پی و پی سازی

آزمونهای نظام مهندسی

تالیف

هوشیار خزائی

نشر علم عمران

www.elme-omran.com
Info@elme-omran.com

عضو:

انجمن فنی ناشران کتاب دانشگاهی

این اثر مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر و مؤلف، نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

www.shop.civil808.com

civil808

سرشناسه	:	خزائی، هوشیار، ۱۳۵۱
عنوان و نام پدیدآور	:	پی و پی سازی: آزمونهای نظام مهندسی/ تالیف هوشیار خزائی.
مشخصات نشر	:	تهران: علم عمران، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	:	۲٦٤ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	۱۷۰۰۰۰ ریال978-600-5176-24-7:
وضعیت فهرست نویسی		فیپا
موضوع	:	دانشگاه‌ها و مدارس عالی -- ایران -- آزمون‌ها
موضوع	:	پی‌سازی -- راهنمای آموزشی (عالی)، آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)
موضوع	:	خاک -- مکانیک -- راهنمای آموزشی (عالی)، آزمونها و تمرینها (عالی)
موضوع	:	آزمون دوره‌های تحصیلات تکمیلی -- ایران
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۳ ۹ پ ٤٤ خ/LB۲۳۵۳
رده بندی دیویی	:	۳۷۸/۱٦٦٤
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۵۷٦٦٤۲

پی و پی سازی- آزمونهای نظام مهندسی
تالیف: هوشیار خزائی

چاپ اول	تابستان ۱۳۹۳
حروفچینی و صفحه آرایی	علم عمران- طرح نگار پارسی
چاپ	پرستش
تعداد و قطع صفحات	۲٦٤ صفحهٔ وزیری
شمارگان	۱۰۰۰
بهای کتاب	۱۷۰۰۰۰ ریال
شابک ۷-۲٤-٥۱۷٦-٦۰۰-۹۷۸	ISBN 978-600-5176-24-7

نشر علم عمران: تهران، یوسف آباد، خیابان جهان‌آرا، بین خیابانهای ۱٦ و ۱۸، پلاک ۳۳، طبقه دوم، واحد ۱۱
تلفن: ۳۱-۸۸۳۵۳۹۳۰ دورنگار: ۸۸۳۵۳۹۳۲

حقوق چاپ و نشر برای نشر علم عمران محفوظ است.

www.shop.civil808.com

مقدمه ناشر

تحلیل، طراحی و اجرای صحیح ساختمانها نیازمند تجربه و تبحر مهندسان ساختمان می‌باشد. بی‌شک کسب تجربه در شرکتهای مهندسین مشاور و کارگاههای ساختمانی برای مهندسان در کنار افزایش دانش ضروری است؛ که این فرصت معمولا پس از فارغ التحصیلی برای مهندسان بیشتر فراهم می‌شود. یکی از آزمونهای مهم پس از فارغ التحصیلی از مراکز دانشگاهی، آزمونهای نظام مهندسی است. سالهای متمادی است که در کشورمان برای ورود به دنیای حرفه‌ای مهندسی آزمونهای مختلف براساس مبحث‌های مقررات ملی ساختمان برگزار می‌شود. قبولی در این آزمونها برای تمام مهندسان عمران در پایه‌های طراحی، نظارت یا اجرا ضروری است. در این راستا نشر علم عمران سعی نموده با استفاده از دانش و تجربه اساتید مجرب در زمینه این آزمونها، منابع مناسبی را برای متقاضیان ورود به پایه حرفه مهندسان آماده کند. این منابع به صورتی تهیه شده است که علاوه بر یادآوری و بازنگری نکات مهم دروس مهندسی، از طریق حل نمونه سوالات آزمونهای سالهای قبل، متقاضیان را هر چه بیشتر با نحوه برگزاری آزمونها آشنا کند.

مجموعه حاضر یکی از چند درس اصلی مورد نظر برای آزمونهای ورود به حرفه مهندسان است. امید است این مجموعه که با همکاری ارزنده جناب مهندس هوشیار خزائی از مدرسین و مولفین گرانقدر دراین زمینه تهیه شده است برای علاقمندان مفید واقع شود. علیرغم ویرایشهای مکرر در قسمتهای مختلف کتاب ممکن است هنوز ایراداتی وجود داشته باشد. لذا مایه خرسندی است که خوانندگان محترم نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود را از طریق آدرس پست الکترونیک info@elme-omran.com ارسال کنند.

سید مهدی داودنبی

مدیر نشر علم عمران

www.shop.civil808.com

پیشگفتار مولف

کتاب حاضر تحت عنوان "پی و پی سازی" مجموعه‌ای مناسب جهت مطالعه داوطلبان آزمون ورود به حرفه مهندسان می‌باشد که بر اساس مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان تنظیم شده است. در تنظیم این مجموعه سعی بر اختصار و گویایی مطالب با رعایت ویژگیهای زیر بوده است:

۱- تشریح مبانی علمی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان

۲- شرح تصویری الزامات طراحی و اجرایی مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان

۳- بهره‌گیری از روش گام به گام در تشریح سوالات چهار گزینه‌ای به جهت درک بهتر و عمیق‌تر ضوابط محاسباتی و اجرایی

٤- ارائه کاربردی ترین مفاهیم در قالب نکات کلیدی

امیدواریم مطالب این کتاب بتواند مورد استفاده شما قرار گیرد.

در پایان، فرصت را مغتنم شمرده از زحمات و تلاشهای بی‌شائبه جناب آقای سید مهدی داودنبی مدیریت محترم انتشارات علم عمران در آماده‌سازی کتاب و ارائه پیشنهادات ارزنده سپاسگزاری می‌نمایم.

از اساتید، صاحبنظران و مطالعه کنندگان محترم تقاضا می‌گردد با ارائه نظرات و پیشنهادات ارزشمند خود از طریق آدرس الکترونیک khazaei@elme-omran.com ما را در ارائه هر چه بهتر این مجموعه در چاپ‌های بعدی آن یاری نمایند.

هوشیار خزائی

تابستان ۱۳۹۳

www.shop.civil808.com

فهرست مطالب

فصل اول: مشخصات خاک‌ها ۱

۱-۱- منشاء خاک ۱

۱-۲- دانه‌بندی خاک ۳

۱-۳- منحنی دانه‌بندی ۳

۱-٤- آزمایش هم‌ارز ماسه ۵

۱-۵- ترکیب خاک ۵

۱-٦- تراکم نسبی ۱۰

۱-۷- حدود آتربرگ ۱۱

۱-۸- فعالیت ۱۲

۱-۹- طبقه‌بندی خاک (براساس سیستم یونیفاید) ۱۳

۱-۱۰- نکات کلیدی ۲۰

۱-۱۱- سئوالات چهار گزینه‌ای ۲۲

۱-۱۲- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهار گزینه‌ای ۲۸

فصل دوم: تراکم خاک ۳۵

۲-۱- تعریف ۳۵

۲-۲- آزمایش پروکتور استاندارد ۳۵

۲-۳- عوامل مؤثر بر تراکم ۳٦

۲-٤- تراکم کارگاهی ۳۸

۲-۵- مشخصات فنی تراکم کارگاهی ۳۸

۲-٦- روش‌های خاص تراکم ۳۹

۲-۷- نکات کلیدی ٤۰

www.shop.civil808.com

۲-۸- سئوالات چهار گزینه‌ای ۴۲
۲-۹- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهار گزینه‌ای ۴۶

فصل سوم: جریان آب در خاک و تنش مؤثر ۴۹
قسمت اول – جریان آب در خاک ۴۹
۳-۱- مقدمه ۴۹
۳-۲- قانون دارسی ۴۹
۳-۳- ضریب نفوذپذیری ۵۰
۳-۴- روابط تجربی برای تعیین ضریب نفوذپذیری ۵۱
۳-۵- نفوذپذیری معادل در خاک‌های لایه‌بندی شده (غیرهمگن) ۵۱
۳-۶- تعیین ضریب نفوذپذیری در آزمایشگاه ۵۴
قسمت دوم – تنش مؤثر ۵۵
۳-۷- تعریف ۵۵
۳-۸- سطح آب زیرزمینی و تأثیر تغییرات آن بر تنش مؤثر ۵۸
۳-۹- تنش مؤثر در خاک‌های نیمه اشباع ۶۲
۳-۱۰- موئینگی در خاک ۶۲
۳-۱۱- تورم در اثر یخبندان ۶۲
قسمت سوم – تنش‌های قائم ناشی از سربار ۶۳
۳-۱۲- کلیات ۶۳
۳-۱۳- نکات کلیدی ۶۷
۳-۱۴- سئوالات چهار گزینه‌ای ۶۸
۳-۱۵- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهار گزینه‌ای ۷۴

فصل چهارم: نشست خاک ۷۹
۴-۱- مقدمه ۷۹
۴-۲- نشست آنی ۷۹
۴-۳- نشست تحکیم ۸۲
۴-۴- آزمایش تحکیم یک بعدی ۸۴
۴-۵- رس‌های عادی تحکیم یافته و پیش تحکیم یافته ۸۹
۴-۶- محاسبه نشست تحکیم ۸۹

www.shop.civil808.com

٤-٧- سرعت تحکیم ٩١
٤-٨- انواع نشست و آثار آن بر ساختمان ٩٥
٤-٩- نشست مجاز ٩٧
٤-١٠- نکات کلیدی ٩٨
٤-١١- سئوالات چهارگزینه‌ای ٩٩
٤-١٢- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهارگزینه‌ای ١٠٤

فصل پنجم: مقاومت برشی خاک ١٠٩
٥-١- مقدمه ١٠٩
٥-٢- معیار گسیختگی موهر ـ کولمب ١٠٩
٥-٣- مقاومت برشی خاک‌های اشباع ١١٠
٥-٤- روش‌های اندازه‌گیری مقاومت برشی خاک ١١٠
٥-٥- آزمایش فشاری محدود نشده برای رس اشباع ١١٣
٥-٦- مقاومت برشی ماسه ١١٤
٥-٧- حساسیت رس ١١٤
٥-٨- تیکسوتروپی ١١٥
٥-٩- نکات کلیدی ١١٦
٥-١٠- سئوالات چهارگزینه‌ای ١١٨
٥-١١- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهارگزینه‌ای ١٢١

فصل ششم: فشار جانبی خاک و دیوارهای حائل ١٢٣
٦-١- مقدمه ١٢٣
٦-٢- فشار جانبی خاک در حال سکون ١٢٣
٦-٣- فشار محرک رانکین ١٢٧
٦-٤- فشار مقاوم رانکین ١٣٠
٦-٥- کنترل پایداری ١٣٣
٦-٦- پایداری شیروانی‌ها ١٣٥
٦-٧- نکات کلیدی ١٤١
٦-٨- سئوالات چهارگزینه‌ای ١٤٢
٦-٩- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهارگزینه‌ای ١٥٥

www.shop.civil808.com

فصل هفتم: شناسائی‌های زیرسطحی ۱۶۷
۷-۱- مقدمه ۱۶۷
۷-۲- برنامه شناسائی‌ها ۱۶۷
۷-۳- روش‌های گمانه‌زنی (حفاری یا سونداژ) ۱۶۸
۷-۴- روش‌های نمونه‌گیری ۱۶۸
۷-۵- آزمایش نفوذ استاندارد (*SPT*) ۱۶۹
۷-۶- آزمایش نفوذ مخروط (*CPT*) ۱۷۰
۷-۷- آزمایش نفوذ دینامیکی ۱۷۰
۷-۸- آزمایش برش پره (*VST*) ۱۷۰
۷-۹- آزمایش بارگذاری صفحه ۱۷۱
۷-۱۰- آزمایش پرسیومتری (فشارسنجی) ۱۷۴
۷-۱۱- خاک‌های مسئله‌دار ۱۷۵
۷-۱۲- نکات کلیدی ۱۷۹
۷-۱۳- سوالات چهار گزینه‌ای ۱۸۰
۷-۱۴- پاسخنامه تشریحی سوالات چهارگزینه‌ای ۱۸۹

فصل هشتم: پی‌های سطحی (شالوده‌ها) ۱۹۳
۸-۱- مقدمه ۱۹۳
۸-۲- انواع پی‌های سطحی ۱۹۳
۸-۳- انواع گسیختگی خاک زیر پی ۱۹۷
۸-۴- نظریه ظرفیت باربری ترزاقی ۱۹۸
۸-۵- شالوده‌های با بارگذاری برون محور ۱۹۹
۸-۶- تاثیر سطح آب زیرزمینی بر ظرفیت باربری ۲۰۰
۸-۷- توزیع تنش در زیر پی (توزیع فشار خاک) ۲۰۱
۸-۸- اصول کلی در طراحی سازه‌ای پی‌ها ۲۰۳
۸-۹- نکات کلیدی ۲۰۶
۸-۱۰- سئوالات چهارگزینه‌ای ۲۰۷
۸-۱۱- پاسخنامه تشریحی سوالات چهارگزینه‌ای ۲۱۹

فصل نهم: شالوده‌های عمیق (شمع‌ها) ۲۲۷
۹-۱- مقدمه ۲۲۷

www.shop.civil808.com

۹-۲- انواع شمع‌ها از نظر جنس مصالح ۲۲۸
۹-۳- انواع شمع‌ها از نظر مکانیسم انتقال بار ۲۲۹
۹-٤- کوبیدن شمع‌ها ۲۳۰
۹-٥- تعیین ظرفیت باربری شمع ۲۳۱
۹-٦- تعیین ظرفیت باربری مجاز شمع ۲۳۳
۹-۷- نشست شمع‌ها ۲۳۳
۹-۸- اصطکاک منفی ۲۳٤
۹-۹- گروه شمع ۲۳٥
۹-۱۰- تعداد و موقعیت شمع‌ها ۲۳۷
۹-۱۱- قطر و طول شمع ۲۳۷
۹-۱۲- شیب شمع‌ها ۲۳۸
۹-۱۳- نکات کلیدی ۲۳۹
۹-۱٤- سوالات چهار گزینه‌ای ۲٤۲
۹-۱٥- پاسخنامه تشریحی سوالات چهارگزینه‌ای ۲٤٥

معرفی مهندسین مشاور سازیران ۲٤۷
معرفی سازه ۹۰، محصولی از شرکت نرم‌افزاری سازه ۲٤۹

www.shop.civil808.com

www.shop.civil808.com

فصل اول
مشخصات خاک‌ها

۱ – ۱ – منشاء خاک

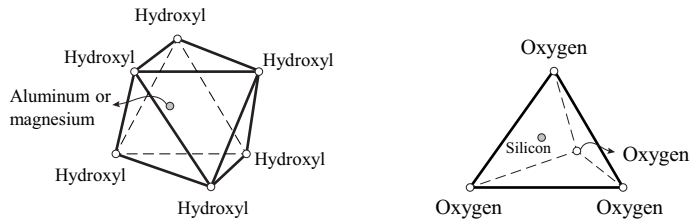
روند تخریبی تشکیل خاک از سنگ ممکن است فیزیکی و یا شیمیایی باشد، **روند فیزیکی** تخریب به صورت فرسایش حاصل از عمل باد، آب و یخچال‌ها و یا خرد شدن ناشی از تناوب یخ زدن و ذوب شدن یخ موجود در حفره‌ها و ترک‌های داخل سنگ صورت می‌گیرد. در این حالت ترکیب شیمیایی دانه‌های خاک به دست آمده همان ترکیب سنگ مادر است. شکل این نوع دانه‌ها معمولاً مکعبی است و ممکن است گوشه‌دار، نیم‌گرد و یا گرد باشند. اندازه دانه‌ها از قلوه‌سنگ تا گرد سنگ که در اثر عمل ساینده یخچال‌ها به وجود می‌آید، متغیر است.

روند شیمیایی به تغییر نوع کانی سنگ مادر در اثر عمل آب (به ویژه اگر قدری اسیدی یا قلیایی باشد)، اکسیژن و گاز کربنیک منتهی می‌شود. تخریب شیمیایی سنگ‌ها موجب پیدایش ذرات ریز بلوری با اندازه کلوئیدی (کوچک‌تر از 0.002 میلیمتر یا 2 میکرون) به نام کانی‌های رسی می‌شود. به عنوان مثال کائولینیت از تجزیه فلدسپات تحت اثر آب و گاز کربنیک بوجود می‌آید. اغلب ذرات کانی‌های رسی صفحه‌ای شکل هستند و سطح مخصوص بسیار بزرگی دارند. این امر سبب آن است که خصوصیات این ذرات به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نیروهای سطحی باشند. کانی‌های رسی ممکن است به صورت ذرات دراز سوزنی شکل هم به وجود آیند، لیکن این نوع ذرات نسبتاً نادر هستند.

نکته: در جریان تخریب سنگ‌ها و پیدایش خاک، گاهی اوقات عمل عکس نیز اتفاق می‌افتد، به این معنی که از خاک، تحت‌تأثیر عوامل ذکر شده قبلی، گونه‌ای از سنگ‌ها به وجود می‌آیند، مانند "ماسه سنگ‌ها" که در شرایط خاصی، از ماسه که خود نوعی خاک رسوبی است، تشکیل می‌شود. همچنین شیل‌های سنگی که سنگ گونه‌هایی حاصل از تحکیم رس‌ها، لجن‌ها، سیلت‌ها و غیره هستند، به وجود می‌آیند. سنگ لوح نیز گونه‌ای از همین سنگ‌ها می‌باشد.

www.shop.civil808.com

بنیان واحدهای ساختمانی بیشتر کانی‌های رسی از سیلیس (SiO_2) چهار وجهی و آلومین (Al_2O_3) هشت وجهی تشکیل شده است (شکل ۱-۱).



ب- هشت وجهی آلومینا — الف- چهار وجهی سیلیکا

شکل ۱-۱- واحدهای اصلی کانی‌های رس

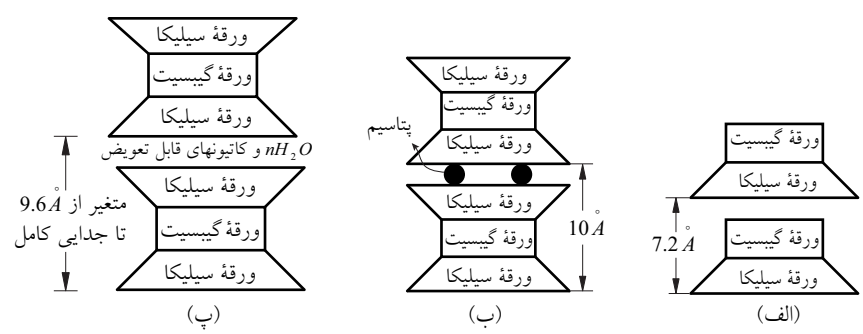
رس‌ها به سه گروه اصلی کائولینیت، ایلیت و مونتموریلونیت تقسیم می‌شوند:

۱- **کائولینیت:** ساختمان کائولینیت از به روی هم قرار گرفتن یک صفحه سیلیس چهار وجهی و یک صفحه آلومین هشت وجهی تشکیل شده است. مقدار کمی هم آب در ترکیب شیمیایی این رس وجود دارد. کائولینیت ساده‌ترین گروه رس‌ها را تشکیل می‌دهد و درنتیجه ورق‌های آن نیز نازک‌تر است. (شکل ۱-۲- الف).

۲- **ایلیت:** ساختمان ایلیت از به هم پیوستن دو صفحه سیلیس و یک صفحه آلومین که در میان صفحات سیلیس قرار دارد شکل گرفته است. بین دو ورق نیز یون‌های پتاسیم (K) قرار دارد و مجموعه دو ورق (۶ صفحه) و لایه یون‌های پتاسیم، عنصر اولیه ایلیت را تشکیل می‌دهد. (شکل ۱-۲- ب).

۳- **مونتموریلونیت:** ساختمان مونتموریلونیت مشابه ساختمان ایلیت می‌باشد، با این تفاوت که در لایه میانی به جای یون‌های پتاسیم (K)، آب یا یون‌های سدیم (Na) قرار گرفته‌اند. آلومین هشت وجهی هم گاهی جای خود را به منیزیم (Mg) می‌دهد (شکل ۱-۲- پ).

نکته: سطح مخصوص کائولینیت درحدود ($15 m^2/gr$)، ایلیت ($80 m^2/gr$) و مونتموریلونیت ($800 m^2/gr$) می‌باشد.



شکل ۱-۲- کانی‌های رس: الف- کائولینیت، ب- ایلیت، پ- مونتموریلونیت

www.shop.civil808.com

ذرات رس در سطح خود بار منفی خالصی حمل می‌کنند. این پدیده هم به علت جانشینی ایزومرفیک و هم به علت شکست پیوستگی ساختمان مولکولی در لبه‌ها می‌باشد. هرچه سطح مخصوص کانی‌ها رس بزرگ‌تر باشد، بار منفی بزرگ‌تر خواهد بود. در رس خشک بار منفی با کاتیون‌های قابل تعویضی، نظیر $K^+, Na^+, Mg^{++}, Ca^{++}$ متعادل می‌گردد که ذرات نگه‌داشته شده به وسیلهٔ جاذبهٔ الکتروستاتیک را احاطه کرده‌اند. وقتی آب به رس اضافه می‌شود، کاتیون‌های فوق و یک تعداد از آنیون‌ها، در حول ذرات رس شناور می‌شوند. این پدیده لایه مضاعف پراکنده نامیده می‌شود. در لایهٔ مضاعف، تمرکز کاتیون‌ها با فاصله از سطح ذره کاهش پیدا می‌کند. مولکول‌های آب قطبی هستند و همانند یک میله (دو قطبی) با بار مثبت در یک انتها و بار منفی در انتهای دیگر عمل می‌کنند.

در لایه مضاعف، مولکول‌های دو قطبی آب هم به وسیله سطح بار منفی ذرات رس و هم به وسیله کاتیون‌ها جذب می‌شوند.

۱-۲- دانه‌بندی خاک

منظور از دانه‌بندی یک خاک تعیین درصد وزنی دانه‌های با حدود و اندازه‌های مختلف است که خاک موردنظر را تشکیل می‌دهد. معمولاً دو روش برای تعیین منحنی دانه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، این دو روش عبارتند از:

الف- آزمایش هیدرومتری

در این آزمایش که برای ذراتی با قطر کوچک‌تر از 0.075 میلی‌متر بکار می‌رود، بر پایه اصول ته‌نشینی دانه‌های خاک در آب (قانون استوکس) استوار است. بدین‌ترتیب که ذرات بزرگ‌تر با سرعت بیشتری نسبت به ذرات کوچک‌تر ته‌نشین می‌شوند.

> **نکته:** قانون استوکس را نمی‌توان برای ذرات کوچک‌تر از 0.002 میلی‌متر به کار برد. ته‌نشینی این‌گونه ذرات تابع قانون حرکتی برونین است.

ب- آزمایش دانه‌بندی

در این آزمایش، نمونه خاک را از تعدادی الک معیاربندی شده که چشمه آن‌ها به ترتیب کوچک‌تر می‌شود عبور می‌دهند. خاک مانده بر روی هر الک توزین می‌شود و سپس درصد وزنی خاک رد شده از الک محاسبه می‌گردد.

۱-۳- منحنی دانه‌بندی

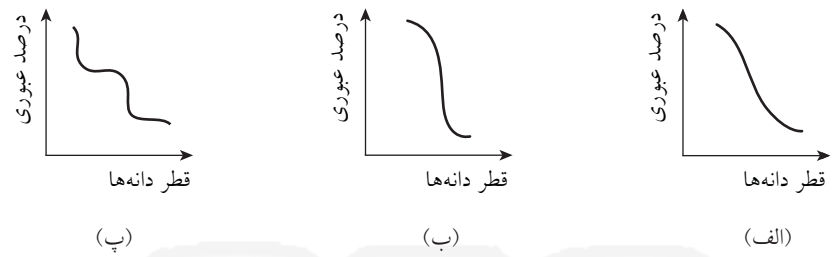
نتایج آزمایشات هیدرومتری و دانه‌بندی معمولاً بر روی یک کاغذ نیمه لگاریتمی ترسیم می‌گردد که به آن منحنی دانه‌بندی می‌گویند. به این ترتیب قطر دانه‌های خاک بر روی محور افقی (لگاریتمی) و درصد عبوری نظیر آن بر روی محور قائم (غیر لگاریتمی) برده می‌شود. انواع خاک‌ها برحسب نوع منحنی دانه‌بندی به شرح زیر می‌باشد:

۱- **خاک خوب دانه‌بندی شده:** یک خاک دانه‌ای (درشت دانه) اگر هیچ‌یک از اندازه‌های دانه‌های آن بیش از اندازه نباشد و هیچ‌یک از اندازه‌های دانه‌های میانی را کسر نداشته باشد، "خاک خوب دانه‌بندی شده" نامیده می‌شود (شکل ۱-۳- الف).

www.shop.civil808.com

۲- خاک با دانه‌بندی یکنواخت: در این نوع خاک، شیب منحنی دانه‌بندی زیاد می‌باشد، به عبارت دیگر درصد قابل توجهی از دانه‌های خاک به یک اندازه هستند (شکل ۱-۳- ب).

۳- خاک با دانه‌بندی گسسته (میان تهی): این خاک حاوی دانه‌های بزرگ و کوچک به مقدار کافی می‌باشد ولی دانه‌های متوسط در آن کم است (شکل ۱-۳- پ).



شکل ۱-۳- انواع مختلف منحنی دانه‌بندی

سه پارامتر اساسی به شرح زیر از روی منحنی دانه‌بندی قابل تعیین است:

۱- اندازه مؤثر: قطری که در روی منحنی دانه‌بندی مربوط به درصد عبوری 10 است، اندازه مؤثر نامیده می‌شود و با D_{10} نشان داده می‌شود.

۲- ضریب یکنواختی: این ضریب مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad (۱-۱)$$

در رابطه فوق، C_u: ضریب یکنواختی و D_{60}: قطر مربوط به درصد عبوری 60 درصد در روی منحنی دانه‌بندی می‌باشد.

۳- ضریب دانه‌بندی: این ضریب با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \qquad (۱-۲)$$

در رابطه فوق، C_c: ضریب دانه‌بندی (ضریب انحنا) و D_{30}: قطر مربوط به درصد عبوری 30 درصد است.

نکته ۱: اگر مقدار ضریب انحنا (C_c) نزدیک به یک باشد، دانه‌بندی خاک خوب است.

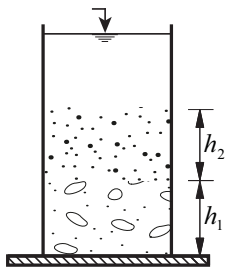
نکته ۲: اگر مقدار ضریب انحناء (C_c) خیلی کوچک‌تر یا خیلی بزرگ‌تر از یک باشد، دانه‌بندی خاک بد است.

نکته۳: هرچه‌قدر مقدار ضریب یکنواختی (C_u) بزرگ‌تر باشد، دانه‌بندی خاک گسترده‌تر است، و هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، دانه‌بندی خاک یکنواخت‌تر است.

نکته ۴: خاک‌های خوب دانه‌بندی شده دارای ضریب یکنواختی بزرگ‌تر از 4 برای شن و 6 برای ماسه، و ضریب دانه‌بندی 1 تا 3 برای شن و ماسه می‌باشند.

www.shop.civil808.com

۱-۴- آزمایش هم‌ارز ماسه



شکل ۱-۴- آزمایش هم‌ارز ماسه

با آزمایش هم‌ارز ماسه می‌توان نسبت ریزدانه و درشت‌دانه را در یک خاک تعیین نمود. منظور از ریزدانه، ذرات لای و رس است و درشت‌دانه به دانه‌های ماسه و بزرگ‌تر اطلاق می‌شود. این آزمایش بیشتر درحالت خاک‌های دانه‌ای اهمیت دارد، چون وجود ذرات ریز ممکن است بر رفتار این نوع خاک‌ها تأثیر بگذارد. این آزمایش بر روی دانه‌های کوچک‌تر از 5 میلی‌متر انجام می‌شود. اصول آن عبارت است از قرار دادن نمونه در ظرفی استوانه‌ای حاوی محلولی مشخص که ذرات را ازهم جدا می‌کند و تکان دادن شدید لوله استوانه‌ای در مدت 30 ثانیه.

پس از تکان دادن، لوله به حالت سکون قرار داده می‌شود. در این شرایط، ته‌نشین جامدی به سرعت در کف لوله تشکیل می‌شود. پس از زمان معینی که به وسیله استاندارد مشخص می‌شود ارتفاع h_1 رسوب و ارتفاع h_2 ذرات هنوز معلق، اندازه گرفته می‌شود.

هم‌ارز ماسه، برحسب درصد، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$SE = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \times 100 \qquad (۳-۱)$$

هم‌ارز ماسه (SE) برای برخی از انواع خاک‌ها به شرح جدول ۱-۱ است:

جدول ۱-۱- مقدار هم‌ارز ماسه برای برخی خاک‌ها

نوع خاک	رس خالص	خاک خمیری	خاک غیر خمیری	ماسه خالص و تمیز
هم‌ارز ماسه (SE)	0	20	40	100

۱-۵- ترکیب خاک

یک توده خاک طبیعی با حجم V و وزن W را درنظر بگیرید. حجم کل خاک را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \qquad (۴-۱)$$

در رابطه فوق، V_s: حجم قسمت جامد، V_v: حجم حفرات، V_a: حجم هوای درون حفرات و V_w: حجم آب درون حفرات می‌باشد.

با صرف‌نظر کردن از وزن هوا ($W_a = 0$)، وزن کل نمونه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$W = W_s + W_w \qquad (۵-۱)$$

در رابطه فوق، W_s: وزن قسمت جامد و W_w: وزن آب موجود در نمونه می‌باشد.

۱-۵-۱- روابط حجمی

روابط حجمی معمول در مکانیک خاک، عبارتند از: **نسبت تخلخل** (e)، **پوکی** (n) **و درجهٔ اشباع** (s).

www.shop.civil808.com

۱- نسبت تخلخل (e): عبارتست از نسبت حجم حفرات به حجم قسمت جامد.

$$e=\frac{V_v}{V_s} \qquad (۱-۶)$$

۲- پوکی (n): نسبت حجم حفرات به حجم کل می‌باشد.

$$n=\frac{V_v}{V} \qquad (۱-۷)$$

نکته ۱: از ترکیب روابط (۱-۶) و (۱-۷)، روابط زیر بدست می‌آیند:

$$e=\frac{n}{1-n} \qquad (۱-۸)$$

$$n=\frac{e}{1+e} \qquad (۱-۹)$$

نکته ۲: مقدار پوکی(n)، برای ماسه‌های طبیعی به مقدار زیادی بستگی به شکل دانه‌های ماسه، یکنواختی دانه‌ها و به شرایط رسوبگذاری و انباشته شدن آن دارد. برای بیشتر ماسه‌های طبیعی درصد پوکی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد است.

نکته ۳: نسبت تخلخل(e) برای ماسه‌های طبیعی بین 0.5 تا 0.9 و برای رس‌ها و سیلت‌های معمولی بین 0.7 تا 1.5 است. برای انواعی از رس‌های کلوئیدی که دانه‌های فوق‌العاده زیادی دارند، نسبت تخلخل به حدود 3 و حتی گاهی به 4 هم می‌رسد.

۳- درجه اشباع (s): به صورت نسبت حجم آب به حجم حفرات تعریف می‌شود.

$$S=\frac{V_w}{V_v} \qquad (۱-۱۰)$$

نکته: دامنهٔ تغییرات درجه اشباع برای وضعیت‌های مختلف خاک به شرح جدول ۱-۲ می‌باشد:

جدول ۱-۲- مقدار درجه اشباع برای وضعیت‌های مختلف خاک

وضعیت خاک	خشک تا نمناک	مرطوب	تر	اشباع
درجه اشباع (s)	$0<S\le 0.4$	$0.4<S\le 0.8$	$0.8<S<1$	$S=1$

۴- درصد هوا (A): عبارتست از حجم هوا به حجم کل خاک.

$$A=\frac{V_a}{V} \qquad (۱-۱۱)$$

نکته: مقدار درصد هوا (A)، برحسب پوکی (n) و درجه اشباع (s) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$A=n(1-S) \qquad (۱-۱۲)$$

www.shop.civil808.com

۱-۵-۲- روابط وزنی

روابط وزنی معمول در مکانیک خاک عبارتند از: **میزان رطوبت** (ω) **و وزن مخصوص** (γ).

۱- **میزان رطوبت** (ω) به صورت نسبت وزن آب به وزن قسمت جامد تعریف می‌شود:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \qquad (۱-۱۳)$$

۲- **وزن مخصوص** (γ) وزن واحد حجم خاک می‌باشد، بنابراین:

$$\gamma = \frac{W}{V} \qquad (۱-۱۴)$$

نکته: وزن مخصوص (γ) را می‌توان برحسب وزن قسمت جامد (W_s)، میزان رطوبت (ω) و حجم کل (V) به صورت زیر نوشت:

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s\left[1 + \frac{W_w}{W_s}\right]}{V} = \frac{W_s}{V}(1+\omega)$$

$$\gamma = \frac{W_s}{V}(1+\omega) \qquad (۱-۱۵)$$

۳- **وزن مخصوص خشک** (γ_d) توسط رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \qquad (۱-۱۶)$$

نکته: با استفاده از روابط (۱-۱۳) و (۱-۱۴) می‌توان نتیجه گرفت:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{(1+\omega)} \qquad (۱-۱۷)$$

نکته: اگر حجم یک نمونه خاک ثابت مانده ولی رطوبت آن تغییر کند، وزن مخصوص خشک آن ثابت می‌ماند:

$$\gamma_{d_1} = \gamma_{d_2} \Rightarrow \frac{\gamma_1}{1+\omega_1} = \frac{\gamma_2}{1+\omega_2} \qquad (۱-۱۸)$$

۴- **وزن مخصوص دانه‌های جامد خاک** (γ_s) توسط رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \qquad (۱-۱۹)$$

نکته: مقادیر مختلف وزن مخصوص (γ ,γ_d و γ_s) در دستگاه آحاد SI برحسب N/m^3 و یا kN/m^3 و در دستگاه MKS برحسب kgf/m^3 و یا ton/m^3 بیان می‌شوند.

۵- **جرم مخصوص مرطوب** (ρ) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (۱-۲۰)$$

www.shop.civil808.com

۶- **جرم مخصوص خشک** (ρ_d) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \qquad (۱-۲۱)$$

در روابط (۱-۲۰) و (۱-۲۱)، m و m_s به ترتیب جرم کل نمونه خاک و جرم قسمت جامد خاک برحسب کیلوگرم می‌باشند.

واضح است که:

$$\gamma = \rho.g \qquad (۱-۲۲)$$

$$\gamma_d = \rho_d.g \qquad (۱-۲۳)$$

در روابط فوق، g شتاب ثقل زمین و مساوی $9.81\ m/\sec^2$ می‌باشد.

۷- **چگالی دانه‌ها** (G_s) طبق تعریف عبارتست از نسبت وزن مخصوص دانه‌های جامد خاک (γ_s) به وزن مخصوص آب (γ_ω):

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_\omega} \qquad (۱-۲۴)$$

مقدار وزن مخصوص آب در دستگاه آحاد SI برابر $9.81\ kN/m^3$ و در دستگاه MKS برابر $1\ ton/m^3$ می‌باشد.

نکته: چگالی دانه‌ها (G_s) را به صورت زیر می‌توان بدست آورد:

$$G_s = \frac{M_s}{V_s.\rho_\omega} \qquad (۱-۲۵)$$

که در آن، ρ_w جرم مخصوص آب و مساوی $1000\ Kg/m^3$ می‌باشد.

۸- **وزن مخصوص اشباع خاک** (γ_{sat}) مربوط به حالتی از خاک است که حفرات آن کاملاً پر از آب باشد و به عبارت دیگر، نمونهٔ خاک، اشباع باشد ($S=1$):

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s+e)\gamma_\omega}{1+e} \qquad (۱-۲۶)$$

نکته ۱: روابط زیر، همواره برقرارند. آن‌ها را به خاطر بسپارید:

$$S.e = \omega.G_s \qquad (۱-۲۷)$$

$$\gamma = \frac{1+\omega}{1+e} G_s\,\gamma_\omega \qquad (۱-۲۸)$$

$$\gamma_d = \frac{G_s\,\gamma_\omega}{1+e} \qquad (۱-۲۹)$$

$$\gamma_d = \gamma_{sat} - n\gamma_\omega \qquad (۱-۳۰)$$

$$\gamma = \gamma_d + (\gamma_{sat} - \gamma_d).S \qquad (۱-۳۱)$$

نکته ۲: وزن مخصوص غوطه‌ور خاک (γ') از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_\omega \qquad (۱-۳۲)$$

www.shop.civil808.com

مثال ۱-۱- جرم مخصوص خاکی با پوکی 0.387، مساوی 1600 کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. نسبت تخلخل و چگالی دانه‌های خاک را تعیین نمایید.

حل:

با استفاده از رابطهٔ (۱-۸) داریم:

$$e=\frac{n}{1-n}=\frac{0.387}{1-0.387}=0.631$$

با استفاده از رابطه (۱-۲۹) برای جرم مخصوص خواهیم داشت:

$$\rho_d=\frac{G_s\rho_\omega}{1+e}\Rightarrow 1600=\frac{G_s(1000)}{1+0.631}\Rightarrow G_s=2.61$$

مثال ۱-۲- نسبت تخلخل برای یک نمونه خاک برابر 0.87 و میزان رطوبت آن 28 درصد است. درصورتی‌که $G_s=2.72$ باشد، مقادیر وزن مخصوص مرطوب و درجه اشباع خاک را محاسبه نمایید.

حل:

$$e=0.87\ ,\ \omega=\%28\ ,\ G_s=2.72$$

از رابطهٔ (۱-۲۸) برای محاسبه وزن مخصوص مرطوب (γ) استفاده می‌کنیم:

$$\gamma=\frac{1+w}{1+e}G_s\,\gamma_w=\frac{1+0.28}{1+0.87}(2.72)(9.81)=18.26\ \ kN/m^3$$

درجهٔ اشباع خاک را با استفاده از رابطهٔ (۱-۲۷) محاسبه می‌کنیم:

$$S.e=\omega.G_s\Rightarrow S=\frac{0.28\times 2.72}{0.87}=\%87.5$$

مثال ۱-۳- برای یک نمونه خاک اشباع، مقدار $\omega=\%40$ و $G_s=2.70$ می‌باشد. وزن مخصوص اشباع و خشک خاک را تعیین کنید.

حل:

$$S=1\ ,\ \omega=0.40\ ,\ G_s=2.70$$

$$S.e=\omega.G_s\Rightarrow e=0.40\times 2.70=1.08$$

از رابطه (۱-۲۶) می‌توان نوشت:

$$\gamma_{sat}=\frac{G_s+e}{1+e}\gamma_\omega=\frac{(2.70+1.08)}{1+1.08}(9.81)=17.82kN/m^3$$

وزن مخصوص خشک خاک را نیز از رابطه (۱-۲۹) بدست می‌آوریم:

$$\gamma_d=\frac{G_s\,\gamma_\omega}{1+e}=\frac{(2.70)(9.81)}{1+1.08}=12.73kN/m^3$$

www.shop.civil808.com

مثال ۱-۴- وزن مخصوص مرطوب خاکی مساوی 21 کیلونیوتن بر مترمکعب است. اگر چگالی دانه‌ها 2.65 و میزان رطوبت خاک 12.5 درصد باشد، مطلوبست محاسبهٔ:

الف- وزن مخصوص خشک خاک، ب- نسبت تخلخل، پ- پوکی، ت- درجه اشباع

حل:

$$\gamma = 21 kN/m^3 \ , \ G_s = 2.65 \ , \ \omega = 0.125$$

الف- محاسبه وزن مخصوص خشک خاک γ_d:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} = \frac{21}{1+0.125} = 18.67 kN/m^3$$

ب- محاسبهٔ نسبت تخلخل (e):

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_\omega}{1+e} \Rightarrow 18.67 = \frac{2.65 \times 9.81}{1+e} \Rightarrow e = 0.392$$

پ- محاسبه پوکی (n):

$$n = \frac{e}{1+e} = \frac{0.392}{1+0.392} = 0.281$$

ت- محاسبه درجه اشباع (S):

$$S.e = \omega.G_s \Rightarrow S = \frac{0.125 \times 2.65}{0.392} = 0.845 = \%84.5$$

۱-۶- تراکم نسبی

تراکم نسبی معمولاً برای نشان دادن میزان تراکم و یا سستی خاک‌های دانه‌ای در محل مورد استفاده قرار می‌گیرد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \qquad (۱-۳۳)$$

در رابطه فوق:

D_r = تراکم نسبی (برحسب درصد)

e = نسبت تخلخل در محل

e_{max} = نسبت تخلخل در شل‌ترین وضعیت

e_{min} = نسبت تخلخل در متراکم‌ترین وضعیت

نکته ۱: تراکم نسبی یک خاک، در متراکم‌ترین حالت ($e = e_{min}$) برابر با یک و یا 100 درصد، و تراکم نسبی در شل‌ترین حالت ممکن ($e = e_{max}$) برابر با صفر می‌باشد.

نکته ۲: خاک‌های دانه‌ای را برحسب تراکم نسبی مطابق جدول ۱-۳ طبقه‌بندی می‌کنند:

www.shop.civil808.com