مکانیک خاک

فصل اول

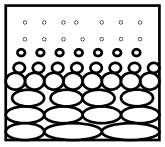
خاک و منشاء پیدایش آن

خاک شامل مجموعه ذراتی است که ممکن است اندازه بسیار متفاوتی داشته باشند. خاک محصول فرعی فرسایش مکانیکی و شیمیایی سنگ است. به بیان دیگر خاک به سنگ دانه‌های غیر سیمانته (جدا ازهم) از ذرات معدنی ومواد آلی فاسد شده اطلاق می‌شود که فضاهای خالی بین این ذرات جامد را مایع (آب) وگاز (هوا) اشغال نموده است.

در واقع خاک مجموعه‌ای ازذرات کانی طبیعی است که می‌توان دانه‌های آن را بوسیله دست یا ریختن درآب جدا کرد. به علم رفتاری خاک مکانیک خاک گفته می‌شود. در این علم به جنس خاک کاری نداریم و بیشتر با فیزیک خا ک (حدود اندازه خاک و رفتار آن تحت بارگذاری) سر و کارداریم. خاک‌ها منشاء فیزیکی و شیمیایی دارند که ناشی از فرسایش سنگ است. به خاک‌هایی که از فرسایش فیزیکی سنگ بدست می‌آیند خاک در شت دانه و به خاک‌هایی که از فرسایش شیمیایی بدست می‌آیند خاک ریزدانه (رس ولای) می‌گویند.

درطبیعت خاک‌ها به دو حالت یا فت می‌شوند:

۱ـ خاک ماندگار (برجا):



خاک‌هایی که درهمان محل سنگ مادرتشکیل شده و در همانجا باقی می‌مانند خاک برجا می‌گویند این نوع خاک‌ها دارای عمق کم ودانه بندی آنها از یکدیگر متمایز است.

۲ـ خاک‌های حمل شده یا جابجا شده:

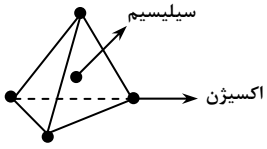
این نوع خاک‌ها ناشی از تحرکات سطح زمین ازمحل پیدایش اولیه خود جابجا شده اند انواع این نوع خاک‌ها عبارتنداز:

خاک‌های یخچالی، خاک‌های آبرفتی، خاک‌های دریاچه‌ای، خاک‌های دریایی، خاک‌های بادرفتی، خاک‌های ثقلی و خاک‌های دستی.

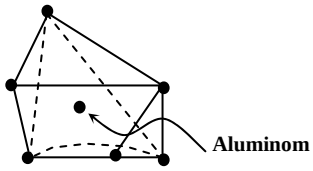
خاک‌های رسی

این نوع خاک‌ها نتیجه فرسایش شیمیایی سنگ‌ها می‌باشند و ذرات این خاک‌ها دارای ابعاد کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر بوده که تشکیل بلورهایی کوچک به نام بلورهای کلوئیدی رس می‌دهند.

کانی‌های رسی بطور عمده ازدو واحد بنیانی تشکیل شده‌اند.



الف) سیلیکاتترا هیدروژن (چهار وجهی سیلیکا) که به آن اصطلاحاً سیلیس (SiO_2) می‌گویند.



ب) آلومینا اکتا هیدروژن (هشت وجهی آلومینا) که به آن اصطلاحاً آلومین (Al_2O_3) می‌گویند.

این بنیان‌ها به یکدیگر می‌چسبند و تشکیل یکسری صفحات کوچک می‌دهند و دارای سطح جانبی بیشتری نسبت به اجسام هم وزن خود هستند.

سطح ویژه: برابراست با مساحت جانبی ذرات خاک رس تقسیم برجرم ذرات خاک رس. هرچه سطح ویژه بزرگتر باشد چسبندگی خاک بیشتراست.

با توجه به نحوه قرارگیری صفحات کنار یکدیگر انواع کانی‌های رسی را بصورت زیر بیان می‌کنیم.

۱ـ کائولینیت: از یک صفحه چهاروجهی و یک صفحه هشت وجهی تشکیل شده است. پیوند اجزاء از نوع هیدروژنی قوی است.

۲ـ ایلیت: از دو صفحه چهار وجهی و یک صفحه هشت وجهی تشکیل شده است. نام دیگر آن میکای رس است.

۳ـ مونت موریلونیت (مونموریونیت): از یک صفحه هشت وجهی و دو صفحه چهاروجهی با پیوند ضعیف واندروالسی تشکیل شده است.

سطح ویژه موریلونیت > سطح ویژه ایلیت > سطح ویژه کائولینیت

$$۱۵\ \frac{m^۲}{gr} < ۸۰\ \frac{m^۲}{gr} < ۸۰۰\ \frac{m^۲}{gr}$$

خاصیت چسبندگی وخمیری کانی مونت موریلونیت بیشتراز سایرین است.

ساختمان خاک

به نحوه قرارگیری دانه‌های خاک روی یکدیگر ساختار خاک گویند که بستگی به ریزی ودرشتی خاک دارد.

اگر خاک درشت دانه باشد به آن ساختمان تک دانه‌ای گویند و اگر خاک چسبنده یاریزدانه باشد به خاطر پیوند بین آنها ساختمان فولوکوله یاساختمان پراکنده گویند.

در ساختمان فولوکوله نیروهای بین دانه‌ای ازنوع جاذبه بوده ودر ساختمان پراکنده نیروهای بین دانه‌ای ازنوع دافعه هستند.

تخلخل و حساسیت ساختمان مجتمع نسبت به دست خوردگی بیشتر از ساختمان پراکنده (لایه‌ای) است.

نکته۱: وجود کانیهای رس در ریزدانه‌ها سبب جذب آب توسط آنها می‌گردد و باعث می‌شود خاک حالت خمیری و چسبندگی به خود بگیرد. سطح ذرات رس حامل بار منفی است و هر چه سطح ویژه بزرگتر باشد درصد جذب آب بیشتر خواهد بود.

نکته۲: در ساختمان خاک‌های مرکب، ذرات غیرچسبنده درشت و ذرات خاک‌های چسبنده ریز دانه با هم یافت می‌شوند. در این حالت اسکلت خاک را ذرات درشت دانه تشکیل می‌دهند که بوسیله خمیر چسب مانند، متشکل از مواد ریزدانه بهم اتصال یافته‌اند. خاک‌های مرکب دارای سه نوع ساختمان مختلف هستند:

۱) ساختمان شناور ۲) ساختمان نیمه شناور ۳) ساختمان اتکا مستقیم.

در ساختمان شناور و نیمه شناور ذرات ریزدانه زیاد بوده و لذا با اضافه شدن آب باربری خاک کاهش می‌یابد ولی در ساختمان اتکا مستقیم افزایش آب تأثیری در باربری ندارد.

نکته۳: نفوذپذیری ساختار لایه‌ای (پراکنده) کمتر از ساختار مجتمع (لخته‌ای) می‌باشد ولی تخلخل ساختار لخته‌ای بیشتر از ساختار لایه‌ای (موازی) است.

مثال ۱: تورم ناشی از جذب رطوبت در کدام ساختار بیشتر است؟

۱) اتکا مستقیم ۲) شناور ۳) نیمه‌شناور ۴) لانه زنبوری

☑ **پاسخ :** گزینه «۲» ساختار شناور ریزدانه بیشتری داشته و نسبت به باقی گزینه‌ها تورم بیشتری دارد.

نکته۴: خاک معمولاً در کارهای عملی به ذرات رسی و ریزدانه اطلاق می‌شود که اندازه آنها کوچکتر از ۲ میکرون (۰/۰۰۲ میلی‌متر) است.

نکته۵: با توجه به توضیحات قبلی می‌توان ارتباط ساختارها را بصورت زیر بیان نمود:

شناور < نیم شناور < اتکا مستقیم $\Rightarrow$ از نظر باربری

شناور > نیم شناور > اتکا مستقیم $\Rightarrow$ از نظر تورم

شناور < نیم شناور > اتکا مستقیم $\Rightarrow$ از نظر جذب آب

شناور < نیم شناور < اتکا مستقیم $\Rightarrow$ از نظر نفوذپذیری

مثال ۲: توان باربری کدام ساختار بیشتر است؟

۱) شناور ۲) نیمه‌شناور ۳) اتکا مستقیم ۴) لایه‌ای

☑ **پاسخ :** گزینه «۳» در ساختار اتکا مستقیم دانه‌های درشت بر یکدیگر تکیه داشته و باربری بیشتری را نتیجه می‌دهند.

تستهای طبقه‌بندی شده فصل اول

۱ـ اندازه ذرات کلی خاک ها از ریز به درشت کدام است؟ (سراسری ـ ۸۳)

۱) رس ـ ماسه ـ شن ۲) رس ـ شن ـ ماسه ۳) ماسه ـ رس ـ شن ۴) شن ـ ماسه ـ رس

۲ـ اگر «سطح مخصوص کائولینیت < سطح مخصوص ایلیت < سطح مخصوص مونتموریلونیت» باشد، آنگاه درصد جذب آب کدام بیشتر است؟ (سراسری ـ ۸۳)

۱) درصد جذب آب هر سه یکسان است. ۲) مونتموریلونیت
۳) کائولینیت ۴) ایلیت

۳ـ به ذرات خاک کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر چه گفته می‌شود؟ (آزاد ـ ۸۳)

۱) لای ۲) رس ۳) ماسه ۴) شن

۴ـ واحد و بنیان اساسی کانی‌های رس عبارت است از: (آزاد ـ ۸۶)

۱) سیلیس چهاروجهی و آلومین هشت وجهی. ۲) آلومین چهاروجهی و سیلیس هشت وجهی.
۳) هیدروکسیل چهاروجهی و سیلیکون هشت وجهی. ۴) آلومین هشت وجهی و سیلیکون چهاروجهی.

۵ـ در کدام یک از خاک‌های رسی، خاصیت خمیری قوی‌تری وجود دارد؟ (سراسری ۸۷)

۱) ایلیت ۲) کائولینیت ۳) بنتونیت ۴) مونت موریلونیت

۶ـ کدامیک از خاک‌های زیر ناشی ازفرسایش شیمیایی سنگ‌ها می‌باشند؟ (مؤلف)

۱) شن ۲) ماسه ۳) قلوه سنگ ۴) رس

۷ـ کدامیک از گزینه‌ها سطح ویژه بیشتری دارد؟ (مؤلف)

۱) کائولینیت ۲) مونتموریلونیت ۳) ایلیت ۴) فرقی ندارند

۸ـ ساختمان خاک یعنی . . . . . . (مؤلف)

۱) ذرات تشکیل دهنده خاک ۲) ریزدانه‌ها ی خاک ۳) نحوه‌قرارگیری‌دانه‌های‌خاک ۴) سطح ویژه خاک

۹ـ واحد سطح ویژه خاک کدام است؟ (مؤلف)

۱) $\frac{kg}{m}$ ۲) $\frac{m}{kg}$ ۳) $\frac{m^2}{kg}$ ۴) $\frac{kg}{m^2}$

۱۰ـ پیوند بین اجزاء کدام کانی رس قوی‌تر است؟ (مؤلف)

۱) ایلیت ۲) مونت موریلونیت ۳) کائولینیت ۴) هالوزین

۱۱ـ توان باربری و نفوذپذیری کدام ساختار به ترتیب بیشتر است؟ (مؤلف)

۱) اتکا مستقیم، لایه‌ای ۲) شناور، لخته‌ای ۳) اتکا مستقیم، لخته‌ای ۴) نیمه شناور، لایه‌ای

۱۲ـ کدام ساختار خاک برای متراکم شدن نیازمند ارتعاش و کوبیدن دارد؟ (مؤلف)

۱) اتکا مستقیم ۲) لخته‌ای ۳) پراکنده ۴) لانه زنبوری

۱۳ـ در کدام ساختار کانی رس، اتصال چهار وجهی و هشت وجهی با اتصال هیدروژنی قوی صورت می‌گیرد؟ (مؤلف)

۱) ایلیت ۲) کائو لینیت ۳) مونت موریلونیت ۴) هالوزین

۱۴ـ پیونو بین کدام صفحات کانی رس از نوع پیوند مولکول آب (وان دروالسی) است؟ (مؤلف)

۱) مونت موریلونیت ۲) ایلیت ۳) کائو لینیت ۴) الوفین

۱۵ـ ضخامت کدام کانی کمتر است؟ (مؤلف)

۱) کائو لینیت ۲) مونت موریلونیت ۳) ایلیت ۴) هالوزین

پاسخنامه تستهای طبقه‌بندی شده فصل اول

۱ـ گزینه «۱» ذرات خاک از درشت به ریز شامل شن، ماسه، لای و رس است.

۲ـ گزینه «۲» هر چه سطح ویژه بزرگتر باشد، درصد جذب آب بیشتر خواهد بود.

۳ـ گزینه «۲» به ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۲ mm خاک رس می‌گویند.

۴ـ گزینه «۱» دو بنیان اصلی رس شامل چهاروجهی سیلیس و هشت‌وجهی آلومین می‌باشد.

۵ـ گزینه «۴» خاصیت چسبندگی و خمیری کانی مونت موریلونیت بدلیل سطح ویژه بیشتر از باقی کانی‌ها بیشتر است.

۶ـ گزینه «۴» با توجه به مطالب ارائه شده درفصل اول خاک‌های ریزدانه (رس ولای) ناشی از فرسایش شیمیایی سنگ‌ها می‌باشند.

۷ـ گزینه «۲» با توجه به نحوه قرارگیری صفحات و بنیان‌های رسی، کانی‌های رسی بوجود می‌آیند که مونت موریلونیت بیشترین سطح ویژه را بـه خود اختصاص می‌دهد.

۸ـ گزینه «۳» ساختمان خاک یعنی نحوهٔ قرارگیری ذرات کنار یکدیگر.

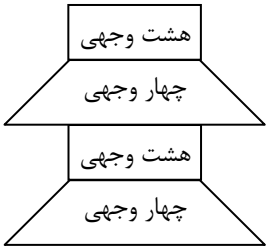
۹ـ گزینه «۳» سطح ویژه یعنی سطح جانبی واحد وزن ذرات خاک برحسب $\frac{m^2}{kg}$ و $\frac{cm^2}{gr}$.

۱۰ـ گزینه «۳» پیوند بین صفحات در کانی کائولینیت از نوع هیدروژنی قوی است.

۱۱ـ گزینه «۳» توان باربری اتکا مستقیم و نفوذپذیری ساختار لخته‌ای بیشتر است.

۱۲ـ گزینه «۴» ساختار لانه زنبوری در ماسه ریز و سیلت درشت وجود دارد و این ساختار برای متراکم شدن نیازمند ارتعاش و ضربه است.

۱۳ـ گزینه «۲» پیوند بین صفحات در کائولینیت از نوع هیدروژنی قوی است.



۱۴ـ گزینه «۱» در مونت موریلونیت پیوند بین صفحات از نوع وان دروالسی است.

۱۵ـ گزینه «۱» بدلیل نوع اتصال در کانی کائولینیت، ضخامت آن از باقی کانی‌ها کمتر است.

آزمون فصل اول

۱ـ هر چه سطح ویژه افزایش یابد .....

۱) جذب آب کمتر می‌شود. ۲) جذب آب بیشتر می‌شود. ۳) خاک درشت دانه‌تر می‌شود. ۴) خاک مقاوم‌تر می‌شود.

۲ـ کدامیک از ساختمان‌های زیر مربوط به خاک‌های ریزدانه است؟

۱) شناور ۲) نیمه شناور ۳) اتکا مستقیم ۴) پراکنده

۳ـ کوچکترین ذره خاک چه نام دارد؟

۱) رس ۲) لای ۳) ماسه ۴) شن

۴ـ کدام خاک منشأ فرسایش فیزیکی دارد؟

۱) رس ۲) لای ۳) کلوئید ۴) ماسه

۵ـ کدامیک از ساختمان‌های زیر در اثر بارگذاری، اطمینان بخش خواهند بود؟

۱) شناور ۲) نیمه شناور ۳) اتکا مستقیم ۴) پراکنده

۶ـ در سطح ذرات رس بار الکتریکی ..... .

۱) منفی خالص وجود دارد.
۲) مثبت خالص وجود دارد.
۳) بسته به نوع پیوند ممکن است منفی یا مثبت باشد.
۴) به دلیل تمرکز یونی و جانشینی ایزومورفی سطح ذرات رس عملاً خنثی است.

۷ـ کدام کانی جذب آب بیشتری دارد؟

۱) ایلیت ۲) مونت موریلونیت ۳) کائولینیت ۴) هالوزین

۸ـ میکای رس کدام یک از کانی‌های زیر است؟

۱) ایلیت ۲) مونت موریلونیت ۳) کائولینیت ۴) فلدسپات

۹ـ کدام ساختار تورم بیشتری دارد؟

۱) اتکا مستقیم ۲) لانه زنبوری ۳) نیمه شناور ۴) شناور

۱۰ـ در خاکریزی پشت پل‌ها و دیوارها (درناژ) ساختار خاک کدام است؟

۱) لانه زنبوری ۲) شناور ۳) اتکا مستقیم ۴) نیمه شناور (مرکب)

فصل دوم

ترکیب خاک (روابط وزنی ـ حجمی)

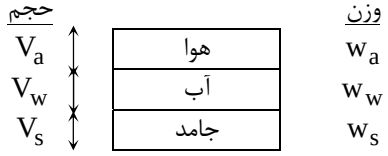
برای اینکه بتوانیم رفتار خاک را مدل سازی نماییم لازم است اجزا و ترکیبات توده خاک را بشناسیم لذا دراین فصل تعاریف پایه واولیه مکانیک خاک و روابط کلیدی حاکم برآنها را با یکدیگر مرور خواهیم کرد.

هرتوده خاک از ۳ قسمت اصلی جامد (دانه‌ها) آب و هوا تشکیل شده است.

تعاریف پایه درخاک براساس این ۳ جزء اصلی خاک بیان می‌شود.

چون توده خاک را برای واحد سطح انتخاب کرده ایم ارتفاع هر قسمت معرف حجم خواهد بود .

بدلیل ناچیز بودن وزن هوا در مکانیک خاک $w_a = ۰$ فرض می‌گردد.



حجم کل $V = V_s + V_V$

حجم حفرات $V_V = V_a + V_w$

۱ـ درصد رطوبت (درصد آب) ω : نسبت وزن آب به وزن دانه‌های خاک را گویند.

$$\omega = \frac{W_w}{W_S} \times ۱۰۰$$

۲ـ نسبت تخلخل (نسبت منافذ) e : نسبت حجم فضای حفرات به حجم جامد خاک را گویند.

$$e = \frac{V_V}{V_S} \times ۱۰۰ = \frac{V_a + V_w}{V_s} \times ۱۰۰$$

باتوجه به رابطه ارائه شده داریم:

$$\boxed{۰ < e << \infty}$$

e درخاک ازحدود ۰/۳۵درمتراکم ترین حالت تابه ندرت بیش از ۲ در سست ترین حالت متفاوت است.

۳ـ پوکی n : نسبت حجم فضای حفرات به حجم کل خاک را گویند، نام دیگر پوکی تخلخل می‌باشد.

$$n = \frac{V_V}{V} \times ۱۰۰$$

۴ـ درجه اشباع خاک S_r: نسبت حجم آب به حجم حفرات را گویند.

$$S_r = \frac{V_W}{V_V} \times ۱۰۰$$

درخاک‌های کاملاً اشباع، تمامی حفرات خاک (V_V) با آب پر می‌شوند لذا $V_{a=۰}$ و $V_V = V_W$ پس درجه اشباع دراین خاک‌ها برابر $S_r = ۱$ می‌باشد.

۵ـ درصد هوای خاک A: نسبت حجم هوای خاک به حجم کل خاک را گویند.

$$A = \frac{V_a}{V} \times ۱۰۰$$

۶ـ درصد هوای حفرات ac : نسبت حجم هوای خاک به حجم حفرات را گویند.

$$ac = \frac{V_a}{V_V} \times ۱۰۰$$

در حالت کلی داریم:

$$\%ac + \%sr = ۱$$

۷ـ وزن مخصوص در خاک: وزن مخصوص درخاک بسته به نوع خاک وحالات متفاوت آن، بصورت زیر تعریف می‌شوند.

۷ـ۱ـ وزن مخصوص مرطوب (γ)

نسبت وزن کل خاک به حجم کل خاک را وزن مخصوص مرطوب خاک گویند. برای راحتی درحل مسائل بجای وزن، ازجرم خاک استفاده می‌کنیم

واحد وزن مخصوص برابر $\frac{kN}{m^۳}, \frac{gr}{cm^۳}, \frac{kg}{m^۳}$ می‌باشد.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_W + W_S}{V}$$

۷ـ۲ـ وزن مخصوص خشک خاک

نسبت وزن خشک خاک (W_S) به حجم کل خاک راوزن مخصوص خشک گویند. $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

این وزن مخصوص ازحالت مرطوب کوچکتراست. $\gamma_d < \gamma$

۷ـ۳ـ وزن مخصوص دانه‌های خاک (ذرات جامد خاک) γ_s

به نسبت وزن دانه‌های خاک به حجم دانه‌ها، وزن مخصوص دانه‌های خاک گویند. $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$

۷ـ۴ـ وزن مخصوص اشباع خاک (γ_{sat})

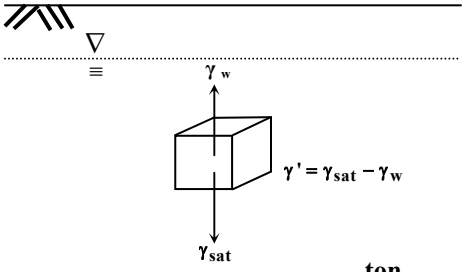
در این حالت تمامی حفرات خاک از آب پر شده‌اند و به نسبت وزن خاک اشباع به حجم کل خاک، وزن مخصوص اشباع خاک گویند.

$\gamma_{sat} = \frac{W}{V}$ ← وزن اشباع $\qquad \gamma_{sat} > \gamma > \gamma_d$

۷ـ۵ـ وزن مخصوص غوطه ور خاک (مستغرق)

طبق قانون ارشمیدوس، هرجسمی که بصورت غوطه‌ور درآب قرارداشته باشد به اندازه حجم قسمت غوطه‌ور جسم دروزن مخصوص آب از وزن آن کم می‌شود. خاک نیز در صورتی که اشباع باشد و در زیر تراز آب زیر زمینی قرار گیرد از وزن مخصوص اشباع آن به اندازه وزن مخصوص آب کسر می‌شود یعنی: $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

وزن مخصوص آب برابر $۱\frac{gr}{cm^۳}$ یا $۱\frac{ton}{m^۳}$ یا $۹/۸\frac{kN}{m^۳}$ یا $۶۲/۴pcf$ می‌باشد.



مثال ۱: در خاکی وزن مخصوص اشباع برابر $۲/۵\frac{t}{m^۳}$ است. وزن مخصوص غوطه‌ور خاک چند $\frac{ton}{m^۳}$ خواهد بود؟

۱) ۱ ۲) ۲/۵ ۳) ۱/۵ ۴) ۳/۵

پاسخ: گزینه «۳» $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = ۲/۵ - ۱ = ۱/۵\frac{t}{m^۳}$

۸ـ چگالی دانه‌های خاک (چگالی خاک) G_s

نسبت وزن مخصوص دانه‌های خاک به وزن مخصوص آب را چگالی خاک گویند. $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s\gamma_w}$

محدوده تغییرات G_s زیاد نیست و در اکثر خاک‌ها این عدد بین $۲/۷ \le G_s \le ۲/۶$ می‌باشد حدود تغییرات G_s برای خاک‌های مختلف درجدول زیر آورده شده است . در صورتی که به غیر از خاک‌های زیر مد نظر باشد G_s تا ۲/۹ نیز قابل افزایش می‌باشد.

خاک	G_s
شن	۲/۶۵ـ۲/۶۸
ماسه	۲/۶۵ـ۲/۶۸
لای	۲/۶۲ـ۲/۶۸
رس	۲/۵۸ـ۲/۷۵

۹ـ دانسیته نسبی D_r

به این پارامتر اصطلاحاً تراکم نسبی نیز اطلاق می‌شود. معمولاً برای خاک‌های دانه‌ای (ماسه‌ای) کاربرد دارد و بیانگر میزان فشردگی و تراکم خاک‌های دانه‌ای است. طبق تعریف Dr برابر است با: $D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times ۱۰۰$

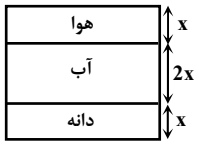
حدود تغییرات D_r بین ۰ و ۱ می‌باشد $۰ \le D_r \le ۱$ درخاک‌های دانه‌ای بسیار متراکم D_r نزدیک به ۱ یا ۱۰۰ درصد است.

نکته ۱: e_{max} متناظر با سست‌ترین (شل ترین) حالت خاک می‌باشد و e_{min} متناظر با متراکم ترین حالت خاک می‌باشد.

در خاکهایی که ۷۰% تا $D_r = ۵۰$ است تراکم را متوسط و اگر $D_r > ۷۰\%$ باشد خاک را متراکم گویند.

مثال ۲: در خاکی حجم آب دو برابر حجم دانه و حجم هوا با حجم دانه برابر است. پوکی خاک چقدر است؟

۱) ۰/۶۷ ۲) ۰/۳۳ ۳) ۰/۵ ۴) ۰/۷۵



$V = ۴x$
$V_v = ۳x \rightarrow n = \frac{V_v}{V} = \frac{۳x}{۴x} = ۰/۷۵$

☑ **پاسخ : گزینه «۴»**

روش‌های تعیین وزن مخصوص خاک

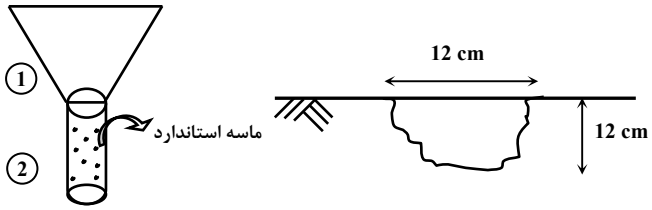
الف) خاک‌های کاملاً چسبنده: دراین گونه خاک‌ها بدلیل وجود چسبندگی بالا بین دانه‌های خاک، می‌توان با استفاده از یک استوانه جدارنازک فلزی حجم مشخصی از خاک را جدا کرده و ازتقسیم وزن خاک کنده شده به حجم داخلی استوانه جدار نازک، وزن مخصوص خاک تعیین می‌شود.

$$\gamma = \frac{\text{وزن خاک کنده شده}}{\text{حجم استوانه}}$$

ب) خاک‌های معمولی (چسبندگی اندک):

در این گونه خاکها ۳ روش متداول زیر وجود دارد:

۱ـ استفاده از مخروط ماسه sand bottle (دانسیته صحرایی)



بـه ایـن آزمـایش اصـطلاحاً دانـسیته در محـل گفتـه مـی‌شـود. بـا حفرگودالی به شکل استوانه به قطر ۱۲^{cm} و ارتفاع ۱۲ سـانتی‌متـر و ریخته شدن ماسه به داخل چاله وزن مخصوص خاک بدست می‌آید.
ابتدا خاک کنده شده را درون یک ظرف سربسته ریختـه تـا رطوبـت خود را ازدست ندهد و سپس ظرف را وزن می‌کنیم.
کل شکل ۱و ۲ و ماسه استاندارد داخل بطری را وزن کرده و بصورت واژگون بر روی چاله قرار می‌دهیم. شیر تخلیه را بـازکرده و اجـازه مـی‌دهـیم ماسه داخل چاله بریزد با استفاده از رابطه زیر وزن ماسه داخل چاله را بدست می‌آوریم.

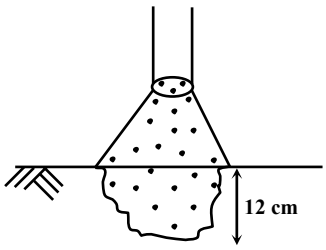
W: وزن کل ظرف ۱و۲ و ماسه داخل آن

$W_۱$: وزن ظرف ۱ و ماسه داخل آن

$W_۲$: وزن ظرف ۲ و ماسه باقی مانده داخل آن پس از آزمایش

$$\text{وزن ماسه داخل چاله} = W - (W_۱ + W_۲)$$

$$\text{حجم چاله} = \frac{\text{وزن ماسه داخل چاله}}{\text{وزن مخصوص ماسه}}$$



$$\text{وزن مخصوص خاک} = \frac{\text{وزن خاک کنده شده}}{\text{حجم چاله}}$$

نکته ۲: جهت حفر گودال استوانه‌ای از یک سینی فلزی که دایره‌ای به قطر ۱۲ سانتی‌متر ازآن سوراخ شده است استفاده می‌شود.

نکته ۳: ماسه استاندارد به نام ماسه اُتاوا شهرت دارد که از الک شماره ۲۰ عبور کرده و روی الک ۳۰ باقی می‌ماند.

نکته ۴: مشکل اصلی درتعیین وزن مخصوص خاک، تعیین حجم کل خاک کنده شده می‌باشد که روش‌های ارائه شده به طریقی این حجـم را بدست می‌آورند. دقت روش مخروط ماسه از باقی روش‌ها بیشتر است.

۲ـ استفاده از بادکنک آب (بالن لاستیکی)

با قراردادن یک بادکنک درون چاله حفرشده در قسمت قبل و پرکردن بادکنک توسط آب، حجم چاله بدست می‌آید.

حجم بادکنک پرازآب = حجم چاله

۳ـ استفاده از روغن لزج

دراین روش نیز چاله حفرشده درقسمت اول را باریختن روغن لزج پر می‌کنیم. حجم چاله برابر حجم روغن ریخته شده درون چاله می‌باشد.

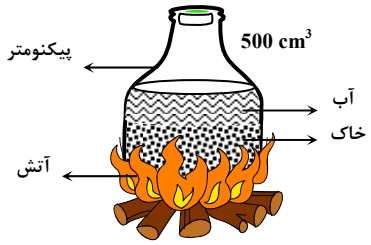
روش‌های تعیین وزن مخصوص دانه‌های خاک γ_s

الف) روش غوطه وری: در این روش ابتدا مقداری خاک کاملاً خشک شده را وزن کرده (W_S) وسپس آن را درون استوانه مدرج که مقـداری آب دارد می‌ریزیم اضافه حجم بدست آمده حجم ذرات خاک می‌باشد سپس وزن مخصوص دانه‌ها بدست می‌آید.

$$\gamma_s = \frac{W_S}{V_S}$$

ب) روش پیکنومتر: در یک ظرف مشخص (پیکنومتر) مقداری آب ریخته تا به حجم ۵۰۰ سانتی متر مکعب برسد.
ظرف را وزن کرده و خاک خشک شده را درون آن می‌ریزیم با استفاده از شعله آتش حجم آب را به ۵۰۰ سانتی متر مکعب می‌رسانیم. دوباره کل ظرف را وزن کرده با استفاده از رابطه زیر حجم دانه‌های خاک را بدست می‌آوریم:

وزن پیکنومتر و خاک ـ وزن پیکنومتر پر از آب + وزن خاک خشک = حجم ذرات خاک پس از آزمایش



$$\gamma_s = \frac{\text{وزن خاک خشک}}{\text{حجم}}$$

نکته ۵: فرمول‌های کلیدی زیر در حل مسائل مکانیک خاک بسیار کاربرد دارند.

۱ـ $\gamma_d = \frac{\gamma}{1+\omega}$ ۲ـ $S_r.e = \omega.G_s$ ۳ـ $e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$ ۴ـ $\gamma_{sat} = \gamma_d + n\gamma_\omega$

۵ـ $\gamma = \frac{G_s + Sr.e}{1+e}.\gamma_\omega$ (با قرار دادن $sr = 0$ می‌توان γ_d و با قرار دادن $sr = 1$ می‌توان γ_{sat} را بدست آورد.)

۶ـ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{\gamma_{d2}}{\gamma_{d1}} = \frac{1+e_1}{1+e_2}$ ۷ـ $n = \frac{e}{1+e}$

۸ـ بدون تغییر حجم خاک داریم: $\frac{\gamma_1}{1+\omega_1} = \frac{\gamma_2}{1+\omega_2}$ ۹ـ $A = n(1-S_r)$

مثال ۳: خاکی در حالت طبیعی خود در محل قرضه دارای رطوبت ۱۰ درصد و وزن مخصوص $15/8 \frac{KN}{m^3}$ می‌باشد. این خاک به مکان مورد نظر حمل شده و متراکم می‌گردد. وزن مخصوص خاک در حالت متراکم برابر $19/79 \frac{KN}{m^3}$ و درصد رطوبت آن ۱۴ درصد می‌باشد. برای یک مترمکعب خاکریز متراکم چه حجمی از خاک طبیعی مورد نیاز می‌باشد (برحسب m^3)؟

۱) ۱/۲۱ ۲) ۱/۰۹ ۳) ۱/۳۳ ۴) ۱/۴۶

پاسخ : گزینه «۱»

$$\gamma d_1 = \frac{15/8}{1+0/1} = 14/36$$
$$\gamma d_2 = \frac{19/79}{1+0/14} = 17/35$$
$$\rightarrow \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{\gamma d_2}{\gamma d_1} = \frac{17/35}{14/36} = 1/21$$

مثال ۴: از قرضه‌ای به مقدار ۱۰۰۰ مترمکعب خاک با نشانه خلاء ۱ برداشته شده است چند مترمکعب خاکریز با نشانه خلاء ۰/۸ با قرضه می‌توان ساخت؟ $(e = \frac{V_V}{V_S})$

۱) ۸۰۰ ۲) ۹۰۰ ۳) ۱۰۰۰ ۴) ۱۱۰۰

پاسخ : گزینه «۲»

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1+e_1}{1+e_2} \rightarrow \frac{1000}{V_2} = \frac{1+1}{1+0/8} \rightarrow V_2 = 900\ m^3$$

مثال ۵: یک نمونه‌ای استوانه‌ای شکل از خاکی به قطر ۳۸ میلی‌متر و ارتفاع ۷۶ میلی‌متر، ۱۸۳/۴ گرم وزن دارد. وزن نمونه خشک شده در کوره ، ۱۵۷/۷ گرم می‌باشد. درصد اشباع نمونه چقدر است؟ $(G_S = 2/72)$

۱) ٪۷۹ ۲) ٪۸۳/۵ ۳) ٪۹۱ ۴) ٪۹۶

پاسخ : گزینه «۳»

$$V = \frac{\pi}{4} \times 3/8^2 \times 7/6 = 86/2$$

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{183/4}{86/2} = 2/13 \ \frac{gr}{cm^3} \qquad \gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{157/7}{86/2} = 1/83 \ \frac{gr}{cm^3}$$

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e}.\gamma_\omega \rightarrow ۱/۸۳ = \frac{۲/۷۲}{۱+e} \times ۱ \rightarrow e = ۰/۴۸$$

$$\gamma = \frac{G_s + Sr.e}{1+e}.\gamma_\omega \rightarrow ۲/۱۳ = \frac{۲/۷۲ + Sr \times ۰/۴۸}{۱+۰/۴۸} \times ۱ \rightarrow Sr = ۰/۹۱$$

مثال ۶: مصالح یک منبع قرضه هم به صورت اشباع و هم به صورت خشک موجود است. نسبت اختلاط خاک اشباع با خشک به ترتیب به نحوی که رطوبت مخلوط ۱۰٪ باشد چیست؟ $(\gamma_d = ۱۶ \frac{KN}{m^۳} \ , \ \gamma_{sat} = ۲۰ \frac{KN}{m^۳})$

۱) ۶۰ به ۴۰ ۲) ۵۰ به ۵۰ ۳) ۴۰ به ۶۰ ۴) ۲۵ به ۷۵

☑ **پاسخ :** گزینه «۳»

	حجم	وزن
خاک خشک	a	۱۶a
خاک اشباع	b	۲۰b

$$\gamma = \frac{۱۶a + ۲۰b}{a+b} = \gamma_d(۱+\omega) = ۱۶(۱+۰/۱) = ۱۷/۶$$

$$۱۶a + ۲۰b = ۱۷/۶a + ۱۷/۶b \rightarrow a = ۱/۵b \begin{cases} a = ۶۰\% \\ b = ۴۰\% \end{cases}$$