به نام آنکه جان را فکرت آموخت

دانشگاه مازندران
دانشکده فنی و مهندسی- گروه عمران-گرایش مکانیک خاک وپی

موضوع درس:

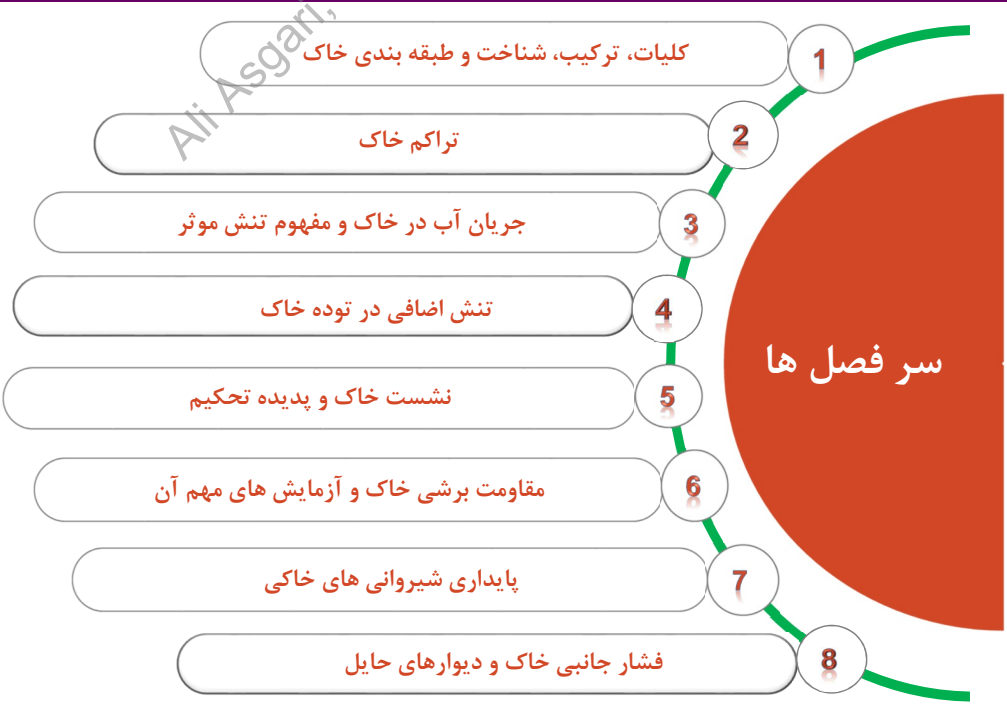
مکانیک خاک(Soil Mechanics)

مدرس: علی عسگری (Ali Asgari)

نیمسال اول تحصیلی ۹۹-۹۸

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

مکانیک خاک (Soil Mechanics)



تراکم خاک

تراکم خاک soil compaction : تراکم مجموعه ای از عملیات است که باعث خروج هوا از حجم خاک و همچنین باعث افزایش وزن مخصوص خشک خاک می‌شود. خروج هوا سبب کاهش ضریب تخلخل خاک می‌شود.

در پی عملیات تراکم ، عملیات تحکیم نیز وجود دارد. خروج آب در اثر فشارهای اعمالی که باعث کاهش منافذ می‌شود را تحکیم می‌گویند. در اینصورت هم ، وزن مخصوص خشک خاک افزایش می یابد.

این نکته قابل ذکر است که خروج هوا معمولا زودتر از آب اتفاق می افتد. اگرچه ممکن است در عملیات تراکم های بالا تحکیم و تراکم هم زمان رخ دهند.

سوال : چه وقتی ضریب تخلخل در حجم خاک کاهش پیدا می‌کند ؟ در عملیات تحکیم v_w کاهش می یابد و در عملیات تراکم v_a کاهش می یابد که در هر دو صورت ضریب تخلخل کاهش می یابد.

$$e = \frac{v_v}{v_s} = \frac{v_a + v_w}{v_s}$$

نکته:

مهندسان کشاورزی علاقه‌مند هستند که تخلخل خاک را افزایش دهند. آنها با روشهای شیمیایی و یا مکانیکی (شخم زنی) حجم فضای خاک را افزایش می دهند. در صورتی که مهندسان عمران تمایل دارند که ضریب تخلخل به مقدار کمینه (یعنی در حالت متراکم) خود نزدیک باشد. خاک در حالت متراکم، مقاومت برشی بیشتری دارد و در نتیجه باعث توان باربری بیشتری می شود. همچنین خاک متراکم تر خاصیت تورم پذیری کمتری دارد. از مزایای دیگر خاک متراکم نشست کمتر تحت وزن ساختمان یا سازه و کاهش نفوذپذیری خاک است.

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

تراکم خاک

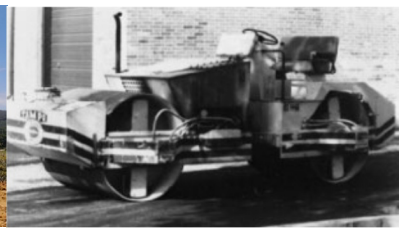
انواع ماشین آلات برای تراکم خاک:

۱- غلتک های چرخ فولادی صاف (smooth wheel roller) برای خاک های درشت دانه مناسب تر است.

۲- غلتک های پاچه بزی (sheep foot roller) برای تراکم خاک های چسبنده مناسب تر است.

۳- غلتک های چرخ لاستیکی (Rubber wheel roller) برای همه نوع خاک مناسب است.

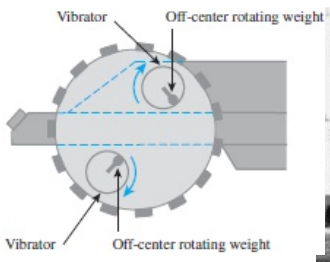
۴- غلتک های لرزنده(Vibratory Roller): برای همه نوع خاک ها مناسب است. در این نوع غلتک علاوه بر بار استاتیکی ناشی از وزن خود، با ارتعاش خود باعث ایجاد بار دینامیکی می شوند که سبب تراکم بهتر خاک می شود. مهمولا غلتکهای بالا همراه با لرزش هستند.



غلتک چرخ فولادی صاف

غلتک پاچه بزی

غلتک های چرخ لاستیکی



غلتک های لرزنده

تراکم خاک

سوال: با کدام وزن مخصوص می توان دریافت که خاک متراکم تر است؟

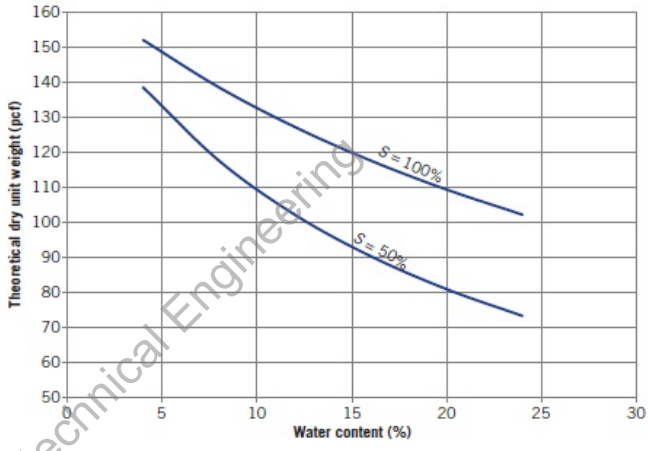
وزن مخصوص خشک خاک- هرچه γ_d بزرگتر باشد ، خاک متراکم تر است ؟ چرا ؟ (حجم هر دو نمونه ثابت و هم جنس هستند)

$$\gamma_{d1} > \gamma_{d2} \quad , \quad W_{s1} > W_{s2}$$

سوال بعدی: متراکم ترین وزن مخصوص خشک یک خاک از لحاظ تئوری چگونه تعیین می شود؟

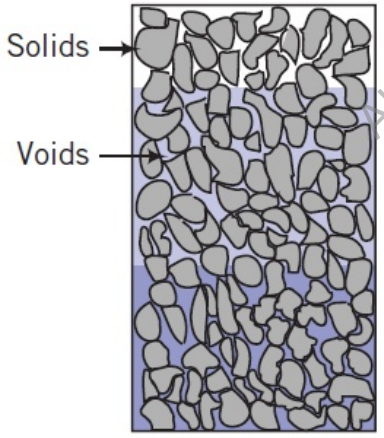
$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_{کل}} = \frac{G_s}{1+e}\gamma_w = \frac{G_s}{1+\frac{\omega G_s}{S_r}}\gamma_w \xrightarrow{if\ S_r=100\%} \gamma_d = \frac{G_s}{1+\omega G_s}\gamma_w = \gamma_{zav\ (zero\ air\ void)}$$

$$e = \frac{\omega G_s}{S_r}$$



Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

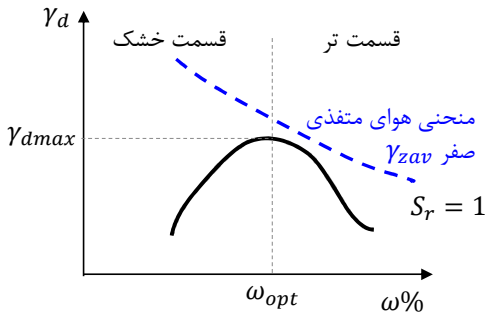
تراکم خاک



عوامل موثر در تراکم خاک و میزان وزن مخصوص خشک خاک:

۱- درصد رطوبت خاک ۲- انرژی تراکم ۳- نوع خاک

۱- درصد رطوبت خاک: اگر شکل سه فازی خاک را در نظر بگیریم با متراکم کردن حجم کل می‌توان هوا را از سیستم حذف کرد. برای اینکه هوا کاملا خارج شود نیاز است که دانه‌ها بر روی هم بلغزند و فضای خالی را پر کنند. اگر فقط خاک و هوا در سیستم وجود داشته باشد(خاک خشک)، آنگاه لغزیدن دانه‌ها بر روی هم سخت‌تر است، بنابراین عملیات تراکم به خوبی انجام نمی‌پذیرد. از طرفی اگر خاک مرطوب باشد و حجم آب موجود در خاک زیاد باشد، اگرچه ممکن است دانه‌ها به راحتی بر روی هم بلغزند، ولی چون آب تراکم ناپذیر است، بنابراین حجم کل به راحتی کاهش نمی‌یابدو عملیات تراکم به خوبی صورت نمی‌گیرد. بنابراین درصد رطوبت خاک(میزان آب) باید به قدری باشد که اولا بتواند باعث لغزش بین دانه‌ها شود و ثانیا آب مانع تراکم خاک نشود. به این درصد رطوبت خاک، درصد رطوبت بهینه می‌گویند.



درصد رطوبت بهینه (Optimum water content): درصد رطوبت (میزان آب) خاک باید به قدری باشد که اولا بتواند باعث لغزش بین دانه‌ها شود و ثانیا آب زیاد نباشد که مانع تراکم خاک نشود. به این درصد رطوبت خاک، درصد رطوبت بهینه می‌گویند. بعبارت دیگر، درصد رطوبتی که در آن بیشترین تراکم بوجود آید و یا به بیشترین وزن مخصوص خشک خاک برسد.

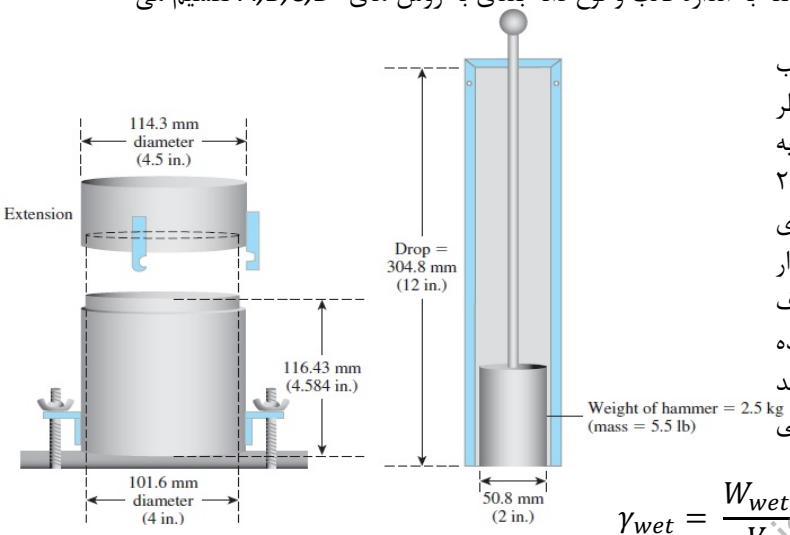
❖ در مورد اثر انرژی تراکم و نوع خاک متعاقبا بحث و بررسی خواهد شد.

تراکم خاک

سوال: چگونه ω_{opt} و γ_{dmax} تعیین می شوند ؟ الف- آزمایش پراکتور استاندارد ب- آزمایش پراکتور اصلاح شده

الف) آزمایش پراکتور استاندارد (standard Proctor compaction test) *ASTM D698 و AASHTO, T-99 (1982)*

روش های مختلفی برای انجام این آزمایش وجود دارد. بسته به اندازه قالب و نوع دانه بندی به روش های *A,B,C,D* تقسیم می شوند. (کلیات آنها یکسان است)



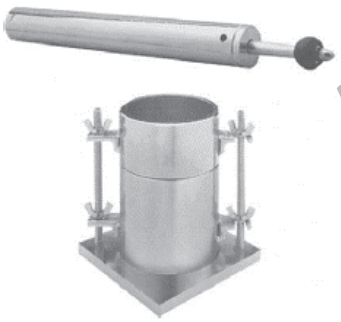
روش *A*: در این روش ابتدا خاک مرطوب را در یک قالب استوانه ای شکل به حجم(V) ۹۴۳.۳ سانتی متر مکعب (قطر ۴ اینچ و ارتفاع ۴.۵۸۴ اینچ) در ۳ لایه می ریزیم . وقتی لایه اول خاک را در ظرف ریختیم ، آن را با چکش به جرم ۲.۵ کیلوگرم و ارتفاع سقوط چکش ۱۲ اینچ ، می کوبیم . برای هر لایه باید ۲۵ بار بکوبیم و این کار را برای هر۳ لایه تکرار می کنیم، سپس با استفاده از خط کش سطح خاک را صاف می کنیم. توجه شود که کل استوانه از حجم خاک پر شده باشد. سپس کل خاک را وزن می کنیم(W_{wet}) و درصد رطوبت خاک از آزمایش تعیین درصد رطوبت تعیین می کنیم(ω). γ_d از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$\gamma_{wet} = \frac{W_{wet}}{V} \qquad \gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1+\omega}$$

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

تنش موثر و نشت آب در توده خاک

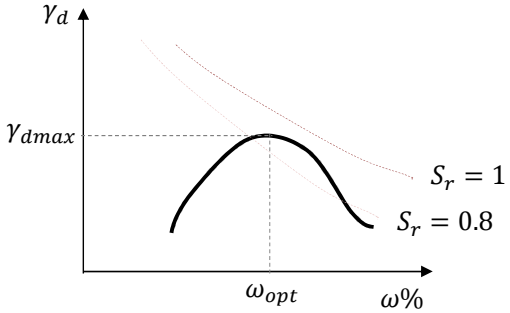
ادامه ی آزمایش پراکتور استاندارد (روش *A*):



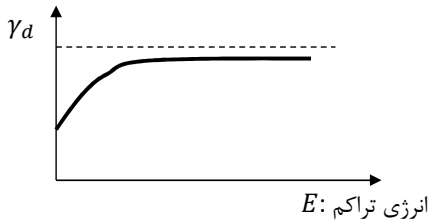
این آزمایش را برای درصد رطوبت های مختلف(حداقل با ۴ رطوبت) تکرار می‌کنیم. توجه شود که اختلاف درصد رطوب خاک نسبت به آزمایش قبلی در رنج ۳٪ باشد. سپس جدول زیر را تشکیل می‌دهیم:

شماره آزمایش	W کل مرطوب	Wظرف	Wخالص خاک مرطوب	γ_{wet}	ω	γ_d
1						
2						
3						
4						

تلاش شود حداقل دو آزمایش در قسمت خشک(dry) و دو آزمایش در قسمت تر(wet) منحنی بیفتد. با رسم منحنی $\gamma_d - \omega$ می‌توان γ_{dmax} و ω_{opt} را تعیین کرد.



نکته: مولا در کنار منحنی $\gamma_d - \omega$ ، منحنی هوای منفذی صفر را رسم می‌کنیم که یک روش امتحان کردن نتایج آزمایش پراکتور است. از لحاظ علمی هیچ منحنی $\gamma_d - \omega$ بالای منحنی γ_{zav} و حتی مماس با آن نمی‌شود و همواره در قسمت پایین این منحنی قرار می‌گیرد. منحنی تابع هوای حفره‌ای صفر همان معادله $\gamma_d = \frac{G_S\gamma_w}{1+\frac{\omega G_S}{S_r}}$ در $S_r = 1$ است. اگر این منحنی را برای $S_r = 0.8$ رسم کنیم، آنگاه معمولا γ_{max} مابین دومنحنی هوای منفذی $S_r = 1$ و $S_r = 0.8$ قرار می‌گیرد.



عامل دوم: اثر انرژی تراکم

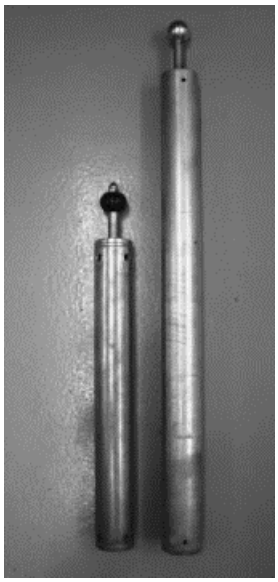
با افزایش انرژی تراکم، وزن مخصوص خاک خشک افزایش می یابد ولی این افزایش تا حدی ادامه دارد و در نهایت افزایش انرژی چندان تاثیری در تراکم ندارد.

محاسبه میزان انرژی واحد حجم:

میزان انرژی تراکم در آزمایش پراکتور استاندارد از رابطه مقابل تعیین می‌شود:

$$E = \frac{\text{ارتفاع سقوط} \times \text{وزن چکش} \times \text{تعداد لایه} \times \text{تعداد ضربه}}{\text{حجم قالب}}$$

$$E_1 = \frac{(25)\ (3)\left(\frac{2.5 \times 9.81}{1000}\text{kN}\right)(0.305\ \text{m})}{944 \times 10^{-6}\ \text{m}^3} = 594\ \text{kN} - \text{m/m}^3$$



ب) آزمایش پراکتور اصلاح شده (Modified Proctor compaction test) *ASTM D1557* و *T-180 (AASHTO)*

همانند پراکتور استاندارد، روش های مختلفی برای انجام این آزمایش وجود دارد. بسته به اندازه قالب و نوع دانه بندی به روش های *A,B,C,D* تقسیم می شوند. (کلیات آنها یکسان است)

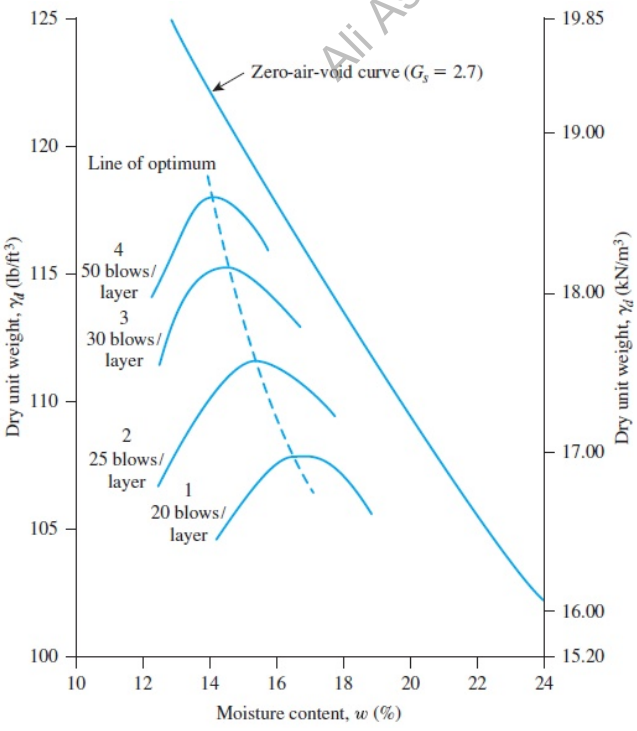
روش *A*: در این روش برای افزایش انرژی بیشتر از چکش ۴.۵۴ کیلوگرمی با ارتفاع سقوط ۱۸ اینچی استفاده می‌شود. تعداد لایه ۵ است. بنابراین میزان انرژی در این آزمایش از روش زیر تعیین می‌شود:

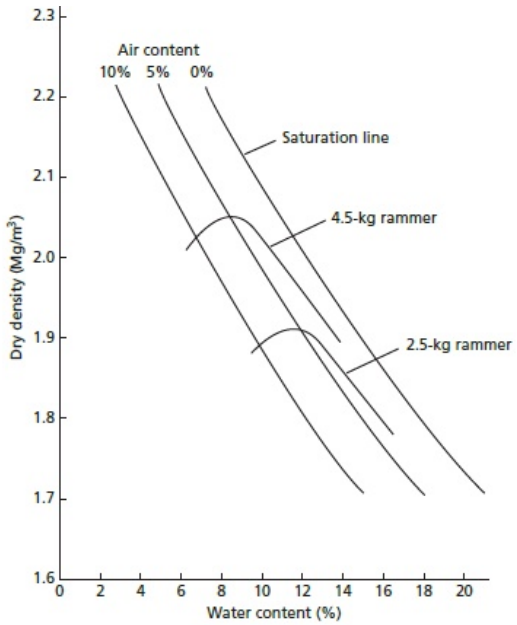
$$E_2 = \frac{(25)\ (5)\left(\frac{4.54 \times 9.81}{1000}\text{kN}\right)(0.4572\ \text{m})}{944 \times 10^{-6}\ \text{m}^3} = 2700\ \text{kN} - \text{m/m}^3$$

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

تراکم خاک

ب) آزمایش پراکتور اصلاح شده (Modified Proctor compaction test) *ASTM D1557* و *T-180 (AASHTO)*





تفاوت آزمایش نوع A، B و C

	Description	Method A	Method B	Method C
Physical data for the tests	Material	Passing No. 4 sieve	Passing 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) sieve	Passing 19 mm ($\frac{3}{4}$ in.) sieve
	Use	Used if 20% or less by weight of material is retained on No. 4 (4.75 mm) sieve	Used if more than 20% by weight of material is retained on No. 4 (4.75 mm) sieve and 20% or less by weight of material is retained on 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) sieve	Used if more than 20% by weight of material is retained on 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) sieve and less than 30% by weight of material is retained on 19 mm ($\frac{3}{4}$ in.) sieve
	Mold volume	944 cm^3 ($\frac{1}{30}$ ft^3)	944 cm^3 ($\frac{1}{30}$ ft^3)	2124 cm^3 ($\frac{1}{13.33}$ ft^3)
	Mold diameter	101.6 mm (4 in.)	101.6 mm (4 in.)	152.4 mm (6 in.)
	Mold height	116.4 mm (4.584 in.)	116.4 mm (4.584 in.)	116.4 mm (4.584 in.)
Standard Proctor test	Weight of hammer	24.4 N (5.5 lb)	24.4 N (5.5 lb)	24.4 N (5.5 lb)
	Height of drop	305 mm (12 in.)	305 mm (12 in.)	305 mm (12 in.)
	Number of soil layers	3	3	3
	Number of blows/layer	25	25	56
Modified Proctor test	Weight of hammer	44.5 N (10 lb)	44.5 N (10 lb)	44.5 N (10 lb)
	Height of drop	457 mm (18 in.)	457 mm (18 in.)	457 mm (18 in.)
	Number of soil layers	5	5	5
	Number of blows/layer	25	25	56

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

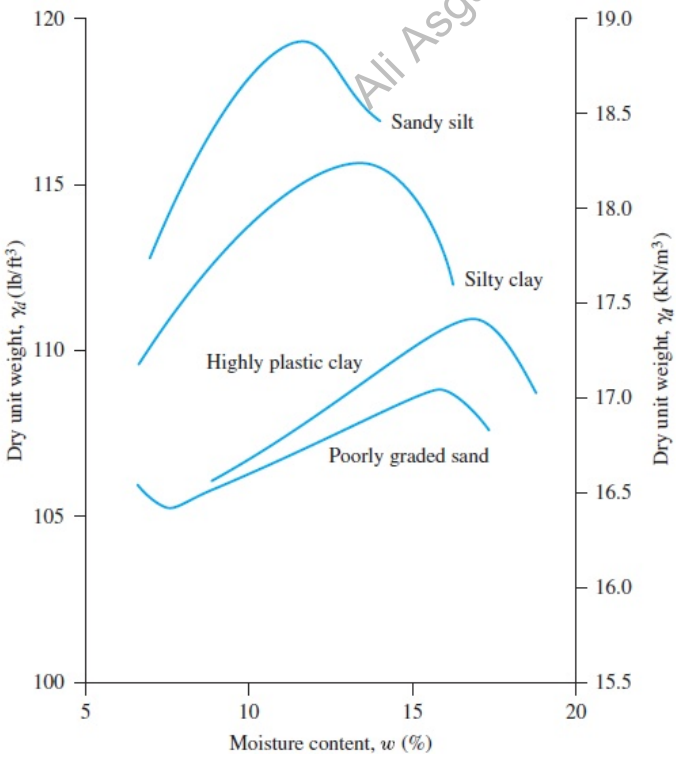
تراکم خاک

عامل سوم: اثر نوع خاک

نوع خاک (ریزدانه یا درشت دانه بودن آن)، شکل دانه‌ها(سوزنی، صفحه‌ای، کروی و تیزگوشه یا گرد کوشه بودن دانه‌ها) و نوع کانی‌ها می‌تواند بر روی منحنی تراکم تاثیر زیادی بگذارد.

چند نکته:

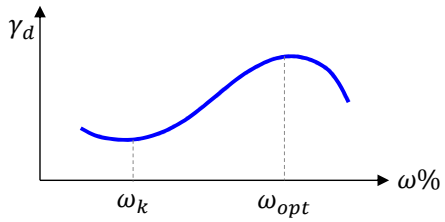
۱- معمولا خاک‌های خوب دانه بندی شده در مقایسه با خاک‌های بددانه بندی شده درصد رطوبت کمتری احتیاج دارند تا به متراکم‌ترین حالت خود برسند. و همچنین خاک‌های درشت دانه‌تر نیز بدلیل سطح ویژه کوچکتر، نیاز به آب کمتری برای متراکم تر شدن دارند.



۲- در خاک‌های گردگوشه به دلیل راحت لغزیدن دانه‌ها بر روی هم در این نوع خاک‌ها، متراکم کردن آسانتر از خاک‌های تیزگوشه هستند.

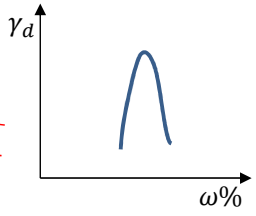
۳- به علت دشواری کنترل میزان رطوبت در خاک‌های ماسه‌ای و شنی، آزمایش پراکتور در این نوع خاکها تا حدی دشوار و خسته کننده است، ابتدا با افزایش رطوبت، γ_d به تدریج کاهش می‌یابد و γ_d سپس به یک نقطه کمینه می‌رسد و سپس با افزایش مجدد رطوبت γ_d افزایش و به بیشینه خود می‌رسد و مجددا γ_d بعد از رطوبت بهینه ω_{opt} کاهشی و روند نزولی دارد.

توجیه این پدیده به علت اینست که اثر نیروی کششی حاصل از موئینگی آب حفره‌ای باعث می‌شود که از حرکت ذرات خاک جلوگیری کند و مانع فشرده تر شدن خاک گردد. قبل از رسیدن خاک به درصد رطوبت ω_k، هرچقدر آب به خاک اضافه شود، باعث افزایش اثر خاصیت موئینگی خواهد شد و بعد از رسیدن به درصد رطوبت ω_k، با افزایش آب، اثر لغزندگی ذرات خاک بر روی هم پررنگ‌تر خواهد شد. در این‌صورت با اضافه کردن آب به خاک و متراکم کردن آن، خاک راحتر متراکم می‌شود. این روند تا درصد رطوبت بهینه افزایشی است و سپس بعد از آن، اضافه کردن آب به خاک موجب می‌شود که آب فضای خالی را پر کند و چون آب تراکم ناپذیر است، تراکم سخت تر انجام می‌شود.

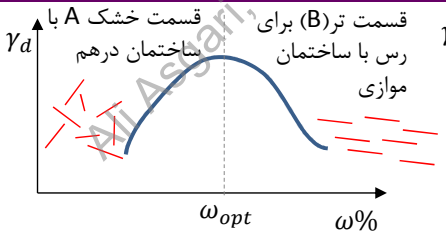


Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

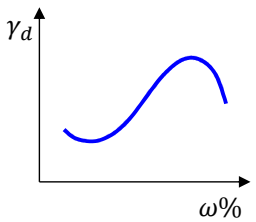
۴- به غیر از شکل زنگوله‌ای برای منحنی تراکم اکثر خاک‌ها، منحنی‌های با شکل‌های دیگری نیز وجود دارد.



زنگوله‌ای فشرده: برای خاک‌های سیلت



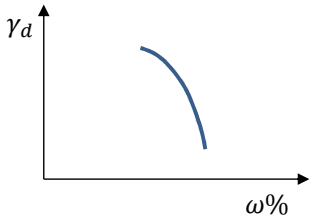
زنگوله‌ای پهن: برای خاک‌های رسی با حد روانی بین ۳۰ و ۷۰، ماسه‌ای و یا شنی خوب دانه بندی



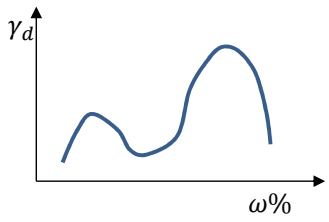
یک و نیم پیک: برای خاک‌های ماسه‌ای یکنواخت(بد دانه بندی)

۵- نفوذپذیری قسمت تر(B) منحنی کمتر از نفوذپذیری قسمت خشک(A) است. مقاومت برشی قسمت A بیشتر از قسمت B است.

این نکته قابل ذکر است که حرکت آب در خاک‌های اشباع راحت‌تر از خاک‌های غیراشباع است، یعنی نفوذپذیری خاک در خاک‌های اشباع بیشتر است. در مورد نکته ۵ اگرچه درصد رطوبت خاک بیشتر شد، ولی نفوذپذیری آن کاهش یافت. دلیل آن اینست که ساختمان خاک رس متفاوت است.



نیمه زنگوله‌ای: برای خاک‌های رسی با حد روانی بیشتر از ۷۰



دو بیشینه یا پیک: برای خاک‌های رسی با حد روانی کمتر ۳۰ و یا بیشتر از ۷۰

اگر در عمل بخواهیم مقاومت برشی بیشتری در خاک رس داشته باشیم خاک را به درصد رطوبت $\omega_{opt} - 2\%$ می‌رسانیم و سپس می‌کوبیم و اگر بخواهیم نفوذپذیری کمتری در خاک رس داشته باشیم خاک را به درصد رطوبت $\omega_{opt} + 2\%$ می‌رسانیم و سپس می‌کوبیم.

یادآوری

دانسیته نسبی(Relative Density): این پارامتر مخصوص خاک دانه ای است و رابطه آن بصورت زیر است:

که در آن e_{min} و e_{max} به ترتیب ضریب تخلخل در متراکم ترین و سست ترین حالت و e ضریب تخلخل کنونی خاک(در محل) است. از لحاظ تئوری دانسیته نسبی بین ۰ تا ۱۰۰٪ است.

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100$$

$$D_r = \frac{\gamma_{d\max}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{d\min}}{\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min}} \times 100$$

تراکم نسبی(Relative Compaction): رابطه آن بصورت مقابل است:

$$R_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d\max}} \times 100$$

رابطه بین دانسیته نسبی و تراکم نسبی:

$$R_c = \frac{\gamma_{d\min}}{\gamma_{d\max}} \times \frac{1}{1 - D_r\left(1 - \gamma_{d\min}/\gamma_{d\max}\right)}$$

$$R_c = 80 + 0.2\,D_r\,(\%)$$

رابطه تجربی لی و سینگ(Lee & Singh, 1971)

Relative density (%)	Description of soil deposit
0–15	Very loose
15–50	Loose
50–70	Medium
70–85	Dense
85–100	Very dense

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

یادآوری

دانسیته نسبی(Relative Density): این پارامتر مخصوص خاک دانه ای است و رابطه آن بصورت زیر است:

که در آن e_{min} و e_{max} به ترتیب ضریب تخلخل در متراکم ترین و سست ترین حالت و e ضریب تخلخل کنونی خاک(در محل) است. از لحاظ تئوری دانسیته نسبی بین ۰ تا ۱۰۰٪ است.

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100$$

$$D_r = \frac{\gamma_{d\max}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{d\min}}{\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min}} \times 100$$

تراکم نسبی(Relative Compaction): رابطه آن بصورت مقابل است:

$$R_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d\max}} \times 100$$

رابطه بین دانسیته نسبی و تراکم نسبی:

$$R_c = \frac{\gamma_{d\min}}{\gamma_{d\max}} \times \frac{1}{1 - D_r\left(1 - \gamma_{d\min}/\gamma_{d\max}\right)}$$

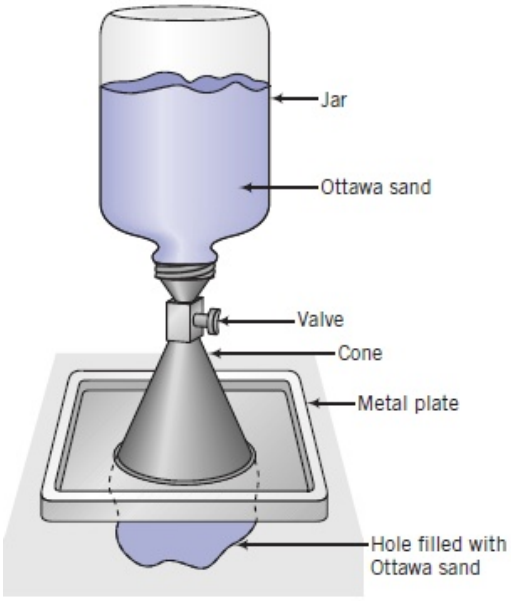
$$R_c = 80 + 0.2\,D_r\,(\%)$$

رابطه تجربی لی و سینگ(Lee & Singh, 1971)

Relative density (%)	Description of soil deposit
0–15	Very loose
15–50	Loose
50–70	Medium
70–85	Dense
85–100	Very dense

تراکم خاک

سوال: چگونه γ_{dmax} ،γ_d محل و درصد تراکم R_c تعیین می شوند؟ چگونگی تعیین γ_{dmax}قبلا اشاره شد که از آزمایش پراکتور استاندارد و آزمایش پراکتور اصلاح شده تعیین می‌گردد. یک روش دیگر برای درشت دانه ها وجود دارد که در آن از میز لرزان استفاده می‌شود. برای تعیین γ_d محل روش‌های مختلفی وجود دارد که در زیر به آن اشاره می‌شود. با داشتن γ_{dmax}،و γ_d محل به راحتی می‌توان درصد تراکم R_c را تعیین کرد.



روش‌های تعیین وزن مخصوص خشک در γ_d محل:

۱- روش مخروط ماسه ۲- روش بالن لاستیکی ۳- روش هسته‌ای

۱- روش مخروط ماسه(ASTM D1556-64):

این آزمایش برای تعیین وزن مخصوص خاک محل با استفاده از ماسه ی کالیبره شده می‌باشد. ابتدا گودالی در محل موردنظر حفر کرده، سپس خاک بیرون آورده شده از گودال را وزن می‌کنیم ، با استفاده از ماسه ی کالیبره شده گودال را پر می‌کنیم . با این کار حجم گودال را تعیین می‌کنیم. وزن مخصوص خاک مرطوب از رابطه مقابل بدست می‌آید:

$$\gamma_{wet} = \frac{W_{wet}}{V}$$

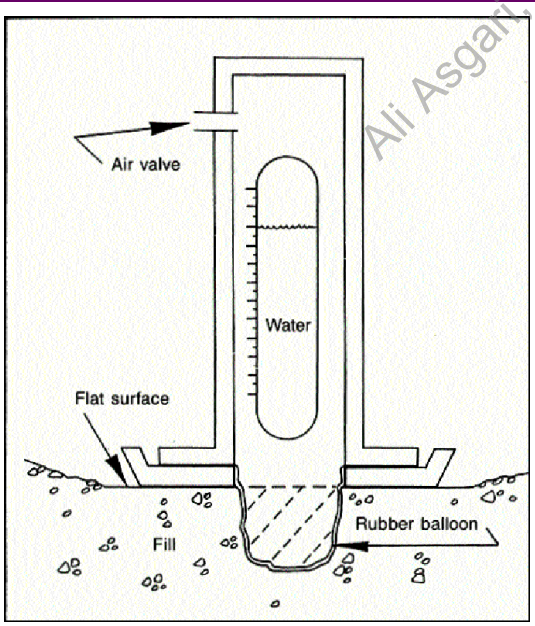
برای تعیین γ_d درصد رطوبت خاک خارج شده از گودال را بدست می آوریم

ماسه کالیبره شده: ماسه ای است که اگر وزن آن را بدانیم ، حجم آن نیز مشخص است .

$$\gamma_d \text{ محل} = \frac{\gamma_{wet}}{1+\omega}$$

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

تراکم خاک



روش‌های تعیین وزن مخصوص خشک در γ_d محل:

۱- روش مخروط ماسه ۲- روش بالن لاستیکی ۳- روش هسته‌ای

۲- روش بالن لاستیکی (ASTM D216-66):

این آزمایش شبیه روش مخروط ماسه است با این بجای استفاده از ماسه ی کالیبره از آب استفاده می شود و حجم گودال تعیین می‌شود.

$$\gamma_{wet} = \frac{W_{wet}}{V} \qquad \gamma_d \text{ محل} = \frac{\gamma_{wet}}{1+\omega}$$

۳- روش هسته‌ای: ؟؟

نکته: دو روش ذکر شده برای حالتی بکار گرفته می‌شوند که در اثر حفر گودال و یا وارد کردن بالن در چاله، تغییر شکل‌های بسیار کوچکی داشته باشند و همچنین برای خاک‌هایی که در اثر حفر گودال، ایستادگی کافی در جداره چاله نداشته باشند، این روش‌ها مناسب نیستند.

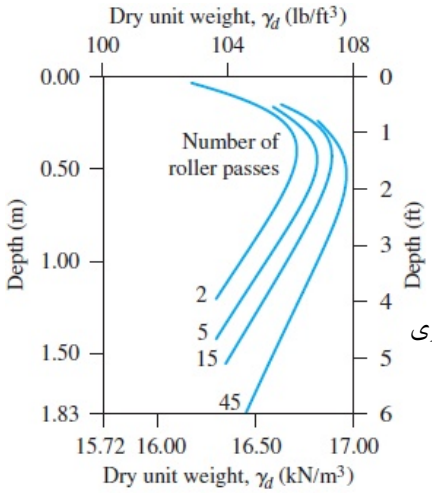
معرفی دو موضوع برای انجام پروژه اختیاری: ۱- چه روشی برای حالتی که در اثر حفر گودال، تغییر شکل‌های بزرگی رخ دهد، مناسب است؟ (برای تحقیق این عنوان از کدهای ASTM D5030 و ASTM D4914 استفاده کنید)

۲- تفاوت نامگذاری به روشهای یونیفاید، آشو و USDA در چیست؟ با چند مثال توضیح دهید؟

تراکم خاک

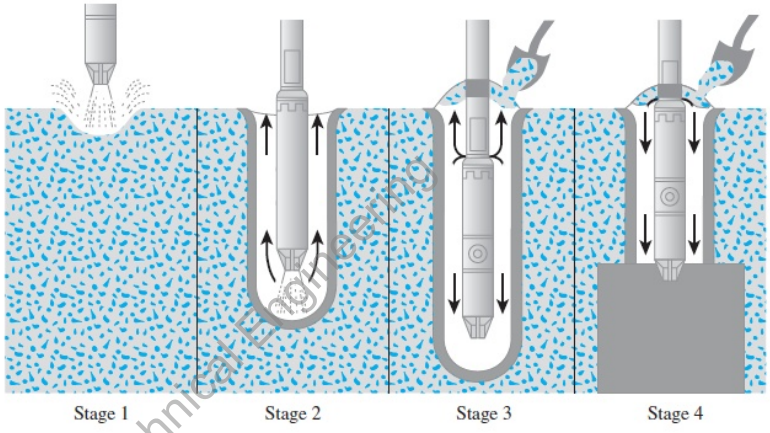
تاثیرات عبور غلتک بر روی تراکم خاک ماسه‌ای:

مطابق شکل روبرو، با عبور غلتک بر روی خاک ماسه‌ای، وزن مخصوص خشک خاک در عمق های بین یک تا ۲ فوت بیشتر شده است ولی در سطح خاک کمتر است در صورتی‌که با عبور غلتک انرژی بیشتر به سطح آن وارد می‌شود. دلیل این امر، عدم محدود بودن ماسه و یا عدم فشار جانبی در سطح خود است.



در عمق‌های پایین‌تر عبور غلتک نمی‌تواند باعث تراکم خاک شود، بنابراین روش‌های دیگری برای متراکم کردن در عمق‌های پایین تری از خاک وجود دارند که عبارتنداز:

۱- روش لرزه‌ای شناوری ۲- روش ترا-پرابل ۳- روش شمع کوبی ۴-ستون سنگی ۵- روش انفجاری



معرفی موضوع برای انجام پروژه: حداقل رو روش از روشهای اشاره شده را بررسی و با هم مقایسه کنید.

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

تراکم خاک

یک مثال و یک تمرین:

وزن مخصوص خشک خاک (kN/m^3)	درصد رطوبت
۱۴.۸۰	۶
۱۷.۴۵	۸
۱۸.۵۲	۹
۱۸.۹	۱۱
۱۸.۵	۱۲
۱۶.۹	۱۴

نتایج آزمایش تراکم در جدول روبرو خلاصه شده است، مطلوبست تعیین درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص بیشینه‌ی خشک خاک؟

نتایج آزمایش مخروط ماسه‌ای در محل نیز به صورت زیر است:

وزن مخصوص ماسه‌ی کالیبره شده: ۱۵۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب

وزن ماسه کالیبره شده که باعث پرشدن چاله گردید: ۲.۲۶۵کیلوگرم

وزن خاک بیرون آورده شده از چاله: ۳.۰۰۷ کیلوگرم

درصد رطوبت خاک حفر شده از چاله: ۱۰.۲ درصد

مطلوبست تعیین وزن مخصوص خشک خاک در محل و تراکم نسبی آن؟

درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص بیشینه‌ی خشک خاک با کمک اکسل قابل تعیین است.(کلیک کنید)

$$\gamma_d = -0.00161\omega^5 + 0.08508\omega^4 - 1.76000\omega^3 + 17.59347\omega^2 - 83.48783\omega + 164.782$$

$$\frac{\partial \gamma_d}{\partial \omega} = -83.48783 + 35.18694\omega - 5.28\omega^2 + 0.34032\omega^3 - 0.00805\omega^4 = 0$$

$$\omega_{opt} = 10.42\%$$

$$\gamma_{dmax} = 19.0\ \text{kN}/\text{m}^3$$

$$\text{حجم گودال } V = \frac{\text{وزن ماسه کالیبره شده که باعث پرشدن چاله}}{\text{وزن مخصوص ماسه‌ی}} = \frac{2.265}{1570} = 0.0014426$$

$$\gamma_{d\,\text{محل}} = \frac{W_{wet}}{V(1+\omega)} = \frac{3.007}{0.0014426(1+0.102)} = 1891.5\,\text{kg}/\text{m}^3 = 18.56\,\text{kN}/\text{m}^3$$

$$R_c = \frac{\gamma_{d\,\text{محل}}}{\gamma_{dmax}} = \frac{18.56}{19} = 97.7\%$$

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering