



## مقدمه

خاک به عنوان مصالح ساختمانی در طرح های مهمی در مهندسی عمران به کار گرفته می شود، انسان روی خاک زندگی می کند و انواع مختلف سازه همانند خانه ها، راه ها، پل ها و ..... را احداث می نماید بنابراین مهندسان عمران باید به خوبی خواص خاک از قبیل مبداء پیدایش، دانه بندی، قابلیت زهکشی آب، نشست، مقاومت برشی، ظرفیت باربری و غیره را مطالعه نموده و رفتار خاک را در نتیجه فعالیت انسان پیش بینی نماید. به طور مثال بعضی از مسائلی که ممکن است در نتیجه چنین فعالیت هایی در روی سطح زمین بوجود بیاید عبارتند از: نشست راه یا راه آهن در اثر بار ترافیک، ضریب ایمنی سازه حائل) به طور مثال آب بند خاکی، دیواره ساحلی یا سپری (در برابر واژگونی، فشار وارد بر روی تونل و یا نشست فونداسیون سازه های احداث شده در روی خاک. در این بخش به تعریفی مهندسی از خاک ارائه نموده و به بررسی منشاء تشکیل خاک به عنوان یک مصالح مهندسی ارزان، فراوان و لی پیچیده می پردازیم.

## تعریف خاک

از نقطه نظر یک متخصص کشاورزی خاک ماده ای است که گیاه در آن قابل رشد بوده و زندگی آن را تامین می نماید. از نقطه نظر یک زمین شناس خاک مفهوم چندان مشخصی نداشته و کلاً به مواد سست و جدا از همی که از تجزیه سنگ ها حاصل شده است اطلاق می شود. اما از نظر مهندسی خاک مفهوم نسبتاً وسیع تری دارد. در علوم مهندسی، خاک مخلوط غیر یکپارچه ای از دانه های کانی ها و مواد آلی فاسد شده ای می باشد که فضای خالی بین آن ها توسط آب و هوا) گازها (اشغال

شده است. لذا بر طبق تعاریف فوق متخصصین کشاورزی بیشتر به خاک های ارگانیك (آلی) توجه دارند و مهندسين بیشتر به خاک های غیر ارگانیك.

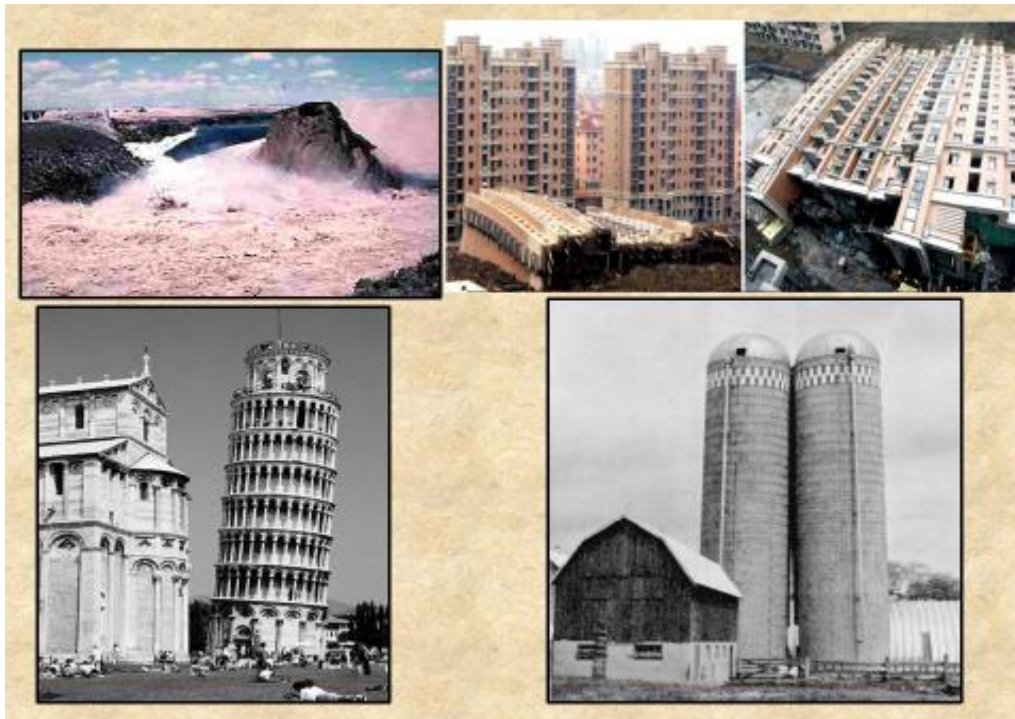
از بحث فوق دیده می شود که در نظر مهندسين خواص فیزیکی و مکانیکی خاک، از نظر متخصصین کشاورزی خواص شیمیایی و فیزیکی آن و از نظر زمین شناسان خواص مینرالوژی آن مهم می باشد.

## تاریخچه مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک

مکانیک خاک شاخه ای از علوم مهندسی است که به مطالعه مشخصات فیزیکی و رفتار توده خاک تحت بارهای وارده می پردازد.

مکانیک خاک تقریباً در آغاز قرن بیستم توسعه پیدا نموده است. در آن زمان نیاز به تحلیل و بررسی رفتار خاک ها در بسیاری از کشورها حس می شد که علت آن هم حوادثی همانند زمین لغزش ها و گسیختگی فونداسیون ها بود. بسیاری از اصول پایه مکانیک خاک در آن زمان به خوبی مورد استفاده قرار می گرفتند اما جمع بندی جامعی از این مبانی بنیادی تحت عنوان علم مکانیک خاک وجود نداشت. نخستین کسانی که کمک شایانی به توسعه مکانیک خاک نمودند عبارتند از: **کولمب** که رساله مهمی در رابطه با گسیختگی خاک تالیف نمود و همچنین **رانکین** که مقاله بسیار مهمی در رابطه با حالت های محتمل تنش به چاپ رساند. **داریسی** نتایج تحقیقاتش در رابطه با نفوذپذیری به چاپ رساند

امروزه مکانیک خاک به شاخه ای بالغ و مجزا از مهندسی عمران تبدیل شده است که دلیل اصلی آن خواص منحصر به فرد خاک در مقایسه با دیگر مصالح مهندسی می باشد. یکی از مهمترین دلایل توسعه مکانیک خاک طیف کاربرد وسیع خاک در مهندسی عمران و همچنین اینکه تمام سازه ها برای انتقال بارهایشان به خاک نیاز به یک فونداسیون کارآمد و طراحی شده دارند.



GEOLOGICAL CHARACTERISTICS

Soil Definition

Soils are aggregates of mineral particles, and together with air and/or water in the void spaces, they form three-phase systems.

خاک، مجموعه ای از ذرات مینرال با هوا و آب در حفرات بین ذرات، که یک محیط سه فازی ایجاد می کنند.

**خاک:**

از دیدگاه کشاورزی: ماده ای که گیاه در آن رشد کرده و زندگی آن را تأمین کند.

از دیدگاه زمین شناسی: ماده ای مست و جدا از هم که از تجزیه سنگها پدید می آید.

از دیدگاه مهندسی: مخلوط غیر یکپارچه ای که از مواد آلی فاسد شده و دانه های کانی تشکیل شده است که فضای خالی بین آنها از هوا و آب پر شده است.

←

از دیدگاه کشاورزی ← فیزیکی و شیمیایی

←

از دیدگاه زمین شناسی ← مینرالوژی

←

از دیدگاه مهندسی ← فیزیکی و مکانیکی

**خواص مورد بررسی خاک:**

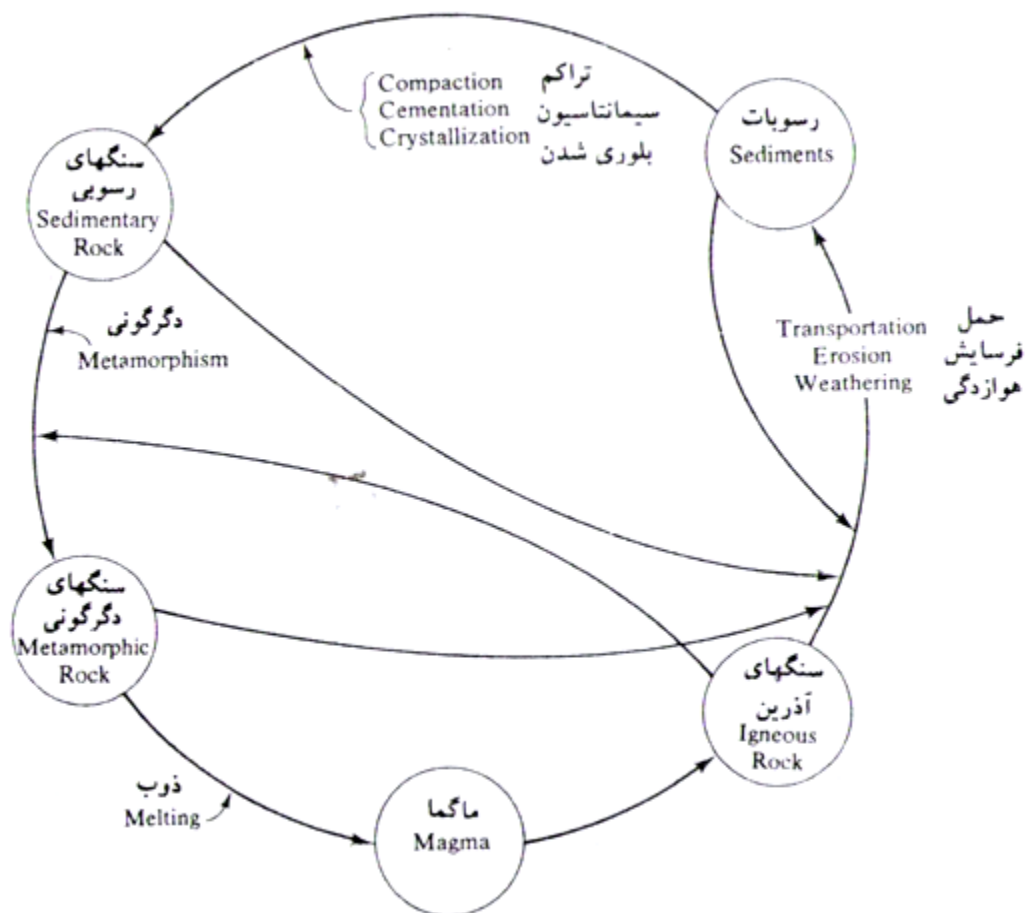
### چرخه سنگ و منشاء خاک

دانه های کانی که تشکیل دهنده قسمت جامد خاک هستند، از هوازدگی سنگها بوجود می آیند. دامنه تغییرات اندازه دانه ها وسیع است. بسیاری از خواص فیزیکی خاک، توسط اندازه، شکل و ترکیبات شیمیایی دانه ها دیکته می شوند.

برای فهم بهتر این عوامل، آشنایی با انواع اساس سنگهای تشکیل دهنده پوسته زمین، کانیهای تشکیل دهنده سنگها و فرآیند هوازدگی ضروری است.

کانی ها مواد طبیعی، غیر آلی، جامد و متبلوری هستند که ترکیب شیمیایی نسبتاً ثابتی دارند. تعداد کانی های شناخته شده در طبیعت بسیار زیاد است اما تمام این کانی ها دارای اهمیت نیستند و تعداد معدودی از این کانی ها در ساخت سنگ ها مشارکت می کنند که به آن ها کانی های سنگ ساز می گویند.

نمودار شکل زیر فرآیند، شکل گیری و پیدایش انواع مختلف سنگ را نشان می دهد، سنگها به سه نوع اصلی، آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم بندی می شوند. این نمودار چرخه سنگ نامیده می شود.



چرخه سنگ

هوازدگی

هواز دگي فرآيند خرد شدن سنگها به قطعات كوچكتر به وسيله فعل و انفعالات مكانيكي و شيميايي است. هواز دگي مكانيكي

مي تواند به وسيله انقباض و انبساط سنگ به علت تغييرات دما رخ دهد كه در نهايت منجر به خرد شده سنگ مي شود. همچنين انجماد آبهاي نفوذى به داخل خلل و فرج سنگ كه همراه با افزايش حجم يخ است، مي تواند فشار كافي براي خرد شدن سنگ را بوجود آورد. ساير عوامل فيزيكي كه به خرد شدن سنگ كمك مي كنند، عبارتند از: يخ يخچالي، باد، آب جاري در رودخانه ها و جويبار ها و امواج دريا. تذكر اين نكته لازم است كه در هواز دگي مكانيكي، قطعات بزرگ سنگ به قطعات ريز تر بدون هرگونه تغييرى در تركيبات شيميايي تقسيم مي شوند.

در هواز دگي شيميايي، به وسيله واكنشهاي شيميايي كانيتهاي اصلي سنگ به كانيتهاي جديد تبديل مي شوند. آب و دي اكسيد كربن هوا، تشكيل اسيد كربنيك مي دهند كه اسيد حاصل بر روي كانى هاي سنگهاي موجود واكنش شيميايي انجام داده و تشكيل كانيتهاي جديد و نمكهاي محلول مي دهد. نمكهاي محلول در آبهاي زير زميني ظاهر مي گردند. اسيد آلي نيز كه از فاسد شدن مواد آلي تشكيل مي شوند، باعث هواز دگي شيميايي مي گردند.

### سنگ آذرين

سنگهاي آذرين خروجي، از انجماد گدازه هاي ماگما كه از اعماق گوشه ي زمين به بيرون پرتاب شده اند، تشكيل مي شوند. بعد از پرتاب، چه به صورت فوران از شكافها و چه به صورت فوران از كوههاي آتشفشاني، مقداري از گدازه هاي ماگما در روي سطح زمين سرد مي شوند. گاهي مواقع حركت ماگما در زير سطح زمين متوقف شده و پس از سرد شدن تشكيل سنگهاي آذرين نفوذى كه پلوتون ناميده مي شوند، مي دهند. سنگهاي نفوذى تشكيل شده در زمانهاي گذشته، ممكن است به علت فرسايش مواد پوششي سطحي، نمايان شوند. نوع سنگ آذرين تشكيل يافته از سرد شدن ماگما، بستگي به عوامل متعددي نظير تركيبات ماگما، و سرد شدن آن دارد.

### سنگهاي رسوبي

رسوبات شن، ماسه، لاي و رس كه بوسيله هواز دگي تشكيل يافته اند، ممكن است توسط فشار ناشي از سربار، متراكم و توسط موادي نظير اكسيد آهن، كليست، دولوميت و كوارتز سمته شوند. مواد سمناسيون معمولاً به صورت محلول در آب زير زميني حمل مي شوند. اين مواد فضاي بين ذرات را پر مي كنند و تشكيل سنگهاي رسوبي مي دهند. سنگهايي كه از اين راه تشكيل مي شوند، سنگهاي رسوبي تخريبي ناميده مي شوند. كنگلومرا، برش، ماسه سنگ، ماداستون و شيل مثال هايي از سنگهاي رسوبي تخريبي هستند.

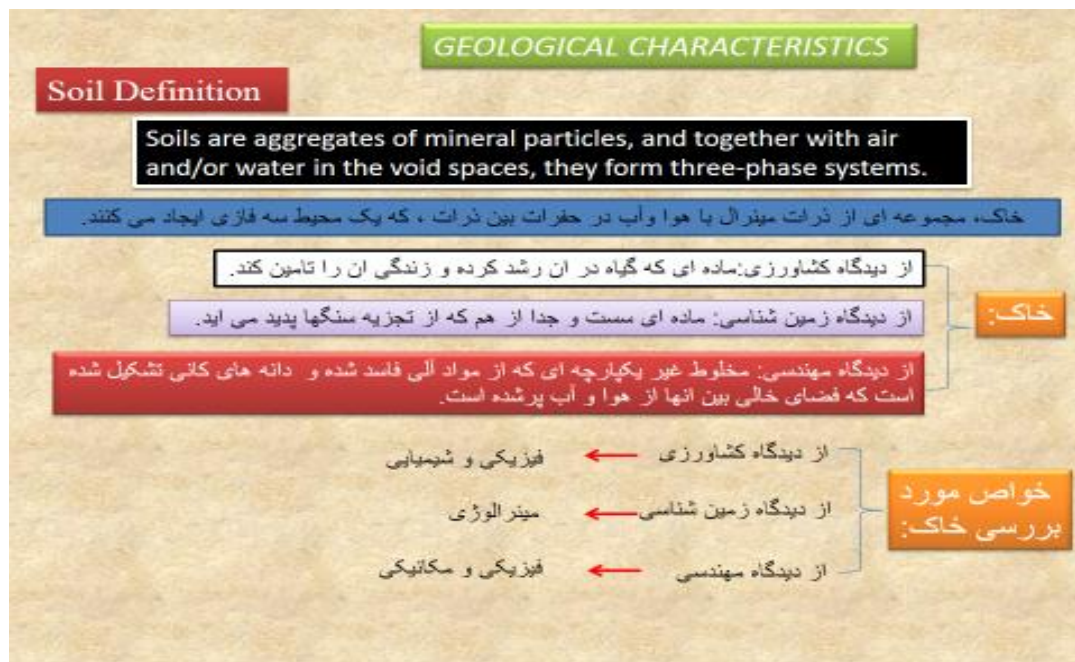
سنگهاي رسوبي مي توانند بوسيله فرآيندهاي شيميايي تشكيل يابند كه سنگهايي از اين نوع به سنگهاي رسوبي شيميايي معروف هستند. سنگ آهك، گچ، دولوميت، ژيپس، انيدريت، مثال هايي از اين نوع سنگهاي رسوبي مي باشند.

### سنگ دگرگوني

دگرگوني عبارت است از فرآيند تغيير تركيب و بافت سنگ بوسيله گرما و فشار بدون وقوع ذوب. در حين دگرگوني، کانيهاي جديد تشکيل شده و دانه هاي کانيها بریده مي شوند تا يك بافت ورقه اي به سنگهاي دگرگوني بدهند. گرانيت، ديوريت و گابرو تحت دگرگوني با درجه بالا به گنيس تبديل مي شوند. شيل و ماداستون با درجه دگرگوني پايين به اسليت و فيليت بدل مي شود. شيست ها يك نوع از سنگهاي دگرگوني با بافت ورقه اي خوب و پولک هاي قابل مشاهده و کانيهاي ميکا هستند. مرمر از تغيير ساختار بلوري کلسيت و دولوميت شکل مي گيرد. دانه هاي کاني در مرمر بزرگتر از آنهاي هستند که در سنگهاي اصلي وجود دارد. کوارتزيت يك سنگ دگرگوني است که از ماسه سنگ غني از کوارتز شکل مي گيرد. سيليس وارد فضاي حفره اي بين کوارتز مي شود و دانه هاي ماسه به عنوان يك سمنتاسيون عمل مي کند. کوارتزيت يکي از سخت ترين سنگهاست. تحت فشار و دماي بالا سنگهاي دگرگوني ذوب شده و به ماگما تبديل مي شوند و چرخه سنگ تکرار مي شود.

## مرز بين خاک و سنگ

بنا به تعريف، مواد معدني متشکله پوسته روئي زمين تشکيل شده است از تعدادي ذرات مجزا از هم که خاک ناميده مي شود و توده اي از ذرات چسبيده به هم و بکپارچه که سنگ خوانده مي شود. از نقطه نظر چسبندگي ذرات به هم مرز قاطع و معيني بين سنگ و خاک وجود ندارد اما اکثراً متخصصان در اين رشته مرز بين اين دو دسته مواد را به اين صورت قبول مي نمايند که چسبندگي بين ذرات توده خاک در اثر قرار گرفتن آن در آب و بهم زده شدن از بين برود و ذرات از هم جدا شوند در حالي که در سنگ ها اين چسبندگي در اثر قرار گرفتن در آب از بين نرفته و توده سنگ استحکام خود را همچنان در زير آب نيز حفظ نمايد و با بهم زده شدن پراکنده نگردد. از آنجا که خاک خود از هوابدگي و خرد شدن قطعات سنگي بوجود مي آيد، از نقطه نظر فزيکي نيز مرز مشخصي بين ذراتي که خاک خوانده مي شوند و قطعاتي که سنگ ناميده مي شوند وجود ندارد و اگر هم چنين مرزي در نظر گرفته شود کاملاً دلخواه و قرار دادي است.



## دانه های خاک

### ۱: سایز دانه ها

اندازه دانه های تشکیل دهنده خاک در دامنه وسیعی متغیر است. بر حسب اندازه دانه ها، خاک ها معمولاً شن، ماسه، لای و یا رس نامیده می شود. برای تشریح خاک ها، سازمان های مختلف حدود جداکننده اندازه دانه های خاک را پیشنهاد می کنند. در جدول زیر حدود پیشنهادی جداکننده اندازه دانه ها، توسط چند سازمان مختلف ارائه شده است. در حال حاضر، حدود پیشنهادی توسط سیستم طبقه بندی متحد خاک متداولترین است.

جدول ۱-۳ حدود پیشنهادی جداکننده اندازه دانه های خاک

| نام سازمان                                | اندازه دانه ها (mm)            |                |              |              |
|-------------------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------|--------------|
|                                           | رس                             | لای            | ماسه         | شن           |
| انستیتو تکنولوژی ماساچوست (MIT)           | < 0.002                        | 0.002 تا 0.06  | 0.06 تا 2    | > 2          |
| سازمان کشاورزی آمریکا (USDA)              | < 0.002                        | 0.002 تا 0.05  | 0.05 تا 2    | > 2          |
| انجمن ادارات راه و ترابری آمریکا (AASHTO) | < 0.002                        | 0.002 تا 0.075 | 0.075 تا 2   | 2 تا 76.2    |
| سیستم طبقه بندی متحد                      | < 0.075 ریز دانه ها (رس و لای) | 0.075 تا 4.75  | 4.75 تا 76.2 | 76.2 تا 76.2 |

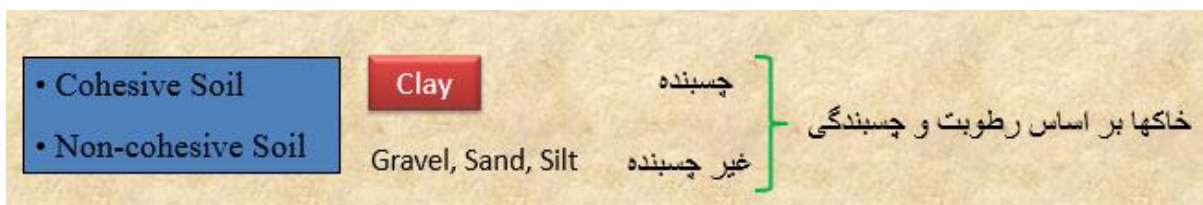
تخته سنگ < لاشه سنگ < قلوه سنگ < شن < ماسه < سیلت < رس  
Boulder Cobble Pebble Gravel Sand Silt Clay

ملاحظه می شود که در سیستم طبقه بندی متحد، ملاک تشخیص رس و لای اندازه قرار داده نشده است و کلیه ذراتی که اندازه آن ها از ۰/۰۷۵ میلیمتر (۷۵ میکرون) است، در طبقه ریزدانه ها قرار داده می شوند. در فصل دوم با علت این دسته بندی آشنا خواهیم شد.

۲: شکل ظاهری

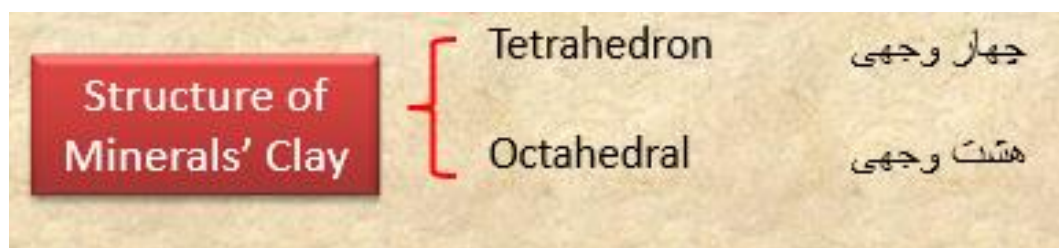
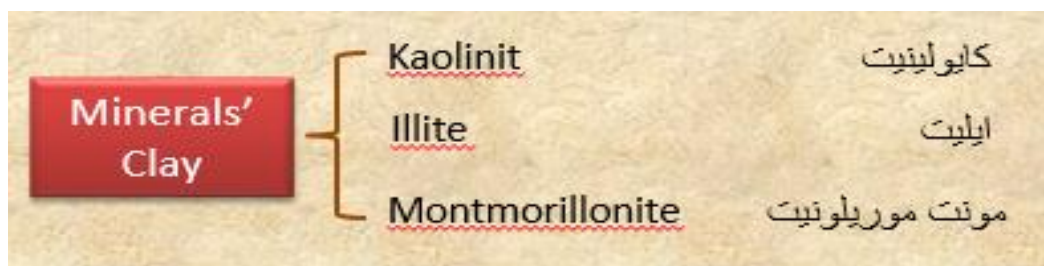


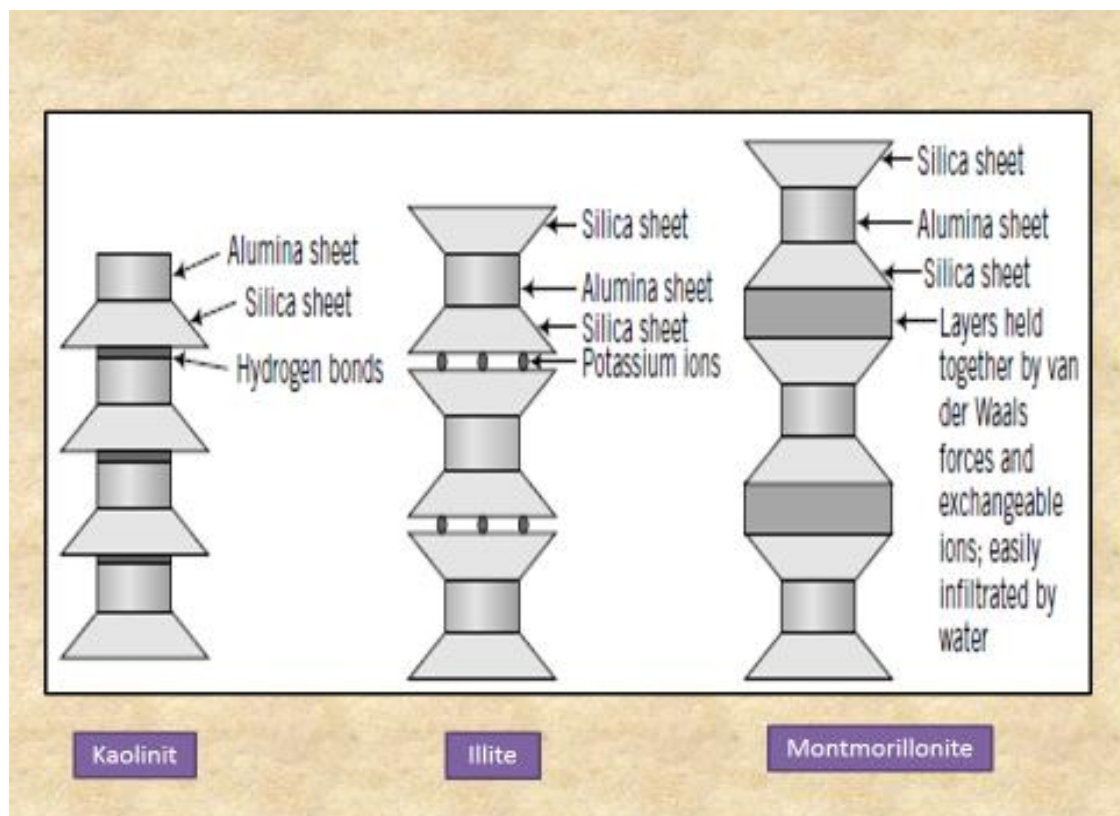
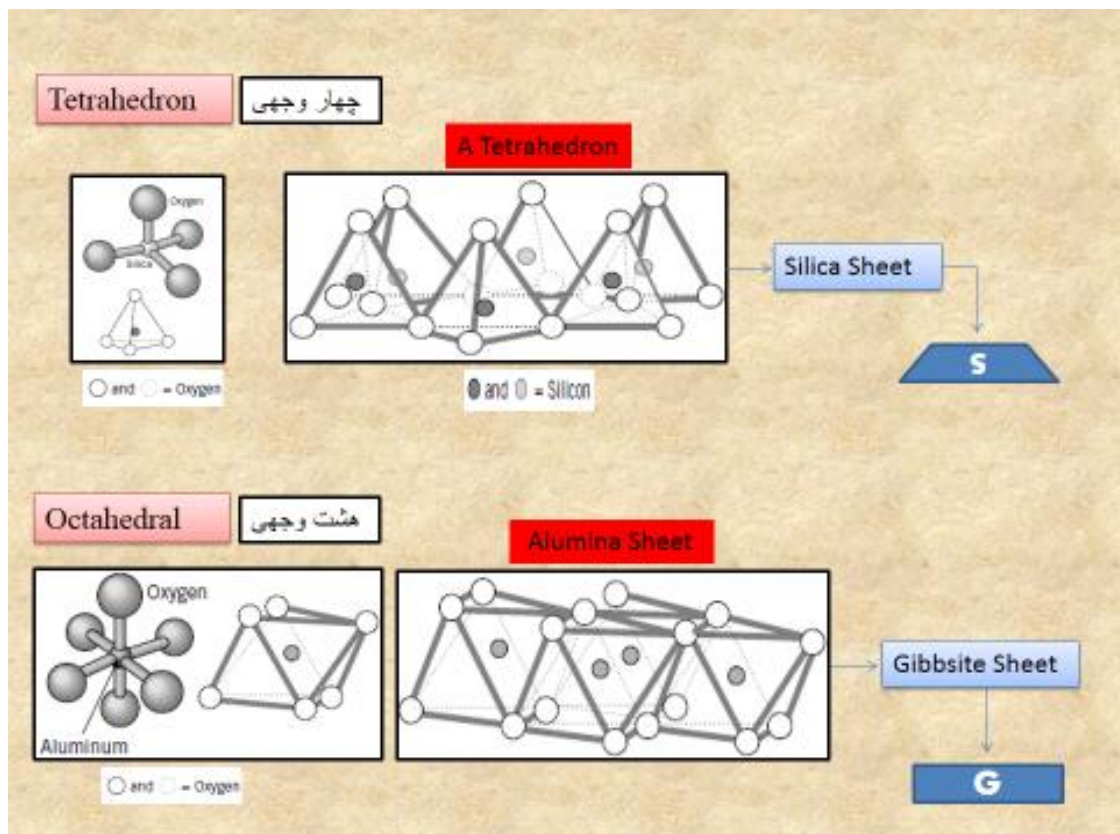
۳: واکنش در برابر رطوبت



### کانی های رسی

کانی های رسی معمولاً دارای ساختمان بلوری متشکل از دو بخش اساسی یعنی واحد چهار وجهی و واحد هشت وجهی هستند. با توجه به نحوه قرار گرفتن این ذرات در کنار هم سه گروه اصلی کانی های رسی یعنی کانولینیت و ایلیت و مونت وریلونیت پدید می آید. از دیگر کانی های رسی می توان ورمیکولیت، آتاپولزیت و کلریت را نام برد.





**Specific Surface** = surface area / unit mass

واحد جرم / سطح جانبی / سطح مخصوص (ویژه)



1x1x1

→ Specific surface =  $(1 \times 1) \times 6 / 1 = 6 \text{ m}^2/\text{Kg}$

مکعب کوچکتر



0.5x0.5x0.5

→ Specific surface =  $(0.5 \times 0.5) \times 6 / (1/8) = 12 \text{ m}^2/\text{Kg}$

سطح ویژه بزرگتر

| نوع کتی                      | کاتولینیت | ایلیت     | مونت موریلونیت |
|------------------------------|-----------|-----------|----------------|
| ضخامت هر واحد (Å)            | 7         | 10        | 9.6            |
| ضخامت هر لایه (Å)            | 500 ~ 100 | 200 ~ 300 | 10 ~ 30        |
| تعداد واحد در هر لایه        | 70 ~ 140  | 20 ~ 30   | -              |
| سطح ویژه (m <sup>2</sup> /g) | 10 ~ 20   | 80 ~ 100  | 800            |

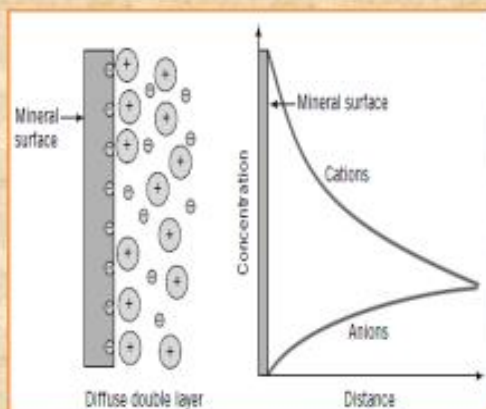
The clay-water interaction coupled with the large surface areas results in clays having larger water-holding capacity in a large number of smaller pore spaces compared.

### Surface Forces and Absorbed Water

Due to exchangeable cations on the surface of clay particles when (water + clay)

cations and anions float around the clay particles.

ناشی از بار منفی در سطح ذرات رس، مولکولهای دو قطبی آب جذب می شوند. با توجه به تراکم این مولکولها سه نوع لایه اطراف پولکهای رسی به وجود می آیند:

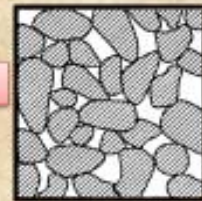


لایه آب جذب سطحی    لایه نازک ولی متراکم  
 لایه آب سضاعف    لایه ضخیم تر با تراکم کمتر  
 لایه آب پراکنده    لایه در اطراف دو لایه بالا

## Soil Mass Structure OR Soil Fabric

Characteristic of coarse grained soils.

Single Grain Structure



Honeycomb Structure



Only in fine-grained soils, especially in silt and rock flour.

Characteristic of fine-grained soils such as clays.



Flocculated Structure

Inter-particle forces play a predominant role in the deposition.



Flocculated Structure



Dispersed Structure