



مکانیک خاک

فصل ۱. منشأ خاک و سنگ و دانه بندی

دکتر علیرضا غنی زاده

دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی سیرجان

اهمیت مکانیک خاک



- ✓ خاک به عنوان مصالح ساختمانی در طرح های مهمی در مهندسی عمران به کار گرفته می شود.
- ✓ انسان روی خاک زندگی می کند و انواع مختلف سازه همانند خانه ها، راه ها، پل ها و ... را احداث می نماید.
- ✓ بنابراین مهندسان عمران باید به خوبی خواص خاک از قبیل مبداء پیدایش، دانه بندی، قابلیت زهکشی آب، نشست، مقاومت برشی، ظرفیت باربری و غیره را مطالعه نموده و رفتار خاک را در نتیجه فعالیت انسان پیش بینی نماید.

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

اهمیت مکانیک خاک



ظرفیت باربری پی‌های سطحی



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

3

اهمیت مکانیک خاک



روانگرایی خاک



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

4

اهمیت مکانیک خاک



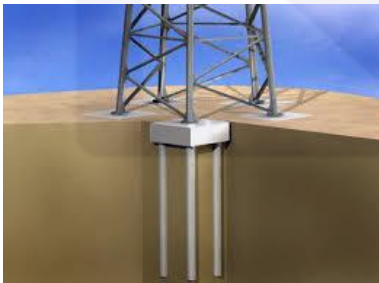
پایداری شیروانی

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

5

اهمیت مکانیک خاک



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

6

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

اهمیت مکانیک خاک



بهسازی خاک با مواد شیمیایی یا ژئوسینتتیک (زمین پارچه)



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

7

اهمیت مکانیک خاک



پایدارسازی گود



دانشگاه صنعتی سیرجان

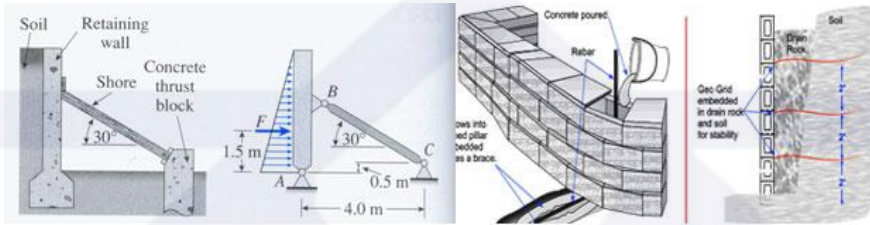
مکانیک خاک

8

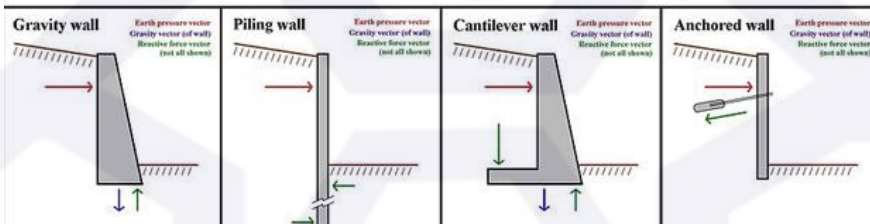
اهمیت مکانیک خاک



دیوارهای نگهدارنده



Simplified explanation of typical retaining walls



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

9

اهمیت مکانیک خاک



محاسبات مربوط به اجرا و پایدارسازی تونل



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

10

خاک و مکانیک خاک



خاک:

خاک مخلوط غیر یکپارچه ای از دانه های کانی ها و مواد آلی فاسد شده ای می باشد که فضای خالی بین آنها توسط آب و هوا (گازها) اشغال شده است.

مکانیک خاک:

مکانیک خاک شاخه ای از علوم مهندسی است که به مطالعه مشخصات فیزیکی و رفتار توده خاک تحت بارهای وارده می پردازد.

مکانیک خاک تقریباً در آغاز قرن بیستم توسعه پیدا نموده است. در آن زمان نیاز به تحلیل و بررسی رفتار خاک ها در بسیاری از کشورها حس می شد که علت آن هم حوادثی همانند زمین لغزش ها و گسیختگی فونداسیون ها بود. بسیاری از اصول پایه مکانیک خاک در آن زمان به خوبی مورد استفاده قرار می گرفتند اما جمع بندی جامعی از این مبانی بنیادی تحت عنوان علم مکانیک خاک وجود نداشت.

مختصری از علم مکانیک خاک



- ✓ کولمب در سال ۱۷۷۶ رساله مهمی در رابطه با گسیختگی خاک تالیف نمود.
- ✓ رانکین که در سال ۱۸۵۷ مقاله بسیار مهمی در رابطه با حالت های تنش به چاپ رساند.
- ✓ در سال ۱۸۵۶ داری نتایج تحقیقاتش در رابطه با نفوذ پذیری خاک را با هدف تامین آب شهر Dijon به چاپ رساند.
- ✓ اصول مکانیک مصالح و محیط پیوسته شامل استاتیک و مقاومت مصالح نیز به خوبی در قرن نوزدهم در اثر فعالیت کوشی، ناویر و بوسینسک توسعه پیدا نموده بودند.
- ✓ در آغاز این قرن، کارل ترزاقی بیشترین و مهمترین سهم را در توسعه مکانیک خاک بر عهده داشت. ترزاقی در سال ۱۹۲۵ کتاب Eedbaumechanik (مکانیک خاک) را به چاپ رساند. این کتاب به عنوان مبدا پیدایش مکانیک خاک مدرن شناخته می شود.

ویژگی‌های منحصر به فرد خاک



✓ سختی وابسته به تنش

✓ برش

✓ اتساع

✓ خزش

✓ تراز آب زیرزمینی و تنش مؤثر

✓ تنش‌های اولیه نامشخص

✓ تغییر پذیری

چرخه سنگ و منشاء خاک

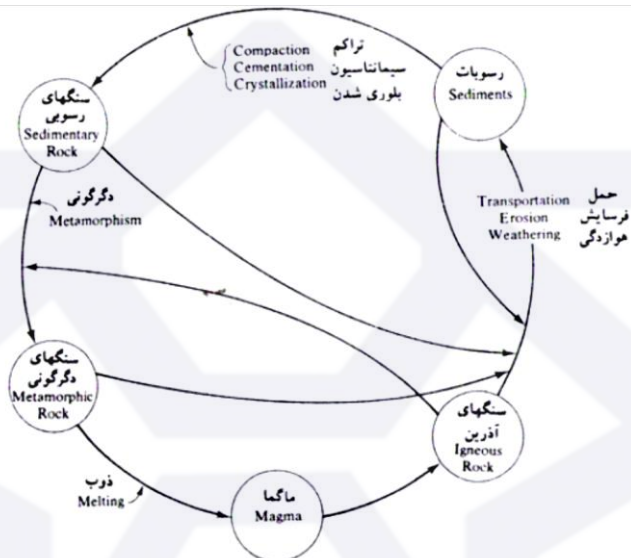


✓ دانه های کانی که تشکیل دهنده قسمت جامد خاک هستند، از هوازدگی سنگ ها بوجود می آیند.

✓ کانی‌ها مواد طبیعی، غیر آلی، جامد و متبلوری هستند که ترکیب شیمیایی نسبتاً ثابتی دارند. تعداد کانی‌های شناخته شده در طبیعت بسیار زیاد است اما تمام این کانی‌ها دارای اهمیت نیستند و تعداد معدودی از این کانی‌ها در ساختار سنگ ها مشارکت می‌کنند که به آنها کانی‌های سنگ ساز می‌گویند.

✓ برپایه نحوه پیدایش، سنگها به سه نوع اصلی، آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم بندی می‌شوند.

چرخه سنگ



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

15

سنگهای آذرین



- ✓ سنگهای آذرین خروجی، از انجماد گدازه های ماگما که از اعماق زمین به بیرون پرتاب شده اند، تشکیل می شوند.
- ✓ بعد از پرتاب، چه به صورت فوران از شکافها و چه به صورت فوران از کوههای آتشفشانی، مقداری از گدازه های ماگما در روی سطح زمین سرد می شوند.
- ✓ گاهی مواقع حرکت ماگما در زیرسطح زمین متوقف شده و پس از سرد شدن تشکیل سنگهای آذرین نفوذی که پلوتون نامیده می شوند، می دهند.
- ✓ نوع سنگ آذرین تشکیل یافته از سرد شدن ماگما، بستگی به عوامل متعددی نظیر ترکیبات ماگما، و سرد شدن آن دارد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

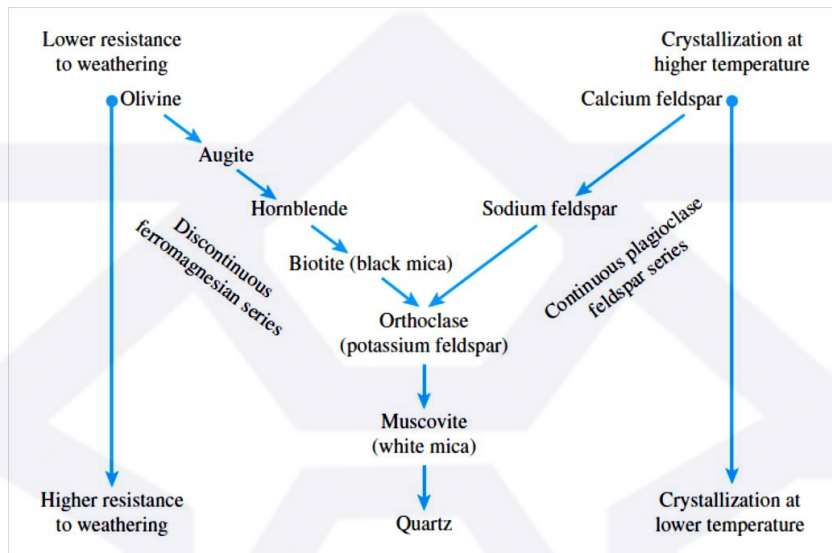
مکانیک خاک

16

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

سری واکنشی باون



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

17

هوازگی



✓ هوازگی فرآیند خرد شدن سنگ‌ها به قطعات کوچکتر به وسیله فعل و انفعالات مکانیکی و شیمیایی است.

✓ هوازگی مکانیکی ناشی از عوامل زیر است:

- انقباض و انبساط سنگ به علت تغییرات دما
- انجماد آبهای نفوذی به داخل خلل و فرج سنگ
- باد
- آب جاری در رودخانه و جویبارها
- امواج دریا

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

18

هوازدگی



- ✓ در هوازدگی شیمیایی، کانیهای اصلی سنگ به وسیله واکنشهای شیمیایی به کانیهای جدید تبدیل می‌شوند.
- ✓ فرآیند هوازدگی فقط محدود به سنگهای آذرین نمی‌شود. همانطور که در چرخه سنگها نشان داده شد، سنگهای رسوبی و سنگهای دگرگونی نیز به روش مشابه، هوا زده می‌شوند.
- ✓ کانیهای رس، که فرآورده‌هایی از هوازدگی شیمیایی فلداسپاتها، فرومنیزین‌ها و میکاها هستند، کانی‌هایی هستند که ظهور آنها در خاک، باعث خواص خمیری می‌شود.

سنگ‌های رسوبی تخریبی



- ✓ رسوبات شن، ماسه، لای و رس که بوسیله هوازدگی تشکیل یافته اند، ممکن است توسط فشار ناشی از سربار، متراکم و توسط موادی نظیر اکسید آهن، کلسیت، دولومیت و کوارتز سمته شوند.
- ✓ مواد سمته‌شده معمولاً به صورت محلول در آب زیر زمینی 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 نامیده می‌شوند. کنگلومرا، ماسه سنگ، ماداستون و شیل مثالهایی از سنگهای رسوبی تخریبی هستند.

سنگ‌های رسوبی شیمیایی



- ✓ سنگ‌های رسوبی می‌توانند بوسیله فرآیند شیمیایی تشکیل یابند که سنگ‌هایی از این نوع به سنگ‌های رسوبی شیمیایی معروف هستند.
- ✓ سنگ آهک، گچ، دولومیت، ژئیس، انیدریت، مثالهایی از این نوع سنگ‌های رسوبی می‌باشند.
- ✓ سنگ‌های آهکی اکثراً از کربنات کلسیم تشکیل می‌شوند که از رسوبات کلسیت توسط فرآیندهای آلی یا غیر آلی شکل می‌گیرد.

سنگ‌های دگرگونی



- ✓ دگرگونی عبارت است از فرآیند تغییر ترکیب و بافت سنگ بوسیله گرما و فشار بدون وقوع ذوب.
- ✓ 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 درجه بالا به گنیس تبدیل می‌شوند. شیل و ماداستون با درجه دگرگونی پایین به اسلیت و فیلیت بدل می‌شود. شیست‌ها یک نوع از سنگ‌های دگرگونی با بافت ورقه‌ای خوب و پولک‌های قابل مشاهده و کانی‌های میکا هستند.

مرز بین خاک و سنگ



✓ بنا به تعریف، مواد معدنی متشکله پوسته رویی زمین تشکیل شده است از تعدادی ذرات مجزا از هم که خاک نامیده می‌شود و توده‌ای از ذرات چسبیده به هم و یکپارچه که سنگ خوانده می‌شود.

✓ چسبیدگی بین ذرات توده خاک در اثر قرار گرفتن آن در آب و به هم زده شدن از بین می‌رود و ذرات از هم جدا می‌شوند. در حالی که در سنگ‌ها این چسبندگی در اثر قرار گرفتن آن در آب و به هم زده شدن از بین نرفته و توده سنگ استحکام خود را همچنان در زیر آب نیز حفظ می‌نماید و با به هم زده شدن پراکنده نمی‌گردد.

اجزاء تشکیل دهنده خاک



شن: خرده‌سنگ همراه با دانه‌هایی از جنس کوارتز، فلدسپار و سایر کانی‌ها است.

ماسه: دانه‌هایی که اکثراً از جنس کوارتز و فلدسپار است. دانه‌هایی از سایر کانی‌ها نیز گاهی مواقع یافت می‌شود.

لای: ذرات ریز (میکروسکوپی) خاک است که از دانه‌های بسیار ریز کوارتز و ذرات پولکی شکل حاصل از متلاشی شدن کانی‌های میکا دار تشکیل می‌یابد.

رس: ذرات بسیار ریز پولکی شکل میکا، کانی‌های رس و سایر کانی‌ها است. همان‌طور که جدول اسلاید بعد نشان می‌دهد، رس‌ها معمولاً ذراتی با اندازه کوچک‌تر از 0.002 میلی‌متر تعریف می‌شوند لیکن گاهی مواقع ذراتی با اندازه 0.002 تا 0.005 میلی‌متر رس تعریف می‌گردند. ذراتی که برحسب اندازه، در طبقه رس‌ها قرار می‌گیرند، لزوماً شامل کانی‌های رس نمی‌شوند. رس‌های ذراتی تعریف می‌شوند که اگر با مقدار محدودی آب مخلوط شوند، خاصیت خمیری از خود نشان می‌دهند. (Grim, 1953).

اندازه اجزاء تشکیل دهنده خاک



نام سازمان	اندازه دانه ها (mm)			
	شن	ماسه	لای	رس
انستیتو تکنولوژی ماساچوست (MIT)	> 2	0.06 تا 2	0.06 تا 0.002	< 0.002
سازمان کشاورزی آمریکا (USDA)	> 2	0.05 تا 2	0.05 تا 0.002	< 0.002
انجمن ادارات راه و ترابری آمریکا (AASHTO)	2 تا 76.2	0.075 تا 2	0.075 تا 0.002	< 0.002
سیستم طبقه بندی متحد	4.75 تا 76.2	0.075 تا 4.75	ریز دانه ها (رس و لای)	

تخته سنگ	<	لاشه سنگ	<	قلوه سنگ	<	شن	<	ماسه	<	سیلت	<	رس
Boulder		Cobble		Pebble		Gravel		Sand		Silt		Clay

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

25

انواع کانی‌های رسی



✓ کانی‌های رسی معمولاً دارای ساختمان بلوری متشکل از دو بخش اساسی یعنی واحد چهار وجهی سیلیکا و واحد هشت وجهی آلومینا هستند.

✓ با توجه به نحوه قرار گرفتن این واحدهای ساختاری در کنار هم سه گروه اصلی کانی‌های رسی به وجود می‌آید که عبارتند از:

- کائولینیت

- ایلیت

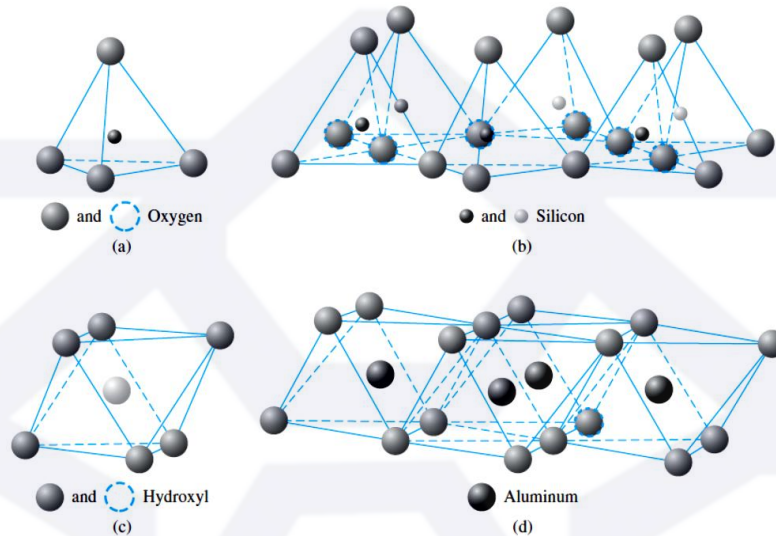
- مونت موریلونیت

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

26

انواع کانی‌های رسی



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

27

کائولینیت



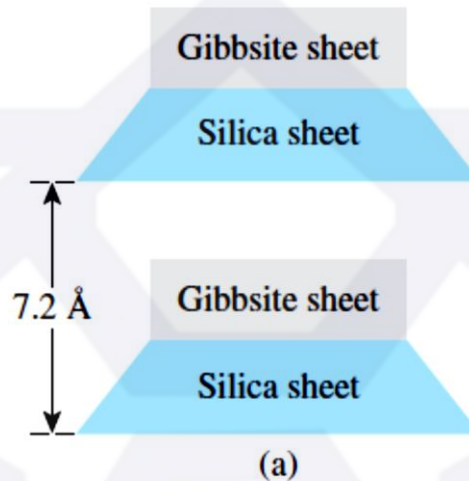
- ✓ واحدهای ساختمانی این گروه ضخامتی در حدود $7.2A$ ($A =$ انگستروم $= 10^{-10} m$) دارند.
- ✓ متشکل از یک لایه چهاروجهی سیلیکا و یک لایه هشت‌وجهی آلومینا هستند.
- ✓ شمار زیادی از این لایه‌ها روی هم قرار می‌گیرند تا ذراتی به ضخامت $500 \sim 1000A$ تشکیل دهند. نسبت قطر به ضخامت 10 تا 20 است.
- ✓ پیوند بین واحدها از نوع پیوند هیدروژنی بوده، بنابراین شبکه نسبتاً مستحکمی پدید می‌آورند.
- ✓ از این رو قدرت جذب آب پایین دارد و توانایی منقبض و متورم شدن در این گروه در برابر تغییرات رطوبت نیز بسیار پایین است.
- ✓ رنگ کائولینیت سفید است و از آن در ساخت ظروف چینی استفاده می‌شود.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

28

کائولینیت



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

29

ایلیت



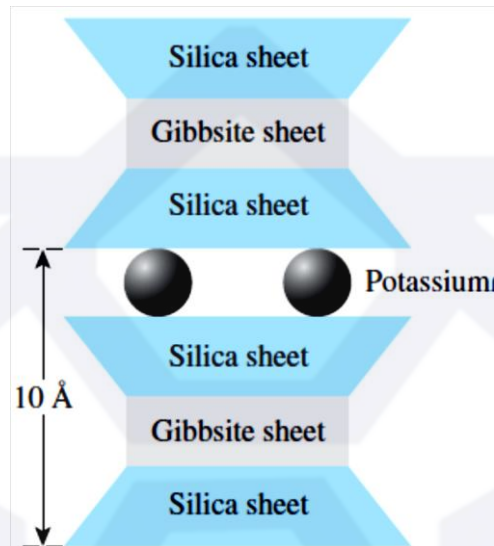
- ✓ هر واحد ساختمانی ایلیت ضخامتی در حدود 10A دارد.
- ✓ متشکل است از یک هشت وجهی آلومینا که بین دو لایه چهاروجهی سیلیکا قرار می گیرد.
- ✓ لایه های ایلیت به وسیله یون های پوتاسیوم به هم متصل هستند.
- ✓ این پیوند ضعیف تر از پیوند هیدروژنی در کائولینیت است. در نتیجه ذرات ایلیت ضخامتی حدود 200~300A خواهند داشت و نسبت قطر به ضخامت نیز حدود ۲۰ تا ۵۰ است.
- ✓ ایلیت بسیار مستعدتر از کائولینیت در جذب آب و انقباض و تورم است.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

30

ایلیت



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

31

مونت موریلونیت



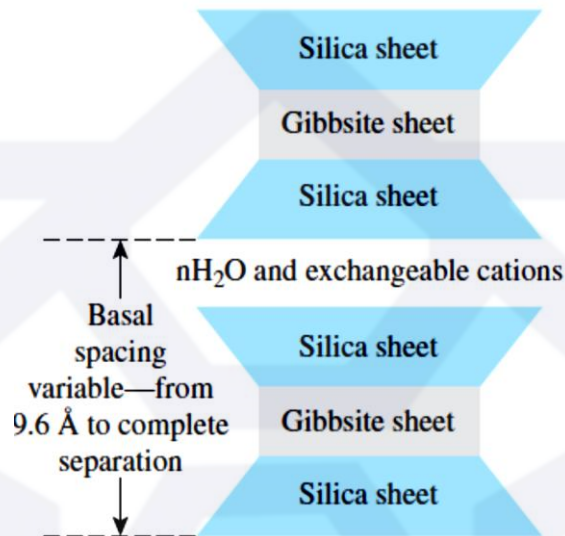
- ✓ پیوند مولکول‌های آب با این گروه بسیار ضعیف‌تر از پیوند یونی پتاسیم در ایلیت است.
- ✓ مونت موریلونیت به آسانی شکسته شده و به ذرات بسیار ریز تقسیم می‌شود که معمولاً ضخامتی در حدود 10~30A با نسبت قطر به ضخامت ۲۰۰ تا ۴۰۰ دارند.
- ✓ از جمله ویژگی‌های این گروه قدرت بالای جذب آب، انقباض و تورم است.
- ✓ یکی از اعضای خانواده مونت موریلونیت، بنتونیت (گل حفاری) است که خاصیت جذب آب بسیار بالا (تا ۸ برابر وزن خودش) را دارد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

32

مونت موریلونیت



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

33

سطح ویژه



✓ مقدار سطح جانبی کانی‌های رسی در واحد جرم، سطح ویژه نامیده می‌شود. از آنجایی که هر چه نسبت قطر به ضخامت پولک‌های رسی بیشتر باشد، سطح ویژه بیشتر خواهد شد، کائولینیت کمترین سطح ویژه و مونت موریلونیت بیشترین سطح ویژه را در میان کانی‌های رسی اصلی دارد.

مونت موریلونیت	ابلیت	کائولینیت	نوع کانی
9.6	10	7	ضخامت هر واحد (Å)
10 ~ 30	200 ~ 300	500 ~ 100	ضخامت هر لایه (Å)
-	20 ~ 30	70 ~ 140	تعداد واحد در هر لایه
800	80 ~ 100	10 ~ 20	سطح ویژه (m ² / g)

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

34

جذب آب



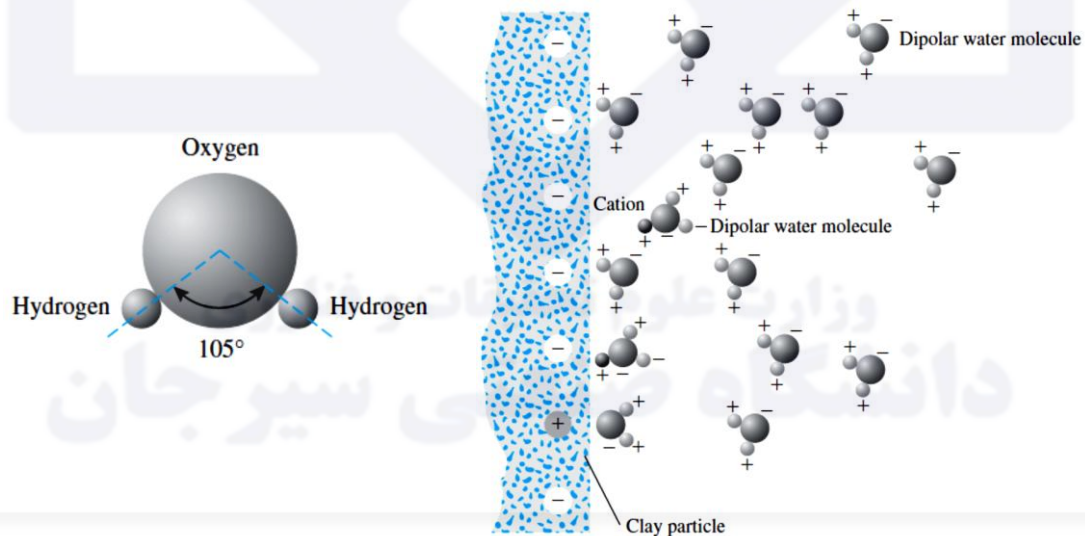
- ✓ سطح جانبی کانی‌های رسی دارای بار الکتریکی منفی بوده و هنگامی که در تماس مستقیم با آب قرار می‌گیرد، یون‌های مثبت مولکول دوقطبی آب را جذب می‌نماید.
- ✓ از لحاظ تراکم مولکولی آب در سه لایه در اطراف پولک‌های رسی قرار می‌گیرد. لایه اول که دارای پیوند مولکولی با جداره است به صورت لایه‌ای نازک و متراکم بوده و لایه آب جذب سطحی (Adsorbed water) نامیده می‌شود. لایه دوم مضاعف خوانده می‌شود که دارای تراکم مولکولی کمتر و ضخامت بیشتری نسبت به لایه جذب سطحی است. در اطراف لایه‌های مذکور نیز آب به صورت پراکنده قرار دارد.
- ✓ هرچه مقدار سطح ویژه کانی بیشتر باشد، سطح تماس رس با آب بیشتر خواهد شد و در نتیجه مقدار آب جذب شده در جداره کانی بیشتر خواهد شد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

35

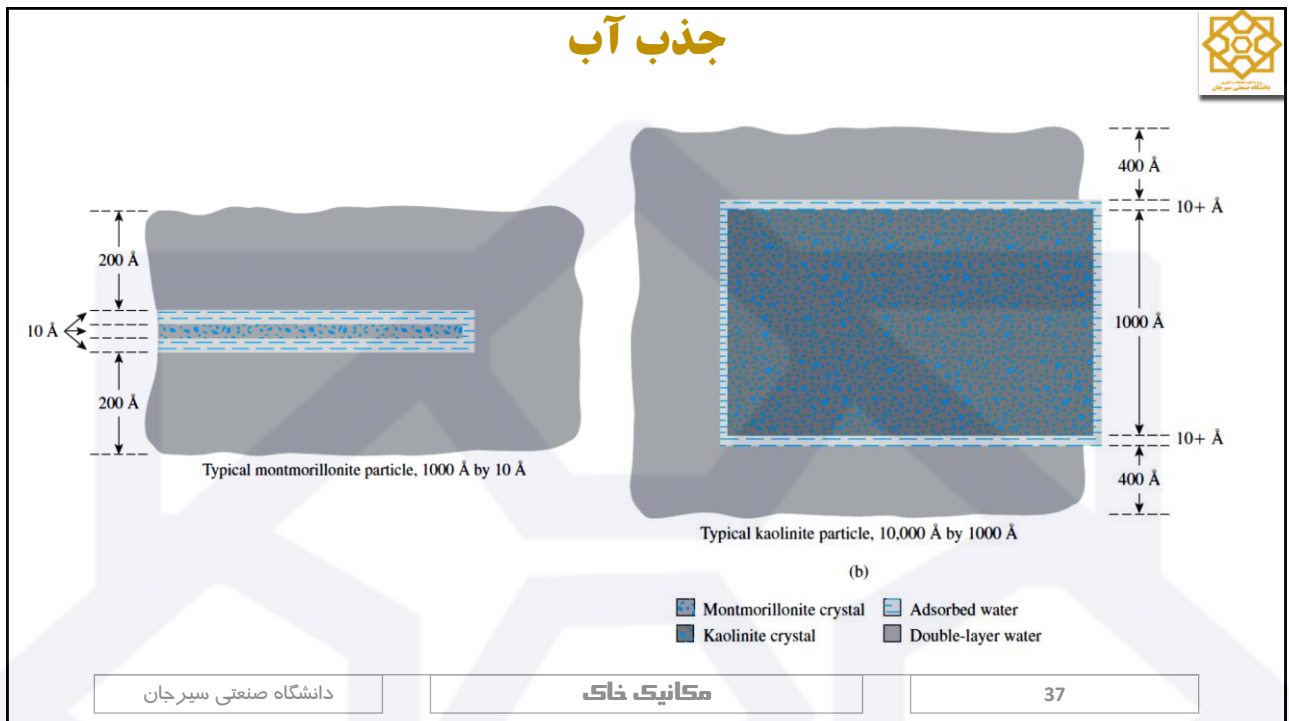
جذب آب



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

36



چگالی نسبی خاک

✓ چگالی نسبی یک خاک عبارتست از جرم حجم معینی از ذرات جامد خاک تقسیم بر جرم همان حجم آب در همان دما.

✓ چگالی خاک با استفاده از استاندارد زیر تعیین می‌شود:

ASTM D854: Standard Test Method for Specific Gravity of Soils

$$G_s (T_b \text{ دمای در}) = M_0 / [M_0 + (M_a - M_b)]$$

M_0 : وزن نمونه خشک شده در گرمخانه (gr)

$$G_s (T_b \text{ دمای در}) = \frac{G_s}{K} (20^\circ \text{C دمای در})$$

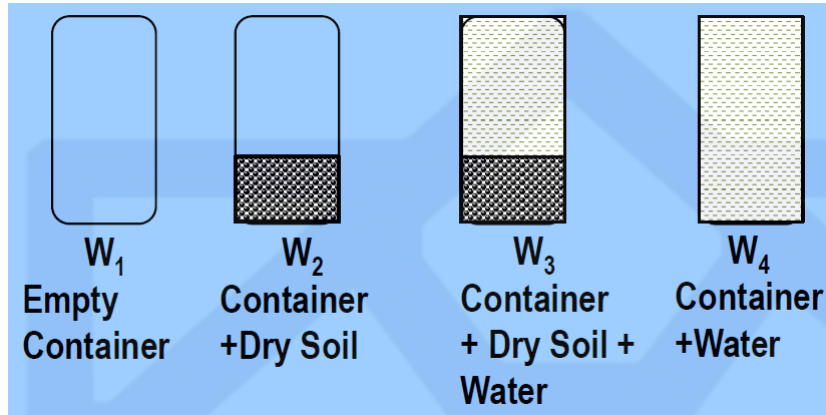
M_a : وزن پیکنومتر پر از آب در دمای T_a (gr)

M_b : وزن پیکنومتر پر از آب و خاک در دمای T_b (gr)

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

چگالی نسبی خاک



$$G = \frac{W_2 - W_1}{(W_2 - W_3) - (W_1 - W_4)}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

39

چگالی نسبی خاک



Relative density of water and correction factor (K) at various temperatures

Temp °C	Relative Density	Correction Factor (K)
18.0	0.99862	1.0004
19.0	0.99843	1.0002
20.0	0.99823	1.0000
21.0	0.99802	0.9998
22.0	0.99780	0.9996
23.0	0.99757	0.9993
24.0	0.99733	0.9991
25.0	0.99708	0.9988
26.0	0.99682	0.9986
27.0	0.99655	0.9983
28.0	0.99627	0.9980
29.0	0.99598	0.9977
30.0	0.99568	0.9974
31.0	0.99537	0.9971
32.0	0.99505	0.9968

NOTE: Data obtained from ASTM. Correction factor, K, is found by dividing the relative density of water at the test temperature by the relative density of water at 20°C.

$$G' = kG$$

$G' =$ چگالی نسبی خاک در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد
 $G =$ چگالی نسبی خاک در دمای اتاق

$$K = \frac{\text{دانسیتة نسبی آب در دمای اتاق}}{\text{دانسیتة نسبی آب در دمای 20 درجه سانتیگراد}}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

40

مثالی از نحوه محاسبه چگالی نسبی خاک



SPECIFIC GRAVITY OF SOIL

S. No.	Description	Determination No.		
		I	II	III
1	Temperature in °C	31	31	31
2	Weight of bottle (W_1) in g	18.57	18.50	18.62
3	Weight of bottle + Dry soil (W_2) in g	28.57	28.50	28.62
4	Weight of bottle + Soil + Water (W_3) in g	90.88	90.20	91.02
5	Weight of bottle + Water (W_4) in g	84.74	84.00	84.83
CALCULATION:				
1	Specific gravity $G = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$	2.59	2.63	2.62
2	Average G (at 31°C)	2.61		

$$K = \frac{0.99537}{0.99823} = 0.9971$$

$$G' = KG = 0.9971 \times 2.61 = 2.6024 \approx 2.60$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

41

چگالی نسبی خاک



✓ در انجام محاسبات مختلف در مکانیک خاک، اغلب چگالی نسبی دانه‌ها را می‌توان در آزمایشگاه به‌دقت تعیین کرد.

✓ دامنه چگالی نسبی دانه‌ها معمولاً بین ۲/۶ تا ۲/۹ است.

کانی	چگالی دانه ها G_s
کوارتز	Quartz 2.65
کانولینیت	Kaolinite 2.6
ایلیت	Illite 2.8
مونت مریلونیت	Montmorillonite 2.65 – 2.80
هالوسیت	Halloysite 2 – 2.55
فلدسپار پتاسیم	Potassium feldspar 2.57
فلدسپار سدیم و کلسیم	Chlorite 2.62 – 2.76
کلریت	Biotite 2.6 – 2.9
مسکویت	Muscovite 2.8 – 3.2
هورن بلند	Homblende 2.76 – 3.1
لیمونیت	Limonite 3.6 – 4.0
الیون	Olivine 3.27 – 3.37

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

42

دانه‌بندی خاک



✓ دانه‌بندی خاک عبارتست از تعیین دامنه اندازه ذرات موجود در خاک و توزیع وزنی که بر حسب درصدی از وزن خشک کل خاک بیان می‌شود.

✓ معمولاً دو روش برای تعیین منحنی دانه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد:

▪ آزمایش دانه‌بندی: برای ذراتی با قطر بزرگ‌تر از 0.075 میلی‌متر

▪ آزمایش هیدرومتری: برای ذراتی با قطر کوچک‌تر از 0.075 میلی‌متر

آزمایش دانه‌بندی



✓ ابتدا خاک در کوره خشک می‌شود.

✓ سپس کلوخه‌های خاک کاملاً خرد شده

✓ نمونه از الک‌ها عبور داده می‌شود.

✓ بعد از عبور دادن کامل خاک از الک‌ها، جرم خاک‌هایی که در روی هر یک از الک‌ها باقیمانده، اندازه‌گیری می‌شود.

✓ 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. دوغاب خاک از میان الک‌ها عبور داده شده و مقدار باقیمانده در روی الک در کوره خشک و توزین می‌شود.

آزمایش دانه بندی



شماره الک	اندازه روزنه (میلی متر)
4	4.75
6	3.350
8	2.360
10	2.00
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

45

آزمایش دانه بندی



شماره الک (۱)	قطر الک (۲)	جرم مانده روی الک (۳) (گرم)	درصد مانده (۴)	درصد عبوری (درصد ریز تر) (۵)
10	2.00	0	0	100.00
16	1.180	9.90	2.20	97.80
30	0.600	24.66	5.48	92.32
40	0.425	17.60	3.91	88.41
60	0.250	23.90	5.31	83.10
100	0.150	35.10	7.80	75.30
200	0.075	59.85	13.30	62.00
Pan	-	278.99	62.00	0

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

46

نمودار دانه‌بندی



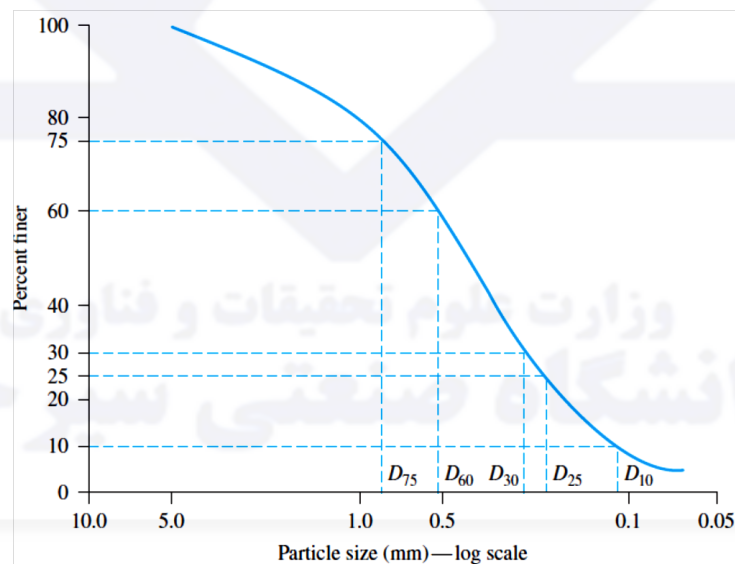
- ✓ از منحنی دانه‌بندی می‌توان برای مقایسه خاک‌های مختلف استفاده کرد.
- ✓ همچنین سه پارامتر پایه که از آن‌ها برای طبقه‌بندی خاک‌های دانه‌ای استفاده می‌شود از روی منحنی دانه‌بندی قابل تعیین است. این سه پارامتر عبارتند از:

(الف) اندازه مؤثر

(ب) ضریب یکنواختی

(پ) ضریب دانه‌ای

تعریف D_{10} , D_{30} , D_{60}



ضریب یکنواختی و ضریب دانه‌بندی



✓ قطری که در روی منحنی دانه‌بندی مربوط به درصد عبوری ۱۰ است، اندازه مؤثر نامیده شده و با D_{10} نمایش داده می‌شود.

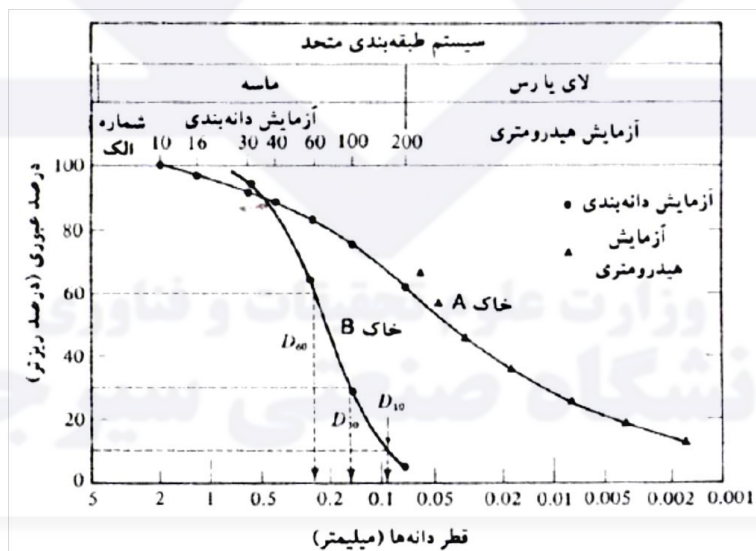
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

✓ ضریب یکنواختی نیز مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود:

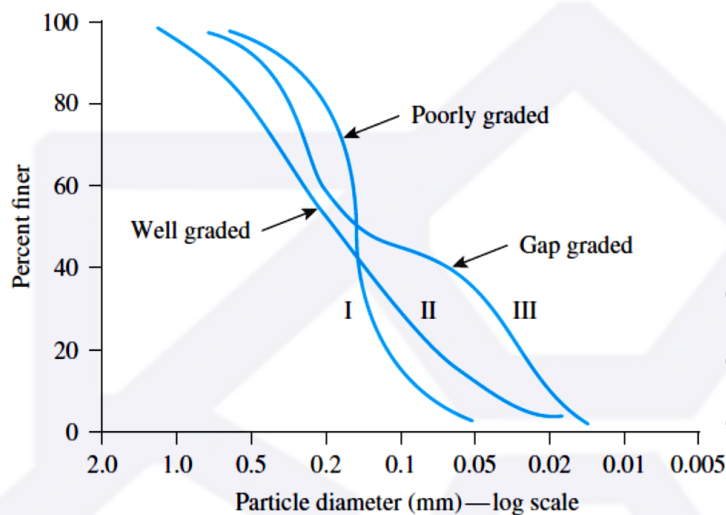
$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

✓ ضریب دانه‌بندی نیز طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

نمودار دانه‌بندی



انواع منحنی دانه بندی



✓ خوب دانه بندی شده

✓ بد دانه بندی شده

✓ دانه بندی منفصل

✓ خاک های خوب دانه بندی شده دارای

ضریب یکنواختی بزرگتر از ۴ برای

شن و ۶ برای ماسه و ضریب

دانه بندی ۱ تا ۳ می باشد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

51

مثال ۱



نتایج حاصل از آزمایش دانه بندی یک نمونه خاک با استفاده از سری الک استاندارد در جدول زیر ارائه شده است. نمودار دانه بندی خاک را ترسیم نموده و موارد خواسته شده را محاسبه نمایید.

(الف) D_{10} ، D_{30} و D_{60} خاک.(ب) ضریب یکنواختی C_u .(پ) ضریب انحنا C_c .

شماره الک #	جرم مانده روی هر الک (gr)
4	0
10	40
20	60
40	89
60	140
80	122
100	210
200	56
سینی	12

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

52

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

مثال ۱



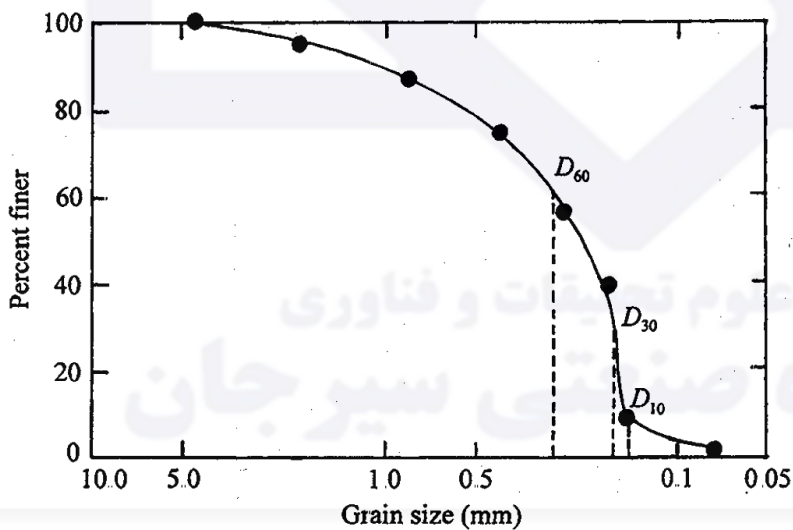
شماره الک #	قطر سوراخ	جرم مانده روی هر الک (gr)	درصد مانده روی هر الک (%)	جرم مانده تجمعی روی هر الک (gr)	درصد عبوری
4	4.75	0	0	0	100
10	2.00	40	5.5	5.5	94.5
20	0.85	60	8.23	13.73	86.27
40	0.425	89	12.2	25.93	74.07
60	0.250	140	19.2	45.13	54.87
80	0.180	122	16.73	61.86	38.14
100	0.150	210	28.8	90.66	9.34
200	.075	56	7.7	98.36	1.64
سینی	-	12	1.64	100	0
		729 gr	100 %		

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

53

مثال ۱



$$D_{60} = 0.3 \text{ mm}, D_{30} = 0.17 \text{ mm}, D_{10} = 0.11 \text{ mm}.$$

$$C_u = \frac{0.3}{0.11} = 2.73$$

$$C_c = \frac{(0.17)^2}{(0.11)(0.3)} = 0.88$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

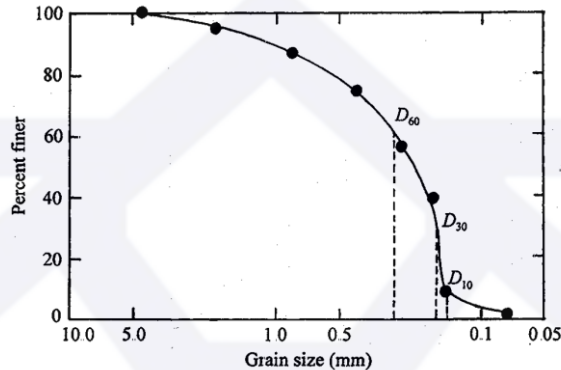
مکانیک خاک

54

مثال ۲



برای توزیع دانه بندی نشان داده شده در شکل فوق، درصد شن، ماسه و سیلت و رس را محاسبه نمایید.



Gravel (%) = $100 - PP\#4 = 100 - 100 = 0$ (بزرگتر از ۴/۷۵ میلیمتر)

Sand (%) = $PP\#4 - PP\#200 = 100 - 1.64 = 98.36$ (درصد ذرات بین الک نمرة ۴ و ۲۰۰)

Silt (%) = $PP\#200 = 1.64$ (درصد عبوری از الک ۲۰۰)

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

55

آزمایش هیدرومتری



✓ این آزمایش برای ذراتی با قطر کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر استفاده می‌شود.

✓ آزمایش هیدرومتری بر پایه اصول ته نشینی دانه‌های خاک در آب قرار دارد.

✓ وقتی که نمونه خاک در آب کاملاً هم زده می‌شود، دانه‌های معلق بر حسب شکل، اندازه و وزن با سرعت‌های مختلفی ته‌نشین می‌شوند.

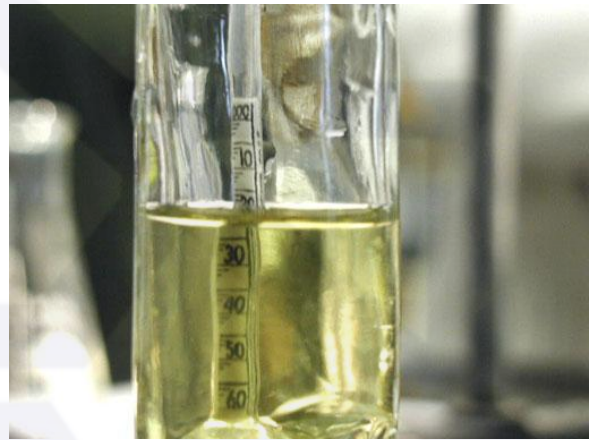
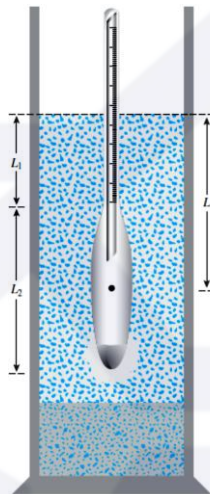
✓ برای سهولت، فرض می‌شود که تمام دانه‌های خاک کروی هستند و سرعت ته نشینی آنها طبق قانون استوکس بیان می‌شود.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

56

آزمایش هیدرومتری



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

57

قانون استوکس



$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2$$

v = سرعت، γ_s = وزن مخصوص دانه های خاک، γ_w = وزن مخصوص آب، η = ویسکوزیته (لزجت) آب،

D = قطر دانه های خاک

$$D = \sqrt{\frac{18\eta v}{\gamma_s - \gamma_w}} = \sqrt{\frac{18\eta}{\gamma_s - \gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

$$v = \frac{\text{فاصله}}{\text{زمان}} = \frac{L}{t}$$

$$\gamma_s = G_s \gamma_w$$

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

η بر حسب $(g \cdot \text{sec}) / \text{cm}^2$

γ_w بر حسب g / cm^3

L بر حسب cm

t بر حسب دقیقه

D بر حسب mm

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

58

قانون استوکس



$$\frac{D(\text{mm})}{10} = \sqrt{\frac{18\eta[(g \cdot \text{sec})/\text{cm}^2]}{(G_s - 1)\gamma_w(g/\text{cm}^3)}} \sqrt{\frac{L(\text{cm})}{t(\text{min}) \times 60}}$$

η بر حسب $(g \cdot \text{sec})/\text{cm}^2$

γ_w بر حسب g/cm^3

L بر حسب cm

t بر حسب دقیقه

D بر حسب mm

$$D = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

$$D(\text{mm}) = K \sqrt{\frac{L(\text{cm})}{t(\text{min})}}$$

$$K = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)}}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

59

مقادیر K به صورت تابعی از چگالی و درجه حرارت آب



حرارت درجه (°C)	G_s							
	2.42	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01325	0.01307
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01169

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

60

مثال ۳



در یک آزمایش هیدرومتری اطلاعات زیر در دست است:

$G_s = 2.7$ ، درجه حرارت آزمایش ، 24° ، $L = 9.2$ ، $t = 60$ دقیقه پس از شروع ته نشینی

مطلوب است تعیین قطر D کوچکترین اندازه ذره ای که در لحظه اندازه گیری از نقطه اندازه گیری عبور کرده است.

حل: با توجه به جدول مربوطه برای $G_s = 2.7$ و دمای 24° ، $k = 0.01282$ بدست می آید. بنابراین:

$$D = 0.01282 \sqrt{\frac{9.2}{60}} = 0.005 \text{mm}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

61

مثال ۳



۶۵ گرم از خاک ریزدانه عبوری از الک نمره ۲۰۰ تحت آزمایش هیدرومتری قرار گرفته است و نتایج آن مطابق جدول زیر است. درصد رس و لای را طبق سیستم طبقه بندی اشتو تعیین کنید.

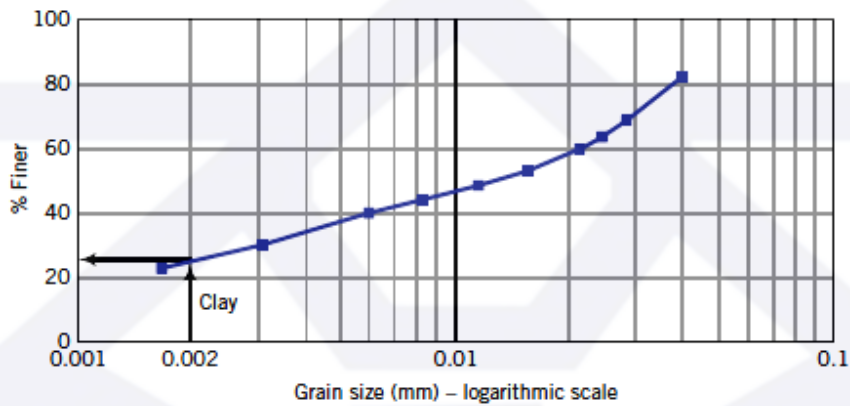
Time (min)	Hydrometer reading (gram/liter)	Temperature (°C)	Corrected distance of fall (cm)	Grain size (mm)	% Finer by weight
1	40.0	22.5	8.90	0.0396	82.2
2	34.0	22.5	9.21	0.0285	68.8
3	32.0	22.0	9.96	0.0243	64.2
4	30.0	22.0	10.29	0.0214	59.7
8	27.0	22.0	10.96	0.0156	53.1
15	25.0	21.5	11.17	0.0116	48.4
30	23.0	21.5	11.45	0.0083	43.9
60	21.0	21.5	11.96	0.0060	39.5
240	17.0	20.0	12.45	0.0031	30.0
900	14.0	19.0	13.10	0.0017	22.9

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

62

مثال ۳



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

63

آزمایش هیدرومتری



ASTM 152 H scale, graduated to read in grams per liter (g/L) of suspension and has a range of -5 to +60g/L in 1g/L divisions at 68°F (20°C).

ASTM 151 H scale, graduated to read specific gravity with a range of 0.995 to 1.038 in 0.001 divisions at 68°F (20°C).



دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

64

مراحل آزمایش هیدرومتری با هیدرومتر 152H



- قرائت واقعی هیدرومتر R_s : این مقدار هنگام انجام آزمایش هیدرومتری تعیین می شود.
- R_c *Hydrometer composite correction*: این مقدار عمدتاً برای تصحیح اثر سدیم هگزامتافسفات بکار می رود. برای هیدرومتر 152H این ضریب به صورت زیر است:

$$R_c = 13 - 0.4T \quad (4.2)$$

T = درجه حرارت بر حسب درجه سلیسیوس برای مخلوط آب-خاک-سدیم هگزامتافسفات. اگر درجه حرارت 20 درجه سانتی گراد باشد مقدار R_c برابر 5 گرم (مقدار سدیم هگزامتافسفات) خواهد بود.

- قرائت تصحیح شده R : $R = R_s - R_c$

مراحل آزمایش هیدرومتری با هیدرومتر 152H



- ضریب تصحیح a : هیدرومتر برای وزن مخصوص بخصوصی کالیبره شده است. معمولاً هیدرومترها برای $G_s = 2.65$ کالیبره می شوند. اگر وزن مخصوص خاک 2.65 نباشد معادله زیر برای محاسبه تقریبی ضریب تصحیح a به کار می رود:

$$a = 1.0 + 0.2(2.65 - G_s) \quad (4.3)$$

اگر وزن مخصوص خاک قبلاً اندازه گیری شده است، در معادله بالا قرار داده شده و ضریب تصحیح محاسبه می شود. اما اگر وزن مخصوص خاک اندازه گیری نشده باشد، مقدار 2.65 برای خاک دانه ای و مقدار 2.7 برای خاک رسی فرض خواهد شد.

- درصد نرمتر مانده در محلول، F : درصد نرمتر با استفاده از معادله زیر محاسبه میشود:

$$F = \frac{100Ra}{M_s} \quad (4.4)$$

مراحل آزمایش هیدرومتری با هیدرومتر 152H



M_s = جرم خشک ذرات بکار رفته در آزمایش هیدرومتری

- درصد نرمتر اصلاح شده: این ستون فقط هنگامی استفاده می شود که خاک ابتدا شسته شده و با الکهای 10، 40 یا 200 قبل از انجام آزمایش هیدرومتری جدا شده است. درصد نرمتر اصلاح شده، با ضرب مقدار حاصل شده از معادله 4.4 در بخشی از ذرات خاک که ریزتر از آن الک جداکننده است، بدست می آید. برای مثال فرض کنید که خاک روی الک 40 شسته شده است و آنالیز الک بیانگر آن است که خاک دارای 75 درصد ریزتر از الک شماره 40 می باشد. آنگاه ستون 7 در فرم، برابر با مقدار معادله 4.4 ضربدر 0.75 خواهد بود.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

67

مراحل آزمایش هیدرومتری با هیدرومتر 152H



بعد از اینکه درصد نرمتر محاسبه شد (ستون 6 یا 7 در فرم)، اندازه دانه های منطبق با آن بایستی محاسبه شود. اندازه دانه خاک D با استفاده از معادله استوکس به صورت زیر تعریف می شود:

$$D = K \left(\frac{L}{t} \right)^{0.5} \quad (4.5)$$

t = زمان بعد از شروع آزمایش (ستون 1 در فرم)، دقیقه
 K = ضریب تصحیح که به ویسکوزیته محلول و وزن مخصوص خاک وابسته است. ویسکوزیته تابع درجه حرارت محلول است. مقدار K با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$K = \frac{13 + 0.15(24^\circ C - T) + 4(2.65 - G_s)}{1000} \quad (4.6)$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

68

مراحل آزمایش هیدرومتری با هیدرومتر 152H



T = درجه حرارت محلول به درجه سلیسیوس (این مقدار حین انجام آزمایش تعیین شده است).
 L = عمق موثر، سانتی متر، برابر فاصله از سطح محلول تا ترازوی است که دانسیته محلول توسط هیدرومتر اندازه گیری می شود. مقدار عمق موثر L با استفاده از معادله زیر تخمین زده می شود:

$$L = 1.63 \left(1 - \frac{R_s}{100} \right) \quad (4.7)$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

69

نمونه محاسبات مربوط به آزمایش هیدرومتری



File no. 2931

Job name: Factory outlet

Sample location: TP-7 @ 14 ft

Date: 1/14/99

Specific gravity: 2.65

Soil washed on sieve? Yes

If yes, sieve no. 40

Percent finer: 18.2

Elapsed time, min	Hydrometer reading: 152H			G_s correction, Eq. (4.3) (a)	% Finer remaining in solution [Eq. (4.4)]	Adjusted percent finer (see note 2)	Calculation of particle size			
	Actual hydrometer reading (R_p)	Hydrometer composite correction (R_c)	Corrected reading (R) $R = R_p - R_c$				Temperature, °C	Correction factor Eq. (4.6) (K)	Effective depth Eq. (4.7) (L)	Particle diameter, mm, Eq. (4.5)
0.5	29	5	24	1.0	48.3	8.8	20	0.0136	11.6	0.066
1	28	5	23	1.0	46.3	8.4	20	0.0136	11.7	0.047
2	27	5	22	1.0	44.3	8.1	20	0.0136	11.9	0.033
5	23	5	18	1.0	36.2	6.6	20	0.0136	12.6	0.022
15	21	5	16	1.0	32.2	5.8	20	0.0136	12.9	0.013
30	20	5	15	1.0	30.2	5.5	20	0.0136	13.0	0.0090
60	17	5	12	1.0	24.1	4.4	20	0.0136	13.5	0.0065
250	14	5	9	1.0	18.1	3.3	20	0.0136	14.0	0.0032
1440	12	5	7	1.0	14.1	2.6	20	0.0136	14.3	0.0014

End of test:

Mass of evaporating dish (M_1): 108.2 gMass of evaporating dish plus dry material (M_2): 162.9 gMass of dry material (M_3) = $M_2 - M_1 = 54.7$ Dry soil (M_3) = $M_3 - 5.0 \text{ g} = 54.7 - 5.0 = 49.7 \text{ g}$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک

70