

مکانیک خاک



سری کتابهای کمک آموزشی کارشناسی ارشد

مجموعه عمران

مؤلف: عباس منوچهری

سرشناسه: منوچهری، عباس
عنوان: مکانیک خاک
مشخصات نشر: تهران، مشاوران صعود ماهان، ۱۴۰۴
مشخصات ظاهری: ۲۳۸ صفحه
فروست: سری کتاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد
شابک: 6-825-458-600-978
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپای مختصر
یادداشت: این مدارک در آدرس <http://opac.nlai.ir> قابل دسترسی است.



www.Mahan.ac.ir

انتشارات ماهان ۴-۸۸۱۰۰۱۱۳

خیابان ولیعصر/ بالاتر از تقاطع مطهری/ روبروی قنادی هتل بزرگ تهران/ جنب بانک ملی/ پلاک ۲۰۵۰

نام کتاب: مکانیک خاک
مدیران مسئول: هادی سیاری، مجید سیاری
مؤلف: عباس منوچهری
مدیر تولید محتوا: سمیه بیگی
ناشر: مشاوران صعود ماهان
نوبت و تاریخ چاپ: دوم / ۱۴۰۴
تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت: ۵/۹۰۰/۰۰۰ ریال
شابک: ISBN:978-600-458-819-5



«ن والقلم و ما یسطرون»

کلمه نزد خدا بود و خدا آن را با قلم بر ما نازل کرد.

به پاس تشکر از چنین موهبت الهی، موسسه ماهان درصدد برآمده است تا در راستای انتقال دانش و مفاهیم با کمک اساتید مجرب و مجموعه کتب آموزشی خود برای شما داوطلبان ادامه تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد گام موثری بردارد. امید است تلاش‌های خدمتگزاران شما در این موسسه پایه‌گذار گام‌های بلند فردای شما باشد. مجموعه کتاب‌های کمک آموزشی ماهان به‌منظور استفاده داوطلبان کنکور کارشناسی ارشد سراسری و آزاد تالیف شده‌اند. در این کتاب‌ها سعی کرده‌ایم با بهره‌گیری از تجربه اساتید بزرگ و کتب معتبر داوطلبان را از مطالعه کتاب‌های متعدد در هر درس بی‌نیاز کنیم.

دیگر تالیفات ماهان برای سایر دانشجویان به‌صورت ذیل می‌باشد.

کتاب‌های سوال و پاسخ تشریحی کنکور که شامل سوالات و پاسخ تشریحی چند سال اخیر کنکور سراسری ارشد می‌باشد.

بدین‌وسیله از مجموعه اساتید، مولفان و همکاران محترم خانواده بزرگ ماهان که در تولید و به‌روزرسانی تالیفات ماهان نقش موثری داشته‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نماییم.

دانشجویان عزیز و اساتید محترم می‌توانند هرگونه انتقاد و پیشنهاد درخصوص تالیفات ماهان را از طریق سایت ماهان به آدرس Entesharatmahan@yahoo.com با ما در میان بگذارند.

موسسه آموزش عالی آزاد ماهان





که خدا افکند این زه در کمان

آدم و حوا کجا بود آن زمان

آن سخن که نیست ناقص زآن سر است

این سخن هم ناقص است و ابتر است

تمام شاخه‌های مهندسی عمران اعم از راه، سازه، آب و ژئوتکنیک بر رفتار شناسی خاک استوار شده است. علم مکانیک خاک به طور عمده‌ای براساس روابط تجربی و آزمایشگاهی بنا شده و شناخت برخی از پارامترهای آن در کارهای عمرانی بسیار تاثیرگذار است. شالوده‌ها، تونل‌ها، سازه‌های زیرزمینی، مترو، راه سازی، سد سازی، پایدار سازی شیروانی‌ها، دیوارهای حایل و ... در ارتباط تنگاتنگ با مطالعه رفتار خاک است.

در این کتاب سعی بر این شده است تا بخش‌های اصلی و کاربردی مباحث مکانیک خاک در مقطع کارشناسی و آمادگی آزمون ارشد جمع‌آوری شود. ضمن معرفی عناوین، روابط و پارامترهای مختلف، نمونه مثال‌های آموزشی ارایه گردیده و در انتهای فصل‌ها نیز مجموعه تست‌های طبقه‌بندی شده آزمون‌های سراسری و آزاد سال‌های گذشته با پاسخ تشریحی آمده است. کتاب حاضر دانشجویان عزیز را از منابع دیگر برای مقطع کارشناسی و آمادگی آزمون ارشد بی‌نیاز می‌نماید.

در اینجا لازم است تا از کسانی که در تهیه مجموعه حاضر همکاری نموده‌اند به‌ویژه همسرم خانم بهار جعفری و بخش انتشارات موسسه ماهان تشکر و قدردانی نمایم. این مجموعه تقدیم به محضر انسان کامل می‌شود.

کتاب حاضر همانند هر کاری خالی از اشکال و ایراد نبوده و در جهت کاهش ایرادها در نسخه‌های بعدی خواهشمند است در صورت یافتن هرگونه غلط املایی، علمی، محتوایی یا تایپی در متن یا سوالات به آدرس رایانامه‌ای Entesharatmahan@yahoo.com پیام دهید.



فصل اول: روابط وزنی و حجمی خاک	۷
مکانیک سنگ	۸
فرسایش سنگ‌ها	۹
کانی‌شناسی رس	۱۰
روابط وزنی و حجمی	۱۲
فصل دوم: دانه‌بندی و نام‌گذاری خاک‌ها	۱۸
دانه‌بندی خاک	۱۹
روش الک	۱۹
هیدرومتری	۲۵
خواص خمیری خاک‌های ریزدانه	۲۵
ویژگی‌های خمیری خاک	۲۸
نام‌گذاری خاک‌ها	۳۰
فصل سوم: تراکم خاک و آزمایش پروکتور	۳۷
تراکم خاک	۳۸
اهداف آزمایش تراکم	۳۹
نحوه انجام آزمایش تراکم آزمایشگاهی	۴۰
تراکم کارگاهی	۴۳
تأثیر دانه‌بندی خاک بر تراکم	۴۶
تراکم نسبی	۵۰
فصل چهارم: حرکت آب در خاک	۵۱
ضریب نفوذپذیری خاک	۵۵
تعیین ضریب نفوذپذیری خاک	۵۶
جوشش ماسه	۶۳
شبکه جریان	۶۷
فشار برگشت	۶۸
مصالح فیلتر	۷۱
فصل پنجم: تنش در خاک	۷۱
تنش‌های درجا	۷۲
کنترل تنش در انواع خاک	۸۳
توزیع تنش ناشی از سربار	۸۶
روان‌گرایی ماسه	۹۴
روابط الاستیک خاک‌ها	۹۵

۹۷.....	فصل ششم: تحکیم و نشست خاک.....
۹۹.....	تحکیم اولیه.....
۱۰۰.....	تحکیم یک بعدی.....
۱۰۴.....	منحنی تحکیم خاک.....
۱۰۷.....	محاسبات نشست خاک پی.....
۱۱۴.....	تغییر شکل های کیفی پی.....
۱۱۴.....	روند تحکیم در یک لایه خاک.....
۱۱۸.....	تحکیم چند بعدی خاک.....
۱۱۹.....	فصل هفتم: مقاومت برشی خاک.....
۱۲۳.....	آزمایش برش مستقیم.....
۱۲۴.....	معیار گسیختگی موهر کولمب.....
۱۲۷.....	آزمایش ۳ محوری.....
۱۲۹.....	دست خوردگی در رس ها.....
۱۳۱.....	فصل هشتم: فشار جانبی توده خاک و دیوار حایل.....
۱۳۲.....	دیوار حایل.....
۱۳۴.....	فشارهای جانبی خاک در حالت سکون.....
۱۳۶.....	فشار جانبی خاک در حالت محرک.....
۱۳۹.....	فشار جانبی خاک در حالت مقاوم.....
۱۴۱.....	تئوری کولمب.....
۱۴۳.....	گودبرداری موقت.....
۱۴۵.....	فصل نهم: شیروانی ها.....
۱۴۷.....	پایداری ترانشه های نامحدود.....
۱۵۰.....	پایداری شیروانی های محدود.....
۱۵۴.....	سوالات و پاسخ کنکور سراسری ۹۰ الی ۱۴۰۳.....
۲۳۸.....	منابع.....

فصل اول

روابط وزنی و حجمی خاک

- مکانیک سنگ
- فرسایش سنگها
- کانی شناسی رس
- روابط وزنی و حجمی خاک

روابط وزنی و حجمی خاک

لایه نازکی از پوسته زمین به ضخامت بیشینه ۱۰۰ متر تا مقداری ناچیز که سطح خارجی کره زمین را تشکیل می‌دهد خاک نامیده می‌شود. خاک لایه خارجی زمین بوده که محل تماس تمام موجودات، گیاهان و جانوران و به‌ویژه انسان با کره است. بسیاری از سازه‌های عمرانی، روی خاک بنا می‌شود. به طبع شناسایی ویژگی‌های خاک اهمیت ویژه‌ای در مهندسی عمران می‌یابد. خاک عموماً مخلوط غیرهمگنی از ذرات کانی (معدنی) ناشی از فرسایش سنگ‌های درونی زمین است و اندکی مواد آلی ناشی از فساد جانداران می‌باشد. میزان مواد آلی موجود در خاک بستگی به پوشش گیاهی سطح زمین دارد. معمولاً در پروژه‌های عمرانی لایه‌ای به ضخامت حداقل ۲۵ سانتیمتر از خاک سطحی برداشته می‌شود تا ریشه‌های کوتاه و جانوران کوچک که موجب افزایش مواد آلی در خاک هستند، از پی و شالوده سازه‌ها حذف شوند. عمق لایه خاک‌برداری، که به آن لایه استریپ^۱ نیز گفته می‌شود در پروژه‌های مختلف بسته به نوع بارگذاری سازه و نوع شالوده یکسان نمی‌باشد. توده خاک متخلخل است و در حفرات آن آب یا هوا وجود دارد. به شناخت رفتاری خاک ناشی از بارگذاری یا اندرکنش با سازه‌های عمرانی، مکانیک خاک گفته می‌شود. در این علم، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها بیشتر مورد توجه است. مطالعه و آزمایش خصوصیات شیمیایی خاک و ذرات آن در پی‌سازی سازه‌ها و به‌طور عمومی در مهندسی عمران بستگی به اهمیت و نوع مصالح شالوده دارد.

مکانیک سنگ

ویژگی‌ها و خصوصیات ظاهری و باطنی سنگ‌ها اعم از شکل، چکش‌خواری، فرسایش، سایش، زیبایی و... در علم مکانیک سنگ مورد بررسی قرار می‌گیرد که موضوع بحث کتاب حاضر نیست. از آنجا که، ذرات معدنی خاک ناشی از فرسایش سنگ‌ها هستند به‌صورت خلاصه به آن پرداخته می‌شود. در طبیعت سه دسته سنگ وجود دارد:

الف) سنگ‌های آذرین: منشأ آتشفشانی دارند و حاصل از سردشدن مواد مذاب در سطح زمین هستند. این سنگ‌ها عمدتاً رنگ‌های تیره و سیاه دارند. به‌علت سردشدن سریع لایه خارجی مواد مذاب، بلورهای کریستالی مواد معدنی فرصت کافی برای شکل‌گرفتن و تولید ساختارهای کریستالی را ندارند. در نتیجه این سنگ‌ها همگن نیستند.

ب) سنگ‌های رسوبی: عمدتاً منشأ دریایی دارند. مواد ریز ته‌نشین شده در کف دریاها یا جاهایی که تحت فشارهای زیاد لایه‌های بالایی قرار گیرند تولید نوعی سنگ می‌نمایند که بیشتر حالت ورقه‌ای دارد. در این سنگ‌ها فسیل‌های زیادی یافت می‌شود. تحمل باربری این سنگ‌ها به جهت بارگذاری وابسته است.

پ) سنگ‌های دگرگونی: سنگ‌های آذرین که بسیار آهسته و تحت فشارهای بالا سرد شوند یا سنگ‌های رسوبی که تحت فشار بالا و دمای بسیار بالا قرار گیرند، تولید نوعی سنگ می‌نمایند که از نظر مقاومت و باربری بسیار مناسب می‌باشد. دمای بالا و فشار زیاد موجب تغییرات شیمیایی در سنگ و ایجاد ساختاری همگن می‌گردد.

1 -stripping line

فرسایش سنگ‌ها

انواع سنگ‌ها در سطح زمین تحت عوامل متفاوتی تخریب می‌شوند و به قطعات ریزتر بدل می‌شوند. زمانی که قطر ذرات به حد معینی برسد در محدوده ذرات خاک قرار می‌گیرد. انواع فرآیندهای تخریب شامل موارد زیر است:

تخریب شیمیایی

واکنش مواد شیمیایی معدنی محلول در آب‌های جاری در سطح و پوسته زمین موجب انحلال سنگ‌ها می‌شود. این پدیده به‌ویژه در سنگ‌های آهکی دیده می‌شود. بارش باران‌های اسیدی ناشی از تحلیل اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای نیتروژن در آب نفوذ یافته در خاک در مناطق آتشفشانی یا صنعتی تخریب شیمیایی سنگ‌ها را به‌وجود می‌آورد.

PH، مقدار اکسیژن محلول و CO_2 جو که با آب باران واکنش می‌دهد در آب‌های زیرزمینی و در فرآیند تخریب شیمیایی سنگ‌ها موثر است. تخریب شیمیایی سنگ موجب پیدایش ذرات ریز کلوییدی می‌شود. ذرات کلوییدی کوچکتر از ۲ میکرون ($2 \times 10^{-6} \text{ m}$) بوده و در آب حل نمی‌شوند و در آن معلق گشته و با سرعت بسیار کمی در آب ته‌نشین می‌گردند. ذرات این کلوییدها به‌صورت پولکی بوده و ندرتاً سوزنی شکل هستند. خاکی که از این نوع کلوییدها تشکیل می‌شود در تماس با آب به‌صورت خمیری و چسبنده است. حرکت آب زیرزمینی در این نوع خاک (عمدتاً رس) بسیار کند می‌باشد و زهکشی آب‌ها در آن سرعت بسیار کمی خواهد داشت. رفتار خاک‌های ریزدانه رس در حالت اشباع شده با آب و در حالت خشک بسیار متفاوت است. این پدیده در اثر واکنش دو قطبی یون اسیدی H^+ و یون بازی هیدروکسید OH^- آب و یون‌های شبه فلزی عمدتاً آلومین AL و سیلیکا Si و در حد کمتر یون‌های فلزی پتاسیم K، سدیم Na، کلسیم Ca و منیزیم Mg به‌وجود می‌آید. این واکنش‌ها از نوع ضعیف و اندروالسی بوده و به‌صورت دو طرفه رفت و برگشتی است.

تخریب فیزیکی

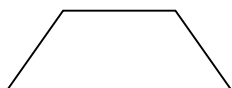
نفوذ آب در خلل و فرج سنگ‌ها در طی سیکل‌های متناوب ذوب و انجماد، سبب خردشدگی لایه‌های خارجی سنگ‌ها است. عمده تخریب سنگ‌های بزرگ پوسته زمین یخچال‌های طبیعی و حرکت آنها (یخرفت) می‌باشد. یخچال‌های بزرگ با داشتن وزن بسیار زیاد در حین حرکت مانند یک سنباده بزرگ سنگ‌های پوسته زمین را خرد کرده و به کوهپایه یا دشت پایین دست منتقل می‌کنند. نوع دیگری از تخریب سنگ‌ها نیز ناشی از حرکت آب‌های سطحی بوده که موجب خردشدن سنگ‌های بستر آبراهه‌ها می‌گردد. تکه‌های سنگ‌های خرد شده ناشی از سنگ مادر معمولاً رفتار دانه‌ای دارند. ساختمان خاک با توجه به انواع قرارگیری ذرات در کنار یکدیگر می‌تواند متراکم، نیمه متراکم یا غیرمتراکم (سست) باشد.

تخریبی که از سنگ مادر صورت می‌گیرد اگر در همان محل باقی بماند، برجا نامیده می‌شود. این نوع خاک عمق کم داشته و قطر دانه‌ها در جهت عمق زمین افزایش می‌یابد. دانه‌های خاک نیز تیز گوشه‌اند. در صورتی که، ذرات جدا شده از سنگ مادر در اثر عواملی از محل جابه‌جا شوند معمولاً گرد گوشه خواهند شد. میزان گردی و صاف بودن سنگ‌ها بستگی به طول مسیر جابه‌جایی دارد. این نوع خاک‌ها انتقالی نامیده می‌شوند. یخچال‌های طبیعی، رودخانه‌ها و باد عوامل مهم جابه‌جایی هستند. ساختارهای خاک‌های آبرفتی به‌صورت لایه لایه بوده که بیشتر در مسیر دلتای آبراهه‌های قدیمی قابل مشاهده است. کانی تشکیل‌دهنده سنگ‌های دانه‌ای، همان کانی سنگ مادر است. کوارتز به‌دلیل پایداری زیاد در بسیاری از خاک‌های دانه‌ای وجود دارد. میکا و فلدسپات نیز به‌صورت عمده‌ای در خاک‌های دانه‌ای یافت می‌شود.

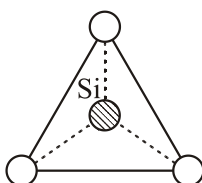
کانی‌شناسی رس

در بررسی‌های مکانیکی خاک در مباحث مهندسی عمران، شیمی دانه‌های درشت خاک اهمیت چندانی ندارد. اما در مورد ریزدانه‌ها از آنجایی که واکنش‌های شیمیایی مولکول‌های کانی با آب شرایط متفاوتی را می‌تواند به وجود آورد، لازم است تا کریستال‌های ریزدانه خاک بهتر و بیشتر بررسی گردند.

دانه‌های ریزتر از 0.002 میلیمتر در دسته رس قرار می‌گیرند. رس‌ها عموماً سیلیکات‌های آلومینیوم‌دار در حضور مولکول‌های به‌دام افتاده آب هستند. ترکیب خاک رس عمدتاً واحدهای هرمی چهار وجهی سیلیکا یا اکسیدسیلیسیم SiO_2 و منشور هشت وجهی آلومینا Al_2O_3 است. این واحدهای بنیادی در اثر دو قطبی بودن به هم می‌چسبند. دو قطبی بودن، موجب چسبیدن مولکول‌های آب به آنها می‌شود و حرکت آب در بین دانه‌های رسی را بسیار کند می‌نماید.



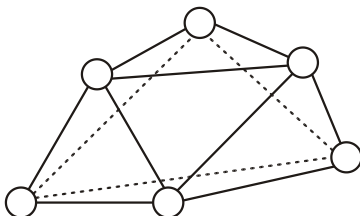
شکل ۱: صفحه سیلیکا



شکل ۲: عنصر ۴ ظرفیتی سیلیسیم در مرکز هرم قرار دارد

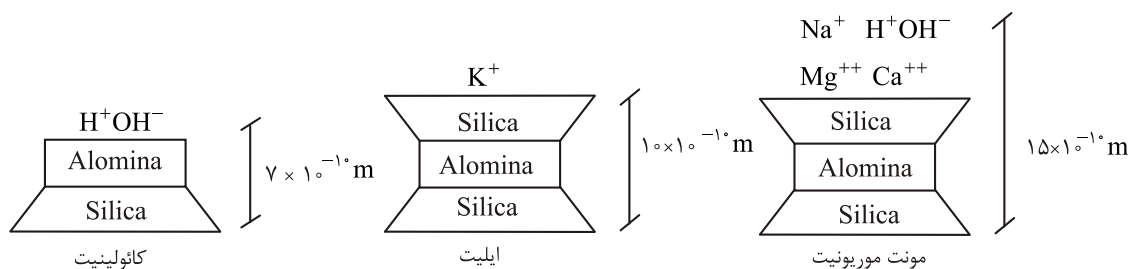


شکل ۳: صفحه آلومینا (نام دیگر آن گیبست است)



شکل ۴: منشور ۸ وجهی آلومینا که شکل متقارن ندارد

از ترکیب صفحه‌های سیلیکا و آلومینا با هم، کانی‌های رس به وجود می‌آید. نحوه این ترکیب سه گونه عمده رس را به وجود می‌آورد که شامل انواع اشاره شده در جدول ۱ است.



شکل ۵: ساختارهای تکرار شونده در انواع رس

جدول ۱: انواع کانی‌های رسی

کانولینیت	از ترکیب صفحه‌های آلومینا و سیلیکا به وجود می‌آید که پیوندهای دو قطبی آن در بین لایه‌ها وجود دارد (ضخامت لایه‌ها $7 \times 10^{-10} \text{ m}$) (پیوند هیدروژنی قوی)
ایلیت	از ترکیب صفحه‌های آلومینا و سیلیکا با پیوندهای دوقطبی آب است که در بین لایه‌ها کاتیون‌های تک ظرفیتی مانند پتاسیم وجود دارد (ضخامت لایه‌ها $10 \times 10^{-10} \text{ m}$) (پیوند ضخیم‌تر از پیوندهای هیدروژنی)
مونت‌موریونیت	به آن گل حفاری هم می‌گویند. از ترکیب دو صفحه سیلیکا با یک صفحه میانی آلومینا به وجود می‌آید. در بین لایه‌های آن کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم و تک ظرفیتی سدیم وجود دارد. از نظر شیمیایی کاتیون‌ها قابلیت تعویض با هم را دارند. (ضخامت لایه‌ها $15 \times 10^{-10} \text{ m}$) (پیوند واندروالسی ضعیف)

برخی دیگر از کانی‌های رسی عبارتند از: دکلریت، مسکویت، هالوزیت، اسمکتیت و، اتاپولژیت. ...

نکته: پیوند صفحه‌ای هیدروژنی قوی در کانولینیت وجود دارد.

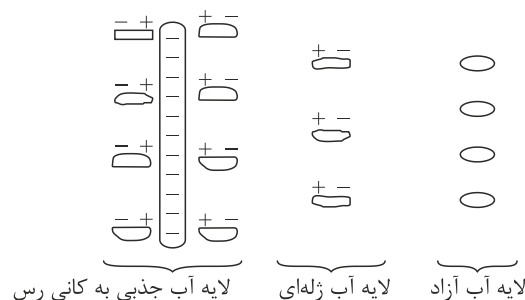
نکته: کاتیون‌ها و پیوندهای نمک‌ها بین صفحه‌های مونت‌موریونیت قابل تعویض است. به دلیل فاصله بیشتر بین ساختارهای تکرار شونده این نوع رس بسیار قابل تورم‌تر از انواع دیگر رس است؛ به عبارت دیگر مونت‌موریونیت قابلیت جذب آب بیشتری نسبت به انواع دیگر رس دارد.

نکته: سطح مخصوص به نسبت سطح جانبی به جرم ذرات اطلاق می‌گردد. به طور کلی، هر چه سطح مخصوص بالاتر باشد قابلیت تورم (جذب آب) رس بیشتر خواهد بود. نسبت زیر بین نوع رس در سطح جانبی (قابلیت جذب آب و تورم) وجود دارد:

رس مونت‌موریونیت < رس ایلیت < رس کانولینیت

لایه‌های آب در خاک رس

سطح بلورهای رس بار منفی دارد. در نتیجه کاتیون‌ها و سر مثبت، دو قطبی مولکول آب را جذب می‌نماید. مولکولی که به صورت مستقیم در تماس با کانی باشد به سطح کانی چسبیده است و گاهی با حرارت هم از سطح پولک رس جدا نمی‌شود. در صورت وجود مولکول‌های اضافه‌تر آب لایه دوم مولکول‌های آب تشکیل می‌شود که پیوندهای دوقطبی ضعیف‌تری دارد؛ ولی می‌تواند حرکت به صورت زلله‌ای بسیار کند داشته باشد. مقادیر بیشتر آب در بین صفحات پولکی دوقطبی کمتری دارد و کمی آزادتر است.



شکل ۶: مولکول‌های آب در تماس با کانی پولکی رس

حرکت آب در لایه آزاد بین صفحات پولکی با حرکت بسیار کند انجام می‌شود. در لایه زله‌ای حرکت آب بسیار کندتر خواهد بود. آب جذب سطحی نیز تقریباً بدون جابه‌جایی است. در نتیجه همین ویژگی‌ها است که رس قابلیت زیادی در جذب آب دارد. میزان آب جذب شده، موجب ایجاد خاصیت‌های جالبی در رس می‌شود. به این ترتیب که رس بدون آب آزاد باربری بسیار مناسبی دارد. با افزایش میزان آب بین لایه‌ای کم رس خاصیت خمیری (زله‌ای) پیدا می‌کند. آب بیشتر موجبات تورم بیشتر خاک رس شده، تا اینکه خاصیت مایع بودن (روان بودن) در خاک پدیدار می‌گردد. در این حالت، خاک رس مانند مایع می‌باشد. ویژگی ممتاز مایعات از جامدات نیز این است که تنش برشی را تحمل نکرده و آن را انتقال نمی‌دهند. تغییرات تراز آب زیرزمینی و حتی بارندگی موجب مشکلاتی در پی و شالوده‌های رسی می‌شود.

تورم خاک در زیر بسیاری از سازه‌ها، راه‌ها و انواع خطوط انتقال مشکل آفرین است. این مشکل با قابلیت جذب آب رابطه مستقیم دارد. بنابراین مونت‌موریونیت مشکل‌زاترین نوع رس می‌باشد.

✓ تست: مقاوم‌ترین نوع خاک در برابر تخریب‌های شیمیایی کدام است؟

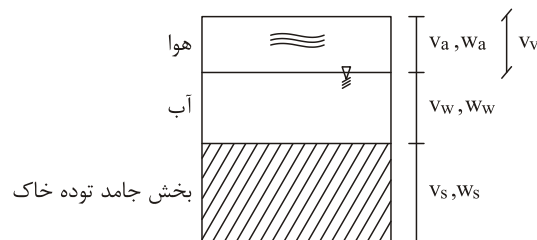
(۱) شن (۲) شن و ماسه (۳) رس (۴) ترکیب شن و ماسه و رس

✓ پاسخ: گزینه «۳»

رس قبلاً از فعل و انفعالات شیمیایی به‌وجود آمده و به ترکیب نسبتاً پایدارتری رسیده است.

روابط وزنی و حجمی

به‌منظور انجام محاسبات حجمی عملیات خاکی در پروژه‌های عمرانی نیاز است تا ترکیب توده خاک را بشناسیم. توده خاک به‌صورت شماتیک در دو بخش جامد^۱ و حفره^۲ در نظر گرفته می‌شود. ضمن اینکه بخش حفرات خالی خاک بسته به میزان رطوبت موجود در خاک شامل آب^۳ و هوا^۴ خواهد بود. روابط از بازنویسی تعاریف کلی به‌دست می‌آیند. فرمول‌های وزنی و حجمی توده خاک کاربرد گسترده‌ای در محاسبات متره و برآورد احجام عملیات خاکی دارند.



شکل ۷: به‌صورت شماتیک توده خاک از ترکیب ماده جامد، آب و هوا می‌باشد

V_a : حجم اشغال شده توسط هوا

V_w : حجم اشغال شده توسط آب

V_s : حجم اشغال شده توسط گوشته جامد خاک بدون هیچ‌گونه خلل و فرج

W_a : وزن هوا محبوس در توده خاک که در محاسبات برابر با صفر است.

W_w : وزن آب موجود در توده خاک

W_s : وزن گوشته جامد خاک

$V_v = V_a + V_w$: حجم کل حفرات.

وزن کل توده خاک $W = W_s + W_w$ و حجم کل $V = V_s + V_v$ ، با رابطه $V = V_s + V_w + V_a = V_s + V_v$ تعریف می‌گردند. در ادامه به معرفی پارامترهای قراردادی در روابط وزنی و حجمی پرداخته می‌شود.

وزن مخصوص دانه‌های جامد خاک (γ_s): از تقسیم وزن قسمت جامد خاک بر حجم قسمت جامد به‌دست می‌آید. معمولاً با

واحدهای $\frac{gr}{cm^3}$ ، $\frac{kN}{m^3}$ یا $\frac{t}{m^3}$ بیان می‌شود.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

- 1- Solid
- 2- Void
- 3- Water
- 4- Air

چگالی دانه‌های جامد خاک (G_s): چگالی مفهومی بدون بعد است و نسبت وزن مخصوص هر ماده‌ای را نسبت به وزن مخصوص آب می‌سنجد.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

چگالی دانه‌های جامد خاک عمدتاً محدوده‌ای بین $2/72 < G_s < 2/52$ دارد.
پوکی یا تخلخل (n): عبارت است از نسبت حجم حفرات موجود در خاک به حجم کل خاک.

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{V_a + V_w}{V}$$

همواره $0 < n < 1$ می‌باشد.

نسبت تخلخل یا نسبت منافذ (e): نسبت حجم حفرات موجود در خاک به حجم دانه‌های جامد خاک است. به این پارامتر نشانه e نیز گفته می‌شود.

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_a + V_w}{V_s}$$

از نظر تئوریک، e می‌تواند محدوده $0 < e < \infty$ باشد ولی محدوده تغییرات e در جدول ۲ آمده است.
جدول ۲: محدوده تغییرات e

$0/5 < e < 0/8$	ماسه
$0/7 < e < 1/1$	خاک‌های چسبنده (رس و لای)
$e \approx 2$	خاک در سست‌ترین حالت
$e \approx 0/35$	خاک در متراکم‌ترین حالت

نکته: رابطه‌های زیر بین تخلخل و نسبت تخلخل برقرار است:

$$e = \frac{n}{1-n}, \quad n = \frac{e}{1+e}$$

درصد رطوبت (ω): نسبت وزن رطوبت موجود در خاک به وزن گوشته جامد خاک است.

$$\omega = \frac{W_w}{W_s}$$

در آزمایشگاه ابتدا وزن اولیه نمونه را اندازه‌گیری کرده و سپس نمونه را در اوون خشک می‌نمایند. درصد رطوبت با رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\omega = \frac{W_1 - W_f}{W_f} \times 100$$

نکته: درصد رطوبت بازده‌ای در محدوده $0/60 < \omega < 0/80$ دارد. در برخی از خاک‌های آلی، ω می‌تواند تا 400% نیز باشد.
درصد اشباع (S_r): عبارت است از نسبت آب موجود در خاک به حجم حفرات خاک. معمولاً این پارامتر برحسب درصد بیان می‌شود.

$$S_r = \frac{V_w}{V_v}$$

خاک اشباع، خاکی است که تمامی حفرات آن با آب پر شده است. محدوده تغییرات درجه اشباع در بازه $0/100 < S_r < 100\%$ می‌باشد.
نکته: بین پارامترهایی که تاکنون معرفی گردید رابطه زیر برقرار است:

$$\omega.G_s = S_r.e$$

✓ تست: در یک نمونه خاک اشباع میزان رطوبت ۲۰٪ و وزن مخصوص دانه‌های خاک γ_s برابر با $۲۷ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ است. نشانه خلأ برابر با کدام گزینه است؟

- ۱) ۰/۵۴ (۱) ۲) ۵/۴ (۲) ۳) ۰/۱۳۵ (۳) ۴) ۱/۳۵ (۴)

✓ پاسخ: گزینه «۱»

طبق تعریف چگالی خواهیم داشت:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{۲۷}{۱۰} = ۲/۷$$

در خاک اشباع $S_r = ۱۰۰\%$ است، بنابراین:

$$\omega G_s = S_r e$$

$$۰/۲ \times ۲/۷ = ۱/۱۰۰ \times e \Rightarrow e = ۰/۵۴$$

✓ تست: در تست قبلی تخلخل کدام است؟

- ۱) ۱/۱۷ (۱) ۲) ۲/۸۵ (۲) ۳) ۰/۳۵ (۳) ۴) ۰/۸۵ (۴)

✓ پاسخ: گزینه «۳»

$$n = \frac{e}{1+e} = \frac{۰/۵۴}{1+۰/۵۴} = ۰/۳۵$$

با استفاده از رابطه بین تخلخل و نسبت تخلخل:

وزن مخصوص طبیعی خاک (γ_a یا γ): برابر با نسبت وزن کل توده خاک بر حجم کل توده خاک است. با کمی عملیات جبری روی تعریف رابطه γ ، به نتیجه‌ای خواهیم رسید که در برخی مسائل کاربرد دارد.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_w + W_s}{V_v + V_s} = \frac{\frac{W_w}{V_s} + \frac{W_s}{V_s}}{\frac{V_v}{V_s} + \frac{V_s}{V_s}} = \frac{\frac{W_s}{V_s} \left(\frac{W_w}{W_s} + 1 \right)}{e + 1} = \frac{\gamma_s (\omega + 1)}{e + 1}$$

با تکمیل عملیات جبری نتایج کاربردی زیر در دسترس است:

$$(\gamma_s = G_s \gamma_w) \Rightarrow \gamma = \frac{G_s (\omega + 1)}{1 + e} \gamma_w = \frac{S_r e + G_s}{1 + e} \gamma_w$$

وزن مخصوص حالت خشک خاک (γ_d): اگر نمونه خاک کاملاً خشک باشد $\omega = S_r = ۰$ می‌توان رابطه γ را نوشت.

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1 + e} \gamma_w = \frac{\gamma_s}{1 + e}$$

وزن مخصوص حالت اشباع (γ_{sat}): در صورتی که تمام حفرات توده خاک از آب پر شده باشد خاک اشباع بوده و $S_r = ۱۰۰\%$ خواهد بود.

$$\gamma_{sat} = \frac{e + G_s}{1 + e} \gamma_w$$

نکته: همیشه رابطه $\gamma_d < \gamma < \gamma_{sat}$ برقرار است.

✓ تست: در یک نمونه خاک اشباع اگر وزن مخصوص $۲۲ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ باشد، مقدار پوکی کدام است؟ ($G_s = ۲/۶$)

- ۱) ۱/۳۳ (۱) ۲) ۱/۲۵ (۲) ۳) ۰/۳۳ (۳) ۴) ۰/۲۵ (۴)

✓ پاسخ: گزینه «۴»

از رابطه وزن مخصوص داریم:

$$\gamma = \frac{S_r e + G_s}{1 + e} \gamma_w \Rightarrow ۲۲ = \frac{۱ \times e + ۲/۶}{1 + e} \times ۱۰ \Rightarrow e = ۰/۳۳$$

$$n = \frac{e}{1 + e} = \frac{۰/۳۳}{1 + ۰/۳۳} = ۰/۲۵$$

✓ تست: در نمونه خاکی پوکی برابر با ۰/۵ است. اگر درصد رطوبت ۲۵٪ و $G_s = ۲/۶۵$ باشد، وزن مخصوص حالت خشک خاک کدام است؟

۲۰ (۴)

۱۷/۶۷ (۳)

۱۳/۲۵ (۲)

۲۶/۵ (۱)

☑ پاسخ: گزینه «۲»

$$e = \frac{n}{1-n} = \frac{0.5}{1-0.5} = 1$$

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w = \frac{2.65}{1+1} \times 10 = 13.25 \frac{kN}{m^3}$$

درصد هوای خاک (A): نسبت حجم هوای موجود به حجم کل است؛ بنابراین همیشه $0 < A < 1$ می‌باشد. اگر خاک اشباع باشد $A = 0$ می‌شود.

$$A = \frac{v_a}{v} \Rightarrow A = n(1 - S_r)$$

وزن مخصوص شناوری (γ'): طبق قانون ارشمیدس، وزن هر جسم در هر سیالی به‌اندازه حجم سیال جابه‌جا شده نسبت به حالت خلأ کاهش دارد؛ بنابراین اگر توده خاکی در زیر سطح آزاد آب باشد خواهیم داشت:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w - \gamma_w = \frac{G_s - 1}{1+e} \gamma_w$$

به این حالت وزن مخصوص ارشمیدس در رفته نیز می‌گویند.

نکته: با انجام عملیات جبری کوتاه از اختلاف وزن مخصوص خشک و وزن مخصوص طبیعی و اشباع خواهیم داشت:

$$\gamma - \gamma_d = \omega \gamma_d$$

$$\gamma_{sat} - \gamma_d = n \gamma_w$$

به عبارت دیگر، وزن مخصوص حالت طبیعی به‌اندازه درصد رطوبت از وزن مخصوص خشک بیشتر است. ضمن اینکه اختلاف وزن مخصوص خشک و اشباع با پوکی در ارتباط است.

دانشیته نسبی (D_r): این پارامتر در مورد ماسه‌ها تعریف شده و بیانگر تراکم نسبی دانه‌های ماسه است.

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100$$

e_{max} : نسبت تخلخل بیشینه متناظر با کمترین تراکم خاک است.

e_{min} : نسب تخلخل کمینه و متناظر با بیشترین تراکم خاک است.

D_r : در محدوده بازده $0 < D_r < 1$ قرار دارد. برای ماسه با D_r حدود ۱۰۰٪ بیشترین تراکم و برای ماسه با D_r نزدیک به صفر سست‌ترین حالت می‌باشد.

معمولاً $e_{min} = 0.35$ و $e_{max} = 0.91$ در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۳: محدوده تغییرات D_r برای ماسه

D_r	تراکم نسبی
۰ ~ ۱۵	بسیار سست
۱۵ ~ ۵۰	سست
۵۰ ~ ۷۰	متوسط
۷۰ ~ ۸۵	متراکم
۸۵ ~ ۱۰۰	بسیار متراکم

✓ تست: وزن مخصوص خاکی در حالت خشک $\frac{1}{61} \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ و در حالت اشباع $\frac{2}{4} \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ است. اگر درصد اشباع ۷۰٪ باشد، وزن مخصوص خاک چقدر است؟ ($G_s = 2/6$)

- (۱) ۱/۸۱ (۲) ۱/۷۳ (۳) ۱/۹۲ (۴) غیرقابل محاسبه است

✓ پاسخ: گزینه «۱»

$$\gamma_{\text{sat}} - \gamma_d = n\gamma_w \Rightarrow 2/4 - 1/61 = n(1) \Rightarrow n = 0/43$$

$$e = \frac{n}{1-n} = \frac{0/43}{1-0/43} = 0/75$$

$$S_r e = \omega G_s \Rightarrow 0/7 \times 0/75 = \omega(2/6) \Rightarrow \omega = 0/2$$

$$\gamma - \gamma_d = \omega \Rightarrow \gamma = \gamma_d + \omega = 1/61 + 0/2 = 1/81 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

نکته: اگر در یک قرصه تغییرات درصد رطوبتی به وجود آید، آنگاه تغییرات وزن مخصوص به وجود می‌آید. اگر تغییرات حجم وجود نداشته باشد خواهیم داشت:

$$\gamma_{d1} = \gamma_{d2} \Rightarrow \frac{\gamma_1}{1+\omega_1} = \frac{\gamma_2}{1+\omega_2}$$

و چنانچه تغییر حجم نیز وجود داشته باشد:

$$W_{s1} = W_{s2} \Rightarrow \gamma_{d1} V_1 = \gamma_{d2} V_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{\gamma_{d2}}{\gamma_{d1}} = \frac{1+\omega_2}{1+\omega_1} = \frac{1+e_2}{1+e_1}$$

✓ تست: اگر در طی جابه‌جایی 4500 m^3 خاک با نسبت تخلخل ۰/۵ به محل پروژه نسبت تخلخل به ۱/۲ افزایش یابد، حجم خاکریز ایجاد شده چقدر است؟

- (۱) ۵۰۰۰ (۲) ۶۰۰۰ (۳) ۷۷۰۰ (۴) ۶۶۰۰

✓ پاسخ: گزینه «۴»

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1+e_1}{1+e_2} \Rightarrow \frac{4500}{V_2} = \frac{1+0/5}{1+1/2} \Rightarrow V_2 = 6600 \text{ m}^3$$

✓ تست: اگر از 2000 m^3 خاکی با پوکی ۰/۵ و 1000 m^3 خاکی با پوکی ۰/۷۵ در ساخت خاکریزی با پوکی ۰/۶ استفاده شود، با فرض همگن بودن خاکریز و سطح مقطع 20 m^2 خاکریز چه طولی از خاکریز ساخته خواهد شد؟

- (۱) ۳۱۲۵ (۲) ۱۵۶/۲۵ (۳) ۳۰۴۷ (۴) ۱۵۲/۳۸

✓ پاسخ: گزینه «۲»

$$W_s = W_{s1} + W_{s2} \quad \text{نه اول} \quad \text{خاکریز} \quad \text{نه دوم}$$

$$\Rightarrow \frac{V}{1+e} = \frac{V_1}{1+e_1} + \frac{V_2}{1+e_2}$$

$$n_1 = 0/5 \Rightarrow e_1 = \frac{n_1}{1-n_1} = \frac{0/5}{1-0/5} = 1$$

$$n_2 = 0/75 \Rightarrow e_2 = \frac{n_2}{1-n_2} = \frac{0/75}{1-0/75} = 3$$

$$n = 0/6 \Rightarrow e = \frac{n}{1-n} = \frac{0/6}{1-0/6} = 1/5$$

$$\Rightarrow \frac{V}{1+1/5} = \frac{2000}{1+1} + \frac{1000}{1+3} \Rightarrow V = 3125 \text{ m}^3$$

$$V = A \cdot L \Rightarrow 3125 = 20 \cdot L \Rightarrow L = 156.25 \text{ m}$$

✓ تست: از منبع قرضه با مشخصات اولیه داده شده خاکریزی متراکم با مشخصات ثانویه ساخته می‌شود. با برداشت 1 m^3 از خاک منبع قرضه چه حجمی از خاکریز احداث می‌شود؟

$$\begin{cases} \gamma_1 = 1/63 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \\ \omega_1 = 12\% \end{cases} \quad \begin{cases} \gamma_2 = 2 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \\ \omega_2 = 15\% \end{cases}$$

۰/۸۶۳ (۴)

۰/۸۵۵ (۳)

۰/۸۱۵ (۲)

۰/۸۳۶ (۱)

✓ پاسخ: گزینه «۱»

در فرآیند تراکم خاک وزن گوشته جامد خاک ثابت است؛ بنابراین:

$$\gamma_{d1} = \frac{\gamma_1}{1 + \omega_1} = \frac{1/63}{1 + 0.12} = 1/455 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\gamma_{d2} = \frac{\gamma_2}{1 + \omega_2} = \frac{2}{1 + 0.15} = 1/74 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$W_{s1} = W_{s2} \Rightarrow V_1 \cdot \gamma_{d1} = V_2 \cdot \gamma_{d2}$$

$$1 \times 1/455 = V_2 \times 1/74 \Rightarrow V_2 = 0.836$$

فصل دوم

دانه بندی و نام گذاری خاک ها

- دانه بندی خاک
- روش الک
- هیدرومتری
- خواص خمیری خاک های ریزدانه
- ویژگی های خمیری خاک
- نام گذاری خاک ها

دانه‌بندی و نام‌گذاری خاک‌ها

در شاخه‌های مهندسی عمران بیشتر ویژگی‌های فیزیکی خاک و دانه‌های آن مدنظر قرار دارد. خصوصیات چون باربری، تراوش آب، تراکم، مقاومت دیواره‌ها و ترانشه‌ها، تحکیم و تنش‌های جانبی و... تا حد بسیار زیادی بستگی به ویژگی‌های فیزیکی دانه‌های خاک دارد؛ مکانیک خاک به بررسی خواص فیزیکی دانه‌ها می‌پردازد. روشی منطقی که در این زمینه به کار برده شده دانه‌بندی خاک با استفاده از الک است.

دانه‌بندی خاک

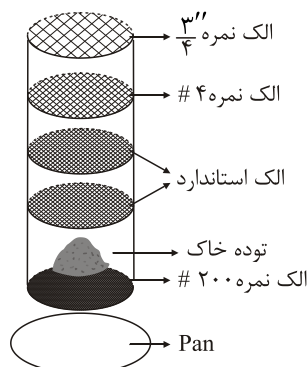
دانه‌بندی خاک عبارت است از تعیین قطر ذرات و دانه‌های خاک. به این منظور از وسیله متعارف الک استفاده می‌شود. توزیع وزنی دانه‌های خاک ملاک اندازه‌گیری قطر ذرات خاک قرار گرفته است. توجه شود که الک کردن خاک برای ذرات با قطر بزرگ‌تر از ۷۵ میکرون (۰/۰۷۵ میلی‌متر) روش قابل استفاده می‌باشد. الک با قطر چشمه‌های ۷۵ میکرون، الک شماره ۲۰۰# طبق استاندارد BS انگلستان است.

تمامی حجم خاک باقیمانده روی الک ۲۰۰# بخش درشت‌دانه خاک است. این بخش شن و ماسه نام دارد. بخش عبوری از الک ۲۰۰# بخش ریزدانه خاک شامل رس و لای است.

روش الک

در استاندارد BS انگلستان فرض می‌شود که چشمه‌هایی مربع شکل داشته باشیم. بعد چشمه‌ها در الک نمره ۱# یک اینچ در یک اینچ است. یک اینچ برابر با ۲۵/۴ میلی‌متر است.

البته قطر فلز توری از این مقدار کم می‌شود. به همین ترتیب شماره الک برابر با تقسیمات طولی و عرضی شبکه مربعی شکل یک اینچ مربعی است. مثلاً الک نمره ۳۰# در یک اینچ مربع $30 \times 30 = 900$ سوراخ دارد. در جدول ۱، قطر بعد چشمه تعدادی از الک‌ها آمده است. الک نمره ۲۰۰# ریزترین چشمه‌ها را دارد. خاک عبوری از این الک قابلیت دانه‌بندی با الک را ندارد. به منظور دانه‌بندی خاک با استفاده از الک ابتدا مطابق شکل ۱ الک‌ها روی هم سوار شده و سپس خاک الک می‌گردد. میزان خاک عبوری از هر الک با استفاده از روش تجمعی آماری در یک جدول ثبت می‌گردد.



شکل ۱: ترتیب سوار شدن الک‌ها

در استاندارد ASTM آمریکا الک‌های استاندارد شامل $\frac{3}{8}$ ، $\frac{3}{4}$ و نمرات #۴، #۱۰، #۲۰، #۴۰، #۶۰، #۱۰۰، #۱۵۰ و #۲۰۰ می‌باشد. نحوه نام‌گذاری ذرات خاک پس از پایان الک‌کردن خاک طبق جدول ۲ است.

نکته: لازم است تا نمونه خاک به وزن کافی بوده (مثلاً ۳kg) و قبل از الک‌کردن در دستگاه اوون خشک شود. ضمناً باید کلوخه‌ها کاملاً خرد گردند.

نکته: اگر کمتر از ۵٪ از خاک عبوری روی تابه^۱ جمع شود (عبوری از الک #۲۰۰ نیاز به آزمایش دیگری برای طبقه‌بندی خاک نیست).

جدول ۱: قطر چشمه تعدادی از الک‌های استاندارد

نمره الک #	بعد چشمه (mm)
۴	۴/۷۵
۱۰	۲
۲۰	۰/۸۵
۴۰	۰/۴۲
۶۰	۰/۳۵
۱۰۰	۱۵/۰
۲۰۰	۰/۰۷۵

جدول ۲: نام‌گذاری خاک براساس قطر دانه‌ها

نام ذرات	محدوده قطر ذرات (mm)	محدوده پایین الک #
شن (gravel)	بسیار درشت	$\frac{3}{4} < D < 75 \text{ mm}$
	درشت	$\frac{3}{4} > D > \frac{3}{8}$
	ریز	$\frac{3}{8} > D > \frac{3}{16}$
ماسه (sand)	درشت	$\frac{3}{16} > D > \frac{3}{32}$
	متوسط	$\frac{3}{32} > D > \frac{3}{64}$
	ریز	$\frac{3}{64} > D > \frac{3}{128}$
لای (سیلت) (silt)		
رس (clay)		

ذرات بزرگ‌تر از ۷۵mm قلوه سنگ نام دارند.

نمودار دانه‌بندی خاک

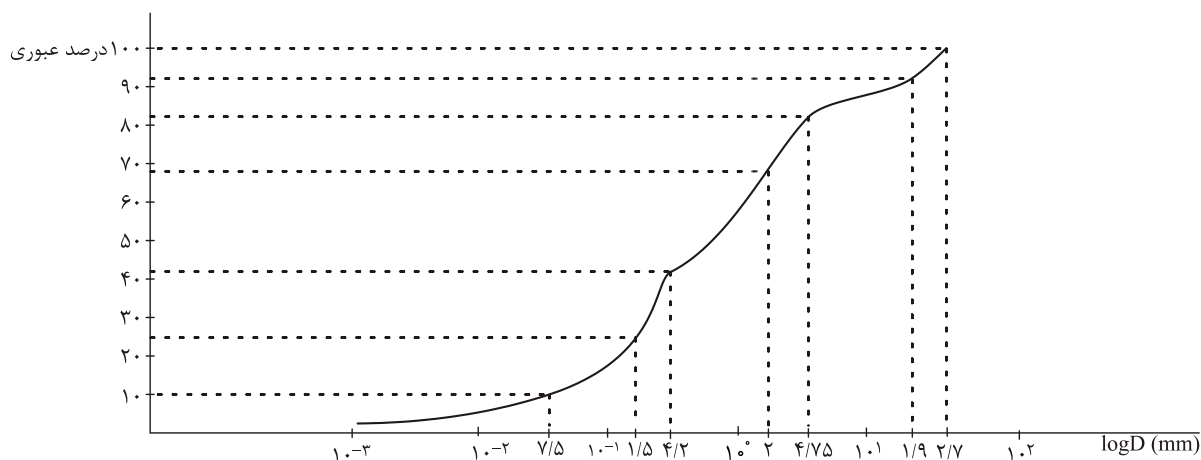
هدف از الک‌کردن خاک‌های درشت‌دانه ترسیم نموداری است که نمودار دانه‌بندی ذرات خاک نام دارد. این نمودار دارای ویژگی‌های خاصی بوده که مهم‌ترین آن این است که درصد قطر ذرات کمتر مقدار قرائت شده را نشان می‌دهد. منحنی دانه‌بندی خاک را روی کاغذ نیمه لگاریتمی ترسیم می‌گردد. دلیل آنکه نمودار بر روی کاغذ نیمه لگاریتمی ترسیم می‌شود آن است که توزیع قطر دانه‌ها وسیع بوده و در محدوده قطرهای ریز منحنی به‌خوبی قابل بررسی باشد.

مثال: دریک آزمایش دانه‌بندی خاک نمونه‌ای به وزن 300 kg برداشته شده و پس از خشک شدن در اوون به وزن 3072 gr رسیده است. وزن مانده روی الک‌ها به ترتیب جدول زیر می‌باشد. نمودار دانه‌بندی آن را رسم نمایید. درشت‌ترین دانه خاک $D = 27 \text{ mm}$ دارد.

سایز الک (mm)	درصد عبوری	وزن عبوری از الک	وزن مانده (gr)	نمره الک
19/1	$2867 / 3072 = 93\%$	$3072 - 205 = 2867$	205	3"
4/75	$2560 / 3072 = 83\%$	$2867 - 307 = 2560$	307	4
2	$2135 / 3072 = 69\%$	$2560 - 425 = 2135$	425	10
0/42	$1319 / 3072 = 43\%$	$2135 - 816 = 1319$	816	40
0/15	$794 / 3072 = 26\%$	$1319 - 525 = 794$	525	100
0/075	$100 / 3072 = 3\%$	$794 - 694 = 100$	694	200
	$0 / 3072 = 0\%$	$100 - 100 = 0$	100	عبوری

حل:

ستون‌های اول و دوم داده‌های مساله است. به منظور تکمیل جدول از ستون سوم به بعد به ترتیب زیر عمل می‌شود: ابتدا وزن عبوری از هر الک محاسبه می‌شود. برای این کار وزن کل از ردیف اول کسر می‌شود و این کار تا پایان ادامه می‌یابد. در ستون چهارم حاصل هر ردیف به وزن کل 3072 gr تقسیم می‌شود. نمودار دانه‌بندی منحنی و محور افقی آن با مقیاس لگاریتمی از قطر ذرات است و محور عمودی آن درصد عبوری ذرات را نشان می‌دهد.



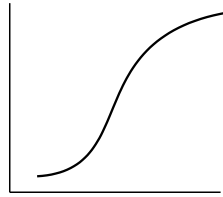
نکته: دانه‌بندی خاک ویژگی‌های کیفی دانه‌های خاک مانند تیز گوشه بودن، گرد بودن و ... را به دست نمی‌دهد.

انواع منحنی‌های دانه‌بندی خاک

شکل منحنی دانه‌بندی گویای مطالبی در مورد اندازه ذرات و تنوع توزیع قطرهای ذرات می‌باشد.

الف) منحنی شکل S کشیده

این نوع خاک خوب دانه‌بندی شده است، به ترتیبی که از تمام ذرات خاک به اندازه کافی وجود دارد.

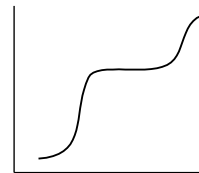


شکل ۲: منحنی خاک خوب دانه‌بندی شده

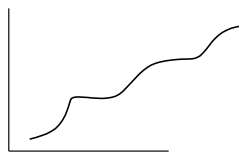
منحنی این نمودار مقعر و خوابیده است و روی هر الک تقریباً مساوی با الک‌های دیگر خاک قرار دارد. شیب این منحنی ملایم و کم است، تراکم‌پذیری بهتر و مقاومت برشی بیشتر از ویژگی‌های مهم این خاک است.

ب) منحنی دانه‌بندی گسسته

در این نوع خاک محدوده‌ای از قطر ذرات وجود ندارد؛ بنابراین در بخشی از نمودار خط افقی صاف دیده می‌شود. نشانه این ویژگی هنگام الک‌کردن آن است که روی تعدادی از الک‌ها هیچ خاکی باقی نمانده باشد. اگر یک خط افقی در نمودار منحنی باشد به آن خاک میان تهی گفته می‌شود. اگر چند خط افقی در نمودار باشد به خاک با دانه‌بندی پلکانی اطلاق می‌گردد.



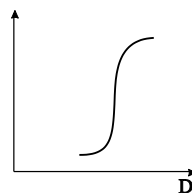
شکل ۳: منحنی خاک میان تهی گسسته



شکل ۴: منحنی خاک پلکانی گسسته

پ) منحنی دانه‌بندی یکنواخت

به این نوع نمودار بندی همگن نیز گفته می‌شود. ویژگی مهم نمودار آن، این است که خط قائم در آن دیده می‌شود. در این حالت ذرات خاک اندازه‌های نسبتاً برابر دارند، به عبارت دیگر محدوده کمی از اندازه قطرها را به خود اختصاص می‌دهند. این گونه خاک‌ها در دسته خاک‌های بد دانه‌بندی شده قرار می‌گیرند. این نوع خاک اگر در محدوده درشت‌دانه‌ها باشد، آب را به خوبی منتقل می‌نماید و مناسب برای ساخت زهکش‌ها است.



شکل ۵: خاک با دانه‌بندی یکنواخت



شکل ۶: منحنی A خاک یکنواخت با درشت‌دانه بیشتر و خاک B دانه‌بندی یکنواخت با ریزدانه بیشتر

از روی منحنی دانه‌بندی پارامترهایی برداشت می‌شود که در مطالعات خاک و پی کاربرد گسترده‌ای دارد. قطری که متناظر با درصدی از روی منحنی دانه‌بندی قرائت گردد به این مفهوم است که مقادیر وزنی به‌اندازه درصد قرائت شده از توده خاک، قطری کمتر از دانه مزبور دارد. برای مثال $D_{\phi 3} = 25\text{mm}$ ، به این مفهوم است که ۵۳٪ وزنی از توده خاک موردنظر قطر کمتر از ۲۵mm دارند. ضمناً ۴۷٪ از خاک مورد نظر قطری بزرگ‌تر از ۲۵mm دارد.

اندازه موثر: قطری که از روی منحنی دانه‌بندی برابر با ۱۰٪ عبوری قرائت می‌گردد و با D_{10} نمایش داده می‌شود.
قطر میانه: قطری که از روی منحنی دانه‌بندی برابر با ۵۰٪ عبوری قرائت می‌گردد و با D_{50} نمایش داده می‌شود.
قطر حداکثر: قطری که از روی منحنی دانه‌بندی برابر با ۱۰۰٪ عبوری قرائت می‌گردد و با D_{max} نمایش داده می‌شود.

ضریب یکنواخت (C_u)

این ضریب که با رابطه زیر تعریف می‌شود، بیانگر میزان گستردگی منحنی دانه‌بندی است.

$$C_u = \frac{D_{\phi 60}}{D_{10}}$$

محدوده تغییرات C_u به‌نحوی است که اگر هرچه C_u بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده آن است که خاک پهنه وسیع‌تری از قطرات را در بر می‌گیرد. هر اندازه ضریب یکنواختی به یک نزدیک‌تر باشد گویای هم‌اندازه بودن ذرات خاک است. بنابراین خاک‌های بد دانه‌بندی شده، ضریب یکنواختی نزدیک به یک دارند.

ضریب چولگی (انحنای)

به آن ضریب دانه‌بندی و ضریب خمیدگی نیز گفته می‌شود و با رابطه زیر بیان می‌گردد:

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

این ضریب بیانگر میزان تقعر یا انحنای منحنی دانه‌بندی است.

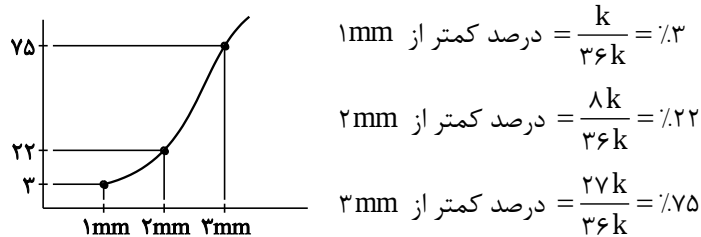
در خاک‌های درشت‌دانه اگر $1 \leq C_c \leq 3$ باشد، خوب دانه‌بندی شده اطلاق می‌گردد.

✓مثال: خاکی مصنوعی از تعدادی گلوله کره‌ای به شعاع ۳ و ۲ و ۱ میلی‌متر به تعداد مساوی تشکیل شده است. ضریب یکنواختی و انحنای آن را به‌دست آورید.

✓حل:

به‌منظور حل این مساله، لازم است تا ابتدا منحنی دانه‌بندی آن رسم گردد. وزن هر دانه با قطر آن با رابطه $W \propto D^3$ در ارتباط است. از ضریب کمکی k در حل مساله استفاده می‌شود.

$$\begin{cases} W_{1m} \propto D_1^3 \\ W_{2m} \propto D_2^3 \\ W_{3m} \propto D_3^3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} W_1 = \gamma \left(\frac{\pi}{6} \right) (1)^3 = k \\ W_2 = \gamma \left(\frac{\pi}{6} \right) (2)^3 = 8k \\ W_3 = \gamma \left(\frac{\pi}{6} \right) (3)^3 = 27k \end{cases} \Rightarrow W = W_1 + W_2 + W_3 = 36k$$



با قرائت از روی منحنی دانه‌بندی، $D_{60} = 2/83\text{ mm}$ و $D_{30} = 2/12\text{ mm}$ و $D_{10} = 1/4\text{ mm}$ می‌باشد.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{2/83}{1/4} = 2/02 \text{ ضریب یکنواختی}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{2/12^2}{1/4 \times 2/83} = 1/1 \text{ ضریب انحنای}$$

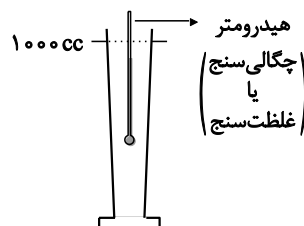
هیدرومتری

ذراتی که از الک #۲۰۰ گذر می‌کنند بسیار ریز بوده و دیگر نمی‌توان الک کردن آن را ادامه داد. به‌منظور دانه‌بندی ذرات روی تابه که عبوری از الک #۲۰۰ هستند، استوکس آزمایشی را ترتیب داد. وی مبنای کار را سرعت ته‌نشینی ذرات در محلول کلوییدی خاک در آب در نظر گرفت. وقتی که محلول خاک در آب کاملاً به هم زده و آشفته شود، دانه معلق براساس شکل، اندازه و وزن با سرعت متفاوتی ته‌نشین می‌شوند. هرچه قطر ذرات کمتر باشد سرعت ته‌نشینی نیز کمتر است.

آزمایش هیدرومتری

در این آزمایش یک نمونه خاک به جرم 50 gr را که عبوری از الک #۲۰۰ و با قطر کمتر از 0.075 mm میلی‌متر بوده را به مدت 16 ساعت در محلول آب و آب اکسیژنه H_2O_2 قرار می‌دهند تا کاملاً دانه‌های خاک از هم جدا شوند. سپس خاک را در استوانه‌ای به حجم 1000 میلی‌لیتر می‌ریزند. استوانه را تکان داده و روی یک میز ثابت قرار می‌دهند. پس از آن استوانه مندرج هیدرومتر را در استوانه محلول قرار می‌دهند و هر 5 ثانیه عمق قرائت‌شده از روی هیدرومتر را یادداشت می‌کنند. با گذشت زمان هیدرومتر بیشتر در آب فرو می‌رود.

جداولی برای $G_s = 2/65$ آماده است که در هر لحظه از قرائت هیدرومتر می‌توان قطر ذره ته‌نشین‌شده را از آن جدول استخراج کرد. نتایج در نمودار دانه‌بندی خاک الک‌شده ترسیم می‌گردد. توجه شود که روش هیدرومتری استوکس برای فرض ذرات کروی شکل است. از آنجایی که ذرات رس صفحه‌ای شکل هستند، این روش برای رس با قطر کمتر از 0.002 mm میلی‌متر نتایج مناسبی ندارد.

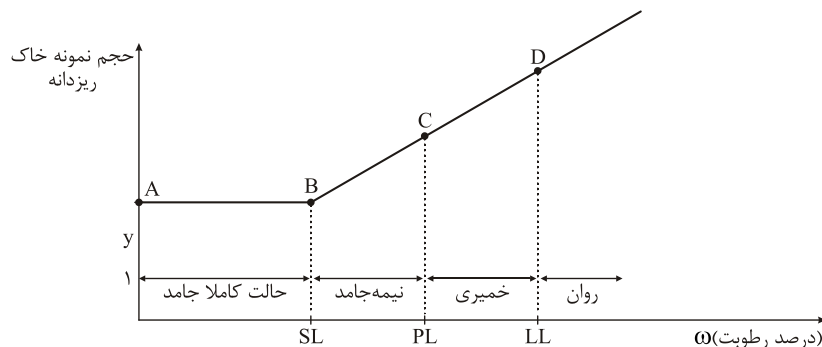


شکل ۷: قرارگیری هیدرومتر در استوانه محلول

خواص خمیری خاک‌های ریزدانه

خواص خمیری خاک ریزدانه با حدود اتربرگ بیان می‌گردد. اتربرگ دانشمند سوئدی در این باره تحقیق نمود. طبق نظر اتربرگ توده یک خاک از بخش جامد و بخش حفرات خالی تشکیل شده است. با افزودن آب به توده خاک تا زمانی که حجم حفرات خالی کاملاً پر شود هیچ‌گونه افزایش حجمی صورت نمی‌گیرد. در لحظه‌ای که خاک کاملاً اشباع گردد، یعنی تمام حفرات آن با آب پر شود، درصد رطوبت مربوط به عنوان حد انقباض SL معرفی می‌شود.

با افزودن آب اضافه به خاک، خاک افزایش حجم خواهد داشت. افزایش درصد آب به مرحله‌ای خواهد رسید که خاک حالت جامد خود را از دست می‌دهد و به حالت خمیری درمی‌آید. رطوبت خاک در شروع حالت خمیری با حد خمیری PL نمایش داده می‌شود. در صورتی که رطوبت خاک باز هم افزایش یابد کم‌کم خاک حالت روان پیدا می‌کند. در این شرایط خاک تحمل نیروی برشی را ندارد. رطوبتی که خاک را به حالت روان یا مایع‌گون می‌رساند با حد روانی یا LL بیان می‌شود. حدود اتربرگ در گراف زیر نمایش داده شده است.



شکل ۸: چهار ناحیه پیشنهادی اتربرگ

خاک در نقطه A، کاملاً خشک است. از A تا B رطوبت افزایش می‌یابد ولی تأثیری در حجم خاک و باربری آن ندارد. از B تا C خاک در ناحیه نیمه‌جامد قرار دارد؛ اما هنوز ویژگی‌های جامد خاک حاکم است. از C تا D خاک ویژگی‌های خمیری خود را نشان می‌دهد که متناظر با درصد رطوبت حد خمیری تا حد روانی است. از نقطه D به بعد که خاک درصد رطوبتی بیشتر از حد روانی دارد و تقریباً مایع است.

جذب آب توسط کانی‌های دوقطبی رس موجب ویژگی‌های چسبندگی و خمیری در رس می‌شود. هرچه قدرت این دوقطبی‌ها بیشتر باشد ویژگی‌های چسبندگی و خمیری تقویت می‌گردد.

این ویژگی با استعداد بیشتر خاک برای خمیری شدن و نیاز به آب بیشتر برای روان شدن خود را نشان می‌دهد. در نتیجه پارامتر اندیس خمیری یا نشانه خمیری PI با رابطه زیر پیشنهاد شده، که ملاکی جهت تخمین قدرت خمیری خاک رس است.

$$PI = LL - PL$$

تعیین درصد رطوبت‌های اتربرگ طی آزمایشاتی در آزمایشگاه مکانیک خاک انجام می‌شود.

تعیین حد انقباض

حد انقباض درصد رطوبتی است که در آن تغییر حجمی در خاک رس به وجود نمی‌آید. به عبارتی اگر گل رس مرطوب را در دستگاه اوون قرار داده تا خشک شود، آنگاه به حدی از درصد رطوبت می‌رسد که دیگر کاهش حجم نخواهد داشت. آزمایش مربوط، به این ترتیب است که خاک مرطوب با درصد رطوبت مشخص شده را درون کاسه ریخته و درون اوون قرار می‌دهند، پس از خشک شدن کامل نمونه خاک تغییر حجم رس را با جیوه اندازه می‌گیرند.



شکل ۹: نمونه مرطوب ظرف را کاملاً پر کرده و پس از خشک شدن با جیوه مجدداً پر می‌شود

حد انقباض از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SL = \frac{(W_1 - W_s - \gamma_w \Delta V)}{W_s}$$

ΔV برابر تغییر حجم نمونه با حجم جیوه مورد استفاده است.

می توان حد انقباض را با استفاده از روابط وزنی و حجمی نیز تعیین کرد. می دانیم زمانی که تمامی حفرات از آب پر شود، آنگاه خاک کاملاً اشباع است.

$$Sr = 1, \quad Sr = \omega G_s \Rightarrow \omega = SL = \frac{e}{G_s}$$

با استفاده از عملیات جبری روی تعریف حد انقباض رابطه زیر به دست می آید:

$$SL = \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s}$$

✓ تست: اگر با درصد رطوبت ۳۵٪ وزن مخصوص خاک رس طبیعی $\frac{1}{95} \frac{gr}{cm^3}$ باشد، با فرض $G_s = 2.7$ حدانقباض

کدام است؟

(۴) ۳۲٪

(۳) ۳۵٪

(۲) ۳۰٪

(۱) ۲۵٪

✓ پاسخ: گزینه «۴»

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega} \Rightarrow \gamma_d = \frac{1/95}{1 + 0.35} = 1/44 \frac{gr}{cm^3}$$

$$SL = \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s} = \frac{1}{1/44} - \frac{1}{2.7} = 0.32$$

نکته: ممکن است نمونه خاک تا مدت زیادی در اوون بماند؛ اما تمام آب خود را از دست ندهد. علت آن پیوند قوی مولکولهای آب و صفحات کانی رسی است.

آزمایش تعیین حدخمیری

حد خمیری، درصد رطوبتی است که اگر خاک کمتر از آن باشد به حالت نیمه جامد می رسد و در رطوبت بیشتر از آن حالت خمیری دارد. به این منظور ابتدا نمونه هایی به خاک عبوری از الک ۴۰ آب زده و سپس با کف دست، فتيله هایی با قطر ۳ تا ۴ میلی متر درست می نمایند. درصد رطوبتی که طی آن نمونه های فتيله ای ترک های سوسماری بخورد یا دو تکه شود را محاسبه کرده و به آن حدخمیری می گویند. روش های دیگری مانند آزمایش سطح شیشه ای برای تعیین PL وجود دارد.

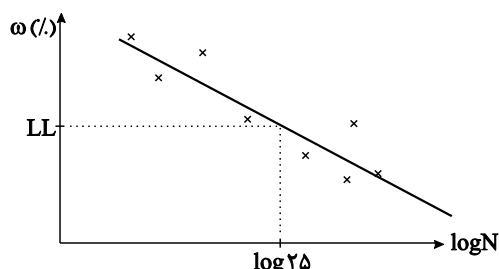
آزمایش تعیین حد روانی

طبق نمودار اتربرگ درصد رطوبتی که خاک رس را به حالت روان یا مایع درمی آورد به عنوان حد روانی شناخته می شود. زمانی که خاک به خصوصیات مایع برسد مقاومت برشی نخواهد داشت. به منظور تعیین این درصد رطوبت کاساگرانده روشی را پیشنهاد کرده است. خاک عبوری از الک ۴۰ را با مقداری آب مخلوط کرده و گل حاصله را در فنجان کاسا گرانده با ابعاد مشخص قرار می دهند. سپس با استفاده از شیارزن شکافی را در گل ایجاد می کنند. در صورتی که نمونه شکاف خورده با ۲۵ ضربه بسته شود رطوبت نمونه برابر با درصد رطوبت حد روانی است.



شکل ۱۰: جام کاساگرانده و مقطع شیار ایجاد شده در گل رس

چندین نمونه با درصد رطوبت‌های مختلف تهیه کرده و آزمایش را تکرار می‌نمایند. پس از رسم نتایج در یک نمودار نیمه لگاریتمی خط برازنده به داده‌ها را ترسیم می‌نمایند. درصد رطوبت متناظر با ۲۵ ضربه برابر با حد روانی در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۱: نمودار ضربات و درصد رطوبت آزمایش کاسا گرانده

نکته ۵: در صورت داشتن دو نمونه، درصد رطوبت و تعداد ضربه می‌توان با رابطه معادله خط، LL را یافت.

$$\frac{W_1 - W_2}{\log N_1 - \log N_2} = \frac{W_1 - L_L}{\log N_1 - \log 25}$$

ویژگی‌های خمیری خاک

در ساخت سازه‌های خاکی مانند خاکریزها، سدهای خاکی و... نیاز است، درصد رس موجود در خاک مشخص باشد. به‌این منظور شاخص دامنه خمیری یا نشانه خمیری PI به‌صورت روبه‌رو تعریف شده است:

$$PI = LL - PL$$

دامنه خمیری عبارت است از اختلاف درصد رطوبت حد روانی منهای درصد رطوبت حد خمیری. هرچه عدد PI بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده رس بیشتر در خاک است. بیشتر بودن این دامنه با نوع کانی‌های رس در ارتباط است. دامنه خمیری تابع رطوبت محلی خاک نیست، بلکه تابع کانی ذرات رس و میزان رس موجود در خاک می‌باشد.

هرچه دامنه خمیری طولانی‌تر باشد خاک حالت چسبنده‌تر و خمیری‌تری خواهد داشت. عامل رفتار خمیری رس آب سطحی لایه‌های کانی رسی است. علت روان‌شدن خاک، آب آزاد موجود در بین لایه‌ها می‌باشد.

جدول ۳: میزان خمیری بودن براساس شاخص دامنه خمیری

نوع رس	PI
غیر خمیری non PI	$PI < 1$
خمیری اندک (بسیار کم)	$1 < PI < 5$
خمیری کم	$5 < PI < 10$
خمیری متوسط	$10 < PI < 20$
خمیری بالا	$20 < PI < 40$
خمیری بسیار بالا	$40 < PI$

هرچه کانی رس صفحه‌ای‌تر باشد، نشانه خمیری آن بیشتر خواهد بود. این ویژگی به‌دلیل توانایی بیشتر در جذب آب سطحی به‌صورت دو قطبی آب و کانی است.

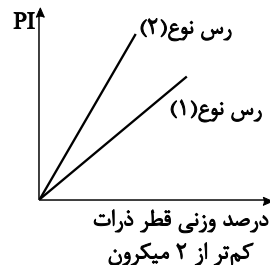
عدد فعالیت رس

فعالیت یا اکتیویته رس به‌صورت توانایی یک خاک برای تغییر حجم در اثر جذب رطوبت تعریف می‌شود. این عدد مقیاسی برای پتانسیل تورم رس است و به‌صورت رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$A = \frac{PI}{0.002 \text{ mm}}$$

مقدار وزنی ذرات رس با قطر کمتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر

با افزایش درصد ذرات با قطر کمتر از ۲ میکرون خواص خمیری خاک افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر رس فعال‌تر عدد اکتیویتیته (A) بزرگ‌تر دارد. در نتیجه زودتر به حالت خمیری در می‌آید اما دیرتر روان می‌گردد. این نوع رس در حالت جامد مقاومت باربری بالاتری نیز دارد. طبق نمودار شکل ۱۲، مشخص است که ویژگی نشانه خمیری و درصد ذرات کمتر از ۲ میکرون یک نمودار خطی بوده و شیب این خط همان عدد فعالیت رس A می‌باشد.



شکل ۱۲: رس نوع ۲ فعال‌تر از رس نوع ۱

هرچه کانی رس صفحه‌ای‌تر باشد عدد فعالیت رس بالاتر است.

جدول ۴: دسته‌بندی رس‌ها بر مبنای عدد اکتیویتیته

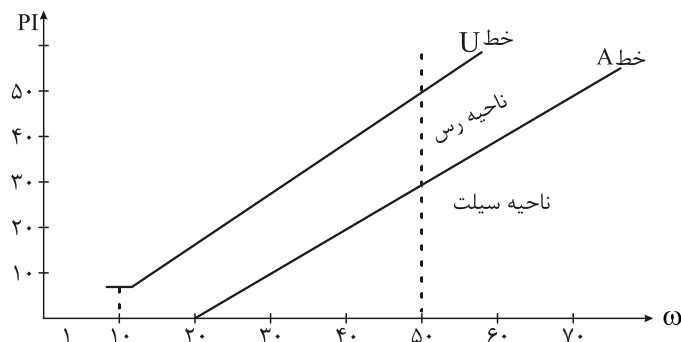
$A < 0.75$	رس غیرفعال
$0.75 < A < 1.25$	رس نیمه فعال
$1.25 < A$	رس فعال

جدول ۵: شاخص خمیری و عدد اکتیویتیته انواع کانی رس‌ها

عد اکتیویتیته A	حدروانی LL	حدخمیری PL	نوع کانی	
$1/5 < A < 7$	$100 < LL < 900$	$50 < PL < 100$	مونتموریونیت	کانی‌های فعال رس
$1/5 < A < 7$	-	-	اسمکتایت	
$0/3 < A < 0/5$	$35 < LL < 100$	$20 < PL < 40$	کائولینیت	کانی غیر فعال
$0/5 < A < 1/2$	$60 < LL < 120$	$35 < PL < 60$	ایلیت	کانی نسبتاً نیمه فعال
$0/1 < A < 0/2$	$50 < LL < 70$	$40 < PL < 60$	هالوزیت هیدراته	کانی غیر فعال
$0/4 < A < 0/6$	$40 < LL < 50$	$30 < PL < 45$	هالوزیت غیر هیدراته	
$0/4 < A < 1/3$	$150 < LL < 250$	$100 < PL < 125$	اتاپولزیت	کانی نیمه فعال
$0/4 < A < 1/3$	$200 < LL < 250$	$120 < PL < 150$	آلوفین	

نمودار خمیری کاساگرانده

نموداری توسط کاساگرانده پیشنهاد شده که در آن تقسیم‌بندی خاک‌های ریزدانه بین سیلت و رس انجام می‌شود. در این نمودار دو خط با نام‌های خط A و خط U وجود دارد. خط A مرز بین لای و رس است. در این روابط LL و PI برحسب درصد وارد می‌شوند. در عمل هیچ خاکی بالاتر از خط U قرار نمی‌گیرد. معادله خط‌های A و U، به صورت تجربی از داده‌های آزمایشگاهی مکانیک خاک به دست آمده‌اند.



شکل ۱۳: نمودار خط U و A

در استفاده از نمودار کاساگرانده به نحوه زیر عمل می‌شود:

الف: اگر $PI < 4$ باشد، بخش ریزدانه خاک تنها شامل سیلت است.

ب: اگر $4 < PI < 7$ باشد، بخش ریزدانه خاک ترکیبی از سیلت و رس بوده که ویژگی‌های چسبندگی ناچیزی دارد.

پ: اگر $PI > 7$ باشد، آنگاه مقدار PI خاک با خط A چک می‌گردد. اگر PI خاک بیشتر از PI محاسباتی معادله خط A باشد آنگاه خاک رس می‌باشد. در غیراین صورت خاک سیلت خواهد بود.

نکته ۶: یکی از نتایج نمودار کاساگرانده، این است که حد انقباض خاک‌های رسی بین ۲۰٪ تا ۸٪ می‌باشد. حد انقباض خاک‌های سیلتی بزرگ‌تر از ۲۰٪ خواهد بود. این نتیجه از نمودار کاساگرانده نشان می‌دهد که خاک ریزدانه رس زودتر از خاک ریزدانه لای نسبت به تغییرات درصد رطوبت واکنش نشان می‌دهد.

✓ تست: کدام گزاره نادرست است: با افزایش چسبندگی می‌یابد.

- (۱) حد خمیری افزایش (۲) حد روانی افزایش (۳) حد خمیری کاهش (۴) نشانه خمیری افزایش

✓ حل: گزینه «۱»

پاسخ گزینه (۴) می‌تواند بهترین گزینه برای تکمیل گزاره باشد.

نشانه روانی Li

این پارامتر به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد و بیانگر میزان استحکام خاک است.

$$Li = \frac{\omega - PL}{LL - PL}$$

نامگذاری خاک‌ها

در مکانیک خاک، برای انواع خاک‌ها نامی در نظر گرفته می‌شود. این نام معرفی بسیاری از خصوصیات خاک است. معیار نام‌گذاری خاک‌های درشت‌دانه، قطر دانه‌ها است. در ریزدانه‌ها ویژگی‌های خمیری معیار نام‌گذاری می‌باشد.

نامگذاری خاک بر اساس روش یونیفاید^۱ (متحد)

در روش متحد، نام خاک دو سیلابی است. سیلاب اول، بیان‌کننده ذرات خاک از نظر درشت‌دانه یا ریزدانه بودن بوده و سیلاب دوم توصیف‌کننده خصوصیات آن می‌باشد. برای مثال، اگر خاکی با نام GM باشد می‌توان نتیجه گرفت که ذرات خاک بیشتر از نوع شن^۲ بوده و ویژگی مهم آن لای‌دار بودن^۱ آن است.

1- Unified

2 -Gravel



در این روش ابتدا باید نوع خاک از نظر درشت‌دانه یا ریزدانه بودن آن مشخص شود. سپس صفت خاک توصیف می‌گردد. مرز درشت‌دانه بودن و ریزدانه بودن خاک الک #۲۰۰ می‌باشد.

جدول ۶: حرف اول نوع خاک در روش یونیفاید

G	شن gravel	درشت‌دانه
S	ماسه sand	
M	لای سیلت silt	ریزدانه
C	رس clay	
O	خاک آلی organic	

جدول ۷: حرف دوم در نامگذاری یونیفاید، صفت یا ویژگی خاک

W	خوب دانه‌بندی شده well graded	ویژگی خاک‌های درشت‌دانه
P	بد دانه‌بندی شده poorly graded	
M	سیلتي (لای‌دار) silty	
C	رس دار clay	
H	حد روانی بالا (بالاتر از ۵۰٪)	ویژگی خاک‌های ریزدانه
L	حد روانی کم (کمتر از ۵۰٪)	

در نام‌گذاری خاک‌ها در سیلاب اول به نکات زیر توجه می‌شود:

الف: اگر عبوری از الک #۲۰۰ کمتر از ۵۰٪ باشد خاک مزبور درشت‌دانه است. اگر بخش مانده روی الک #۴ بیشتر از محدوده مانده بین الک‌های #۴ و #۲۰۰ باشد خاک شنی بوده و سیلاب اول G است. اگر بین محدوده الک‌های #۴ و #۲۰۰ بیشتر از مانده روی الک #۴ باشد، خاک ماسه‌ای بوده و سیلاب اول خاک S می‌باشد.

در مورد صفت خاک‌های درشت‌دانه (عبوری از الک #۲۰۰ کمتر از ۵۰٪) به‌ترتیب زیر عمل می‌شود:

اگر عبوری از الک #۲۰۰ کمتر از ۵٪ باشد، از خواص خمیری ریزدانه چشم‌پوشی می‌گردد. در مورد ماسه، اگر $3 \leq C_u \leq 6$ باشد، از اندیس W (خوب دانه‌بندی شده) و در غیر این صورت از اندیس P (بد دانه‌بندی شده) استفاده می‌شود. در مورد خاک شنی اگر $3 \leq C_u \leq 4$ باشد، از اندیس صفت W به‌عنوان خوب دانه‌بندی شده و در غیر این صورت از اندیس P به‌عنوان بد دانه‌بندی شده استفاده می‌شود.

اگر عبوری از الک #۲۰۰ بین ۵۰٪ تا ۱۲٪ باشد خواص ریزدانه خاک حاکم می‌گردد و می‌بایست از صفت مربوط به خواص ریزدانه در خاک درشت‌دانه استفاده کرد. اگر خصوصیات خمیری بخش ریزدانه خاک بالای خط A باشد از اندیس C برای صفت خاک درشت‌دانه استفاده می‌شود و اگر زیر خط A باشد، از اندیس M برای صفت خاک درشت‌دانه استفاده می‌شود. بدیهی است اگر بخش ریزدانه خاک زیر خط A باشد، خصوصیات لای و اگر بالای خط A باشد خصوصیات رس حاکم می‌گردد.

اگر عبوری از الک #۲۰۰ بین ۱۲٪ تا ۵٪ باشد نام‌گذاری خاک به هر دو دستور داده شده صورت می‌پذیرد، به‌عبارت دیگر نام خاک دو بخش دو سیلابی دارد.

ب: اگر عبوری از الک #۲۰۰ بیشتر از ۵۰٪ باشد، خاک ریزدانه است. حال اگر $PI < 7$ باشد و PI خاک بالای خط A باشد خاک از نوع رس است.

اگر هم $PI < 7$ باشد یا $PI < 7$ خاک زیر خط A باشد، خاک از نوع سیلت است. برای بخش دوم توصیفی خاک نیز ملاک حدروانی LL می‌باشد. اگر $LL < 50$ باشد خاک با توصیف H و اگر $LL > 50$ باشد خاک با توصیف L نشان داده می‌شود.

اگر $4 < PI < 7$ باشد، نام خاک $CL - ML$ است.

اگر $PI < 4$ باشد نام خاک ML است.