منحنی دانه بندی خاک با چه ابعادی معتبر است؟
- تجزیه هیدرومتری مبتنی بر چه قانونی است؟

- قانون استوکس
- این قانون برای کره هایی به قطر 0.2 mm تا 0.002mm به کار می رود.



آزمایش هیدرو متری برای تعیین منحنی دانه بندی خاک بر اساس قانون استوکس می باشد.
قانون استوکس برای ذرات کروی به قطر 0.2 mm تا 0.002mm به کار می رود.

- برای ابعاد کوچکتر از آن چگونه دانه بندی صورت می پذیرد؟

- مقدار Cu ماسهٔ سواحل دریای مازندران را چقدر تخمین می زنید؟ چرا؟



سنگ کوارتزیتی را کاملاً نرم کرده و به زیر اندازه خاک رس می رسانیم، ماده حاصل چه خواصی از خاک رس را بدست می آورد؟

ذراتی که بر اساس اندازه شان به عنوان رس شناخته شده اند لزو ماً دارای کانیهای رسی نیستند.



- مقدار Cu خاک سنگدانه‌ای نزدیک به یک می‌باشد. در مورد این خاک چه می توان گفت؟



- حل مسائل شماره یک تا ۲۵ کتاب اصول مهندسی ژئوتکنیک ترجمه شاپور طاحونی

Soil Classification



PHASE RELATIONS

ترکیب خاک

چگالی دانه ها (توده ویژه)
Specific Gravity

- چگالی دانه ها کمیتی است بدون بعدو معمولاً عددی است بین 2.6 تا 2.9
- چگالی دانه های ماسه ای که اکثراً از کوارتز باشند در حدود 2.65 می باشد.
- چگالی خاکهای لای دار و رس دار در حدود 2.6 تا2.9

Gs=وزن قسمت جامد/وزن آب هم حجم آن =

$$\frac{Ws}{Vs.\gamma w}$$

Objectives

To compute the masses (or weights) and volumes of the three different phases.

Notation

M = mass or weight

V = volume

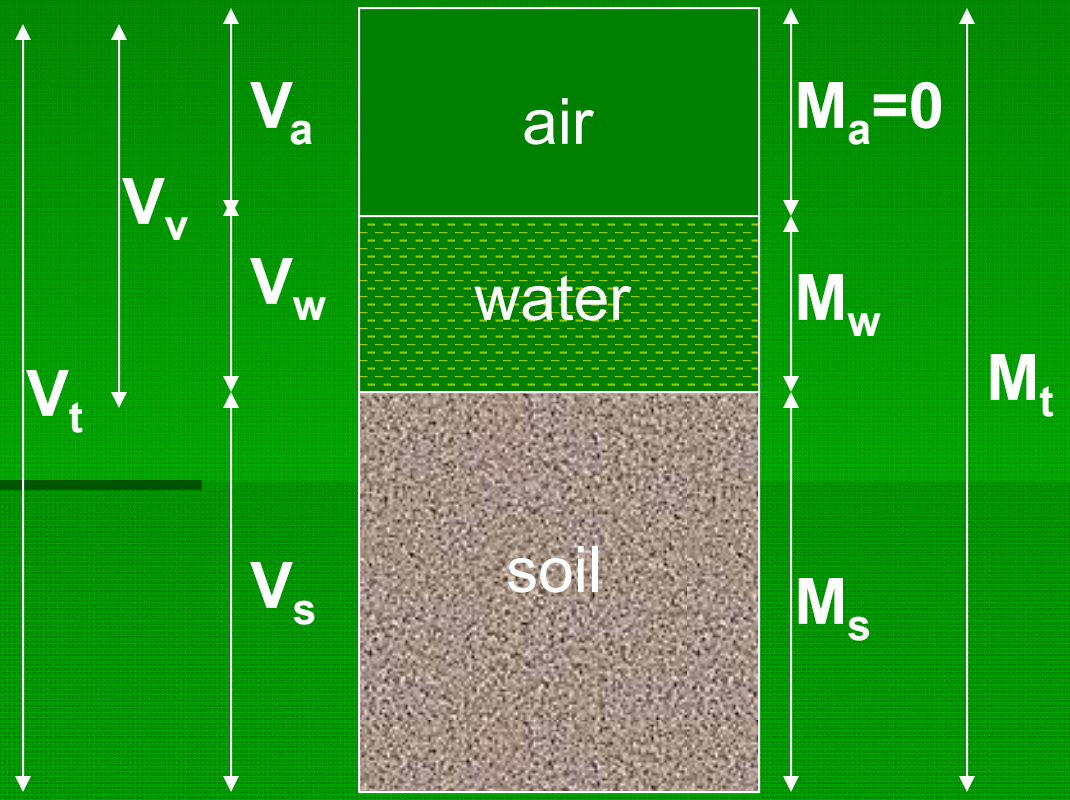
s = soil grains

w = water

a = air

v = voids

t = total



Phase Diagram

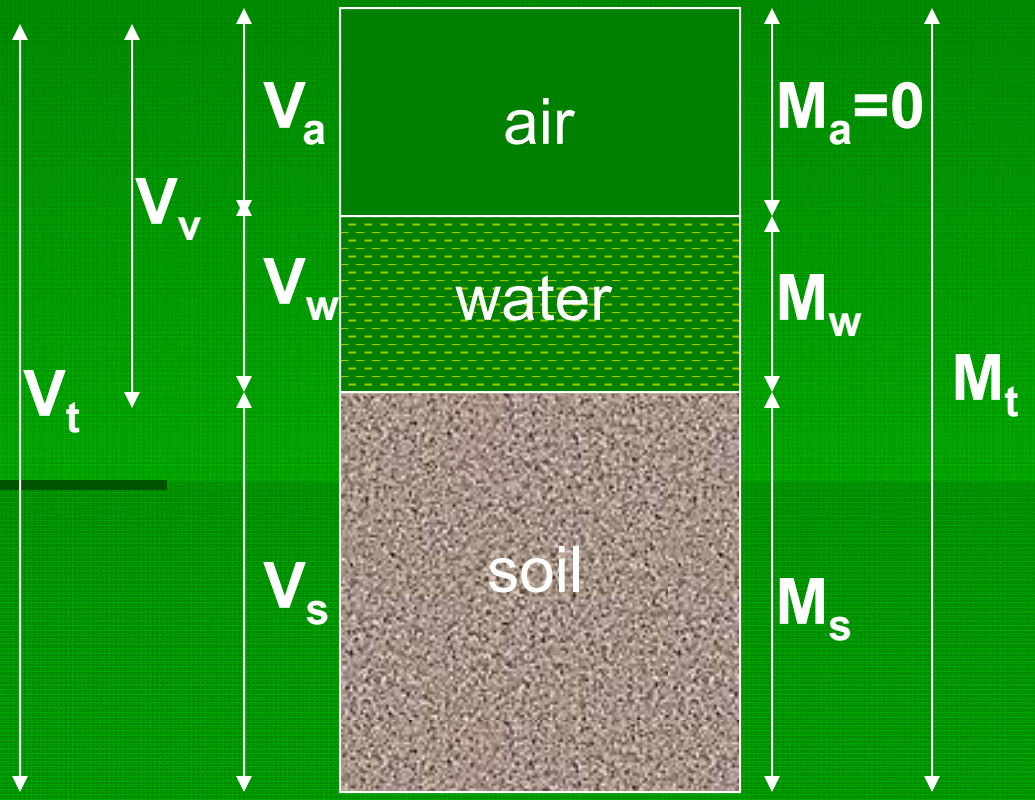
Definitions

Water content (w) is a measure of the water present in the soil.

$$w = \frac{M_w}{M_s} \text{ X } 100\%$$

Expressed as percentage.

Range = 0 – 100+%.

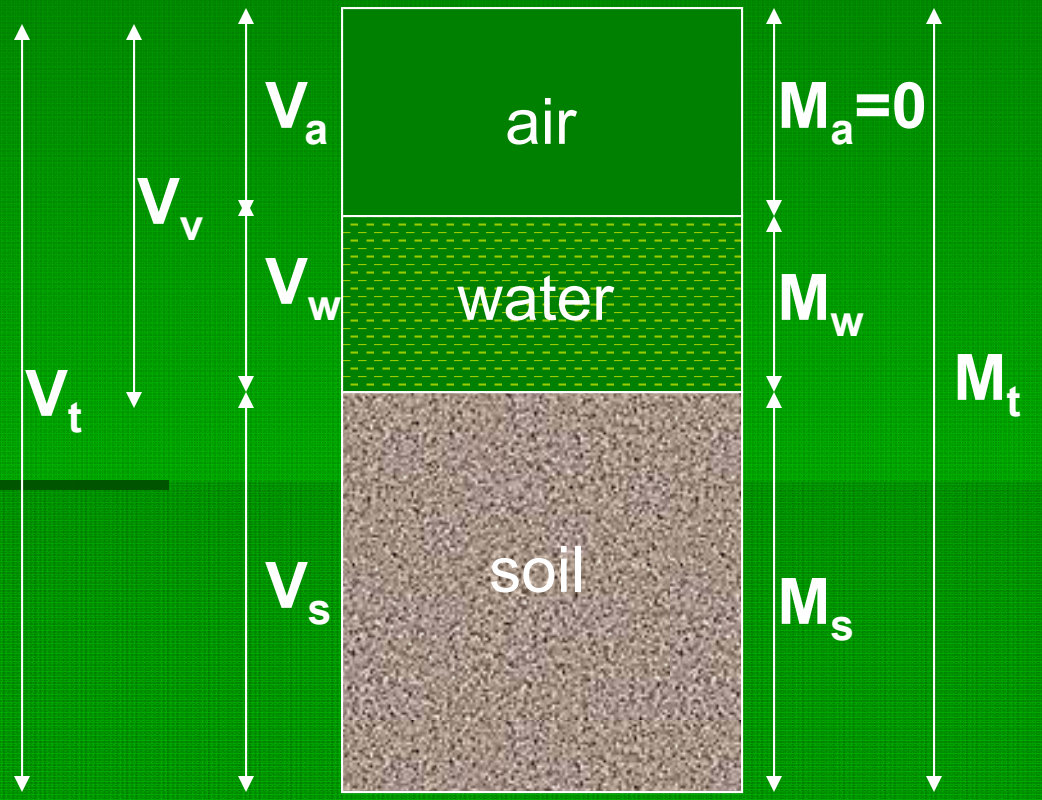


Phase Diagram

Definitions

Void ratio (e) is a measure of the void volume.

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$



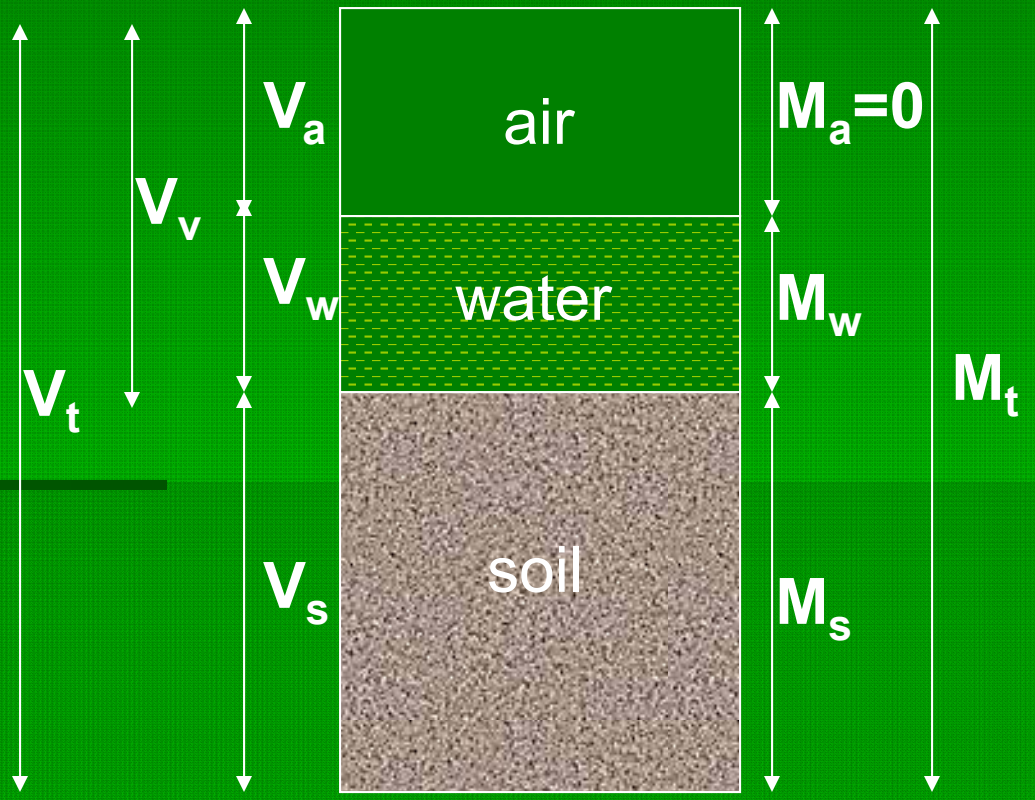
Phase Diagram

Definitions

Porosity (n) is also a measure of the void volume, expressed as a percentage.

$$n = \frac{V_V}{V_T} \text{ X } 100\%$$

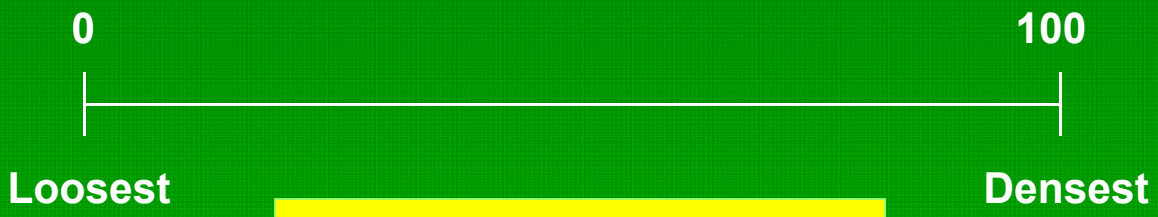
Theoretical range: 0 – 100%



Phase Diagram

Relative Density (D_r)

- Measure of how densely the grains are packed in a coarse grain soil in %.



$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

- Also known as **density index (I_D).**

Granular Soil Consistencies

As per AS1726 - 1993

Relative Density (%)	Consistency Term
0-15	Very loose
15-35	Loose
35-65	Medium dense
65-85	Dense
85-100	Very dense



- ا– اگر دانسیته نسبی خاکی 95 درصد باشد این نمونه خاک به لحاظ کیفی دارای کدامیک از خصوصیات زیر است؟
- الف – خاکی است سست
- ب– خاکی است خیلی سست
- ج– خاکی است خیلی متراکم
- د– خاکی است متراکم

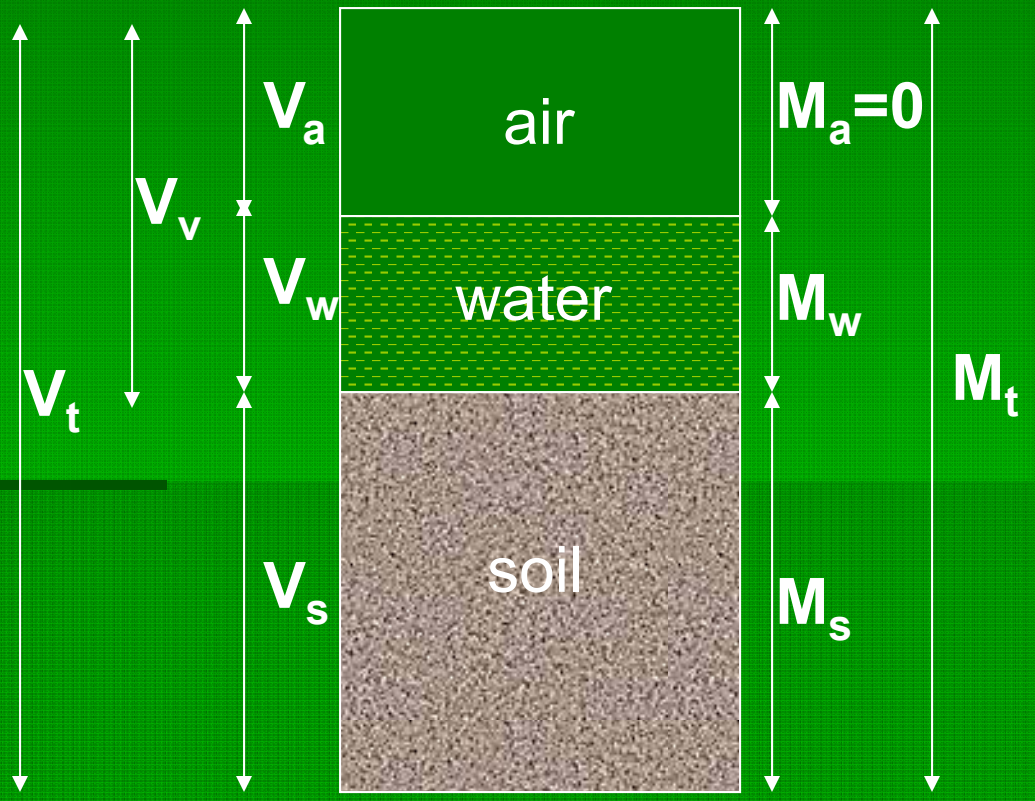
دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی

ج- خاکی است خیلی متراکم

Definitions

Degree of saturation (S) is the percentage of the void volume filled by water.

$$S = \frac{V_W}{V_V} \text{ X } 100\%$$



Range: 0 – 100%



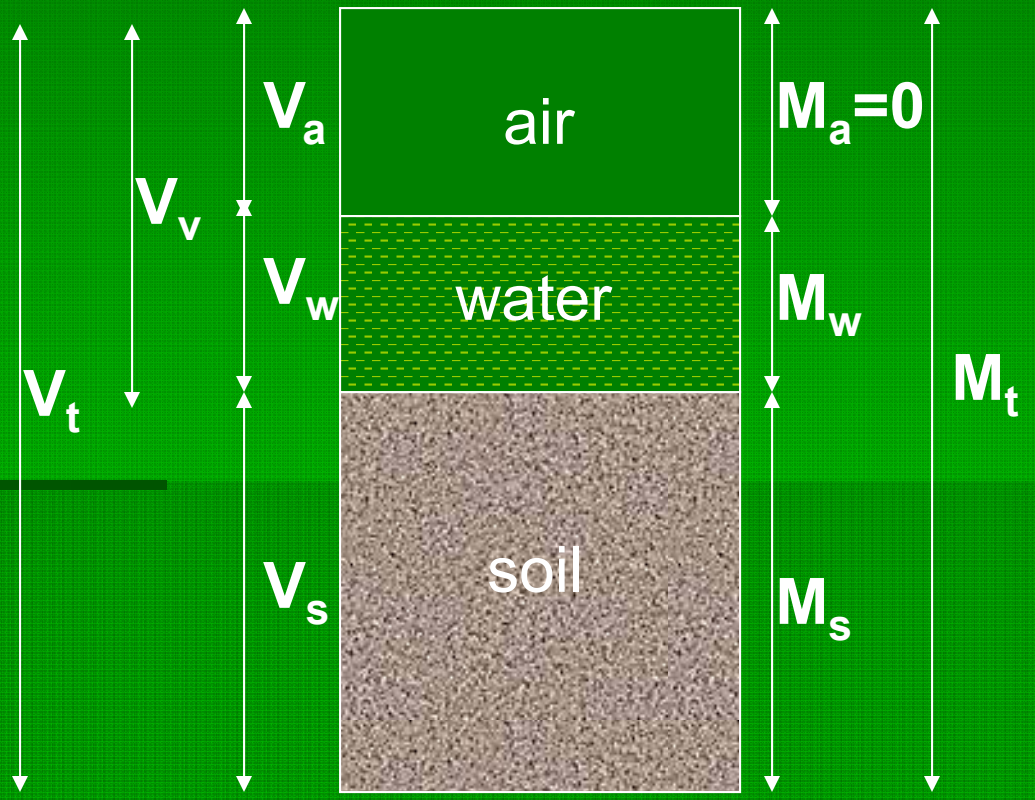
Phase Diagram

Definitions

Bulk density (ρ_m) is the density of the soil in the current state.

$$\rho_m = \frac{M_T}{V_T}$$

Units: t/m^3, g/ml, kg/m^3



Phase Diagram

Definitions

Saturated density (ρ_{sat}) is the density of the soil when the voids are filled with water.

Submerged density (ρ') is the effective density of the soil when it is submerged.

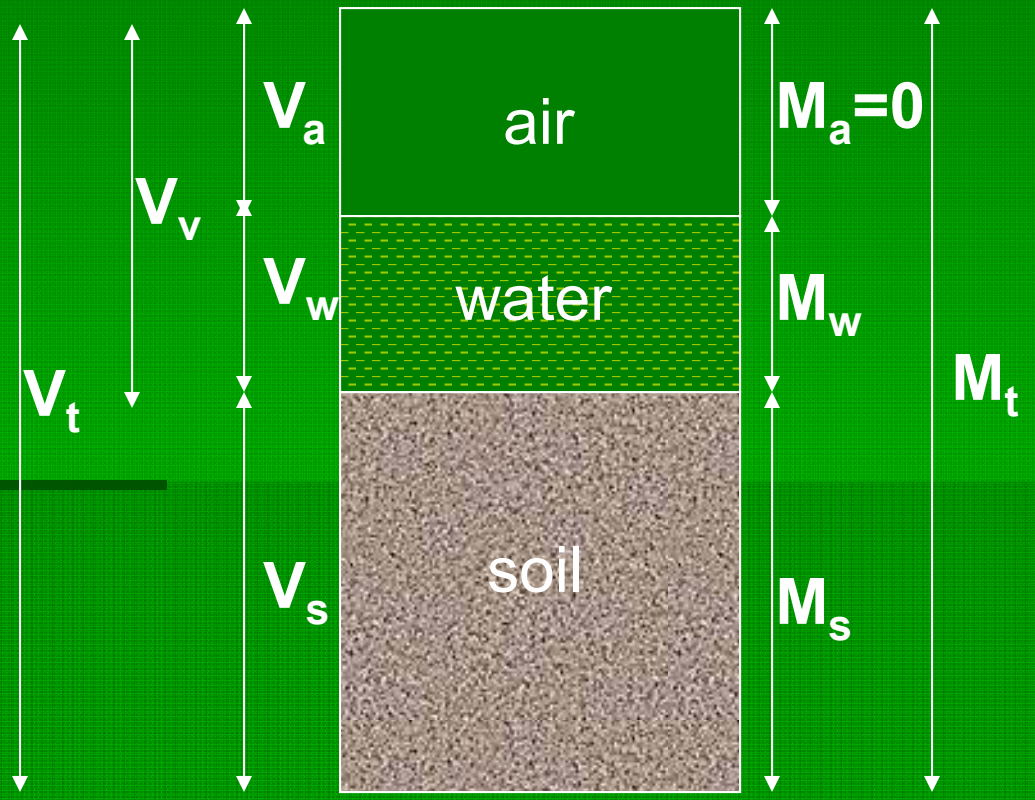
$$\rho' = \rho_{sat} - \rho_w$$

Definitions

Dry density (ρ_d) is the density of the soil in dry state.

$$\rho_d = \frac{M_S}{V_T}$$

Units: t/m^3, g/ml, kg/m^3



Phase Diagram

Definitions

Bulk, saturated, dry and submerged unit weights (γ) are defined in a similar manner.

Here, use weight (kN) instead of mass (kg).

$$\gamma = \rho g$$

N/m^3 kg/m^3 m/s^2

Specific gravity of the soil grains (G_s) typically varies between 2.6 and 2.8.

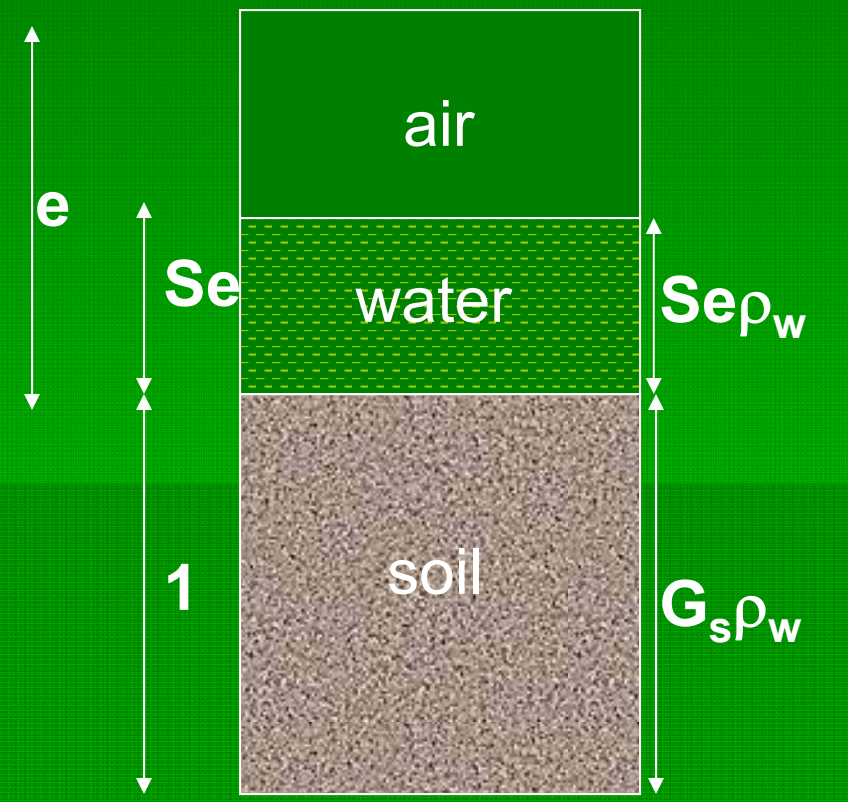
Phase Relations

Consider a fraction of the soil where $V_s = 1$.

The other volumes can be obtained from the previous definitions.

The masses can be obtained from:

Mass = Density x Volume



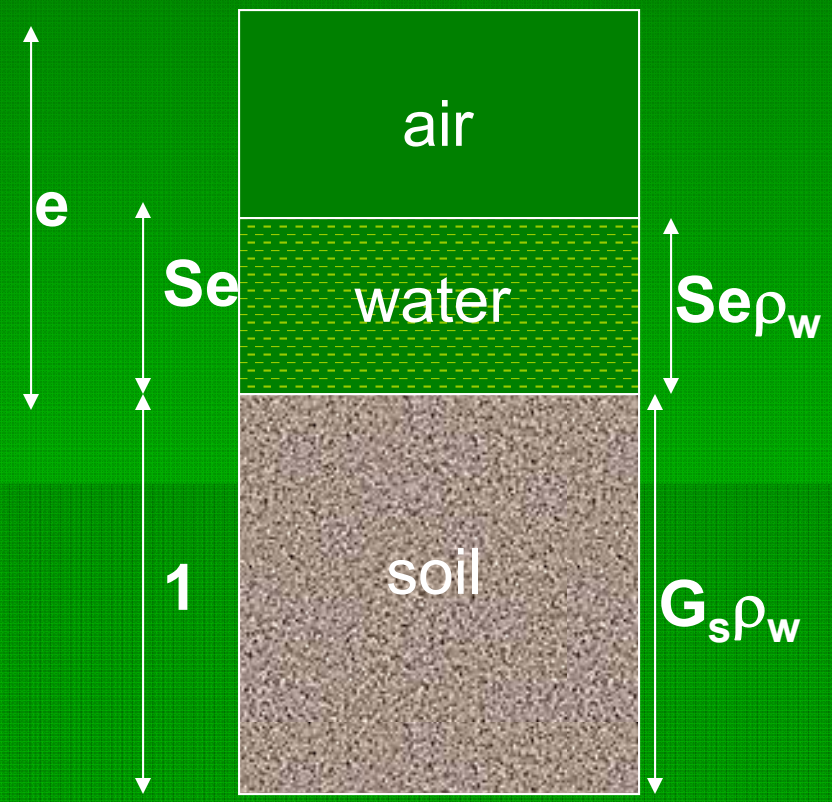
Phase Diagram

Phase Relations

From the previous definitions,

$$w = \frac{M_W}{M_S} = \frac{Se}{G_S}$$

$$n = \frac{V_V}{V_T} = \frac{e}{1+e}$$

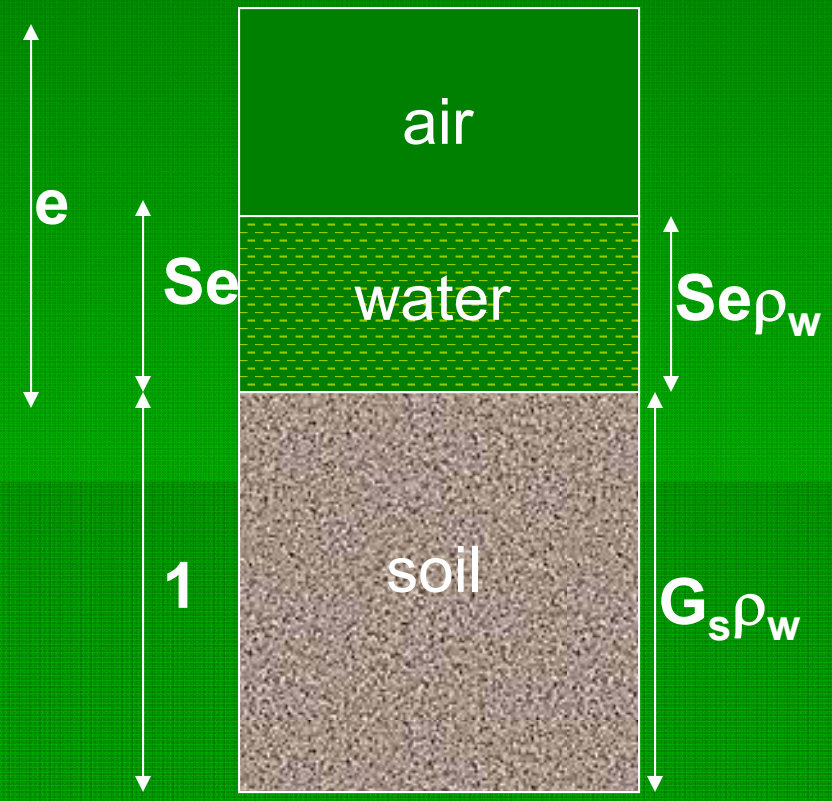


Phase Relations

$$\rho_m = \frac{M_T}{V_T} = \frac{G_S + Se}{1+e}\rho_W$$

$$\rho_{sat} = \frac{M_T}{V_T} = \frac{G_S + e}{1+e}\rho_W$$

$$\rho_d = \frac{M_S}{V_T} = \frac{G_S}{1+e}\rho_W$$



Phase Diagram