

سمینار بهسازی خاک

با نگاه ویژه به روش‌های مبتنی بر
تزریق سیمان

ارائه دهنده: مهندس سعید مهدی‌زاده
مهندس احمد جواهری



شرکت مهندسی ابزار سنگ میهن

۲۲ آبان ماه ۱۴۰۴



فهرست

01 مقدمه ای بر بهسازی خاک

02 میکروپایل

03 تزریق تحکیمی

04 DSM

05 جت گروتینگ

06 پرسش و پاسخ

مقدمه ای بر بهسازی خاک

1. راهکارهای مواجهه با شرایط نامناسب ساخت گاه
 - تغییر محل پروژه و انتخاب مکان جدید
 - بازنگری در طرح سازه با توجه به شرایط ساخت گاه
 - حذف خاک نامطلوب و جایگزینی با مصالح مناسبتر

2. بهسازی زمین، راه کار نهایی در شرایط نامناسب ساخت گاه
 - اجرای شمعهای عمیق برای عبور از لایه خاک نامطلوب و رسیدن به مصالح مناسب
 - بهسازی و تحکیم بستر نامطلوب





تعریف بهسازی خاک و اهداف

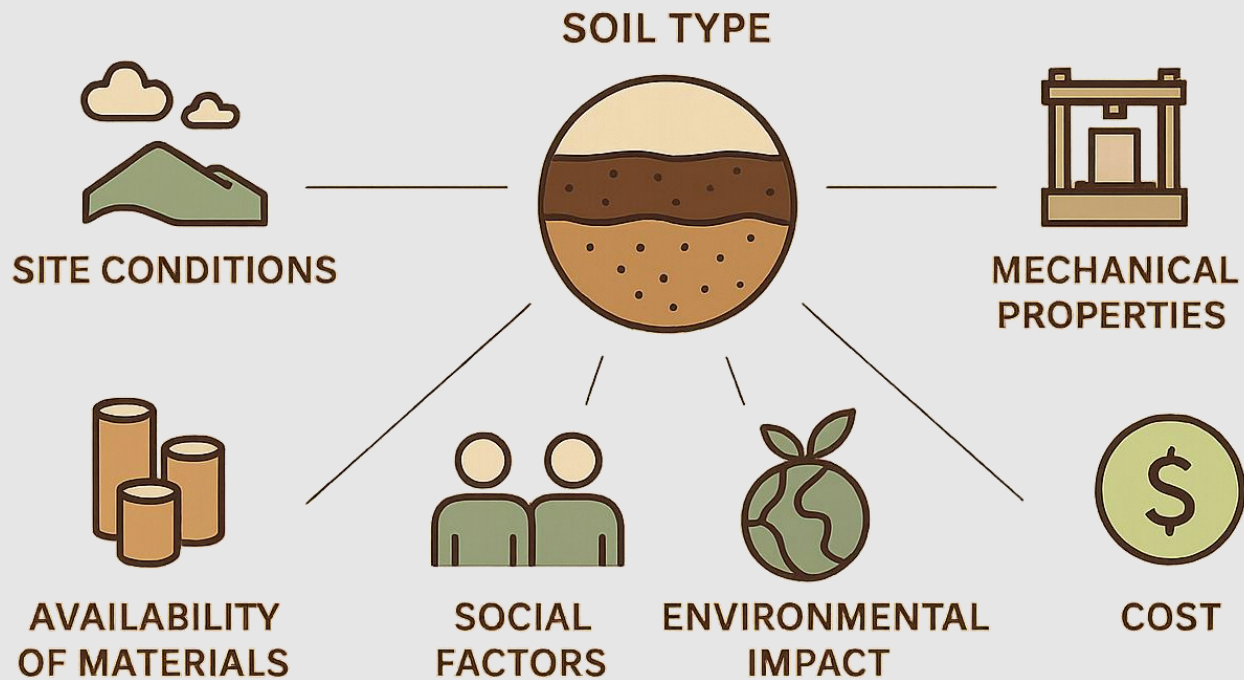
- افزایش مقاومت برشی یا دانسیته خاک برای ارتقا ظرفیت باربری یا برای تامین تکیه گاه کافی در گودبرداری یا تونل سازی.
- کاهش تراکم پذیری برای به حداقل رساندن نشستهای یکنواخت یا غیریکنواخت سازه ها
- کاهش نفوذپذیری برای به حداقل رساندن جریان آب زیرزمینی و یا آببندی.
- پیشگیری از روانگرایی یا کاهش گسترش جانبی در زیر یا نزدیکی سازه ها در حین زلزله

اهمیت بهسازی خاک:

- ایمنی سازه‌ها: با بهسازی خاک، خطر فروریزش یا نشست ناخواسته ساختمان‌ها و سازه‌ها کاهش می‌یابد.
- صرفه‌جویی اقتصادی: از تعویض محل پروژه یا طراحی‌های پیچیده و پرهزینه جلوگیری می‌شود.
- افزایش عمر مفید سازه: سازه‌ها روی زمین تقویت‌شده پایداری بیشتری دارند و دیرتر دچار آسیب می‌شوند.
- امکان ساخت در مناطق مشکل‌دار: با بهسازی، می‌توان در مناطقی با خاک ضعیف نیز پروژه‌های مهم را اجرا کرد.



عوامل مؤثر در انتخاب روش بهسازی



۱- نوع خاک

۲- مساحت، عمق و موقعیت محل بهسازی

۳- ویژگی‌های مطلوب و خصوصیات مورد نیاز خاک

۴- در دسترس بودن مصالح

۵- دسترسی به امکانات، تجربه‌ها و اولویت‌های محلی

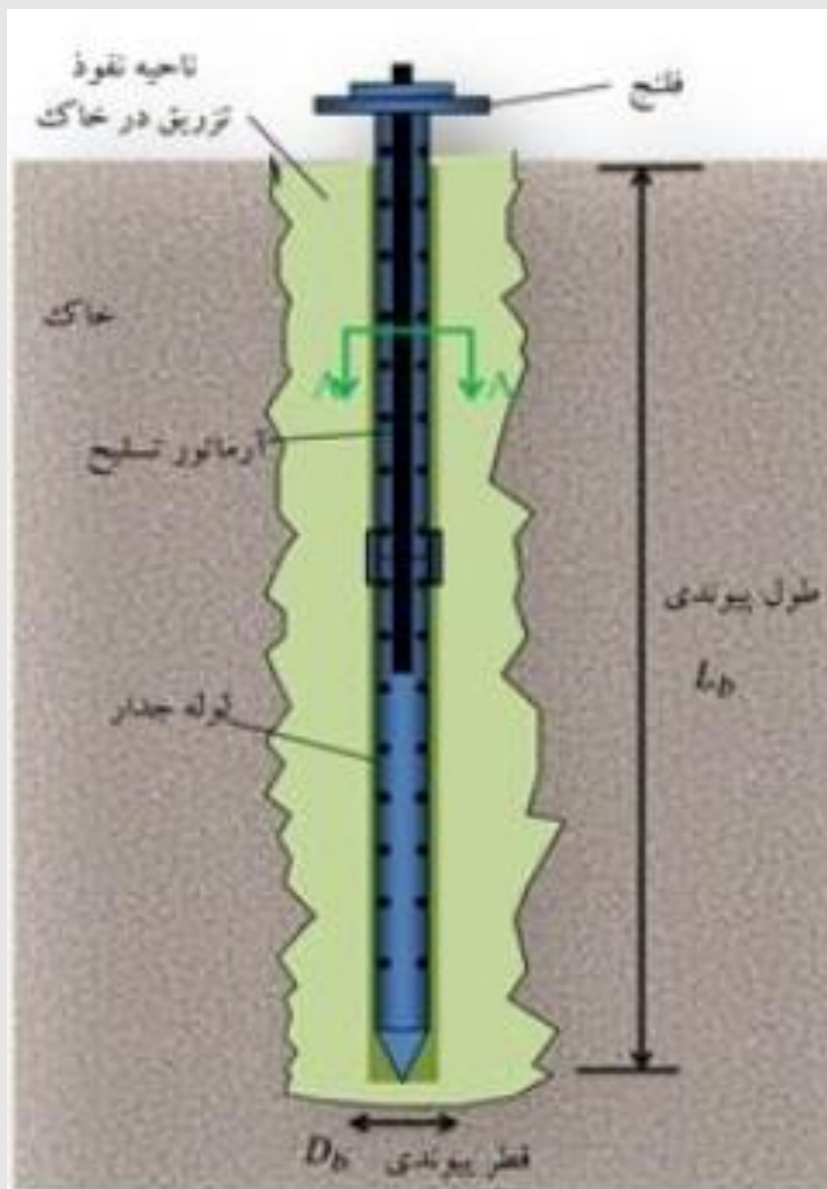
۶- مسائل زیست محیطی

۷- مسائل اقتصادی

کاربردهای بهسازی خاک در پروژه‌های ساختمانی



۱. افزایش ظرفیت باربری خاک
۲. کاهش نشست و تراکم پذیری خاک
۳. کنترل آب زیرزمینی و نفوذپذیری
۴. تثبیت شیب‌ها و گودبرداری‌ها
۵. مقاوم سازی در برابر زلزله
۶. افزایش عمر مفید سازه



میکروپایل

تاریخچه میکروپایل

انتشار اولین نسخه
FHWA

Underpinning

ورود به آلمان

- در سیستم های حمل و نقل

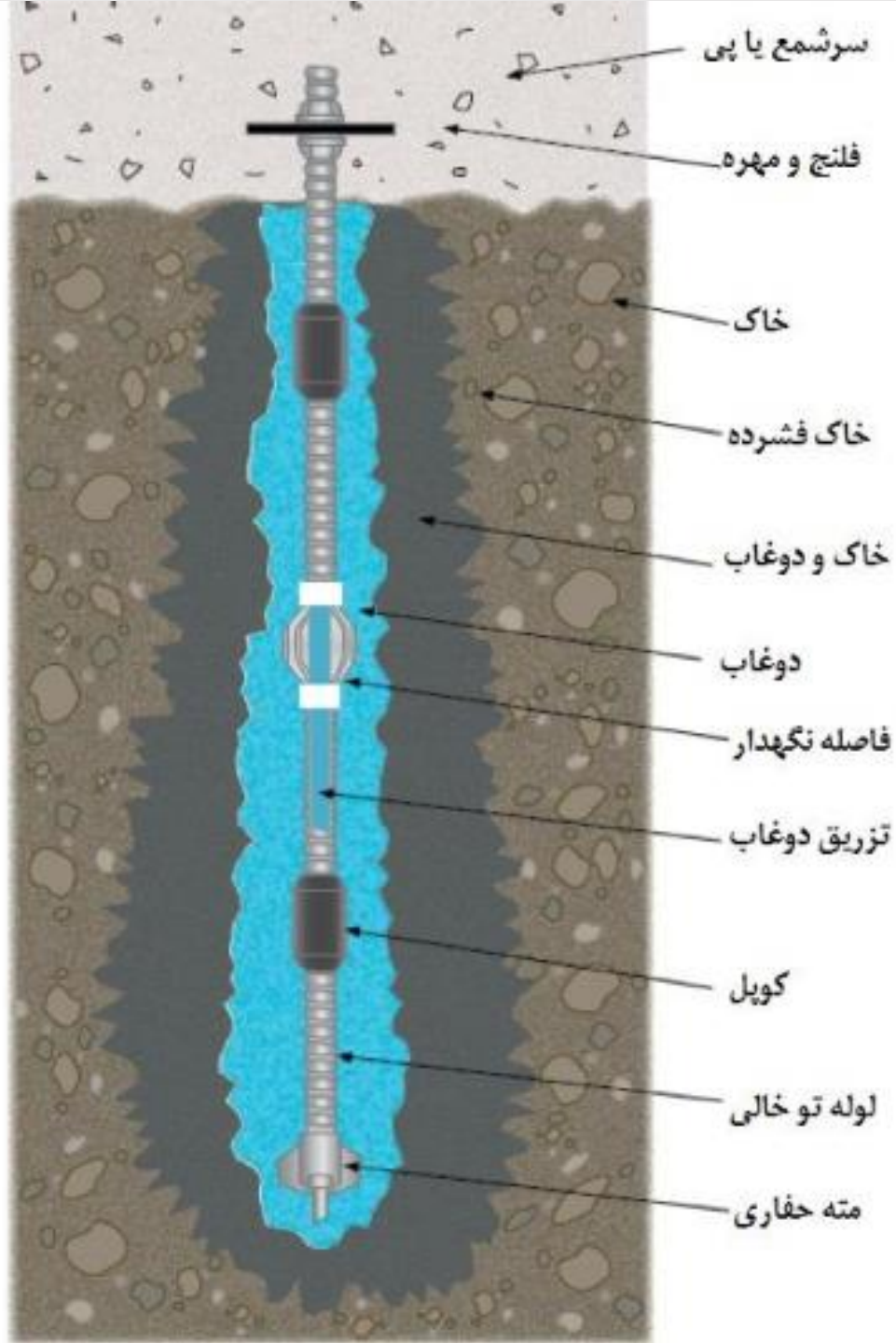
ورود به انگلستان

- ساختمان های تاریخی

ابداع میکروپایل در
ایتالیا

- ساختمان های تاریخی

میکروپایل

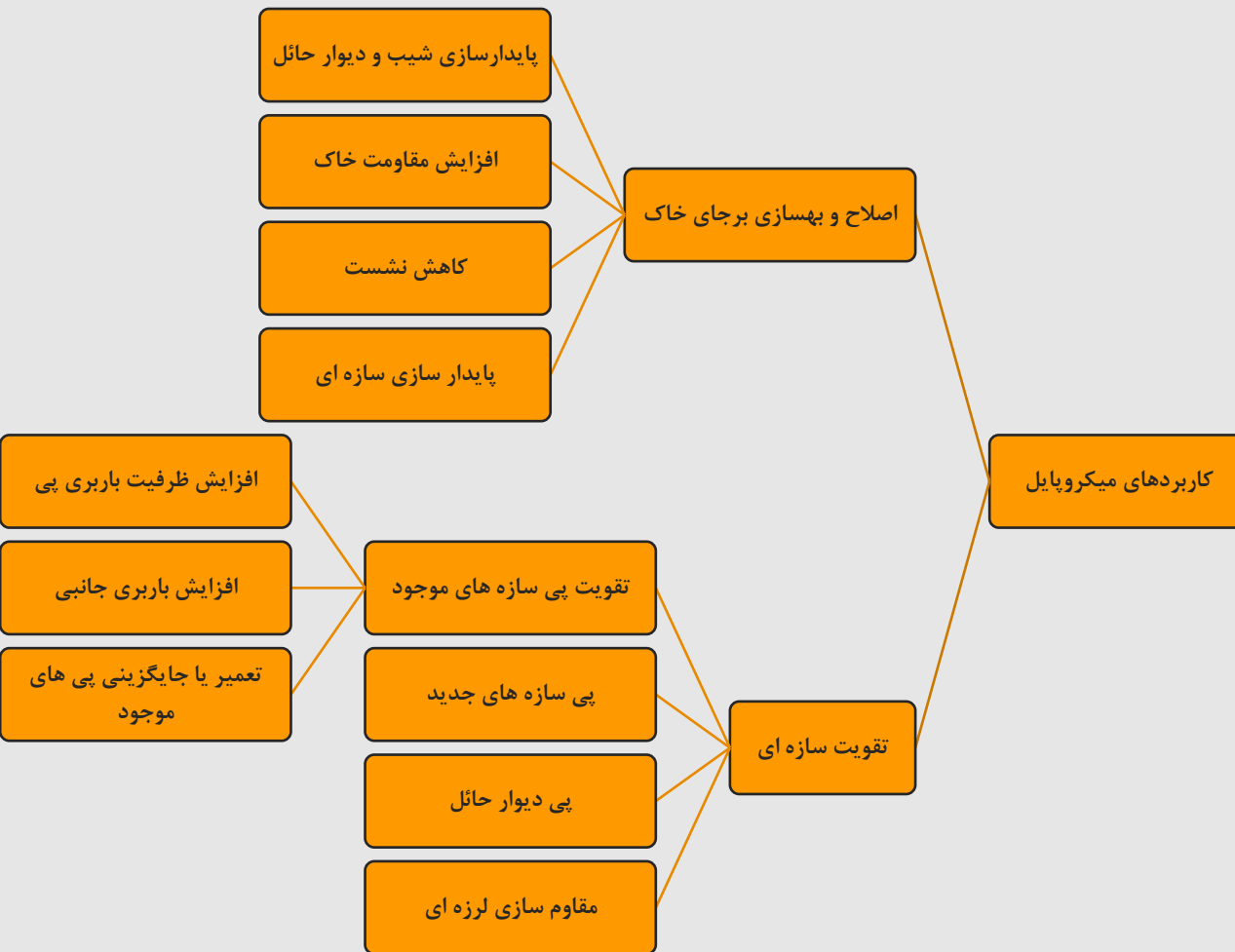


- میکروپایل یا ریزشمع، نوعی شمع با قطر کوچک (معمولاً کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر) است
- عمدتاً از میلگرد فولادی سبک یا لوله فولادی به عنوان تسلیح داخلی، همراه با تزریق دوغاب سیمان ساخته می‌شود که موجب افزایش مقاومت مکانیکی خاک اطراف نیز می‌گردد

امکان سنجی میکروپایل

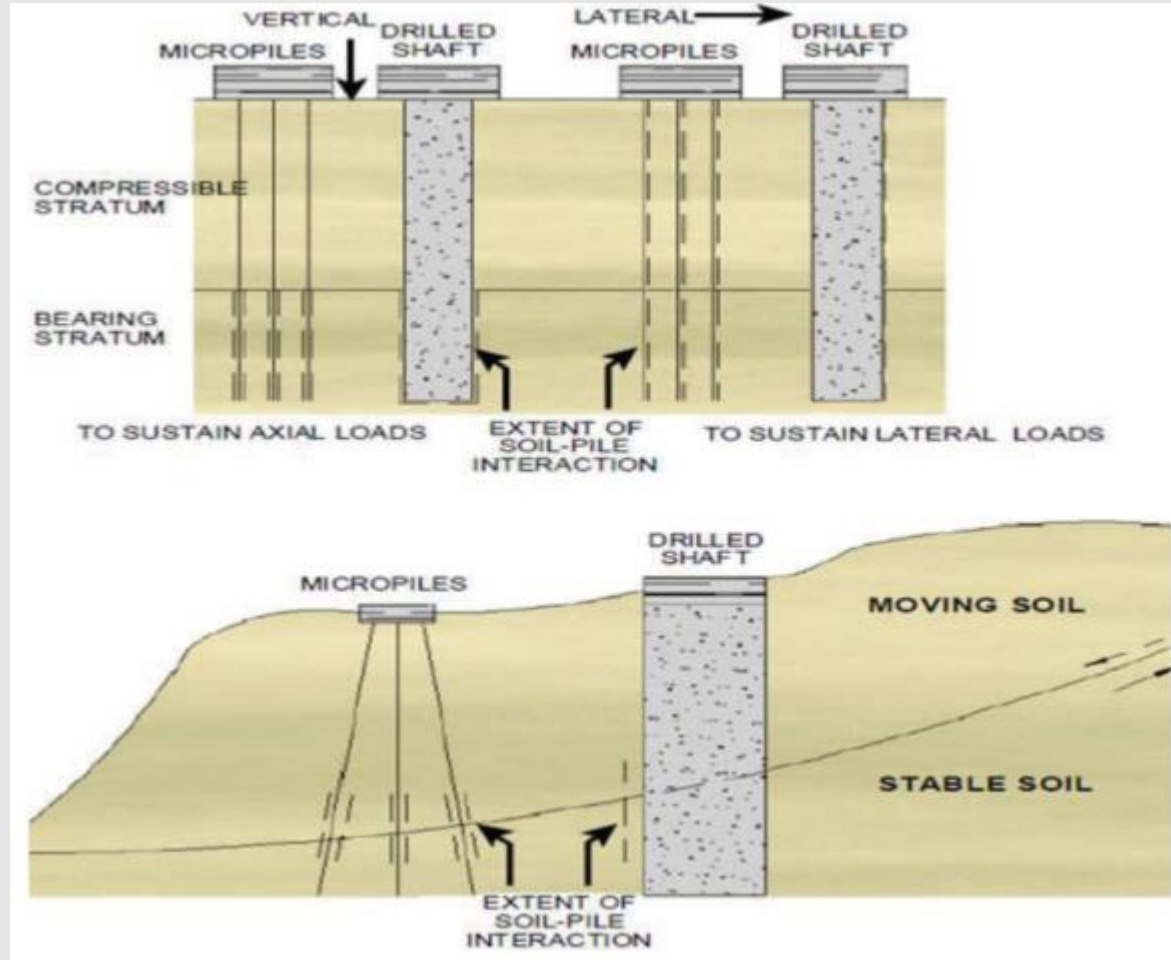
میکروپایل‌ها در مقایسه با سیستم‌های نگهداری معمولی دارای مزایای خاصی هستند و به طور کلی:

- ممکن است تحت شرایط و محدودیت‌هایی در پروژه‌های خاص امکان‌پذیر باشد.
- پروژه‌هایی که در مناطق صعب‌العبور و دور افتاده واقع شده‌اند.
- در صورتیکه سیستم نگهداری مورد نیاز به مجاورت شمع یا سازه‌های موجود باشد.
- شرایط زمین نامساعد و حفاری دشوار باشد (به عنوان مثال ریزش‌های غیر قابل کنترل سنگ‌ها).
- کوبش شمع در خاک‌هایی که منجر به روانگرایی می‌شود.
- لرزش یا سر و صدا باید به حداقل برسد.
- مواد خطرناک یا آلوده در حین اجرا تولید شود.
- نیاز به سازگاری سیستم نگهداری با ساختار موجود.

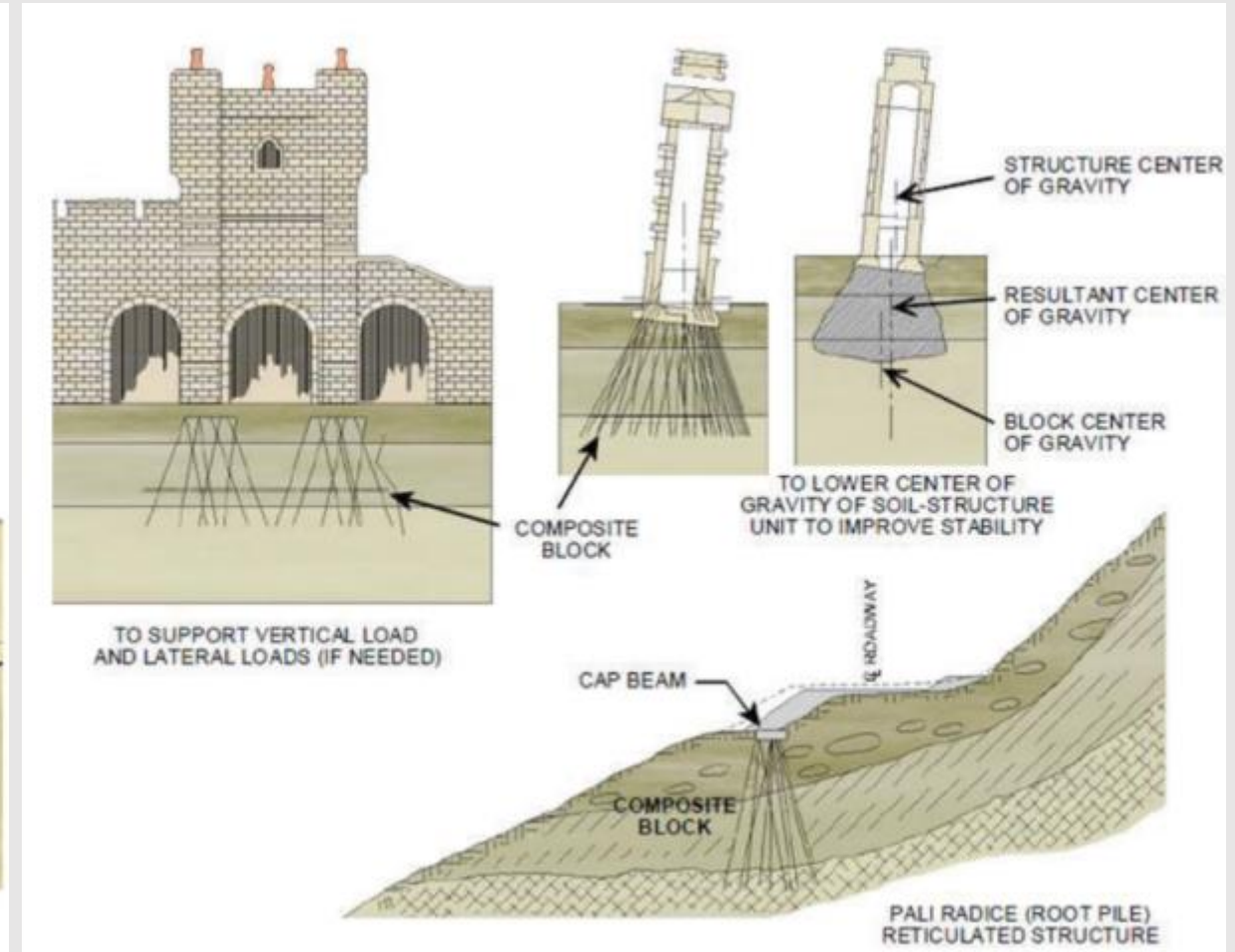


تقسیم بندی میکروپایل





میکروپایل باربر



میکروپایل شبکه ای

طبقه بندی اجرایی

نوع A (تزریق ثقلی):

پُر کردن گمانه با دوغاب ماسه-سیمان با استفاده از نیروی گرانش.

نوع B (تزریق تحت فشار):

تزریق دوغاب تحت فشار (۰,۵ تا ۱ مگاپاسکال) پس از بیرون کشیدن غلاف، برای جلوگیری از نشست و شکستگی لایه.

نوع C (دو مرحله‌ای):

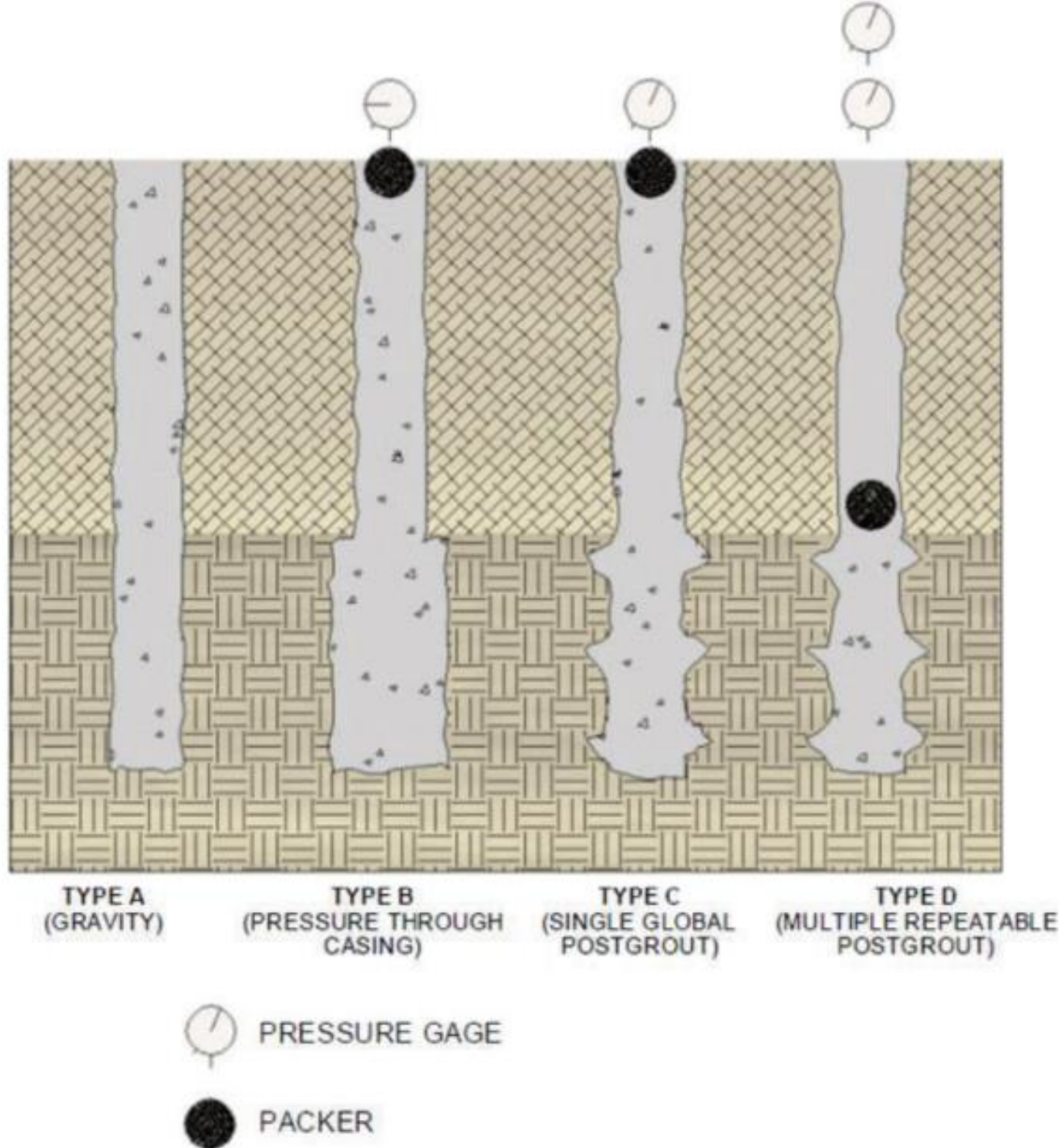
مرحله اول: پُر کردن ثقلی گمانه با دوغاب.

مرحله دوم: تزریق مجدد همان دوغاب (پس از ۱۵-۲۵ دقیقه) از طریق شلنگ‌ها (بدون پکر) با فشار ۱ مگاپاسکال.

نوع D (دو مرحله‌ای و انتخابی):

مرحله اول: ورود دوغاب به روش ثقلی (یا تحت فشار).

مرحله دوم: تزریق مجدد از طریق شلنگ‌ها با فشار ۲ تا ۸ مگاپاسکال، با قابلیت استفاده از پکر در ترازهای مختلف



اجرای میکروپایل



حفاظت در برابر خوردگی

• اهمیت: ضروری برای دوام طولانی مدت اجزای فولادی میکروپایل.

• عوامل موثر بر میزان حفاظت:

شرایط بارگذاری و عمر مفید مورد انتظار.

ماهیت مخرب زمین.

اهمیت سازه و پیامدهای ناشی از گسیختگی.

• عوامل نشان دهنده پتانسیل بالای خوردگی:

مقاومت الکتریکی پایین زمین.

غلظت بالای کلریدها یا سولفیدها در آب/خاک.

• pH بسیار پایین (اسیدی) یا بسیار بالا (قلیایی) در آب/خاک.

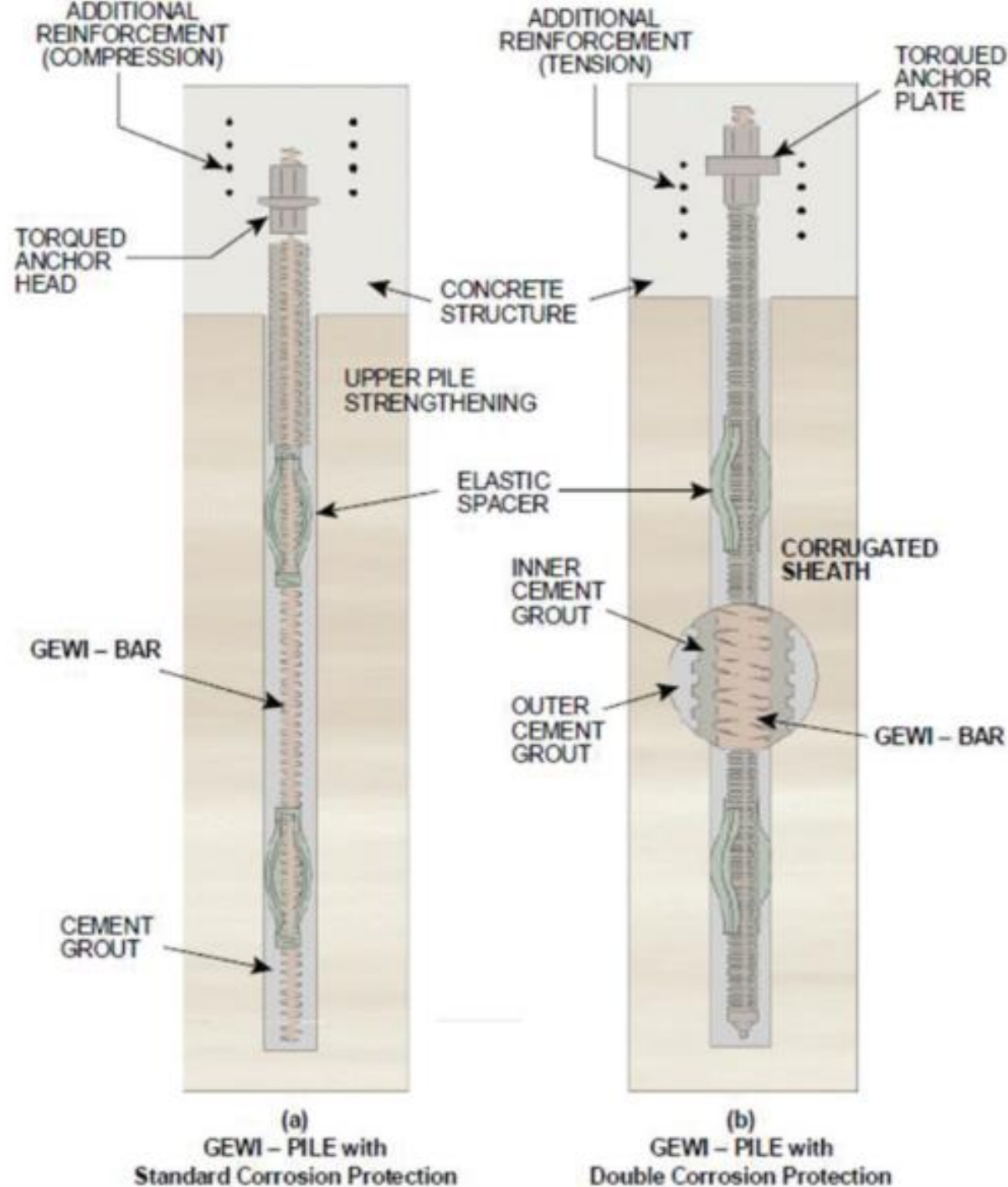
شرایط اشباع بالای زمین.

وجود جریان های الکتریکی سرگردان و نامنظم.

Test	Units	Strong Corrosion Potential/Aggressive	AASHTO Test Method
pH	–	< 5, >10	T 289
Resistivity	ohm-cm	<3,000	T 288
Sulfates	ppm ⁽¹⁾	>200	T 290
Chlorides	ppm	>100	T 291

Note: (1) ppm = parts per million.

روش‌های جلوگیری از خوردگی میکروپایل



1. حفاظت با دوغاب سیمان:

- پوشش کامل میلگرد با دوغاب سیمان برای ایجاد محیط قلیایی و کاهش پتانسیل خوردگی، استفاده از سنترلایزرها برای اطمینان از پوشش کامل فولاد توسط دوغاب.

2. کپسوله کردن: DCP (Double Corrosion Protection):

- غلاف محافظ از جنس PVC یا HDPE (با ضخامت ۱ تا ۱,۵ میلی‌متر) در اطراف میلگردها.
- فضای پر شده با دوغاب برای حفاظت دو مرحله‌ای.

3. پوشش اپوکسی:

- پوشش دادن میلگردها با مواد اپوکسی چسبنده (حداقل ضخامت ۰,۳ میلی‌متر).
- ایجاد حفاظت فیزیکی و شیمیایی (خاصیت دی‌الکتریک).

4. پوشش گالوانیزه:

- غوطه‌ور کردن فولاد در روی مذاب داغ. (Hot deep galvanized)
- این روش گالوانیزه کردن میلگردها با استحکام زیاد فولاد را مجاز نمی‌داند

آزمایش بارگذاری میکروپایل

انواع تست‌ها:

1. تست تایید: (Verification Test)

- قبل از اجرا (یا در مراحل اولیه پروژه‌های بزرگ)
- هدف: بررسی مفروضات طراحی و صحت روش نصب.
- معمولاً شامل یک یا دو تست در هر پروژه (در پروژه‌های بزرگتر، بیشتر).

2. تست اثبات: (Proof Test)

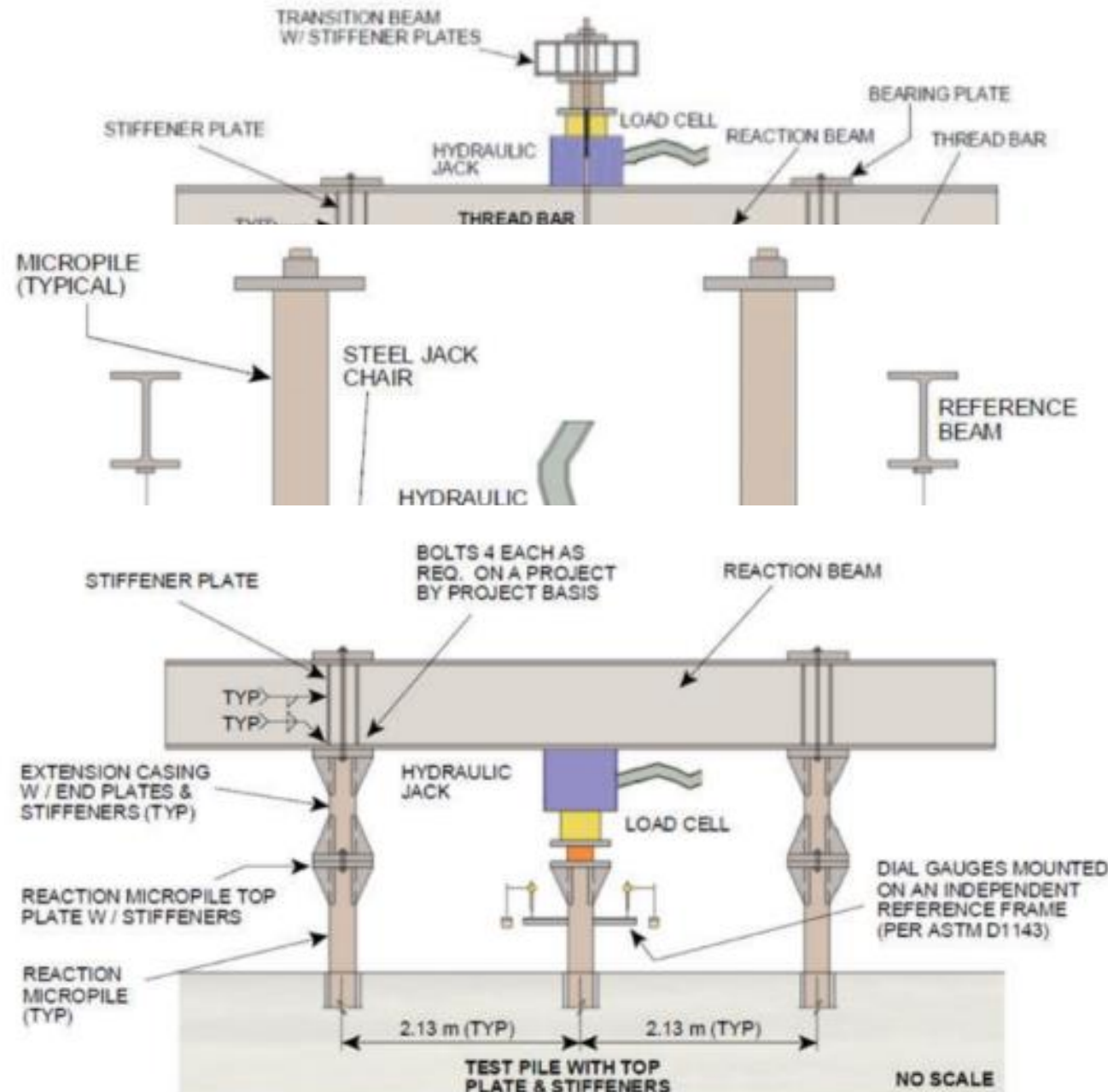
- هدف: تضمین کیفیت روش و اجرای میکروپایل.
- استفاده از روش‌های بارگذاری استاتیکی مرسوم.

3. تست گسیختگی: (Ultimate Test)

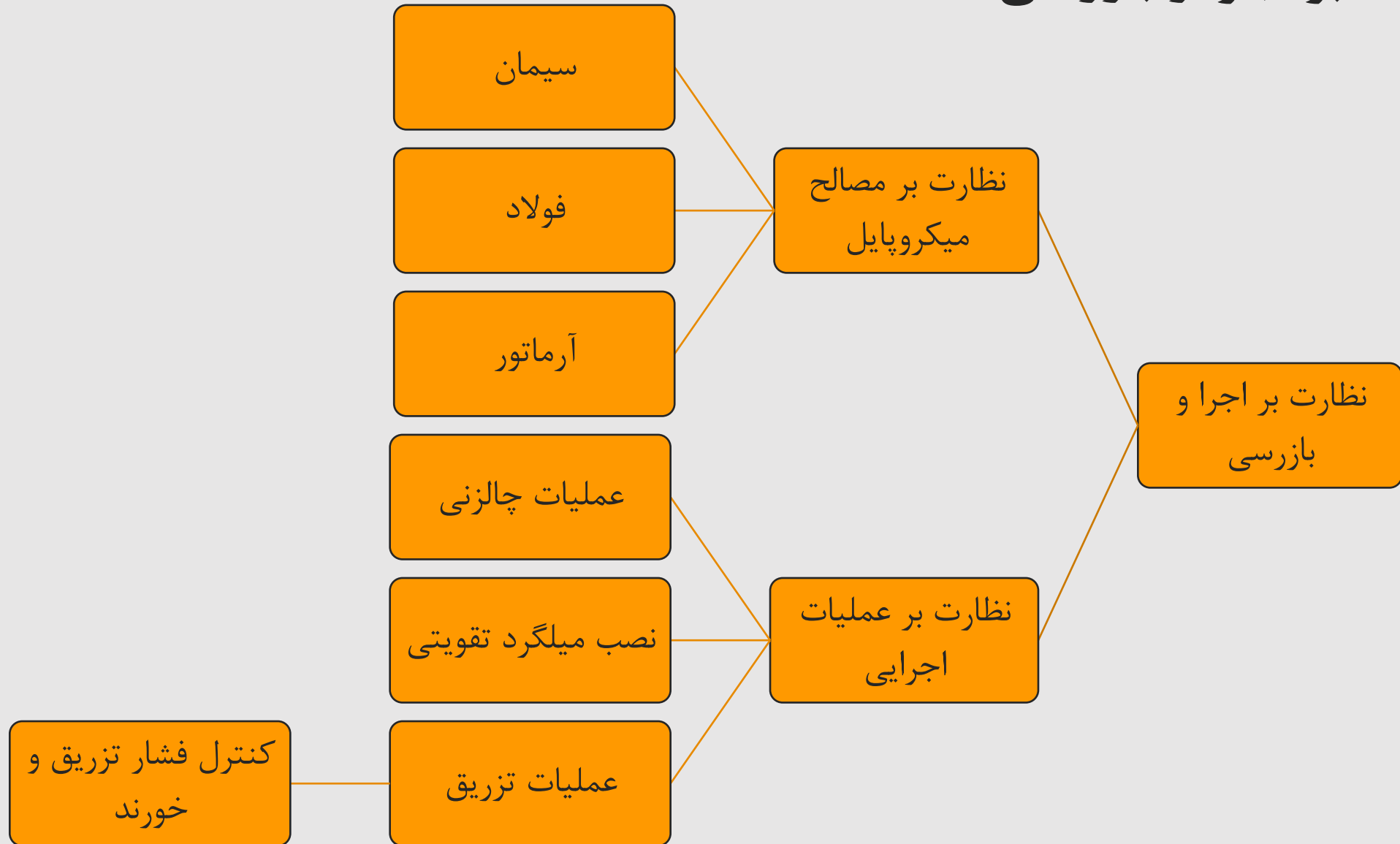
- برای تعیین حداکثر باربری میکروپایل (معمولاً به عنوان تست تحقیقی).

4. تست خزش: (Creep Test)

- اندازه‌گیری حرکت میکروپایل تحت بار ثابت در یک بازه زمانی مشخص.
- برای ارزیابی توانایی تحمل بار مطمئن توسط شمع در طول عمر پروژه.
- به ویژه در خاک‌های رسی با حد روانی بیش از ۵۰ و شاخص پلاستیسته بالای ۲۰ نگران کننده است.



نظارت بر اجرا و بازرسی



ملاحظات فنی و اجرایی:

- اطلاعات و نوع آزمایشات لازم (فشاری، کششی، جانبی) و حداکثر بار پیش‌بینی شده.
- مشخصات طرح آزمایش (مکان شمع، عکس‌العمل، محل اندیکاتورها).
- اطلاعات کالیبراسیون تجهیزات پایش (لودسل، گیج فشار، سنسور).
- جزئیات اتصالات میکروپایل‌ها به سازه‌های موجود.
- اقدامات اصلاحی اجرایی در صورت مشاهده جابجایی‌ها یا نشت مواد غیرمجاز.
- راه‌کارهای جابجایی مصالح باطله.
- معیارهای عملکرد و رواداری‌ها.
- موقعیت و زوایای میکروپایل‌ها.
- قطر، طول و مقاطع میکروپایل‌ها.
- ظرفیت باربری مورد نیاز هر میکروپایل.
- مشخصات تجهیزات حفاری (سریال، مدل، شرکت سازنده، سیستم تخلیه کاتینگ).
- طرح کلی نصب میکروپایل‌ها، ترتیب پیشنهادی نصب، فازبندی و برنامه‌ریزی.
- طراحی اختلاط و روش‌های ساخت دوغاب و روش تزریق.
- بررسی مشخصات آلمان‌های تقویتی و حفاظت در برابر خوردگی.
- روش‌ها و تجهیزات تزریق ثانویه (در صورت پیش‌بینی).
- مستندسازی و روش‌های حفاظت از تاسیسات موجود و عناصر حساس مجاور.
- برنامه‌ریزی برای کار در فضای کم یا وجود موانع.
- اطلاعات تست بار شامل مشخص نمودن میکروپایل‌های مورد آزمایش.

نظارت بر اجرا



- نظارت بر مصالح

بررسی گواهی سازنده یا تامین کننده.

بررسی مشخصات محصول و بازرسی چشمی.

انجام آزمایشات لازم جهت انطباق.

- حمل و نقل و انبار

فولادهای تقویتی (میلگردها):

سیمان:

- بازرسی و نظارت بر فعالیت های اجرایی

نظارت بر عملیات حفاری

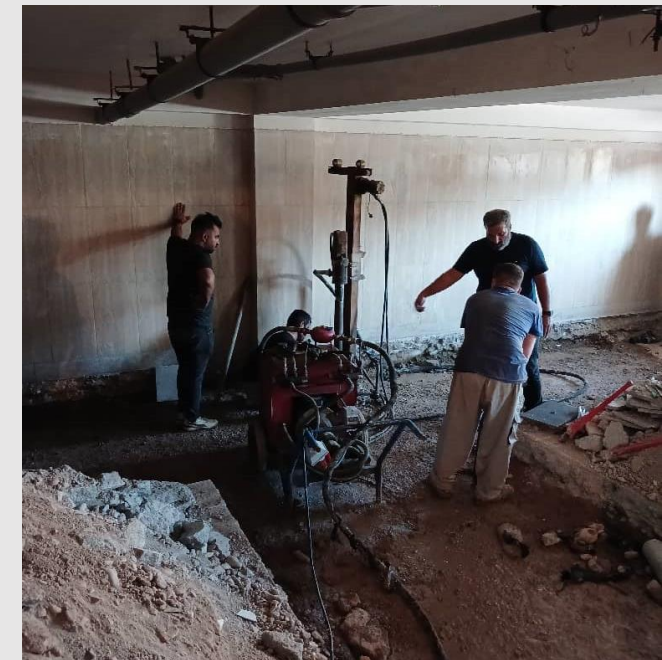
مدیریت گمانه و پایداری:

در خاک‌ها و سنگ‌های ضعیف، حفاری، نصب میلگرد و تزریق باید در یک روز تکمیل شود.
مسدود کردن سر گمانه‌ها برای جلوگیری از ریزش نخاله و ورود آلاینده‌ها.
دفع مناسب آب‌های برگشتی حفاری.

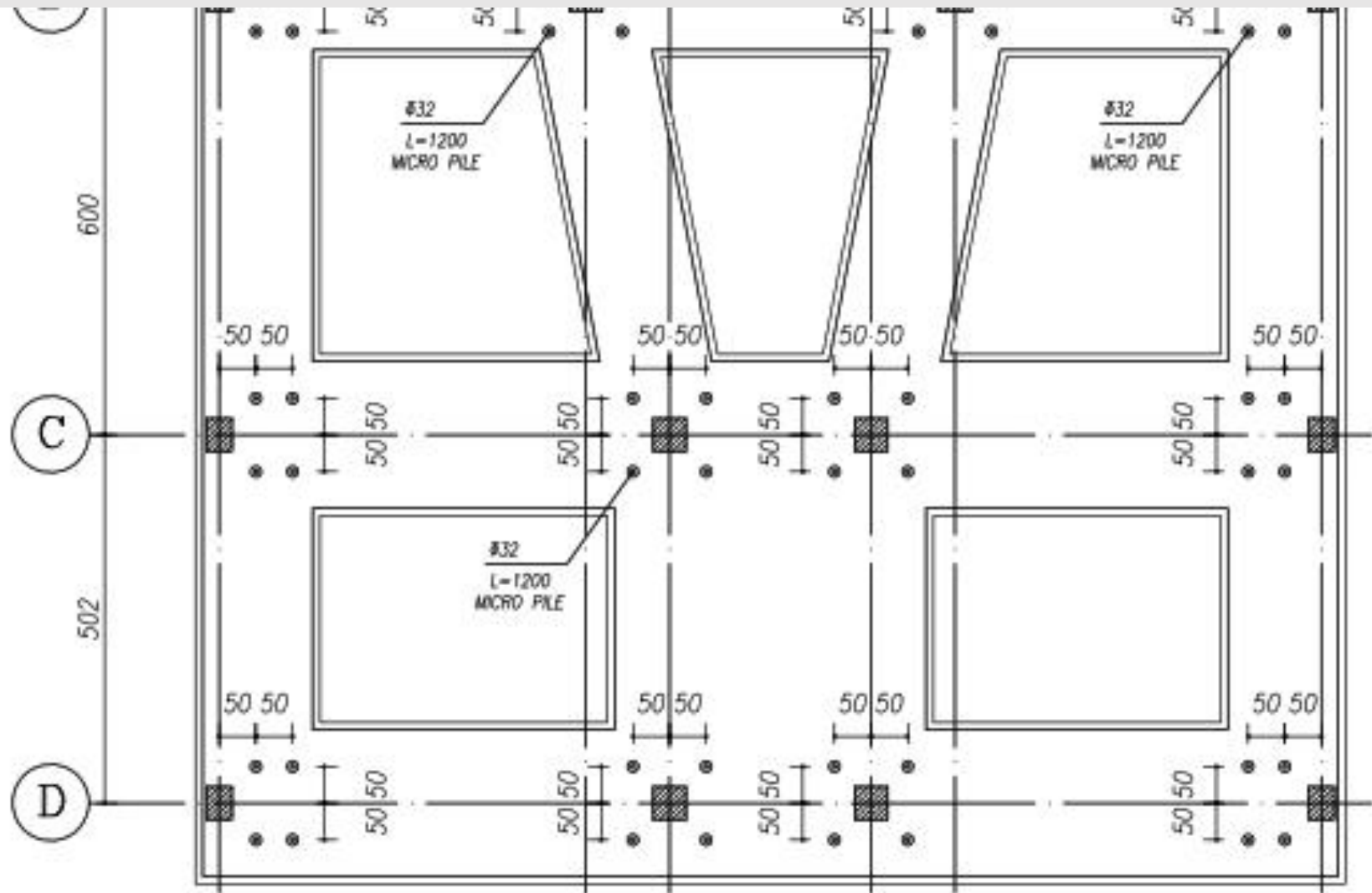
عملیات حفاری و کشش کیسینگ:

عملیات حفاری باید طوری انجام شود که باعث از دست دادن کارایی چاه و سرمته نگردد.
در زمان کشیدن کیسینگ، از آسیب به آرماتور و کاهش اتصال شمع به خاک جلوگیری شود.

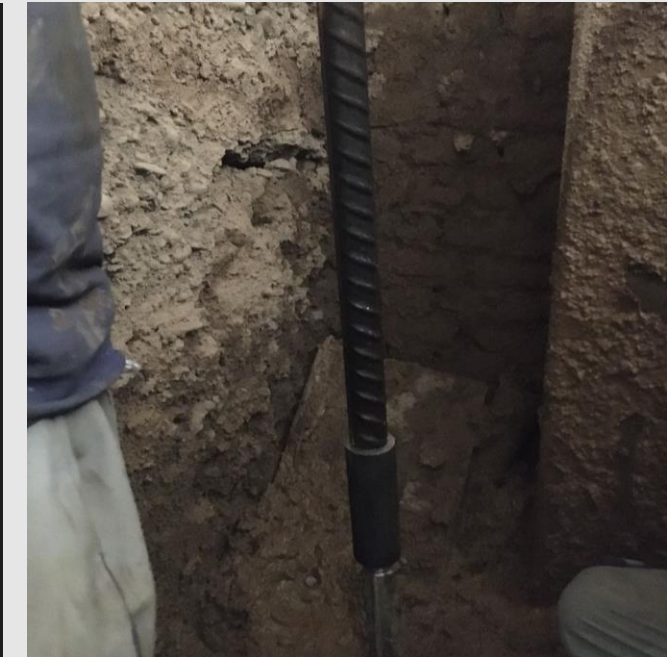
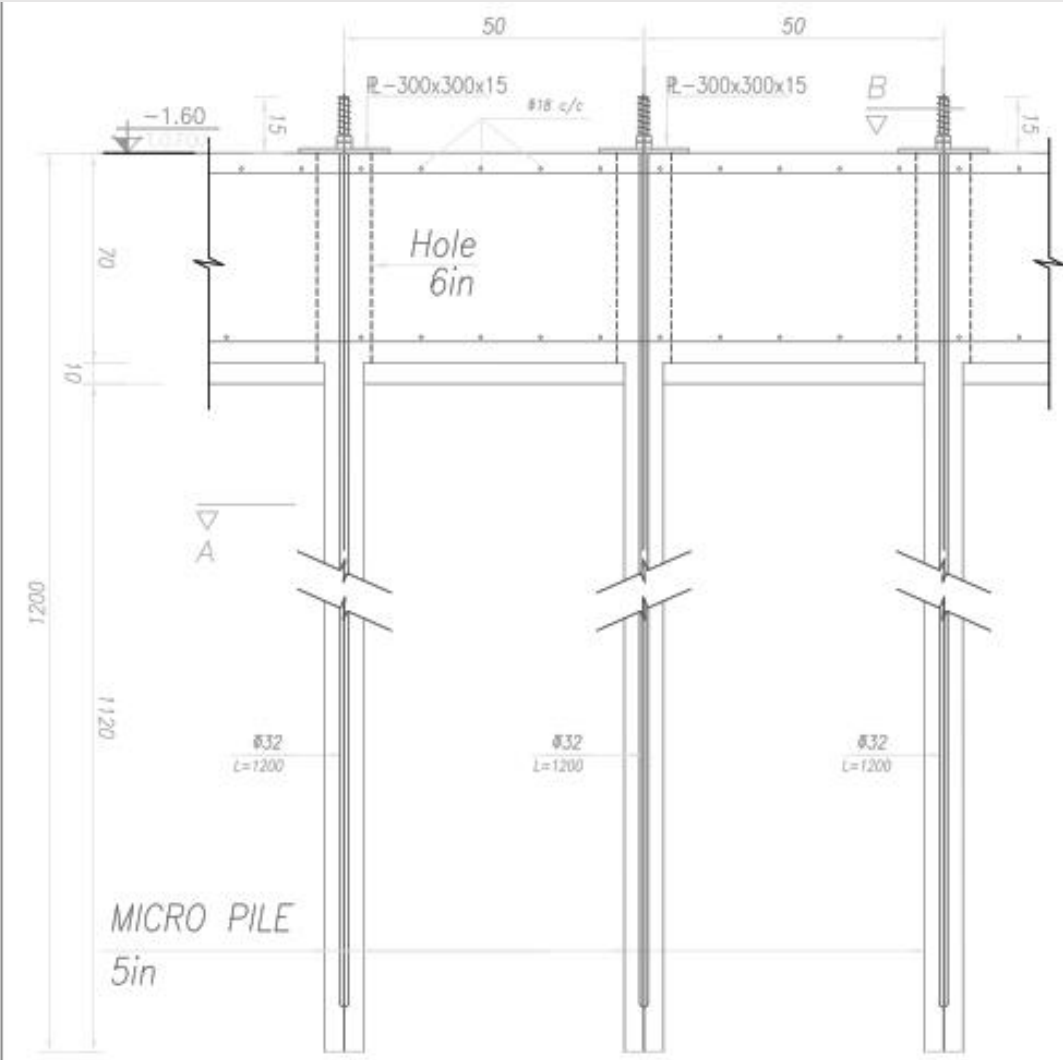




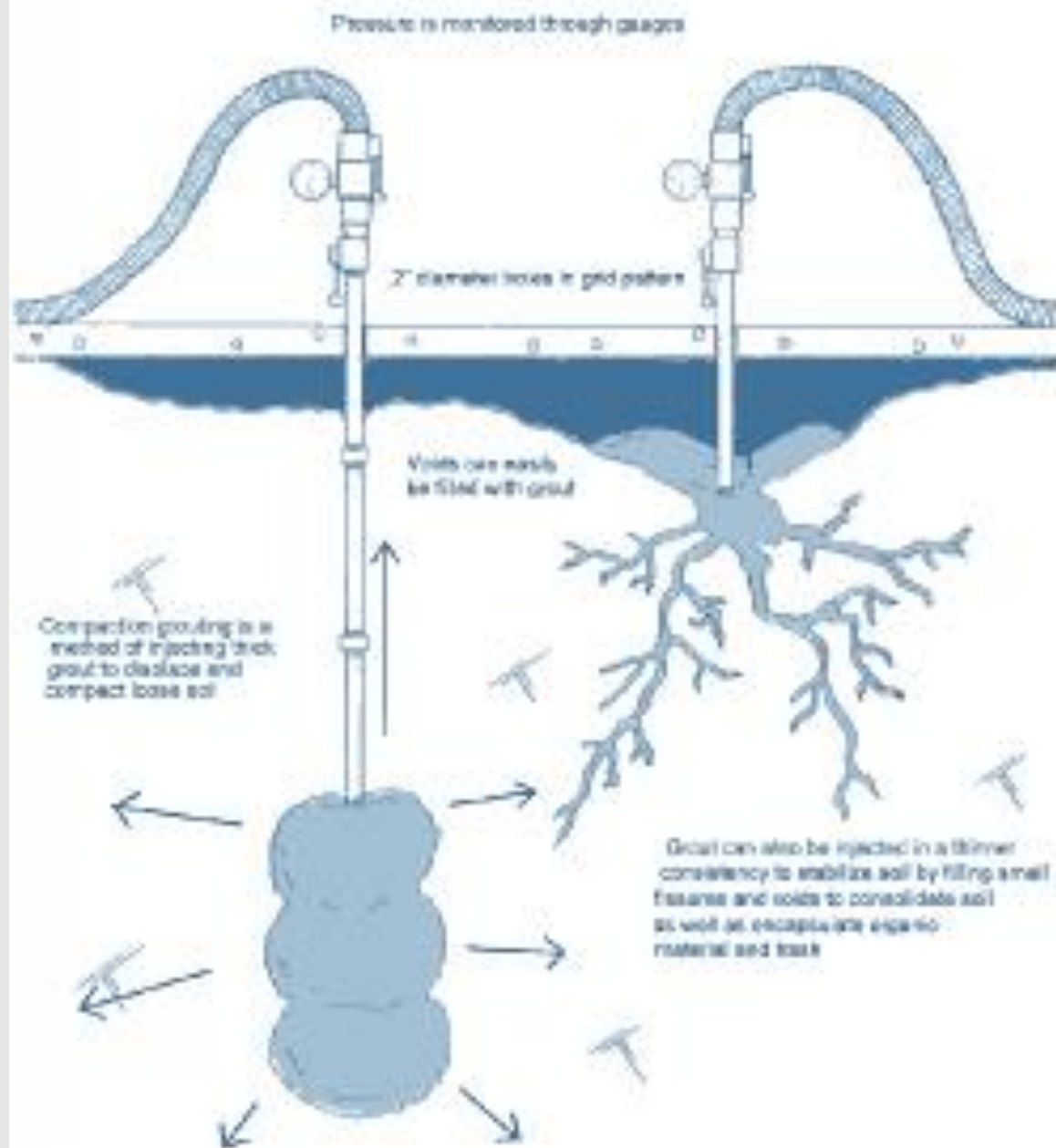
تحکیم بستر پروژه سبحان قرچک
کارفرما: شرکت عمرانی مسکن گستر
۳۶۰۰ متر طول میکروپایل



تحکیم بستر پروژه سبحان قرچک
 کارفرما: شرکت عمرانی مسکن گستر
 ۳۶۰۰ متر طول میکروپایل



تحکیم بستر پروژه سبجان قرچک
 کارفرما: شرکت عمرانی مسکن گستر
 ۳۶۰۰ متر طول میکروپایل



تزریق نفوذی

تزریق چیست؟

تزریق روشی است که در آن دوغاب به داخل زمین و تحت فشار تزریق می‌شود تا مشخصات یا رفتار و عملکرد زمین را تغییر دهد.

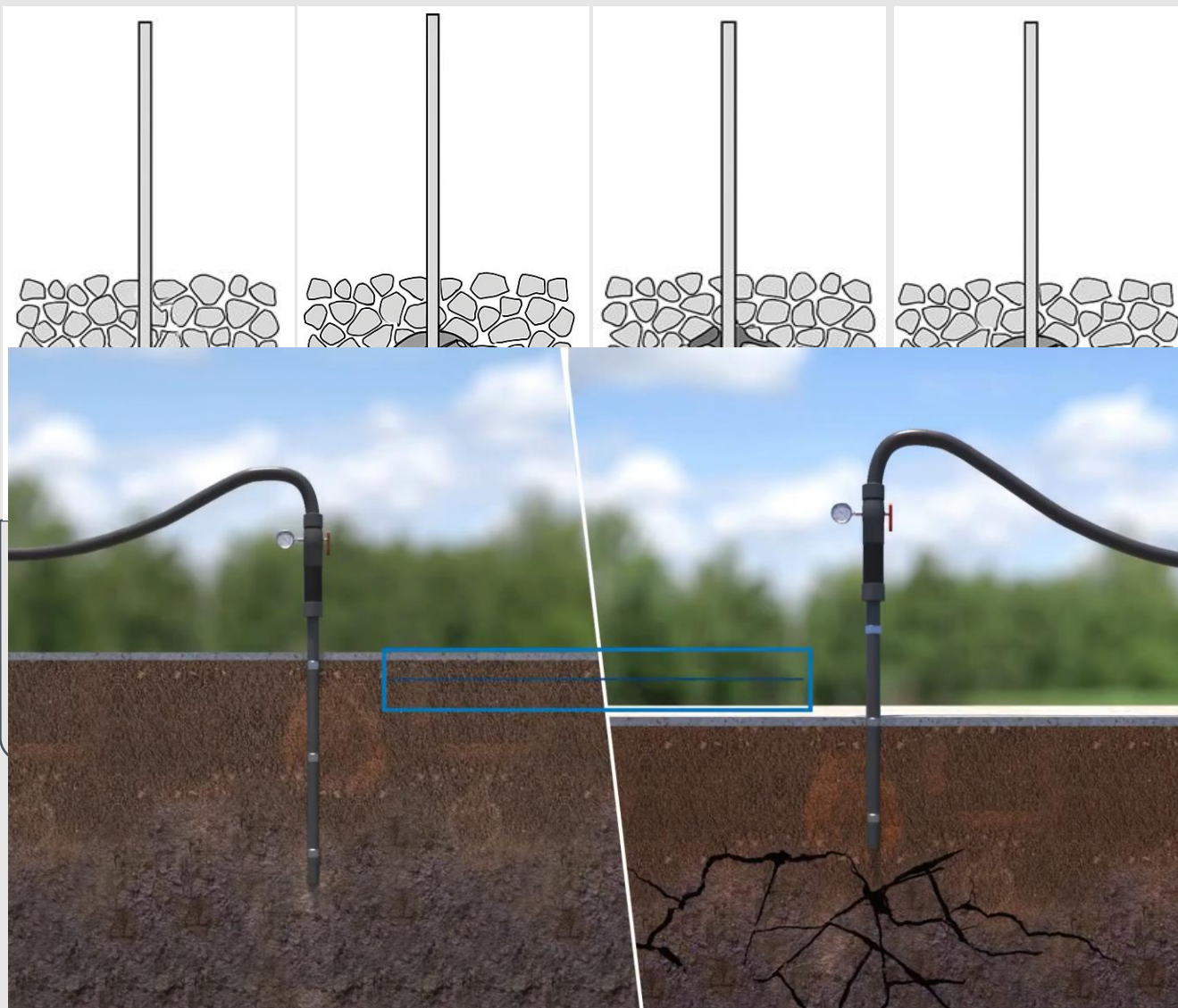
انواع تزریق: تزریق در سنگ و خاک قابل استفاده است و دارای چهار نوع اصلی است:

تزریق شکست هیدرولیکی (Hydrofracture Grouting)

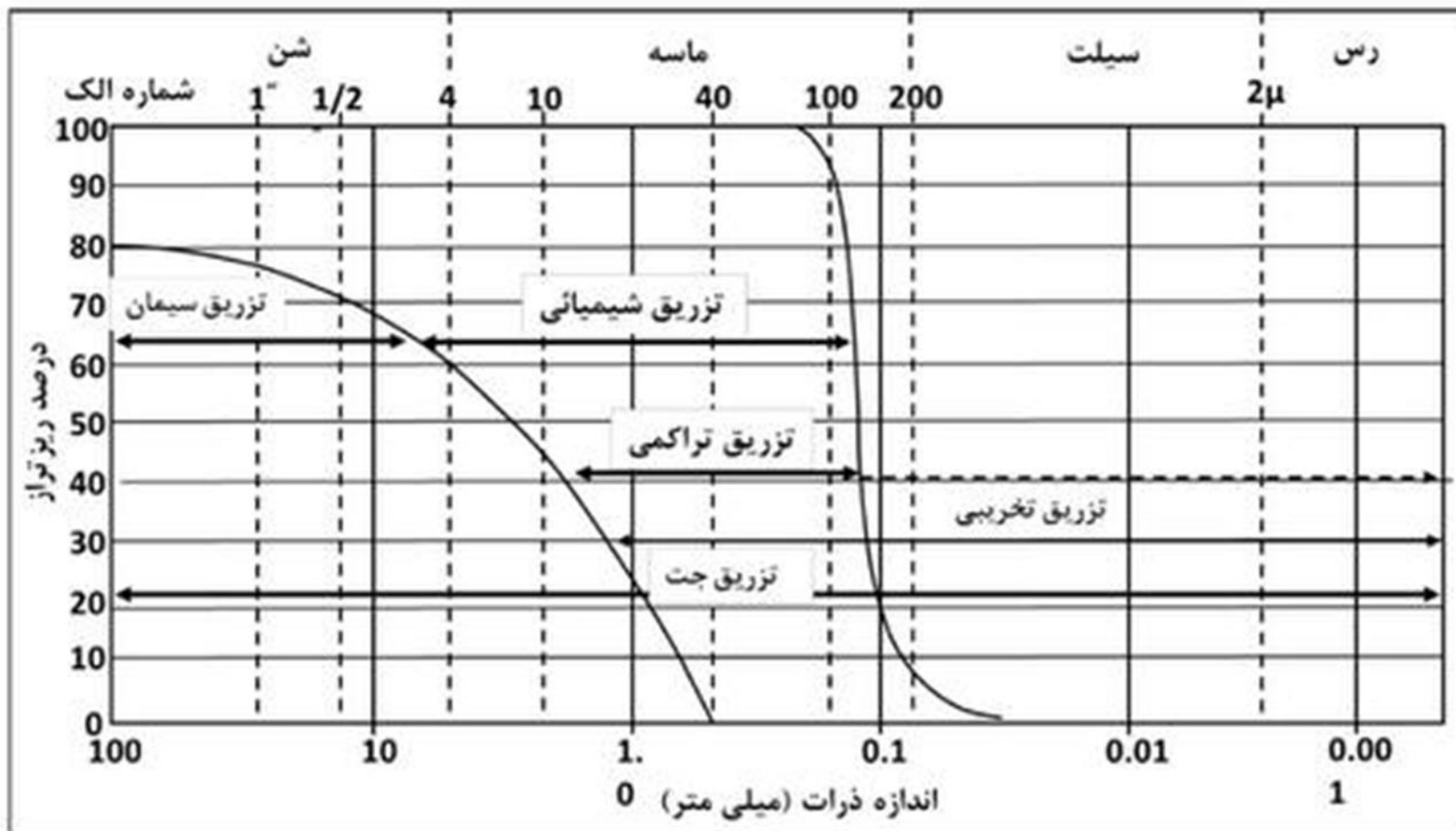
تزریق تراکمی (Compaction Grouting)

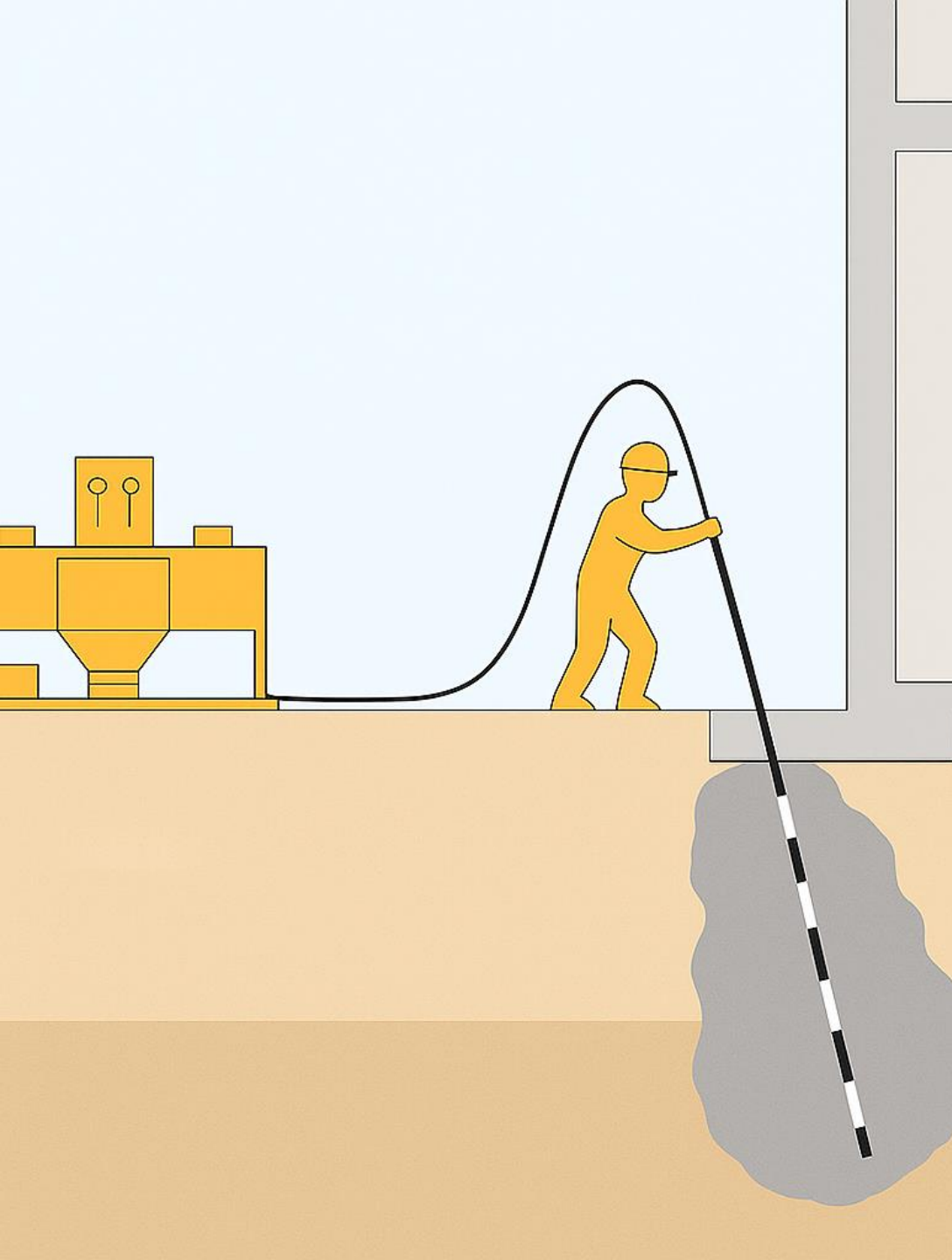
تزریق نفوذی (Permeation Grouting)

تزریق پرفشار (Jet Grouting)



روش های مناسب تزریق براساس دانه بندی





تزریق نفوذی چیست؟

تعریف: تزریق نفوذی شامل تزریق مصالح به داخل ساختار خاک موجود است.

مکانیزم: دوغاب نفوذ کرده و به دنبال راه مورد نظر از حفره‌ها یا شکستگی‌ها، بدون اختلال در ساختارهای پیشین عبور می‌کند.

انواع تزریق نفوذی:

تزریق دوغاب سیمان (دوغابی): شامل تزریق مصالح به داخل ساختار خاک موجود.

تزریق شیمیایی: به جای دوغاب سیمان از مواد شیمیایی استفاده می‌شود.



مزایا و محدودیت‌های تزریق نفوذی

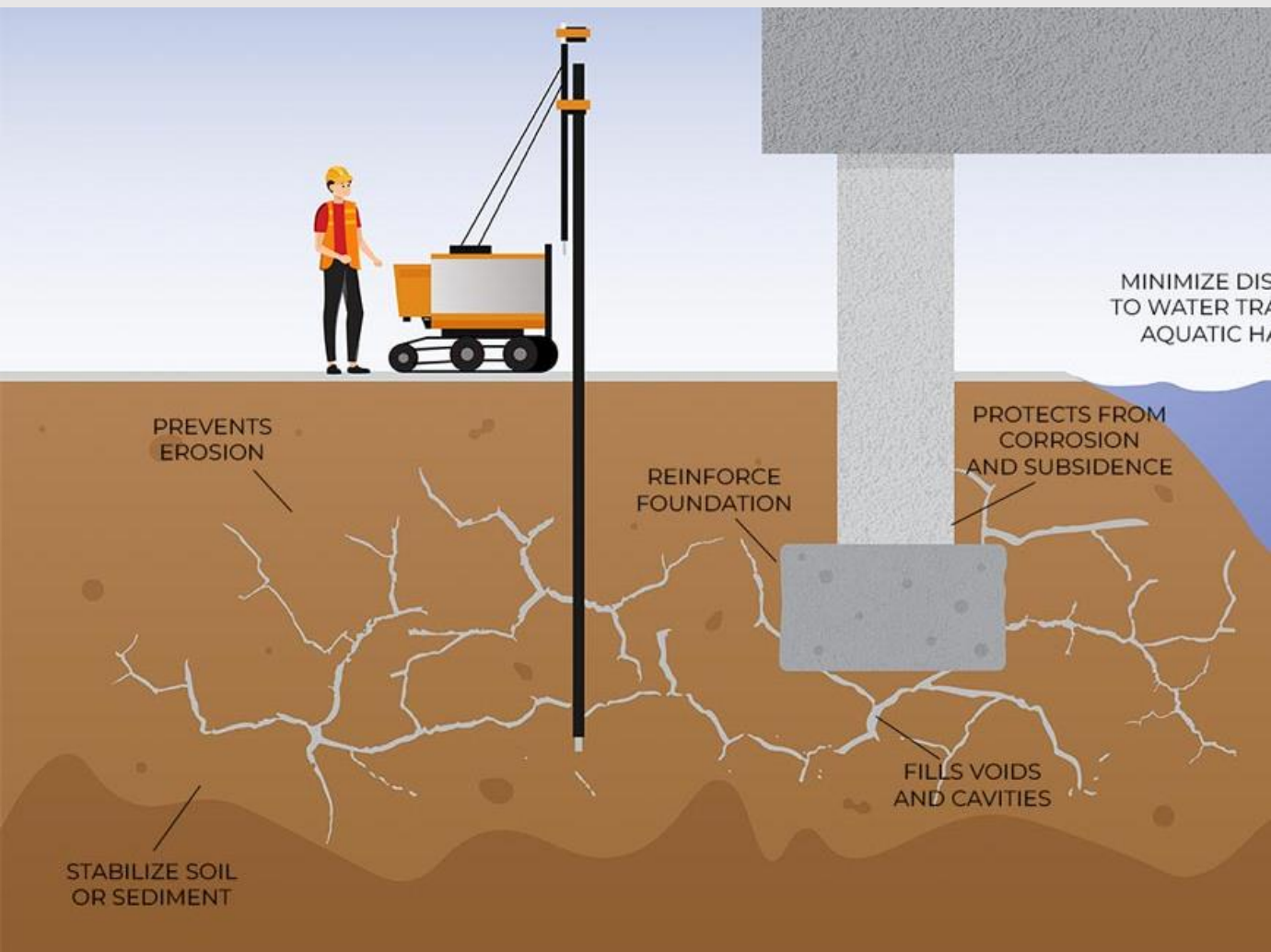
مزایا:

- عدم احتیاج به خاکبرداری و جایگزینی
- مناسب برای منسجم کردن پی و محافظت سازه‌های موجود
- دسترسی آسان و قابل اجرا در فضای محدود
- هزینه‌ی اجرای کم

محدودیت‌های این روش:

- تخمین مقدار دوغاب دشوار است
- در برخی کاربردها نمیتوان موثر بودن روش را پیش بینی کرد
- گاهی اوقات مساحت بهسازی نامشخص است
- تزریق ممکن است موجب تغییر مکان زمین و آسیب به سازه‌های موجود شود.
- ممکن است برخی دوغاب‌های شیمیایی شامل مواد سمی بوده و اثر نامطلوبی بر آب زیرزمینی و محیط خاک بگذارد.

اصول کار



هدف اصلی: تغییر مشخصات یا رفتار زمین با تزریق دوغاب تحت فشار.

نحوه عملکرد:

- نفوذ: دوغاب به داخل فضاهای خالی، منافذ و شکستگی‌های موجود در خاک یا سنگ نفوذ می‌کند.

عوامل کلیدی نفوذ:

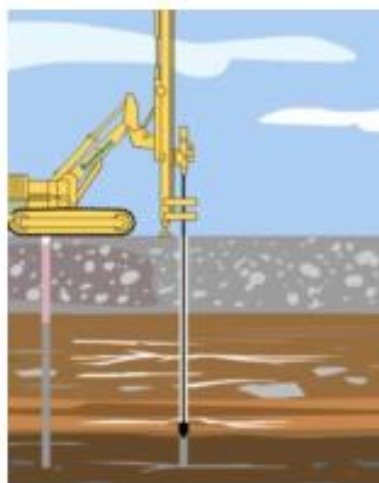
- تحرک پذیری دوغاب: قابلیت جریان یافتن دوغاب.
- اندازه ذرات دوغاب: ابعاد ذرات تشکیل دهنده دوغاب.
- اندازه حفره‌ها/شکستگی‌ها: ابعاد فضاهای خالی موجود در زمین نیازمند بهسازی.

اصول کار

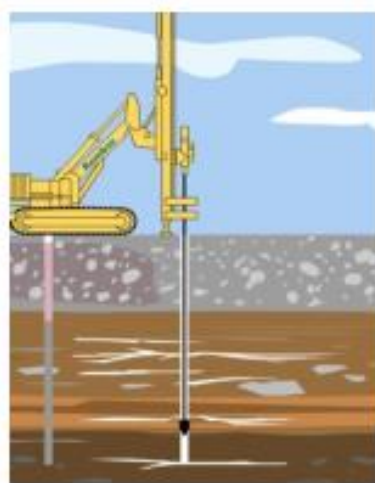
فرآیند کلی اجرا:

- آماده‌سازی دوغاب: مخلوط کردن دوغاب مناسب با توجه به نوع خاک و هدف بهسازی.
- حفاری گمانه: ایجاد حفره‌هایی تا عمق مورد نظر در زمین.
- قرار دادن لوله تزریق: لوله تزریق (اغلب لوله مانشت) در گمانه قرار داده می‌شود.
- تزریق تحت فشار: دوغاب توسط پمپ تحت فشار به داخل لوله هدایت شده و از طریق روزنه‌ها یا نازل‌ها به داخل زمین تزریق می‌شود.
- کنترل جابجایی: لوله تزریق به صورت تدریجی (پایین‌رو یا بالارو) جابجا می‌شود تا کل ناحیه هدف تزریق گردد.

تجهیزات اصلی: شامل مخلوط‌کن، همزن، پمپ تزریق، مسدودکننده‌ها (پکرها) و لوله‌های تزریق.



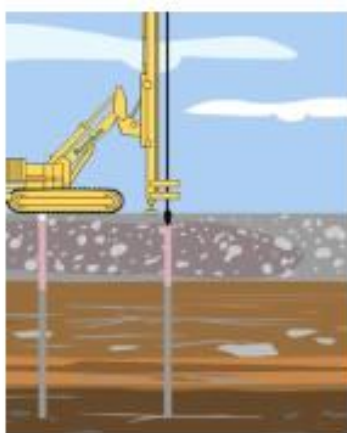
ج- تزریق لایه انتهایی



ب- نصب مسدود کننده در عمق از پیش تعیین شده



الف- حفاری تا عمق طراحی



ه- تزریق لایه سطحی



د- نصب مسدود کننده سر گمانه

انتخاب مناسب مصالح:

تزریق پذیری خاک:

- برای خاک‌های درشت‌دانه (شن و ماسه درشت):
دوغاب‌های سیمانی مناسب‌اند.
- خاک‌های ریزدانه (ماسه متوسط تا ریز و سیلتی):

دوغاب‌های شیمیایی (مثل سیلیکات‌ها، آکریلات‌ها) ارجحیت دارند.

کنترل تراوش و آب‌بندی:

دوغاب‌های شیمیایی با ویسکوزیته کم و کنترل زمان گیرش بالا.

شرایط خاص:

- **آب‌بندی سدها:** دوغاب‌های سیمانی اغلب با بنتونیت یا سایر مصالح رسی ترکیب می‌شوند.
- **آب جاری:** دوغاب‌های پلی اورتان که به سرعت با آب واکنش می‌دهند.
- **نگرانی‌های زیست‌محیطی:** انتخاب دوغاب‌های غیرسمی (مانند آکریلات به جای آکریل‌آمید) در مناطق حساس (مثلاً آب زیرزمینی).

دوغاب		تقویت (C) یا آب‌بندی (W)	کاربرد طبیعی محدود شده به دلیل هزینه									
سیمان		C										
رس - سیمان		WC										
دوغاب با فیلر (خاک سنگ) دوغاب متخلخل		WC										
ژل رسی بنتونیت (پراکنده و تقویت شده)		W										
دوغاب‌های با نفوذ بهبود یافته		WC										
بنتونیت امولسیونه		W										
ژل سیلیکات	تقویت	غلظت	C									
		ویسکوزیته کم	C									
	آب‌بندی	غلظت	W									
		بسیار رقیق	W									
رزین‌ها	آکریلیک		W									
	فنولیک		C									
خصوصیات دوغاب		نفوذپذیری اولیه k (m/s)		10 ⁻⁷	5 × 10 ⁻⁶	5 × 10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁴	5 × 10 ⁻³	5 × 10 ⁻²	5 × 10 ⁻¹		
		آبرفت درشت دانه قبل از اصلاح آبرفت ریزدانه (شن و ماسه، ماسه‌ها و ماسه‌های سیلتی)	خاک‌های درشت دانه واریزه‌ای آبرفت درشت دانه									

اجزای اصلی سیستم تزریق:

مخلوط کن تزریق (Grout Mixer):

- برای مخلوط کردن ملات، آب و سایر مواد ضروری داخل دوغاب استفاده می شود.
- هدف، تشکیل یک سیال یکنواخت و همگن.

همزن (Agitator):

- برای ذخیره سازی و به هم زدن پیوسته دوغاب و جلوگیری از تفکیک و رسوب

پمپ تزریق (Grout Pump):

- تولید فشار می کند تا دوغاب را داخل زمین تزریق کند.

تجهیزات کنترل و ثبت (Control and Recording Equipment):

- فشار مورد نیاز پمپ و نرخ دوغاب تزریقی را کنترل، نگهداری و ثبت می کنند.

لوله تزریق (Grout Pipe):

- دارای مسدودکننده، روزنه یا پاشنده (نازل) است تا اجازه ورود دوغاب به زمین را دهد.
- داخل یک گمانه پیش حفاری شده یا به صورت خودحفار درون زمین قرار داده خواهد شد.



آزمایش‌ها و ملاحظات اجرایی

- گیرش:
زمان تزریق باید طوری کنترل شود که قبل از گیرش اولیه تزریق انجام شود.
گیرش دوغاب شیمیایی بسته به عامل شیمیایی از چند دقیقه تا چند ساعت زمان میبرد.
- پایداری دوغاب
پایداری دوغاب به توانایی دوغاب برای باقی ماندن به صورت محلول و یا مخلوط یکنواخت اطلاق میگردد.
- آزمایش قیف مارش
- آزمایش دانسیته یا مادبالانس
- آب اندازی



آزمایش تعیین ویسکوزیته یا مارش

- هدف آزمایش
- تعیین غلظت بهینه دوغاب برای تزریق
- استاندارد مورد استفاده
- استاندارد API آمریکا و ASTM D6910
- تجهیزات و روش آزمایش
- قیف ۱۵۰۰ میلی لیتری
- لوله خروجی با قطر ۵ میلی متر
- اندازه گیری زمان لازم برای خروج ۹۴۷ میلی لیتر دوغاب
- محدوده زمان مطلوب برای نسبت آب به سیمان یک
- بین ۳۰ تا ۳۵ ثانیه

آزمایش تعیین دانسیته یا مادبالانس



این آزمایش یک روش ساده و دقیق برای تعیین وزن مخصوص دوغاب ارائه می‌دهد. یکی از مزیت‌های کلیدی این روش این است که دمای دوغاب تاثیری بر دقت اندازه‌گیری‌ها ندارد.

• عملکرد مادبالانس

اهرم مدرج به گونه‌ای طراحی شده است که در یک طرف آن یک ظرف حجمی ثابت قرار دارد و در طرف دیگر آن یک وزنه متغیر. این مجموعه روی یک تیغه فولادی بالانس می‌شود و با جابجایی وزنه، وزن مخصوص دوغاب درون ظرف اندازه‌گیری می‌شود.

• محدوده وزن مخصوص برای نسبت آب به سیمان ۱

حدود ۱.۵ تا ۱.۵۵

آزمایش بلیدینگ (آب اندازی)

این آزمایش برای تعیین مقدار آب‌اندازی دوغاب در عملیات تزریق استفاده می‌شود و مطابق با استاندارد ASTM C243 انجام می‌گیرد.

• شیوه انجام آزمایش

ابتدا، دوغاب با نسبت آب به سیمان مورد نظر آماده می‌شود.

سپس، مقداری از دوغاب در یک بشر مدرج ریخته می‌شود.

با ثبت حجم آب نسبتاً زلال که در بالای دوغاب جمع می‌شود (بلیدینگ) در زمان‌های مختلف، و مقایسه آن با حجم کل دوغاب، نمودار سرعت بلیدینگ به دست می‌آید.

• محدوده قابل قبول

در این آزمایش، میزان آب‌اندازی دوغاب در ۲ ساعت اولیه پس از ساخت، نباید بیشتر از ۵٪ تا ۶٪ باشد.



کنترل کیفیت

شامل موارد زیر می باشد:

- ارزیابی سابقه تزریق شامل حجم دوغاب، فشار تزریق، نرخ تزریق و زمان تزریق
- بررسی یکپارچگی و یکنواختی ستون یا دیوار دوغابی
- تایید ابعاد ستون یا دیواره دوغابی
- ارزیابی مقاومت ستون دوغابی



تضمین کیفیت

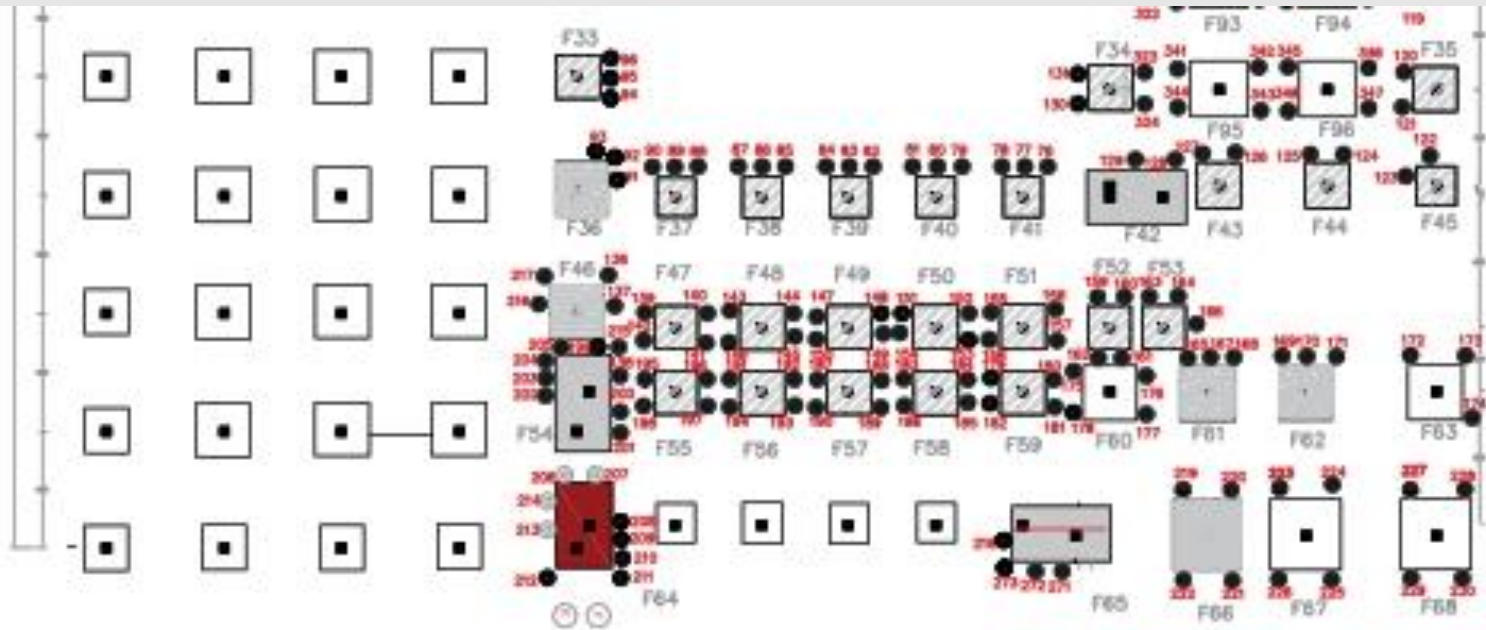


تضمین کیفیت شامل آزمایش‌های میدانی زیر است:

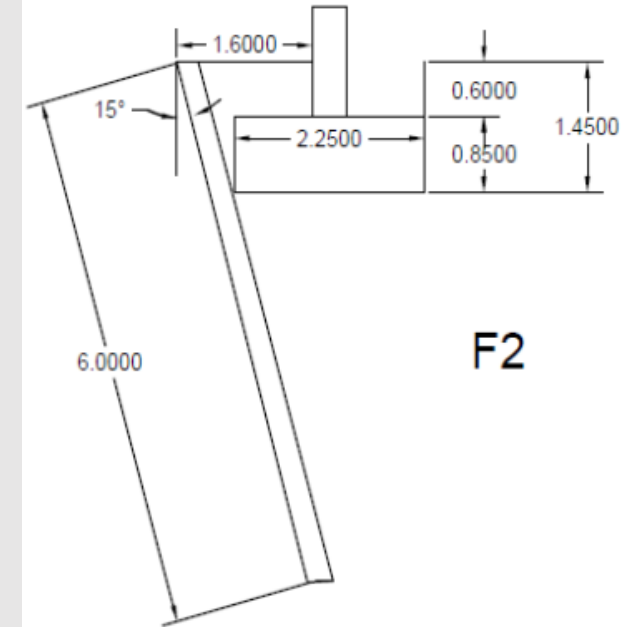
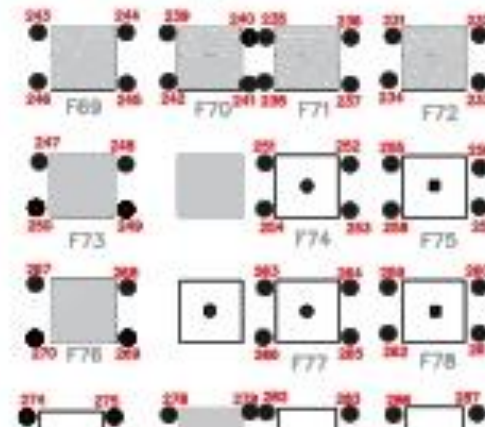
- اخذ نمونه از ستون یا دیواره‌های تزریق برای تایید مقاومت و سختی خاک تثبیت شده
- SPT, CPT
- آزمایش بارگذاری
- آزمایش ژئوفیزیک بین چاهی



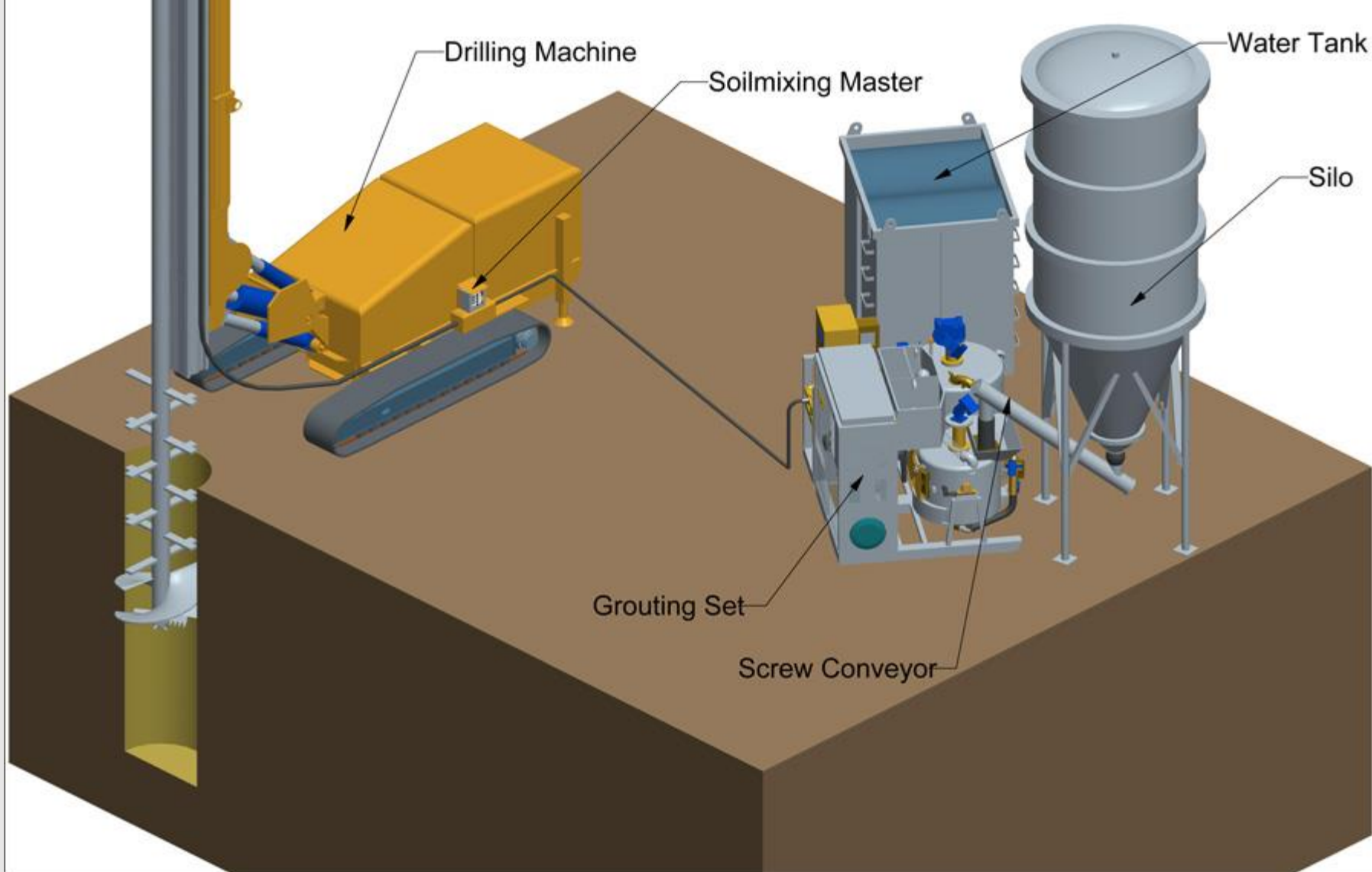
مقاوم سازی بستر فونداسیون
کارفرما: دانشگاه سمنان
۳۰۰۰ متر طول تزریق تحکیمی



Technical Notes	
Cement Type	II-Portland
W/C	1.000
Grouting Pressure	3 to 5 bar
Bentonite/Water	-



مقاوم سازی بستر فونداسیون
کارفرما: دانشگاه سمنان
۳۰۰۰ متر طول تزریق تحکیمی



DSM

اختلاط عميق

معرفی روش DSM

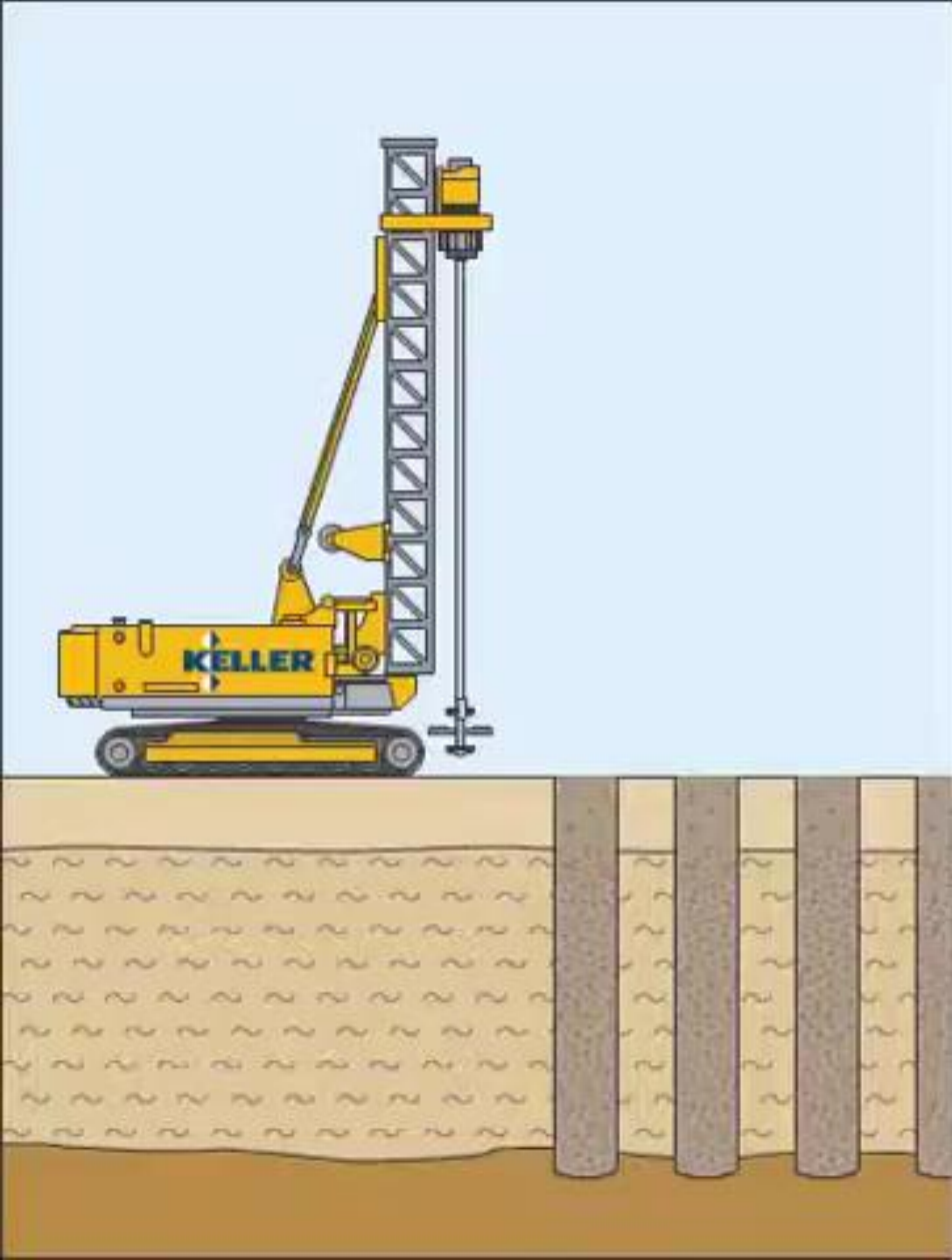
یکی از روش‌های بهسازی خاک برای طیف وسیعی از خاک‌ها

اهداف:

افزایش مقاومت خاک موجود.

کنترل تغییر شکل.

کاهش نفوذپذیری.



دامنه کاربرد

افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست:

- تقویت فونداسیون ساختمان‌های سنگین، پل‌ها و مخازن.
- کاهش نشست و جلوگیری از نشست نامتقارن سازه.
- تقویت پی خاکریزها در راهسازی و راه‌آهن.

مقابله با روانگرایی خاک:

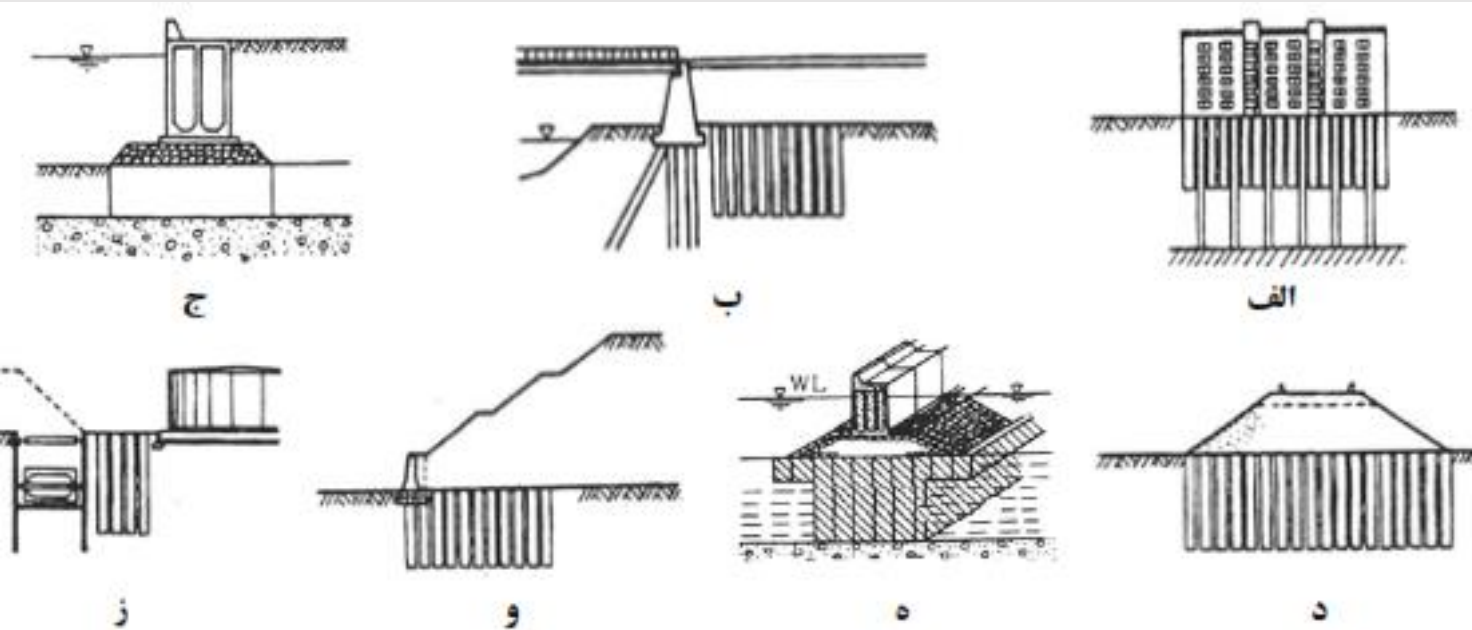
- افزایش مقاومت خاک‌های ماسه‌ای در برابر زلزله در مناطق لرزه‌خیز.

پایداری گودبرداری‌ها و شیب‌ها:

- پایدارسازی دیواره‌های گودبرداری عمیق (به ویژه در مناطق شهری).
- افزایش پایداری شیب‌ها و جلوگیری از گسیختگی.

دیوارهای آب‌بند (Cut-off Walls):

- ایجاد دیوارهای پیوسته زیرزمینی برای کنترل نفوذ آب به گودها و تاسیسات (مثل تونل‌ها).
- جلوگیری از گسترش آلاینده‌ها در خاک.



مکانیزم

حفاری و نفوذ:

میله حفاری به صورت چرخشی (دوار) و با نفوذ به عمق مورد نظر در خاک پیش می‌رود.

تزریق بیندر:

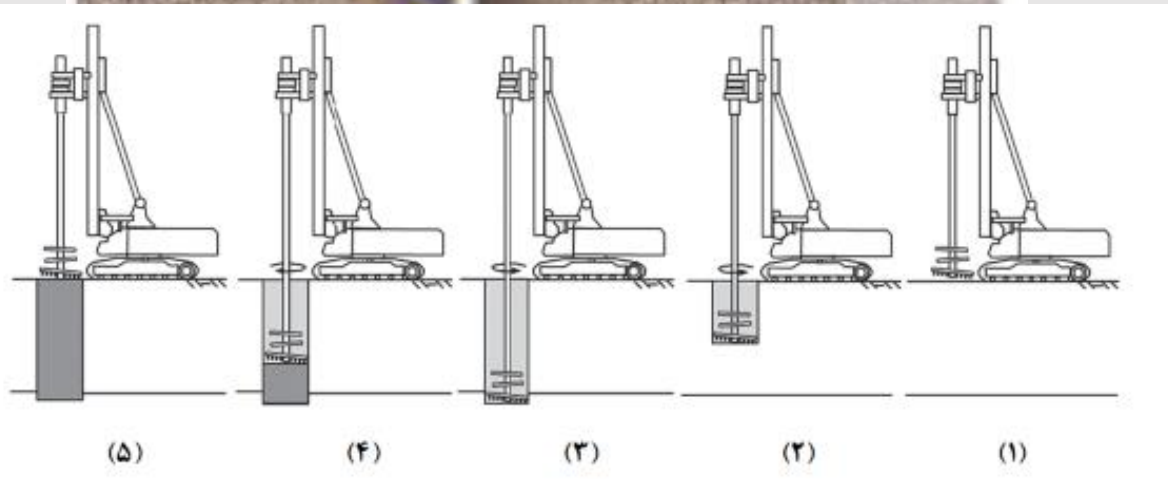
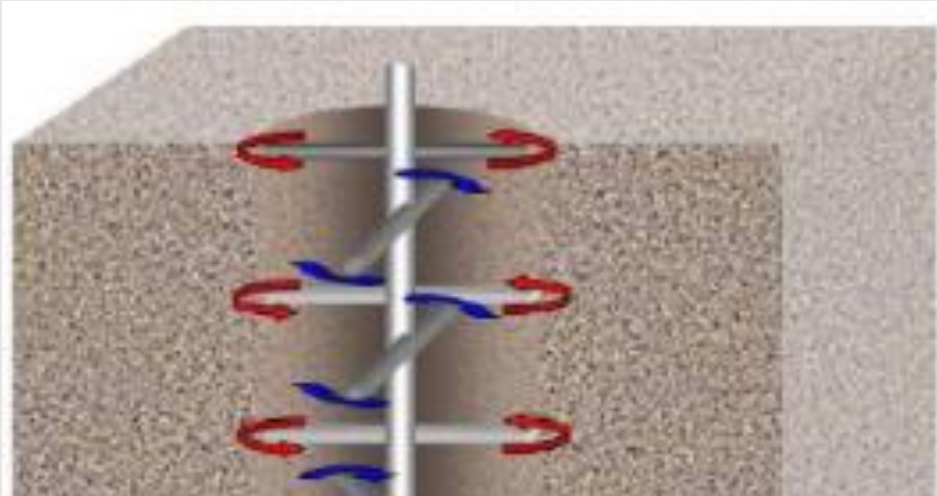
همزمان با چرخش و نفوذ میله، مواد چسباننده (بیندر) به داخل خاک تزریق می‌شوند.

مکانیزم تزریق:

در برخی از دستگاه‌ها، برای اختلاط بهتر، بیندر به صورت دوغاب و تحت فشار از طریق نازل‌های نصب شده روی کلاهک حفار (Drill Head) به داخل خاک تزریق می‌گردد.

اختلاط مکانیکی:

پره‌ها و باله‌های اختلاط روی میله حفاری، بیندر تزریق شده را به صورت مکانیکی با خاک درجا مخلوط می‌کنند. این فرآیند باعث ایجاد ستون‌هایی از خاک اصلاح شده با خواص مکانیکی و فیزیکی بهبود یافته می‌شود.



ماشین آلات اختلاط عمقی

دستگاه اختلاط: (Drilling Rig)

سیستم تهیه و تزریق مواد افزودنی:

- برای روش تر:

- سیلوهای ذخیره سیمپلانت (Mixing Plant) برای تهیه دوغاب با نسبت‌های مشخص.

- مخازن ذخیره دوغاب (Agitator Tanks) با همزن برای جلوگیری از ته‌نشینی.

- پمپ‌های تزریق دوغاب (Grout Pumps) برای انتقال دوغاب به ابزار اختلاط.

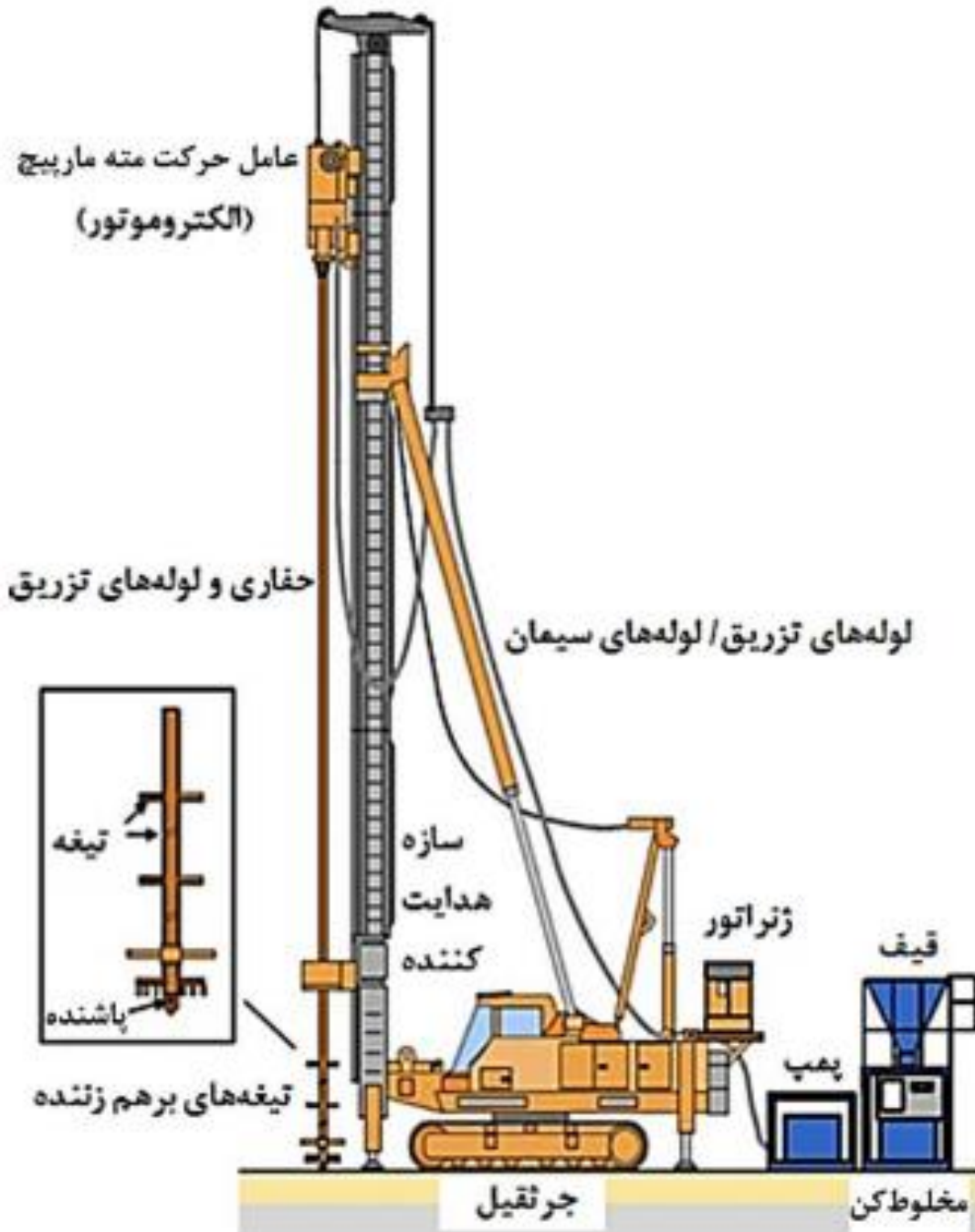
- شلنگ‌ها و لوله‌های ان/آهک.

- بچینگ انتقال.

- برای روش خشک:

- سیلوهای ذخیره پودر سیمان/آهک.

سیستم انتقال پنوماتیک پودر: با استفاده از هوای فشرده برای انتقال پودر به ابزار اختلاط



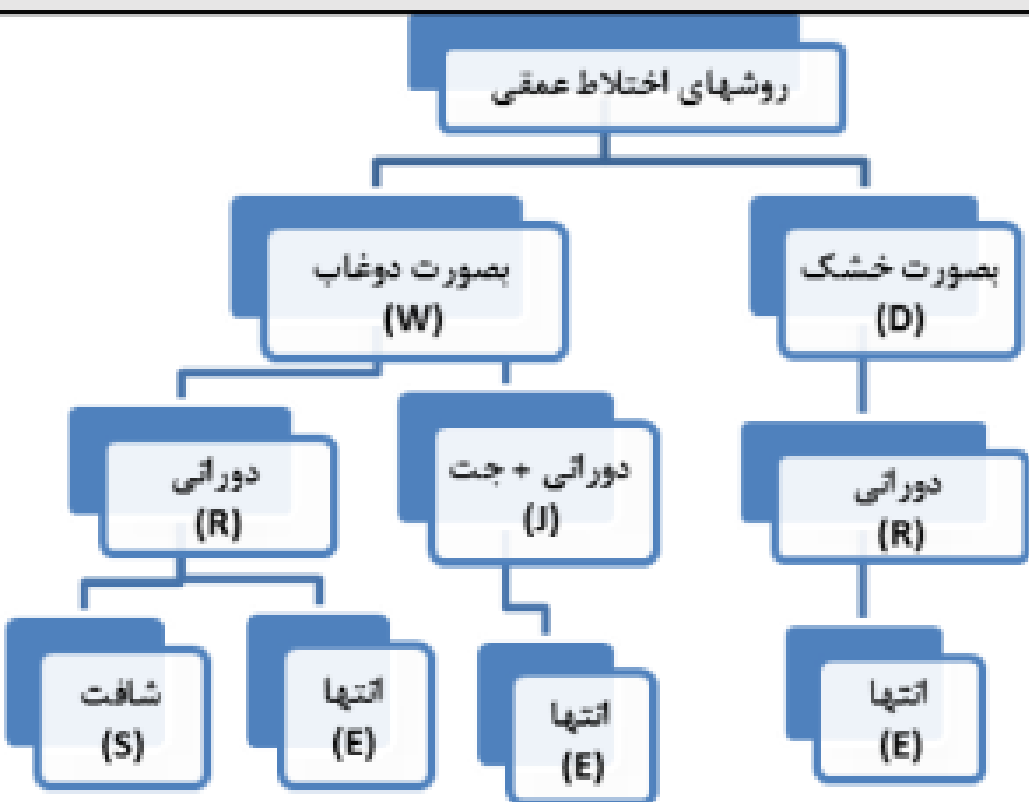
روش تر و خشک

• روش تر:

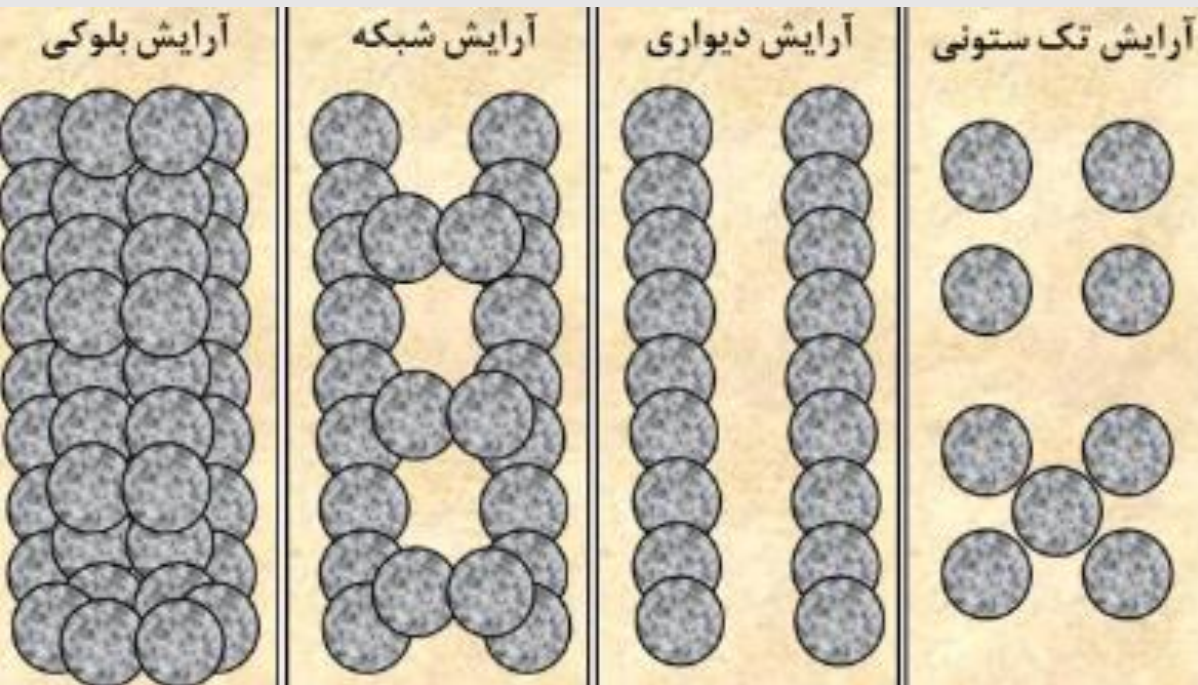
- میله حفاری همراه با ابزار اختلاط با چرخش به داخل زمین نفوذ می‌کند.
- همزمان با نفوذ (یا گاهی فقط حین بالا کشیدن)، دوغاب از طریق نازل‌های تعبیه‌شده در ابزار اختلاط به داخل خاک تزریق و با آن مخلوط می‌شود.
- پس از رسیدن به عمق طراحی، اختلاط برای مدتی در آن عمق ادامه می‌یابد. (Bottom Mixing)
- سپس میله حفاری با چرخش و ادامه تزریق (در صورت نیاز) به آرامی بالا کشیده می‌شود.

• روش خشک:

- میله حفاری همراه با ابزار اختلاط با چرخش به داخل زمین نفوذ می‌کند.
- پس از رسیدن به عمق طراحی، پودر ماده افزودنی (مانند سیمان) با استفاده از هوای فشرده از طریق نازل‌های ابزار اختلاط به داخل خاک تزریق و همزمان با بالا کشیدن میله، با خاک مخلوط می‌شود.



آرایش ستون‌های اختلاط عمقی



ستون‌های منفرد: ستون‌های جداگانه که به صورت پراکنده در خاک ایجاد می‌شوند.

در شرایطی استفاده می‌شود که "نسبت سطح بهسازی" کم (کمتر از ۴۰٪ تا ۵۰٪) باشد.

ردیف ستون‌های مماسی یا متقاطع (دیوار): ستون‌ها به صورت پیوسته و در کنار هم (مماسی) یا با همپوشانی (متقاطع) اجرا می‌شوند و یک دیوار پیوسته را تشکیل می‌دهند.

شبکه ستون‌ها: ستون‌ها به صورت شبکه‌ای در دو جهت (مربع یا مستطیل) در زمین اجرا می‌شوند.

بلوکی: ستون‌ها به صورت یکپارچه و متراکم در یک ناحیه بزرگ اجرا می‌شوند تا یک بلوک اصلاح شده را تشکیل دهند.

عوامل تأثیرگذار بر اختلاط خاک و ملات

ردیف	عوامل تأثیرگذار	جزئیات عوامل
۱	ویژگی‌های عامل تثبیت کننده	- نوع عامل تثبیت کننده (ملات) - کیفیت و کمیت ملات - آب مورد استفاده و مواد افزودنی
۲	ویژگی‌ها و شرایط خاک (به خصوص رس‌ها)	- خواص فیزیکی، شیمیایی و کانی‌های خاک - میزان مواد آلی - pH آب حفره‌ای - درصد رطوبت
۳	شرایط اختلاط	- نوع تیغه اختلاط - درجه اختلاط - مدت زمان اختلاط یا اختلاط مجدد - آب اختلاط
۴	شرایط عمل‌آوری	- دما محیط عمل‌آوری - مدت زمان عمل‌آوری - رطوبت محیط عمل‌آوری - چرخه‌های تر-خشک یا انجماد-ذوب شدن یخ

نظارت و کنترل کیفیت - (QC/QA) قبل از اجرا

- بررسی و تأیید مشخصات مصالح (سیمان، آهک، آب).
- انجام آزمایش‌های طرح اختلاط در آزمایشگاه برای تعیین درصد بهینه ماده افزودنی و مقاومت قابل حصول.
- کالیبراسیون تجهیزات (دستگاه بچینگ، پمپ‌ها، سیستم‌های اندازه‌گیری).
- اجرای ستون‌های آزمایشی (Trial Columns) در پروژه‌های بزرگ برای تأیید پارامترهای طراحی و اجرایی.



نظارت و کنترل کیفیت - (QC/QA) حین اجرا:

• ثبت دقیق پارامترهای اجرایی (Installation Records):

- تاریخ و زمان اجرا.
- شماره ستون و موقعیت دقیق.
- عمق حفاری و طول ستون.
- سرعت نفوذ و بالا کشیدن ابزار اختلاط.
- سرعت چرخش ابزار اختلاط.
- فشار و دبی تزریق دوغاب (روش تر) یا مقدار پودر تزریق شده (روش خشک).
- مقدار کل ماده افزودنی مصرفی برای هر ستون.
- هرگونه مشکل یا انحراف از برنامه.
- کنترل عمودی بودن (Plumbness) میله حفاری.
- کنترل همپوشانی ستونها (در صورت نیاز).

نظارت و کنترل کیفیت - (QC/QA) پس از اجرا (آزمایش‌های تأیید کیفیت)

نمونه‌برداری از ستون‌های تازه: (Wet Grab Sampling)

بلافاصله پس از اجرا، از بخش فوقانی ستون نمونه‌برداری شده و برای آزمایش مقاومت فشاری اولیه به آزمایشگاه ارسال می‌شود.

مغزه‌گیری: (Coring)

پس از گذشت زمان عمل‌آوری (مثلاً ۷، ۱۴ یا ۲۸ روز)، از ستون‌های منتخب مغزه‌گیری انجام می‌شود.

نمونه‌های مغزه‌گیری شده برای آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده (UCS)، بررسی چشمی همگنی اختلاط و گاهی آزمایش نفوذپذیری به آزمایشگاه ارسال می‌شوند.



نظارت و کنترل کیفیت – (QC/QA) پس از اجرا (آزمایش‌های تأیید کیفیت)

آزمایش نفوذ مخروط: (CPT) برای ارزیابی یکنواختی و مقاومت نسبی ستون در عمق.

آزمایش نفوذ استاندارد: (SPT)

آزمایش بارگذاری ستون: (Column Load Test) برای تعیین ظرفیت باربری واقعی یک ستون منفرد یا گروهی از ستون‌ها (در پروژه‌های خاص و مهم).

آزمایش‌های ژئوفیزیکی مانند Cross-hole Seismic Test برای ارزیابی یکنواختی و مدول ستون‌ها.

آزمایش بیرون کشش: (Pullout Test) برای ارزیابی مقاومت جداری.

آزمایش پرسیومتری: (Pressuremeter Test) برای تعیین مدول و مقاومت.

ابزارگذاری و پایش: (Instrumentation and Monitoring)

در پروژه‌های بزرگ و حساس، برای پایش عملکرد بلندمدت زمین بهسازی شده (مانند نشست، فشار آب حفره‌ای).

فرآیند رایج QC/QA



معیارهای ارزیابی موفقیت پروژه DSM

دستیابی به مقاومت طراحی:

- مقاومت فشاری محصور نشده (UCS) نمونه‌های مغزه‌گیری شده باید با مقادیر طراحی (با در نظر گرفتن ضرایب اطمینان و تبدیل آزمایشگاه به صحرای) مطابقت داشته باشد.
- ارزیابی آماری نتایج آزمایش‌ها (میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات)

یکنواختی و همگنی ستون‌ها:

- بررسی چشمی نمونه‌های مغزه‌گیری شده.
- نتایج آزمایش‌های درجا CPT ، DPT در طول ستون.

ابعاد هندسی صحیح:

- قطر و طول ستون‌ها مطابق با نقشه‌های اجرایی.
- رعایت همپوشانی لازم بین ستون‌ها (در صورت نیاز).

عملکرد سازه فوقانی:

- کنترل نشست و تغییر شکل‌های سازه پس از اجرا در محدوده مجاز طراحی.

کنترل نفوذپذیری (در کاربردهای آب‌بندی):

- کاهش تراز آب زیرزمینی یا دبی نشت به مقادیر پیش‌بینی شده.

مشکلات رایج در اجرای DSM :

مشکلات اجرایی

- عدم دستیابی به عمق طراحی : برخورد با لایه‌های سخت یا موانع .
- انحراف ستون از حالت عمودی : کاهش کارایی ستون .
- اختلاط غیرهمگن : مقاومت متغیر در طول ستون .
- نشت دوغاب به سطح زمین (روش تر) : اتلاف مصالح، آلودگی .
- ایجاد حفره یا خاک سست در اطراف ستون:

مشکلات مربوط به شرایط زمین:

- حضور قلوه‌سنگ یا لایه‌های بسیار متراکم : آسیب به تجهیزات، دشواری نفوذ

- خاک‌های بسیار آلی : تأثیر منفی بر واکنش سیمان

- عدم دستیابی به مقاومت مورد نظر:

- دلایل متعدد : طرح اختلاط نامناسب، کیفیت پایین مصالح، اجرای نادرست، عمل‌آوری نامناسب

محدودیت‌های روش DSM

- غیر اقتصادی برای بهسازی اعماق کم.
- نیاز به فضای کافی برای ذخیره‌سازی سیمان یا آهک.
- غیر اقتصادی برای مناطق با وسعت کم.
- محدودیت اجرا در خاک‌های دارای قلوه‌سنگ.
- عملیات معمولاً فقط به صورت عمودی قابل انجام است.
- مشکلات اجرایی ناشی از وزن بالای تجهیزات در خاک‌های بسیار نرم.
- محدودیت کاربرد در زمین‌های دارای تأسیسات زیرزمینی یا محدودیت ارتفاعی.



جت گروتینگ

تعریف و اهمیت

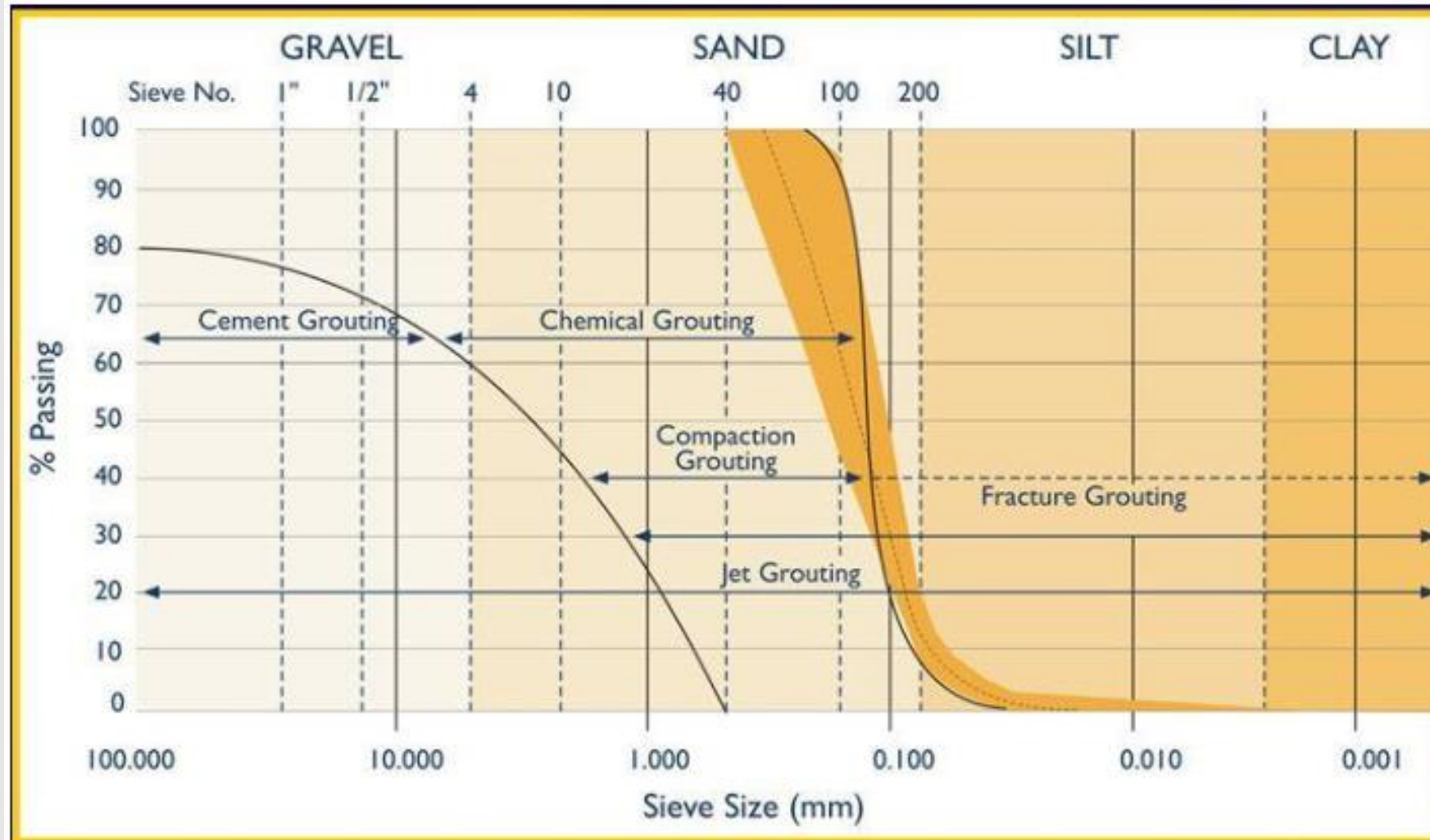
تزریق پرفشار یا جت گروتینگ یکی از شیوه‌های بهسازی و افزایش مقاومت و ظرفیت باربری خاک به صورت درجا است.

اهمیت:

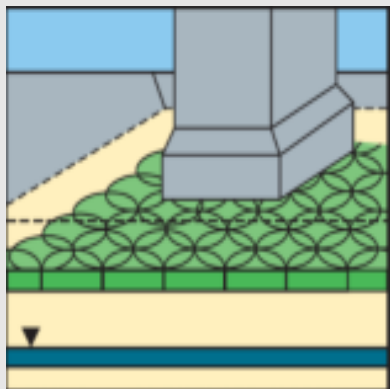
- در دهه ۱۹۶۰ تزریق شیمیایی یکی از مهمترین روشهای تزریق در زمینه بهسازی و اصلاح خاک بوده است.
- از نقطه نظر عملی هیچ سیستم تزریق دیگری در طیف وسیعی از خاکها به اندازه تزریق پرفشار قابل اجرا نیست.
- این روش به صورت عمودی و مایل تا نیمه افقی، بالا یا پایین‌تر از آب زیرزمینی قابل اجرا بوده



پهنه کاربرد روش های تزریق در انواع خاک ها



کاربردهای جت گروتینگ در پروژه‌های ساختمانی



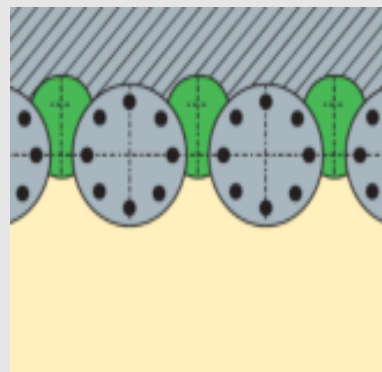
پوشش آب بند:

پوشش تزریق پرفشار برای محافظت از آبهای زیرزمینی زیر بناها در مقابل اثرات ناشی از فعالیتهای ساخت و ساز و انباشت زباله‌های قدیمی سمی



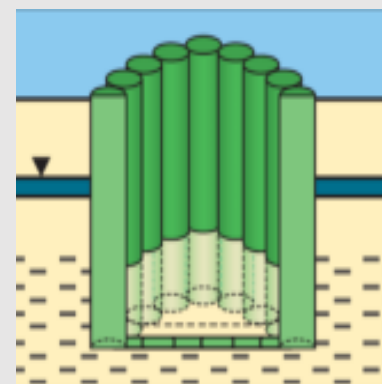
تزریق افقی:

ستونهای افقی محافظ برای پیشروی تونل در خاک سست. در جبهه کار اجرا میشوند آنها افقی و یا کمی شیبدار هستند.



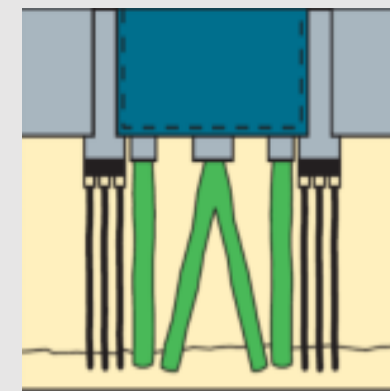
اتصالات آب بند:

برای آبنندی اتصالات بین سیمها، سپرها یا بخشهای دیگر ساخت و ساز در زمین از پرده تزریق پرفشار استفاده میشود.



پایدارسازی شفت:

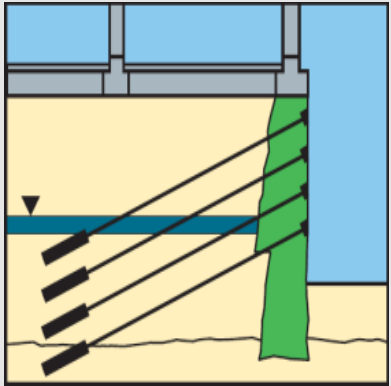
شفت با استفاده از ستونهای سیمانی متقاطع اجرا می‌شو، برای انجام پروژه زیر سطح ایستابی و یا کنترل لرزش‌ها و جابجایی‌ها



پی عمیق:

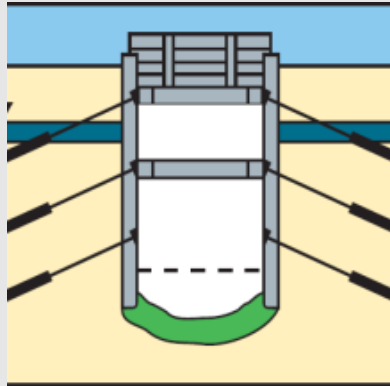
ساخت پی‌های جدید در سازه‌های موجود در نزدیکی ساختمان‌های تاریخی و سایر سازه‌های حساس

کاربردهای جت گروتینگ در پروژه‌های ساختمانی



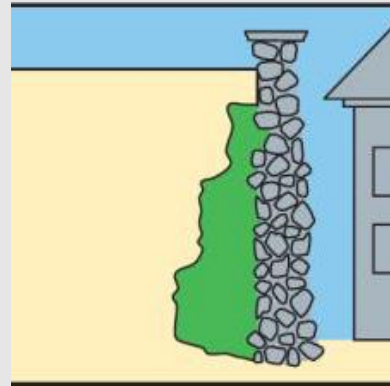
پیبندی:

تقویت پی با استفاده از دیوارهای وزنی با جابجایی کم، همچنین استفاده برای جلوگیری از تراوش آب زیرزمینی - قابل استفاده در محیط‌های با دسترسی محدود



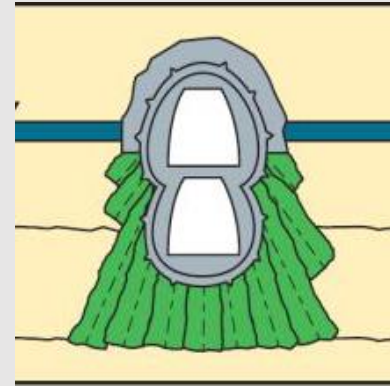
دالهای قوسی:

برای گود کوچک، ساختمانها و شفتهای با عرض کم از دالهای تزریق پرفشار به منظور پیشگیری از فشار برخاست آب و کاهش عمق مورد نیاز معمول دال



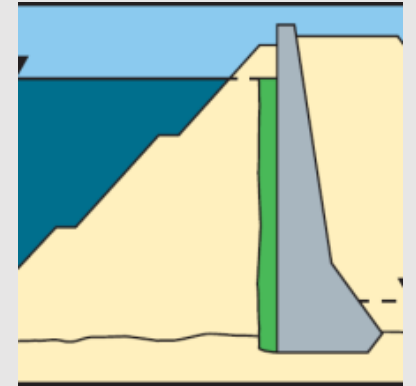
کاهش فشار زمین:

سازه‌های در معرض فشار جانبی زمین، مانند دیوار تاریخی، پایه پل، گالری بهمن، ممکن است نیازمند کاهش فشار و یا اتصال بهتر به سیستم پایدارسازی خود باشند...



حفاظت از تونل:

برای حفاظت از تونل ساخته شده در خاک سست که در زیر و یا نزدیک به ساختمانهای در معرض خطر ساخته شده‌اند و گاهی اوقات با هدف کاهش نفوذ آبهای زیرزمینی



آب‌بند سد:

تزریق پرفشار ممکن است برای تعمیر هسته سد یا دیوارهای آب‌بند وسیع در سد و یا زیر آن مورد استفاده قرار گیرد.

مقاومت تک محوری محصورنشده

ماسه‌ها و شن‌ها:

معمولاً در بالاترین ناحیه نمودار قرار دارند و بیشترین مقاومت را در مقایسه با سایر انواع خاک‌ها نشان می‌دهند، به دلیل ساختار دانه‌ای و نفوذپذیری بالاتر.

سیلت‌ها و ماسه‌های سیلتی:

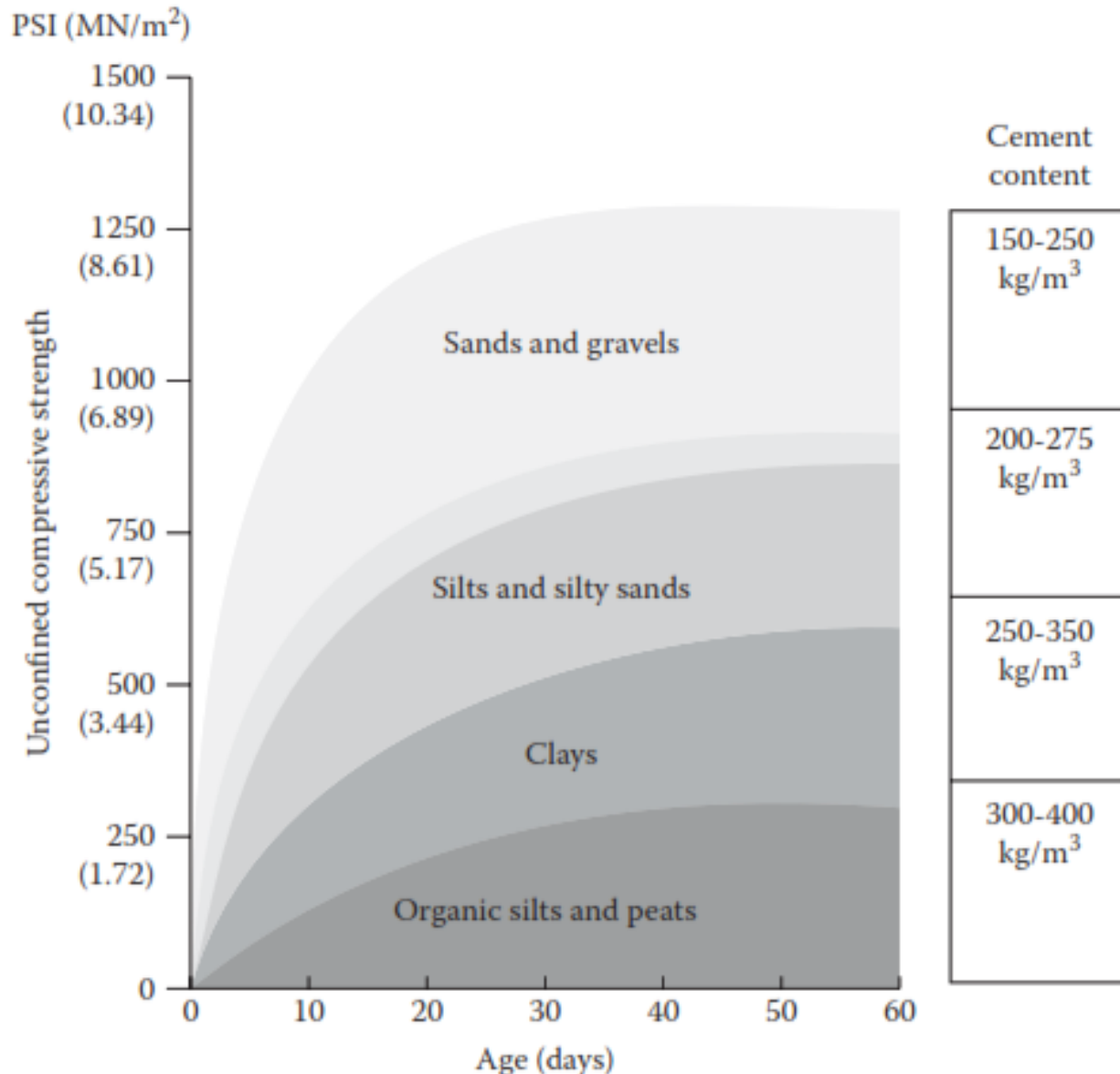
مقاومت متوسطی بین ماسه و رس از خود نشان می‌دهند.

رس‌ها:

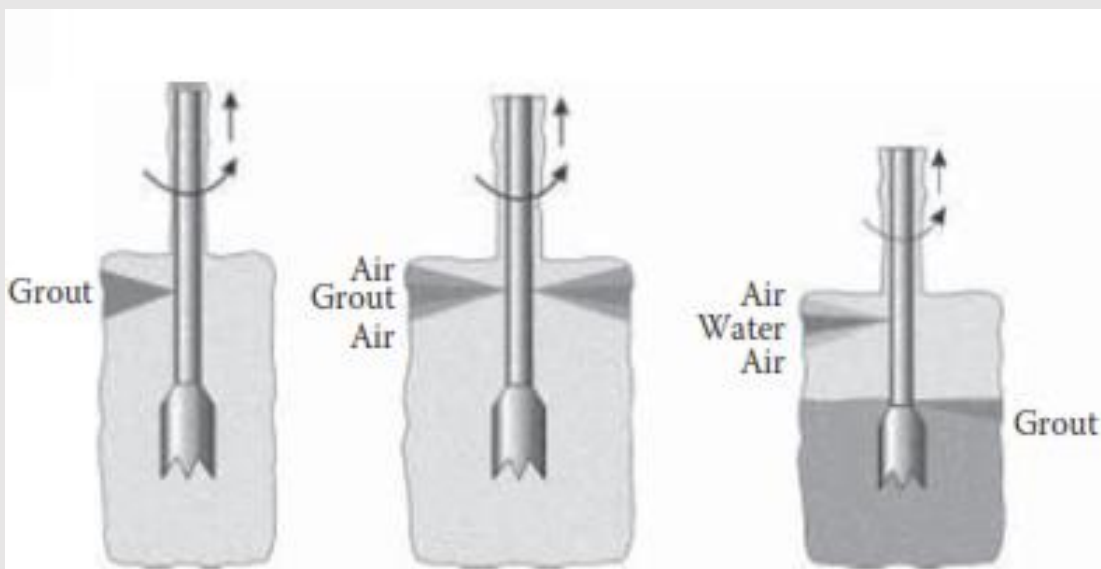
مقاومت کمتری نسبت به ماسه‌ها و سیلت‌ها دارند، اما همچنان با تثبیت‌کننده می‌توانند بهبود یابند.

سیلت‌های آلی و پیت‌ها:

در پایین‌ترین ناحیه نمودار قرار دارند و معمولاً کمترین مقاومت را در بین خاک‌های تثبیت‌شده نشان می‌دهند، به دلیل وجود مواد آلی که می‌توانند در فرآیند هیدراتاسیون سیمان اختلال ایجاد کنند.



انواع روش‌های جت گروتینگ



سه سیال	دو سیال	تک سیال	واحد	پارامترهای تزریق
۳۰-۵۵	PW	PW*	(MPa)	جت آب
۱-۴	۳۰-۵۵	۵۵-۳۰	(MPa)	جت دوغاب
۰/۷-۱/۱۷	۰/۷-۱/۷	استفاده نمی‌شود	(MPa)	هوای فشرده
۷۰-۱۰۰	PW	PW	(lit/min)	جت آب
۱۵۰-۲۵۰	۱۰۰-۱۵۰	۱۵۰-۶۰	(lit/min)	جت دوغاب
۱-۳	۱-۳	استفاده نمی‌شود	(m³/min)	هوای فشرده
۱/۸-۲/۶	PW	PW	(mm)	جت آب
۳/۵-۶	۲/۴-۳/۴	۱/۳-۸	(mm)	جت دوغاب
۱-۲	PW	PW		تعداد نازل‌های آب
۱	۱-۲	۲-۶		تعداد نازل‌های دوغاب
۲:۱ تا ۰/۸:۱	۲:۱ تا ۰/۸:۱	۲:۱ تا ۰/۸:۱		نسبت آب به سیمان در دوغاب
۵۰۰-۲۰۰۰	۳۰۰-۱۰۰۰	۵۰۰-۲۰۰	(kg/m)	مصرف سیمان
۱۵۰-۶۵۰	۱۵۰-۵۵۰	۴۰۰-۱۰۰۰	(kg/m³)	
۳-۸	۱۰-۳۰	۳۰-۱۰	(rpm)	سرعت چرخش میله
۱۰-۲۵	۳-۱۰	۳-۸	(min/m)	سرعت بالا کشیدن میله
۱/۵-۳	۱-۲	۰/۵-۱	(m)	قطر ستون ایجاد شده
۱-۲	۱-۱/۵	۰/۴-۰/۸	(m)	
۱۰-۲۰	۷/۵-۱۵	۱۰-۳۰	(MPa)	خاک‌های درشت دانه
۱/۵-۷/۵	۱/۵-۵	۱/۵-۱۰	(MPa)	خاک‌های ریزدانه
				خاک‌های ماسه‌ای
				خاک‌های رسی

فرآیند اجرا - مراحل اجرای ستون‌های جت گروتینگ

حفاری گمانه:

حفاری تا عمق مورد نظر انجام می‌شود.

تزریق پرفشار:

- هنگامی که میله به عمق مورد نظر رسید، از طریق نازل‌های موجود در نوک و جداره میله، هوا، آب و مخلوط تزریق به وسیله پمپ با فشار بالا (بین ۳۰ تا ۷۰ مگاپاسکال) به درون خاک تزریق می‌شود.

عملیات همزمان با تزریق:

- میله در هنگام تزریق در حال چرخش است و با سرعت کم به طرف بالا حرکت می‌کند.

تشکیل ستون و تراکم:

- فشار بالای تزریق باعث افزایش تراکم خاک نیز می‌شود.

بازگشت مواد اضافی (اسپویل):

- مخلوط سیمان-خاک اضافی از طریق فضای حلقوی بین میله حفار و دیواره حفاری شده به سطح باز خواهد گشت.



مکانیسم تزریق

۱. مکانیسم تزریق وابسته به نوع خاک:

خاک‌های درشت‌دانه (ماسه، ماسه دانه ای، ماسه سیلیسی):

- مکانیسم اصلی: فرسایش و کاویدن جت (برخورد جت با خاک و فروپاشی)
- نتیجه: مخلوط یکدست از سیمان و خاک

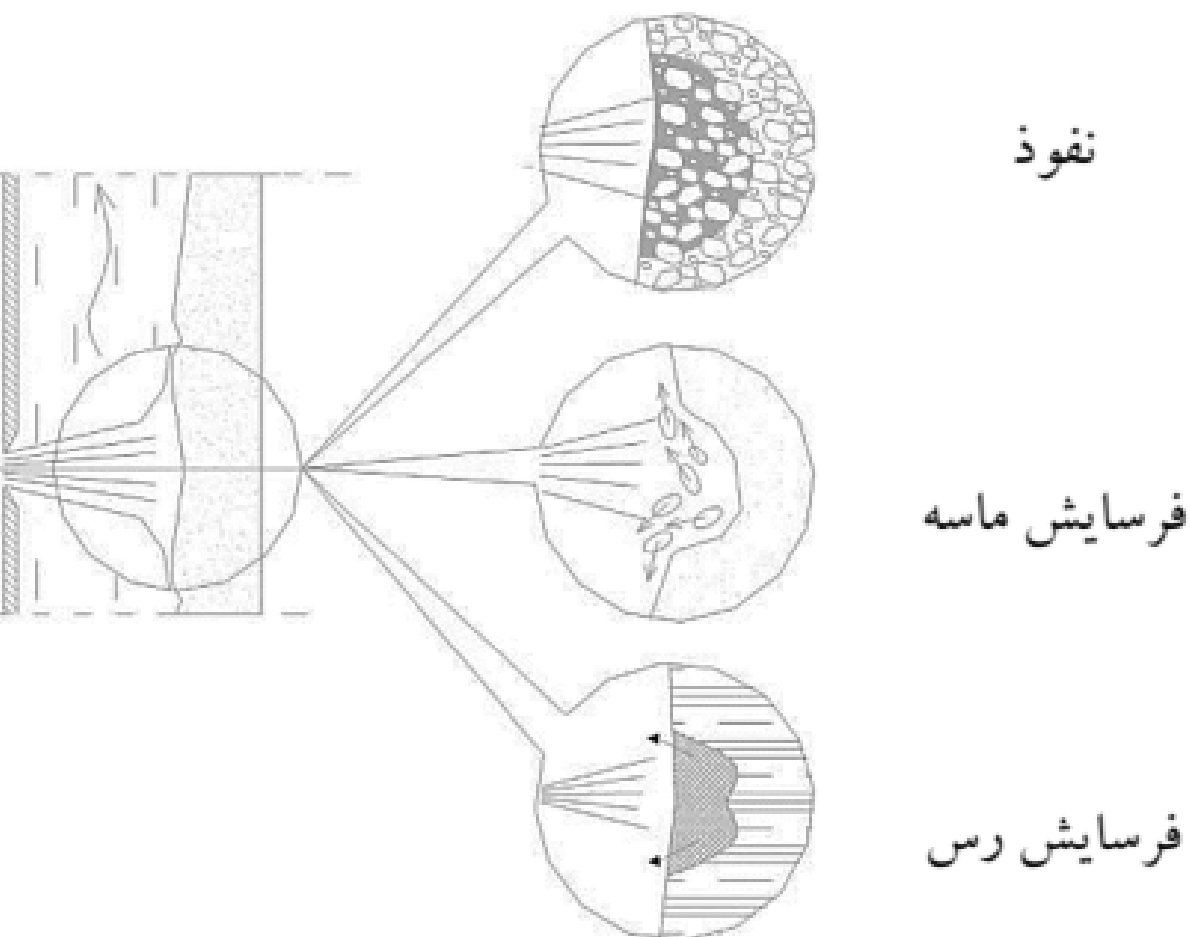
خاک‌های ریزدانه (سیلت، ماسه ای، رس):

- تحت برش قرار می‌گیرند.
- کلوخه‌های خاک به وجود می‌آیند.
- مکانیسم نفوذ: عمدتاً نفوذ دوغاب در خلل و فرج خاک

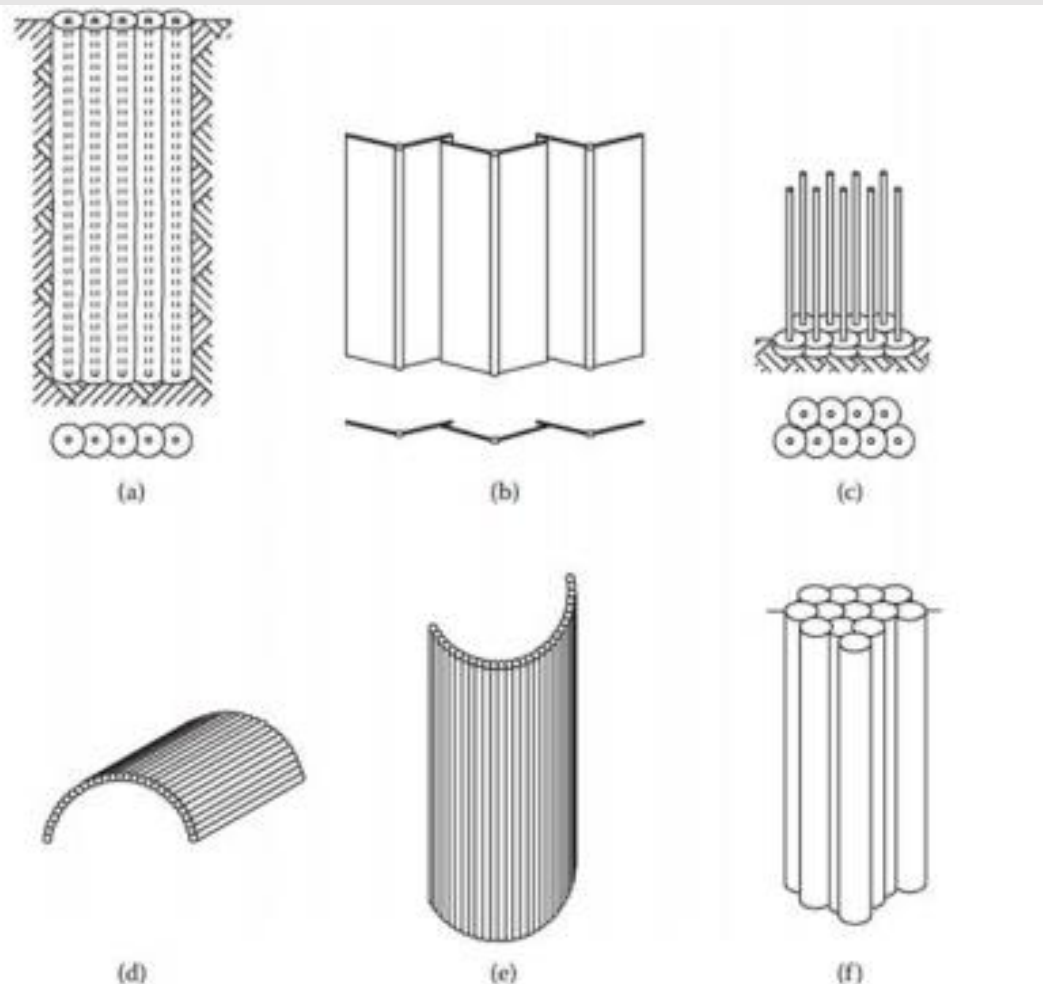
۲. عوامل مهم در فرآیند جت گروتینگ:

دبی (جریان) سیال

فشار تزریق



کاربردها و چیدمان شمع های جت گروتینگ



المان های یک بعدی، المان های دوبعدی (صفحه ای)، المان های سه بعدی (حجم)

۱. المان های یک بعدی (ستون های جت گروت منفصل):

- ساخت "پی تقویت شده"

۲. المان های دوبعدی (عمودی صفحه ای):

- ساخت دیافراگم (در سازه های نگهبان)
- پرده های آب بند هیدرولیکی

۳. المان های افقی صفحه ای ("دال های جت گروت"):

- ساخت دال جت گروتینگ به عنوان حائل آب در کف گودبرداری ها

۴. المان های سه بعدی (حجم) / "بلوک های جت گروت":

- ایجاد تحکیم بهتر در خاک
- کاهش نشست پی های سنگین
- ساخت دیوارهای نگهبان وزنی

(a و b) دیافراگم های جت گروتینگ، (c) دال جت گروتینگ، (d) چتر جت گروتینگ مورد استفاده در تونل ها،
(e) بدنه جت گروتینگ، (f) بلوک جت گروتینگ

تجهیزات و مصالح

تجهیزات اصلی:

- مخازن آب، سیلوی سیمان
- مخلوط کننده (میکسر) و همزن
- پمپ‌های تزریق با فشار بالا
- پمپ مخلوط تزریق (برای Single fluid, Double fluid)
- کمپرسور هوای فشرده (برای Double fluid, Triple fluid)
- تجهیزات حفاری
- سیستم ثبت اطلاعات کامپیوتری یا دستی
- لوله‌های ارتباطی بین ایستگاه دوغاب‌سازی و محل تزریق

مصالح:

- آب، سیمان
- در صورت نیاز به خاک غیر قابل نفوذ (آب بند)، بنتونیت



دلایل موفقیت این روش:

- ساخت ستون های بزرگ از مصالح سمنته شده به وسیله حفاری گمانه ی کوچک درون زمین
- تراکم نسبی خاک مابین ستون های جت
- ساخت المان های ممتد با اشکال و چیدمان های مختلف،
- کاربرد در خاک های مختلف صرفه نظر از نفوذ پذیری و نوع خاک
- امکان اجرا به صورت عمودی یا افقی و یا در بالا و پایین سطح آب زیرزمینی
- اجرای سریع و راندن مان بالا با توجه به انعطاف پذیری عملیات اجرایی



شرکت مهندسی ابزار سنگ میهن - پروژه ی آدیما

نظارت و ارزیابی - روش‌های کنترل کیفیت - در حین اجرا

آزمایش‌های کنترل کیفی از ابتدای شروع عملیات تزریق پرفشار تا اتمام پروژه انجام می‌پذیرد. این آزمایش‌ها عبارتند از:

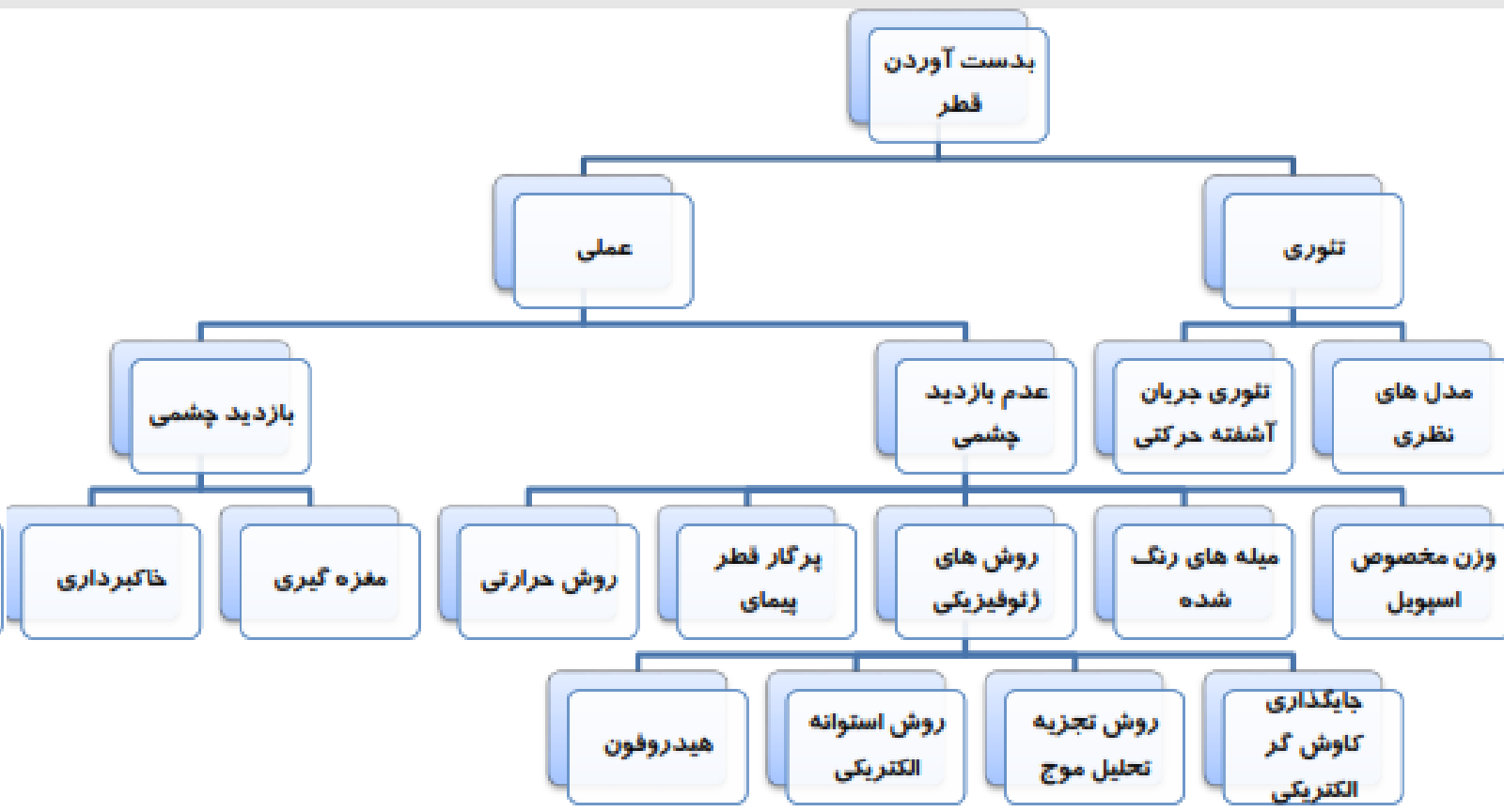
- کنترل کیفیت مصالح آب و سیمان مصرفی.
- کنترل کیفیت دوغاب
- آزمایش دانسیته
- آزمایش قیف مارش
- آزمایش آب اندازی
- کنترل فشار تزریق.

برگشت مصالح:

- اطمینان از برگشت پیوسته مصالح حفر شده طی تزریق پرفشار برای کنترل اجرا لازم است و مشخصه کیفیت ساخت تزریق پرفشار است.
- نادیده گرفتن این الزامات می‌تواند منجر به بالازدگی یا نشست سطح زمین، کیفیت پایین خاک-سیمان، ضعف در کنترل هندسه و وارد آمدن آسیب به تاسیسات مجاور شود



کنترل قطر ستون‌ها:



- در مراحل اولیه و برای بررسی‌های عمومی، معمولاً از روش بصری و خاکبرداری استفاده می‌شود

- برای کنترل کیفیت کیفیت اجرا، از روش‌های ژئوفیزیکی نیز استفاده می‌شود.

معیار پذیرش قطر ستون:

قطر هر ستون زمانی قابل قبول است که کوچکترین قطر اندازه‌گیری شده در طول ستون، برابر یا بزرگتر از قطر طراحی شده باشد

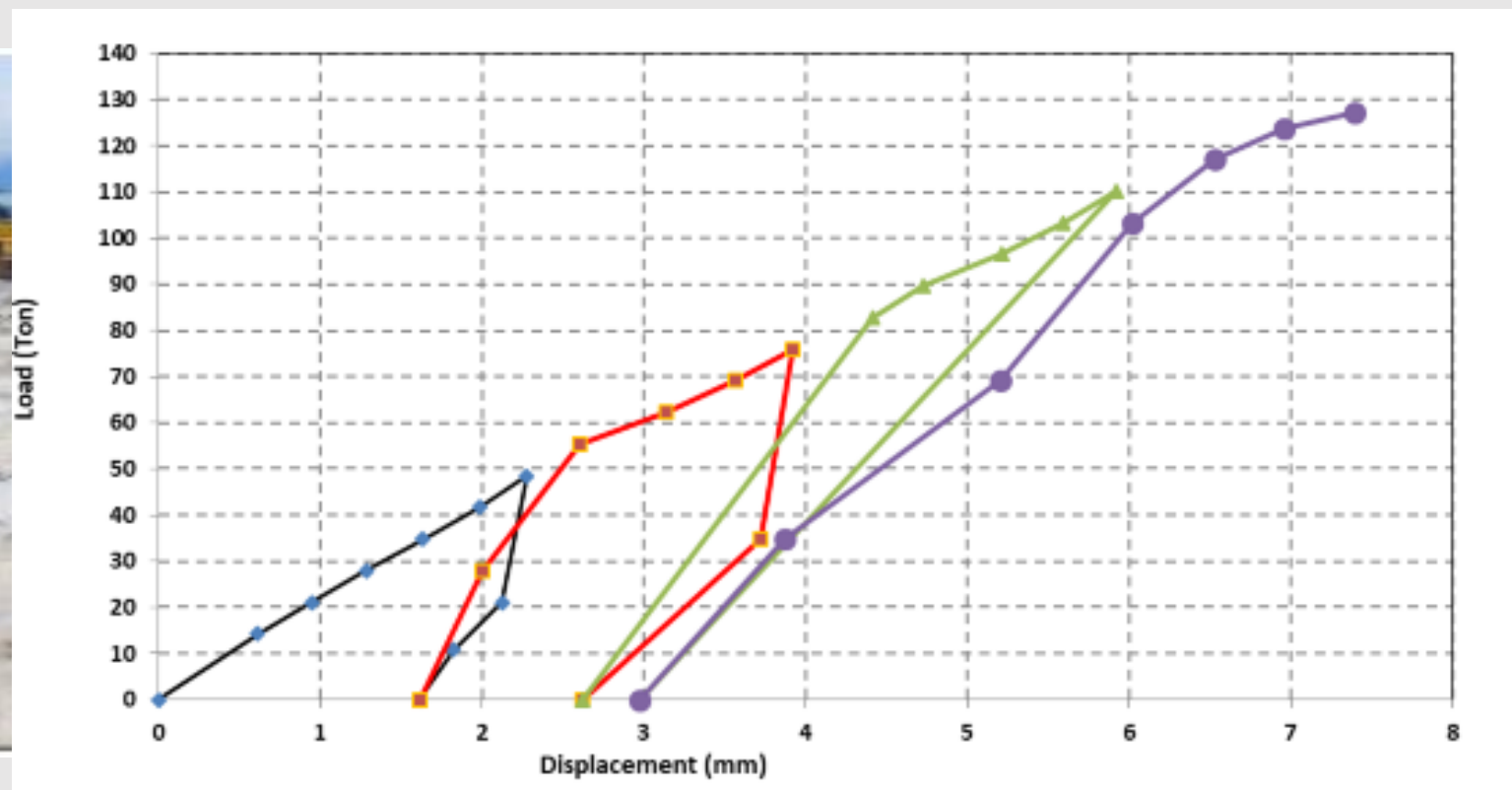
نظارت و ارزیابی - روش‌های کنترل کیفیت - (بخش دوم)

مغزه‌گیری و کنترل مقاومت تک‌محوری مغزه‌ها:

- متداول‌ترین روش کنترل ظرفیت باربری ستون‌ها مغزه‌گیری است. مقاومت فشاری خاک-سیمان رابطه مستقیمی با جنس خاک و میزان سیمان بکار رفته در مخلوط تزریق دارد.
- مقاومت تک‌محوری خاک تثبیت شده با سیمان به نوع خاک و زمان عمل‌آوری بستگی دارد.



بارگذاری استاتیکی

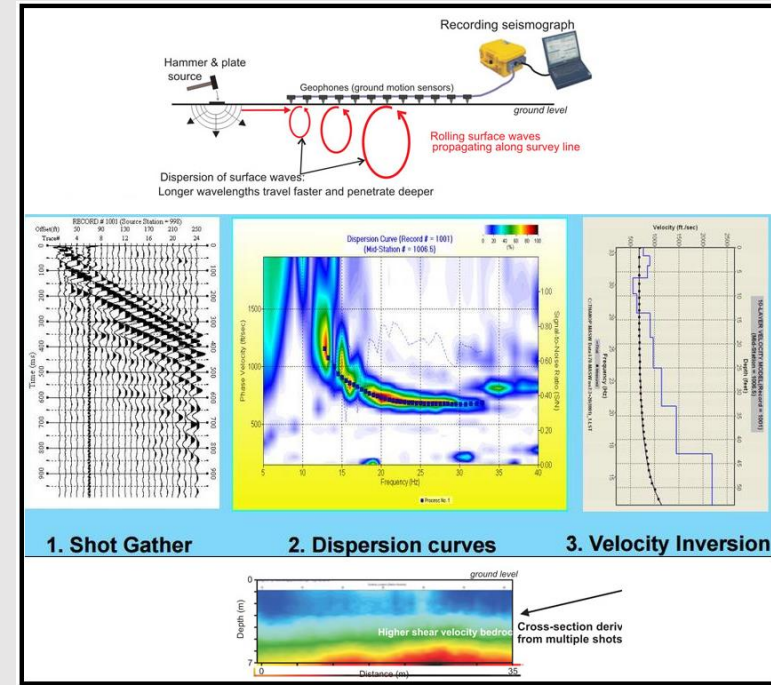


کاربردها

- تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها و پی‌های عمیق در پروژه‌های عمرانی و صنعتی بزرگ
- کنترل کیفیت اجرای سازه و بررسی ایمنی در برابر بارهای واقعی
- استفاده در پروژه‌هایی با بارگذاری‌های غیرمعمول یا خاک‌های با رفتار پیچیده
- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با مدل‌های عددی و تحلیلی

آزمایش ژئوفیزیک لرزه‌ای - MASW

روش‌های لرزه‌ای، بر پایه انتشار امواج مکانیکی در یک محیط الاستیک استوار هستند. در این روش‌ها، یک منبع (مانند ضربه چکش) موجی تولید می‌کند که توسط گیرنده‌ها (ژئوفون‌ها) دریافت و در نهایت توسط دستگاه لرزه‌نگار ثبت می‌شود.



Profile No.	Vs-mean(m/s)
P1	228.5
P2	227.8
P3	232.3
P4	211.6
Average	225.05

نتایج آزمایش ژئوفیزیک لرزه‌ای MASW پیش از جت گروتینگ در پروژه برج ویتوس نوشهر

Depth (m)	Vs (m/sec)	Vs- mean (m/sec)
0-2	238	339.6
2-17	405	
17-30	303	

نتایج آزمایش ژئوفیزیک لرزه‌ای MASW پس از جت گروتینگ در پروژه برج ویتوس نوشهر



چالش‌های رایج

محدودیت‌های کلی روش:

- نیاز به تجهیزات گران.
- وابستگی روش به تجربه و مهارت مجریان.
- به لحاظ فنی و اجرایی یکی از دشوارترین روش‌ها است.
- چالش‌های فنی:
- چالش‌های اجرایی

چالش‌های فنی

انتخاب و کنترل پارامترهای تزریق :

تعیین صحیح پارامترهایی مانند نوع دوغاب، فشار، دبی، سرعت چرخش و سرعت بالا کشیدن لوله جت اهمیت بالایی دارد. تنظیمات نادرست می‌تواند باعث بهبود ناکافی خاک یا ایجاد خطرات آسیب‌رسان شود.

یکنواختی و هم‌پوشانی ستون‌ها

حفظ قطر یکنواخت و هم‌پوشانی مناسب بین ستون‌ها، به‌ویژه در عمق زیاد یا تزریق با زاویه، دشوار است.

دقت در حفاری و تزریق

انحراف در عمق حفاری یا فشار و زمان‌بندی تزریق، شکل ستون را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

کنترل کیفیت دوغاب :

تغییر در نسبت آب به سیمان یا سرعت پمپاژ.





چالش‌های اجرایی

محدودیت فضا و دسترسی

- پروژه‌های شهری یا فضای محدود، دسترسی به تجهیزات حفاری را مشکل می‌سازد.

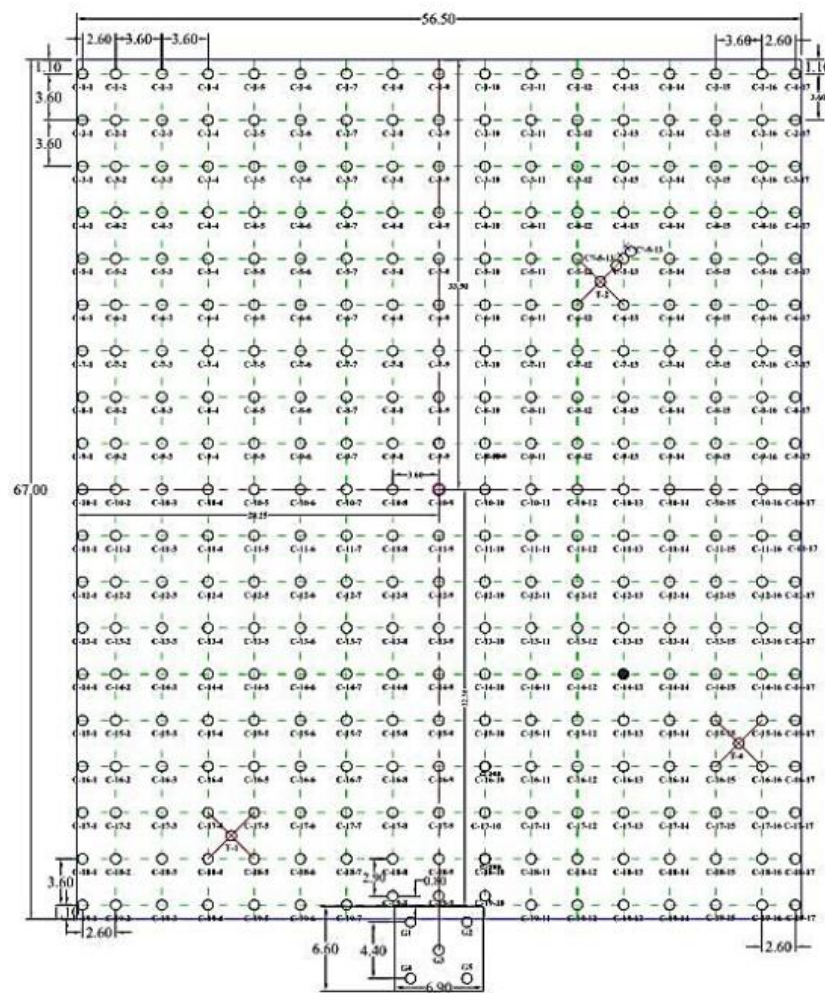
مدیریت مواد پسماند (اسپویل)

- حجم زیادی از مخلوط خاک و دوغاب در هنگام تزریق تولید می‌شود.

نیاز به نیروی متخصص

- اجرای صحیح نیازمند تیم آموزش‌دیده و باتجربه است.

شماره گمانه	شماره گمانه	شماره گمانه	شماره گمانه	شماره گمانه	عمق (متر)
BH1	BH2	BH3	BH4	BH5	
SM	SM	SM	SM	SM	2
SM	SM	SP	SM	SP - SM	4
ML	SM	SM	SP	SM	6
ML	CL	MH	ML	SM	8
ML	CL	SM	SM	ML	10
SM	SP	SC	SP - SM	SM	12
SM	SP	SC	SP	SP - SM	14
SM	SP - SC	SC	SM	SP - SM	16
SM	SM	SC	SM	SM	18
SP - SM	SM	SP	SM	SM	20
ML		SM		SM	22
SM		SM		SP	24
SM		SM		SM	26
SM		SM		SM	28
		GM		SM	30
		SP			32
		SM			34
		SM			36
		SM			38
		SP			40

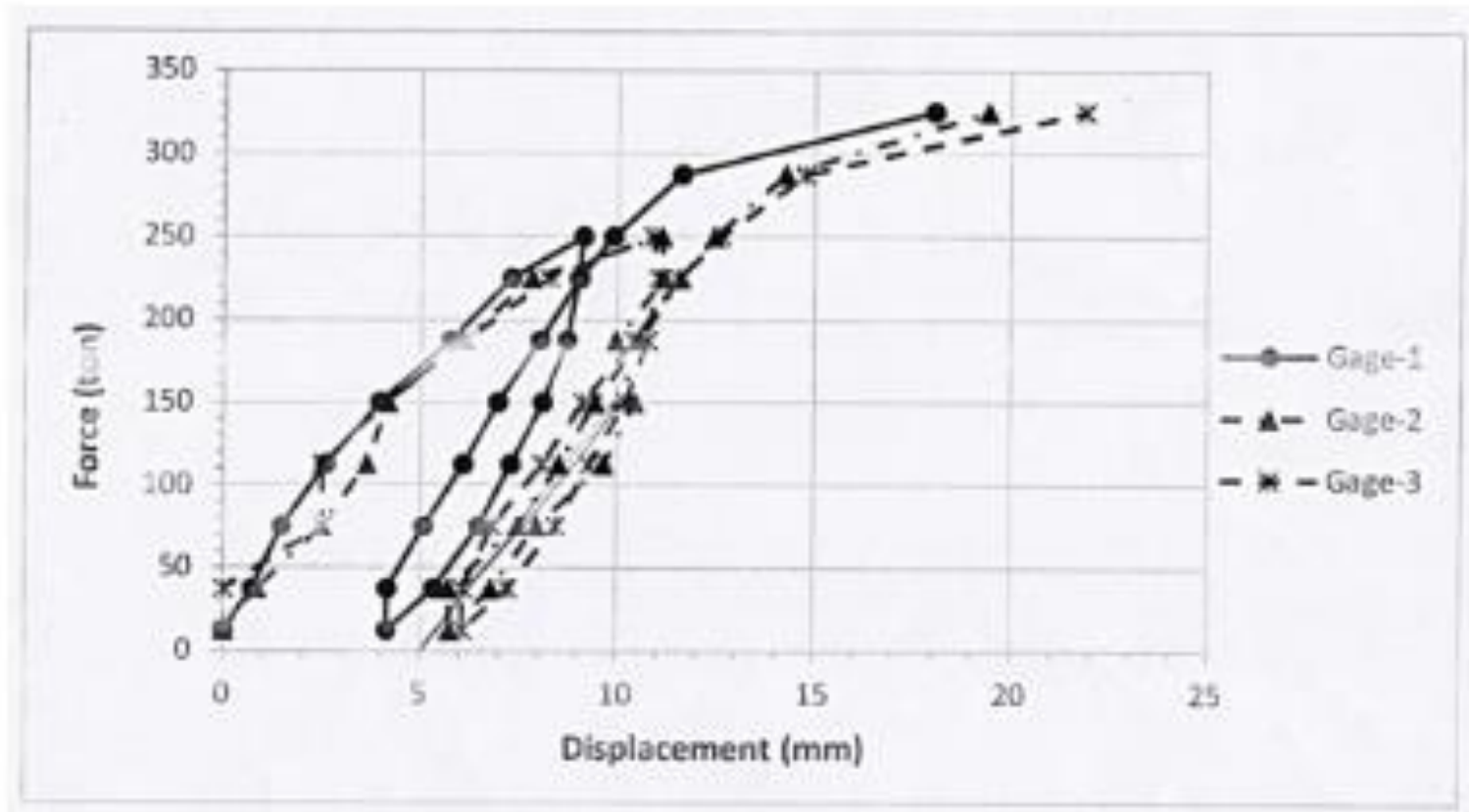


پلان جانمایی ستون های جت گروتینگ پروژه ادیسا



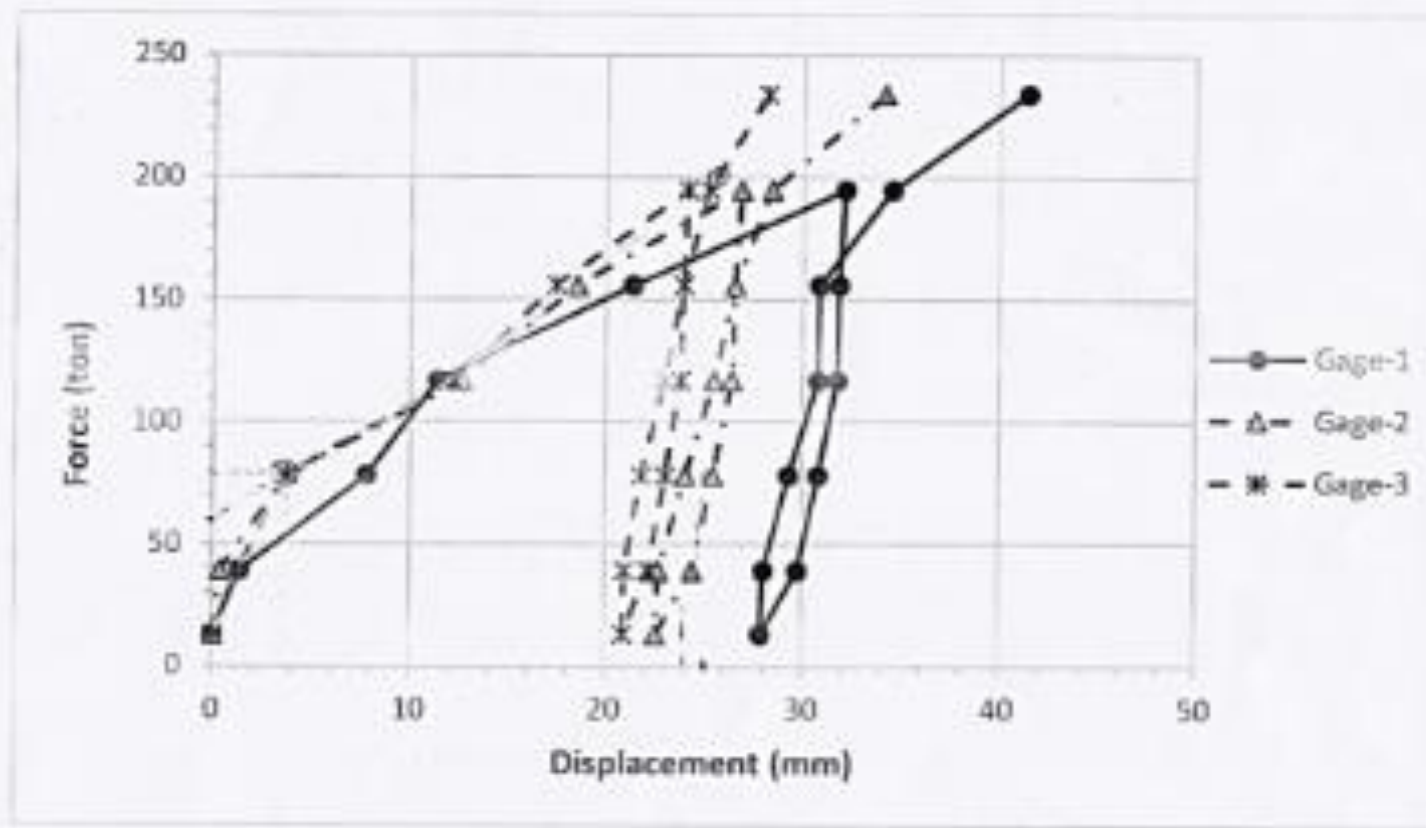
بهسازی خاک به روش جت گروتینگ
 برج ادیسا

نمودار ظرفیت باربری شمع تستی ۱۷ متری



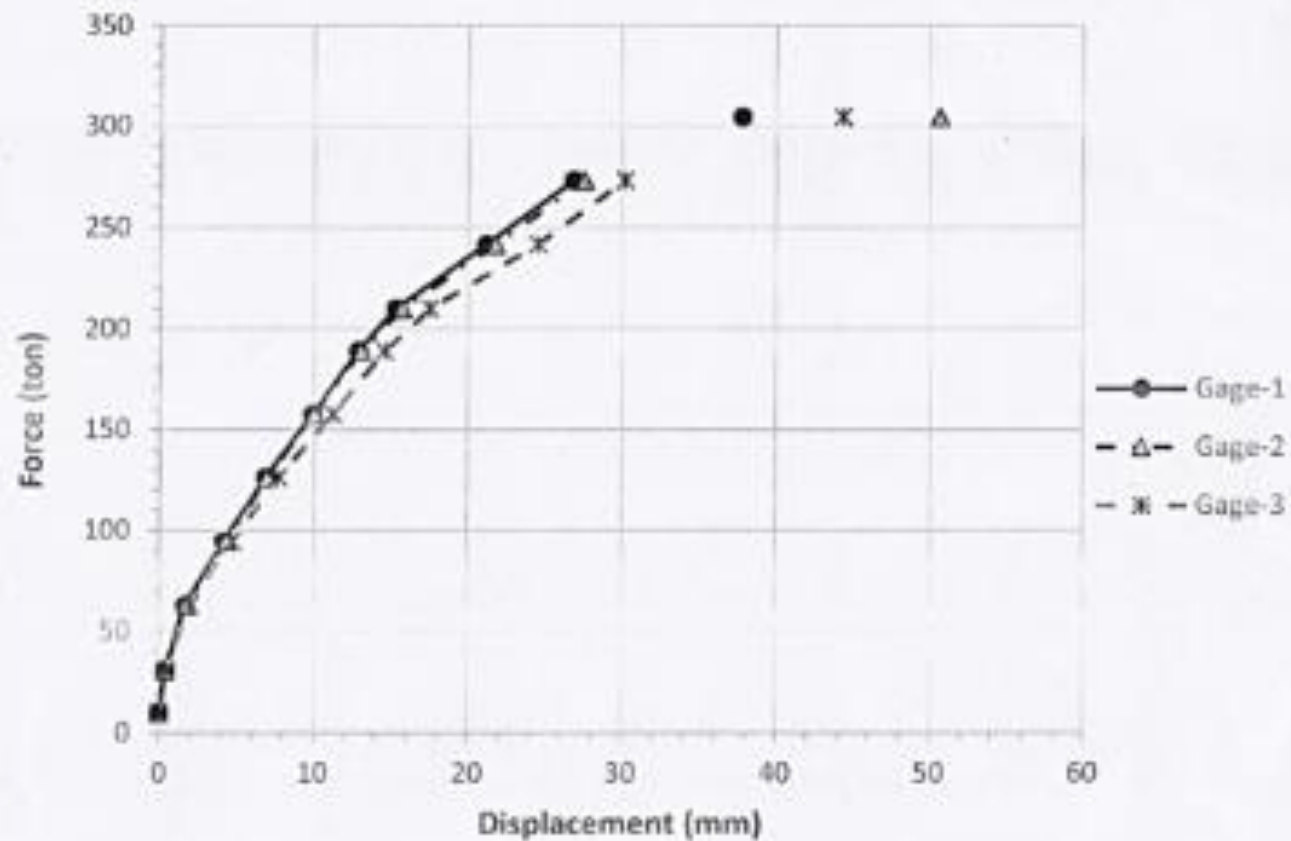
بهسازی خاک به روش جت گروتینگ
 برج ادیما

نمودار ظرفیت باربری شمع تستی ۱۵ متری



بهسازی خاک به روش جت گروتینگ
 برج ادیما

نمودار ظرفیت باربری شمع تستی ۱۲ متری



بهسازی خاک به روش جت گروتینگ
برج ادیما

گزارش آزمایش مقاومت فشاری نمونه های مغزه گیری شده بتن



تاریخ گزارش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۲
 شماره گزارش: COR-۱۶۱۲-۰۲-۱

مشخصات کلی

آدرس:	ماژن تهران، نوره، خیابان امام رضا، روبروی پارک جنگلی	کارفرما:	جناب آقای مهندس تنجیح پور	تألیف:	
-------	--	----------	---------------------------	--------	--

مقاومت فشاری مغزه های بتنی

موقعیت نمونه برداری	تاریخ نمونه برداری	تاریخ آزمایش	قطر cm	طول cm	سطح مقطع cm ²	حجم cm ³	جرم gr	چگالی gr/cm ³	نسبت طول به قطر L/d	ضریب تصحیح طول به قطر استاندارد	ضریب تصحیح بعثت وجود آرماتور در مغزه	حد اکثر نیروی خمیختگی Kg	مقاومت فشاری استوانه ای قبل از اعمال ضرایب تصحیح Kg/cm ²	مقاومت فشاری استوانه ای بعد از اعمال ضرایب تصحیح Kg/cm ²
T-۱	-	۹۶/۱۲/۰۲	۱۰	۲۰	۷۸.۵	۱۵۷۰.۸	۲۲۸۷	۲.۰۹۳	۲.۰۰	۱.۰۲	۱.۰۰	۶۷۰۰	۸۵	۸۷
T-۲	-	۹۶/۱۲/۰۲	۱۰	۲۰	۷۸.۵	۱۵۷۰.۸	۲۲۱۰	۲.۰۲۴	۲.۰۰	۱.۰۲	۱.۰۰	۶۴۰۰	۸۱	۸۳
T-۳	-	۹۶/۱۲/۰۲	۱۰	۱۵.۷	۷۸.۵	۱۲۳۳.۱	۲۶۰۹	۲.۱۱۶	۱.۵۷	۰.۹۸	۱.۰۰	۷۱۰۰	۹۰	۸۹
T'-۱	-	۹۶/۱۲/۰۲	۱۰	۲۰	۷۸.۵	۱۵۷۰.۸	۲۵۰۳	۲.۲۳۰	۲.۰۰	۱.۰۲	۱.۰۰	۱۱۹۰۰	۱۵۲	۱۵۵
T'-۲	-	۹۶/۱۲/۰۲	۱۰	۲۰	۷۸.۵	۱۵۷۰.۸	۲۵۷۳	۲.۲۷۵	۲.۰۰	۱.۰۲	۱.۰۰	۱۳۶۰۰	۱۶۰	۱۶۴
T'-۳	-	۹۶/۱۲/۰۲	۱۰	۲۰	۷۸.۵	۱۵۷۰.۸	۲۴۲۳	۲.۱۷۹	۲.۰۰	۱.۰۲	۱.۰۰	۱۰۱۰۰	۱۳۹	۱۳۱

References :
 1. ASTM C42 2. ASTM C39

بهسازی خاک به روش جت گروتینگ
 برج ادیما

سپاس فراوان از حضور و توجه شما