فهـــــرست

فصل اول: پیدایش خاک‌ها و روابط وزنی و حجمی آنها

قسمت اول: نحوه پیدایش خاک‌ها و کانی‌های تشکیل‌دهنده آنها ۸
قسمت دوم: روابط وزنی و حجمی در خاک‌ها ۱۵
قسمت سوم: آشنایی با شیوه حل مسائل وزنی و حجمی ۲۵
افزایش مهارت و تسلط بیشتر ۳۵
تست‌های فصل اول ۴۰

فصل دوم: شناخت و نام‌گذاری خاک‌ها

قسمت اول: دانه‌بندی خاک‌ها ۵۲
قسمت دوم: آشنایی با حدود اتربرگ ۶۵
قسمت سوم: نام‌گذاری خاک‌ها ۷۴
قسمت چهارم: مباحث تکمیلی شناخت و نام‌گذاری خاک‌ها ۸۱
افزایش مهارت و تسلط بیشتر ۸۶
تست‌های فصل دوم ۹۰

فصل سوم: تراکم خاک

قسمت اول: مفهوم تراکم، آزمایش تراکم و تفسیر نتایج آن ۱۰۲
قسمت دوم: مفهوم درصد تراکم و حل مسائل اجرایی تراکم ۱۰۹
قسمت سوم: مباحث تکمیلی تراکم خاک ۱۱۳
افزایش مهارت و تسلط بیشتر ۱۱۷
تست‌های فصل سوم ۱۲۰

فصل چهارم: حرکت آب در خاک

قسمت اول: آشنایی با مفهوم انرژی آب در خاک ۱۲۶
قسمت دوم: مفهوم گرادیان هیدرولیکی و محاسبه سرعت حرکت آب در خاک ۱۳۲
قسمت سوم: تراوش یک بعدی آب در خاک های لایه‌بندی شده ۱۳۸
قسمت چهارم: حرکت دو بعدی آب در خاک و بررسی شبکه جریان ۱۴۸
قسمت پنجم: مباحث تکمیلی حرکت آب در خاک ۱۵۸
افزایش مهارت و تسلط بیشتر ۱۶۵
تست‌های فصل چهارم ۱۷۱

فصل پنجم: تنش مؤثر

قسمت اول: مفهوم تنش کل و تنش مؤثر ۱۹۰
قسمت دوم: بررسی حالت‌های خاص در محاسبه تنش مؤثر ۱۹۶
قسمت سوم: کاربرد اصل تنش مؤثر در محاسبه تنش مؤثر خاک‌های دارای تراوش ۲۰۷
قسمت چهارم: فشار تراوش و کاربرد آن در محاسبه تنش مؤثر خاک‌های دارای تراوش ۲۱۲
قسمت پنجم: پایداری خاک‌ها در برابر جوشش و بالازدگی ۲۱۸

فهـــــرست

افزایش مهارت و تسلط بیشتر ۲۲۷
تست‌های فصل پنجم ۲۳۰

فصل ششم: توزیع تنش در خاک

قسمت اول: روش تقریبی ۲ به ۶ ..... ۲۴۸
قسمت دوم: روش بوسینسک و روش وسترگارد ۲۵۴
قسمت سوم: روش منحنی نیومارک ۲۶۷
افزایش مهارت و تسلط بیشتر ۲۶۹
تست‌های فصل ششم ۲۷۲

فصل هفتم: نشست خاک

قسمت اول: آشنایی با مفاهیم تحکیم و تورم در خاک رس ۲۸۲
قسمت دوم: آشنایی با آزمایش تحکیم یک بعدی و نکات مربوط به آن ۲۹۰
قسمت سوم: محاسبه نشست نهایی تحکیم اولیه ۲۹۴
قسمت چهارم: آشنایی با مفهوم درجه تحکیم ۳۰۷
قسمت پنجم: محاسبه نشست در حین تحکیم و آشنایی با پارامترهای سرعت تحکیم ۳۱۵
قسمت ششم: مباحث تکمیلی نشست خاک ۳۲۱
افزایش مهارت و تسلط بیشتر ۳۲۹
تست‌های فصل هفتم ۳۴۱

فصل هشتم: مقاومت برشی خاک

پیش فصل: دایره مور ۳۷۲
قسمت اول: مفاهیم پایه مقاومت برشی ۳۷۴
قسمت دوم: تحلیل روابط گسیختگی المان خاک ۳۸۳
قسمت سوم: نقش آب در مقاومت برشی خاک ۳۹۱
قسمت چهارم: مرور کلی بر آزمایش‌های مقاومت برشی خاک ۳۹۷
قسمت پنجم: انواع آزمایش‌های سه محوری و کاربرد آنها ۴۰۳
قسمت ششم: آشنایی با مفاهیم پس‌فشار، پارامترهای اسکمپتون و مسیر تنش ۴۱۹
افزایش مهارت و تسلط بیشتر ۴۳۰
تست‌های فصل هشتم ۴۴۰

فصل نهم: پایداری شیروانی‌های خاکی

قسمت اول: بررسی پایداری شیروانی‌های خاکی نامحدود ۴۶۴
قسمت دوم: بررسی پایداری شیروانی‌های خاکی محدود ۴۷۴
قسمت سوم: مباحث تکمیلی پایداری شیروانی‌های خاکی ۴۸۱
افزایش مهارت و تسلط بیشتر ۴۸۳
تست‌های فصل نهم ۴۸۷

سخـــن مــؤلف

مکانیک خاک یکی از دروس پایه و مهم در مهندسی عمران است که شاید آموزش و یادگیری آن در ابتدا مشکل به نظر برسد. ساختار آزمایشگاهی این درس، مفاهیم مشترک با درس مکانیک سیالات و از همه مهمتر فرمول‌های فراوان، همگی از مشکلات و دغدغه‌هایی است که می‌تواند دانشجویان را نسبت به مکانیک خاک کم علاقه کند. اما واقعیت این است که مکانیک خاک درس نسبتاً ساده‌ای است، به شرطی که آموزش آن به‌صورت صحیح و با یک دیدگاه مفهومی انجام شود.

پس از تألیف کتاب مکانیک خاک در سال ۷۹ و بازنویسی آن در سال ۸۹، اکنون و با توجه به نیازهای امروز دانشجویان و مهندسین گرامی، تصمیم به تألیف کتاب **نسل جدید مکانیک خاک** گرفتم که کاملاً متفاوت با دو کتاب قبلی است. در همین راستا و در جهت پر بارتر شدن کتاب و آماده شدن هر چه سریعتر آن، دوستان عزیزم آقایان دکتر محمد آهنگر و مهندس حسین فراهانی نیز با کمک‌های بی‌دریغ و ایده‌های تأثیرگذار خود مرا یاری کردند تا کتاب حاضر که پیش روی شما عزیزان قرار دارد، ظرف مدت کمتر از یکسال آماده شده و به چاپ برسد.

این کتاب که حاصل سال‌ها تجربه اینجانب در تدریس مکانیک خاک و نیز تجربیات خود و همکارانم در زمینهٔ تألیف کتاب‌های متعدد می‌باشد، به جرأت جزء بهترین کتاب‌های آموزشی مکانیک خاک در دنیاست. از ویژگی‌های این کتاب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- متن درس که شـامل مفاهیم اصلی و نکات عمیق مکانیک خاک اسـت، با روشی آسـان و زبانی ساده بیان شده است تا با شیوهٔ آموزشی منحصر به فرد خود، تداعی‌کنندهٔ یک کلاسِ درس جذاب باشد.

۲- نکات و مطالب مبهم و پیچیده در مکانیک خاک، با جزئیات و به شیوه‌ای دقیق شرح داده شده‌اند تا دانشجویان عزیز در پایان مطالعهٔ این کتاب به‌طور کامل بر این درس مسلط شوند.

۳- در پایان درسنامهٔ هر فصل، تمریناتی با عنوان «افزایش مهارت و تسلط بیشتر» قرار گرفته است تا دانشجویان علاقمند، با حل و بررسی این مسائل نسبتاً دشوار، به بالاترین سطح آمادگی در این درس برسند.

۴- تمرینات متن درس و تسـت‌های آخر فصل، ترکیبی از سـؤالات آزمون‌های سراسـری و مسائل تألیفی هستند و در انتخاب و ترتیب آنها، نهایت دقت صورت گرفته است تا با روند آموزشی کتاب هماهنگ باشند و به مهارت دانشجویان گرامی در این درس، به‌تدریج اضافه کنند.

در نگارش این کتاب تلاش زیادی صورت گرفته است تا کتاب با کمترین ایراد در اختیار شما عزیزان قرار گیرد، ولی به هر حال وجود نقایص احتمالی دور از ذهن نمی‌باشد. از این‌رو از استادان گرانقدر و دانشجویان فهیم تقاضا می‌شود تا با مراجعه به سایت سری عمران، قبول زحمت کرده و ما را در رفع مشکلات کتاب یاری دهند.

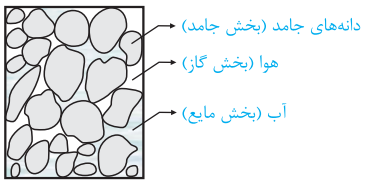
در خاتمه از دوسـتان عزیزم جناب آقای دکتر آهنگر و جناب آقای مهندس فراهانی تشـکر می‌کنم که مرا در نگارش این کتاب یاری دادند. همچنین از جناب آقای دکتر شریفیان مدیریت مؤسسه سری عمران و نیز سرکار خانم طاهره نجفی که واژه‌نگاری، صفحه‌آرایی و طراحی کلیه شـکل‌های کتاب به عهده ایشـان بود نهایت سپاس را دارم. امید است تلاش مجموعهٔ سری عمران در ارائه این کتاب مورد قبول دانشجویان و مهندسین گرامی واقع شود.

موفق و پیروز باشید

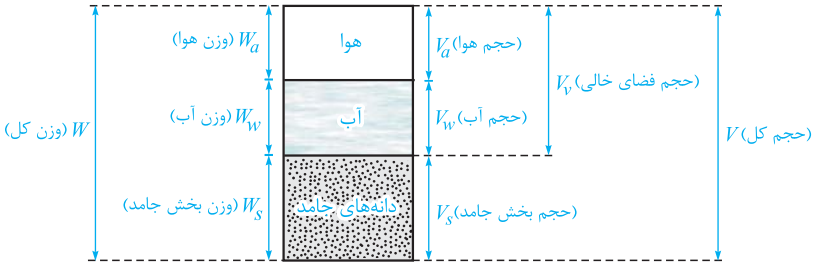
ساسان امیرافشاری

B-۱- آشنایی با دیاگرام سه فازی

تـودهٔ خـاک شـکل مقابـل را در نظـر بگیریـد. همانطورکه ملاحظه می‌کنید، این توده در حالـت کلـی از سـه بخـش دانـه‌هـای جامـد، آب و هـوا تشکیل می‌شود.



در مکانیک خاک برای نمایش این سه بخش در تودهٔ خـاک، از **دیـاگرام سـه فـازی** اسـتفاده می‌شود. ما با کمک این دیاگرام که یک دیاگرام فرضی است، می‌تـوانیم ویژگـی‌هـای خـاک را راحت‌تر تخمین بزنیم. شکل زیر دیاگرام سه فازی در یک تودهٔ خاک را نشان می‌دهد:



در ادامه می‌خواهیم با بررسی چند سؤال ساده در مورد دیاگرام سه فازی، با این دیاگرام بیـشتر آشنا شویم:

بررسی چند سوال

سؤال ۱: با توجه به دیاگرام سه فازی، وزن کل خاک، حجم فضای خالی خاک (حجم حفرات موجـود در خاک) و حجم کل خاک از چه قسمت‌هایی تشکیل می‌شوند؟

● پاسخ: با توجه به شکل ترسیم شده برای دیاگرام سه فازی، می‌توان گفت:

وزن کل خاک = وزن دانه‌های جامد + وزن آب $\Rightarrow$ $W = W_s + W_w$

حجم فضای خالی = حجم آب + حجم هوا $\Rightarrow$ $V_v = V_w + V_a$

حجم کل خاک = حجم دانه‌های جامد + حجم آب + حجم هوا

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

تذکر: همانطور که در شکل دیاگرام سه فازی نیز مشخص شده است، وزن هوای موجود در تودهٔ خاک صفر است.*

سؤال ۲: در مورد وزن و حجم یک خاک خشک چه اظهارنظری می‌توان کرد؟

● پاسخ: در یک خاک خشک هیچگونه آبی وجود ندارد و تمام حجم فضای خالی آن را هـوا پر کرده است، بنابراین می‌توان گفت:

$W = W_s + W_w \xrightarrow{W_w = 0} W = W_s$

$V_v = V_w + V_a \xrightarrow{V_w = 0} V_v = V_a \Rightarrow V = V_s + V_v = V_s + V_a$

* به علت قانون ارشمیدس وزن هوا در هوا (مثل وزن آب در آب) دقیقاً برابر صفر است.

قسمت دوم (روابط وزنی و حجمی در خاک‌ها)

زیر شاخه‌های قسمت دوم

B-۱- آشنایی با دیاگرام سه فازی
B-۲- معرفی انواع وزن مخصوص‌ها در خاک
B-۳- آشنایی با پارامترهای وزنی و حجمی پایه
B-۴- مطالب تکمیلی روابط وزنی و حجمی

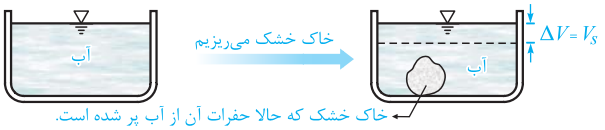
سؤال ۳: در مورد یک خاک اشباع (یعنی خاکی که تمام حجم فضای خالی آن را آب پر کرده است)، چه اظهار نظری می‌توان کرد؟

پاسخ: در چنین خاکی حجم فضای خالی با حجم آب برابر بوده و حجم هوا صفر است، بنابراین می‌توان نوشت:

$$V_v = V_w + V_a \xrightarrow{V_a = 0} V_v = V_w \Rightarrow V = V_s + V_v = V_s + V_w$$

سؤال ۴: در آزمایشگاه برای به‌دست آوردن W_s و V_s در مقدار مشخصی از یک خاک، چگونه عمل می‌کنیم؟

پاسخ: برای به‌دست آوردن W_s کافی است تا خاک را در کوره (گرمخانه یا اُوِن) خشک کرده و سپس وزن آن را اندازه بگیریم. آنچه به‌دست می‌آید، W_s است که علاوه بر وزن دانه‌های جامد، وزن حالت خشک خاک هم می‌باشد. برای تعیین V_s خاک نیز بایستی خاک خشک شده در کوره را در یک ظرف آب مدرج بریزیم و سپس افزایش حجم درون ظرف را مشخص کنیم. آنچه به‌دست می‌آید، V_s است که همان حجم دانه‌های جامد خاک می‌باشد.



B-۲- معرفی انواع وزن مخصوص‌ها در خاک

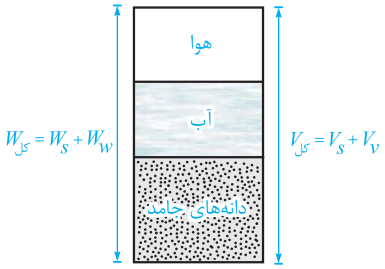
همانطورکه می‌دانید وزن مخصوص یک ماده از حاصل تقسیم وزن بر حجم آن به‌دست می‌آید. در مکانیک خاک پنج نوع وزن مخصوص به‌صورت زیر برای یک خاک قابل تعریف است:

۱) وزن مخصوص طبیعی (γ_t)
۲) وزن مخصوص خشک (γ_d)
۳) وزن مخصوص اشباع (γ_{sat})
۴) وزن مخصوص غوطه‌وری (γ')
۵) وزن مخصوص دانه‌های جامد خاک (γ_s)

در ادامهٔ بحث، به بررسی این وزن مخصوص‌ها می‌پردازیم.

۱- وزن مخصوص طبیعی خاک

اگر وزن خاک به هنگام نمونه‌گیری از طبیعت (وزن طبیعی خاک) را به حجم تودهٔ خاک تقسیم کنیم، در آن‌صورت وزن مخصوص طبیعی خاک به‌دست می‌آید که آن را با γ_t یا γ نشان می‌دهند.



$$\text{وزن مخصوص طبیعی خاک} = \frac{\text{وزن کل خاک}}{\text{حجم تودهٔ خاک}} \Rightarrow \gamma_t = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v}$$

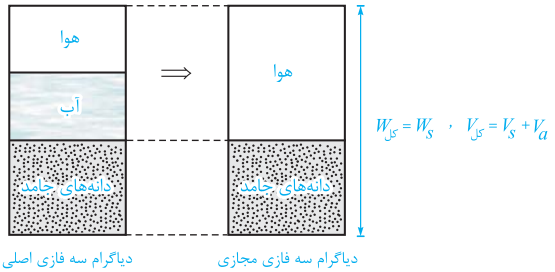
تذکر: واحدهای متداول برای وزن مخصوص عبارتند از kgf/m^3، grf/cm^3، $tonf/m^3$، N/m^3 و kN/m^3 که نحوهٔ تبدیل آنها به هم به شکل مقابل است:

$$1\,grf/cm^3 = 1\,tonf/m^3 \xrightarrow{\times 1000} kgf/m^3 \xrightarrow[\simeq \times 10]{\times 9/81} N/m^3 \xrightarrow{\times 0/001} kN/m^3$$

توجه کنید که در مکانیک خاک معمولاً حرف f را از واحدهای kgf/m^3، grf/cm^3 و $tonf/m^3$ حذف می‌کنند و آنها را مثل واحد جرم مخصوص و به فرم kg/m^3، gr/cm^3 و ton/m^3 نمایش می‌دهند.

۲- وزن مخصوص خشک خاک

برای به‌دست آوردن وزن مخصوص خشک خاک که آن را با γ_d نشان می‌دهیم، ابتدا بایستی به‌صورت مجازی فرض کنیم که خاک خشک است و در فضای خالی آن فقط هوا وجود دارد. سپس از حاصل تقسیم وزن این حالت خشکِ فرضی به حجم تودهٔ خاک، وزن مخصوص خشک خاک را به‌دست می‌آوریم.



$$\text{وزن مخصوص خشک خاک} = \frac{\text{وزن خشک خاک}}{\text{حجم تودهٔ خاک}} \Rightarrow \gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s}{V_s + V_a}$$

تذکر ۱: وزن مخصوص خشک خاک به علت آنکه با دانه‌های جامد یعنی جزء اصلی و مقاوم خاک مرتبط است، مبنای بسیاری از قضاوت‌های مهندسی در علم مکانیک خاک است.

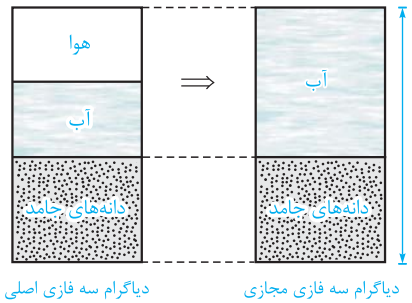
تذکر ۲: برخی از دانشجویان به اشتباه تصور می‌کنند که γ_d تنها برای خاک‌های خشک قابل تعریف است، این در حالی است که این نوع وزن مخصوص برای هر سه نوع خاکِ خشک، اشباع و نیمه اشباع (فضای خالی شامل آب و هواست) تعریف شده و قابل تعیین است.

۳- وزن مخصوص اشباع خاک

برای به‌دست آوردن وزن مخصوص اشباع خاک که آن را با γ_{sat} نشان می‌دهیم، ابتدا بایستی به‌صورت مجازی فرض کنیم که خاک اشباع است و آب تمام فضای خالی آن را پر کرده است. سپس از حاصل تقسیم وزن این حالت اشباعِ فرضی به حجم تودهٔ خاک، وزن مخصوص اشباع را به‌دست آوریم.

$$\text{وزن مخصوص اشباع خاک} = \frac{\text{وزن اشباع خاک}}{\text{حجم تودهٔ خاک}}$$

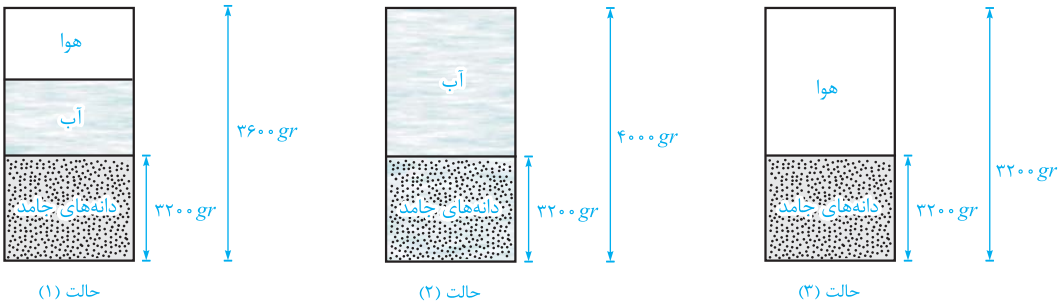
$$\Rightarrow \gamma_{sat} = \frac{W_{\text{اشباع}}}{V} = \frac{W_s + (W_w)_{\text{اشباع}}}{V_s + V_w}$$



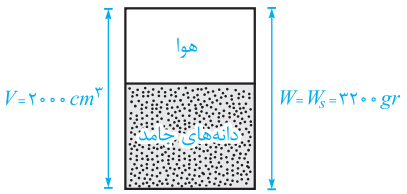
تذکر: γ_{sat} نیز مثل γ_d در هر سه نوع خاک خشک، اشباع و نیمه اشباع قابل تعریف است.

برای درک بهتر وزن مخصوص‌هایی که تا اینجا یاد گرفتیم، به دو تمرینی که در ادامه مطرح می‌کنیم، توجه کنید.

تمرین ۸: در شکل زیر دیاگرام سه فازی برای یک خاک در سه وضعیت مختلف نشان داده شده است. مقادیر وزن مخصوص خشک، اشباع و طبیعی را در این سه وضعیت به‌دست آورید. (حجم خاک در هر سه حالت یکسان بوده و برابر $۲۰۰۰\ cm^3$ است.)

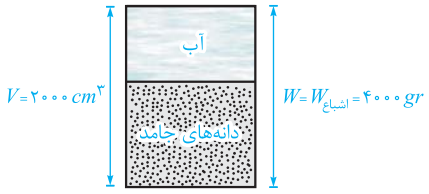


حل: برای محاسبهٔ وزن مخصوص خشک خاک در هر حالت کافی است فرض کنیم که خاک خشک بوده و هیچگونه آبی در فضای خالی آن وجود ندارد. با این فرض دیاگرام سه فازی مجازی در هر سه حالت یکسان بوده و مطابق شکل زیر است:



$$\xrightarrow{\text{محاسبهٔ } \gamma_d} \gamma_{d_1} = \gamma_{d_2} = \gamma_{d_3} = \frac{W_s}{V} = \frac{۳۲۰۰}{۲۰۰۰} = ۱/۶\ gr/cm^3$$

به شیوهٔ مشابه می‌توان گفت دیاگرام سه فازی مجازی هر سه حالت برای محاسبهٔ γ_{sat} یکسان بوده و به شکل زیر است:



$$\xrightarrow{\text{محاسبهٔ } \gamma_{sat}} \gamma_{sat_1} = \gamma_{sat_2} = \gamma_{sat_3} = \frac{W_{\text{اشباع}}}{V} = \frac{۴۰۰۰}{۲۰۰۰} = ۲\ gr/cm^3$$

در مورد وزن مخصوص طبیعی خاک نیز کافی است، وزن کل خاک در هر حالت را به حجم تودهٔ خاک تقسیم کنیم:

$$\begin{cases} \gamma_{t_1} = \dfrac{W_1}{V} = \dfrac{۳۶۰۰}{۲۰۰۰} = ۱/۸\ gr/cm^۳ \\ \gamma_{t_2} = \dfrac{W_2}{V} = \dfrac{W_{\text{اشباع}}}{V} = \dfrac{۴۰۰۰}{۲۰۰۰} = ۲\ gr/cm^۳ \\ \gamma_{t_3} = \dfrac{W_3}{V} = \dfrac{W_s}{V} = \dfrac{۳۲۰۰}{۲۰۰۰} = ۱/۶\ gr/cm^۳ \end{cases} \Rightarrow \gamma_{t_2} > \gamma_{t_1} > \gamma_{t_3}$$

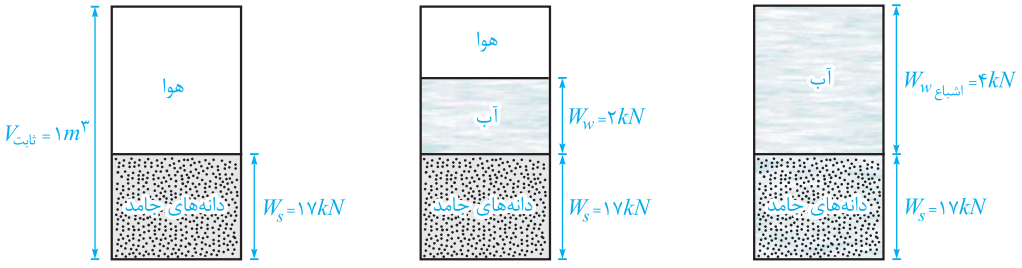
نتیجه: مقدار γ_d و γ_{sat} در یک خاک با حجم ثابت، به میزان آب موجود در خاک بستگی ندارد و تنها به پارامترهای V_s، V_v و W_s وابسته است.

تمرین ۹: در یک خاک مرطوب با وزن مخصوص $\gamma_t = ۱۹\ kN/m^۳$، وزن مخصوص‌های خشک و اشباع به‌ترتیب برابر $\gamma_d = ۱۷\ kN/m^۳$ و $\gamma_{sat} = ۲۱\ kN/m^۳$ می‌باشند. در یک متر مکعب از این خاک در حالت‌های خشک، اشباع و طبیعی (وضعیت موجود) مقدار وزن دانه‌های جامد و آب چقدر است؟

حل: وزن مخصوص در واقع وزن واحد حجم خاک ($۱\ m^۳$ یا $۱\ cm^۳$) است. در این سؤال چون حجم خاک برابر $۱\ m^۳$ داده شده است، بنابراین اعداد داده شده برای وزن مخصوص‌ها در واقع وزن خاک در حالت‌های طبیعی، خشک و اشباع را مشخص می‌کنند.

$$\begin{cases} \gamma_d = ۱۷\ kN/m^۳ \xrightarrow{V=۱m^۳} W_s = ۱۷\ kN \quad , \quad W_w = ۰ \\ \gamma_t = ۱۹\ kN/m^۳ \xrightarrow{V=۱m^۳} W = W_s + W_w = ۱۹\ kN \quad , \quad W_s = ۱۷\ kN \Rightarrow W_w = ۲\ kN \\ \gamma_{sat} = ۲۱\ kN/m^۳ \xrightarrow{V=۱m^۳} W_{\text{اشباع}} = W_s + W_{w\ \text{اشباع}} = ۲۱\ kN \quad , \quad W_s = ۱۷\ kN \Rightarrow W_{w\ \text{اشباع}} = ۴\ kN \end{cases}$$

شکل‌های زیر دیاگرام سه فازی این سه حالت از خاک را نشان می‌دهند که در آنها وزن دانه‌های جامد و آب در هر حالت مشخص است:



۴- وزن مخصوص غوطه‌وری خاک

اگر خاک اشباع باشد می‌توانیم از حاصل تقسیم وزن غوطه‌ور خاک بر حجم تودهٔ خاک، وزن مخصوص غوطه‌وری خاک را تعیین کنیم. منظور از وزن غوطه‌ور خاک آن است که نیروی شناوری* را از وزن تودهٔ خاک در حالت اشباع کم کنیم. با توجه به این موضوع وزن مخصوص غوطه‌وری که آن را با γ' نشان می‌دهیم برابر است با:

$$\gamma' = \frac{W'}{V} = \frac{W - F_B}{V} = \frac{\gamma_{sat} V - \gamma_w V}{V} = \gamma_{sat} - \gamma_w \Rightarrow \boxed{\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w}$$

تذکر ۱: برای خاک‌های خشک و نیمه اشباع، وزن مخصوص غوطه‌وری تعریف نمی‌شود و γ' فقط مخصوص خاک‌های اشباع است.

تذکر ۲: γ' نیز مانند γ_{sat} به مقدار رطوبت خاک بستگی ندارد.

تذکر ۳: در بین وزن مخصوص‌هایی که برای تودهٔ خاک تعریف می‌شوند، γ' کمترین و γ_{sat} بیشترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهند.

تذکر ٤: γ' در محاسبات تنش مؤثر که در فصل پنجم کتاب می‌خوانید، کاربرد زیادی دارد.

---

* نیروی شناوری یا نیروی ارشمیدس (F_B) برای جسمی که به‌طور کامل در داخل یک سیال مانند آب قرار گرفته است، از حاصل‌ضرب حجم این جسم در وزن مخصوص آب به‌دست می‌آید.

۵- وزن مخصوص دانه‌های جامد خاک

این وزن مخصوص مربوط به دانه‌های جامد است و برای کل تودهٔ خاک تعریف نمی‌شود، بنابراین مقدار آن از تقسیم کردن وزن قسمت جامد بر حجم قسمت جامد به‌دست می‌آید:

$$\text{وزن مخصوص دانه‌های جامد} = \frac{\text{وزن دانه‌های جامد}}{\text{حجم دانه‌های جامد}} \Rightarrow \boxed{\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}}$$

تذکر ۱: با اضافه و کم کردن آب به خاک و یا کوبیدن خاک، پارامترهای W_s و V_s تغییر نکرده و γ_s ثابت است.

تذکر ۲: اگر وزن مخصوص یک ماده را به وزن مخصوص آب تقسیم کنیم، **چگالی نسبی** آن ماده به‌دست می‌آید که کمیتی بدون واحد است. حال اگر وزن مخصوص دانه‌های جامد را به وزن مخصوص آب تقسیم کنیم، چگالی نسبی دانه‌های جامد به‌دست می‌آید که آن را با G_s نمایش می‌دهیم. G_s را علاوه بر این، **تودهٔ ویژه خاک** و حتی به اختصار، **چگالی دانه‌های جامد** نیز می‌نامند و برابر است با:

$$\boxed{G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s\,\gamma_w}}$$

تذکر ۳: مقدار γ_w بر حسب واحدهای مختلف به شرح زیر است:

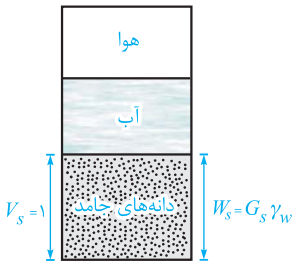
$$\gamma_w = ۱\,gr/cm^۳ = ۱\,t/m^۳ = ۱۰۰۰\,kg/m^۳ = ۹۸۱۰\,N/m^۳ \xrightarrow{g = ۱۰\,m/s^۲} \gamma_w = ۱۰\,kN/m^۳$$

تذکر ۴: محدودهٔ تعیین شده برای انواع وزن مخصوص‌ها در خاک‌ها را می‌توان براساس یافته‌های تجربی، به‌صورت زیر بیان کرد:

وزن مخصوص ($kN/m^۳$)	حداقل	حداکثر
γ_s	۲۲	۲۸
γ_{sat}	۱۷	۲۲
γ_t	۱۶	۱۹
γ_d	۱۴	۱۹
γ'	۷	۱۲

$$\Rightarrow \boxed{۲/۲ < G_s < ۲/۸}$$

تذکر ۵: اگر در یک خاک حجم دانه‌های جامد را برابر واحد در نظر بگیریم ($V_s = ۱$)، در آن‌صورت وزن دانه‌های جامد خاک (W_s) برابر است با:



$$G_s = \frac{W_s}{V_s\,\gamma_w} \xrightarrow{V_s = ۱} W_s = G_s\,\gamma_w$$

در ادامه با حل دو تمرین دیگر، بحث وزن مخصوص‌ها را کامل می‌کنیم.

تمرین ۱۰: یک متر مکعب از خاکی با وزن مخصوص اشباع $۲۰\,kN/m^۳$، در اثر تبخیر ۲۰ درصد آب خود را از دست می‌دهد ولی حجم آن تغییر نمی‌کند. انواع وزن مخصوص‌های این خاک چگونه تغییر می‌کنند؟

حل: همانطورکه گفتیم γ_d، γ_{sat}، γ' و γ_s به میزان آب موجود در خاک بستگی ندارند و ثابت می‌باشند. این در حالی است که γ_t با کاهش آب، از مقدارش کاسته می‌شود و برابر مقدار زیر خواهد بود:

$$\gamma_{t_۲} = \frac{W_s + W_{w_۲}}{V} = \frac{W_s + ۰/۸\,W_{w_۱}}{V} = \frac{W_s + W_{w_۱} - ۰/۲\,W_{w_۱}}{V} = \underbrace{\frac{W_s + W_{w_۱}}{V}}_{\gamma_{t_۱}} - \underbrace{۰/۲\left(\frac{W_{w_۱}}{V}\right)}_{\text{میزان کاهش } \gamma_t}$$

تمرین ۱۱: یک نمونه خاک مرطوب به حجم $100\,cm^3$ و وزن $200\,gr$، پس از خشک شدن در کوره ۲۰ درصد از وزنش کاسته می‌شود. اگر وزن مخصوص دانه‌های جامد خاک برابر $2/5\,gr/cm^3$ باشد، در آن‌صورت حجم حفرات خاک چند cm^3 خواهد بود؟

حل: ابتدا وزن دانه‌های جامد خاک (W_s) را که معادل با وزن خاک پس از خشک شدن است، می‌یابیم:

$$W_2 = W_s$$

$$W_2 = 0/8\,W_1 \Rightarrow W_s = 0/8\,W_1 = 0/8 \times 200 = 160\,gr$$

در ادامه با استفاده از رابطهٔ γ_s، مقدار V_s را تعیین می‌کنیم:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \Rightarrow 2/5 = \frac{160}{V_s} \Rightarrow V_s = 64\,cm^3$$

و در نهایت V_v به‌صورت مقابل به‌دست می‌آید:

$$V = V_s + V_v \Rightarrow 100 = 64 + V_v \Rightarrow V_v = 36\,cm^3$$

B-۳- آشنایی با پارامترهای وزنی و حجمی پایه

در این بخش می‌خواهیم با پارامترهای وزنی و حجمی پایه در یک خاک آشنا شویم. این پارامترها در حالت کلی به سه دستهٔ زیر تقسیم می‌شوند:

۱) پارامتر مربوط به دانه‌های جامد خاک

۲) پارامترهای مربوط به فضای خالی خاک

۳) پارامترهای مربوط به حضور آب در فضای خالی خاک

۱- پارامتر مربوط به دانه‌های جامد خاک

دانه‌های جامد خاک به‌عنوان جزء اصلی خاک مطرح می‌باشند و پارامتر مرتبط با آنها، همان چگالی نسبی دانه‌های جامد یا تودهٔ ویژهٔ خاک است که در بخش قبلی رابطه آن را به‌صورت زیر مشخص کردیم:

$$G_s = \frac{W_s}{V_s\,\gamma_w}$$

همانطورکه قبلاً نیز گفته شد، محدودهٔ تغییرات G_s بین ۲/۲ و ۲/۸ است که البته در خاک‌های آلی از ۲ هم می‌تواند کمتر باشد.

۲- پارامترهای مربوط به فضای خالی خاک

فضای خالی خاک به عنوان جزء فرعی خاک مطرح می‌باشد و پارامترهای مرتبط با آن عبارتند از نسبت تخلخل (e)، تخلخل (n) و میزان یا درصد هوا (A) که در ادامه شما را با آنها آشنا می‌کنیم.

الف) نسبت تخلخل یا نشانهٔ خلاء (e)

اگر خاک را به دو قسمت دانه‌های جامد و فضای خالی تقسیم کنیم، در آن‌صورت نسبت حجم فضای خالی (V_v) به حجم باقی‌ماندهٔ خاک، یعنی حجم دانه‌های جامد (V_s) را **نسبت تخلخل** یا **نشانهٔ خلاء** می‌گوییم:

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

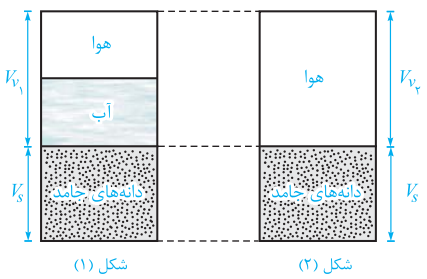
در مورد پارامتر e می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) از لحاظ ریاضی، مقدار e در بازهٔ صفر تا بی‌نهایت قرار می‌گیرد ولی در عمل مقدار e بین ۰/۲۵ و ۳ است.

$$0/25 \le e \le 3$$

(۰/۲۵: مخلوط شن و ماسه و لای متراکم؛ ۳: رس نرم آبی رنگ)

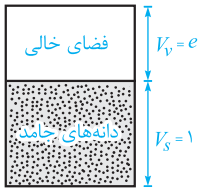
۲) پارامتر e به حجم حفرات خاک مرتبط است و ربطی به میزان آب در این حفرات ندارد. با توجه به این موضوع، e در دو دیاگرام سه فازی مقابل یکسان است:



شکل (۱) شکل (۲)

$$V_{s\ \text{ثابت}},\ V_{v_1} = V_{v_2} \Rightarrow e_1 = e_2$$

۳ اگر در یک خاک حجم دانه‌های جامد را برابر واحد در نظر بگیرید ($V_s = ۱$)، حجم فضای خالی خاک (V_v) برابر است با:



$$e = \frac{V_v}{V_s} \xrightarrow{V_s = ۱} V_v = e$$

ب) تخلخل یا پوکی (n)

اگر حجم فضای خالی خاک را به حجم کل آن تقسیم کنید، پارامتری به نام **تخلخل** یا **پوکی** به‌دست می‌آید:

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

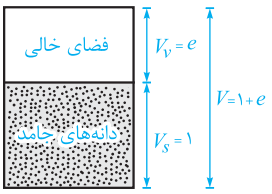
در مورد پارامتر n می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱ از لحاظ ریاضی، مقدار n در بازه صفر تا یک قرار دارد ولی در عمل مقدار آن بین ۰/۲ و ۰/۷۵ است.

متراکم‌ترین حالت ← $۰/۲ \le n \le ۰/۷۵$ ← شل‌ترین حالت

۲ پارامتر n نیز مانند e بستگی به حجم فضای خالی خاک دارد و میزان آب موجود در فضای خالی خاک در مقدار آن تأثیرگذار نیست.

۳ می‌دانیم اگر حجم قسمت جامد خاک را برابر واحد در نظر بگیریم ($V_s = ۱$)، در آن‌صورت حجم فضای خالی برابر e می‌شود. حال اگر تعریف تخلخل (n) را بنویسیم، عملاً ارتباط بین e و n به‌دست می‌آید*:



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

ج) درصد هوا (A)

درصد هوا در یک خاک از تقسیم حجم هوا بر حجم کل خاک به‌دست می‌آید:

$$A = \frac{V_a}{V}$$

توجه کنید که وقتی خاک اشباع باشد، $V_a = ۰$ بوده و A کمترین مقدار خود را داشته و برابر صفر است. این در حالی است که وقتی خاک خشک باشد، A بیشترین مقدار خود را دارد و برابر است با:

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

۳- پارامترهای مربوط به حضور آب در فضای خالی خاک

پس از آنکه دانه‌های جامد خاک را به‌عنوان جزء اصلی و فضای خالی آن را به‌عنوان جزء فرعی خاک معرفی کردیم، حالا نوبت آن است که حضور آب در فضای خالی را با تعریف پارامتر حجمی درجه اشباع (S_r) و پارامتر وزنی میزان رطوبت (ω)، بررسی نماییم.

الف) درجهٔ اشباع خاک (S_r)

از تقسیم حجم آب بر حجم فضای خالی خاک، **درجهٔ اشباع** به‌دست می‌آید و در صورتی‌که بر حسب درصد نوشته شود (در عدد ۱۰۰ ضرب شود)، به آن **درصد اشباع خاک** می‌گوییم.

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

---

* رابطهٔ به‌دست آمده، کلی بوده و برای هر مقداری از حجم V_s (نه لزوماً $V_s = ۱$) نیز برقرار است. برای کنترل صحت این موضوع کافی است تا در مخرج رابطهٔ n به‌جای V از $V_v + V_s$ استفاده کرده و سپس با تقسیم صورت و مخرج بر V_s، رابطهٔ فوق را در حالت کلی به‌دست آورید.

در مورد پارامتر S_r می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) بسته به وضعیت رطوبتی خاک، سه حالت زیر برای درجه اشباع اتفاق می‌افتد:

$$\begin{cases} \text{خاک خشک } (V_w = ۰) \Rightarrow S_r = ۰ \\ \text{خاک اشباع } (V_w = V_v) \Rightarrow S_r = ۱ \text{ یا } ۱۰۰٪ \\ \text{خاک نیمه اشباع یا به اصطلاح مرطوب } (V_w < V_v) \Rightarrow ۰ < S_r < ۱ \end{cases}$$

۲) درجهٔ اشباع هیچگاه بزرگتر از یک (٪۱۰۰) نمی‌شود حتی اگر بعد از اشباع شدن خاک، باز هم به آن آب اضافه نماییم. (چرا؟)

ب) میزان رطوبت خاک (ω)

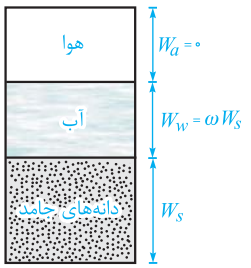
از تقسیم وزن آب موجود در خاک به وزن دانه‌های جامد، **میزان رطوبت** خاک به‌دست می‌آید که اگر برحسب درصد نوشته شود (در عدد ۱۰۰ ضرب شود)، به آن **درصد رطوبت خاک** می‌گویند.

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

در مورد پارامتر ω می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) اگرچه درصد اشباع حداکثر برابر ٪۱۰۰ است ولی میزان رطوبت خاک بسته به نوع خاک می‌تواند از ٪۱۰۰ هم بیشتر باشد (مثلاً در رسِ مونت موریلونیت).

۲) به عنوان یک نکتهٔ بسیار مهم که در حل مسائل این فصل کاربرد زیادی دارد، باید بدانیم که اگر وزن قسمت جامد را برابر W_s در نظر بگیریم، در آن‌صورت وزن آب برابر ωW_s بوده و وزن کل خاک برابر است با:



$$W_{\text{کل}} = W_s + W_w = W_s + \omega W_s \Rightarrow W_{\text{کل}} = W_s(۱+\omega)$$

به عنوان اولین نتیجهٔ کاربردی از رابطهٔ فوق، می‌توان گفت اگر در یک سؤال وزن کل و میزان رطوبت خاک را به ما بدهند، به‌سادگی می‌توانیم وزن قسمت‌های مختلف تودهٔ خاک را به‌دست آوریم:

$$W_{\text{کل}} = W_s(۱+\omega) \Rightarrow W_s = \frac{W_{\text{کل}}}{۱+\omega}$$

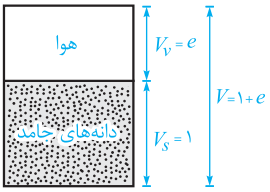
$$W_w = W_{\text{کل}} - W_s = W_{\text{کل}}\left(۱ - \frac{۱}{۱+\omega}\right) = W_{\text{کل}}\left(\frac{\omega}{۱+\omega}\right)$$

B-۴- مطالب تکمیلی روابط وزنی و حجمی

در بررسی مطالب بخش‌های قبلی، با موضوع جالبی آشنا شدیم و دیدیم که اگر $V_s = ۱$ فرض شود، نتایج به‌دست آمده از این فرض، در تحلیل ذهنی روابط به ما کمک خواهند کرد. مثلاً وقتی $V_s = ۱$ در نظر گرفته شود، $W_s = G_s \gamma_w$ و $V_v = e$ خواهد شد و ارتباط بین e و n نیز به‌راحتی به‌دست می‌آید. در حالت کلی می‌توان گفت که در بکارگیری روابط وزنی و حجمی در یک نمونه خاک محدودیتی وجود ندارد و از این‌رو می‌توان حجم یک قسمت دلخواه از خاک را برابر واحد فرض کرده و در صورت امکان، حجم و وزن سایر قسمت‌ها را به‌دست آورد. این روش علاوه بر تحلیل ذهنی مسائل، در اثبات و به‌خاطر سپردن فرمول‌های وزنی و حجمی نیز بسیار مفید است.

برای درک بهتر این روش و کاربردهای آن، به تمرین بعد توجه کنید.

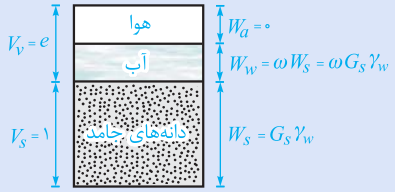
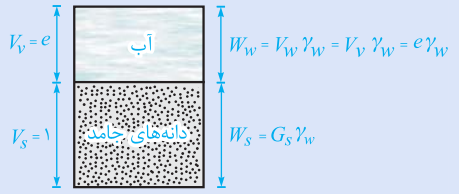
تمرین ۱۲: وزن مخصوص خشک خاک (γ_d) را برحسب پارامترهای G_s و e به‌دست آورید.



حل: برای محاسبهٔ وزن مخصوص خشک خاک، دیاگرام سه فازی مقابل را در نظر می‌گیریم که در آن $V_s = ۱$ فرض شده است. در این شرایط $W_s = G_s \gamma_w$ و $V_v = e$ خواهد بود و γ_d برابر است با:

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

به همین طریق می‌توانیم برای محاسبهٔ γ_t، γ_{sat} و γ' نیز روابط مشابهی ارائه کنیم که آن‌ها را در جدول زیر نشان داده‌ایم:

	دیاگرام سه فازی	شیوهٔ محاسبه
وزن مخصوص حالت مرطوب		$\gamma_t = \frac{\text{وزن خاک}}{\text{حجم کل}} = \frac{W_s + W_w}{V} \Rightarrow$ $\gamma_t = \frac{G_s \gamma_w + \omega G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{G_s (1+\omega)}{1+e} \gamma_w$
وزن مخصوص حالت اشباع		$\gamma_{sat} = \frac{\text{وزن خاک اشباع}}{\text{حجم کل}} = \frac{W_s + W_w}{V} \Rightarrow$ $\gamma_{sat} = \frac{G_s \gamma_w + e\gamma_w}{1+e} = \frac{(G_s + e)}{1+e} \gamma_w$
وزن مخصوص غوطه‌وری		$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{(G_s - 1)}{1+e} \gamma_w$

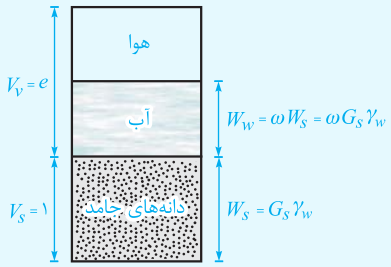
دو رابطه مهم و کاربردی

در اینجا می‌خواهیم شما را با دو رابطه مهم آشنا کنیم که اهمیت زیادی داشته و در حل مسائل کاربرد زیادی دارند.

۱) ارتباط بین پارامترهای G_s، e، ω و S_r به‌صورت زیر است:

$$\omega G_s = S_r e$$

- اثبات از طریق دیاگرام سه فازی:



$$\begin{cases} W_w = \omega G_s \gamma_w \Rightarrow \omega G_s = \frac{W_w}{\gamma_w} = V_w \\ S_r = \frac{V_w}{V_v} \Rightarrow V_w = S_r V_v \\ V_v = e \end{cases} \Rightarrow \omega G_s = S_r e$$

۲) ارتباط بین وزن مخصوص خشک (γ_d) و وزن مخصوص مرطوب (γ_t) در یک خاک به‌صورت زیر است:

$$W_{کل} = W_s (1+\omega) \xrightarrow{\text{طرفین را بر } V \text{ تقسیم می‌کنیم}} \frac{W_{کل}}{V} = \frac{W_s}{V} (1+\omega) \Rightarrow \gamma_d = \frac{\gamma_t}{1+\omega}$$

در ادامه به حل چند تمرین از روابط ارائه شده تا این جای بحث می‌پردازیم.

تمرین ۱۳: یک نمونه خاک مرطوب به وزن ۱۸۰ گرم و حجم $100\,cm^3$ پس از خشک شدن در کوره ۳۰ گرم از وزنش کاسته می‌شود. اگر چگالی دانه‌های جامد $G_s = 2/5$ باشد، موارد خواسته شدهٔ زیر را تعیین کنید.

الف) نسبت تخلخل، تخلخل و درصد هوای خاک

ب) میزان رطوبت و درجهٔ اشباع خاک

ج) وزن مخصوص‌های مرطوب، خشک و اشباع خاک

حل:

الف) با توجه به اطلاعات صورت سؤال، معلوم است که وزن اولیهٔ نمونه برابر ۱۸۰ گرم می‌باشد و وقتی آن را در کوره خشک می‌کنیم، آب آن که ۳۰ گرم است، تبخیر شده و ۱۵۰ گرم باقی‌مانده (۱۵۰ = ۳۰ − ۱۸۰)، همان وزن دانه‌های جامد خواهد بود.

برای شروع، ابتدا با استفاده از اطلاعات قسمت جامد خاک (W_s ، G_s)، حجم دانه‌های جامد (V_s) را می‌یابیم:

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \Rightarrow 2/5 = \frac{150}{V_s \times 1} \Rightarrow V_s = 60\,cm^3$$

و از آنجا V_v برابر می‌شود با:

$$V_v = V - V_s = ۱۰۰ - ۶۰ = ۴۰ cm^۳$$

حال می‌توان نسبت تخلخل خاک (e) را به‌دست آورد:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{۴۰}{۶۰} = \frac{۲}{۳}$$

همچنین طبق تعریف، پوکی (n) خاک برابر می‌شود با:

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{۴۰}{۱۰۰} = ۰/۴ \quad \text{یا} \quad n = \frac{e}{۱+e} = \frac{(\frac{۲}{۳})}{۱+(\frac{۲}{۳})} = ۰/۴$$

و در نهایت درصد هوا (A) نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$A = \frac{V_a}{V} \;,\; V_a = V_v - V_w = V_v - \frac{W_w}{\gamma_w} = ۴۰ - \underbrace{(\frac{۳۰}{۱})}_{\to ۳۰^*} = ۱۰ cm^۳ \Rightarrow A = \frac{۱۰}{۱۰۰} = ۰/۱ \quad \text{یا} \quad ۱۰٪$$

ب) با داشتن اطلاعات مربوط به مقدار آب موجود در خاک (W_w ,V_w)، درصد رطوبت و همچنین درصد اشباع خاک برابر می‌شوند با:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} = \frac{۳۰}{۱۵۰} = ۰/۲ \quad \text{یا} \quad ۲۰٪ \qquad S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{۳۰}{۴۰} = ۰/۷۵ \quad \text{یا} \quad ۷۵٪$$

ج) طبق تعریف گفته شده در مورد وزن مخصوص‌های خواسته شده و با توجه به مقادیر موجود برای وزن و حجم خاک، می‌نویسیم:

$$\gamma_t = \frac{W}{V} = \frac{۱۸۰}{۱۰۰} = ۱/۸ \, gr/cm^۳$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{۱۵۰}{۱۰۰} = ۱/۵ \, gr/cm^۳ \quad \text{یا} \quad \gamma_d = \frac{\gamma_t}{۱+\omega} = \frac{۱/۸}{۱+۰/۲} = ۱/۵ \, gr/cm^۳$$

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{۱+e}\gamma_w = \frac{۲/۵ + \frac{۲}{۳}}{۱+\frac{۲}{۳}} \times ۱ = ۱/۹ \, gr/cm^۳$$

تمرین ۱۴: کدام‌یک از روابط ذیل صحیح می‌باشد؟ (S_r درجه اشباع، n پوکی، ω درصد رطوبت، G_s چگالی دانه‌های جامد خاک، γ_d وزن مخصوص خشک، γ_w وزن مخصوص آب) (سراسری - ۸۵)

۱) $S_r = \frac{\omega G_s n}{(۱-n)}$ ۲) $S_r = \frac{\omega G_s (۱-n)}{n}$ ۳) $\gamma_d = \frac{۱-n}{G_s}\gamma_w$ ۴) $\gamma_d = \frac{G_s}{۱-n}\gamma_w$

● حل:

$$\begin{cases} \omega G_s = S_r e \Rightarrow S_r = \frac{\omega G_s}{e} \\ n = \frac{e}{۱+e} \Rightarrow n + ne = e \Rightarrow n = e(۱-n) \Rightarrow e = \frac{n}{۱-n} \end{cases} \Rightarrow S_r = \frac{\omega G_s}{(\frac{n}{۱-n})} = \frac{\omega G_s (۱-n)}{n} \Rightarrow$$

گزینهٔ (۲) صحیح است

تمرین ۱۵: کدام‌یک از روابط ارائه شده در گزینه‌ها زیر صحیح نیست؟

۱) $A = n(۱-S_r)$ ۲) $\gamma_d = \frac{\gamma_s}{۱+e}$ ۳) $\gamma_{sat} = \gamma_d + n\gamma_w$ ۴) $\gamma_w G_s e = \gamma_d n$

● حل: برای پاسخ به این تست، گزینه ها را تک‌تک بررسی می‌کنیم:

گزینهٔ (۱):
$$n(۱-S_r) = \frac{V_v}{V}(۱-\frac{V_w}{V_v}) = \frac{V_v}{V} - \frac{V_w}{V} = \frac{V_a}{V} = A \;\checkmark$$

گزینهٔ (۲):
$$\frac{\gamma_s}{۱+e} = \frac{G_s \gamma_w}{۱+e} = \gamma_d \;\checkmark$$

گزینهٔ (۳):
$$\gamma_d + n\gamma_w = \frac{G_s \gamma_w}{۱+e} + \frac{e}{۱+e}\gamma_w = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{۱+e} = \gamma_{sat} \;\checkmark$$

گزینهٔ (۴):
$$\gamma_w G_s e = \gamma_w \times \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \times e = \gamma_s \times e = \frac{W_s}{V_s} \times \frac{V_v}{V_s} = \underbrace{\frac{W_s}{V}}_{\gamma_d} \times \underbrace{\frac{V_v}{V}}_{n} \times (\frac{V}{V_s})^۲ = \gamma_d n (\frac{V}{V_s})^۲ \;\times$$

بنابراین گزینهٔ (۴) پاسخ این تست است.

---

* همانطورکه می‌بینید، حجم ۳۰ گرم آب، برابر ۳۰ سانتی‌متر مکعب است. باید بگوییم این موضوع عمومیت دارد یعنی وزن آب برحسب گرم با حجم آن برحسب $cm^۳$، از نظر عددی یکسان است.

تست‌های فصل اول

۱- کدام‌یک از عبارات زیر درمورد کانی‌های رسی صحیح است؟

۱) پایداری کائولینیت‌ها از ایلیت‌ها بیشتر است ولی از مونت‌موریلونیت‌ها کمتر می‌باشد.
۲) ابعاد ایلیت‌ها از مونت‌موریلونیت‌ها و کائولینیت‌ها کمتر است.
۳) تمایل به جذب آب در مونت‌موریلونیت‌ها بیشتر از کائولینیت‌ها و ایلیت‌ها می‌باشد.
۴) هرسه مورد فوق صحیح می‌باشند.

۲- در مورد خواص روانی و خمیری خاکهای ریزدانه رسی می‌توان گفت که ... عامل رفتار خمیری و ... باعث بروز خاصیت روانی خاکهای مذکور می‌شوند. (سراسری-۸۰)

۱) آب جذب سطحی، قطبی بودن مولکول آب
۲) آب جذب سطحی، آب آزاد
۳) قطبی بودن مولکول‌های آب، وجود یون‌های پتاسیم و کلسیم و سدیم
۴) جایگزینی اتم‌های با ظرفیت کمتر در مولکول‌های خاک رس، جایگزینی فلزها با ظرفیت بیشتر

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

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

۴- رطوبت یک نمونه خاک اشباع ۲۰ درصد و چگالی دانه‌های جامد آن $G_s = ۲/۵$ می‌باشد. تخلخل (پوکی) این خاک کدام است؟

۱) ۰/۵ ۲) ۰/۶۷ ۳) ۰/۳۳ ۴) ۰/۴۵

۵- اگر G_s چگالی دانه‌های جامد خاک، ω میزان رطوبت، e نشانهٔ خلاء، n پوکی و A درصد هوای خاک باشد، در آن‌صورت حاصل عبارت $(\frac{e}{n})A$ کدام است؟

۱) $e+G_s$ ۲) $e-\omega G_s$ ۳) $۱+\omega G_s$ ۴) هیچکدام

۶- کدام رابطه، بین چگالی دانه‌های جامد خاک G_s، درجه اشباع S_r، نشانهٔ خلاء (ضریب تخلخل) e و درصد رطوبت ω برقرار می‌باشد؟ (سراسری - ۸۸)

۱) $\frac{G_s}{e}=\frac{\omega}{S_r}$ ۲) $\frac{G_s}{۱+e}=\frac{S_r}{\omega}$ ۳) $\frac{G_s}{e}=\frac{S_r}{\omega}$ ۴) $\frac{G_s}{۱+e}=\frac{\omega}{S_r}$

۷- اگر نسبت حجم فضای خالی به حجم دانه‌های جامد یک خاک برابر ۰/۸ و چگالی دانه‌های جامد و درجه اشباع خاک به‌ترتیب برابر ۲/۵ و ۰/۷۵ باشند، در آن‌صورت جرم مخصوص این خاک برحسب $(gr/cm^۳)$ چقدر است؟

۱) ۱/۵ ۲) ۱/۶۷ ۳) ۱/۷۲ ۴) ۱/۹

۸- خاکی با رطوبت ۰/۲ تا رسیدن به اشباع ۸۱ درصد، متراکم می‌شود. اگر چگالی دانه‌های جامد خاک $G_s = ۲/۷$ باشد، وزن مخصوص حالت خشک و اشباع خاک در این حالت به‌ترتیب کدامند؟ $(\gamma_w = ۱۰ kN/m^۳)$

۱) $۱۶/۸ kN/m^۳$, $۲۰/۲ kN/m^۳$ ۲) $۱۶/۲ kN/m^۳$, $۲۰/۲ kN/m^۳$
۳) $۱۶/۸ kN/m^۳$, $۱۹/۴ kN/m^۳$ ۴) $۱۶/۲ kN/m^۳$, $۱۹/۴ kN/m^۳$

۹- وزن مخصوص خشک خاکی ۰/۸ وزن مخصوص حالت اشباع آن است. اگر تخلخل نمونه برابر ۰/۴ باشد، در آنصورت وزن مخصوص خشک (γ_d) برابر است با: $(\gamma_w = ۱۰ kN/m^۳)$

۱) $۱۶ kN/m^۳$ ۲) $۱۸ kN/m^۳$ ۳) $۲۰ kN/m^۳$ ۴) $۲۲ kN/m^۳$

۱۰- مقداری ماسه خشک در لولهٔ استوانه‌ای شکل به مساحت $۲۰۰ cm^۲$ و ارتفاع $۷۵ cm$ ریخته شده است. حجم آب لازم برای اشباع نمودن خاک درون استوانه $۵۰۰۰ cm^۳$ است. وزن مخصوص خشک ماسه چند $gr/cm^۳$ است؟ $(\gamma_s = ۲/۷ gr/cm^۳)$

۱) ۲ ۲) ۱/۸ ۳) ۱/۶۷ ۴) ۱/۵

پاسخ تست‌های فصل اول

۱- (۳)

با مراجعه به توضیحات ارائه شده در مورد این سه نوع کانی رسی که در متن درس آمده است، می‌توان گفت چون مونت موریلونیت نسبت به بقیه سطح ویژهٔ بزرگتری دارد، بنابراین تمایل به جذب آب در آن بیشتر بوده و گزینهٔ (۳) صحیح است.

طبق توضیحات ارائه شده در همان قسمت می‌توانید علت نادرست بودن عبارت‌های مطرح شده در گزینه‌های (۱) و (۲) را ببینید.

۲- (۲)

در بخش (A-۴) توضیح داده شد که عامل رفتار خمیری و نیز بروز خاصیت روانی در خاک‌های رسی، به‌ترتیب آب جذب سطحی و آب آزاد می‌باشد.

۳- (۲)

طبق سؤال (۶) که در بخش (A-۴) مطرح شد، عامل اصلی خاصیت چسبندگی در رس‌ها، وجود نیروهای جاذبهٔ الکترواستاتیکی است.

۴- (۳)

چون ω، G_s و S_r را داریم (خاک اشباع است و $S_r = ۱$ می‌باشد)، بنابراین از رابطهٔ ترکیبی وزنی و حجمی استفاده کرده و به‌صورت زیر e را می‌یابیم:

$$\omega G_s = S_r e \Rightarrow ۰/۲ \times ۲/۵ = ۱ \times e \Rightarrow e = ۰/۵$$

حال در ادامه می‌توان تخلخل خاک (n) را به‌سادگی به‌دست آورد:

$$n = \frac{e}{۱+e} = \frac{۰/۵}{۱+۰/۵} = ۰/۳۳$$

۵- (۲)

ابتدا عبارت خواسته شده را به‌صورت زیر باز می‌کنیم:

$$\left(\frac{e}{n}\right) A = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{\frac{V_v}{V}} \times \frac{V_a}{V} = \frac{\boxed{V_a}}{V_s} = \frac{V_v - V_w}{V_s} = \boxed{\frac{V_v}{V_s}} - \frac{V_w}{V_s}$$

($V_a = V_v - V_w$ ، $\frac{V_v}{V_s} = e$)

سپس مقدار $\frac{V_w}{V_s}$ را نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\begin{cases} V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} \\ V_s = \frac{W_s}{G_s \gamma_w} \end{cases} \Rightarrow \frac{V_w}{V_s} = \frac{\frac{W_w}{\gamma_w}}{\frac{W_s}{G_s \gamma_w}} = \frac{W_w}{W_s} G_s = \omega G_s$$

و در نهایت حاصل عبارت داده شده در صورت سؤال برابر خواهد بود با:

$$\left(\frac{e}{n}\right) A = e - \omega G_s$$

راه حل کوتاهتر: در تمرین (۱۵) در متن درس، دیدیم که رابطه زیر بین A، n و S_r برقرار است:

$$A = n(۱ - S_r)$$

حال با به‌کارگیری این رابطه در عبارت داده شده در صورت سؤال، خواهیم داشت:

$$\left(\frac{e}{n}\right) A = \frac{e}{n} \times n(۱ - S_r) = e - \boxed{eS_r} = e - \boxed{\omega G_s}$$

($\omega G_s = S_r e$)

۶- (۳)

با کمی دقت می‌توان مشاهده کرد که گزینهٔ (۳) در واقع همان رابطهٔ ترکیبی وزنی و حجمی یعنی رابطهٔ معروف $\omega G_s = S_r e$ می‌باشد، بنابراین همین گزینه پاسخ صحیح است.

۷- (۳)

جرم مخصوص یک خاک، رابطه‌ای مشابه با وزن مخصوص آن دارد. بنابراین برای نوشتن رابطه جرم مخصوص فقط کافیست در تمام رابطه به‌جای γ (وزن مخصوص) از ρ (جرم مخصوص) استفاده شود:

$$\gamma_t = \frac{G_s\,(1+\omega)\,\gamma_w}{1+e} \xrightarrow{\text{به جای } \gamma \text{ ها، } \rho \text{ می‌گذاریم.}} \rho_t = \frac{G_s\,(1+\omega)\,\rho_w}{1+e}$$

حال برای حل این تست، طبق اطلاعات صورت سؤال، می‌نویسیم:

$$\frac{V_v}{V_s} = e = 0/8$$

$$\omega G_s = S_r e \Rightarrow \omega \times 2/5 = 0/75 \times 0/8 \Rightarrow \omega = 0/24$$

و در نهایت مقدار ρ_t برابر می‌شود با:

$$\rho_t = \frac{2/5 \times (1+0/24) \times 1}{1+0/8} = 1/72\ gr/cm^3$$

۸- (۲)

ابتدا روابط وزن مخصوص‌های خشک و اشباع خاک را در نظر بگیرید:

$$\gamma_d = \frac{G_s\,\gamma_w}{1+e} \quad , \quad \gamma_{sat} = \frac{(G_s+e)\,\gamma_w}{1+e}$$

همانطورکه ملاحظه می‌کنید در این تست کافیست ابتدا نسبت تخلخل خاک (e) را محاسبه کنیم تا از این طریق γ_d و γ_{sat} نیز به‌دست آیند. برای محاسبهٔ e از رابطهٔ ترکیبی وزنی و حجمی استفاده کرده و می‌نویسیم:

$$\omega G_s = S_r e \Rightarrow 0/2 \times 2/7 = 0/81 \times e \Rightarrow e = \frac{2}{3}$$

و در نهایت γ_d و γ_{sat} به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند:

$$\gamma_d = \frac{2/7 \times 10}{1+\frac{2}{3}} = 16/2\ kN/m^3 \quad , \quad \gamma_{sat} = \frac{(2/7+\frac{2}{3})}{1+\frac{2}{3}} \times 10 = 20/2\ kN/m^3$$

۹- (۱)

طبق اطلاعات صورت سؤال، می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} n = \dfrac{e}{1+e} = 0/4 \Rightarrow 0/4 + 0/4e = e \Rightarrow e = \dfrac{2}{3} \\ \gamma_d = 0/8\,\gamma_{sat} \Rightarrow \dfrac{G_s\,\gamma_w}{1+e} = 0/8 \times \dfrac{(G_s+e)\,\gamma_w}{1+e} \Rightarrow G_s = 0/8\,G_s + 0/8\,e \end{cases}$$

$$\Rightarrow 0/2\,G_s = 0/8\,e = 0/8 \times \frac{2}{3} \Rightarrow G_s = \frac{8}{3}$$

و در نهایت وزن مخصوص خشک این خاک برابر می‌شود با:

$$\gamma_d = \frac{G_s\,\gamma_w}{1+e} = \frac{\frac{8}{3} \times 10}{1+\frac{2}{3}} = 16\ kN/m^3$$

۱۰- (۲)

در نمونهٔ مطرح شده، حجم کل (V) برابر حجم لولهٔ استوانه‌ای است:

$$V = (AH)_{\text{استوانه}} = 200 \times 75 = 15000\ cm^3$$

از طرفی در صورت سؤال گفته شده که $5000\ cm^3$ آب برای اشباع کردن نمونه لازم است، بنابراین با توجه به خشک بودن خاک می‌توان گفت، حجم حفرات خالی در این نمونه برابر $V_v = 5000\ cm^3$ بوده و در نتیجه حجم دانه‌های جامد برابر می‌شود با:

$$V_s = V - V_v = 15000 - 5000 = 10000\ cm^3$$