به نام آنکه جان را فکرت آموخت

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

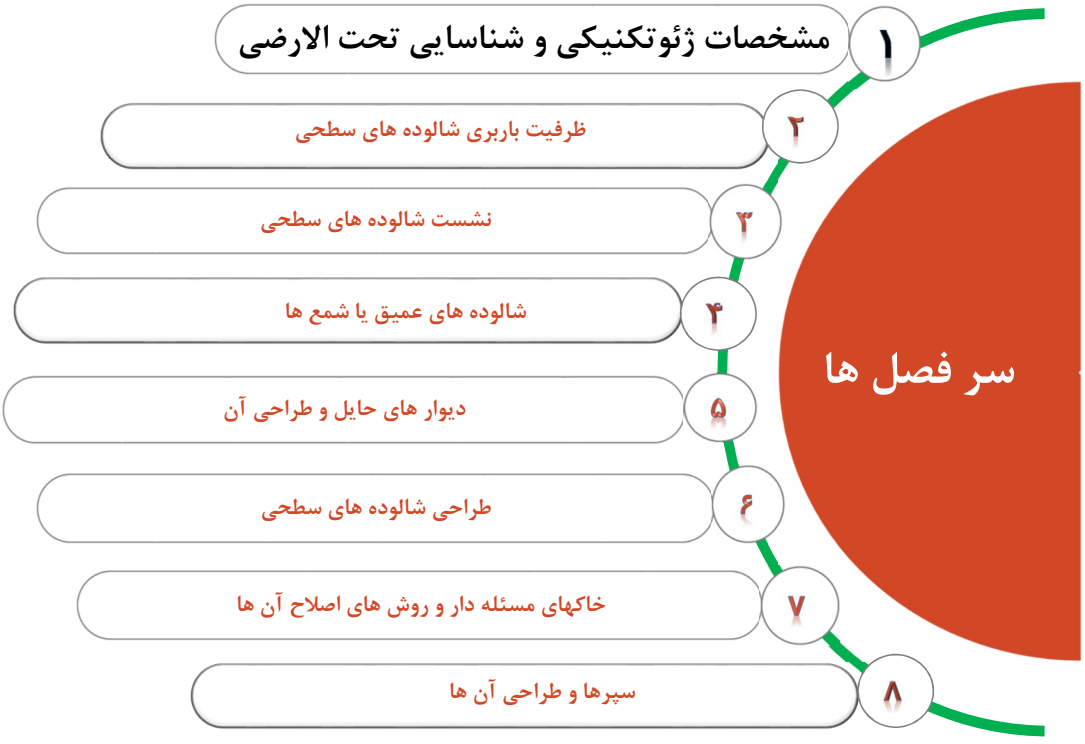
موضوع درس:

مهندسی پی (Foundation Engineering)

مدرس: علی عسگری (Ali Asgari)

نیمسال اول تحصیلی ۹۷-۹۶

مهندسی پی (Foundation Engineering)



مشخصات ژئوتکنیکی و شناسایی تحت الارضی(Subsoil Exploration)

شناسایی زیر سطحی
شالوده های سطحی
نشست شالوده سطحی
شمع ها
دیوار های حایل و طراحی
طراحی شالوده های سطحی
خاکهای مسئله دار
سپرها و طراحی آن

شناسایی زیرسطحی: فرآیند شناسایی لایه های تحت الارضی و تعیین مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن ها را گویند.

نکته: بررسی شرایط زیرسطحی محل احداث ساختمان، شرط لازم طراحی اقتصادی اجزای سازه ای است. حذف فرآیند شناسایی محل که معمولا ۱ تا ۵٪ کل هزینه ساختمانی را تشکیل می دهد بطور قطع صرفه جویی کاذبی است.

هدف از انجام شناسایی خاک:

۱- انتخاب نوع و عمق شالوده ای که برای سازه مناسب است. ۲- تخمین ظرفیت باربری پی
۳- تخمین نشست احتمالی سازه ۴- تعیین پتانسیل های مسئله ساز خاک مثل تورم، رمبندگی، روانگرایی و واگرایی
۵-تعیین سطح آب زیرزمینی ۶-تعیین فشار جانبی خاک
۷-تخمیین روش های اجرایی برای تغییر شرایط تحت الارضی

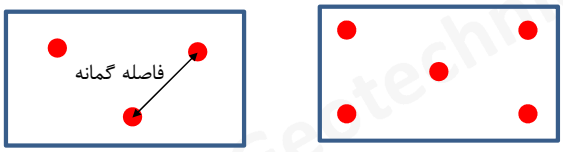
گامهای انجام شناسایی زیرسطحی خاک:

گام اول: جمع آوری اطلاعات اولیه: مثل پلان محل، نوع، اندازه و اهمیت سازه ای که قرار است ساخته شود، وضعیت بارهای وارده، گزارشات ژئوتکنیکی گذشته، نقشه توپوگرافی، عکس های هوایی با نقشه های زمین شناسی و سایر اطلاعات مرتبط با محل پروژه
گام دوم: بازدید محلی (بررسی و شناسایی مقدماتی از منطقه و محل)، هدف از بازدید کسب الاعات زیر است:
۱-توپوگرافی منطقه، امکان وجود ترانشه های زهکشی، وجود خاک دستی، بررسی وضعیت ترک ها و ناپایداری احتمالی در شیب، بررسی خاصیت تورم خاک و سایر عوامل دیگر
۲- بررسی لایه بندی خاک
۳- بررسی روئیدنیهای سطحی که می تواند اطلاعاتی در مورد خاک زیرین دهد.
۴- بررسی شالوده های اطراف و تاثیر آن ها بر روی احداث ساختمان جدید
۵- احداث چاه های دستی جهت دریافت اطلاعات کلی
گام سوم: عملیات گمانه زنی و شناسایی (بررسی جزئی محل)

گمانه: چاه هایی هستند که برای شناسایی خاک زیرزمینی به کار می روند. این چاه ها می توان به روش ها مختلفی حفر شود.

فاصله گمانه ها: فواصل گمانه با توجه به اهمیت پروژه و نوع ساختمان تعیین می شود.

نوع پروژه	فاصله گمانه (m)
ساختمان چند طبقه	10-30 m
ساختمان صنعتی یک طبقه	20-60 m
شاهراه ها	250-500 m
مجتمع مسکونی	250-300 m
سدها و بندها	40-80 m



تعیین حداقل عمق گمانه: دو روش برای تعیین حداقل عمق اشاره می شود:

روش اول) روش انجمن مهندسان آمریکا (ASCE):
گام اول: مطابق شکل مقابل تغییرات افزایش خالص فشار را در زیر شالوده ($\Delta\sigma'$) بر حسب عمق رسم کنید (فصل سوم کتاب داس رجوع شود)

$$\Delta\sigma' = f\left(q_{ult}, x, z\right)$$

گام دوم: تعیین تنش قائم موثر σ'_0 بر حسب عمق

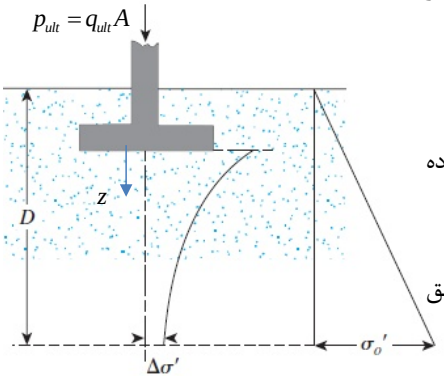
$$\sigma'_0 = \gamma D_f + \gamma z$$

گام سوم: تعیین عمقی $D = D_1$ که تنش اضافی در آن برابر با یک دهم تنش وارده به شالوده $\Delta\sigma' = 0.1q_{ult}$ باشد.

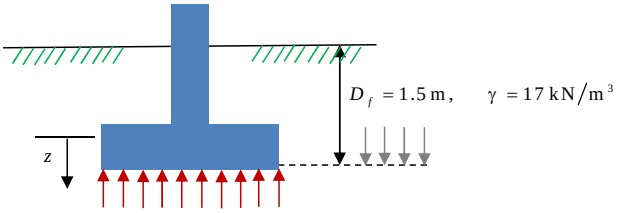
گام چهارم: تعیین عمقی $D = D_2$ که نسبت $\frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_0} = 0.05$ برقرار باشد.

گام پنجم: کوچکترین مقدار عمق تعیین شده از گامهای ۳و۴ همان حداقل عمق تقریبی است البته اگر به لایه سنگ برخورد نکنیم.

$$D = \min\{D_1, D_2\}$$



سوال امتحانی نیمسال دوم- خرداد ۹۶: شالوده دایره‌ای شکل به شعاع ۲ متر تحت سربار ۴۰ تن قرار دارد، مطلوبست حداقل عمق گمانه به روش ASCE ؟



گام اول: مطابق شکل مقابل تغییرات افزایش خالص فشار را در زیر شالوده ($\Delta\sigma'$) بر حسب عمق رسم کنید (فصل سوم کتاب داس رجوع شود)

گام دوم: تعیین تنش قائم موثر σ'_0 بر حسب عمق $\sigma'_0 = \gamma D_f + \gamma z = 17\times1.5 + 17z$

گام سوم: تعیین عمقی $D = D_1$ که تنش اضافی در آن برابر با یک دهم تنش وارده به شالوده $\Delta\sigma' = 0.1q_{ult}$ باشد.

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q_0} = 1 - \frac{1}{\left[1+(R/z)^2\right]^{\frac{3}{2}}} = 1 - \frac{1}{\left[1+(2/z)^2\right]^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{10},$$

$$\left[1+(2/z)^2\right]^{\frac{3}{2}} = \frac{10}{9} \Rightarrow \quad z = 7.414\,\text{m}$$

$$D_1 = z + D_f = 7.414 + 1.5 = 9.914\,\text{m}$$

گام چهارم: تعیین عمقی $D = D_2$ که نسبت $\frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_0} = 0.05$ برقرار باشد.

$$\frac{\Delta\sigma_z}{\sigma'_0} = \frac{q_0}{\sigma'}\left[1 - \frac{1}{\left[1+(R/z)^2\right]^{\frac{3}{2}}}\right] = \frac{40\times9.81}{\pi\times2^2\left(17\times1.5+17z\right)}\left[1 - \frac{1}{\left[1+(R/z)^2\right]^{\frac{3}{2}}}\right] = 0.05,$$

$$\frac{98.1}{\pi\times\left(17\times1.5+17z\right)}\left[1 - \frac{1}{\left[1+(R/z)^2\right]^{\frac{3}{2}}}\right] = 0.05 \quad \Rightarrow \quad z = 1.44\,\text{m}$$

توجه شود که z از حل معادله درجه ۳ فوق و یا باروش صحیح الخطا تعیین می شود.

$$D_2 = z + D_f = 1.44 + 1.5 = 2.94\,\text{m}$$

گام پنجم: کوچکترین مقدار عمق تعیین شده از گامهای ۳و۴ همان حداقل عمق تقریبی است البته اگر به لایه سنگ برخورد نکنیم.

$$D = \min\{D_1,\, D_2\} = \min\{9.914,\, 2.94\} = 2.94\,\text{m} \approx 3\text{m}$$

تعیین حداقل عمق گمانه: دو روش برای تعیین حداقل عمق اشاره می شود:

روش دوم) روش ساور و ساور(Sowers and Sowers (1970)):

این روش برای تعیین حداقل عمق گمانه ساختمان های عمومی نظیر مسکونی، اداری و بیمارستان ها به کار می رود.

S: تعداد طبقه
D: عمق گمانه بر حسب متر

$\begin{cases} D(\text{m}) = 3S^{0.7} & \text{برای سازه های فولادی سبک یا بتنی کم عرض} \\ D(\text{m}) = 6S^{0.7} & \text{برای سازه های فولادی سنگین یا بتنی عریض} \end{cases}$

چند نکته:

۱- عمق گمانه برای شمع ها ۱۰ تا ۳۰ متر پایین تر از نوک شمع است.
۲- برای خطوط لوله های مدفون، عمق گمانه ۰.۵ تا ۲ برابر قطر پایین تر از کف لوله می باشد.
۳- عمق گمانه در تونل به اندازه قطر تونل پایین تر از کف تونل است.
۴- عمق کمانه در زیر یک خاکریز برتبر با ارتفاع خاکریز است.
۵-در صورتی که به لایه سنگی برخورد شد باید حداقل بین سه متر یا بسته به شرایط ذکرشده در بالا در سنگ حفاری شود. اگر در سنگ هوازدگی بالا باشد باید عمق بیشتری حفاری شود.

انواع روش های گمانه زنی: روش های مختلفی برای گمانه زنی وجود دارد که برخی از آن ها منسوخ شده است:

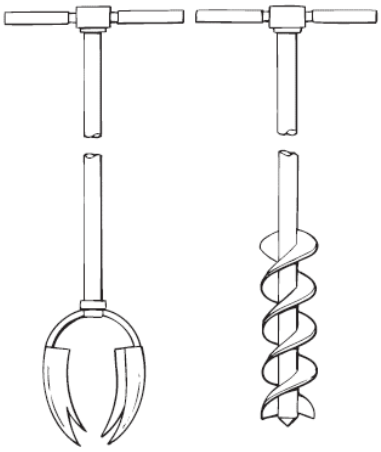
۱- گمانه زنی با مته مارپیچی و قاشقی
۲- گمانه زنی دورانی
۳- گمانه زنی تزریقی یا شستشویی
۴- گمانه زنی ضربه ای یا پرکاشن
۵- حفر دستی

Ali Asgari, PhD in Geotechnics

انواع روش های گمانه زنی: روش های مختلفی برای گمانه زنی وجود دارد که برخی از آن ها منسوخ شده است:

۱- گمانه زنی با مته مارپیچی و قاشقی
۲- گمانه زنی دورانی
۳- گمانه زنی تزریقی یا شستشویی
۴- گمانه زنی ضربه ای یا پرکاشن
۵- حفر دستی

(Auger boring): ساده ترین روش گمانه زنی است که مته های آن بصورت مارپیچی و قاشقی است. حداکثر عمق پیشروی ۳ تا ۵ متر خواهد بود البته اگر موتور با قدرت بیشتری بر روی آن نصب گردد آنگاه حتی می توان گمانه هایی با عمق ۶۰ تا ۷۰ متر نیز حفر کرد. برخی از مته ها با محور توخالی هستند که در هنگام انجام SPT نیاز به درآوردن سرمته نیست. با حفاری توسط مته مارپیچی، خاک از طریق شیارهای مارپیچی به سمت سطح زمین هدایت می شوند. برای خاک های ریزدانه و چسبنده کاربردیست. (توضیحات بیشتر در کتاب داس)



مته مارپیچی و قاشقی

Ali Asgari, PhD in Geotechnics

https://m.youtube.com/watch?v=Y2vubwwgVzg

انواع روش های گمانه زنی: روش های مختلفی برای گمانه زنی وجود دارد که برخی از آن ها منسوخ شده است:

۱- گمانه زنی با مته مارپیچی و قاشقی
۲- گمانه زنی دورانی
۳- گمانه زنی تزریقی یا شستشویی
۴- گمانه زنی ضربه ای یا پرکاشن
۵- حفر دستی

کاربرد مته اوگر یا مارپیچی در حفر تونل های افقی برای عبور لوله(Pipe jacking)

Ali Asgari, PhD in Geotechnics

https://m.youtube.com/watch?v=vB7zxvajnyk

انواع روش های گمانه زنی: روش های مختلفی برای گمانه زنی وجود دارد که برخی از آن ها منسوخ شده است:

۱- گمانه زنی با مته مارپیچی و قاشقی
۲- گمانه زنی دورانی
۳- گمانه زنی تزریقی یا شستشویی
۴- گمانه زنی ضربه ای یا پرکاشن
۵- حفر دستی

(Rotary drilling): در این روش سر مته با سرعت زیاد دوران کرده و سپس خاک یا سنگ را آسیاب کرده و در آن نفوذ می کند. بسته به نوع خاکها و یا سنگها، سرمته ها مختلف استفاده می شود. این روش در سنگها خیلی درزه دار قابل استفاده نمی باشد. در حین عملیات حفاری آب یا گل حفاری (دوغاب بنتونیت که از خاک رسی مونت موریونیت است) در گمانه برای خنک کردن سرمته استفاده می شود. گل حفاری علاوه بر خنک کردن باعث افزایش پایداری دیواره گمانه نیز می شود. برای نمونه گیری باید سرمته بیرون آورده شود و سپس نمونه گیر نصب شود.

https://m.youtube.com/watch?v=fl8L4qSqSqE

Ali Asgari, PhD in Geotechnics

https://m.youtube.com/watch?v=neXE7dKaN9s

مشخصات ژئوتکنیکی و شناسایی تحت الارضی(Subsoil Exploration)

انواع روش های گمانه زنی: روش های مختلفی برای گمانه زنی وجود دارد که برخی از آن ها منسوخ شده است:

۱- گمانه زنی با مته مارپیچی و قاشقی
۲- گمانه زنی دورانی
۳- گمانه زنی تزریقی یا شستشویی:
۴- گمانه زنی ضربه ای یا پرکاشن
۵- حفر دستی

(Wash boring): در این روش یک غلاف فولادی به طول ۲ تا ۳ متر کوبیده می شود. خاک در غلاف توسط یک سرمته ی ضربه ای که به میله حفاری متصل است کنده می شود. از سر مته آب با فشار زیاد جت می شود که باعث می شود که خاک حفر شده به سطح زمین انتقال یابد. طول غلاف فولادی را در هر مرحله ۲ تا ۳ متر افزایش می دهیم.

https://m.youtube.com/watch?v=nwMMU5qAexQ

Ali Asgari, PhD in Geotechnics

انواع روش های گمانه زنی: روش های مختلفی برای گمانه زنی وجود دارد که برخی از آن ها منسوخ شده است:

۱- گمانه زنی با مته مارپیچی و قاشقی

۲- گمانه زنی دورانی

۳- گمانه زنی تزریقی یا شستشویی

۴- گمانه زنی ضربه ای یا پرکاشن: (Percussion drilling): یک روش حفاری بخصوص در لایه های سنگی و خاکی سخت استفاده می شود که از بلند کردن و رها کردن یک مته سنگین باعث خرد شدن خاک یا سنگ می شود و با آب یا خود مته این انتقال از ته گمانه به سطح زمین انجام می شود.

https://m.youtube.com/watch?v=XukyGJtVKUA

۵- حفر دستی یا گودال آزمایش: در این روش عمق گودال محدود به ۶ متر است. البته در برخی موارد می توان با ۱۰ متر یا بیشتر نیز افزایش یابد

نکته: در تمام روش های گفته شده اگر خاک سست و دانه ای باشد در فرآیند گمانه زنی ممکن است به غلاف (Casing) نیاز شود.

انواع نمونه: ۱- نمونه دست خورده و ۲- نمونه دست نخورده

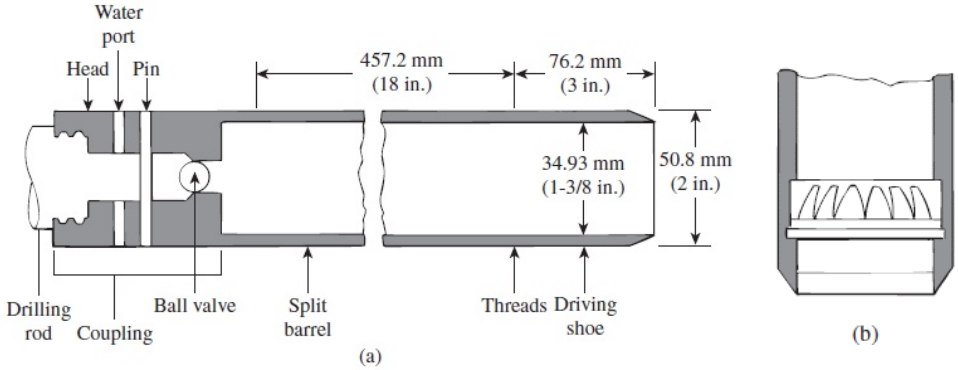
میزان دست خوردگی:به طور مطلق نمی توان نمونه دست نخورده تهیه کرد. درصد خوردگی حداکثر به میزان ده درصد را نمونه دست نخورده می گویند:

که در آن D_i و D_o به ترتیب قطر داخلی و خارجی نمونه گیر است. هر چقدر نمونه گیر نازک تر باشد، نمونه دست خوردگی کمتری دارد.

$$A_R(\%)=\frac{D_o^2-D_i^2}{D_i^2}\times 100$$

انواع نمونه گیرها:

۱- نمونه‌گیر قاشقی یا قاشقک شکافدار: برای اخذ نمونه های دست خورده است که در آزمایش نفوذ استاندارد SPT بکار می‌رود. ضخامت جدار آن تا حدودی ضخیم است و همان باعث دست خوردگی زیاد نمونه می شود. این نمونه گیر ممکن است دارای دریچه یک طرفه جهت نمونه های آبدار و گل استفاده شود. برای گرفتن نمونه دانه ای خشک مثل ماسه خشک ممکن است به فنر مغزه گیر نیاز شود. این نمونه گیر علاوه بر نمونه گرفتن مقاومت خاک را با عدد SPT ربط می دهد.

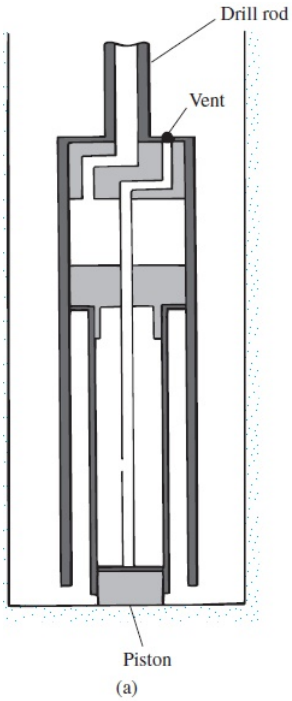


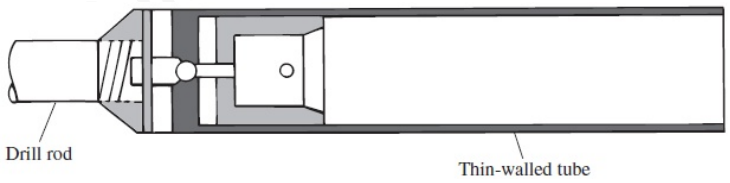
$$A_R(\%)=\frac{(50.8)^2-(34.93)^2}{(34.93)^2}\times 100=111.5\%$$

انواع نمونه گیرها:

۲- نمونه‌گیر جدارنازک یا شلبی: نمونه گیری بصورت لوله ای جدار نازک و معمولا از جنس فولاد یا پلاستیک با فشار یا کوبیدن به داخل خاک رانده می شود و برای نمونه گیری در خاکهای نرم و ریزدانه مورد استفاده قرار می گیرد. معمولا نمونه بدست آمده با دست خوردگی کم است. معمولا قطر نمونه گیر در اندازه ی دو اینچ است. ضریب دست خوردگی برابر است با:

$$A_R(\%)=\frac{D_o^2-D_i^2}{D_i^2}\times 100=\frac{(50.8)^2-(47.63)^2}{(47.63)^2}\times 100=13.75\%$$



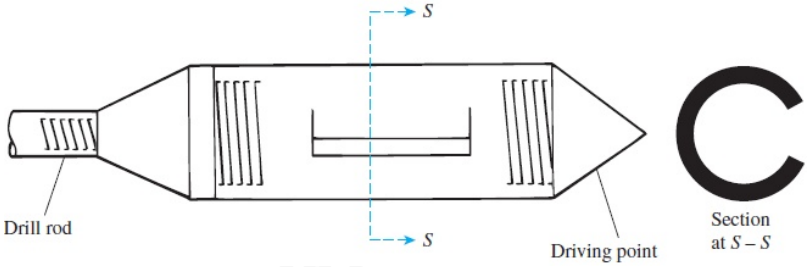


۳- نمونه‌گیر پیستونی: وقتی قطر نمونه بزرگ باشد، ممکن است نمونه به واسطه بیرون کشیدن به کف چاه ریزش کند در اینصورت با ایجاد مکش در قسمت فوقانی نمونه مانع ریزش می‌شود. معمولا برای خاک‌های نرم به‌کار می‌رود و نمونه دست نخورده تر از نمونه گیر شلبی است.

انواع نمونه گیرها:

۴- نمونه گیر لفافی: وقتی طول نمونه بزرگ باشد ممکن است اصطکاک جانبی مانع تهیه یک نمونه دست نخورده شود. با نمونه گیر لفافی می توان نمونه ای حتی به طول ۱۰ تا ۲۰ متر با کمترین اصطکاک تهیه کرد. بین نمونه خاک و لوله کاغذهای فیلتر قرار دارند که باعث کاهش اصطکاک می‌شوند.

۵- نمونه‌گیر پیچشی: برای اخذ نمونه های دست خورده و برای خاک‌های غیرچسبنده استفاده می‌شود. در این موارد بدلیل بسته شدن فنر های نمونه گیر قاشقی توسط سنگدانه های ریز نمی توان مغزه گیری کرد بنابراین از نمونه گیر پیچشی استفاده می کنیم. این نمونه گیر دارای یک کلاهک است. در بدنه آن مطابق شکل شیاری دارد که با چرخاندن نمونه گیر خاک را خراش داده و در محفظه خود می ریزد.



سوال اول: چگونه باید از خاک دانه ای نمونه دست نخورده تهیه کرد؟ بدست آوردن نمونه‌های دست نخورده از خاک‌های غیرچسبنده کار بسیار دشواری است. برای تهیه نمونه دست نخورده در خاک‌های دانه‌ای ماسه‌ای ریز تا متوسط می‌توان از نمونه‌گیر سنبه‌ای جدارنازک استفاده کرد. از طرفی با انجماد خاک اطراف نمونه و یا تزریق قیر نیز می توان نمونه های با کیفیتی بدست آورد.

سوال دوم: نمونه دست نخورده و دست خورده برای چه آزمایشاتی به کار می روند؟

برای نمونه های دست خورده: دانه بندی، چگالی دانه ها، طبقه بندی خاک، حدود اتربرگ، تعیین میزان مواد آلی و...

برای نمونه های دست نخورده: نفوذپذیری، تحکیم، مقاومت برشی c و φ ، مقاومت فشاری تک محوره، آزمایشهای سه محوره و...

نمونه گیری یا مغزه گیری از سنگ:

برای مغزه گیری از سنگ از یک لوله مغزه گیر(core barrel)که قسمت تحتانی آن متصل به سرمته الماسی بسیار برنده است این سرمته با حرکت دورانی باعث بریدن شدن سنگ بصورت استوانه ای می شود. در زمان نمونه گیری بسته به کیفیت سختی سنگ و درزه ها ممکن است نمونه گرفته شده بصورت تکه ای باشند. بنابراین می توان با معرفی کمیتی به نام RQD کیفیت سنگ را ارزیابی کرد.

RQD	Rock quality
0–0.25	Very poor
0.25–0.5	Poor
0.5–0.75	Fair
0.75–0.9	Good
0.9–1	Excellent

$$\text{RQD}=\frac{\text{مجموع طول مغزه های سنگی با طول بزرگتر از ۱۰ سانتی متری}}{\text{طول کل مغزه}},$$

تعیین سطح آب زیر زمینی:

حضور آب زیرزمینی در نزدکی شالوده، تاثیر بسزای در ظرفیت باربری و نشست پی دارد. تزار آب در فصل های مختلف تغییر می کند. مثلا در مازندران در اواخر تابستان به پایین ترین سطح خود و در اواخر زمستان و یا اوایل بهار به بالاترین سطح خود می رسد. در اکثر موارد باید بالاترین و پایین ترین تراز آب زیرزمینی در دوره عمر پروژه تعیین شود. در خاکها با نفوذپذیری بالا می توان سطح آب زیرزمینی را ۲۴ ساعت بعد از حفر گمانه، اندازه گیری کرد. این کار را معمولا با یک طناب و وزنه متصل به آن و متر انجام می شود. در خاکهای ریزدانه بسته به مقدار نفوذپذیری آن، ممکن است هفته طول بکشد تا سطح آب زیرزمینی به حالت تعادل برسد.

انواع آزمایش های صحرایی:

۱- آزمایش برش پره Field Vane Shear Test (FVST)

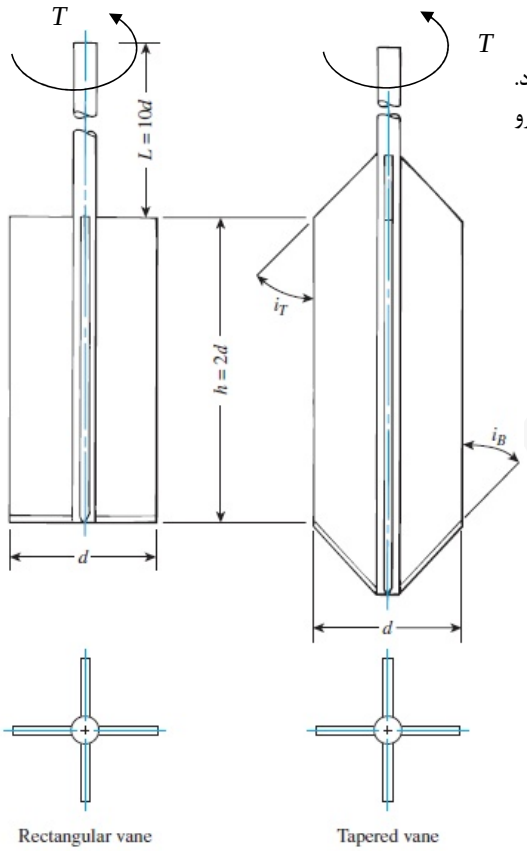
۲- آزمایش نفوذ استاندارد Standard Penetration Test (SPT)

۳- آزمایش نفوذ مخروط Cone Penetration Test (CPT, CPTu)

۴- آزمایش برش گمانه Borehole Shear Test (BST)

۵- آزمایش انبساط سنج تخت Flat Dilatometer Test (DMT)

۶- آزمایش فشارسنج یا پرسیومتری Pressuremeter Test (PMT)



۱- آزمایش برش پره Field Vane Shear Test (FVST) ASTM D-2573:

این آزمایش برای تعیین مقاومت زهکشی نشده c_u خاک های رسی نرم در حین حفاری به کار می رود. ایزار این آزمایش مطابق شکل از چهار تیغه فولادی متصل به میله است و تیغه ها را در خاک ریزدانه فرو برده سپس با چرخش، حداکثر لنگر پیچشی T را تعیین کرده و در نتیجه c_u بدست می آید.

$$c_u = f\left(T,d,h\right), \qquad c_u=\frac{T}{K}$$

$$K=\frac{\pi d^2}{2}\left(h+\frac{d}{3}\right) \quad \text{for rectangular vane}$$

$$K=\frac{\pi d^2}{12}\left(6h+\frac{d}{\cos i_T}+\frac{d}{\cos i_B}\right) \quad \text{for tapered vane}$$

برای کارهای عملی باید مقدار c_u را اصلاح کرد:

$$c_{u(\text{corrected})}=\lambda c_{u(\text{VST})}$$

Bjerrum 1972: $\lambda = 1.7-0.54\log\left[\text{PI}(\%)\right]$

Morris and Williams 1994: $\lambda = 1.18e^{-0.08\text{PI}}+0.57$ for PI>5

$\lambda = 7.01e^{-0.08\text{LL}(\%)}+0.57$, LL is Liquid Limit

$$\text{OCR}=\beta\frac{c_{u(\text{VST})}}{\sigma'_0}$$

Mayne and Mitchell 1988: $\beta = 22\left(\text{PI}(\%)\right)^{-0.48}$

Hansbo 1957: $\beta=\frac{222}{\omega(\%)}$

Larsson 1980: $\beta=\frac{1}{0.08+0.0055\text{PI}(\%)}$

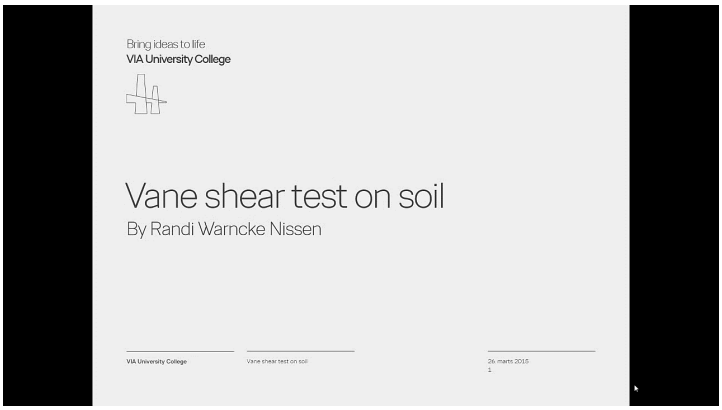
اندازه ی استاندارد از قطر و ارتفاع پره ها در آزمایش برش پره Field Vane Shear Test (FVST) ASTM D-2573:

Casing size	Diameter, *d* mm (in.)	Height, *h* mm (in.)	Thickness of blade mm (in.)	Diameter of rod mm (in.)
AX	38.1 ($1\frac{1}{2}$)	76.2 (3)	1.6 ($\frac{1}{16}$)	12.7 ($\frac{1}{2}$)
BX	50.8 (2)	101.6 (4)	1.6 ($\frac{1}{16}$)	12.7 ($\frac{1}{2}$)
NX	63.5 ($2\frac{1}{2}$)	127.0 (5)	3.2 ($\frac{1}{8}$)	12.7 ($\frac{1}{2}$)
101.6 mm (4 in.)[b]	92.1 ($3\frac{5}{8}$)	184.1 ($7\frac{1}{4}$)	3.2 ($\frac{1}{8}$)	12.7 ($\frac{1}{2}$)

نکته: آزمایش SPT و CPT در فصل بعد مورد بررسی قرار می گیرد و بقیه آزمایشات برای مطالعه دانشجویان و تحقیقات در مورد آن ها می باشد.

https://m.youtube.com/watch?v=X8DMeuX2ryw

https://m.youtube.com/watch?v=5AXm6NdoXfw



نمونه ای از گزارش و لوگ حفاری:

Boring Log

Name of the Project Two-story apartment building

Location Johnson & Olive St. Date of Boring March 2, 2005

Boring No. 3 Type of Boring Hollow-stem auger Ground Elevation 60.8 m

Soil description	Depth (m)	Soil sample type and number	N_{60}	w_n (%)	Comments
Light brown clay (fill)					
Silty sand (SM)	1				
	2	SS-1	9	8.2	
▽G.W.T. 3.5 m	3	SS-2	12	17.6	LL = 38 PI = 11
Light gray clayey silt (ML)	4				
	5	ST-1		20.4	LL = 36 q_u = 112 kN/m^2
	6	SS-3	11	20.6	
Sand with some gravel (SP)	7				
End of boring @ 8 m	8	SS-4	27	9	

N_{60} = standard penetration number
w_n = natural moisture content
LL = liquid limit; PI = plasticity index
q_u = unconfined compression strength
SS = split-spoon sample; ST = Shelby tube sample

Groundwater table observed after one week of drilling

شناسایی های زیرسطحی ژئوفیزیکی:

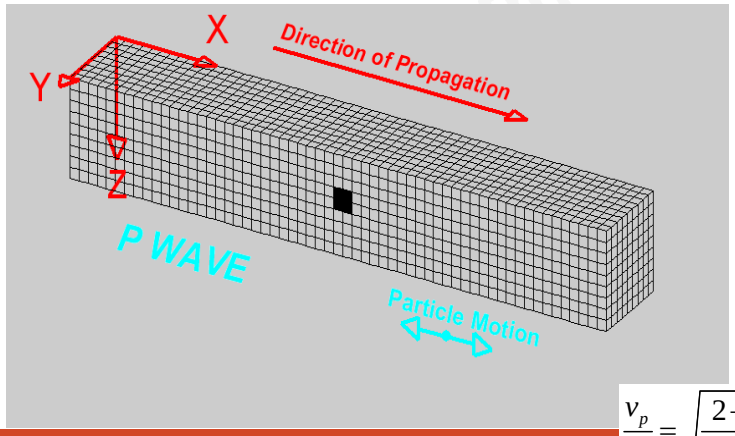
این نوع هزینه کمتری نسبت به روش های سنتی مثل حفاری دارند اما تفسیر نتایج کمی مشکل است. اگرچه امروزه با ابر کامپیوتر ها این مسئله رفع گردیده است. شناسایی زیر سطحی ژئوفیزیکی کاربردهای بسیار وسیع دارد از جمله: در تشخیص لایه بندی زمین و ضخامت هر لایه، اکتشافات معادن و مخازن نفتی و تعیین پارامترهای لرزه ای و... نقش بسزایی دارد. در اینجا ما به دو آزمایش ژئوفیزیکی می پردازیم:

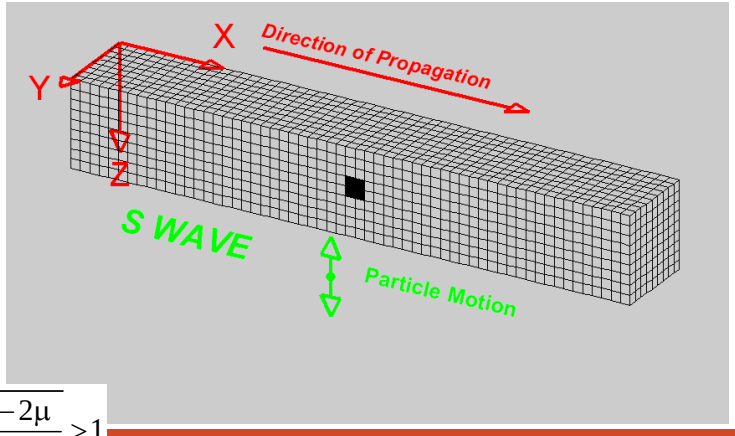
۱- تعیین ضخامت لایه ها با استفاده از ثبت انکسار امواج ۲- تعیین سرعت موج برشی

۱- تعیین ضخامت لایه ها با استفاده از ثبت انکسار امواج

امواج لرزه ای حجمی به دو دسته عمده یعنی موج طولی P و عرضی یا برشی S تقسیم می شوند که سرعت موج طولی بیشتر از سرعت موج برشی است $(v_p > v_s)$.

$$v_p = \sqrt{\frac{E_s}{\rho_s}\frac{1-\mu}{(1-2\mu)(1+\mu)}}, \quad v_s = \sqrt{G_s/\rho_s}, \quad G_s = \frac{E_s}{2(1+\mu)}$$

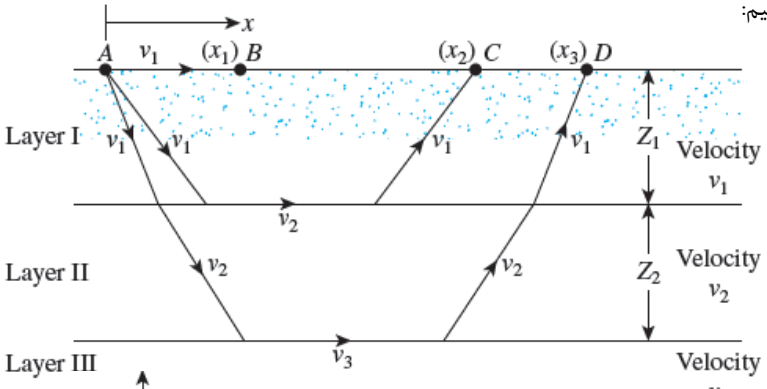




$$\frac{v_p}{v_s} = \sqrt{\frac{2-2\mu}{(1-2\mu)}} > 1$$

۱- تعیین ضخامت لایه ها با استفاده از ثبت انکسار امواج

برای تعیین ضخامت لایه مختلف یا عمق بستر سنگی و یا لایه سخت بسیار مناسب است. با توجه به شکل زیر ابتدا در نقطه مثل A ضربه ای وارد می شود. این عمل را می تون با انفجار یا کوبیدن وزنه سنگین انجام داد. سپس اولین زمان رسیدن موج به نقاط B ، C و D ثبت می شود. برای تعیین سرعت حجمی از نوع طولی و همچنین تعیین ضخامت لایه از مراحل گام به گام زیر استفاده می کنیم:

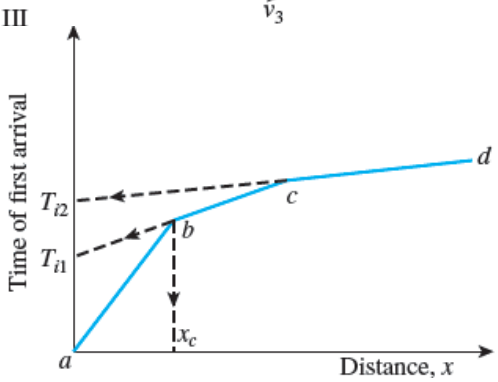


گام۱- قراردادن ژئوفونها در به نقاط B ، C ، D و .... با فواصل x_1, x_2, x_3 و ... از نقطه A و ثبت زمان اولین موج دریافتی یعنی t_1, t_2, t_3 و ...

گام ۲- ترسیم نمودار زمان در مقابل فاصله مثل شکل زیر

گام ۳- تعیین شیب خطوط ab, bc, cd و ... که به ترتیب عکس سرعت موج طولی لایه های هستند که از روابط زیر پیروی می کنند:

$$\text{شیب } ab = \frac{1}{v_{p1}}, \quad \text{شیب } bc = \frac{1}{v_{p2}}, \quad \text{شیب } cd = \frac{1}{v_{p3}}$$



گام۴- ضخامت لایه ها از روابط زیر تعیین می کنیم:

$$Z_1 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{v_{p2}-v_{p1}}{v_{p2}+v_{p1}}}\, x_c$$

$$Z_2 = \frac{1}{2}\left(T_{i2} - 2Z_1\frac{\sqrt{v_{p3}^2-v_{p1}^2}}{v_{p3}v_{p1}}\right)\frac{v_{p3}v_{p2}}{\sqrt{v_{p3}^2-v_{p2}^2}}, \qquad v_{p1} < v_{p2} < v_{p3}$$

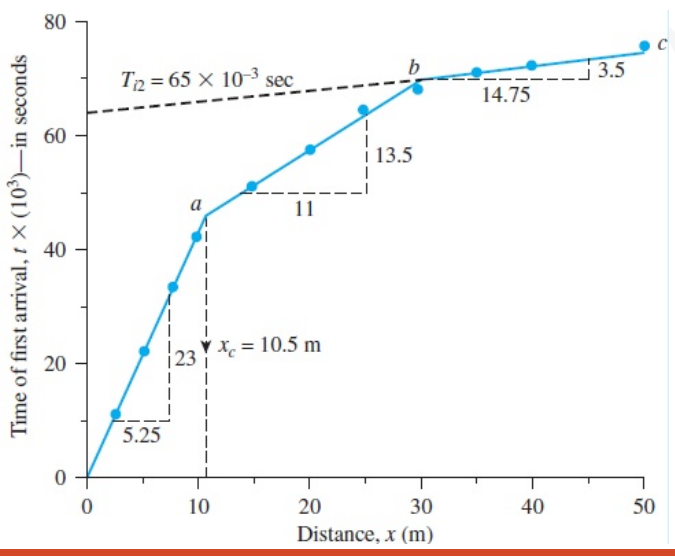
۱- تعیین ضخامت لایه ها با استفاده از ثبت انکسار امواج

نکته ۱- با تعیین سرعت لایه ها از گام ۳، با توجه به جدول اشاره شده، می توان تا حدودی نوع خاک را حدس زد:

Type of soil or rock	P-wave velocity m/sec	P-wave velocity ft/sec
Soil		
Sand, dry silt, and fine-grained topsoil	200–1000	650–3300
Alluvium	500–2000	1650–6600
Compacted clays, clayey gravel, and dense clayey sand	1000–2500	3300–8200
Loess	250–750	800–2450
Rock		
Slate and shale	2500–5000	8200–16,400
Sandstone	1500–5000	4900–16,400
Granite	4000–6000	13,100–19,700
Sound limestone	5000–10,000	16,400–32,800

نکته ۲- سرعت موجی طولی (P) در آب حدودا ۱۵۰۰ متر برثانیه است. اگر لایه ای سست وجود داشته باشد و اشباع باشد مقدار سرعت موج طولی گول زننده است.

Distance of geophone from the source of disturbance (m)	Time of first arrival (sec × 10^3)
2.5	11.2
5	23.3
7.5	33.5
10	42.4
15	50.9
20	57.2
25	64.4
30	68.6
35	71.1
40	72.1
50	75.5



مثال: در جدول زیر نتایج اندازه گیری انکسار امواج لرزه ای ارائه شده است. مطلوبست تعیین سرعت و ضخامت لایه مختلف لایه های موجود؟

حل:

$$0a = \frac{1}{v_{p1}} = \frac{23\times10^{-3}}{5.25}, \quad v_{p1} = 228 \text{ m/sec}$$

$$ab = \frac{1}{v_{p2}} = \frac{13.5\times10^{-3}}{11}, \quad v_{p2} = 814.8 \text{m/sec}$$

$$bc = \frac{1}{v_{p3}} = \frac{3.5\times10^{-3}}{14.75}, \quad v_{p3} = 4214 \text{m/sec}$$

$$Z_1 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{v_{p2}-v_{p1}}{v_{p2}+v_{p1}}}\; x_c = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{814.8-228}{814.8+228}}\times 10.5 = 3.94\text{m}$$

$$Z_2 = \frac{1}{2}\left(T_{i2} - 2Z_1\frac{\sqrt{v_{p3}^2-v_{p1}^2}}{v_{p3}v_{p1}}\right)\frac{v_{p3}v_{p2}}{\sqrt{v_{p3}^2-v_{p2}^2}}$$

$$= \frac{1}{2}\left(65\times10^{-3} - 2\times3.94\frac{\sqrt{(4214)^2-(228)^2}}{(4214)(228)}\right)\frac{(4214)(8148)}{\sqrt{(4214)^2-(8148)^2}} = 12.66\text{m}$$

$$Z = Z_1 + Z_2 = 3.94 + 12.66 = 16.60\text{m}$$

۲- تعیین سرعت موج برشی Cross-hole seismic survey (Stokoe and Woods, 1972)

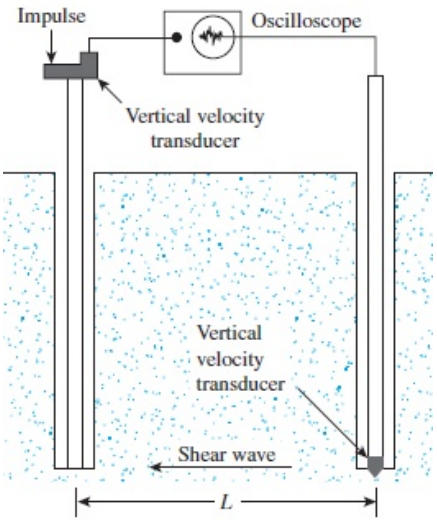
برای تعیین سرعت موج برشی دو چاه به فاصله L از یکدیگر حفر کرده و بوسیله یک میله مطابق با شکل زیر ضربه ی قائمی به میله وارد می کنیم. این ضربه باعث ایجاد موج برشی در ته گمانه می کند. موج برشی فاصله L را در زمان t به گمانه کناری می رسد. در گمانه دیگر یک گیرنده حساس وجود دارد و زمان گرفتن اولین موج برشی را ثبت می کند. موج برشی از رابطه مقابل تعیین می شود:

$$v_s = \frac{L}{t},$$

با داشتن سرعت موج برشی v_s می توان مدول برشی خاک G_s را تعیین کرد:

$$v_s = \frac{G_s}{\rho_s} \Rightarrow G_s = \frac{v_s^2 \gamma}{g}$$

γ: وزن مخصوص خاک



تمرینها ذکر شده در زیر از فصل دوم کتاب داس حل شود:

تمرین ۲-۱ ، ۲-۲، ۲-۴، ۲-۶، ۲-۱۰، ۲-۱۲، ۲-۱۳، ۲-۱۴، ۲-۱۶ و ۲-۱۷