

دانش اگر در ثریا هم باشد مردمانی از سرزمین پارس بر آن دست خواهند یافت.

پیامبر اعظم (ص)

شرح جامع و نمونه سوالات

دروس تخصصی مکانیک سنگ (ژئوتکنیک)

«مهندسی معدن»

(مکانیک سنگ)

مولفان: حاصل امینی خوشالان – مجتبی حسین‌پور سجیدان

انتشارات ارشد

پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس(منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشـــــر

www.arshadbook. ir

پیشگفتار مؤلف

مهندسی ژئوتکنیک (Geotechnical engineering) زیر شاخه‌ای‌ست حیاتی و عمده از مهندسی عمران که پیرامون مهارت‌ها، فنون و دانشهای مورد نیاز برای مطالعه و پیش‌بینی رفتارهای مکانیکی و هیدرولیکی انواع خاک‌ها و سنگ‌ها تحت اثر نیروها و بارهای وارده از سوی سازه‌های ساخت انسان و نیز ارائه توصیه‌ها و دستورات کیفی و کمی لازم جهت طراحی، اجراء، و نگهداری آن‌ها بوجود آمده است.

مهندسی ژئوتکنیک یکی از شاخه‌های مهندسی عمران است که سالیان اخیر در پی رشد روزافزون تاسیسات حیاتی و صنایع بزرگ از یک سو و خسارات وارده بر مناطق زلزله خیز از سوی دیگر، موجب شده تا این رشته از دیدگاه بررسی تاثیر رفتار لرزه‌ای خاک بر مستحدثات بسیار مورد توجه قرار گیرد. زیرا، طراحی لرزه‌ای یا مقاوم سازی سازه‌ها با ملحوظ نمودن ابعاد ژئوتکنیکی آن امری اجتناب ناپذیر است. در راستای تحقق این اهداف، پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک با برنامه‌ها و وظایف زیر تشکیل شده است.

در کتاب حاضر تلاش شده است تا به موضوعات اصلی بحث ژئوتکنیک که بیشتر در کنکور کارشناسی ارشد رشته های مهندسی معدن و عمران مورد توجه قرار می گیرد پرداخته شود.

با سپاس

حاصل امینی خوشالان

مجتبی حسین‌پور سجیدان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ناشر..... **۳**

پیشگفتار ناشر..... **۴**

فصل اول: منشأ خاک و اندازه ذرات – ترکیب خاک

۱-۱- منشأ خاک..... ۱۱

۱-۲- ساختار خاک..... ۱۱

۱-۳- اندازه ذرات خاک..... ۱۲

۱-۴- دانه‌بندی..... ۱۲

۱-۵- اندازه مؤثر ضریب یکنواختی و ضریب دانه‌بندی (ضریب خمیدگی)..... ۱۳

۱-۶- روابط وزنی – حجمی خاک..... ۱۴

۱-۷- خواص خمیری خاک‌ها..... ۱۷

خلاصه فصل..... ۲۱

فصل دوم: طبقه‌بندی خاک – تراکم خاک

۲-۱. طبقه‌بندی خاک‌ها..... ۳۷

۲-۲- تراکم خاک (SOIL COMPACTION)..... ۴۱

خلاصه فصل..... ۴۸

فصل سوم: نفوذپذیری و تراوش – تنش مؤثر (PERMEABILITY AND SEE PAGE)

۳-۱- گرادیان (شیب) هیدرولیکی..... ۶۱

۳-۲- قانون دارسی..... ۶۲

۳-۳- ضریب نفوذپذیری..... ۶۲

۳-۴- شبکه جریان..... ۶۹

۳-۵- فشار برکنش (UPLIFT PRESSURE) یا بالابرنده آب..... ۷۱

۳-۶- تنش مؤثر..... ۷۲

۳-۷- استفاده از فیلتر برای افزایش ضریب ایمنی در مقابل بالازدگی..... ۷۶

۳-۸- صعود موئینه در خاک‌ها..... ۷۶

۳-۹- تنش مؤثر در خاک‌های نیمه اشباع..... ۷۷

عنوان **صفحه**

خلاصه فصل ۷۸

فصل چهارم: تنش در توده خاک

۴-۱- تنش قائم و برشی روی یک صفحه ۹۹
۴-۲- افزایش تنش در خاک به علت بار متمرکز ۱۰۰
۴-۳- افزایش تنش قائم ناشی از بار خطی ۱۰۱
۴-۴- افزایش تنش قائم ناشی از بار نواری (عرض محدود و طول نامحدود): ۱۰۱
۴-۵- افزایش تنش قائم در خاک در زیر مرکز یک سطح بارگذاری دایره با شدت یکنواخت: ۱۰۲
۴-۶- روش‌های تقریبی محاسبه گسترش تنش در خاک ۱۰۲
خلاصه فصل ۱۰۴

فصل پنجم: نشست خاک

۵-۱- انواع نشست های خاک ۱۱۳
۵-۲- آزمایش تحکیم ۱۱۳
۵-۳- تأثیر دست‌خوردگی در روی نمودار تخلخل- فشار ۱۱۷
۵-۴- تأثیر دوام بار در روی نمودار نسبت تخلخل فشار ۱۱۸
۵-۵- نشست به علت تحکیم اولیه یک بعدی ۱۱۸
۵-۶- نشست به علت تحکیم ثانویه ۱۲۱
۵-۷- سرعت تحکیم ۱۲۱
۵-۸- نشست آنی ۱۲۴
خلاصه فصل ۱۲۵

فصل ششم: پایداری شیروانی‌های خاکی

۶-۱- انواع زمین لغزش ۱۳۷
۶-۲- ضریب ایمنی (ضریب اطمینان) ۱۳۸
۶-۳- پایداری شیروانی نامحدود بدون تراوش (نشت) ۱۳۹
۶-۴- پایداری شیروانی نامحدود همراه با تراوش (نشت) ۱۳۹
۶-۵- شیروانی محدود ۱۴۰
خلاصه فصل ۱۴۳

فصل هفتم: مقاومت برشی و تعادل خمیری در خاک‌ها

۷-۱- معیار گسیختگی مور ـ کلمب ۱۵۱
۷-۲- آزمون‌های آزمایشگاهی برای تعیین (c,ϕ) خاک ۱۵۲
۷-۳- انواع آزمایش‌های سه محوری ۱۵۴
۷-۴- بررسی دوایر مور در آزمایش‌های مختلف سه محوری ۱۵۵

عنوان **صفحه**

۷-۵- رابطه بین نمودار دوایر مور تنش‌ها در آزمایشات UU، CU و CD ۱۵۷
۷-۶- تأثیر پدیده انبساط خاک در لحظه گسیختگی در شرایط زهکشی نشده ۱۵۸
۷-۷- رس‌های حساس ۱۵۸
۷-۸- ضریب فشار آب حفره‌ای اسکمپتون (A , B) ۱۵۸
۷-۹- مقاومت پس‌مانده ۱۵۹
۷-۱۰- پوش گسیختگی واقعی ۱۶۰
۷-۱۱- قضیه حالات مرتبط ۱۶۰
۷-۱۲- مسیرهای تنش در آزمون‌های آزمایشگاهی ۱۶۱
۷-۱۳- آزمایش برش پره ۱۶۲
۷-۱۴- نکات تکمیلی ۱۶۲
خلاصه فصل ۱۶۳
سؤالات ژئوتکنیک سراسری سال ۱۳۸۸ ۱۷۲
پاسخنامه ژئوتکنیک سراسری سال ۱۳۸۸ ۱۷۴
سئوالات ژئوتکنیک سراسری سال ۱۳۸۹ ۱۷۶
پاسخنامه ژئوتکنیک سراسری سال ۱۳۸۹ ۱۷۸

فصل اول

منشأ خاک و اندازه ذرات – ترکیب خاک

عناوین اصلی

- منشأ و ساختار خاک
- اندازه ذرات خاک
- دانه‌بندی خاک
- روابط وزنی – حجمی خاک
- خواص خمیری خاک‌ها

فصل اول

منشأ خاک و اندازه ذرات – ترکیب خاک

در مفهوم مهندسی، خاک‌ها به عنوان سنگدانه‌های غیر سیمانته از ذرات معدنی و مواد آلی فاسد شده (ذرات جامد) تعریف شده‌اند که فضای خالی بین این ذرات جامد را مایع و گاز پر کرده است. خاک به عنوان مصالح ساختمانی در پروژه‌های مختلف و نیز به عنوان یک تکیه‌گاه برای پی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، مهندسین باید خواص خاک از جمله منشاء، توزیع دانه‌بندی، قدرت زهکشی، قابلیت فشردگی، مقاومت برشی، ظرفیت باربری و دیگر خواص آن را مورد مطالعه قرار دهند.

۱-۱- منشأ خاک

دانه‌های کانی که تشکیل‌دهنده قسمت جامد خاک هستند از هوازدگی سنگ‌ها بوجود می‌آیند. دامنه تغییرات اندازه دانه‌ها وسیع است. خیلی از خواص فیزیکی خاک، توسط اندازه، شکل و ترکیبات شیمیایی دانه‌ها دیکته می‌شوند. هوازدگی فرآیند خرد شدن سنگ‌ها (آذرین، رسوبی، دگرگونی) به قطعات کوچکتر به وسیله فعل و انفعالات مکانیکی و شیمیایی است.

هوازدگی مکانیکی می‌تواند به وسیله انقباض و انبساط سنگ به علت تغییرات دما رخ دهد که در نهایت منجر به خرد شدن سنگ می‌شود. همچنین انجماد آب‌های نفوذی به داخل خلل و فرج سنگ که همراه با افزایش حجم یخ است، می‌تواند فشار کافی برای خرد شدن سنگ را بوجود آورد. سایر عوامل فیزیکی که به خرد شدن سنگ کمک می‌کنند، عبارتند از: یخ یخچالی، باد، آب جاری در رودخانه‌ها و جویبارها و امواج دریا.

در هوازدگی شیمیایی، به وسیله واکنش‌های شیمیایی، کانی‌های اصلی سنگ به کانی‌های جدید تبدیل می‌شوند. آب و دی اکسید کربن هوا، تشکیل اسید کربنیک می‌دهند که اسید حاصل بر روی کانی‌های سنگ‌های موجود واکنش شیمیایی انجام داده و تشکیل کانی‌های جدید و نمک‌های محلول می‌دهد.

خاک‌ها از دیدگاه شیوه و جای پیدایش به دو دسته خاک‌های برجا و خاک‌های حمل شده تقسیم می‌شوند و خود خاک‌های حمل شده نیز بر حسب نوع حمل و نوع رسوب‌گذاری شامل طبقه‌بندی زیر می‌باشد:

خاک‌های یخچالی، خاک‌های آبرفتی، خاک‌های دریاچه‌ای، خاک‌های دریایی، خاک‌های بادی و خاک‌های ثقلی.

۱-۲- ساختار خاک

اصطلاحی است که ترتیب قرار گرفتن ذرات خاک و نیز چگونگی تأثیر نیروهای بین ذرات خاک را بیان می‌کند. خاک‌ها از نظر ساختار، به دو گروه تقسیم می‌شوند:

۱- خاک‌های دانه‌ای (غیرچسبنده)

۲- خاک‌های چسبنده.

خاک‌های دانه‌ای یا غیرچسبنده، از ذرات مجزایی تشکیل شده‌اند که بین آنها پیوندی وجود ندارد. برای بیان میزان تراکم این خاک‌ها به ترتیب از عبارات «سست»، «نیمه متراکم» و «متراکم» استفاده می‌شود. در بین ذرات خاک‌های چسبنده، پیوند و چسبندگی وجود دارد. عامل اصلی چسبندگی نیز وجود کانی‌های رسی است. برای بیان میزان تراکم این خاک‌ها به ترتیب از عبارات «شل»، «سفت» و «سخت» استفاده می‌شود.

عامل مقاومت برشی در خاک‌های غیرچسبنده یا دانه‌ای، اصطکاک میان ذرات مجزای آن است. این اصطکاک با ضریبی به نام زاویه اصطکاک داخلی خاک (φ) تعریف شده و ترکیبی از مقاومت لغزشی و مقاومت غلتشی ذرات خاک، اندازه این ضریب را تعیین می‌کند. حداکثر شیب پایدار یک خاکریز از خاک دانه‌های خشک برابر با این زاویه است.

از طرف دیگر، عامل مقاومت برشی در خاک‌های چسبنده، چسبندگی (C) بین ذرات آن است. لازم به ذکر است که یک خاک می‌تواند هم دارای زاویه اصطلکاک داخلی (φ) و هم چسبندگی (C) باشد و لذا مقاومت برشی آن تابع هر دوی این پارامترها خواهد بود.

۱-۳- اندازه ذرات خاک

اندازه ذراتی که خاک از آنها تشکیل شده است. بر حسب اندازه دانه‌ها، خاک‌ها معمولاً شن (Gravel)، ماسه (Sand)، لای (Silt) و یا رس (Clay) نامیده می‌شوند. سازمان‌ها و ادارات مختلفی، محدوده تفکیک شده ذرات خاک را ارائه کرده‌اند که در حال حاضر روش متحده (یونیفاید) گروه مهندسی ارتش و سازمان عمران آمریکایی روشی است که در جهان پذیرفته شده است و به صورت زیر است:

خاک	اندازه ذرات بر حسب میلی‌متر
شن	۷۶/۲ – ۴/۷۵
ماسه	۴/۷۵ – ۰/۰۷۵
ریزدانه‌ها (سیلت (لای) و رس)	< ۰/۰۷۵

معمولاً ذرات از ۰/۰۷۵ میلیمتر تا ۰/۰۰۲ میلیمتر را سیلت و ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر را رس می‌نامند.

۱-۴- دانه‌بندی

دانه‌بندی خاک، تعیین دامنه اندازه ذرات موجود در خاک است که بر حسب درصدی از وزن کل خشک خاک بیان می‌شود.

دو روش تعیین توزیع وزنی اندازه دانه‌های خاک

- آزمایش دانه‌بندی: برای ذراتی با قطر بزرگتر از ۰/۰۷۵ میلیمتر.
- آزمایش‌های هیدرومتری: برای ذراتی با قطر کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلیمتر.

آزمایش دانه‌بندی عبارتست از لرزاندن خاک بر روی یک سری الک که اندازه‌های آن به ترتیب از بالا به پایین کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش دانه‌بندی معمولاً بر حسب درصد وزنی خاک‌های عبوری از هر الک بیان می‌شود.

آزمایش هیدرومتری بر پایه اصول ته‌نشینی دانه‌های خاک در آب قرار دارد. در این روش از سرعت ته‌نشینی ذرات خاک در آب طبق قانون استوکس استفاده می‌شود. این آزمایش برای تعیین ضمنی دانه‌بندی خاک‌هایی با ذراتی تا ۰/۵ میکرون معتبر است.

منحنی دانه‌بندی: منحنی نیمه لگاریتمی که نشان‌دهنده تحلیل‌های مکانیکی (نتایج آزمایش دانه‌بندی و آزمایش هیدرومتری) می‌باشد. قطر دانه‌ها در روی محور لگاریتمی افقی و درصد عبوری مربوطه در روی محور غیرلگاریتمی قائم برده می‌شود. از روی منحنی دانه‌بندی می‌توان درصد شن، ماسه، لای و رس را بدست آورد.

۱-۵- اندازه مؤثر ضریب یکنواختی و ضریب دانه‌بندی (ضریب خمیدگی)

از منحنی دانه‌بندی می‌توان برای مقایسه خاک‌های مختلف استفاده کرد. همچنین سه پارامتر پایه که از آنها برای طبقه‌بندی خاک‌های دانه‌ای استفاده می‌شود، از روی منحنی دانه‌بندی قابل تعیین است. این سه پارامتر عبارتند از: اندازه مؤثر، ضریب یکنواختی، ضریب دانه‌بندی (ضریب خمیدگی).

- اندازه مؤثر: قطری که در روی منحنی دانه‌بندی مربوط به درصد عبوری ۱۰ درصد است و با $D_{۱۰}$ نشان داده می‌شود.
- ضریب یکنواختی: با C_u نشان داده می‌شود و مطابق زیر بدست می‌آید:

$$C_u = \frac{D_{۶۰}}{D_{۱۰}}$$

که در آن:

$D_{۶۰}$ = قطر مربوط به درصد عبوری ۶۰ درصد در روی منحنی دانه‌بندی.

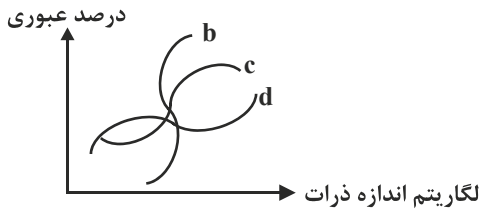
- ضریب دانه‌بندی: با C_c نشان داده می‌شود و برابر است با:

$$C_c = \frac{D_{۳۰}^{۲}}{D_{۶۰} \times D_{۱۰}}$$

که در آن:

$D_{۳۰}$ = قطر مربوط به درصد عبوری ۳۰ درصد در روی منحنی دانه‌بندی.

انواع مختلف منحنی‌های دانه‌بندی



شکل (۱-۱) انواع مختلف منحنی‌های دانه‌بندی خاک را نشان می‌دهد.

منحنی a، نشان‌دهنده خاکی می‌باشد که اندازه ذرات آن در دامنه وسیعی توزیع شده است که به آن خاک خوب دانه‌بندی شده می‌گویند.

منحنی b، نشان‌دهنده خاکی است که اکثر دانه‌های خاک دارای اندازه یکسانی می‌باشند. به این خاک، خاک بد دانه‌بندی شده می‌گویند.

منحنی c، ترکیبی از دو و یا چند خاک با دانه‌بندی یکنواخت می‌باشد. قسمتی از منحنی افقی است و بیانگر آن است که روی یکسری از الک‌های میانی خاک باقی نمانده است. به این نوع خاک، خاک با دانه‌بندی منفصل می‌گویند.

شرایط خاک بد دانه‌بندی شده

شرایطی که باعث می‌شوند تا خاک بد دانه‌بندی شده نامیده شود، عبارتست از:

۱- دانه‌بندی یکنواخت (مانند منحنی b)

۲- دانه‌بندی میان تهی یا منفصل (مانند منحنی c)

در شن خوب دانه‌بندی شده: $C_u \geq ۴$ و $۱ \leq C_c \leq ۳$

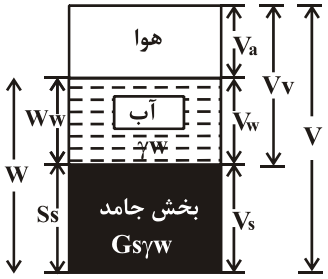
در ماسه خوب دانه‌بندی شده: $C_u \geq ۶$ و $۱ \leq C_c \leq ۳$

در خاک با دانه‌بندی یکنواخت: $C_u = ۱$ و $C_c = ۱$

۱-۶- روابط وزنی – حجمی خاک

در شکل زیر المانی از خاک به حجم V و وزن W نشان داده شده است. برای بدست آوردن روابط وزنی – حجمی، خاک را به سه بخش تقسیم می‌کنیم و وزن هوا را نادیده می‌گیریم (شکل ۱-۲).

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



V_s = حجم بخش جامد خاک

V_v = حجم فضاهای خالی

V_w = حجم آب درون فضاهای خالی

V_a = حجم هوای درون فضاهای خالی

$$W = W_s + W_w$$

W_s = وزن بخش جامد خاک

W_w = وزن آب

نسبت تخلخل (ضریب پوکی): نسبت حجم فضاهای خالی به حجم بخش جامد خاک:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

پوکی (تخلخل): نسبت حجم فضاهای خالی به حجم کل:

$$n = \frac{V_v}{V}$$

درجه اشباع: نسبت حجم آب به حجم فضاهای خالی:

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

رابطه میان نسبت تخلخل و پوکی عبارتست از:

$$e = \frac{n}{n-1} \text{ یا } n = \frac{e}{1+e}$$

میزان رطوبت: نسبت وزن آب به وزن بخش جامد خاک:

$$w = \frac{Ww}{ws}$$

وزن مخصوص خاک یا وزن مخصوص مرطوب: وزن واحد حجم خاک مرطوب:

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s(1+w)}{V}$$

وزن مخصوص خشک: وزن واحد حجم خاک خشک:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\gamma}{1+W}$$

جرم مخصوص: جرم مخصوص مرطوب خاک به صورت $\rho = \frac{M}{V}$ و جرم مخصوص خشک خاک به صورت $\rho_d = \frac{M_s}{V}$ تعریف می‌شود که در این جا:

ρ = جرم مخصوص مرطوب خاک $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

ρ_d = جرم مخصوص خشک خاک $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

M = جرم کل نمونه خاک (kg)

M_s = جرم بخش جامد نمونه خاک (kg)

وزن مخصوص مرطوب و خشک خاک را بر حسب $\frac{N}{m^3}$ می‌توان از روی جرم مخصوص بر حسب $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ بدست آورد:

$$\gamma = \rho g = 9/81\rho \text{ و } \gamma_d = \rho_d g = 9/81\rho_d$$

$$\gamma_w = 1\frac{gr}{cm^3} = 1000\frac{kg}{m^3} = 9810\frac{N}{m^3} = 9/81\frac{k_N}{m^3} \simeq 10\frac{k_N}{m^3}$$

چگالی دانه‌ها:نسبت وزن مخصوص دانه‌های جامد خاک به وزن مخصوص آب:

$$G_S = \frac{\gamma_S}{\gamma_w}$$

روابط میان وزن مخصوص، نسبت تخلخل، میزان رطوبت و چگالی

برای این منظور حجم بخش جامد المان خاک را در نظر می‌گیریم، بدین ترتیب حجم فضاهای خالی از لحاظ عددی مساوی e خواهد بود.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s\gamma_w + wG_s\gamma_w}{۱+e} = \frac{(۱+w)G_s\gamma_w}{۱+e}$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s\gamma_w}{۱+e}$$

$$e = \frac{G_s\gamma_w}{\gamma_d} - ۱$$

$$Sr.e = wG_s$$

در خاک‌های اشباع که فضاهای خالی آنها کاملاً از آب پر است، $S_r = ۱$ وزن مخصوص اشباع برابر است با:

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{۱+e} \quad \text{و} \quad S_r = ۱ \Rightarrow e = wG_s$$

روابط میان وزن مخصوص، پوکی و میزان رطوبت

برای این منظور حجم کل المان خاک را ۱ فرض می‌کنیم، بدین ترتیب V_v با n مساوی است و $V_s = ۱ - n$.

وزن مخصوص خشک:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = G_s\gamma_w(۱-n)$$

وزن مخصوص اشباع:

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_w}{V} = \left[(۱-n)G_s + n\right]\gamma_w$$

وزن مخصوص مرطوب:

$$\gamma = \frac{W_s + W_w}{V} = G_s\gamma_w(۱-n)(۱+w)$$

میزان رطوبت اشباع:

$$w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{n}{(۱-n)G_s}$$

وزن مخصوص غوطه‌وری:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{G_s - ۱}{۱+e}.\gamma_w$$

معمولاً در یک توده خاک، سه کمیت w، γ و G_s در آزمایشگاه یا در محل به دست آمده و توسط روابط فوق بقیه کمیت‌ها مشخص می‌شوند.

تراکم نسبی (دانسیته نسبی):

$$D_r = \left(\frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}\right) = \frac{\gamma_{d,max}}{\gamma_d}\left(\frac{\gamma_d - \gamma_{d,min}}{\gamma_{d,max} - \gamma_{d,min}}\right)$$

دانسیته نسبی (Relative Density)، معمولاً برای خاک‌های دانه‌ای به کار می‌رود. برای تعیین e_{max} (سست‌ترین حالت خاک) و e_{min} (متراکم‌ترین حالت خاک) از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی استفاده می‌شود. توصیف خاک‌های دانه‌ای بر حسب تراکم نسبی مطابق جدول زیر است:

توصیف خاک دانه‌ای	تراکم نسبی (درصد)
خیلی شل	۰ – ۱۵
شل	۱۵ – ۵۰
متوسط	۵۰- ۷۰
متراکم	۷۰ – ۸۵
خیلی متراکم	۸۵ - ۱۰۰

۱-۷- خواص خمیری خاک‌ها

مهم‌ترین خاصیت خاک‌های ریزدانه، خاصیت خمیری آنهاست. چنانچه با اعمال نیرو شکل یک توده خاک مرطوب را بتوان تغییر داد، بدون آنکه حجم آن تغییر کند و یا آنکه پس از حذف نیرو به شکل اول برگردد، یا آنکه شکاف خورده و ترک بردارد، می‌گویند این خاک دارای خاصیت خمیری یا پلاستیسیته است. عامل اصلی این خاصیت نیز وجود ذرات رس در خاک می‌باشد. نیروی جاذبه بین ذرات رسی در حالت خمیری به اندازه‌ای است که ذرات می‌توانند به آسانی روی هم بلغزند و در عین حال پیوستگی آنها حفظ گشته و از هم گسیخته نشوند.

حدود اتربرگ: اتربرگ (Atterberg) دانشمند خاک‌شناس سوئدی (۱۹۸۰)، برای بیان حالت پلاستیک و حدود خمیری و تغییرات آن بر حسب مقدار آب، ۵ حالت را مشخص کرده است:

۱- حد روانی
۲- حد سفتی
۳- حد خشکی (چسبندگی)
۴- حد خمیری
۵- حد انقباض.

(از موارد فوق حد روانی و حد خمیری در رده‌بندی خاک‌ها، به کار می‌روند.)

بنابر میزان رطوبت، خاک ممکن است حالات مایع، خمیری، نیمه جامد و یا جامد را به خود بگیرد.

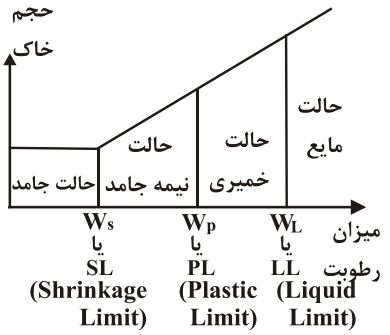
کاهش میزان رطوبت سبب کاهش حجم خاک در حالات مایع، خمیری و نیمه جامد می‌شود، اما حجم خاک در حالت جامد با کاهش رطوبت کم نمی‌شود.

حد انقباض = میزان رطوبتی است که حجم خاک در آن به کمترین مقدار خود ضمن خشک شدن می‌رسد. (w_s)

حد خمیری = کمترین رطوبتی است که خاک در آن هنوز حالت خمیری دارد و در رطوبت کمتر از آن نیمه جامد می‌شود. (w_p)

حد روانی = بیشترین رطوبتی است که خاک در آن رطوبت هنوز حالت خمیری دارد و در رطوبت بیشتر از آن مایع (روان) می‌شود. (w_L)

نمودار زیر ما را در فهم بهتر این تعاریف یاری می‌کند.



(شکل ۱-۳)

حد خمیری را گاهی با PL و حد روانی را نیز گاهی با LL نشان می‌دهند.

محاسبه حد انقباض(w_s یا S.L)

ظرفی که مقداری چرب شده است را با خاک مرطوب پر می‌کنند و سپس توسط کوره خشک می‌شود. پس از درآوردن از کوره کاهش حجم خاک با ریختن جیوه اندازه‌گیری می‌گردد. حد انقباض مطابق زیر محاسبه می‌شود:

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2}\right)(100) - \left[\frac{(v_i - v_f)\rho_w}{m_2}\right](100)$$

که در آن:

m_1 = جرم خاک مرطوب در ظرف در شروع آزمایش (گرم)

m_2 = جرم خاک خشک در ظرف (گرم)

v_i = حجم اولیه خاک مرطوب (که همان حجم داخلی ظرف است cm^3)

v_f = حجم خاک خشک شده در کوره (cm^3)

ρ_w = جرم مخصوص آب $\left(\frac{g_r}{cm^3}\right)$

همچنین حد انقباض از فرمول زیر نیز قابل محاسبه است:

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

که در آن γ_d، وزن مخصوص نمونه خشک شده است.

نشانه خمیری (PI): اختلاف بین حد مایع و حد خمیری خاک می‌باشد:

$$PI = LL - PL$$

نشانه انقباض (SI): اختلاف بین حد مایع و حد انقباض خاک می‌باشد:

$$SI = LL - SL$$

نشانه روانی (LI): ثبات و استحکام نسبی خاک‌های چسبنده در حالت طبیعی می‌تواند با شاخصی به نام نشانه روانی تعریف شود:

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL}$$

که در آن:

w = درصد رطوبت خاک در محل است.

خاک پایدار $LI < 0$

خاک خمیری $0 \le LI \le 1$

خاک روان $LI > 1$

شاخص سفتی (CI): شاخص سفتی (Consistency Index)، نشان‌دهنده میزان سفتی یا شل بودن خمیر خاک ریزدانه است:

$$CI = \frac{LL - w}{PI}$$

خاک سفت و پایدار $CI > ۱$

خاک خمیری $۰ \leq CI \leq ۱$

خاک روان $CI > ۱$

فعالیت رس (Activity): فعالیت به عنوان شاخصی برای شناسایی پتانسیل تورم خاک‌های رسی است. هر چه خاک فعال‌تر باشد، تغییر حجم آن در اثر تغییرات رطوبت بیشتر خواهد بود:

$$A = \frac{PI}{\text{درصد وزنی ذرات رسی}}$$

اندازه ذرات رس و $\leq ۰/۰۰۲mm$

فعالیت کم (رس غیرفعال) $A < ۰/۷$

فعالیت متوسط (رس معمولی) $۰/۷ < A < ۱/۲$

فعالیت زیاد (رس فعال) $۱/۲ < A$

عدد فعالیت تقریبی بعضی از خاک‌های رسی عبارتند از:

کائولینیت ۰/۴، ایلیت ۰/۹، کلسیم مونت موریلونیت ۱/۵ و سدیم مونت موریلونیت ۶.

خاک‌هایی که فعالیت (A) بیشتری دارند در هنگام خشک بودن، قدرت تحمل بار بیشتری دارند و کلوخه‌ای همانند سنگ دارند. رس‌هایی که فعالیت کمتری دارند، پایداری شیمیایی بیشتری خواهند داشت.

در جدول زیر، تعدادی از روابط کیفی بین حدود اتربرگ و خصوصیات مهندسی خاک‌ها، که توسط کاساگرانده ارائه گردیده، آورده شده است:

خصوصیات مهندسی خاک	مقایسه خاک‌ها در LL ثابت و افزایش PI	مقایسه خاک‌ها در PI ثابت و افزایش LL
تحکیم‌پذیری	تقریباً مشابه	افزایش
نفوذپذیری	کاهش	افزایش
نرخ تغییرات حجم	کاهش	افزایش
مقاومت در حدود PL	افزایش	کاهش
مقاومت خشک	افزایش	کاهش

آزمایش تعیین حد روانی: برای تعیین حد روانی، دو روش موجود است:

۱- روش مخروط

۲- روش جام کاسا گرانده

روش مخروط

در این روش، استوانه‌ای به قطر ۵۵mm و ارتفاع ۴۰mm با خاک خمیری پر می‌شود و نوک مخروطی که ۸۰gr وزن دارد بر روی آن قرار می‌گیرد و پس از ۵ ثانیه، فرو رفتن مخروط اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش را در رطوبت‌های مختلف تکرار کرده و حد روانی در این آزمایش به میزان رطوبت مربوط به نفوذ مساوی ۲۰ میلیمتر اطلاق می‌شود.

روش جام کاسا گرانده

در این آزمایش برای تعیین حد روانی، یک مقدار خاک خمیر شده را داخل جام مخصوص قرار می‌دهند. یک شیار در وسط خمیر به وسیله یک شیارکش استاندارد می‌کنند. سپس با کمک میله دستگاه، ظرف تا ارتفاع ۱۰mm بالا رفته و سقوط می‌کند. درصد رطوبتی که در آن یک فاصله ۱۲/۷mm بعد از ۲۵ ضربه در کف شیار بسته شود را به عنوان حد روانی می‌شناسند.