مکانیک خاک پیشرفته

مولفین :

احد باقرزاده خلخالی / رضا رضائی موید/ محمدرضا کوهستانی

مقدمه مؤلف

با توجه به این‌که خاک بستر اصلی کثیری از سازه‌های عمرانی است و در بسیاری از ابنیه دیگر نظیر دیوارهای حائل، بدنه سدهای خاکی و شیروانی‌ها به عنوان مصالح تشکیل‌دهنده مطرح می‌باشد؛ آشنایی با اصول مهندسی خاک در چارچوب قوانین فیزیکی و مکانیکی بویژه از دیدگاه اصول پیشرفته و بروزرسانی شده؛ جزو اولویت‌های رشته مهندس عمران محسوب می‌گردد. ضمن این‌که تأثیر مستقیم مشخصات فنی لایه‌های خاکی بستر بر روی ظرفیت باربری و مشخصات شالوده ساختمان‌ها و بناهای بلند مرتبه و با اهمیت ساختاری و کاربردی، اهمیت این موضوع را دوچندان می‌نماید.

کتاب حاضر اصول مکانیک خاک پیشرفته را با درنظر گرفتن ارتباط پارامترهای فیزیکی، شیمیائی و مکانیکی خاک‌ها جمع‌آوری و ارائه نموده است. تلاش گردیده در مجموعه حاضر ضمن فراهم نمودن امکان بهره‌برداری دانشجویان دوره‌های کاردانی و کارشناسی رشته مهندسی عمران از اصول مکانیک خاک؛ قابلیت استفاده برای دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری تخصصی ژئوتکنیک و البته سایر رشته های ارشد و دکتری مرتبط با مهندسی عمران نیز میسر گردد. ضمنا مطالب کتاب که بر پایه سرفصل های مصوب وزارت علوم و فناوری تنظیم و تدوین شده اند؛ امکان بهره برداری برای رشته های دانشگاهی دیگر نظیر زمین شناسی مهندسی و مهندسی کشاورزی را فراهم آورده است. در همین راستا به منظور تشریح و سهولت درک صحیح نکات اصلی مباحث درس مکانیک خاک، برخی سؤالات تألیفی نیز تدوین و به همراه پاسخ‌های تشریحی در بخش پایانی کتاب ارائه شده‌اند.

در پایان لازم می‌دانم از همراهی همکاران محترم جناب آقای مهندس رضائی مؤید و جناب آقای مهندس کوهستانی در ارتقاء مطالب کتاب بر پایه اصول خاک پیشرفته و تدوین فصول جدید کمال سپاس را داشته باشم و آرزوی توفیق را برای مدیران و همکاران انتشارات دانشگاهی فرهمند و کلیه دوستان که در مراحل مختلف تألیف کتاب حاضر با اینجانب همکاری داشته‌اند؛ از درگاه الهی خواهانم.

دکتراحد باقرزاده خلخالی

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل ۱: زمین‌شناسی مهندسی ۷

۱.۱ تعریف خاک ۷

۲.۱ چرخه‌ی سنگ و انواع سنگ ۷

۳.۱ خصوصیات خاک‌های مکانیکی و شیمیایی ۱۰

۴.۱ کانی‌شناسی خاک‌ها ۱۷

فصل ۲: روابط وزنی ـ حجمی ۲۳

۱.۲ روش حل مسائل وزنی ـ حجمی ۲۷

۱.۱.۲ نوع اول سؤالات ـ سؤالات مفهومی ۲۷

۲.۱.۲ نوع دوم سؤالات ـ سؤالات پارامتریک ۳۲

۳.۱.۲ نوع سوم سؤالات ـ سؤالات خاص ۳۷

۲.۲ سفتی (قوام) خاک (خواص خمیری خاک‌های ریزدانه) ۳۸

۳.۲ فعالیت خاک‌های رسی (A) Activity ۴۲

۴.۲ حد انقباض خاک ۴۳

فصل ۳: دانه‌بندی و طبقه‌بندی خاک‌ها ۴۷

۱.۳ دانه‌بندی خاک ۴۷

۲.۳ آزمایش دانه‌بندی ۴۷

۱.۲.۳ آزمایش هیدرومتری (دانه‌بندی به وسیله‌ی ته‌نشینی ذرات) ۴۸

۲.۲.۳ منحنی دانه‌بندی ۵۰

۳.۲.۳ ویژگی‌ها و انواع منحنی دانه‌بندی ۵۰

۳.۳ کاربردهای منحنی دانه‌بندی خاک ۵۳

۱.۳.۳ کاربرد اول ـ سؤالات مفهومی ۵۳

۲.۳.۳ کاربرد دوم ۵۴

۳.۳.۳ کاربرد سوم ـ طبقه‌بندی یا نام‌گذاری خاک‌ها ۵۸

فصل ۴: تراکم ۶۷

مقدمه ۶۷

۱.۴ مبانی تراکم ۶۷

۲.۴ پارامترهای تراکمی‌در انواع خاک‌ها ۶۸

۱.۲.۴ تراکم در خاک‌های دامنه‌ای ۶۸

۲.۲.۴ تراکم در خاک‌های ریزدانه ۶۹

۳.۴ آزمایش‌های تراکم ۷۱

۱.۳.۴ آزمون‌های آزمایشگاهی ۷۱

۲.۳.۴ آزمایش دانسیته درجا ۷۶

۴.۴ عوامل مؤثر بر تراکم ۷۷
۱.۴.۴ تأثیر جنس و نوع خاک ۷۷
۲.۴.۴ تأثیر انرژی تراکم (E) ۸۰
۵.۴ منحنی‌های تراکم در خاک‌های ریزدانه ۸۱
۶.۴ روش‌های تراکم خاک ۸۲
۱.۶.۴ روش‌های سطحی ۸۲
۲.۶.۴ روش‌های نیمه سطحی ۸۵
۷.۴ تفاوت تراکم و تحکیم ۸۹

فصل ۵: تراوش آب در خاک ۹۳
مقدمه ۹۳
۱.۵ معیارهای برقراری تراوش آب در خاک ۹۵
۲.۵ پارامترهای مؤثر در تراوش ۹۷
۱.۲.۵ شبکه جریان ۹۷
۲.۲.۵ نفوذپذیری ۱۰۲
۳.۵ تئوری تراوش آبی در خاک دارسی ۱۱۰
۱.۳.۵ نحوه‌ی تعیین گرادیان هیدرولیکی ۱۱۱
۲.۳.۵ نحوه تعیین سطح مقطع جریان ۱۱۲
۴.۵ محاسبات پارامترهای تراوش در خاک تک‌لایه (خاک همگن و غیر ایزوتروپ) ۱۱۴
۱.۴.۵ نحوه‌ی تبدیل خاک غیرایزوتروپ به خاک ایزوتروپ در نمونه‌ها ۱۱۴
۲.۴.۵ نحوه‌ی تبدیل خاک غیرایزوتروپ به خاک ایزوتروپ معادل در نیمرخ‌ها ۱۱۵
۵.۵ محاسبات پارامترهای تراوش در خاک‌های لایه‌لایه ۱۱۶
۱.۵.۵ جریان عمود بر لایه‌ها ۱۱۷
۲.۵.۵ جریان در راستای لایه‌های خاک ۱۱۹
۶.۵ محاسبه پارامترهای تراوش دوبعدی در خاک‌های همگن و ایزوتروپ ۱۲۰
۱.۶.۵ خصوصیات فنی شبکه تراوش دوبعدی ۱۲۰
۲.۶.۵ کاربردهای شبکه جریان (سؤالات متداول بر روی شبکه جریان) ۱۲۴
۷.۵ مسائل خاص در تراوش ۱۲۷
۱.۷.۵ سؤالات بدون تراوش واقعی ۱۲۷
۲.۷.۵ سؤالات پیزومتریک ۱۲۸
۳.۷.۵ محاسبه زیر فشار یا فشار بالابرنده ۱۲۹
۴.۷.۵ سؤالات پایداری کلی ۱۳۰

فصل ۶: تنش در خاک ۱۳۶
مقدمه ۱۳۶
۱.۶ تنش قائم ۱۳۶
۱.۱.۶ تنش قائم ناشی از سربار خاک (وزن خاک‌های مستقر بر روی نقطه موردنظر) ۱۳۷
۲.۱.۶ تنش قائم ناشی از بارگذاری خارجی بر روی خاک (اضافه تنش) ۱۳۷
۳.۱.۶ تنش قائم ناشی از آب آزاد ۱۶۱
۲.۶ مفهوم تنش کل و تنش مؤثر قائم ۱۶۲
۱.۲.۶ تنش کل ۱۶۲
۲.۲.۶ فشار آب حفره‌ای خاک ۱۶۳
۳.۲.۶ تنش مؤثر قائم- پدیده جوشش ۱۶۷
۳.۶ فشار جانبی خاک ۱۷۱
۱.۳.۶ فشار جانبی خاک در حالت سکون ۱۷۲
۲.۳.۶ فشار جانبی خاک در حالت اکتیو ۱۷۴
۳.۳.۶ فشار جانبی خاک در حالت پسیو ۱۷۵
۴.۶ نیروی فشاری وارد بر دیوارها- الگوریتم حل ۱۷۹
۱.۴.۶ فشار جانبی خاک‌های چسبنده C دار- زون کششی ۱۸۳
۵.۶ مسائل پیشرفته تنش (المان تنش- پایداری) ۱۸۶
۱.۵.۶ دایره موهر تنش ۱۸۷
۲.۵.۶ کنترل پایداری خاک ۱۸۹
۳.۵.۶ مسیر تنش ۱۹۲

فصل ۷: نشست خاک‌ها ۱۹۹
مقدمه ۱۹۹
۱.۷ تغییر شکل خاک ۱۹۹
۲.۷ مفاهیم نشست ۲۰۰
۱.۲.۷ تعریف نشست و شروط برقراری آن ۲۰۰
۲.۲.۷ مکانیسم نشست ۲۰۳
۳.۲.۷ انواع نشست ۲۰۳
۳.۷ نشست آنی ۲۰۴
۴.۷ رابطه‌ی بین میزان نشست و تغییرات تخلخل خاک (e) ۲۰۹
۵.۷ نشست تحکیم ۲۱۱
۱.۵.۷ سؤالات انتهای زمان تحکیم $t=\infty$ ۲۱۱
۲.۵.۷ سؤالات زمان خاص (t) ۲۲۱
۳.۵.۷ تحکیم ثانویه (نشست خزشی) ۲۲۸
۴.۵.۷ مسائل خاص در تحکیم ۲۳۰

۵.۵.۷ حضور همزمان زهکش‌های قائم و افقی (تحکیم دوبعدی) ۲۳۶
۶.۵.۷ تورم (باربرداری در خاک) ۲۳۷
۷.۵.۷ محاسبات نشست پی‌ها ۲۳۷

فصل ۸: آزمون‌های مقاومت برشی خاک ۲۴۵
مقدمه ۲۴۵
۱.۸ پارامترهای مکانیکی خاک (φ و C) ۲۴۵
۲.۸ آزمون‌های آزمایشگاهی تعیین φ و C ۲۴۶
۱.۲.۸ آزمایش برش مستقیم (جعبه برش) ۲۴۶
۲.۲.۸ آزمایش برش سه محوری ۲۵۱
۳.۲.۸ آزمایش برش تک محوری ۲۶۲

فصل ۹: پایداری شیروانی‌های خاکی ۲۶۷
مقدمه ۲۶۷
۱.۹ ضریب اطمینان (SF) ۲۶۷
۲.۹ پایداری شیروانی‌های نامحدود ۲۶۹
۱.۲.۹ گروه اول (حالت خشک) ۲۶۹
۲.۲.۹ گروه دوم (وجود تراوش آب در شیروانی) ۲۷۱
۳.۹ پایداری شیروانی‌های محدود ۲۷۴
۱.۳.۹ سطح لغزش صفحه‌ای (روش کولمان) ۲۷۴
۲.۳.۹ سطح لغزش دایروی (روش توده و قطعات) ۲۷۷
۴.۹ روش خلاصه (تستی) برخی از مسائل مهم ۲۸۲
۱.۴.۹ شیروانی نامحدود در خاک‌های دانه‌ای (ϕ دار) ۲۸۲
۲.۴.۹ شیروانی محدود در خاک‌های دانه‌ای ۲۸۴
۳.۴.۹ شیروانی محدود در خاک‌های مخلوط (C و ϕ دار) ۲۸۶
۴.۴.۹ شیروانی محدود در خاک‌های رسی اشباع ۲۸۸

فصل ۱۰: مکانیک خاک غیراشباع ۲۹۴
۱.۱۰. پدیدهٔ خاک غیراشباع ۲۹۴
۱.۱.۱۰. تعریف مکانیک خاک غیراشباع ۲۹۴
۲.۱.۱۰. شناخت فیزیک پایه خاک غیراشباع ۲۹۵
۲.۱۰. پارامترهای موثر بر خاک غیراشباع ۲۹۶
۱.۲.۱۰. دانسیته هوای خشک ۲۹۶
۲.۲.۱۰. دانسیته آب ۲۹۶
۳.۲.۱۰. ویسکوزیته آب و هوا ۲۹۷

۴.۲.۱۰. رژیم های جریان (عدد رینولدز) ۲۹۷
۵.۲.۱۰. رطوبت نسبی RH ۲۹۸
۶.۲.۱۰. پدیده کاویتاسیون ۲۹۸
۷.۲.۱۰. پدیده کشش سطحی ۲۹۹
۳.۱۰. وضعیت تنش در خاک غیراشباع و اصول محاسباتی آن ۲۹۹
۴.۱۰ توصیف مفهومی تانسورهای تنش در خاک غیراشباع ۳۰۲
۵.۱۰ معیار گسیختگی موهر ـ کولمب توسعه‌یافته ۳۰۵
۱.۵.۱۰ معیار موهر ـ کولمب برای خاک اشباع ۳۰۵
۲.۵.۱۰ مشاهده‌های آزمایشگاهی مقاومت برشی خاک غیر اشباع ۳۰۷
۳.۵.۱۰ معیار موهر ـ کولمب توسعه‌یافته ۳۱۳
۴.۵.۱۰ معیار موهر ـ کولمب توسعه‌یافته برحسب تنش‌های اصلی ۳۱۶
۶.۱۰ پارامترهای مقاومت برشی برای معیار موهر ـ کولمب توسعه‌یافته ۳۱۸
۱.۶.۱۰ تفسیر نتایج آزمایش سه‌محوری ۳۱۸
۲.۶.۱۰. تفسیر نتایج آزمایش برش مستقیم ۳۲۱
۷.۱۰. روش‌های اندازه‌گیری و کنترل مکش در خاک غیراشباع ۳۲۲
۱.۷.۱۰. تکنیک ترجمه محوری ۳۲۳
۲.۷.۱۰. تکنیک اسمزی ۳۲۳
۳.۷.۱۰. تکنیک کنترل رطوبت ۳۲۴
۸.۱۰. بررسی و مقایسه اجمالی ابزارهای اندازه‌گیری مکش کل و ماتریس مکش در خاک غیراشباع ۳۲۴

فصل ۱۱: بهسازی خاک ۳۲۷
مقدمه ۳۲۷
۱.۱۱ خاکریزهای سبک و سازه‌ای ۳۳۰
۲.۱۱ تراکم ۳۳۱
۱.۲.۱۱ نشست‌های تحکیمی خاکریز متراکم‌شده ۳۳۳
۲.۲.۱۱ تراکم دینامیکی ۳۳۳
۳.۱۱ خاک ـ سیمان، آهک و نرمه خاکستر ۳۳۵
۴.۱۱ پیش‌فشردگی جهت بهبود خاک‌های ساختگاه ۳۳۶
۵.۱۱ زهکشی با استفاده از روکش‌ها و زهکش‌های ماسه‌ای ۳۳۸
۱.۵.۱۱ زهکش‌های ماسه‌ای ۳۳۸
۲.۵.۱۱ زهکش‌های فتیله‌ای ۳۳۹
۶.۱۱ ستون‌های ماسه‌ای جهت افزایش سفتی خاک ۳۴۰
۷.۱۱ ستون‌های سنگی ۳۴۰
۸.۱۱ شمع‌ها یا ستون‌های خاک ـ سیمانی ۳۴۳
۹.۱۱ تزریق دوغاب ۳۴۴

۱۰.۱۱ تزریق دوغاب در پی و تثبیت شیمیایی ۳۴۴
۱۱.۱۱ روشهای ارتعاشی برای افزایش تراکم خاک ۳۴۵
۱۲.۱۱ استفاده از زمین پارچه (ژئوتکستایل) جهت بهبود خاک ۳۴۷
۱۳.۱۱ تغییر شرایط آب زیر زمینی ۳۴۹
۱۴.۱۱ مقایسه روش های متداول بهسازی خاک ۳۴۹

فصل ۱۲: عواملی که باید در طراحی پی در نظر گرفت..... ۳۵۱
۱.۱۲ عمق و فاصله شالوده‌ها ۳۵۱
۲.۱۲ تاثیرات خاک جابجا شده ۳۵۲
۳.۱۲ فشار خاک خالص در مقابل ناخالص: فشارهای خاک طراحی ۳۵۳
۴.۱۲ مسائل فرسایش در سازه‌های مجاور آبهای جاری ۳۵۳
۵.۱۲ نوسان سطح ایستابی ۳۵۴
۶.۱۲ پی‌های مستقر در نهشته‌های ماسه‌ای و لای ۳۵۴
۷.۱۲ پی‌های مستقر بر بادرفت و دیگر خاک‌های ریزشی ۳۵۵
۸.۱۲ پی‌های مستقر بر خاک‌های غیراشباعی که در اثر تغییر میزان رطوبت دچار تغییر حجم می‌شوند ۳۵۶
۹.۱۲ طراحی سازه‌های مستقر بر خاک‌های مستعد تغییر حجم ۳۵۷
۱۰.۱۲ پی‌های مستقر بر رس‌ها و لای‌های رس‌دار ۳۵۸
۱۱.۱۲ پی‌های مستقر بر زمین‌های دفن زباله ۳۵۹
۱۲.۱۲ ملاحظات محیطی ۳۶۱
۱۳.۱۲ اصول و ملاحظات مهم طراحی پی با توجه به مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان ۳۶۲

پاسخنامه ۳۶۶
پاسخنامه سوالات فصل اول ۳۶۶
پاسخنامه سوالات فصل دوم ۳۶۸
پاسخنامه سوالات فصل سوم ۳۷۱
پاسخنامه سوالات فصل چهارم ۳۷۵
پاسخنامه سوالات فصل پنجم ۳۷۸
پاسخنامه سوالات فصل ششم ۳۸۲
پاسخنامه سوالات فصل هفتم ۳۸۵
پاسخنامه سوالات فصل هشتم ۳۸۹
پاسخنامه سوالات فصل نهم ۳۹۲
پاسخنامه سوالات فصل دهم ۳۹۶
پاسخنامه سوالات فصل یازدهم ۳۹۹
پاسخنامه سوالات فصل دوازدهم ۴۰۰
منابع و ماخذ ۴۰۲

فصل ۱

زمین‌شناسی مهندسی

۱.۱ تعریف خاک

– خاک محیط متخلخلی است که از تخریب (فرسایش) سنگ مادر بدست می‌آید.

– خاک محیط ۳فازی است که در اثر بارگذاری، تغییر شکل برشی از خود نشان می‌دهد.

– در علوم مهندسی، خاک مخلوط غیر یکپارچه‌ای (uncemented) از دانه‌ها یا کانی‌ها و مواد آلی فاسد شده‌ای می‌باشد که فضای خالی بین آن‌ها توسط آب‌وهوا (گازها) اشغال شده است.

۲.۱ چرخه‌ی سنگ و انواع سنگ

دانه‌ها یا کانی‌ها که تشکیل‌دهنده قسمت جامد خاک هستند، از هوازدگی سنگ‌ها به وجود می‌آیند. دامنه‌ی تغییرات اندازه‌ی دانه‌ها وسیع است. بسیاری از خواص فیزیکی خاک، توسط اندازه، شکل و ترکیبات شیمیایی دانه‌ها دیکته می‌شوند.

به‌طور کلی در طبیعت سنگ‌ها به سه دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف) سنگ‌های آذرین (آتشفشانی):

این سنگ‌ها از خروج مواد مذاب آتشفشانی (ماگما) و انجماد آن‌ها تشکیل می‌شوند.

سنگ‌های آذرین خود به دو دسته تقسیم می‌شوند، اگر پس از پرتاب و فوران از آتشفشان‌ها بر روی سطح زمین سرد شدند به آن‌ها سنگ‌های **آذرین خروجی** و اگر در زیر سطح زمین سرد شدند به آن‌ها سنگ‌های **آذرین نفوذی** گفته می‌شود. سنگ‌های نفوذی تشکیل شده در گذشته، ممکن است به علت فرسایش مواد پوششی سطحی، نمایان شوند.

نوع سنگ آذرین تشکیل یافته از سرد شدن ماگما، بستگی به عوامل متعددی نظیر ترکیبات ماگما، و

سرعت سرد شدن آن دارد. بعد از انجام آزمون‌های آزمایشگاهی متعدد، باون (۱۹۲۲) توانست ارتباط بین سرعت سرد شدن ماگما و تولید انواع مختلف سنگ را شرح دهد. این تشریح که اصول واکنش باون (Bowen) نامیده می‌شود، توالی تولید کانی‌های جدید را با سرد شدن ماگما تشریح می‌کند.

باون این واکنش‌ها را در دو گروه طبقه‌بندی کرد:

۱) سری واکنش‌های غیرپیوسته فرومنیزین که در آن کانی‌های تشکیل شده از نقطه نظر ساختمان بلوری و ترکیب شیمیایی مختلف هستند.

۲) سری واکنش‌های پیوسته فلدسپات پلاژیوکلاژ که در آن کانی‌های تشکیل‌شده از نقطه نظر ترکیب شیمیایی متفاوت ولی از نقطه‌نظر ساختمان بلوری یکسان هستند.

به عبارتی، وابسته به نسبت کانی‌های دسترس، انواع مختلف سنگ‌های آذرین شکل می‌گیرد. گرانیت، گابرو بالاست بعضی از انواع معمول سنگ‌های آذرین می‌باشند که معمولاً در طبیعت یافت می‌شوند.

ب) سنگ‌های رسوبی:

رسوبات شن، ماسه، لای و رس که به وسیله‌ی هوازدگی تشکیل یافته‌اند، ممکن است توسط فشار ناشی از سربار، متراکم و توسط موادی نظیر اکسید آهن، کلسیت، دولومیت و کوارتز سمنته شوند. مواد سمنتاسیون معمولاً به صورت محلول در آب زیرزمینی حمل می‌شوند. این مواد فضای بین ذرات را پر می‌کنند و تشکیل سنگ‌های رسوبی می‌دهند. سنگ‌هایی که از این راه تشکیل می‌شوند، سنگ‌های رسوبی تخریبی (detrital sedimentary rock) نامیده می‌شوند. کنگومرا، برش (breccia)، ماسه سنگ، ماداستون (mudstone) و شیل انواعی از سنگ‌های رسوبی تخریبی هستند.

سنگ‌های رسوبی می‌توانند به وسیله فرآیندهای شیمیایی تشکیل یابند که سنگ‌هایی از این نوع به سنگ‌های رسوبی شیمیایی معروف هستند. سنگ آهک (Limestone)، گچ (chalk)، دولومیت، ژیپس، ایندریت (anyhydrite) مثال‌هایی از این نوع سنگ‌های رسوبی می‌باشند.

سنگ‌های رسوبی ممکن است به علت هوازدگی تبدیل به رسوب و یا تحت تأثیر فرآیندهای دگرگونی به سنگ‌های دگرگونی تبدیل شوند.

ج) سنگ‌های دگرگونی:

دگرگونی عبارت است از فرآیند تغییر ترکیب و بافت سنگ به وسیله‌ی گرما و فشار بدون وقوع ذوب (برخلاف فرآیند اولیه ایجاد سنگ‌های آذرین). در حین دگرگونی، کانی‌های جدید تشکیل

شده و دانه‌های کانی‌ها بریده می‌شوند تا یک بافت ورقه‌ای به سنگ‌های دگرگونی بدهند. گرانیت، دیوریت و گابرو تحت دگرگونی با درجه‌ی بالا به گنیس تبدیل می‌شوند. شیل و ماداستون با درجه دگرگونی پایین به اسلیت (slate) و فیلیت (phyllite) بدل می‌شوند.

شیست‌ها یک نوع از سنگ‌های دگرگونی با بافت ورقه‌ای خوب و پولک‌های قابل مشاهده به همراه کانی‌های میکا (micaceous) هستند.

مرمر از تغییر ساختار بلوری کلسیت و دولومیت شکل می‌گیرد. دانه‌های کانی در مرمر، بزرگ‌تر از آن‌هایی هستند که در سنگ‌های اصلی وجود دارند.

کوارتزیت (quartzite) یک سنگ دگرگونی است که از ماسه‌سنگ غنی از کوارتز (quartz-rich) شکل می‌گیرد. سیلیس (silica) وارد فضای حفره‌ای بین کوارتز می‌شود و دانه‌های ماسه به عنوان یک ماده سمنتاسیون عمل می‌کند. کوارتزیت یکی از سخت‌ترین سنگ‌هاست. تحت فشار و دمای بالا، سنگ‌های دگرگونی ذوب‌شده و به ماگما تبدیل می‌شوند و چرخه‌ی سنگ تکرار می‌شود.

نکته قابل توجه این است که از تخریب و فرسایش سنگ‌ها، خاک به وجود می‌آید. این تخریب به سه گونه امکان‌پذیر است:

۱- فرسایش مکانیکی (فیزیکی):

در این نوع تخریب خصوصیات فنی خاک حاصل هیچ تفاوت شیمیایی با سنگ مادر ندارد (یعنی در این نوع فرسایش، خاک دچار تغییر بافت شیمیایی نمی‌شود) مانند خرد کردن سنگ با چکش و با استفاده از سنگ‌شکن خشک.

۲- فرسایش شیمیایی (ژئوشیمیایی):

در این نوع فرسایش علاوه بر تغییر سایز بافت ذرات جامد سنگ، تغییر بافت داخلی در اثر فرآیندهای شیمیایی نیز رخ می‌دهد. مانند ریختن اسید روی سنگ.

۳- فرسایش ترکیبی (مکانیکی + شیمیایی):

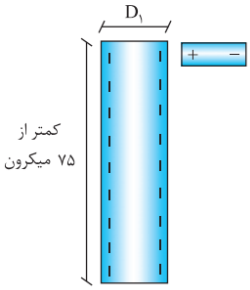
ترکیبی از دو فرسایش بالا را شامل می‌شود مانند اکثر عوامل طبیعی از جمله زلزله سیل و باریدن باران و نظایر آن‌ها.

نکته: در باران اسیدی بخش اسیدی (شیمیایی) باران بر تأثیر ضربه‌ای قطرات آن (مکانیکی) غالب است. به عبارتی جهت تأثیرگذاری یک فرسایش به تنهایی در فرآیند تولید خاک؛ لازم است عامل فرسایش یاد شده بسیار قوی‌تر از عامل‌های دیگر باشد.

۳.۱ خصوصیات خاک‌های مکانیکی و شیمیایی

- **خاصیت اول خاک‌های مکانیکی (درشت‌دانه):** این خاک دانه دانه بوده و ذرات این خاک با چشم قابل مشاهده است. در پیدایش این خاک چون هیچ کاتالیزور شیمیایی فعال نبوده است هیچ‌گونه شارژ الکترواستاتیکی بسیج نمی‌شود (باردار نیست) و اشکال ذرات آن‌ها را می‌توان به صورت چند ضلعی یا کروی یا به کمک اشکال هندسی مدل نمود.

- **خاصیت اول خاک‌های شیمیایی (ریزدانه):** ذرات این خاک‌ها بسیار ریز است به‌طوری که با چشم قابل مشاهده نیست. شکل ذرات این خاک‌ها در صورت مشاهده با چشم مسلح به شکل قلمی یا عدسی شکل است (فلمی). این ذرات چون از واکنش شیمیایی عبور کرده‌اند لذا شارژ الکترواستاتیک منفی قابل توجه دارند.



$D \leq ۰/۰۷۵$ mm

سایز حداکثر معادل No ۲۰۰#

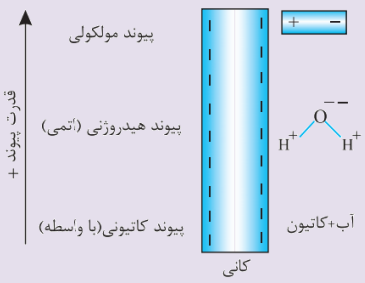
$D_۱ = \left(\frac{۱}{۲} \sim \frac{۱}{۱۰}\right)$ ۷۵ میکرون

نکته: با توجه به باردار بودن گروه ژئوشیمیایی، این گروه از خاک‌ها برای پایدار شدن یا بقا پیدا کردن نیازمند جذب عناصری از طبیعت هستند تا برآیند بارهای آن‌ها خنثی شود. چون بار مثبت برای این خاک‌ها مورد نیاز است لذا یون‌های مثبت محیط (کاتیون‌ها) به همراه آب بهترین عناصر در دسترس این نوع خاک‌ها برای برقراری تعادل الکتریکی است.

شارژ الکترواستاتیکی منفی = آب + یون‌های مثبت مثل $K^+, Ca^{۲+}, Mg^{۲+}, Al^{۳+}$ و ...

نکته: برای پایدارسازی الکتریکی خاک‌های ژئوشیمیایی (رس و سلیت) از پوشش گیاهی، زباله یا پودرهای صنعتی به همراه آب استفاده می‌کنند.

نکته: انواع جذب آب توسط ذرات خاک ژئوشیمیایی



۱) به صورت پیوند مولکولی

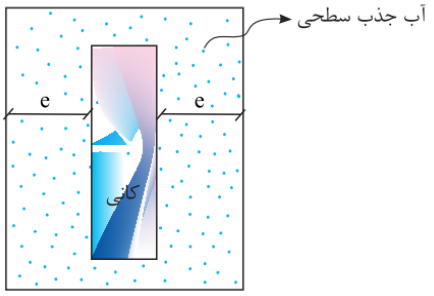
۲) به صورت پیوند هیدروژنی (اتمی)

۳) به صورت پیوند کاتیونی (با واسطه)

توجه شود قوی‌ترین پیوند آب با کانی‌های رسی مربوط به پیوند مولکولی است.

آب جذب سطحی

مقدار آبی است که هر کانی رسی (کانی ریزدانه) برای پایداری نیاز دارد. آب جذب سطح، آب پیرامون کانی است که باعث خنثی شدن شارژ الکترواستاتیک کانی و عامل اصلی پایداری داخلی خاک‌های ژئوشیمیایی است.

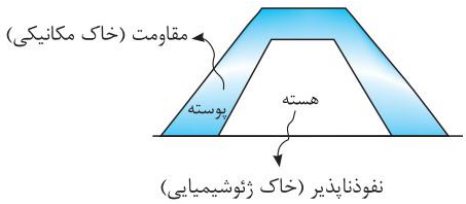


e = عمق یا شعاع تأثیر شارژ الکترواستاتیک منفی یک کانی

نکته: رفتار خاک‌های ژئوشیمیایی با مقدار e (شعاع آب جذب سطحی) متناسب است. مقدار آب جذب شده، پلاستیسیته (PI)، چسبندگی (C) و تغییر شکل (تورم و انقباض) با شعاع آب جذب سطحی (e) متناسب هستند و همچنین نفوذپذیری (K) با شعاع آب جذب سطحی رابطه عکس دارد.

مثال: دو منبع قرضه به ترتیب $e_1 = ۰/۰۱^{mm}$ و $e_2 = ۰/۲^{mm}$ شناسایی شده‌اند. برای احداث هسته‌ی مرکزی یک سد خاکی ناهمگن استفاده از کدام منبع قرضه مناسب است؟

پاسخ: برای هسته مرکزی سدهای خاکی باید از خاکی استفاده کرد که نفوذپذیری کم‌تری داشته باشد و طبق نکته‌ی بیان‌شده در فوق خاکی مناسب است که نفوذپذیری کم‌تری دارد. لذا شعاع آب جذب سطحی (e) بیشتر مبنای انتخاب است، پس استفاده از منبع قرضه شماره ۲ با $e_{۲}=۰/۲^{mm}$ به تنهایی توصیه می‌شود.



☑مثال: اگر در مسئله قبل، احداث سد همگن مدنظر باشد کدام گزینه مدنظر خواهد بود؟

پاسخ: چون برای هسته باید از خاک با نفوذپذیری کم‌تر استفاده کرد و هم‌چنین سد نیز همگن است باید از منبع قرضه شماره ۲ به تنهایی استفاده نمود. البته توجه شود در صورت دسترسی به خاک‌های ریزدانه و درشت‌دانه به‌طور همزمان؛ باید از خاک حاصل از فرسایش ترکیبی استفاده شود.

☑مثال: درمسئله قبل اگر بستر سازی در زیر یک پی ساختمانی مدنظر باشد استفاده از کدام منبع قرضه قابل توصیه است؟

پاسخ: برای بسترسازی یک پی باید از خاکی با مقاومت بالا و نشست پایین استفاده کرد. پس باید از ترکیب با نسبت یکسان منابع قرضه ۲ و ۱ استفاده کرد.

$$\text{تغییر شکل‌پذیری } \downarrow \text{ یا } \delta\downarrow \rightarrow \Delta H\downarrow \rightarrow e\downarrow \rightarrow \text{منبع قرضه } ۱$$

$$\text{مقاومت برشی } \uparrow \text{ یا } \tau\uparrow \rightarrow C\uparrow \rightarrow e\uparrow \rightarrow \text{منبع قرضه } ۲$$

☑مثال: در مسئله قبل اگر منابع قرضه شناسایی شده به عنوان بسترسازی یک پی ساختمان ویژه (بیمارستان) مدنظر باشد، استفاده از کدام منبع قرضه قابل توصیه است؟

پاسخ: در پی ساختمان ویژه مانند بیمارستان باید از خاکی استفاده کرد که کم‌ترین نشست را همراه با مقاومت بالا داشته باشد و چون نشست در این پی‌ها بسیار مهم است پس باید از خاک ترکیبی با نسبت زیاد از منبع قرضه ۱ و نسبت کم‌تر از منبع قرضه ۲ استفاده نمود.

- **خاصیت دوم خاک‌های مکانیکی:** مقاومت داخل خاک‌های حاصل از فرسایش مکانیکی صرفاً درگیری بین ذرات خاک است که با عنوان نیرو یا مقاومت اصطکاکی شناخته می‌شود و چون هیچ خاصیت جذبی آب توسط این خاک‌ها قابل تصور نیست لذا چسبندگی داخل این خاک‌ها صفر است. به عبارتی براساس رابطه موهر کولمب می‌توان نوشت:

$$\left.\begin{array}{l}\tau = \overset{\text{چسبندگی}}{C} + \overbrace{\sigma.\tan\varphi}^{\text{اصطکاکی}} \\ C = 0\end{array}\right\} \rightarrow \tau = \sigma.\tan\varphi$$

- **خاصیت دوم خاک‌های ژئوشیمیایی:** مقاومت داخلی این خاک‌ها صرفاً از نوع چسبندگی (نیروی پیوستگی بین مولکول‌های آب جذب سطحی) است. در حالی‌که به جهت ریزی بسیار زیاد ذرات این خاک‌ها (سایر ذرات) عملاً هیچ درگیری بین ذرات رخ نمی‌دهد، بنابراین اصطکاک داخلی خاک صفر است. پس در رابطه موهرکولمب مقاومت برشی این خاک‌ها (τ) به قرار ذیل قابل نگارش است:

$$\left.\begin{array}{l}\tau = C + \sigma.\tan\varphi \\ \varphi = 0 \rightarrow \tan\varphi = 0\end{array}\right\} \rightarrow \tau = C$$

نکته: در خاک حاصله از فرسایش ترکیبی (فرسایش همزمان مکانیکی و ژئوشیمیایی)، مقاومت داخلی خاک هم ازنوع چسبندگی و هم از نوع مقاومت اصطکاکی است.

$$\tau = C + \sigma.\tan\varphi$$

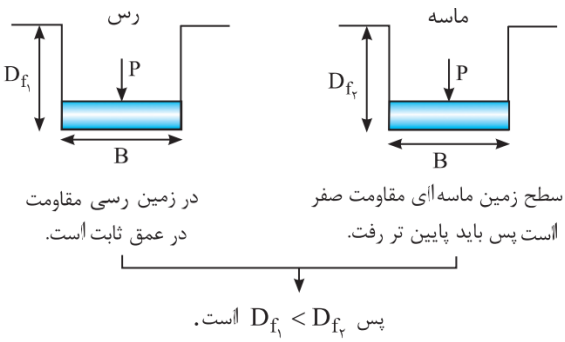
نکته: چسبندگی تابع مستقیم شارژ الکترواستاتیک است. هم‌چنین اصطکاک داخلی خاک (φ) تابعی از سایر ذرات، تراکم خاک (Dr) و شکل دانه‌ها (گردگوشه یا تیزگوشه) و هم‌چنین تنش همه جانبه (σ) به عبارتی میزان سربار مؤثر می‌باشد.

نکته: مقاومت برشی خاک‌های دانه‌ای تابع بارگذاری خاک است و متغیر است، اما مقاومت برشی خاک‌های ریزدانه ثابت و برابر چسبندگی خاک است.

مثال: دو نمونه رسی و ماسه‌ای تحت آزمایش سه محوری به ازای تنش همه جانبه σ قرار گرفته است. هر دو نمونه مقاومت یکسانی از خود نشان می‌دهند. اگر تنش آزمایش ۲ برابر شود، در خصوص مقاومت نمونه‌ها می‌توان گفت:

پاسخ: مقاومت نمونه ماسه‌ای کمی کم‌تر از دو برابر می‌شود یعنی $\tau = \sigma.\tan\varphi$ (کاهش φ و افزایش σ). اما مقاومت نمونه رسی ثابت است ($\tau = C$).

مثال: **اگر در دو زمین رسی و ماسه‌ای، پی‌های مشابهی احداث شود، کدام گزینه صحیح خواهد بود؟**



۱) $D_{f1} > D_{f2}$

۲) $D_{f1} \simeq D_{f2}$

۳) $D_{f1} < D_{f2}$

۴) وابسته به مشخصات مکانیکی خاک‌ها است.

- **خاصیت سوم خاک‌های مکانیکی:** در خاک‌های مکانیکی رفتار تغییر شکلی خاک کاملاً آنی بوده و با برداشت بارگذاری رفتار الاستیک از خود نشان می دهد.
- **خاصیت سوم خاک‌های ژئوشیمیایی:** در خاک‌های ژئوشیمیایی رفتار تغییر شکلی خاک در شرایط اشباع کاملاً تابع زمان (به عبارت تحکیمی) بوده و با برداشت بارگذاری رفتار پلاستیک از خود نشان می‌دهد.

$$\text{درجه اشباع} = Sr = \frac{V_m}{V_v} \begin{cases} Sr < ۸۰\% \Rightarrow \text{نشست آنی} \rightarrow \text{هوا نقش ایفا می‌کند} \\ ۸۰\% \le Sr < ۱۰۰\% \begin{cases} \text{نشست آنی} \rightarrow \text{هوا نقش ایفا می‌کند} \Rightarrow \text{کوتاه‌مدت} \\ \text{آب نقش ایفا می‌کند} \Rightarrow \text{بلندمدت} \begin{cases} \text{نشست آنی} \rightarrow \begin{cases} \text{در خاک} \\ \text{درشت‌دانه} \end{cases} \\ \text{نشست تحکیمی} \rightarrow \begin{cases} \text{در خاک} \\ \text{ریزدانه} \end{cases} \end{cases} \end{cases} \\ Sr = ۱۰۰\% \begin{cases} \text{نشست آنی} \Rightarrow \text{خاک درشت‌دانه} \\ \text{نشست تحکیمی} \Rightarrow \text{خاک ریزدانه} \end{cases} \end{cases}$$

در حقیقت با اعمال بارگذاری به خاک؛ فضاهای خالی خاک تمایل به کاهش حجم پیدا می‌کنند؛ در این حالت آب یا هوای حفره‌ای می‌بایست نقش خارج‌شونده را ایفا نمایند. این نقش به ازاء درجه اشباع خاک متفاوت است که روند یاد شده در فوق تشریح گردید. به این مکانیسم؛ مکانیسم تغییرشکل خاک‌ها گفته می‌شود. به عبارتی این مکانیسم نوع نشست را مشخص می‌کند و عملاً جنس خاک به تنهایی مؤثر در آن نیست بلکه درجه اشباع خاک (میزان اشباع‌شدگی) عامل مؤثر اولیه است.

مثال: در زمینی مطابق شکل نشست لایه‌های کدام نوع است؟

پاسخ:

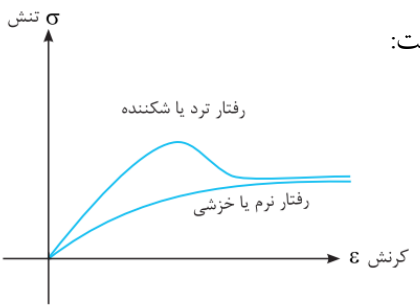
کوتاه‌مدت	بلندمدت		
آنی	آنی	$Sr = ۶۰\%$	رس ۱
آنی	آنی	$Sr = ۸۵\%$	ماسه
آنی	تحکیم	$Sr = ۹۰\%$	رس ۲

تذکر: اگر در صورت سؤال نشست بلندمدت و یا کوتاه‌مدت ذکر نشده باشد فرض اولیه همان نشست بلند مدت است.

توجه شود رفتار تغییر شکلی خاک‌ها به دو صورت است:

۱) رفتار ترد یا شکننده

۲) رفتار نرم یا خزشی

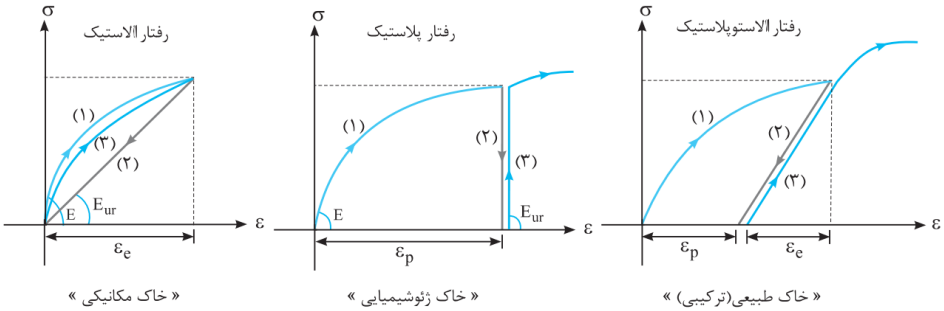


نمودار رفتار تغییر شکل خاک‌ها

در شکل‌گیری یکی از دو رفتار فوق برای خاک‌ها؛ دو عامل نوع فرسایش مؤثر در تولید خاک (به عبارتی جنس خاک) و میزان تراکم آن مؤثر است. نحوه تأثیرگذاری آن‌ها در ذیل بیان شده است که اولویت با جنس خاک است.

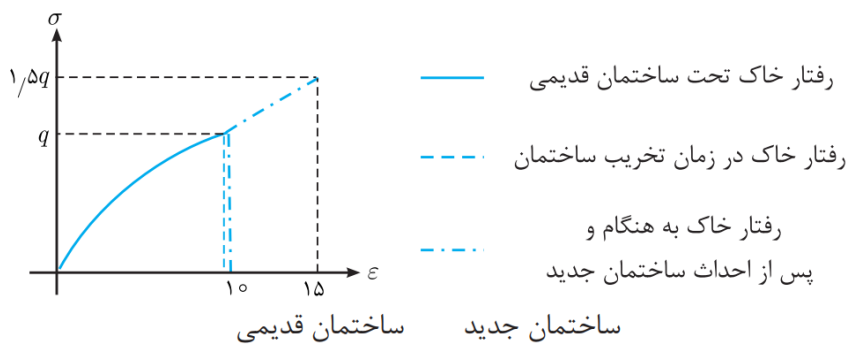
	میزان تراکم	نوع فرسایش خاک
(گسیختگی از نوع مقاومت ⇒ گسیختگی آنی → رفتار ترد)	متراکم	مکانیکی
(گسیختگی از نوع تغییرشکل ⇒ گسیختگی تابع زمان → رفتار نرم)	سست	ژئوشیمیایی

- با بارداری و بارگذاری خاک می‌توان رفتار تغییر شکلی خاک‌ها را تعریف نمود. نمودار تغییرشکل انواع خاک‌ها را می‌توان به قرار ذیل خلاصه نمود.



در این نمودارها؛ مسیر بارگذاری اولیه (۱)؛ باربرداری (۲) و بارگذاری مجدد (۳) برای انواع خاک معرفی شده است. نوع فرسایش باعث تغییر رفتار الاستو پلاستیک (خاک ترکیبی) به رفتار کاملاً الاستیک (خاک مکانیکی) و یا پلاستیک (خاک ژئوشیمیایی) می‌شود.

مثال: نشت ساختمان قدیمی با شدت بار q معادل ۱۰ سانتی‌متر تعیین شده است. اگر زمین بستر این ساختمان عمدتاً رسی باشد با تخریب و احداث ساختمان جدیدی با شدت بار ۱/۵ برابر ساختمان قدیمی، نشت ساختمان با رعایت مکانیسم تغییرشکلی خاک‌ها به چه مقداری نزدیک خواهد بود؟



ساختمان قدیمی	ساختمان جدید
q	$۱/۵q$
۱۰^{cm}	?

$$\frac{۱/۵q}{q}=\frac{۱۰}{?}\rightarrow \delta_n=۵^{cm}$$

نشت تجمعی ۱۵^{cm} می‌شود.

۴.۱ کانی‌شناسی خاک‌ها

الف) کانی خاک‌های دانه‌ای

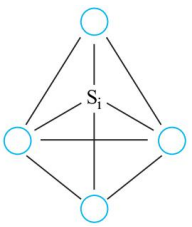
از آن‌جا که خاک‌های دانه‌ای از تخریب فیزیکی سنگ‌ها، بدون تغییر شیمیایی حاصل گردیده‌اند، کانی‌های آن‌ها نیز از جنس همان کانی‌های سنگی می‌باشد.

کوارتز، فلدسپات و میکا سه کانی اصلی خاک‌های دانه‌ای هستند که از میان آن‌ها کوارتز دارای پیوندهای قوی‌تری می‌باشد. اما به‌طور کلی رفتار مهندسی این خاک‌ها تابع نوع کانی آن‌ها نبوده، بلکه تابع شکل و اندازه دانه‌ها و نحوه قرارگیری آن‌ها در کنار هم می‌باشند.

ب) کانی‌های خاک‌های رسی

گاهی خاک‌های رسی عبارت است از یک زنجیره‌ی مستمر از ورقه‌های هیدروژنی به هم پیوسته. ورقه هیدروژنی از ترکیب یک عنصر فلزی سیلیس، منیزیم، آلومینیم با تعدادی اکسیژن حاصل می‌شود. که برای مباحث حاضر سه ورقه اصلی ذیل مؤثر هستند:

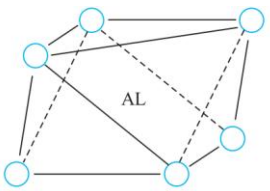
۱) ورقه سیلیکا: اگر یک سیلیس (Si) با چهار اکسیژن ترکیب شود، ورقه چهار رأسی سیلیسی یا به عبارتی ورقه سیلیکا حاصل می‌شود.



علامت اختصاری :

صفحه سیلیکا

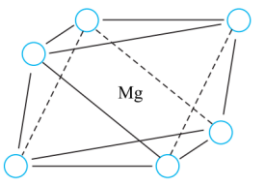
۲) اگر یک آلومینیم با شش اکسیژن ترکیب شود تشکیل شش رأسی آلومین یا ورقه گیبس می‌دهد.



علامت اختصاری :

صفحه گیبس

۳) اگر یک منیزیم با شش اکسیژن ترکیب شود ورقه براکیت یا شش رأسی منیزیم حاصل می‌شود.

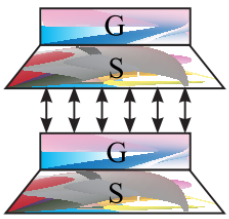


علامت اختصاری :

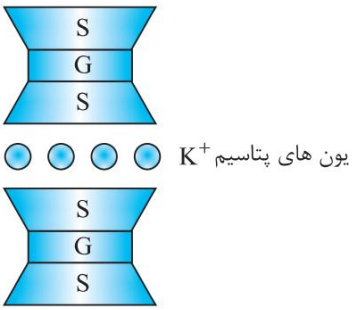
صفحه براکیت

از ترکیبات این واحدهای بنیادی سه کانی اصلی رس‌ها به صورت زیر حاصل می‌شود:

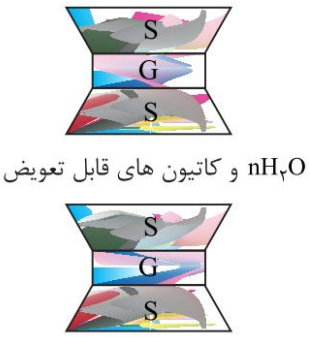
۱) کائولینیت یا کائولین: واحد ساختمانی این کانی از یک ورقه سیلیکا و یک ورقه گیبس به هم چسبیده تشکیل شده است. از تکرار این واحد ساختمانی (هسته مرکزی) به کمک «پیوند هیدروژنی» به همدیگر، کانی کائولینیت حاصل می‌شود.



۲) ایلیت: واحد ساختمانی این کانی از «یک ورقه گیبسیت در وسط» تشکیل شده است که در بالا و پایین به دو ورقه‌ی سیلیکا چسبیده است. پیوند بین این واحدها از نوع کاتیونی (پیوند فلزی با اتصال داخلی به کمک یون‌های پتاسیم K^+) می‌باشد.



۳) مونت موری لونیت: واحد ساختمانی مونت موری لونیت همانند ایلیت از یک ورقه گیبسیت در وسط به همراه ۲ ورقه سیلیکا در بالا و پایین تشکیل شده است. اما پیوند این واحدها از نوع پیوند ضعیف (واندروالسی) بوده و با حضور آب و کاتیون‌ها برقرار می‌شود.



در این کانی در برخی موارد منیزیم و یا آهن به‌جای آلومینیوم درمرکز ورقه‌ای ۶رآسی جایگزین می‌گردند.

نکته: علاوه بر سه کانی اصلی یاد شده، رس‌ها دارای کانی‌های دیگری نیز هستند که به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم:

«کلریت، هالوزیت، اسمکتیت، مسکویت، اتاپولژیت، ورمیکولیت و ...»

یکی از نکات مهم در خصوص کانی‌های رسی؛ مقایسه خصوصیات مختلف کانی‌ها است که به قرار جدول ذیل قابل خلاصه‌سازی است:

قدرت پیوند بین ذرات	مونت موری لونیت	>	ایلیت	>	کائولینیت
هسته مرکزی	$۲S+۱G$		$۲S+۱G$		$۱S+۱G$
حلقه واسط	آب		پتاسیم		ندارد
پیوند داخلی	واندروالسی		کاتیونی		هیدروژنی
سطح ویژه $(\frac{m^۲}{gr})$	۸۰۰	>	۸۰	>	۱۵
ضخامت (A°) آنگستروم	(۱۰~۵۰)	>	(۵۰~۵۰۰)	>	(۱۰۰~۱۰۰۰)
ابعاد جانبی (A°) آنگستروم	(۱۰۰۰~۵۰۰۰)	=	(۱۰۰۰~۵۰۰۰)	>	(۱۰۰۰~۲۰۰۰۰)
شکل کلی	———		⬭		◯

➢ قابلیت جذب آب و تورم

قابلیت جذب آب انواع کانی‌های رسی علاوه بر نوع کانی، تابعی از سطح جانبی ذرات آن‌هاست. چرا که مولکول‌های آب، جذب سطح جانبی صفحات رسی می‌گردند. برای مقایسه سطح جانبی ذرات رسی در یک جرم برابر، کافی است «سطح مخصوص» ذرات با یکدیگر مقایسه شود.

حال با توجه به جدول صفحه قبل می‌توان دریافت که سطح مخصوص مونت موری لونیت از بقیه کانی‌ها بیشتر است. بنابراین سطح جانبی بیشتری برای جذب آب دارد و قابلیت جذب آن از همه بیشتر است.

(مونت موری لونیت >ایلیت > کائولینیت) : قابلیت جذب آب

حال چون کانی‌های رسی با جذب آب متورم می‌شوند، می‌توان گفت هر کانی که جذب آب بیشتری دارد، دارای تورم بیشتری نیز خواهد بود:

(مونت موری لونیت > ایلیت > کائولینیت) :قابلیت تورم

هم‌چنین چون خاصیت خمیری خاک‌های رسی تابعی از ضخامت لایه دوگانه آن‌هاست. در یک مقایسه کلی می‌توان نتیجه گرفت کانی مونت موری لونیت به دلیل جذب آب بیشتر، لایه دوگانه بزرگ‌تر و قوی‌تر خواهد داشت و خاصیت خمیری آن از بقیه کانی‌ها بیشتر است.

(مونت موری لونیت > ایلیت و کائولینیت) :خاصیت خمیری

نمونه سوالات فصل اول

۱- کدامین عبارت در مورد خاک‌های رس صحیح می‌باشد؟ (سراسری- ۸۴)
الف) صفحه‌ای شکل بودن ذرات رس عامل ایجاد آب جذب سطحی می‌باشد.
ب) آب جذب سطحی که به سطح ذرات می‌چسبد عامل روانی رس‌ها می‌باشد.
ج) دو قطبی بودن مولکول آب علت به وجود آمدن آب جذب سطحی در اطراف ذرات رس می‌باشد.
د) آب آزادانه که در فضای خالی بین ذرات رس وجود دارد، عامل رفتاری خمیری رس‌ها می‌باشد.
۱) ج ۲) ب و د ۳) الف و د ۴) الف، ب و ج

۲- دو نمونه خاک یکی از جنس رس و دیگری از ماسه تحت آزمایش سه‌محوری زهکشی شده و فشار همه‌جانبه ۱۰۰kPa در زمان گسیختگی هر دو مقاومت یکسان از خود نشان می‌دهند (τ برابر). چنانچه فشار همه جانبه ۱۰ برابر افزایش داده شود و پس از آن به گسیختگی رسانده شوند، چه تفاوتی در مقاومت آن‌ها (τ) حاصل خواهد شد؟ (سراسری- ۸۴)
۱) مقاومت باز هم برای هر دو نمونه برابر است. ۲) مقاومت ماسه خیلی بیشتر از رس خواهد شد.
۳) مقاومت رس بیشتر از مقاومت ماسه خواهد شد. ۴) با شرایط فوق نمی‌توان قضاوت نمود.

۳- کدامیک از جملات ذیل در مورد خاصیت خمیری خاک‌های ریزدانه رسی صحیح است؟ (سراسری ۸۵)
۱) علت خاصیت خمیری بزرگ بودن سطح مخصوص دانه‌های رس و قطبی بودن مولکول‌های آب است.
۲) علت خاصیت خمیری کوچک بودن سطح مخصوص دانه‌های رس و قطبی بودن مولکول‌های آب است.
۳) علت خاصیت خمیری بزرگ بودن سطح مخصوص دانه‌های رس و تمرکز یون‌های مثبت در سطح کانی‌هاست.
۴) علت خاصیت خمیری کوچک بودن سطح مخصوص دانه‌های رس و تمرکز یون‌های مثبت در سطح کانی‌هاست.

۴- کدامیک از عبارات زیر در خصوص خاصیت خمیری کانی‌های رس صحیح است؟ (آزاد- ۸۷)
۱) خاصیت خمیری مونت موریلونیت از کائولینیت بیشتر است چون نسبت ضخامت لایه آب مضاعف به ضخامت خود کانی رس در مونت موریلونیت از کائولینیت بیشتر است.
۲) خاصیت خمیری مونت موریلونیت از کائولینیت کمتر است چون نسبت ضخامت لایه آب مضاعف به ضخامت خود کانی رس در مونت موریلونیت از کائولینیت بیشتر است.
۳) خاصیت خمیری مونت موریلونیت از کائولینیت بیشتر است چون نسبت ضخامت لایه آب مضاعف به ضخامت خود کانی رس در مونت موریلونیت از کائولینیت کمتر است.
۴) خاصیت خمیری مونت موریلونیت از کائولینیت کمتر است چون نسبت ضخامت لایه آب مضاعف به

ضخامت خود کانی رس در مونت موریلونیت از کائولینیت کمتر است.

۵- در کانی رس از نوع ایلیت (Illite) اتصال بین صفحات سیلیکا (Silica) و آلومینا (Alumina) به چه صورت برقرار می‌شود؟ (سراسری- ۸۷)

۱) با باند هیدروژن مثبت با یون **K** مثبت
۲) با یون **K** مثبت
۳) با باند هیدروکسیل منفی
۴) با مولکول‌های آب

۶- علت اصلی چسبندگی در خاک‌های رسی وجود بارهای ..... می‌باشد. (سراسری- ۸۸)

۱) الکترواسمزی
۲) الکترواستاتیکی
۳) الکترومغناطیسی
۴) هیدرواستاتیکی

۷- دو منبع قرضه رسی در منطقه‌ای که کانال انتقال آب در آن احداث خواهد گردید؛ شناسایی شده است. منبع قرضه (A) از نوع کانی ایلیت و منبع قرضه (B) عمدتاً کانی مونت موریلین بوده است . برای ساخت دیواره‌های آب بند این کانال؛ کدام کانی را توصیه می‌نمائید؟

۱) منبع قرضه A
۲) منبع قرضه B
۳) ترکیب منابع قرضه
۴) هیچ کدام

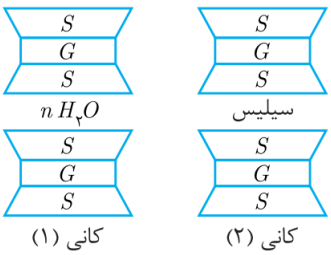
۸- کدامیک از گزینه‌های ذیل تعریف صحیحی در خصوص انواع پیوند آب با کانی‌های رسی می‌باشند؟

۱) میزان شارژ الکترواستاتیک کانی‌ها بر روی نوع پیوند آب تأثیرگذار نیستند؛ بلکه بر روی آب جذب سطحی مؤثر هست.
۲) پیوندهای با واسطه قدرت کششی بیشتری بر روی کانی‌ها ایجاد می‌نمایند.
۳) کلیه پیوندهای آب با کانی‌های رسی در راستای پایدارسازی کانی نقش مؤثر دارد.
۴) پیوند هیدروژنی آب با کانی منشاء اصلی خاصیت خمیری خاک است.

۹- بر اساس شناسایی صورت گرفته بر روی خاک خشک؛ مشخص گردیده که ۴/۵ درصد وزنی از خاک در اثر فرسایش شیمیایی سنگ کنگلومرا و سایر بخش‌های آن به دلیل فرسایش مکانیکی سنگ حاصل شده‌اند. در اثر بارگذاری طولانی مدت خاک، نشست‌های کوتاه مدت (δ_α) و بلندمدت (δ_t) از کدام گزینه پیروی می‌نماید؟

۱) $\delta_\alpha \simeq \delta_t$
۲) $\delta_\alpha > \delta_t$
۳) $\delta_t > \delta_\alpha$
۴) وابسته به مقدار بارگذاری انجام گرفته است.

۱۰- دو کانی مطابق شکل شناسایی شده‌اند. در خصوص این کانی‌ها کدام گزینه صحیح خواهد بود؟



۱) کانی (۱) جذب آب بیشتری نسبت به کانی (۲) دارد.
۲) کانی (۱) جذب آب کمتری نسبت به کانی (۲) دارد.
۳) کانی (۱) مقاومت برشی کمتری نسبت به کانی (۲) دارد.
۴) هیچ کدام

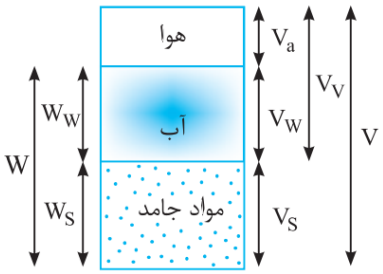
۱۱- برپایه آزمایش‌های درجا مقاومت فشاری نمونه رسی در زیر یک ساختمان قدیمی‌که شدت باری معادل $۴۰\,kN/m^2$ داشته معادل $۱۵kPa$ تعیین شده است. اگر به جای ساختمان قدیمی، بنای جدیدی با شدت بار گسترده $۱۵۰\,kN/m^2$ احداث گردد، مقاومت رس به کدام گزینه نزدیک خواهد بود؟

۱) کمتر از $۱۵kPa$
۲) معادل $۱۵kPa$
۳) بیش از $۱۵kPa$
۴) بستگی به ابعاد بارگذاری دارد.

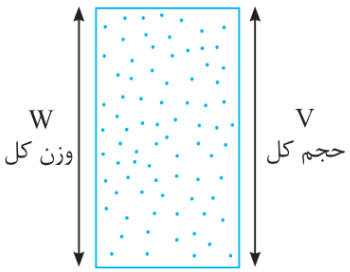
فصل ۲

روابط وزنی ـ حجمی

در یک جداسازی مجازی یک نمونه یا توده خاک؛ می‌توان کلیهٔ اجزاء تشکیل‌دهنده خاک را در سه گروه هوا، آب و مواد جامد (بخش جامد) خلاصه نمود. این تقسیم‌بندی در راستای تعریف روابط وزنی ـ حجمی به قرار ذیل نام‌گذاری و تفکیک می‌شوند.



سه قسمت خاک



اجزای خاک در وضعیت طبیعی

حجم کل نمونه‌ی خاک به صورت زیر قابل بیان است:

$$V = V_s + V_v = V_s + V_a + V_w$$

V_s = حجم قسمت جامد

V_v = حجم حفرات

V_a = حجم هوای درون حفرات

V_w = حجم آب درون حفرات

با صرف‌نظر کردن از وزن هوا، وزن کل نمونه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$W = W_s + W_w$$

W_w = وزن آب

W_s = وزن قسمت جامد

پارامترهای حجمی معمول در مکانیک خاک، عبارتند از نسبت تخلخل (void ratio)، پوکی (porosity) و درجه اشباع (degree of saturation)، که به قرار ذیل تعریف می‌گردند.

نسبت تخلخل به صورت نسبت حجم حفرات به حجم قسمت جامد تعریف می‌شود:

$$\text{نسبت تخلخل} : e = \frac{V_v}{V_s}$$

پوکی، نسبت حجم حفرات به حجم کل است.

$$\text{پوکی}: n = \frac{V_v}{V}$$

درجه اشباع به صورت نسبت حجم آب به حجم حفرات تعریف می‌شود:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \quad : \quad ۰ \le S_r \le ۱ \quad \text{یا} \quad ۰ \le S_r \le ۱۰۰\%$$

درجه اشباع معمولاً برحسب درصد بیان می‌شود.

رابطهٔ بین نسبت تخلخل و پوکی را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\frac{V_v}{V}}{۱ - \frac{V_v}{V}} = \frac{n}{۱-n} \Rightarrow e = \frac{n}{۱-n}$$

و به طور عکس می‌توان نتیجه گرفت:

$$n = \frac{e}{۱+e}$$

پارامترهای وزنی معمول در مکانیک خاک عبارتند از میزان رطوبت (moisture content)، وزن مخصوص (unit weight) که درجه یا درصد رطوبت (ω) که میزان آب نیز گفته می‌شود به صورت نسبت وزن آب به وزن قسمت جامد تعریف می‌شود.

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

وزن مخصوص (γ) نیز وزن واحد حجم خاک می‌باشد که بر اساس اصول فیزیک به قرار ذیل تعریف می‌شود:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

چون توده خاک از سه فاز تشکیل شده است، وزن مخصوص آن در حالات مختلف متفاوت است.

۱) وزن مخصوص عادی (ظاهری یا تر): $\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V}$

۲) وزن مخصوص اشباع: $\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} = \frac{W_s + V_v \times \gamma_w}{V} = \frac{W_s + V_w \times \gamma_w}{V}$

در این حالت تمامی حفرات خاک با آب پر می‌شوند، پس وزن آن نیز افزایش می‌یابد بنابراین وزن مخصوص اشباع خاک نیز بیش از حالات تر است.

$$\gamma_{sat} > \gamma$$

۳) وزن مخصوص خشک: $\gamma_d = \gamma_{dry} = \frac{W_s}{V}$

در این حالت تمامی آب موجود در خاک خارج شده و خاک خشک گردیده است. در این حالت وزن خاک فقط شامل وزن دانه‌های جامد خاک است.

$$\gamma_d < \gamma$$

۴) وزن مخصوص دانه‌ها: $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{\text{وزن دانه‌های جامد خشک}}{\text{حجم دانه‌های جامد پودرشده}}$

وزن مخصوص دانه‌ها نسبت وزن به حجم دانه‌های خاک را بیان می‌دارد. این وزن مخصوص به نوع و جنس دانه‌های جامد بستگی دارد و ارتباطی با کل توده خاک ندارد.

- به طور کلی وزن مخصوص دانه‌های جامد خاک همواره از وزن مخصوص آن بیشتر است (در حدود ۲ تا ۳ برابر).

وزن مخصوص آب $\gamma_w = ۹/۸۱ \frac{KN}{m^۳} \simeq ۱۰ \frac{KN}{m^۳}$

وزن مخصوص دانه‌ها $\gamma_s = (۲/۲ \sim ۲/۸) \times \gamma_w = ۲۲ \sim ۲۸ \frac{KN}{m^۳}$

توجه شود نسبت وزن مخصوص دانه‌ها به وزن مخصوص آب $\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w}\right)$ را با پارامتر (G_s) نمایش می‌دهند و به آن «چگالی دانه‌های جامد» می‌گویند.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{w_s}{\gamma_w \times V_s}$$

G_s یک عدد بی‌بعد است.

۵) وزن مخصوص غوطه‌ور: $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

- در خاک‌های اشباع، دانه‌های خاک همانند حالت اجسام غوطه‌ور در آب خواهد بود. بدین علت، وزن آن‌ها در اثر اعمال نیروی غوطه‌وری از طرف آب، کمی کاهش خواهد یافت. بررسی «وزن مؤثر دانه‌ها» در این حالت با پارامتر «وزن مخصوص غوطه‌وری γ'» انجام می‌گیرد که مطابق رابطه‌ی فوق تعریف می‌گردد.

نکته: تمام تعاریف وزن مخصوص را می‌توان با جایگزینی جرم (M) به جای (W) به تعریف جرم مخصوص تبدیل نمود:

$$\text{وزن مخصوص } \gamma = \frac{W}{V} \Rightarrow \text{جرم مخصوص } \rho = \frac{M}{V}$$

$$W = M \times g \Rightarrow \gamma = \rho \times g$$

(W: نیوتن (N)، M: کیلوگرم kg، g: شتاب ثقل)

نکته: با توجه به مطالب ذکر شده و محدوده مقادیر وزن مخصوص خاک‌ها، رابطه‌ی کلی زیر در مقایسه وزن مخصوص‌های یک خاک صادق می‌باشد:

$$\gamma_s > \gamma_{sat} > \gamma > \gamma_d > \gamma'$$

در کنار پارامترهای وزنی ـ حجمی فوق پارامترهای دیگری نیز وجود دارند که در زیر به آن‌ها اشاره می‌کنیم.

۱) تراکم نسبی یا دانسیته نسبی: $D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$

- از D_r برای سنجش میزان تراکم خاک در وضعیت موجود استفاده می‌شود.
- e_{max} و e_{min} به ترتیب نشانه خلأ خاک (نسبت تخلخل) در سست‌ترین و متراکم‌ترین حالت می‌باشند که در آزمایشگاه تعیین می‌گردند. این مقادیر به ترتیب از آزمایش‌های ریزش

ماسه و تراکم (پرکتور) تعیین می‌شوند. برای بررسی این آزمایش‌ها به کتاب آزمون‌های خاک می‌توان مراجعه نمود.

- هرچه D_r بیشتر باشد، نشان‌دهنده این است که خاک متراکم‌تر است.
- رابطه D_r برحسب وزن مخصوص خشک خاک نیز قابل بیان است:

$$D_r = \frac{\gamma_d - \gamma_{d_{\min}}}{\gamma_{d_{\max}} - \gamma_{d_{\min}}} \times \frac{\gamma_{d_{\max}}}{\gamma_d}$$

۲) درصد هوا: $$0 < A < 1 \qquad A = \frac{V_a}{V}$$

پارامتر (A) تنها درصد حفراتی که با آب پر شده‌اند را نشان می‌دهد و به حجم کل حفرات مربوط نمی‌شود. در یک خاک اشباع تمامی حفرات با آب پر شده‌اند و حفره‌ای که با هوا پر شده باشد وجود ندارد.

$$V_a = 0 \Rightarrow A = 0$$

در یک خاک خشک (A) با پوکی خاک برابر خواهد بود.

$$\text{خاک خشک} \Rightarrow \begin{cases} A = n \\ S_r = 0 \end{cases}$$

۱.۲ روش حل مسائل وزنی ـ حجمی

برای حل آسان سؤالات این مبحث، مسائل وزنی ـ حجمی برحسب اهداف آن‌ها به دسته‌بندی‌های مشخصی تفکیک می‌شوند و راه‌حل‌های مناسب آن‌ها تشریح و مثال‌هایی جهت تشریح مراحل آن‌ها بیان می‌شوند.

۱.۱.۲ نوع اول سؤالات ـ سؤالات مفهومی

۱) مقدار آب لازم جهت اشباع نمودن خاک چقدر است؟

حجم آب لازم جهت اشباع نمودن (ΔV_w)، همان حجم حفرات پر شده با هوا است که باید آب جایگزین هوا شود.

۲) اگر خاک خشک شود افت وزنی خاک کدام است؟

افت وزنی خاک هنگام خشک شدن همان وزن آب موجود در خاک است. (W_w)

۳) اگر خاک اشباع شود، مقدار افزایش وزن خاک کدام خواهد بود؟

$$\Delta W_w = V_a \gamma_w \Leftrightarrow \gamma_w = \frac{\text{وزن آب}}{\text{وزن خاک}} = \frac{\Delta W_w}{\Delta V_w} \quad \text{افزایش وزن خاک}$$

V_a: حجمی که با اشباع شدن خاک، با آب پر شده و به وزن آن می‌افزاید.

یادآوری $\gamma_w = ۱۰۰۰\ kgf/m^۳ = ۱\ grf/cm^۳ = ۱۰\ kN/m^۳ = ۱۰^۴\ N/m^۳$

۴) اگر خاک اشباع متراکم شود حداکثر افت حجمی آن کدام خواهد بود؟

منظور این است که اگر آب حذف شود تغییرات حجم خاک چگونه است.

$$(\text{افت حجمی})_{\max} = V_w \qquad \text{افت حجمی ماکزیمم} = \frac{V_w}{V_{\text{کل}}}$$

(که شاید در واقعیت محقق نیز نشود)

۵) اگر خاک خشک متراکم شود حداکثر افت حجمی خاک (درصد) کدام است؟

منظور این است که اگر هوا از خاک گرفته شود افت حجمی خاک ماکزیمم چقدر است.

$$A = \frac{V_a}{V} = \text{درصد افت حجمی بیشینه}$$

۶) اگر این خاک مرطوب پس از خشک کردن به شدت متراکم شود افت برحسب درصد کدام است؟

$$\text{درصد افت ماکزیمم} = \frac{V_a + V_w}{V} = \frac{V_v}{V}$$

به‌طور کلی راه حل نوع اول سؤالات به صورت زیر است؛ به نوعی وابسته بـه پارامترهـای معمـول خاک؛ فضای وزن یا فضای حجم در خصوص سؤال می‌بایست نوشته شده و با تعیین دو معادله دو مجهولی؛ مجهول‌های مسأله را که وزن فازهای تشکیل‌دهنده خاک است یا حجم آن‌ها؛ تعیین نمود.

$$\text{فضای وزن}: \begin{cases} W = W_s + W_w \\ \omega = \dfrac{W_w}{W_s} \end{cases} \Rightarrow W_w = ? \ \& \ W_s = ?$$

اگر در صورت سؤال W یا ω معلوم بود معمولاً از فضای وزن حل می‌شود.

$$\text{فضای حجم}: \begin{cases} V = V_v + V_s \\ e = \dfrac{V_v}{V_s} \end{cases} \Rightarrow V_v = ? \ \& \ V_s = ?$$

$$\begin{cases} V_v = V_a + V_w \\ S_r = \dfrac{V_w}{V_v} \end{cases}$$

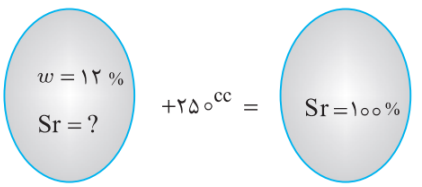
اگر در صورت سؤال S_r، e، V_s یا V_ω آمده بود از فضای حجم به راحتی حل می‌شود.

$$\text{فضای حجم اصلاح شده} \begin{cases} V = V_a + V_w + V_s \\ \omega = \dfrac{W_w}{W_s} = \dfrac{V_w \gamma_w}{V_s \gamma_s} \end{cases}$$

$$\gamma_s = G_i \gamma_w \quad (G_i : \text{چگالی ویژه دانه‌های جامد})$$

اگر در صورت سؤال نمونه دچار افزایش حجم شده باشد یا تغییرات پارامتر وزنی خاک گفته شود از فضای حجم اصلاح شده حل می‌شود. معمولاً در سؤالاتی که بخشی از پارامترهای معلوم وزنی و بخشی دیگر حجمی هستند؛ این راه‌حل سرعت بیشتری به فرایند تعیین مجهولات می‌دهد.

مثال: بر روی خاکی با ۱۲ درصد رطوبت ۲۵۰^{cc} آب اضافه شده که حجم آن از ۸۰۰^{cc} به ۸۵۰^{cc} رسیده است. در صورتی که چگالی دانه‌ها ۲/۶۸ باشد، مطلوبست تعیین درجه اشباع اولیه خاک؟

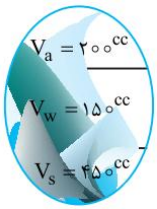


$$\Delta V = ۵۰^{cc} \rightarrow V_a = ۲۵۰^{cc} + (\underbrace{-۵۰^{cc}}_{\text{تغییر حجم}}) = ۲۰۰^{cc}$$

$$\left.\begin{cases} V = V_a + V_w + V_s \Rightarrow ۸۰۰ = ۲۰۰ + V_w + V_s \\ \omega = \dfrac{W_w}{W_s} \Rightarrow ۰/۱۲ = \dfrac{V_w \gamma_w}{V_s \gamma_s}, G_s = \dfrac{\gamma_s}{\gamma_w} = ۲/۶۸ \end{cases}\right\} \xrightarrow[\text{دو مجهول}]{\text{دو معادله}} \begin{cases} V_s = ۴۵۰^{cc} \\ V_w = ۱۵۰^{cc} \end{cases}$$

توجه شود نتیجه حل به روش فضای حجم یا وزن همیشه به مقادیر اجزاء تشکیل‌دهنده خاک مسأله می‌رسد که براساس آن‌ها هرگونه پارامتر مجهولی قابل محاسبه خواهد بود.

$$S_{r1} = \frac{V_{w1}}{V_{v1}} = \frac{150}{150+200} = 0/4 \text{ یا } 40\%$$



$$V_{کل} = 800^{cc}$$

ب) در مسئله قبل نسبت تخلخل و وزن مخصوص اولیه خاک کدام است؟

لازم است مشابه بخش (الف) سؤال فضای حجم اصلاح شده حل گردد و از نتیجه احجام تشکیل‌دهنده خاک مسأله می‌توان نوشت:

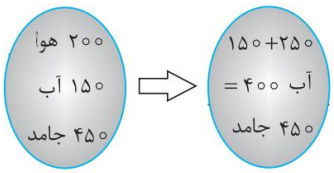
$$e_1 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{150+200}{450} \cong 0/78$$

$$\gamma_1 = \frac{W_1}{V_1} = \frac{\overbrace{V_{w2} \times \gamma_w}^{W_w} + \overbrace{V_{s1} \times \gamma_s}^{W_s}}{V}$$

$$= \frac{150 \times 1 + 450 \times (2/68 \times 1)}{800} \simeq 1/7 \; grf/cm^3$$

ج) در مسئله قبل وزن مخصوص و رطوبت خاک پس از افزایش حجم کدام خواهد بود؟

پس از حل فضای حجم برای حالت اولیه خاک به قرار ذیل می‌توان اجزاء حجمی حالت ثانویه را با توجه به حجم آب اضافه شده تعیین نمود:



$$\begin{cases} V_{a2} = 0 \\ V_{w2} = 400^{cc} \\ V_{s2} = 450^{cc} \end{cases}$$

$$\omega_2 = \frac{W_{w2}}{W_{s2}} = \frac{400 \times 1}{450 \times (2/68 \times 1)} \cong 0/33$$

$$\gamma_2 = \frac{V_w \times \gamma_w + V_s(G_s \times \gamma_w)}{V_2} = \frac{400 \times 1 + 450 \times (2/68 \times 1)}{850} \cong 1/89$$

د) در مسئله قبل درصد تغییرات وزن مخصوص خاک مطابق کدام گزینه است؟

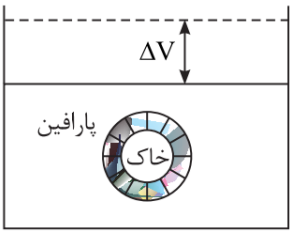
$$\text{درصد تغییرات } \gamma = \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\gamma_1} = \frac{1/89 - 1/7}{1/7} \cong 0/11 \text{ یا } 11\%$$

☑مثال: **یک تکه خاک خشک دست نخورده به وزن $۴۵۱\,gr$ با $۹\,gr$ پارافین آغشته شده است و در داخل ظرف مدرج پرآبی انداخته می‌شود که باعث تغییر حجم آب ظرف معادل $۳۰۰\,cm^۳$ می‌شود. اگر چگالی دانه‌های جامد خاک ۲/۶۵ و وزن مخصوص پارافین $۰/۹\,gr/cm^۳$ فرض شود، مطلوبست تعیین نسبت تخلخل خاک؟**

❋نکته: استفاده از پارافین باعث محبوس شدن هوا در نمونه خاک می‌گردد و در نتیجه آن تغییر حجم ایجاد شده در حجم آب داخل ظرف، علاوه بر حجم خاک، حجم پارافین آغشته شده را نیز در بر می‌گیرد.

$$V_{\text{خاک}} = \Delta V - V_p = ۳۰۰ - \frac{W_p}{V_p} = ۳۰۰ - \frac{۹}{۰/۹} = ۲۹۰\,cm^۳$$

$$V_{\text{خاک}} = ۲۹۰ = V_a + \cancel{V_w}^{\,۰} + V_s \qquad (V_w = ۰ \rightarrow \text{خاک خشک})$$



$$V_p + V_{\text{خاک}} = \Delta V$$
$$V_{\text{خاک}} = \Delta V - V_p$$

$$\begin{cases} ۲۹۰ = V_a + V_s \\ W_d = ۴۵۱\,gr = W_s \rightarrow V_s = \dfrac{۴۵۱}{G_s \gamma_\omega} = \dfrac{۴۵۱}{۲/۶۵ \times ۱} \cong ۱۷۰\,cm^۳ \\ \qquad\qquad \rightarrow = ۱\,gr/cm^۳ \end{cases}$$

بنابراین با حل فضای حجم اصلاح شده خواهیم داشت:

$$V_{\text{خاک}} = ۲۹۰ = V_a + V_s \Rightarrow ۲۹۰ = V_a + ۱۷۰ \rightarrow V_a = ۱۲۰\,cm^۳$$
$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_\omega + V_a}{V_s} = \frac{۰ + ۱۲۰}{۱۷۰} \cong ۰/۷$$

ب) در مسئله قبل مقدار آب لازم برای اشباع شدن نمونه کدام است؟

$V_a =$ حجم آب لازم برای اشباع شدن نمونه (ΔV_w)

فضای حجم اصلاح شده $\begin{cases} V_a = ۱۲۰\,cm^۳ = \Delta V_w \\ \Delta W_w = \Delta V_w \times \gamma_w = ۱۲۰ \times ۱ = ۱۲۰\,gr \end{cases}$

ج) در مسئله قبل چه مقدار آب بر نمونه اعمال شود تا نمونه خشک ٪۷۰ اشباع گردد؟

$$\text{مقدار آب لازم برای اشباع ٪۷۰} = [\text{حجم آب لازم برای اشباع ٪۱۰۰ } (\Delta V_w)] \times ۰/۷$$

$$= ۱۲۰ \times ۰/۷ = ۸۴\ cm^۳$$

$$\Delta W_w = \Delta V_w \gamma_w = ۸۴ \times ۱ = ۸۴\ gr$$

۲.۱.۲ نوع دوم سؤالات ـ سؤالات پارامتریک

در این سؤالات که برخی پارامترهای وزنی و حجمی خاک معرفی می‌شوند و برخلاف نوع اول سؤالات؛ مجهول مسأله یکی دیگر از پارامترهای وزنی ـ حجمی است، معمولاً از روش شاخه‌ای به عنوان حل سریع استفاده می‌شود. در این روش لازم است روابط مستقلی که جهت تعیین هر پارامتر مجهول مناسب است، شناسایی گردد و بر پایه اطلاعات در دسترس نسبت به انتخاب رابطه مناسب حل در مسأله اقدام شود. اگر در محاسبات مسأله، پیچیدگی وجود داشته باشد، معمولاً رواط مستقل آن را مرتفع می‌نمایند. در ادامه روابط مستقل حاکم برای هر کدام از پارامترهای وزنی ـ حجمی ارائه می‌گردند. که به جهت اهمیت، ابتدا روابط مربوط به انواع وزن مخصوص‌ها تشریح و برای بیان روابط سایر پارامترها از چند مثال ساده بهره گرفته می‌شود.

وزن مخصوص جامد ویژه خاک (γ_s)

$$\begin{cases} \gamma_s = \dfrac{W_s}{V_s} \\ \gamma_s = G_s.\gamma_w \end{cases}$$

وزن مخصوص طبیعی یا نرمال یا ظاهری یا مرطوب خاک (γ)

$$\begin{cases} \gamma_s = \dfrac{W_s}{V_s} \\ \gamma = \dfrac{G_s(۱+\omega)\gamma_w}{۱+e} \\ \gamma = \dfrac{G_s + e.S_r}{۱+e}\gamma_w \\ \gamma = \gamma_d(۱+\omega) \end{cases}$$

وزن مخصوص اشباع خاک (γ_{sat})

$$\begin{cases} \gamma_{sat} = \dfrac{W_{sat}}{V_{sat}} \\ \gamma_{sat} = \dfrac{G_s(۱+\omega_{sat})}{۱+e_{sat}}.\gamma_w \\ \gamma_{sat} = \dfrac{G_s + e_{sat}}{۱+e_{sat}}.\gamma_w \\ \gamma_{sat} = \gamma_{d(sat)}(۱+\omega_{sat}) \end{cases}$$

وزن مخصوص خشک حالت خشک خاک $(\gamma_{d(d)})$

$$\begin{cases}\gamma_{d(d)}=\dfrac{W_d}{V_d}\\ \gamma_{d(d)}=\dfrac{G_s\gamma_w}{1+e_d}\end{cases}$$

وزن مخصوص خشک حالت مرطوب با اشباع خاک $(\gamma_{d(sat)})$ یا $(\gamma_{d(wet)})$

$$\begin{cases}\gamma_{d(sat)}=\dfrac{W_d}{V_{sat}}\\ \gamma_{d(sat)}=\dfrac{G_s\gamma_w}{1+e_{sat}}\\ \gamma_{d(sat)}=\dfrac{\gamma_{sat}}{1+\omega_{sat}}\end{cases}$$

وزن مخصوص غوطه‌وری (γ')

$$\begin{cases}\gamma'=\dfrac{W'}{V}\\ \gamma'=\dfrac{\omega_{sat}-(V_s+V_w)\gamma_w}{V}\\ \gamma'=\gamma_{sat}-\gamma_w\end{cases}$$

مثال: **اطلاعات زیر در مورد خاکی در دسترس است، باتوجه به اطلاعات زیر، مطلوبست محاسبه γ_d خاک مورد نظر.**

$$V=۱۴۰۰\,\text{cm}^۳,\quad W=۲۵۰\,\text{gr},\quad W_d=۲۰۰\,\text{gr},\quad V_d=۱۰۰۰\,\text{cm}^۳$$

تذکر: اگر صورت سؤال در مورد $\gamma_{d(d)}=\gamma_{d(wet)}$ یا $\gamma_{d(sat)}$ مشخص نبود؛ منظور همان $\gamma_{d(wet)}$ یا خشک است.

$$\gamma_d=\frac{W_d}{V_{\text{مرطوب}}}=\frac{۲۰۰}{۱۴۰۰}\cong ۰/۱۴۳$$

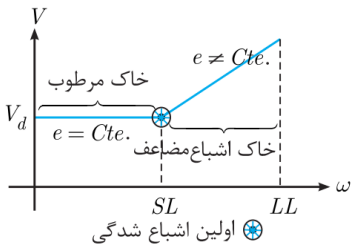
توجه شود در یک رابطه (رابطه SL) لزوم جایگذاری $\gamma_{d(d)}$ وجود دارد که در ادامه تشریح می‌شود.

➢ روابط مهم دیگر

با توجه به شکل ذیل داریم:

$$\begin{cases} e_d = e_{\text{مرطوب}} = e_{sat} \mid \text{اولین اشباع شدگی} = \dfrac{G_s.\omega}{S_r} = G_s.\omega \\ S.L. = \dfrac{e_d}{G_s} \text{ یا } \dfrac{e}{G_s} \\ \omega \text{ یا } S.L = \dfrac{\gamma_w}{\gamma_d(d)} - \dfrac{۱}{G_s} \end{cases}$$

$S.L$ ↑ ۱



نکته: مهم‌ترین رابطه وزنی ـ حجمی خاک عبارتست از: $G_s.w = e.S_r$

این رابطه ضمن تبدیل درجه رطوبت به درجه اشباع و برعکس $(S_r = \dfrac{G_s w}{e} \text{ یا } w = \dfrac{e.S_r}{G_s})$ می‌تواند مبنای تعیین دو نسبت ذیل باشد:

$$\text{نسبت وزنی آب به بخش جامد خاک} = \frac{W_w}{W_s} = \frac{eS_r}{G_s}$$

$$\text{نسبت حجمی آب به بخش جامد خاک} = \frac{V_w}{V_s} = G_s.w$$

مثال: از زمینی نمونه‌ای به حجم $۱۰۰۰\,cm^۳$ و به وزن $۱۸۰۰\,gr$ برداشته شده که پس از خشک شدن وزنی معادل $۱۵۰۰\,gr$ و چگالی دانه‌های جامد $۲/۶۵$ داشته است. مطلوبست:

الف) وزن مخصوص خاک

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{۱۸۰۰}{۱۰۰۰} = ۱/۸\ grf/cm^۳$$

ب) وزن مخصوص اشباع خاک

$$\begin{cases} \gamma_{sat} = \gamma_{d(sat)}(۱+\omega_{sat}) = ۱/۵(۱+۰/۲۹) = ۱/۹۳۵\ grf/cm^۳ \\ \omega_{sat} = S.L = \dfrac{\gamma_w}{\gamma_d(d)} - \dfrac{۱}{G_s} = \dfrac{۱}{۱/۵} - \dfrac{۱}{۲/۶۵} \cong ۰/۲۹ \end{cases}$$

$$^*\gamma_d(d) = \gamma_{d(sat)} = \frac{W_d}{V} = \frac{۱۵۰۰}{۱۰۰۰} = ۱/۵$$

ج) وزن مخصوص غوطه‌ور خاک

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = ۱/۹۳۵ - ۱ = ۰/۹۳۵\ grf/cm^۳$$

$$\gamma_{sat} = \gamma_{d(sat)}(۱+\omega_{sat}) = ۱/۵(۱+۰/۲۹) = ۱/۹۳۵\ grf/cm^۳$$

د) رطوبت خاک (ω)

$$\text{روش شاخه‌ای رطوبت}\begin{cases} w=\dfrac{W_w}{W_d}=\dfrac{W_w}{W_s}=\dfrac{W-W_d}{W_d} \\ w=\dfrac{e.S_r}{G_s} \\ w=f(\gamma)\rightarrow \text{براساس روابط } \gamma \text{ قابل تعیین است.} \end{cases}$$

$$\omega=\frac{W-W_d}{W_d}=\frac{W_w}{W_s}=\frac{۱۸۰۰-۱۵۰۰}{۱۵۰۰}=۰/۲$$

هـ) نسبت تخلخل خاک (e)

$$\text{روش شاخه‌ای نسبت تخلخل}\begin{cases} e=\dfrac{V_v}{V_s} \\ e=\dfrac{G_s.w}{S_r} \\ e=\dfrac{n}{۱-n} \\ e=f(\gamma)\rightarrow \text{اولویت با روابط } \gamma_d \text{ است.} \end{cases}$$

$$\gamma_d=\frac{W_d}{V}=\frac{G_s\gamma_w}{۱+e_d}\Rightarrow\frac{۱۵۰۰}{۱۰۰۰}=\frac{۲/۶۵\times۱}{۱+e_d}\Rightarrow e_d=e\cong۰/۷۷$$

و) درجه اشباع (S_r)

$$\text{روش شاخه‌ای درجه اشباع}\begin{cases} S_r=\dfrac{V_w}{V_s} \\ S_r=\dfrac{G_s.w}{e} \\ S_r=۱-\dfrac{A}{n} \\ S_r=f(\gamma) \text{ یعنی } \gamma=\dfrac{G_s+e.S_r}{۱+e}\gamma_w \end{cases}$$

$$\gamma=\frac{G_s+e.S_r}{۱+e}.\gamma_w$$

$$\frac{۱۸۰۰}{۱۰۰۰}=\frac{۲/۶۵+۰/۷۷\times S_r}{۱+۰/۷۷}\times۱\Rightarrow S_r\cong۰/۷$$

ز) درجه هوا خاک کدام است؟

$$\text{روش شاخه‌ای درجه هوا}\ (A)\begin{cases} A=\dfrac{V_a}{V} \\ A=n(۱-S_r) \end{cases}$$

توجه گردد در صورت عدم حل مسأله بر پایه دو فرمول فوق، لازم است از روش حل فضـای وزن یا حجم بر حصول به مقدار A بهره گرفت. در این مسأله نیز چنین است.

$$\text{آب}\begin{cases} W_w = W_{\text{اولیه}} - W_d = ۱۸۰۰ - ۱۵۰۰ = ۳۰۰\ gr \\ V_w = W_w / \gamma_w = ۳۰۰ / ۱ = ۳۰۰\ cm^۳ \end{cases}$$

$$\text{دانه‌های جامد}\begin{cases} W_d = W_s = ۱۵۰۰\ gr \\ V_s = \underset{\gamma_s}{W_s / G_s \gamma_w} = ۱۵۰۰ / ۲/۶۵ \times ۱ \cong ۵۶۶\ cm^۳ \end{cases}$$

$$\text{کل} V = ۱۰۰۰ = V_a + V_s + V_w \rightarrow ۱۰۰۰ = V_a + ۵۶۶ + ۳۰۰ \rightarrow V_a = ۱۳۴\ cm^۳$$

$$A = \frac{V_a}{V} = \frac{۱۳۴}{۱۰۰۰} = ۰/۱۳۴$$

ح) پوکی خاک (n)

توجه شود اگر فرمول‌های روش شاخه‌ای جهت تعیین n مسأله مورد نظر کفایت نداشت لازم است ابتدا e در مسأله تعیین و پس از جایگذاری در فرمول سوم روش شـاخه‌ای ذیـل، n محاسـبه شـود. این مسأله نیز مشابه حالت یاد شده است. پس با توجه به بخش (هـ) مسأله داریم:

$$\text{روش شاخه‌ای تغییر پوکی}(n)\begin{cases} n = \dfrac{V_n}{V} \\ n = \dfrac{A}{۱ - S_r} \\ n = \dfrac{e}{۱ + e} \end{cases} \qquad n = \frac{e}{۱+e} = \frac{۰/۷۷}{۱ + ۰/۷۷} = ۰/۴۳۵$$

مثال: خاکی با ۱۲% درصد رطوبـت و وزن مخصـوص $۲۱۵۰\ kgf/cm^۳$ و چگـالی ویـژه دانه‌های جامد ۲/۶۵ است. مطلوبست تعیین وزن مخصوص خشک خاک.

$$\text{براساس شاخه سوم}: \gamma_{d(sat)} = \frac{\gamma_{sat}}{۱ + \omega_{sat}} = \frac{\gamma}{۱ + \omega} = \frac{۲۱۵۰}{۱ + ۰/۱۲} \cong ۱۹۱۹\ kgf/cm^۳$$

$\gamma_{d(sat)}$ داریم

$$\gamma_{d(sat)} = ۱/۹\ grf/cm^۳ = ۱۹/۲\ KN/m^۳ = ۱۹۲۰۰\ N/m^۳$$

ب) در مسئله قبل نخست تخلخل خاک کدام است؟

$$\text{براساس شاخه چهارم}: \gamma = \frac{G_s(۱+\omega)}{۱+e}.\gamma_w \Rightarrow ۲۱۵۰ = \frac{۲/۶۵(۱ + ۰/۱۲)}{۱+e} \times ۱۰۰۰ \Rightarrow e \cong ۰/۳۸$$

حل e داریم

ج) مطلوبست محاسبه درجه اشباع خاک

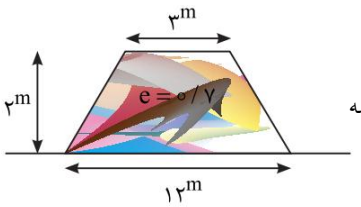
$$\text{براساس شاخه چهارم} \quad \gamma = \frac{G_s + e.S_r}{1+e}.\gamma_w$$

$$\text{حل } S_r \text{ داریم} \quad : \quad ۲۱۵۰ - \frac{۲/۶۵ + ۰/۳۸.S_r}{۱+۰/۳۸} \times ۱۰۰۰ \Rightarrow S_r \cong ۰/۸۴$$

۳.۱.۲ نوع سوم سؤالات ـ سؤالات خاص

برای تشریح مناسب سؤالات خاص این مبحث، فرمول‌های خاص در چهارچوب مثال‌هایی بیان و معرفی می‌شوند.

☑مثال: خاکریزی به شرح شکل زیر و به طول ۸۰۰ متر در کنار یک رودخانه احداث خواهد شد که لازم است به وسیله‌ی یک غلتک تا رسیدن به نسبت تخلخل ۰/۷ متراکم شود. برای احداث این خاکریز از قرضه‌ای با نسبت تخلخل ۱ چه مقدار باید خاکبرداری شود؟



$$\text{قرضه} \begin{cases} e' = ۱ \\ V' = ? \end{cases}$$

به‌طوری که جهت مقایسه یک خاک در دو حالت تراکمی یا رطوبت متفاوت رابطه زیر حاکم است:

$$\frac{\gamma_{dII}}{\gamma_{dI}} = \frac{V'}{V_{\text{خاکریز}}} = \frac{1+e'}{1+e}$$

$$\Rightarrow V' = V_{\text{خاکریز}} \left(\frac{1+e'}{1+e}\right) = \left(\frac{۳+۱۲}{۲} \times ۲ \times ۸۰۰\right) \times \left(\frac{۱+۱}{۱+۰/۷}\right)$$

$$V' = ۱۴۱۰۰ m^3$$

☑مثال: رطوبت طبیعی خاک قرضه‌ای ۸ درصد و وزن مخصوص آن $۱۶۰۰ kgf/cm^3$ است. خاک برای ایجاد خاکریزی استفاده می‌شود که لازم است رطوبت آن ۱۰ درصد و وزن مخصوص خشک آن $۱۶۵۰ kgf/cm^3$ باشد. مطلوبست تعیین حجم خاکبرداری به ازای ۱۰۰ مترمکعب خاکریز ($G_s = ۲/۵$).

$$\text{قرضه} \begin{cases} w' = ۸\% \\ \gamma' = ۱۶۰۰ kgf/m^3 \end{cases} \quad \text{خاکریز} \begin{cases} \omega = ۱۰\% \\ \gamma_d = ۱۶۵۰ kgf/m^3 \\ V = ۱۰۰ m^3 \end{cases}$$

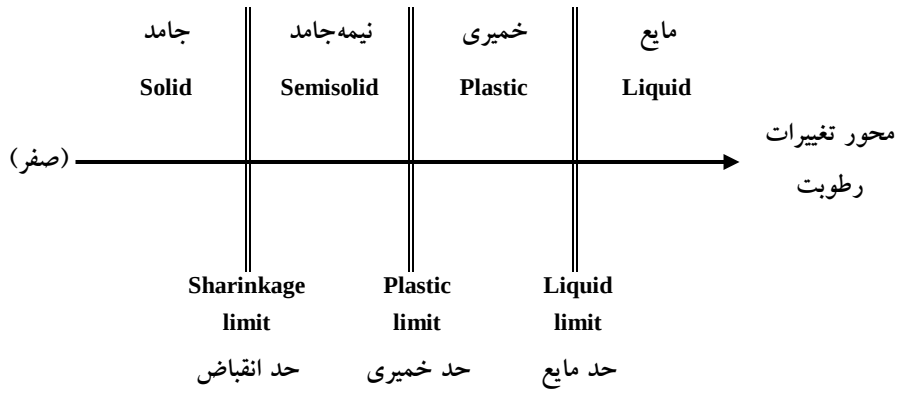
$$\gamma' = \frac{G_s(1+\omega')}{1+e'}.\gamma_w \Rightarrow 1600 = \frac{2/5(1+0/08)}{1+e'} \times 1000 \Rightarrow e' \cong 0/69$$

$$\gamma_d = \frac{G_s\gamma_w}{1+e} \Rightarrow 1650 = \frac{2/5 \times 1000}{1+e} \Rightarrow e \cong 0/52$$

$$\frac{V}{V'} = \frac{1+e}{1+e'} \Rightarrow \frac{100}{V'} = \frac{1+0/52}{1+0/69} \Rightarrow V' \cong 111/2\, m^3$$

۲.۲ سفتی (قوام) خاک (خواص خمیری خاک‌های ریزدانه)

وقتی در خاک‌های ریزدانه، کانی‌های رسی ظاهر شوند، با جذب رطوبت باعث می‌شوند خاک حالت خمیری به خود بگیرد و آن را می‌توان بدون خرد شدن شکل داد. این خاصیت چسبندگی به علت آب جذب شده‌ای است که ذرات رس را احاطه کرده است. در اوایل دهه‌ی ۱۹۰۰، دانشمند سوئدی به نام اتربرگ روشی برای توصیف سفتی خاک‌های ریزدانه برحسب میزان رطوبت ابداع نمود. در میزان رطوبت خیلی کم، خاک مثل یک جسم جامد عمل می‌کند. در رطوبت خیلی بالا، مخلوط آب و خاک می‌تواند به صورت یک مایع جاری شود. به‌طور کلی همانند شکل پایین، برحسب میزان رطوبت، طبیعت رفتار خاک به یکی از چهار حالت جامد، نیمه جامد، خمیری و مایع خواهد بود.

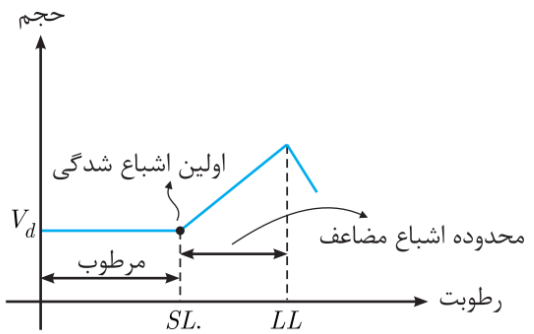


حدود اتربرگ

میزان رطوبت (برحسب درصد) در نقطه‌ی انتقال از جامد به نیمه‌جامد، حد انقباض $(S.L)$ و در نقطه‌ی انتقال از نیمه‌جامد به خمیری، حد خمیری $(P.L)$ و از خمیری به مایع، حد مایع $(L.L)$ با حد روانی نامیده می‌شود. حدود نامبرده به حدود اتربرگ معروف هستند. توجه شود این حدود برای بخش زیر الک *No.*۴۰ (سایز ۲/۰ میلی‌متر) تعیین می‌شوند. یعنی ماسه ریز به همراه بخش

ریزدانه خاک ملاک تعیین این پارامترها هستند.

پس از اتربرگ، کاساگراند معیار جدیدی را برای تعریف حدود اتربرگ ارائه داد که باعث گردید دو حد مایع و انقباض به صورت کمی قابل تعریف باشند. ایشان براساس نمودار حجم ـ رطوبت خاک‌ها به قرار شکل ذیل؛ شکستگی‌های اول و دوم مسیر تغییرات حجمی رطوبت خاک‌ها را به ترتیب حد انقباض و حد مایع تعریف نمود.



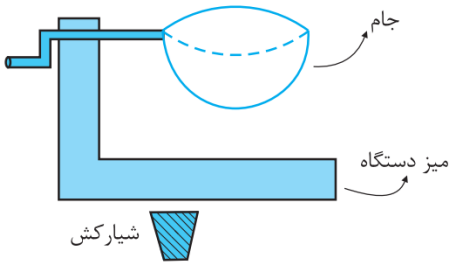
عملاً اولین شکستگی معرف رطوبت متناظر اولین اشباع‌شدگی خاک است و شکستگی دوم که با کاهش حجم خاک حادث می‌شود معرف شسته شدن خاک به صورت روان شدن در آب مازاد است.

➢ حد مایع (حد روانی)

برای اندازه‌گیری حد مایع از آزمایش کاساگرانده (آزمایش جام ضربه‌ای ـ ASTM) و یا آزمایش نفوذ مخروط (استاندارد BS) استفاده می‌شود.

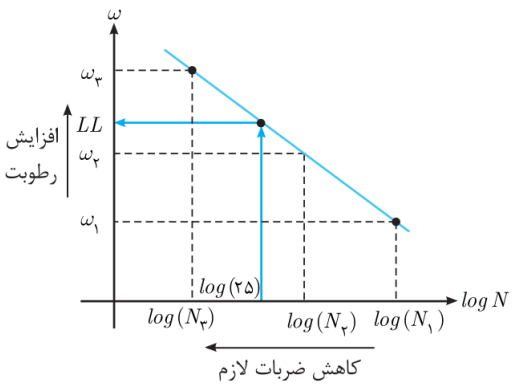
الف) آزمایش ضربه کاراگرانده

در مکانیک خاک عمدتاً روش ASTM کاربرد دارد. به نحوی که خاک به ازاء سه رطوبت مختلف آماده شده و در داخل جامی شبیه نیم‌کره مطابق شکل مقابل جای داده می‌شود. سپس به وسیله شیارکش مسیری در راستای قطر جام از خاک خارج می‌گردد. سپس به کمک دسته چرخان؛ جام از مسیر وسیله جدا شده و با سقوط آزاد بدان برخورد کرده و ضربه به خاک داخل جام منتقل می‌شود. با توجه به شرایط خاک پس از ایجاد شیار، استعداد روان شدن خاک و بسته شدن فضای خالی ناشی از شیار به ازاء ضربات لازم شمارش می‌گردد. نتیجه آزمایش که سه گروه رطوبت متناظر ضربات لازم برای بسته شدن شیار داخل خاک حین آزمایش است (N_i, w_i) در نمودار روانی (جریان) خاک به قرار ذیل ترسیم می‌شوند:



مقطع جام پس از ایجاد شیار

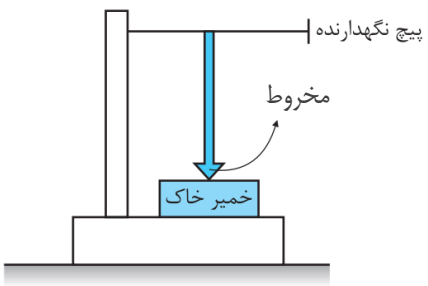
لازم به توضیح است که پس از برازش خط روانی خاک از نتایج سه آزمایش یاد شده، رطوبت نظیر تعداد ضربات ۲۵ مؤید حد روانی خاک مورد آزمایش است.



عملاً توجه شود حد روانی خاک در واقعیت رطوبتی است که مقاومت داخلی خاک از بین می‌رود و به عبارتی حداکثر رطوبتی است که یک توده یا نمونه خاک می‌تواند تحمل کند. هرچند خاک ریزدانه‌تر باشد و خاصیت خمیری بیشتر (جذب آب بیشتر) داشته باشد، حد روانی فراتری دارد.

ب) آزمایش نفوذ مخروط (تحت استاندارد انگلیسی BS)

ابتدا خاک را با کمی آب (افزودن رطوبت) مخلوط کرده، سپس آن را زیر مخروط دستگاه آزمایش مطابق شکل قرار می‌دهیم. سپس پیچ نگهدارنده‌ی مخروط را آزاد می‌کنیم. با این کار مخروط بر اثر وزن خود به درون خمیر خاک نفوذ می‌کند. حال استاندارد BS، حد روانی را این‌گونه تعریف می‌نماید: حد روانی درصد رطوبتی است که به خاک افزوده می‌شود تا مخروط استاندارد آزمایش در زمان ۵ ثانیه، ۲۰ میلی‌متر درون خمیر خاک نفوذ نماید.

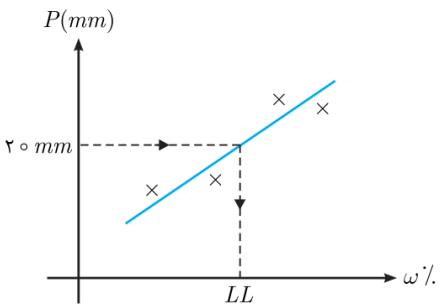


دستگاه آزمایش نفوذ مخروط

حال با توجه به این مطلب که یافتن درصد مورد نیاز برای یافتن حد روانی کاری مشکل است، پس می‌توان از روش زیر بهره جست:

ابتدا درصد رطوبت مشخصی (درصد رطوبت کم) را به خاک می‌افزاییم. سپس مقدار نفوذ در زمان ۵ ثانیه را ثبت می‌کنیم. سپس درصد رطوبت خاک را افزایش می‌دهیم و به همین روال مقدار نفوذ مخروط درون خاک را در ۵ ثانیه در جدول زیر یادداشت می‌کنیم:

درصد رطوبت (w)	w_1	w_2	w_3	w_4
نفوذ مخروط در ۵ ثانیه (p)	p_1	p_2	p_3	p_4



سپس با استفاده از نتایج حاصل، نمودار (درصد رطوبت ـ مقدار نفوذ) را رسم می‌کنیم. پس از آن خط مناسبی از میان این نقاط برازش می‌دهیم و سپس درصد رطوبت لازم برای نفوذ ۲۰ mm مخروط درون خاک را از نمودار مقابل قرائت می‌کنیم. این درصد رطوبت همان حد روانی خاک می‌باشد.

توجه شود که نفوذهای قرائت شده در آزمایش نفوذ مخروط (P_iها) می‌یابد در حد فاصل ۱۰ تا ۲۵ میلی‌متر باشند تا در محاسبات و برازش نمودار اعمال شوند.

➢ حد خمیری

برای اندازه‌گیری حد خمیری از آزمایش فتیله استاندارد استفاده می‌شود.

در این آزمایش، بخشی از خاک که از یک الک نمره ۴۰ عبور داده شده است، به ازاء رطوبت‌های مختلف آماده شده و بر روی صفحه صیقلی، تمیز و مسطح (معمولاً شیشه‌ای) به صورت فیتیله یا میله‌ای شکل فرم داده می‌شود. لازم است میله پیش از رسیدن به قطر کمتر یا مساوی ۳/۲ mm دچار ترک‌خوردگی یا جمع‌شدگی سطحی نشود. هر رطوبت حداقلی که خاصیت پلاستیسیته مناسب به میله یاد شده را جهت رسیدن به قطرهای کمتر از ۳/۲ mm بدهد، به عنوان رطوبت حد خمیری (PL) معرفی می‌گردد. توجه شود اگر امکان تغییر این رطوبت حین آزمایش میسر نگردد، خاک غیر خمیری (NP) اعلام می‌شود که به مفهوم $PL=۰/۰$ نیست. بلکه PL به مقدار حد روانی بسیار نزدیک است که نمی‌توان دامنه خمیری (PI) برای این خاک تعریف نمود. مفهوم دامنه خمیری (LL-PL) از همین مفهوم منشاء معرفی گردیده است.

همان‌طور که بیان شد، پارامترهای مهم دیگری به نام **نشانه خمیری** (PI) و نشانه روانی (LI) نیز تعریف می‌گردد که PI پارامتر مهمی در تفسیر رفتار خمیری خاک‌ها محسوب می‌گردد.

➢ نشانه خمیری (PI) Plasticity Index

$$PI = I_P = LL - PL$$

- هرچه PI خاکی بیشتر باشد، نشانه آن است که خاک خمیری‌تر است و بیشتر در فاز خمیری باقی می‌ماند. به همین جهت به این اندیس؛ دامنه خمیری خاک نیز اطلاق می‌گردد. در خاک‌های ریزدانه (رسی) این پارامتر رابطه مستقیم با چسندگی (مقاومت) خاک نیز دارد. همچنین این اندیس پارامتر شاخصی در تعیین فعالیت خاک نیز است که در ادامه بیان خواهد گردید.

➢ نشانه روانی (LI) Liqid Index

$$LI = I_L = \frac{\omega - PL}{PI}$$ ω: رطوبت خاک موجود در محل

نکته: در برخی مراجع، پارامتر دیگری به نام نشانه غلظت (C_I) نیز تعریف می‌گردد که این پارامتر به نوعی مکمل پارامتر نشانه روانی است.

$$C_I = \frac{LL - \omega}{PI}$$

بنابراین ⇐ مجموع C_I و LI همواره ثابت و برابر یک خواهد بود.

$$LI + C_I = ۱$$

۳.۲ فعالیت خاک‌های رسی (A) Activity

به‌منظور مقایسه توانایی رس‌ها در تولید خاصیت خمیری از پارامتری به نام «فعالیت خاک‌ها» (A) استفاده می‌شود که مطابق فرمول زیر تعریف می‌شود.

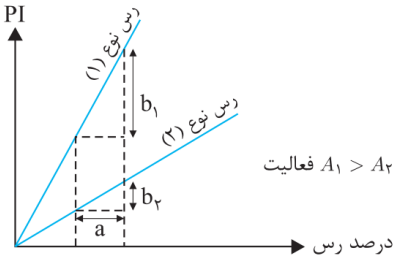
$$A = \frac{PI}{\text{درصد خاک رس (کوچکتر از } ۰/۰۰۲^{mm})}$$

A: فعالیت خاک

PI: دامنه خمیری

توانایی تولید خاصیت خمیری در رس‌ها متفاوت است. اگر دو خاک رسی متفاوت، باهم مقایسه شوند، ممکن است رس نوع (۱) توانایی بیشتری نسبت به نوع (۲) در تولید خواص خمیری داشته باشد.

برای این مقایسه PI به عنوان معیار خواص خمیری را می‌توان در کنار خاک رس، در یک نمودار ترسیم کرد.



ارتباط درصد رس با خاصیت خمیری

➢ نکات نمودار فعالیت خاک‌ها

۱) معمولاً خط از مبدأ عبور می‌کند. این بدین معنی است که اگر درصد خاکی صفر باشد خاصیت خمیری (نشانه خمیری) آن هم صفر است و خاصیت خمیری ندارد.

۲) هرچه شیب خط بیشتر باشد بیانگر توانایی بیشتر خاک در تولید خاصیت خمیری است. اگر خط از مبدأ عبور کند، شیب خط همان فعالیت خاک را نشان می‌دهد.

$$\text{شیب خط } A = \frac{PI}{\text{درصد ذرات رس}}$$

۳) هرچه کانی رس صفحه‌ای‌تر باشد، سطح مخصوص آن بیشتر خواهد بود و آب جذب سطحی بیشتری دارد. بنابراین خاصیت خمیری خاک افزایش یافته و فعالیت بیشتری خواهد داشت.

نکته: بر مبنای مقدار فعالیت خاک‌ها، رس‌ها به چند گروه تقسیم می‌گردند:

$A > ۱/۲۵$: رس فعال

$۰/۷۵ < A < ۱/۲۵$: رس معمولی یا متوسط

$A < ۰/۷۵$: رس غیرفعال

نکته: هرچه فعال‌تر باشد، زودتر خمیری و دیرتر روان می‌گردد و در حالت خشک مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد.

۴.۲ حد انقباض خاک

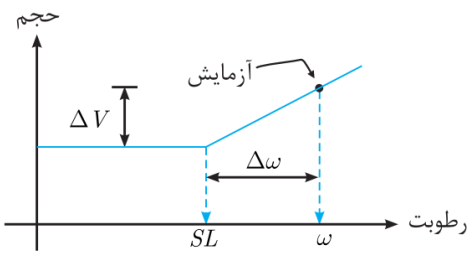
حد انقباض خاک (SL) که به نوعی معرف رطوبتی است که حالت جامد خاک به نیمه‌جامد تغییر می‌یابد (تعریف اتربرگ)، به عبارتی حداقل رطوبت لازم برای اشباع شدن خاک و یا حداکثر رطوبتی است که خاک بدون تغییر حجم آن را تحمل می‌کند (تعریف کاساگراند). عملاً این حد که

متناظر رطوبت اولین اشباع‌شدگی است می‌تواند از دو روش محاسباتی یا اندازه‌گیری آزمایشگاهی تعیین شود. برای محاسبه SL خاک دو فرمول بر پایه روابط وزنی ـ حجمی حاکم است:

$$SL = \frac{\gamma_w}{\gamma_{d(d)}} - \frac{1}{G_s}$$

$$SL = \frac{e_d}{G_s} \text{ یا } \frac{e}{G_s}$$

در راستای اندازه‌گیری آزمایشگاهی SL، آزمایش اشباع مضاعف طرح گردیده است. در این آزمایش به نمونه خاک مورد نظر که در حالت خشک وزن W_d دارد، آب به مقدار مشخصی (W_w) به نحوی اضافه می‌شود که افزایش حجم در نمونه (ΔV) ثبت گردد. یعنی نمونه به حالت اشباع مضاعف رسانده می‌شود. از آن‌جایی که افزایش حجم نمونه ناشی از مازاد آب حفره‌ای نسبت به حالت اولین اشباع‌شدگی (متناظر SL) است؛ پس می‌توان نوشت:



$$SL = w - \Delta w$$

$$SL = \frac{W_w}{W_d} - \frac{\Delta V \times \gamma_w}{W_d} = \frac{W_w - \Delta V \times \gamma_w}{W_d}$$

نمونه سوالات فصل دوم

۱- حد انقباض عبارتست از: (سراسری- ۸۴)

۱) حداقل رطوبتی که خاک تحت آن به توده‌ای نیمه جامد تبدیل می‌گردد.

۲) حداقل رطوبتی که تحت آن خاک به علت وزن خود جریان می‌یابد.

۳) حداقل رطوبتی که با از دست رفتن بیشتر رطوبت، خاک کاهش حجم نمی‌دهد.

۴) حداکثر رطوبتی که در آن حالت، با از دست رفتن بیشتر رطوبت، خاک با کاهش حجم روبه‌رو نمی‌گردد.

۲- در آزمایش وزنی- حجمی بر روی یک نمونه خاک اشباع، اطلاعات زیر بدست آمده است:

- درجه تخلخل: $e = ۷۸٪$ - درجه رطوبت: $\omega = ۲۹٪$

وزن مخصوص خاک و G_s آن چقدر است؟ (وزن مخصوص آب را $۹/۸ kN/m^۳$ در نظر بگیرید.) (آزاد- ۸۴)

۱) $G_s = ۲۶/۹$ ، $\gamma = ۱۹/۱ kN/m^۳$

۲) $G_s = ۲/۶۹$ ، $\gamma = ۱۹/۱ kN/m^۳$

۳) $G_s = ۲/۶۹$ ، $\gamma = ۱/۹۵ kN/m^۳$

۴) $G_s = ۰/۳۷$ ، $\gamma = ۲/۶۲ kN/m^۳$

۳- کدام یک از عبارات زیر، جزو علل رفتار خمیری خاک‌های رس محسوب نمی‌شود؟ (آزاد- ۸۴)

۱) عدم بالانس الکتریکی و وجود بارهای منفی در سطح کانی‌های رس

۲) داشتن سطح مخصوص زیاد در کانی‌های پولکی و سوزنی شکل رس

۳) قطبی بودن مولکول‌های آب و تشکیل لایه دوگانه **(Double Layer)** در اطراف کانی‌های رس

۴) ساختار چهار وجهی و هشت وجهی بلورها

۴- یک نمونه از خاک خشک که وزن مخصوص آن $۱/۶۵ T/m^۳$ و وزن مخصوص ویژه آن $G_s = ۲/۷$ می‌باشد، زیر باران قرار می‌گیرد. در طول بارندگی حجم نمونه ثابت باقی مانده اما درجه اشباع آن ۴۰ درصد افزایش یافته است. وزن مخصوص نمونه و درصد رطوبت آن پس از قرار گرفتن در باران به ترتیب برابر است با: $\gamma_\omega = ۱/۰ T/m^۳$ (نظام مهندسی (محاسبات)- آذر ۸۴)

۱) $۱/۸۱ T/m^۳$ و $۹/۴٪$

۲) $۱/۷۸ T/m^۳$ و $۱۰/۵٪$

۳) $۱/۷۵ T/m^۳$ و $۱۱/۲٪$

۴) $۱/۸۵ T/m^۳$ و $۱۲/۱٪$

۵- یک نمونه خاک با درصد رطوبت معین را به دو قسمت مساوی تقسیم و نیمه اول را (با رطوبت موجود) به روش تراکم استاندارد به میزان ۱۰۰٪ متراکم می‌نمائیم. نیمه دوم را به میزان ۸۰٪ تراکم استاندارد می‌گوییم. میانگین درصد تراکم کل نمونه خاک (در صورتی که همگن فرض شود) چیست؟ (سراسری- ۸۴)

۱) ۸۹٪ ۲) ۹۰٪ ۳) ۹۱٪ ۴) هیچ کدام

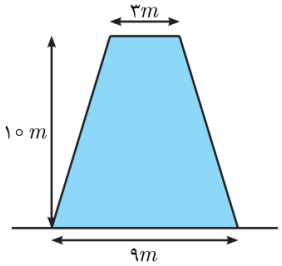
۶- برای یک خاک اشباع چگالی دانه‌های $G_s = ۲/۷$ و نسبت تخلخل $e = ۱/۱$ است. درصد رطوبت برای این خاک حدوداً برابر است با: (آزاد- ۸۵)

۱) ۱۰ درصد ۲) ۲۰ درصد ۳) ۳۰ درصد ۴) ۴۰ درصد

۷- مقدار اندیس روانی (Liquidity Index) برای خاکی که رطوبت طبیعی آن ۲۰ درصد، حد روانی آن ۵۰ درصد و حد خمیری آن ۳۰ درصد باشد برابر است با: (آزد- ۸۵)

۱) ۰ ۲) $-۰/۵$ ۳) $۰/۵$ ۴) ۱

۸- بدنه سدی با مقطعی مطابق شکل در یک دره V شکل به طول ۲۰ متر احداث خواهد شد. این بدنه سد با تراکم خاک تا رسیدن به تخلخل ۰/۵ ساخته می‌شود. چه حجمی از یک منبع قرضه با تخلخل ۱/۰ برداشت شود تا کمبودی از نظر مصالح خاکی به هنگام ساخت سد مطرح نباشد؟



۱) ۴۰۰ مترمکعب
۲) ۶۰۰ مترمکعب
۳) ۸۰۰ مترمکعب
۴) ۹۰۰ مترمکعب

۹- وزن مخصوص نمونه خاکی به ازای رطوبت انقباض معادل ۲۰ کیلونیوتن بر مترمکعب تعیین شده است. اگر حدود اتربرگ خاک به ترتیب ۲۰، ۳۰ و ۴۵ درصد باشند، چه حجمی آب برای تغییر حالت ۶ مترمکعب از این خاک از حالت انقباض به خمیری نیاز می‌باشد؟

۱) ۲/۵ مترمکعب ۲) ۱/۰ مترمکعب
۳) ۰/۸ مترمکعب ۴) ۰/۵ مترمکعب

۱۰- خاکی با تخلخل ۰/۹ پس از پاشیدن رطوبت لازم متراکم می‌گردد. به نحوی که حجم توده خاک ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. نسبت تخلخل خاک پس از تراکم کدام است؟

۱) ۰/۲۷ ۲) ۰/۳۳ ۳) ۰/۴۲ ۴) ۰/۴۵

فصل ۳

دانه‌بندی و طبقه‌بندی خاک‌ها

۱.۳ دانه‌بندی خاک

دانه‌بندی خاک، تعیین دامنه‌ی اندازه‌ی ذرات موجود در خاک و توزیع وزنی آن‌هاست که برحسب درصدی از وزن کل خشک خاک بیان می‌شود. معمولاً دو روش برای تعیین منحنی دانه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱) آزمایش دانه‌بندی (الک کردن)، برای ذراتی با قطر بزرگ‌تر از ^{mm}۰/۰۷۵ میلی‌متر

۲) آزمایش هیدرومتری، برای ذراتی با قطر کوچک‌تر از ^{mm}۰/۰۷۵ میلی‌متر

در حقیقت دانه‌بندی توزیع فراوانی درصد وزنی سایزهای تشکیل‌دهنده خاک است که به کمک تفکیک خاک به سایزبندی‌های مختلف محقق می‌گردد. این طبقه‌بندی سایزها براساس استاندارد صورت می‌پذیرد.

۲.۳ آزمایش دانه‌بندی

عبارت است از لرزاندن نمونه‌ی خاک بر روی یک سری الک که اندازه‌های آن به ترتیب از بالا به پایین کاهش می‌یابد. در جدول زیر، شماره و اندازه‌ی روزنه‌های الک‌های استاندارد آمریکایی جهت آشنایی مقدماتی ارائه شده است.

برای آزمایش دانه‌بندی، ابتدا خاک در کوره خشک می‌شود، سپس کلوخه‌های خاک کاملاً خرد شده و نمونه از الک‌ها عبور داده می‌شود. بعد از اتمام مرحله‌ی لرزاندن الک‌ها توسط لرزاننده‌ی مکانیکی یا برقی و عبور دادن کامل خاک از الک‌ها، وزن خاک‌هایی که در روی هریک از الک‌ها باقی‌مانده است اندازه‌گیری می‌شود.

اندازه‌ی روزنه (mm)		شماره‌ی الک	اندازه‌ی روزنه (mm)		شماره‌ی الک
۰٫۳۰۰	⟶	۵۰	۴٫۷۵۰	⟶	۴
۰٫۲۵۰	⟶	۶۰	۳٫۳۵۰	⟶	۶
۰٫۱۸۰	⟶	۸۰	۲٫۳۶۰	⟶	۸
۰٫۱۵۰	⟶	۱۰۰	۲٫۰۰۰	⟶	۱۰
۰٫۱۰۶	⟶	۱۴۰	۱٫۱۸۰	⟶	۱۶
۰٫۰۸۸	⟶	۱۷۰	۰٫۸۵۰	⟶	۲۰
۰٫۰۷۵	⟶	۲۰۰	۰٫۶۰۰	⟶	۳۰
۰٫۰۵۳	⟶	۲۷۰	۰٫۴۲۵	⟶	۴۰

در هنگام آزمایش دانه‌بندی خاک‌های چسبنده، شکستن کلوخه‌های سنگ به دانه‌های جدا از هم مشکل است، در این صورت خاک را می‌توان در آب حل کرد تا به صورت دوغاب خاک درآید سپس دوغاب خاک از میان الک‌ها عبور داده شده و مقدار باقی‌مانده در روی هر الک در کوره خشک شده و سپس توزیع می‌گردد.

نتایج آزمایش دانه‌بندی معمولاً برحسب درصد وزنی خاک‌های عبوری از هر الک بیان می‌شود. توجه شود که مبنای درصد عبوری از الک iام (P, P_i) معادل مجموع درصد وزنی کل سایزهایی است که از الک iام کوچک‌تر بوده و می‌تواند از این الک عبور نماید. به عبارتی اگر درصد مانده روش الک iام (R, P_i) را معادل مجموع درصد وزنی خاک‌های باقیمانده بر روی الک iام و همه الک‌های بالاتر از آن بدانیم؛ می‌توان نوشت:

$$P.P_i = ۱۰۰ - R.P_i \quad \text{یا} \quad P.P_i = ۱/۰ - R.P_i$$

۱.۲.۳ آزمایش هیدرومتری (دانه‌بندی به وسیله‌ی ته‌نشینی ذرات)

این آزمایش بر پایه‌ی اصول ته‌نشینی دانه‌های خاک در آب معرفی شده است. زمانی که نمونه‌ی خاک در آب کاملاً هم‌زده می‌شود، دانه‌های معلق برحسب شکل، اندازه و وزن با سرعت‌های مختلفی ته‌نشین می‌شوند. برای سهولت، فرض می‌شود که تمام دانه‌های خاک کروی هستند و سرعت ته‌نشینی آن‌ها طبق قانون استوکس قابل تعریف است. در نتیجه:

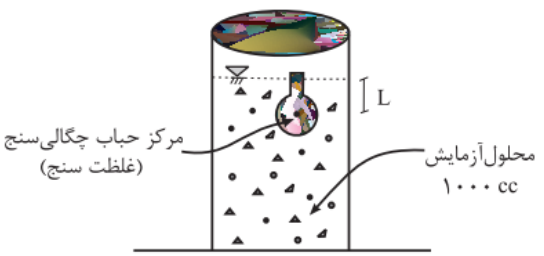
$$V = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{۱۸\eta} D^۲$$

V = سرعت
γ_s = وزن مخصوص دانه‌های خاک
γ_w = وزن مخصوص آب
η = ویسکوزیته‌ی آب
D = قطر دانه‌های خاک

$$D = \sqrt{\frac{۱۸\eta}{(G_s - ۱)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

در آزمایشگاه، آزمایش هیدرومتری در یک استوانه با ۵۰^{gr} گرم نمونه‌ی خاک رد شده از الک $۰/۰۷۵^{mm}$ میلی‌متر و خشک شده در کوره آغاز می‌شود. ارتفاع استوانه ته‌نشینی ۱۸ اینچ (در حدود ۴۵^{cm} سانتی‌متر) و قطر آن ۲/۵ اینچ (در حدود $۶/۳۵^{cm}$) می‌باشد که برای حجم ۱۰۰۰^{cc} سی‌سی علامت‌گذاری شده است. معمولاً از هگزا متافسفات سدیم (Sodium hexametaphosphate) به عنوان ماده‌ی پراکننده (جداکننده) استفاده می‌شود. ابتدا نمونه با ماده پراکننده مخلوط شده و ۱ تا ۱۶ ساعت به همان حال می‌ماند. سپس توسط همزن، مخلوط شده و با اضافه کردن آب مقطر، حجم آن به ۱۰۰۰^{cc} سی‌سی افزایش می‌یابد. سپس فرصت زمانی ته‌نشینی به محلول داده می‌شود.

وقتی که چگالی‌سنج در زمان t (که از شروع ته‌نشینی اندازه‌گیری می‌شود) در محلول تعلیق تهیه شده قرار داده می‌شود، چگالی را در همسایگی عمق مؤثر L اندازه‌گیری می‌کند (شکل ذیل). چگالی تابعی از مقدار ذرات خاکی است که در واحد حجم محلول تعلیق در آن عمق وجود دارد. همچنین در زمان t، ذرات خاکی که در عمق L معلق هستند دارای قطر کوچک‌تری از D محاسبه شده از رابطه‌ی $D(mm) = K\sqrt{\frac{L(cm)}{t(\min)}}$ می‌باشند.



$$K = \sqrt{\frac{۳۰\eta}{(G_s - ۱)}}$$

در این فرآیند، ذرات بزرگ‌تر به اعماق بزرگ‌تر ته‌نشین می‌شوند. چگالی‌سنج طوری کالیبره شده با توجه به چگالی محلول تعلیق، مقدار خاکی را که در حالت معلق است، برحسب گرم به دست دهد. چگالی‌سنج‌ها برای خاکی با چگالی دانه‌های ۲/۶۵ کالیبره شده‌اند. برای خاک‌ها با چگالی دانه‌های دیگر، لازم است اصلاحاتی به عمل آید.

با دانستن مقدار خاک معلق، طول L و زمان t می‌توان درصد وزنی خاک ریزتر از قطر مشخصی را

به دست آورد. رابطه $P.P$ با سایر ذرات در این آزمایش وابسته به نوع و کالیبراسیون چگالی‌سنج مصرفی در آزمایش است. توجه شود که طول L عمق اندازه‌گیری شده از سطح آب تا مرکز ثقل حباب هیدرومتر می‌باشد که در آن نقطه‌ی چگالی محلول تعلیق اندازه‌گیری می‌شود. مقدار عمق L با زمان t متغیر است و زمان قرائت آن در استاندارد ASTM داده شده است. آزمایش هیدرومتری برای تعیین منحنی دانه‌بندی خاک‌هایی با ذراتی تا ۰٫۵ میکرون معتبر است.

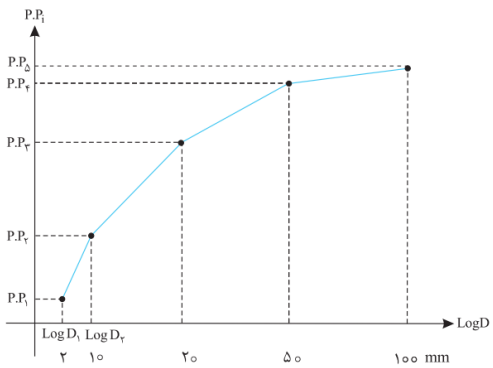
۲.۲.۳ منحنی دانه‌بندی

نتایج تحلیل‌های مکانیکی و فیزیکی (آزمایش دانه‌بندی و آزمایش هیدرومتری) معمولاً در روی یک فضای نیمه لگاریتمی رسم می‌شود که به آن منحنی دانه‌بندی می‌گویند. قطر دانه‌ها (سایر ذرات) در روی محور لگاریتمی افقی $(\log D_i)$ و درصد عبوری مربوط $(P.P_i)$ در روی محور غیرلگاریتمی قائم وارد می‌شود. عملاً منحنی حاصل معرف منحنی دانه‌بندی خاک است. که اطلاعات مختلفی را در خصوص اجزاء جامد تشکیل‌دهنده خاک مورد نظر در اختیار قرار می‌دهد.

۳.۲.۳ ویژگی‌ها و انواع منحنی دانه‌بندی

به‌طور کلی بررسی شکل منحنی دانه‌بندی می‌تواند دید خوبی از وضعیت دانه‌های موجود در توده خاک ارائه کند. مهم‌ترین اطلاعاتی که از بررسی کیفی منحنی دانه‌بندی به دست می‌آید را می‌توان در قالب زیر تقسیم‌بندی کرد:

۱) براساس داده‌های منحنی دانه‌بندی می‌توان توزیع فراوانی یا درصد وزنی محدوده‌های مشخصی از سایزهای تشکیل‌دهنده خاک (P_i) را بدست آورد.



نمودار دانه‌بندی خاک

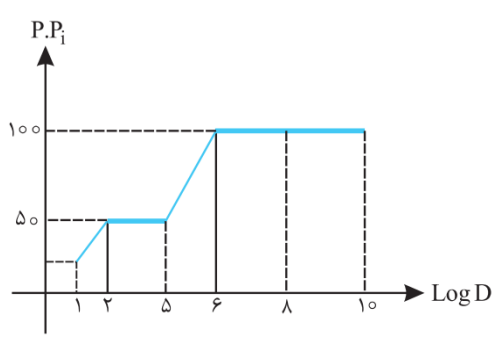
مثلاً برای نمودارهای مطابق شکل فوق داریم:

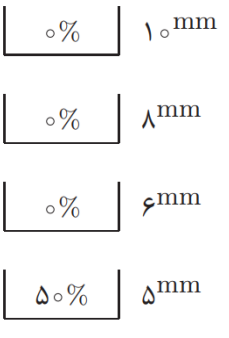
D (سایزبندی)	سایز الک یا سایز مشخصه	وزن خاک هر گروه w_i	درصد وزنی هر سایز مشخصه یا درصد وزنی الک p_i	درصد عبوری از هر الک $p.p_i$
$۰-۲^{mm}$	۲^{mm}	$w_۱$	$\frac{w_۱}{W}=p_۱$	$p_۱=P\cdot P_۱$
$۲-۱۰^{mm}$	۱۰^{mm}	$w_۲$	$\frac{w_۲}{W}=p_۲$	$p_۱+p_۲=P\cdot P_۲$
$۱۰-۲۰^{mm}$	۲۰^{mm}	$w_۳$	$\cdots=p_۳$	$p_۱+p_۲+p_۳=P\cdot P_۳$
$۲۰-۵۰^{mm}$	۵۰^{mm}	$w_۴$	$p_۴$	$p_۱+p_۲+p_۳+p_۴=P\cdot P_۴$
$۵۰-۱۰۰^{mm}$	۱۰۰^{mm}	$w_۵$	$p_۵$	$p_۱+p_۲+p_۳+p_۴+p_۵=P\cdot P_۵$
				$P\cdot P_۵=۱۰۰\%$
		$\sum w_i=W$	$\sum p=۱۰۰\%$	$\sum P\cdot P_i\neq ۱۰۰\%$

به عبارتی جدول فوق نحوه تبدیل درصد وزنی عبوری از هر الک (P,P_i) را به درصد وزنی محدوده‌های سایز مشخص (P_i) نمایش می‌دهد.

۲) منحنی دانه‌بندی از سمت بالا دست (سایز درشت) همواره به $p.p_i=۱۰۰$ محدود می‌شود که معرف سایز ماکزیمم خاک است. لیکن در تعیین سایز ماکزیمم به نکات ذیل می‌بایست دقت شود.

- خط افقی در منحنی دانه‌بندی نشانگر عبور تمامی ذرات خاک از آن الک مشخصه است و در تفسیرها می‌تواند نادیده گرفته شود.





با نادیده گرفتن خطوط افقی می‌توان پذیرفت سایز ماکزیمم این خاک $D_{max} = ۶\ mm$ است.

۳) یکی از ویژگی‌های مهم منحنی دانه‌بندی بیان تفسیر هر نقطه از منحنی دانه‌بندی خاک در راستای ادبیات فنی است، این مهم به عنوان نمونه برای نقطه‌ای از منحنی فرضی ذیل به قرار جملات زیر قابل بیان است:

(۱) $P.P_{۳}mm = ۴۰\%$

(۲) درصد عبوری از الک ۳^{mm} میلی‌متری ۴۰% است.

(۳) $R.P_{۳}\ mm = ۶۰\%$

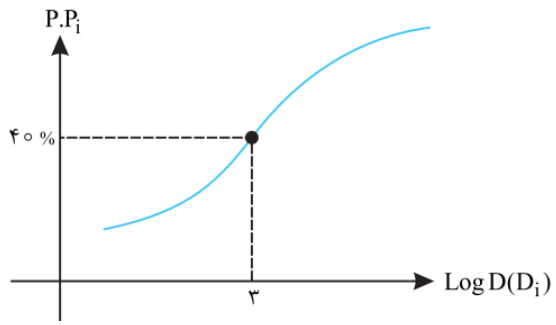
(۴) درصد مانده الک ۳^{mm} میلی‌متری معادل ۶۰% است.

(۵) $D_{۴۰\%}$ یا $D_{۴۰} = ۳^{mm}$

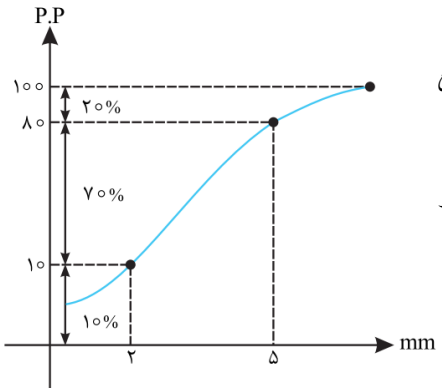
(۶) الک مشخصه برای درصد عبوری ۴۰% الک ۳^{mm} میلی‌متری می‌باشد.

(۷) ۴۰% وزنی خاک از سایز ۳^{mm} کوچک‌تر یا مساوی آن است.

(۸) ۶۰% وزنی خاک سایزی درشت‌تر از ۳^{mm} دارد.



۴) ویژگی بعدی منحنی دانه‌بندی تفسیر همزمان دو نقطه از این منحنی است که با مثال ذیل قابل بیان است:



الف) ۷۰% وزنی خاک سایزی معادل ۲ تا ۵ میلی‌متر یا مساوی ۵ دارد.

ب) (۱۰+۲۰) = ۳۰% وزنی خاک سایزی درشت‌تر از ۵ میلی‌متر و یا ریزتر یا مساوی ۲ میلی‌متر دارد.

ج) $\begin{cases} D_{۸۰} - D_{۱۰} = ۳^{mm} \\ P.P_{۵} - P.P_{۲} = ۷۰\% \end{cases}$

۳.۳ کاربردهای منحنی دانه‌بندی خاک

۱.۳.۳ کاربرد اول ـ سؤالات مفهومی

در این سؤالات بر پایه ویژگی‌ها و تعاریف منحنی دانه‌بندی خاک‌ها، با حضور اطلاعات پایه خواستار منحنی دانه‌بندی هستیم و یا براساس منحنی دانه‌بندی موجود تفسیرهای مربوطه به نقاط مختلف منحنی جای سؤال است. با طرح چند مثال به انواع این سؤالات پرداخته می‌شود.

مثال: در خاکی اطلاعات زیر طی آزمایش دانه‌بندی بدست آمده است. منحنی دانه‌بندی خاک کدام است؟

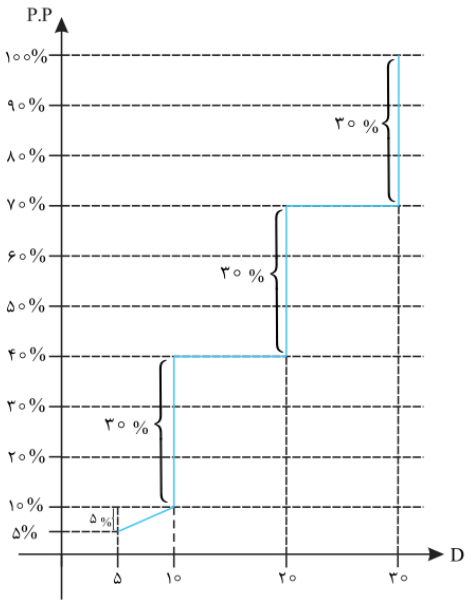
۳۰% وزنی خاک سایزی معادل ۳۰^{mm} دارد.

۳۰% وزنی خاک سایزی معادل ۲۰^{mm} دارد.

۳۰% وزنی خاک سایزی معادل ۱۰^{mm} دارد.

۱۰% وزنی خاک سایزی کوچک‌تر از ۱۰^{mm} دارد.

۵% وزنی خاک سایزی کوچک‌تر از ۵^{mm} دارد.



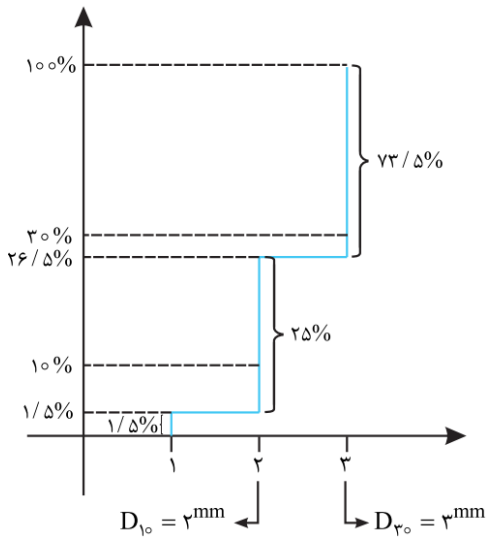
براساس ویژگی‌های منحنی دانه‌بندی خاک؛ لازم به توضیح است که حضور تک‌سایز در خاک با خط قائم در منحنی دانه‌بندی معادل است. پس سه جمله اول صورت سؤال معرف حضور ۳۰% وزنی خاک به صورت تک‌سایز از اندازه‌های ۳۰، ۲۰ و ۱۰ میلی‌متر است در حالی‌که هیچ‌گونه میان دانه‌ای حد واسط این سایزها معرفی نشده است (خطوط افقی بین سایزها). پس داریم:

مثال: یک ماسه‌ی مصنوعی از گوی‌های شیشه‌ای به قطر ۱ میلی‌متر، چدنی به قطر ۲ میلی‌متر و فولادی به قطر ۳ میلی‌متر به تعداد به ترتیب n ،$2n$ ،$3n$ تشکیل شده است. مطلوبست تعیین D_{10} و D_{30} خاک مورد نظر؟ ($\gamma_{\text{شیشه‌ای}}=6\gamma$ ،$\gamma_{\text{چدنی}}=2\gamma$ ،$\gamma_{\text{فولادی}}=\gamma$)

از آن‌جایی که منحنی دانه‌بندی معرف توزیع درصد وزنی سایزهای تشکیل‌دهنده است. پس داریم:

گوی	قطر	تعداد	وزن گوی‌های هر گروه	درصد وزنی P_i	$P\cdot P_i$
شیشه‌ای	1^{mm}	$3n$	$\frac{\pi}{6}(1)^3\times\gamma\times 3n=3A$	$\frac{3A}{213A}=1/5\%$	$1/5\%$
چدنی	2^{mm}	$2n$	$\frac{\pi}{6}(2)^3\times 3\gamma\times 2n=48A$	$\frac{48A}{213A}=25\%$	$26/5\%$
فولادی	3^{mm}	n	$\frac{\pi}{6}(3)^3\times 6\gamma\times n=162A$	$\frac{162A}{213A}=73/5\%$	100%
			$\sum=213A$	$\sum=100\%$	

$$\frac{\pi}{6}\times\gamma\times n=A$$



از آن‌جایی که خاک مصنوعی مورد نظر تک‌سایز است پس منحنی حاصل منحنی پله‌ای است و متشکل از خطوط افق و قائم.

۲.۳.۳ کاربرد دوم

براساس منحنی دانه‌بندی، نوع منحنی دانه‌بندی قابل تفسیر است که می‌تواند نماد عمومی از وضعیت مکانیکی و فیزیکی خاک را بدست دهد. به‌طوری که:

الف) خوب دانه‌بندی شده، یعنی رفتار کلی خاک خوب را داراست. به عبارتی:

۱) مقاومت زیادی دارد.
۲) تراکم‌پذیری بهتری دارد.
۳) نشست کم‌تری دارد.
۴) مشخصات فیزیکی بهتری دارد.
۵) نفوذپذیری کمتری دارد.
۶) باربری مناسب‌تری دارد.

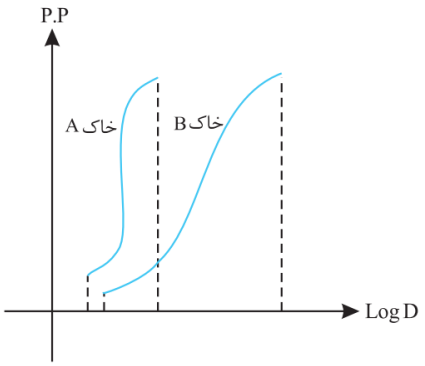
ب) بد دانه‌بندی شده، یعنی رفتار کلی خاک خوب را ندارد.

۱.۲.۳.۳ روش‌های کنترل نوع دانه‌بندی

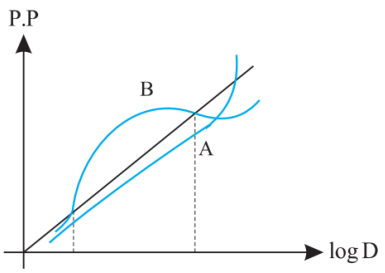
به منظور تعیین نوع خوب یا بد دانه‌بندی شده خاک سه روش مرسوم است که استفاده از هر کدام بر پایه میزان اطلاعات در دسترس سؤال می‌بایست انتخاب گردد.

روش اول) روش کیفی: این روش در سؤالاتی هیچ مقدار عددی مشخص بیان نشده است؛ کاربرد دارد.

در این روش، دو معیار گستردگی زیاد و عدم انحناء زیاد منحنی به عنوان معیارهای اصلی خوب دانه‌بندی شده معرفی می‌گردند. اولویت با معیار گستردگی است و عموماً از این روش کیفی در مقایسه دو خاک بهره گرفته می‌شود.



(I) گستردگی منحنی دانه‌بندی از نظر سایزهای تشکیل‌دهنده ملاک خوب دانه‌بندی شده است. خاک B خوب دانه‌بندی شده است چون همه رده و سایز خاک را دارا می‌باشد.



(II) اگر گستردگی منحنی دانه‌بندی خاک‌های تحت مقایسه یکسان بود معیار خوب دانه‌بندی شدن، انحنا کم‌تر منحنی نسبت به نیمساز فضای دانه‌بندی است. خاک A بهتر از خاک B است.