

جزوه دوره آموزشی

# روشهای بهسازی خاک

مدرس دوره : محسن دریس زاده

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر

## هدف از بهسازی زمین

هدف از بهسازی افزایش ظرفیت باربری، کاهش نشست پذیری خاکهای طبیعی و خاکریزهای مصنوعی در برابر بارهای وارده و برطرف کردن یک ضعف از خاک موجود می باشد. نیاز به بهسازی پس از انجام مطالعات ژئوتکنیک و یا بعد از محاسبه فونداسیون مشخص می گردد.

### مراحل انجام مطالعات ژئوتکنیک :

الف) جمع آوری اطلاعات اولیه      ب) بازدید محلی      ج) عملیات گمانه زنی و شناسایی

الف) جمع آوری اطلاعات اولیه: شامل: نوع سازه و کاربری آن، تعداد ستون ها، فواصل آنها و بار تقریبی هریک، محدودیت های آیین نامه های ملی و محلی، اطلاعات کلی از خاک منطقه شامل بررسی و مطالعه نقشه های زمین شناسی، گزارشهای ژئوتکنیک برای ساختمان های مجاور و...

ب) بازدید محلی: در این مرحله به منظور بازرسی چشمی از منطقه بازدید محلی با هدف کسب اطلاعات زیر انجام می گردد:

۱. توپوگرافی عمومی منطقه، امکان وجود ترانشه های زهکشی، وجود خاک دستی، بررسی وضعیت ترک ها و ناپایداری احتمالی در شیب ها، بررسی خاصیت تورمی خاک و...
۲. بررسی لایه بندی خاک بوسیله ی رخنمونها و یا ترانشه های مصنوعی موجود در محل
۳. بررسی رویدنی های سطحی به منظور کسب اطلاعات مفیدی از وضعیت خاک های تحت الارضی
۴. بررسی تراز آب در چاه های موجود در منطقه
۵. بررسی شالوده های ساختمان های اطراف و عملکرد آنها
۶. احداث چاهک های دستی و کسب اطلاعات کلی در صورت نیاز

### ج) عملیات گمانه زنی و شناسایی :

به چاه هایی که در محل به منظور شناسایی خاک حفاری می شود گمانه (Borehole) گفته می شود. در حین عملیات گمانه زنی دو نوع آزمایش انجام می شود:

#### تستهای صحرائی (در محل)      In-Situ Tests

آزمایشهایی که در محل انجام عملیات حفاری و گمانه زنی اجرا می شود.

شامل : آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)، آزمایش نفوذ مخروط (CPT)، آزمایش برش پره، آزمایش بارگذاری صفحه (PLT)، آزمایش تعیین دانسیته در محل

#### تستهای آزمایشگاهی      Laboratory Tests

آزمایشهایی که در آزمایشگاه بر روی نمونه های اخذ شده از گمانه ها انجام می پذیرد.

**شامل:** آزمایش دانه بندی، آزمایش هیدرومتری، آزمایش حدود اتربرگ، آزمایش تراکم ( پروکتور )، آزمایش نفوذ پذیری خاک، آزمایش فشار تک محوری، آزمایش سه محوری، آزمایش تحکیم ( ادیومتری )، آزمایش برش مستقیم حاصل این آزمایشها ارائه دفترچه مطالعات ژئوتکنیک است که در آن محاسبات ظرفیت باربری و نشست ارائه می گردد. ظرفیت باربری خاک جزو ویژگی ذاتی آن نمی باشد و بستگی به پارامترهای مختلف دارد.

### رابطه ظرفیت باربری پی های سطحی

$$q_{ult} = cN_c S_c d_c i_c g_c b_c + qN_q S_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

مهمترین نکته این رابطه این است که هرچه عرض پی بیشتر باشد ظرفیت باربری آن بیشتر می شود.

### نشست سازه ها

مقادیر ایمن ظرفیت باربری برای نشستها نیز ارائه می گردد

### انواع نشست

الف ( نشست یکنواخت ( نشست کل )

ب ( چرخش بدون هیچ گونه تخریب و آسیب سازه ای

ج ( چرخش توام با تخریب ( اختلاف نشست )

یکی از مهمترین تحلیلها در دفترچه مطالعات بررسی پتانسیلهای مسئله ساز خاک از جمله روانگرایی است.

### روانگرایی ( Liquefaction )

یکی از عمده ترین عوامل خسارت به سازه ها در هنگام زلزله، ایجاد روانگرایی در نهشته های اشباع ماسه ای است که به شکل های زیر مشاهده می شود :

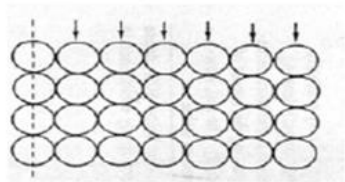
۱- جوشش خاک و تشکیل منافذ خروج گل در سطح زمین به وسیله تراوش آب از داخل ترکهای زمین

۲- در پاره ای شرایط با ایجاد شرایطی شبیه به Quick-Sand در مساحت های وسیع

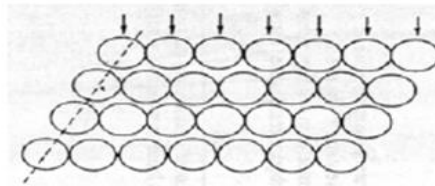
در این حالت ممکن است ساختمانها به میزان زیادی در زمین فرو رفته یا کج شوند ، ساختمانهای سبک شناور شده و به طرف سطح زمین حرکت کنند و یا پی ها تغییر مکان جانبی دهند و در سازه خرابی ایجاد شود.

### پدیده روانگرایی ( Liquefaction )

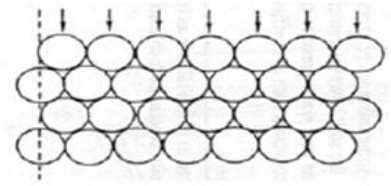
روانگرایی خاک، یک عامل مهم ایجاد خرابی در هنگام وقوع زلزله می باشد. هنگامی که خاک های دانه ای (غیر چسبنده)، اشباع می شوند در اثر بارگذاری سریع (مثل زلزله) در شرایط زهکشی نشده، تمایل به تراکم، موجب افزایش فشار آب حفره ای گشته و در نتیجه تنش های موثر کاهش می یابند.



الف: خاک شل



ب: وضعیت برش



ج: وضعیت پایدار ثانویه

ترتیب قرارگیری ذرات ماسه در توده خاک ماسه اشباع

بعد از مشخص شدن مشکلات زمین باید یکی از روشهای بهسازی بعد از انجام ارزیابی فنی و اقتصادی انتخاب گردد:

### روشهای بهسازی زمین

- تجدید نظر در طرح روسازه
- استفاده از پدیده شناوری
- جایگزینی خاک با مصالح مناسب
- تثبیت خاک با افزودن مصالح
- تراکم دینامیکی
- تراکم ارتعاشی و ستونهای سنگی
- انفجار
- پیش بارگذاری
- میکروپایل
- اختلاط عمیق زمین
- اجرای شمع های درجا و پیش ساخته
- استفاده از ژئوسنتتیکها

### جایگزینی خاک با مصالح مناسب

- در این روش خاک ضعیف یا مسئله دار تا رسیدن به خاک بکر و مناسب برداشته شده و مصالح مناسبی جایگزین شده و کوبیده می شود.
- موارد مورد بحث: تعداد لایه ها- استفاده از قلوه سنگ- درصد تراکم- مقدار رطوبت مورد نیاز- غلظت و تعداد عبور- کنترل تراکم

### خاکهای نامناسب سطحی

- خاکهای فرسوده و یا نباتی سطحی
- لایه های خاک حاوی مواد آلی شامل ریشه های پوسیده گیاهان و درختان
- خاکهای دستی- نخاله های ساختمانی
- زمینهای چمنی با پوشش نازک علفی

### ضوابط خاکبرداری

- نباید سطوح خاکبرداری شده بیش از ۷۲ ساعت در معرض عوامل جوی و باران قرار گیرند.
- در خاکبرداری زمینهای لجنی، باید حتی الامکان از ماشین آلات کوچک، سبک و با سطح اتکای زیاد استفاده شود تا عملیات با سهولت بیشتر انجام شده و اشکالی پیش نیاید.
- حفاری در لجن و حمل مواد، کاری مشکل و غیر اقتصادی است، در مواردی که عمق و حجم لجن زیاد باشد، باید ابتدا با روشهای مورد تأیید نسبت به پایدار ساختن لجن از طریق خشک کردن محل، عمل نموده و پس از آن اقدام به عملیات خاکبرداری نمود.

### ضوابط خاکریزی

خاک های نامرغوب و نامناسب برای خاکریزی :

- خاک های گچی، خاک های نمکی، خاک های نباتی، خاک های لجنی، خاک های زراعی قابل تورم ، خاک های قابل انقباض، خاک های دارای مواد آلی و رستنی ها،
- خاکهای مناسب برای انواع خاکریزها شامل خاکریزهای محل سازه ها، راههای دسترسی، پر کردن پشت دیوارها، اطراف پی ساختمان ها، ابنیه فنی، تأسیسات محوطه، کانال های لوله های آب و فاضلاب و کابل کشیها مورد استفاده قرار می گیرد .

### دلیل استفاده از مصالح زهکشی(قلوه سنگ) در اولین لایه خاکریزی

- چنانچه زمین بستر اولیه خاکریز از نوع خاکهای ریزدانه بوده و احتمال بالا آمدن آب زیرزمینی در اثر خاصیت موئینه خاک یا به صورت طبیعی.

این مصالح از حرکت ذرات آب به طرف بالا و به جسم خاکریز جلوگیری نموده و مانع افزایش رطوبت و کاهش مقاومت آن می گردد

## خاکریزهای باربر

نکات مهمی که باید در اجرای خاکریزهای باربر رعایت شوند، به شرح زیر است:

- مصالح مناسب انتخاب شود.
- ضمن توجه به نوع خاک و انتخاب ماشین آلات مناسب، تراکم خاک به نحو مطلوب انجام شود.
- بستر آماده شده خاکریزی باید دارای ظرفیت باربری کافی برای تحمل بارهای وارده باشد.
- خاکریز بدون نشست و یا حتی الامکان نشست آن در حد مجاز باشد.
- به کار بردن رسهایی با خاصیت خمیری و قابلیت تورم زیاد در خاکریزی مجاز نیست.

## کنترل رطوبت خاکریزها

- قبل از اجرای عملیات تراکم در خاکریزها، مصالح ریزدانه باید دارای رطوبت بهینه باشد .
- رطوبت بهینه بایستی بر اساس روش پروکتور استاندارد تعیین شود.

## پخش لایه ها

- لایه های افقی باید به صورتی ریخته شوند که هر لایه بعد از خاتمه عمل کوبیدن لایه قبلی ریخته شود .
- پس از عمل کوبیدن و تحصیل تراکم موردنظر ، هیچ گاه ضخامت لایه تمام شده از ۱۵ سانتیمتر تجاوز ننماید .
- حداکثر ضخامت خاک قبل از کوبیدن با توجه به نوع خاک، ماشین آلات به کار گرفته شده و تجربیات کارگاهی با روش سعی و خطا مشخص می شود ، ولی هیچ گاه نباید ضخامت لایه خاک نکوبیده ریزدانه از ۳۰ سانتیمتر تجاوز نماید .

## درصد تراکم کارگاهی

منظور از ۹۰ درصد تراکم چیست؟ پیمانکار ملزم می باشد در کارگاه به وزن مخصوص خشک ۹۰ درصد وزن مخصوص خشک حداکثر به دست آمده در آزمایشگاه به وسیله آزمایشهای پروکتور استاندارد برسند.

$$R(\%) = \frac{\gamma_d \left[ \left( \frac{\text{کارگاهی}}{\text{آزمایشگاهی}} \right) \right]}{\gamma_d}$$

## روش و میزان کوبش لایه ها

- در صورتی که میزان تراکم لایه ها در نقشه ها مشخص نشده باشد ، مصالح باید حداقل با ترا کمی معادل ( ۱۰۰٪ ) روش پروکتور استاندارد و یا ( ۹۵٪ ) آشتو اصلاح شده کوبیده شود .
- بسته به نوع خاکریزی، وضعیت اجرای کار و نوع مصالح ، می توان از غلتکهای مکانیکی نظیر غلتکهای چرخ لاستیکی، استوانه ای صاف، پاچه بزی، پاچه فیلی یا ویبراتورهای کششی استفاده نمود.
- تعداد گذرهای متوالی در هر نوار و هر لایه باید چنان باشد که تراکم مورد نظر حاصل شود . روی هم افتادگی گذرهای متوالی ، نباید کمتر از ۳۰ سانتیمتر اختیار شود . ریختن و کوبیدن لایه بعدی ، باید پس از کنترل و تأیید دستگاه نظارت صورت گیرد.

### آزمایشهای اندازه گیری وزن مخصوص خشک در کارگاه

الف: روش مخروط ماسه

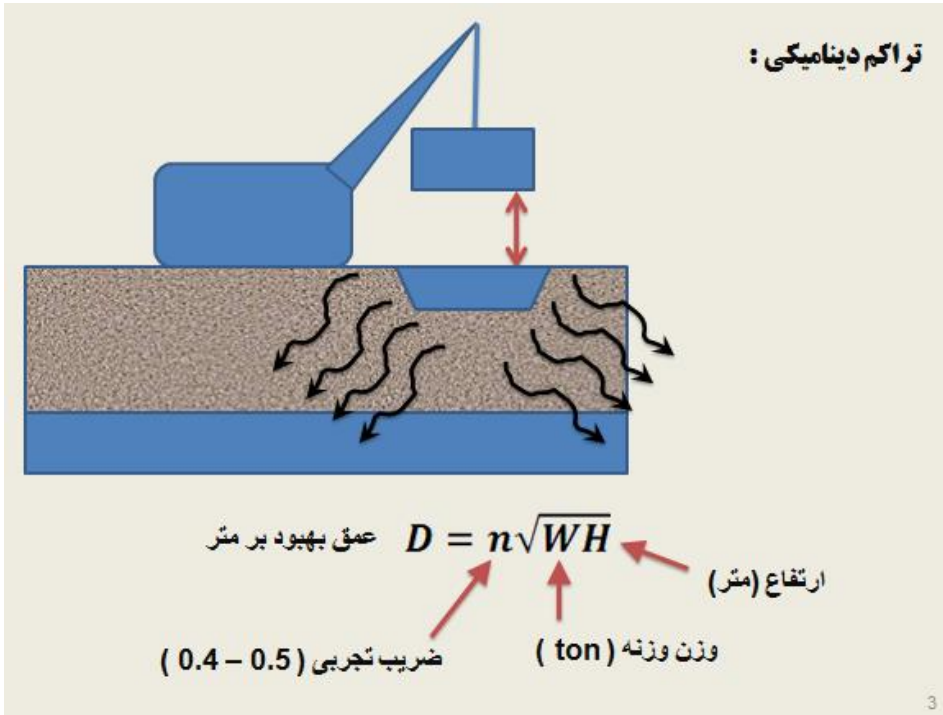
ب: روش بالون لاستیکی

پ: استفاده از چگالی سنج هسته ای

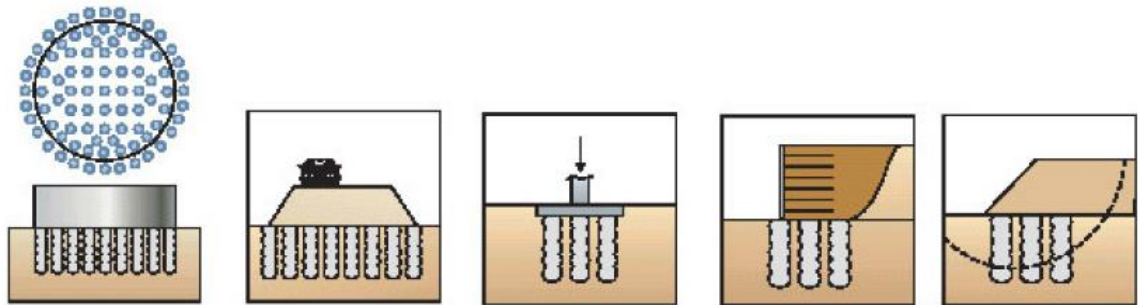
### تراکم دینامیکی

- در این روش وزنه ای سنگین از ارتفاعی حدود ۴۰ متر مرتباً بروی زمین کوبیده میشود، و بدین ترتیب می توان تا عمق ۳۰متر از زمین را متراکم کرد تصور می شد این روش فقط برای خاکهای دانه ای کاربرد دارد ولی تحقیقات گسترده نشان داد می توان از این روش برای تقویت خاکهای چسبنده نیز استفاده نمود به همین دلیل گاهی به این روش تحکیم دینامیکی نیز گفته می شود
- این روش همچنین برای خاکریزهای مصنوعی متشکل از نخاله های ریزدانه صنعتی و زباله های مناطق شهری بکار برده می شود .

### تراکم دینامیکی :



### ستونهای سنگی



### روش های اجرای ستون های سنگی مرسوم

۱. ستون های سنگی ارتعاشی ؛ روش جایگزینی ارتعاشی (تر)

۲. ستون های سنگی ارتعاشی ؛ روش تراکم ارتعاشی (خشک)

۳. ستون های سنگی کوبشی ؛ روش فرانکی

۴. شمع های متراکم ماسه ای



### روش تراکم ارتعاشی

- این روش برای تراکم خاکهای غیر چسبیده بخصوص در زیر سطح آب بکار میرود که در آن عمق تراکم خاک با فرو بردن دستگاه مخروط ارتعاشی در خاک و ارتعاش آن صورت می گیرد. اغلب در سطح زمین و در اطراف مخروط ارتعاشی مقداری مصالح شن و ماسه ریخته میشود تا همراه مخروط ارتعاشی وارد لایه های ماسه ای زمین شده متراکم گردد و در آن ناحیه ستونی متراکم (شمع نیمه عمیق) بوجود آید. ارتعاش مخروط در خاک همراه با فشار آب با سهولت بیشتری صورت میگیرد که اگر فشار آب با هوای فشرده نیز همراه باشد مخروط ارتعاشی با عمق بیشتری در خاک فرو خواهد رفت.
- مخروط ارتعاشی را می توان بصورت افقی و قائم در خاک فرو برد. نوع افقی مخروط ارتعاشی شناور بصورت افقی در خاک قرار می گیرد. نوع قائم مخروط ارتعاشی بصورت لوله ای و به کمک میله ای بلند به دستگاه ارتعاش دهنده وصل و در زمین فرو برده میشود. هنگام فرو بردن مخروط ارتعاشی در زیر سطح آب زیرزمینی به علت افزایش فشار آب منفذی در لایه ماسه ای به حالت روانگرا در می آید و وقتی که مخروط ارتعاشی از خاک به آرامی خارج می شود انرژی ناشی از لرزش باعث میشود که دانه های خاک آرایش متراکم تری به خود بگیرند
- محدوده ای را که با مخروط ارتعاشی شناور می توان متراکم کرد بین ۵/۱ تا ۴ متر است که بستگی مستقیم به نوع خاک و انرژی دستگاه مخروط ارتعاشی دارد.

### • روش های مخروط ارتعاشی جابجاکننده و

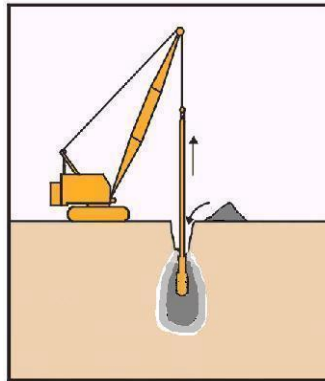
#### مخروط های ارتعاشی جایگزین کننده

در خاکهای چسبیده مخروط های ارتعاشی افقی و عمودی کارائی ندارند زیرا که خاصیت چسبندگی مانع از جابجائی ذرات خاک در اثر ارتعاش میشود. بنابراین مخروط های نفوذی جهت بهسازی و مسلح کردن خاکهای چسبیده بصورت مخروط ارتعاشی جابجا کننده خاک **Vibroreplacement** مخروط های ارتعاشی جایگزین کننده خاک **Vibrodisplacement** بکار میروند.

در اینصورت دانه های خاک در اثر ارتعاش مخروط ارتعاشی تا عمق نسبتاً زیادی جابجا میشوند و در هنگام خارج کردن مخروط ارتعاشی حفره بجای مانده توسط شن با دانه بندی بین ۱۰۰ تا ۷۵ میلی متر در لایه های مختلف کوبیده و پر میشود. در این روش از آب تحت فشار استفاده نمیشود بلکه از هوای فشرده برای از بین بردن نیروی مکندگی در هنگام بیرون آوردن مخروط ارتعاشی از گمانه استفاده میشود و در نهایت ستون سنگی شامل مخلوطی از شن و ماسه و خاک چسبیده متراکم بقطر ۸۰۰-۶۰۰ میلی متر در اطراف حفره ارتعاشی بوجود می آید. بنابراین وقتی که ستون سنگی تحت بارگذاری عمودی قرار میگیرد. سبب بوجود آمدن فشار مقاوم با کرنش بسیار کم در خاک اطرافش میشود.

• در خاکهای چسبیده بسیار نرم با مقاومت برشی پایین با فشار آب نوک مخروط ارتعاشی و خارج کردن خاک، حفره ای در زمین ایجاد میشود سپس با جایگزین کردن لایه های از قلوه سنگ و شن و ماسه کوبیده شده ستون سنگی که قبلاً اشاره شد بوجود می آید. بهسازی خاکهای دست ریز، انباشتگاه ها و خاک های که دارای مقدار زیادی مواد آلی هستند بسادگی امکان

پذیر نیست زیرا بعلت عدم مقاومت و پایداری خاک، ستون سنگی متحمل نشست های شعاعی زیادی میشود و در نتیجه نشست های قائم زیادی نیز در خاک انتظار میرود .

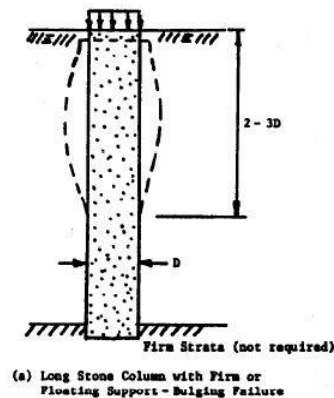


### روش فرانکی *Franki Method*

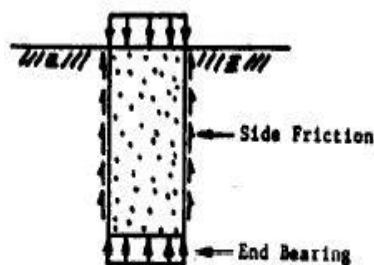
- ستونهای سنگی کوبشی بواسطه رانش لوله با انتهای باز یا بسته ، یا ایجاد سوراخ در زمین ساخته می شوند . سپس مصالح دانه ای در چندین مرحله درون سوراخ ریخته و بوسیله سقوط مکرر یک وزنه کوبیده می شوند.

### مکانیسم گسیختگی ستونهای سنگی

#### (۱) اتساع جانبی



#### (۲) لغزش



Note: Shear failure could also occur

### ۳) گسیختگی برشی کلی



(b) Short Column with Rigid Base: Shear Failure

### میکروپایل

بطور کلی در مواجهه با خاکهای مسئله دار نظیر خاکهای سست با قابلیت باربری کم، نشست پذیری زیاد، روانگرا، خاکهای دستی و ... دو راه پیش روی مهندسين ژئوتکنیک قرار دارد:

الف: استفاده از المانهای باربر در خاک

ب: بهسازی و اصلاح خواص فیزیکی - مکانیکی توده خاک

هر یک از راه حل های فوق دارای روشها و مشخصات مربوط به خود می باشند که طی سالیان متمادی توسعه فراوانی یافته اند. برخی از تکنیکهای ابداعی نیز ماهیتی ترکیبی از دو دسته فوق داشته و مزایای هر دو دسته را تا حدودی به همراه دارند. از آن دسته می توان به استفاده از میکروپایلها به همراه تزریق دوغاب سیمان اشاره نمود.

میکروپایل به شمع های با قطر کوچک (کمتر از 300mm) اطلاق می گردد که غالباً با تسلیح فولادی سبک و تزریق دوغاب سیمان همراه می باشند. میکروپایل علاوه بر آنکه به عنوان یک المان باربر و مقاوم در برابر نشست عمل می کند، بدلیل تزریق دوغاب سیمان، سبب بهبود مشخصات مکانیکی (مقاومتی و رفتاری) خاک اطراف نیز می گردد. بطور کلی کاربرد میکروپایل ها در مهندسی ژئوتکنیک مشتمل بر دو بخش "استفاده در بستر پی سازه ها" و "اصلاح و بهسازی برجای خاک" می باشد.

- اصلاح و بهسازی خاک
- پایدارسازی شیپها
- ساخت دیواره‌های نگهبان
- مقابله با روانگرایی
- افزایش مقاومت توده خاک با اهداف خاص نظیر تونلسازی و ...
- مقاوم سازی لرزه‌ای

## مزایای میکروپایل

- میزان کارآیی زیاد
- قابلیت نفوذ در موانع
- قطر کم بین ۵ تا ۱۲ اینچ
- مناسب برای طراحی در شرایط محدود
- کوتاه بودن یا دارای ارتفاع سازه ای کم
- ظرفیت باربری بالا بین ۳ton تا ۵۰۰ton
- قابلیت طراحی برای بارهای کششی و uplift
- قابل اجرا در خاک های تثبیت شده ی نفوذپذیر
- قابل نصب در نواحی دشوار و دارای شرایط سخت
- کاهش میزان صدا و لرزه و ارتعاش ناشی از نصب شمع
- مناسب برای یک دامنه ی تغییرات گسترده از شرایط خاک
- کمترین دستخوردگی در سازه های مجاور و خاک ایجاد می شود.
- صرفه جویی در زمان
- کاهش هزینه های اجرایی
- انعطاف پذیری بالای آن ها در حین زلزله
- امکان استفاده از ماشین های حفاری رو تازی
- امکان اجرا در زوایای مختلف (ریز شمع های مایل)

## مراحل اجرای میکروپایل

### • حفاری

در صورتیکه امکان کوبش لوله‌های میکروپایل از ابتدا به دلایل مختلف نظیر وجود کف‌سازی، بتن مگر، لایه متراکم خاک و غیره میسر نباشد، می‌بایست نسبت به انجام عملیات حفاری اقدام نمود.

### • لوله کوبی

به منظور استقرار لوله‌های میکروپایل در محل گمانه، غالباً از عملیات لوله‌کوبی استفاده می‌گردد. برای این منظور در مرحله اول عملیات از لوله نوک‌تیز میکروپایل استفاده می‌شود و پس از فرو رفتن لوله اول، لوله دوم به لوله اول متصل گردیده و کوبیده می‌شود و عملیات کوبش به همین منوال ادامه می‌یابد. لوله‌های میکروپایل به قطر خارجی ۷۶ میلیمتر و قطر داخلی ۶۸ میلیمتر در قطعات دو متری می‌باشند. این لوله‌ها به وسیله بوشن و جوش به یکدیگر متصل می‌شوند. هر میکروپایل دارای ۸۰ سوراخ به قطر ۸ میلیمتر، در هر متر طول می‌باشد.

### • تزریق

فشار تزریق در مراحل مختلف تزریق، در اعماق مختلف، تحت تاثیر جنس زمین و شرایط ژئوتکنیکی می‌تواند متغیر باشد. حداکثر فشار تزریق به ۱۰ اتمسفر محدود می‌گردد. نسبت آب به سیمان مورد استفاده با توجه به شرایط زمین بین ۵/۱ تا ۵/۱ مطلوب می‌باشد. پس از آماده شدن دوغاب، جهت نگهداری، دوغاب در داخل همزن ثانویه ریخته شده و سپس بوسیله پمپ‌های تزریق مخصوص تزریق می‌گردد.

به دلیل اینکه دوغاب سیمان باید تحت فشار زیاد در لایه‌های خاک نفوذ کند، جهت تزریق دوغاب سیمان از یکسری شیلنگ دو جداره به نام پکر (packer) استفاده می‌شود. پکرها بعد از اینکه به درون لوله میکرو پایل فرستاده شدند جداره دوم آنها بوسیله پمپ هوا باد می‌شود که با این کار پکر کاملاً به بدنه لوله می‌چسبد و مانع خروج دوغاب در حین تزریق از بالای لوله می‌شود.

### • تسلیح و نصب فلنج

برای ارتباط مناسب پی و میکروپایل و همچنین کنترل برش پانچ از فلنج استفاده می‌شود.

### • آزمایش بارگذاری

میکروپایل‌هایی که حداقل ۲۸ روز از زمان تزریق آنها گذشته باشد، به صورت فشاری با استفاده از جک بارگذاری، بارگذاری می‌گردند. این آزمایش با استفاده از تیر بارگذاری صورت می‌گیرد. با توجه به مشخصات فنی و نقشه‌های اجرایی میکروپایل‌ها بارگذاری در دو مورد از آزمایشها، تا رسیدن به بار طراحی و در یک مورد تا رسیدن به بار نهایی صورت می‌گیرد

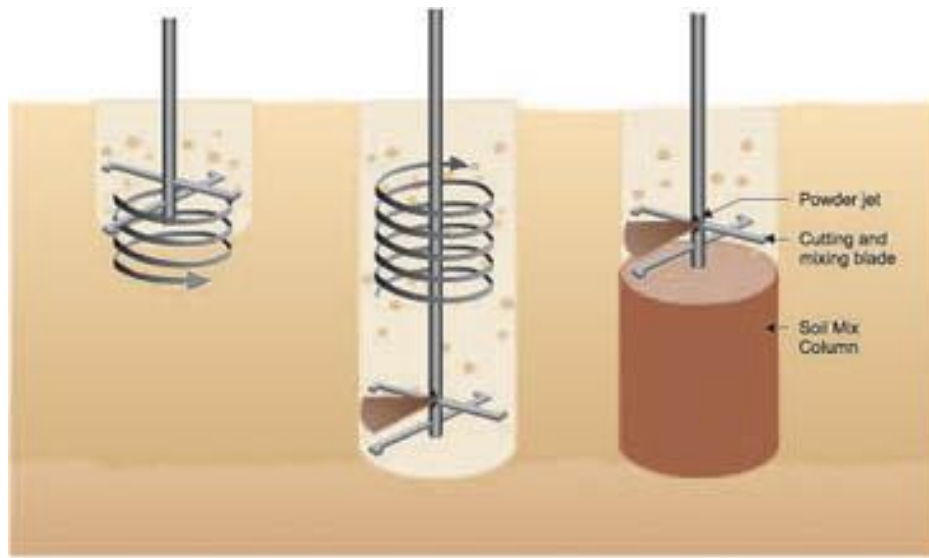
## معایب میکروپایل

۱) مشکل کمانش شمع به علت استفاده از میکروشمع‌های کم ضخامت با ظرفیت باربری خیلی بالا

۲) مقاومت نوک ناچیز

۳) خوردگی فلز

## روش اختلاط عمیق خاک *Deep Soil Mixing*



در این روش به وسیله دستگاهی سیمان به بافت خاک اضافه می شود .

برای کنترل اختلاط مخلوط خاک و سیمان نیاز به ساخت مخلوط های آزمایشی است ، لازم است قبل از عملیات تزریق دوغاب ،مقداری از خاک محل جهت کنترل مخلوط خاک و سیمان و بدست آوردن نسبتهای بهینه آب و خاک و سیمان و نیز مقاومت طراحی این نمونه به آزمایشگاه ارسال شده تا ضمن معلوم شده حداقل سیمان مورد نیاز ، پارامتر های طراحی و روند افزایش مقاومت نیز مشخص گردد . مقدار بهینه مصرف سیمان با انجام آزمایشهایی از طرح مخلوط خاک محل با سیمان در آزمایشگاه بدست می آید که معمولا عددی بین ۵ تا ۱۰ درصد وزن خاک می باشد .

این میزان سیمان مقاومت خاک را بین ۵ تا ۱۰ برابر افزایش داده و فشار پیش تحکیمی را حدود ۳ برابر می کند .ضریب تحکیم بعد از بهسازی بین ۱۰ تا ۴۰ برابر شده و زاویه اصطکاک را به ۲۴ تا ۴۰ درجه افزایش می دهد . در حالت کلی وجود آب مشکل عمده ای در مقاومت زمین ایجاد می کند به نحوی که بیشتر زمینهای با مقاومت کم دارای سطح بالای آب زیرزمینی هستند . همچنین زمینهای سست با افزایش سطح آب زیرزمینی مقاومت کمتری از خود نشان می دهند . این روش در این مورد محدودیتی نداشته و وجود آب زیرزمینی در بافت خاک مانعی برای این روش ایجاد نمی کند .

## انواع شمع و مشخصات سازه ای آنها:

برحسب شرایط تحت الارضی، سطح آب زیر زمینی، و نوع باری که باید حمل شود انواع مختلفی از شمع ها در کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار میگیرد. شمع ها بر حسب مصالحی که از آن ساخته میشود دارای انواع زیر هستند:

- شمع های فولادی
- شمع های بتنی
- شمع های چوبی
- شمع های مرکب

### شمع های فولادی:

انواع معمول شمع های فولادی، شمع های لوله ای و شمع های می باشند. شمع های لوله ای نیز در دو حالت انتهای بسته و انتهای باز به زمین کوبیده می شود . هر چند که از تیر آهن های و بال پهن نیز می توان برای شمع کوبی استفاده کرد ، لیکن تیر آهن ها با نیمرخ به علت مساوی بودن ضخامت بال و جان معمولا ترجیح داده میشود در نیمرخ های بال پهن و نیمرخ های ، ضخامت جان معمولا کوچکتر از ضخامت بال می باشد در خیلی از حالات شمع های لوله ای بعد از کوبیده شدن با بتن پر میشوند

### شمع های بتنی:

در عمل شمع های بتنی به دو صورت ورد استفاده قرار میگیرد:

الف) شمع های پیش ساخته

ب) شمع های درجاریز

شمع های پیش ساخته را می توان با استفاده از میلگرد های معمولی ساخت مقطع آنها به صورت مربعی یا هشت ضلعی است . میلگرد ها به منظور مقاوم نمودن شمع در مقابل خمش تولید شده در هنگام حمل و نقل، بلند کردن و اعمال نیرو های جانبی به شمع و همچنین افزایش مقاومت فشاری مورد استفاده قرار میگیرد شمع های پیش ساخته در طول مورد نظر ساخته شده و تحت شرایط مرطوب به عمل می آیند تا به مقاومت مورد نظر برسد پس از آن به محل کوبیدن حمل می شود شمع های پیش ساخته را میتوان با استفاده از کابل های پیش تنیدگی پر مقاومت به صورت پیش تنیده در آورد شمع های بتنی در جاریز به این صورت اجرا میشوند که ابتدا چاهی ر زمین به وسیله دست یا ماشین حفر میشود و سپس قفسه آرماتور ها درون چاه قرار داده شده و داخل آن بابتن پر میشود امروزه شمع های درجا به روش ها و انواع مختلف اجرا میشوند و اکثر آنها در انحصار شرکت خاصی که ابداع کننده اولیه آنها می باشند، قرار دارند.

شمع های درجاریز در دو گروه اصلی جای میگیرند:

الف) با غلاف

ب) بدون غلاف

هر دو گروه می توانند دارای نوک پهن شده (پداستال) باشند. شمعهای درجا ریز غلافدار بدین صورت اجرا میشود که ابتدا یک میله فولادی به زمین کوبیده شده و پس از رسیدن به عمق مورد نظر مصالح داخلی آن خالی ده و داخل لوله پر از بتن می شود لوله را میتوان با قرار دادن یک سنبه در داخل آن کوبیده و پس از رسیدن به عمق مورد نظر سنبه را خارج کرد. بای سرپهن کردن شمع (ایجاد پداستال) پس از ریختن مقداری بتن در نوک شمع ، بارها کردن وزنه از ارتفاع آن را میکوبند تا از طرفین پهن شود. برای اجرای شمع بدون غلاف، ابتدا در زمین کوبیده شده و سپس همزمان با بتن ریزی در داخل غلاف، غلاف به تدریج به بیرون کشیده میشود

### اجرای شمع های درجا:

- ۱) حفاری
- ۲) تخلیه ی مواد حفاری شده
- ۳) گذاشتن کیسینگ
- ۴) حفاری و ادامه کار
- ۵) جمع آوری مصالح حفاری شده
- ۶) ورود گل بنتونیت (گل حفاری) در صورت نیاز



- ۷) بارگیری مصالح حفاری شده جهت انتقال آن به خارج سایت
- ۸) قفسه ها را با جوش بهم وصل میکنند
- ۹) بارگیری قفسه های ساخته شده آرماتور جهت انتقال آنها به محل اجرای شمع
- ۱۰) گذاشتن قفسه های ساخته شده در سایت
- ۱۱) بلند کردن قفسه های آرماتور
- ۱۲) انتقال قطعه اول قفسه های آرماتور به داخل چاه شمع
- ۱۳) قراردادن قطعه اول قفسه آرماتور در دهانه شمع و انتقال وزن آن به سطح زمین از طریق جانمایی المان نگهدارنده افقی
- ۱۴) اتصال قطعه دوم قفسه آرماتور به قطعه اول از طریق برقراری طول تماس (اورلب)
- ۱۵) تکمیل قفسه آرماتور با تکرار سیکل قبل
- ۱۶) انتقال قطعه اول لوله ترمی به محل چاه شمع
- ۱۷) اتصال قطعه بعدی لوله ترمی به قطعه اول
- ۱۸) تکمیل مونتاژ و نصب لوله ترمی با تکرار سیکل قبل
- ۱۹) پمپاژ مستمر گل بنتونیت جدید از دستگاه دی سند به انتهای چاه مملو از بنتونیت، سرریز بنتونیت قدیم به چاله جانبی و انتقال آن به استخر بنتونیت.
- ۲۰) انتقال قیف به محل و اتصال آن به لوله ترمی و استقرار شبکه فلزی در دهانه آن
- ۲۱) استقرار دستگاه تراک میکسر در مجاورت شمع و آغاز تخلیه ی بتن به داخل قیف
- ۲۲) ورود بتن از انتهای لوله ترمی به داخل چاه شمع ، تشکیل لایه مخلوط بتن و بنتونیت، انتقال بنتونیت (موجود در چاه) و لایه مخلوط شده به بالا تحت فشار ناشی از بتن جدید
- ۲۳) ادامه ورود بتن از انتهای لوله به داخل چاه شمع و در نتیجه بالا آمدن بنتونیت موجود در چاه لایه مخلوط بنتونیت و بنت و لایه های قبلی بتن و تکرار سیکل مذکور
- ۲۴) کاهش لوله ترمی جهت سهولت تخلیه بتن ( اینکار از طریق باز نمودن قیف، بالا کشیدن لوله و جدا ساختن بالاترین قطعات آن انجام میشود) و سپس ادامه بتن ریزی و حتما باید انتهای لوله ترمی همیشه بیش از دو متر در داخل بتن باشد.
- ۲۵) تکرار مراحل قبل
- ۲۶) تخلیه ی کامل بنتونیت از بالای چاه و سر ریز لایه بتن نامناسب ( بتن مخلوط شده با بنتونیت)

### شمع های چوبی:

- شمعهای چوبی تنه های درخت های سالم صاف و بلند می باشند که شاخ و برگ آن زرد شده و سطح آن پساز کندن پوست ، به دقت تراشیده شده است. حداکثر طول اغلب شمع های چوبی بین ۱۰ تا ۲۰ متر میباشدند. چوبی که از آن به عنوان شمع استفاده میشود باید مستقیم ، بدون درز و ترک و سالم باشد.

## پیش بارگذاری:

پیش بارگذاری معمولاً برای اصلاح خاک های ریز دانه اشباع به کار می رود. عملیات پیش بارگذاری موجب افزایش تنش مؤثر در لایه های سست و تراکم پذیر زیر سطحی شده و امکان نشست سازه را پس از احداث به میزان قابل توجهی کاهش می دهد. علاوه بر انجام این عملیات باعث کاهش تخلخل و درصد رطوبت خاک شده و در نتیجه مقاومت برش آن را افزایش می دهد.

سربار موقتی به اندازه وزن سازه در محل احداث آن قرار می دهند. سربار اضافه شده پس اتمام نشست زمین برداشته شده و سازه ی مورد نظر ساخته می شود. در عمل به منظور کاهش زمان عملیات نسبت به افزایش وزن سربار، نصب زهکش های عمومی انجام می شود. با توجه به اینکه در اکثر موارد نفوذ پذیری افقی لایه های خاک بیشتر از نفوذپذیری عمومی آنها می باشد، نصب زهکش های عمومی می تواند مدت زمان عملیات پیش بارگذاری را به مقدار زیادی کاهش دهد.

- ✓ پیش بارگذاری در مجاورت سازه های موجود باعث افزایش تنش های عمومی و افقی در لایه های خاک زیر این سازه ها شده و امکان حرکت جانبی لایه های خاک سست را افزایش می دهد.
- ✓ افزایش تنش خاک می تواند باعث نشست سازه هایی که بر روی سطحی قرار دارند شده و نیروی اصطحکاک منفی جانبی و خمشی به شمع های نصب شده در زیر سازه ها وارد نماید.
- ✓ محدودیت ارتفاع خاکریز باعث می شود که نشست زمین در زمان انجام عملیات به صورت کامل انجام نشده و سازه پس از احداث دچار نشست شود.

پیش بارگذاری موقتی می باشد که در محل ساخت ساختمان ها و تأسیسات به منظور اصلاح خاک های زیر سطحی بکار برده می شود و متداولترین روش برای آن انباشتن مصالح خاکریز است.

### موارد زیر برای اجرای موفق روش پیش بارگذاری:

- زمان اجرای پیش بارگذاری در چهارچوب برنامه زمانی در نظر گرفته شده و برای اجرای کل پروژه باشد.
- هیچگونه تأثیر نامطلوبی از نظر گرد و غبار، سر و صدا و غیره بر محل های اطراف نداشته باشد.
- نشست های بعد از ساخت در محدوده قابل قبول باشند.
- هزینه ی واقعی مطابق برآورد بوده و یا بیش از هزینه ی سایر روش ها نباشد.

### موارد زمان اجرا

- ۱- قبل از انباشتن مصالح خاکریز، محل باید از نباتات سطحی پاک و با یک لایه از مصالح قابل زهکشی با دانه بندی مناسب پوشیده گردد.

- ۲- سرعت اجرای لایه های خاکریز باید به گونه ای باشد که با توجه به مقاومت برشی لایه ی نرم زیرین گسیختگی های موضعی در آن ایجاد نشود.
- ۳- در حین اجرای لایه های خاکریز مدام وزن مخصوص آنها به صورت درجا تعیین شود تا با مقدار طراحی شده کنترل گردد.
- ۴- پس از پایان دوره ی انتظار و قبل از برداشتن خاکریز با انجام پاره ای از آزمایشات، کافی بودن مقدار سربار و دوره ی انتظار آن مورد بررسی قرار گیرد.

### نتایج:

- تأثیر پیش بارگذاری بر لایه های پایینی کمتر و تأثیر آن کاهش می یابد. مهمترین دلیل تأثیر لایه رویی در توزیع تنش می باشد به گونه ای که در اثر سخت شدن این لایه زاویه توزیع بار به شدت کاهش می یابد.
- در پروژه هایی مناسب است که هدف بهبود لایه های عمقی نباشد.
- مکانیزم این روش مبتنی بر ایجاد یک لایه ی سخت و مقاوم فوقانی می گردد و باعث می شود که توزیع تنش به گونه ای گردد که افزایش تنش در لایه های تحتانی کاهش می یابد و خصوصیات مقاومتی این لایه ها افزایش قابل توجهی نخواهد یافت.
- در هنگام محاسبه و طراحی می بایست اثر لایه ی سخت فوقانی در شکل توزیع تنش مد نظر قرار گرفته شود.