فصل اول :

مقدمه

۱-۱- مقدمه

افزایش ساخت و ساز در مناطق شهری و ایجاد گودبرداری‌ها در مجاورت سازه‌های موجود نیاز به ایجاد سازه‌های نگهبان برای کنترل تغییر شکل‌ها و ممانعت از آسیب رسیدن به ساختمان‌های مجاور را افزایش داده است. روش میخکوبی خاک با توجه به اقتصادی بودن و سرعت عملیات و ویژگی‌های منحصر به فرد دیگر یکی از روش‌هایی است که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این روش اولین بار در سال ۱۹۷۳ در کشور فرانسه اجرا شد و با توجه به کارایی بالای آن تحقیقات گسترده‌ای برای شناخت رفتار آن از همان زمان تاکنون انجام پذیرفته است.

این روش نیز مانند هر روش دیگری دارای مزایا و معایبی است. در زیر به چند مورد از آنها اشاره می شود:

۱-۱-۱- مزایای روش میخکوبی خاک

از مزایای روش میخکوبی خاک موارد ذیل حائز اهمیت است.

- این روش از سرعت بسیار بالایی برخوردار است و نیاز به مصالح و ماشین‌آلات کمتری درمقایسه با روشهای دیگر خاک برداری دارد.
- در محل‌هایی که دسترسی به آنها سخت تر است این روش بسیار مناسب است، زیرا برای اجرای آن به ماشین آلات بسیار کمتری نسبت به روشهای دیگر نیاز است.

- دیوارهای میخ کوبی شده به طور نسبی شکل پذیر تراند و تحمل بیشتری درمقابل نشست های ناهمگن دارند. به علّت شکل پذیری نسبتاً زیاد، این نوع دیوار ها در زلزله‌ها عملکرد خوبی از خود نشان میدهند.

- در صورتی که مشکل خاصی به وجود نیاید این روش ارزانتر از روشهای معمول ساخت دیوار حائل بتنی است.

- مزیت این روش نسبت به روش دیوارهای مهاربندی شده این است که نیاز به حق‌العبور کمی دارد چون طول میخ ها نسبتاً کمتر است.

۱-۱-۲- معایب روش میخکوبی خاک

در مقابل مزایای این روش ، معایب آن مطرح می گردد که از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- این روش وقتی محدودیت زیادی در مورد جابجایی تأسیسات یا سازه های موجود بر روی خاک پشت دیوار وجود دارد مناسب نیست؛ چون در این روش نیاز به مقداری جابجایی برای بسیج شدن مقاومت میخ‌ها وجود دارد.
- در ردیفهای بالایی ممکن است مشکلاتی در قرار دادن میخ ها به علّت وجود تأسیسات پیش آید.

- زمانی که مقدار زیادی آب زیر زمینی (به علّت نیاز به حفظ جبهه خاکبرداری بدون پوشش برای مدّت زمان کوتاه) به درون محل کار نشت میکند مناسب نیست.

۱-۲- اهداف تحقیق

هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر زوایای مختلف میخ‌ها بر روی تغییر شکل خاک پشت دیوار میخکوبی شده میباشد. به همین منظور مدل‌های آزمایشگاهی با تغییر این زوایا ساخته شده و تاثیر آن‌ها بر روی رفتار دیوار بررسی گردید. همچنین با تغییر شیب بالادست در مدل‌های ساخته شده تاثیر آن بر روی زاویه‌ی بهینه‌ی معرفی شده بررسی گردید.

۱-۳- روش تحقیق

در این تحقیق از روش Particle Image Velocimetry(PIV) برای تحلیل مدل‌های ۱g ساخته شده بهره گرفته شده است. PIV روشی برای اندازه‌گیری سرعت میباشد که در زمینه‌های مربوط به مکانیک سیالات و هیدرولیک توسعه یافته است. این روش در سال ۲۰۰۳ توسط وایت و تیک (D.J.White & W.A. Take) در دانشگاه کمبریج برای مسائل مکانیک خاک به کار رفت. روش یاد شده در عین کارآمدی بسیار بالا هزینه‌ی بسیار پایینی دارد که آن را برای کاربرد در مدلسازی‌ها بسیار مناسب می سازد.

در این پایان نامه مباحث در پنج فصل ارائه میگردد:

در **فصل اول** مقدمه ای در مورد ضرورت انجام تحقیق، همچنین اهداف و روش‌های انجام تحقیق ارائه شده است.

در **فصل دوم** به بررسی ادبیات فنی و تحقیقات پیشین در مورد موضوع پایان نامه با استفاده از منابع موجود و قابل دسترس پرداخته شده است.

در **فصل سوم** مواد و روش‌های استفاده شده در تحقیق معرفی شده است.

در **فصل چهارم** به بررسی و بحث نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آزمایشات انجام شده پرداخته شده است.

و **فصل پنجم** به جمع بندی نتایج و ارائه پیشنهادات اختصاص داده شده است.

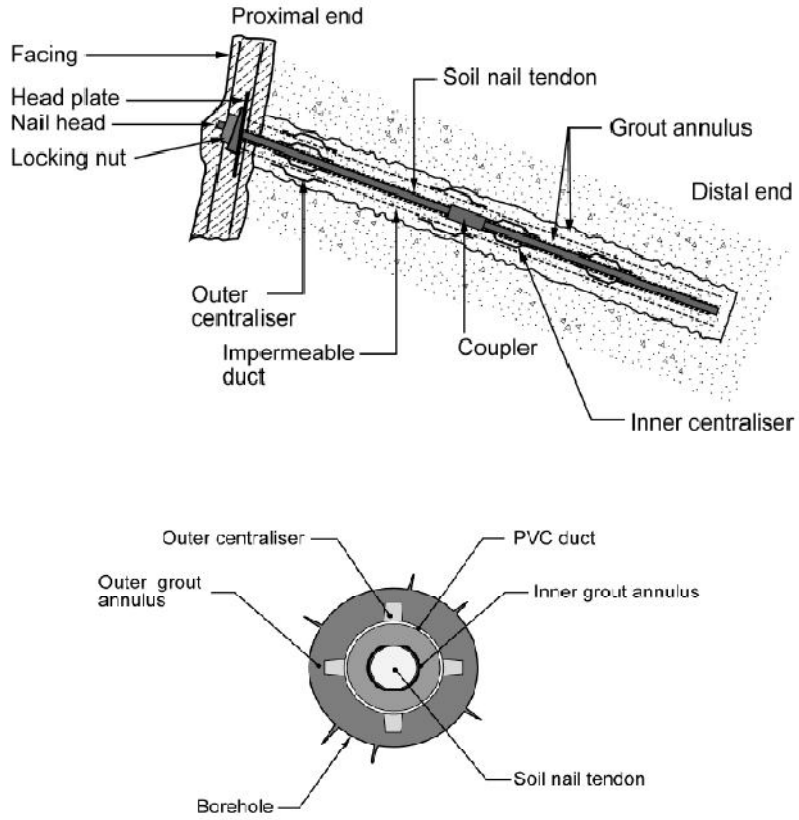
فصل دوم :

بررسی منابع و پیشینه موضوع

۲-۱- مقدّمه

میخکوبی خاک روشی است برای مسلّح کردن خاک با استفاده از المانها ی کششی که میخ نامیده میشوند. جنس میخها ممکن است پلیمری یا فلزی باشد و برای نصب آنها ممکن است ابتدا حفّاری انجام گیرد و سپس میخ درون حفره قرار گیرد و یا ممکن است عمل تزریق و حفّاری همزمان انجام گیرند.

عموما میخها تحت زاویه ای نسبت به افق قرار میگیرند. اجزای اصلی یک میخ در شکل زیر نشان داده شده است:



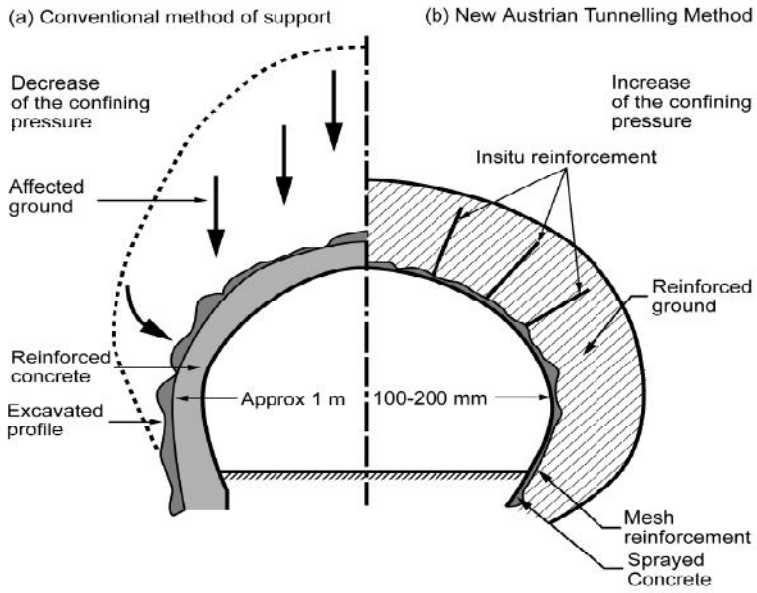
مقطعی از میخ

شکل(۲-۱): اجزای اصلی یک میخ در روش میخکوبی خاک

توجه: ممکن است در بعضی سیستمها از پوشش غیرقابل نفوذ استفاده نشده باشد.CIRIA (2005)

۲-۲- پیدایش روش میخکوبی خاک

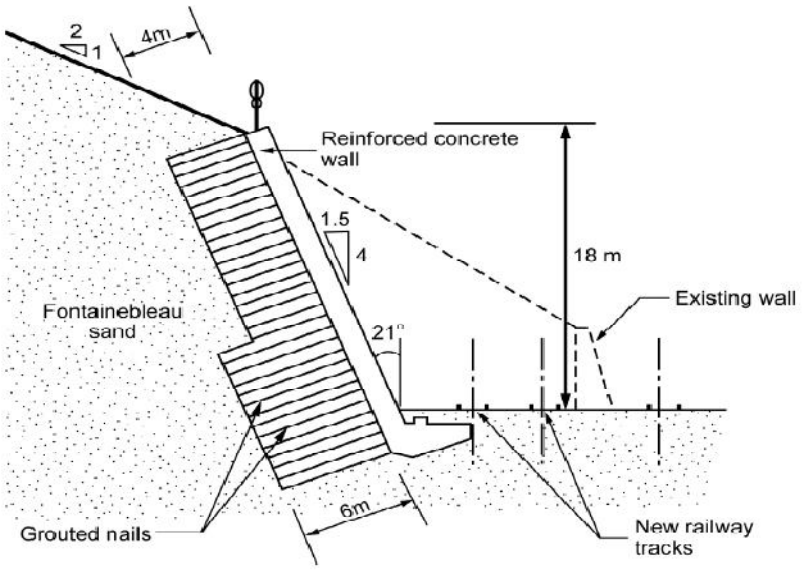
پیدایش میخکوبی خاک را می‌توان تا حدودی به نوعی سیستم نگهدارنده برای حفّاری‌های زیر زمینی نسبت داد که از آن با عنوان روش جدید اتریشی (NATM) یاد میگردد. در روش جدید اتریشی میلگردها درون سنگ قرار میگیرند و سپس یک لایه شاتکریت و یک مش به عنوان پوشش استفاده میگردند. این روش در اوسط دهه‌ی شست میلادی در تونل ها استفاده میشد. بلافاصله پس از حفر تونل میلگردهایی درون سنگ قرار داده میشوند و تزریق دوغاب دور آنها انجام میگیرد. سپس یک شبکه فولادی با یک لایه شاتکریت سیستم نگهدارنده اصلی را ایجاد میکنند. این روش باعث کاهش ضخامت پوشش نهایی میگردد. تفاوت این روش با دیوارهای مهار بندی شده در آن است که میخ ها در روش میخکوبی خاک پیش تنیده نمیشوند ولی در روش مهار بندی پیش تنیدگی میخها نیاز است.



شکل (۲-۲): مقایسه شماتیک روش جدید اتریشی و روش سنتی اجرای سیستم

نگهدارنده برای حفاری های زیر زمینی(2005) CIRIA

با تجربیاتی که از روش جدید اتریشی در فرانسه به دست آمد به این نتیجه رسیدند که از این روش در سنگ نرم یا خاک هم میتوان استفاده کرد. اوّلین دیوار میخکوبی شده در جهان در فرانسه برای تعریض خط راه آهن ساخته شد. این دیوار به ارتفاع ۱۸ متر در خاک ماسه‌ای ایجاد گردید و دارای کاربرد موقّتی بود. در ساخت آن از میخ‌های ۴-۶ متر که نزدیک به هم قرار گرفته بودند استفاده شد. به دلیل سریع و اقتصادی بودن، کاربرد این روش به شدّت گسترش یافت. اوّلین پروژه تحقیقاتی در مورد میخکوبی خاک در کشور آلمان از سال ۱۹۷۵ تا سال ۱۹۸۱ انجام گرفت که در آن آزمایشاتی بر روی دیوارهای با ابعاد واقعی انجام دادند. به دلیل افزایش استفاده از این روش در کشور فرانسه این کشور نیز در سال ۱۹۸۶ شروع به انجام تحقیقاتی در این زمینه کرد. تحقیقات کشور فرانسه که در سال ۱۹۹۱ انتشار یافت به CLOUTERRE مشهور است که شامل انجام آزمیشاتی بر روی ۳ دیوار با ابعاد واقعی و مونیتورینگ شش دیوار در حال کاربرد است.



شکل(۲-۳): اولین دیوار میخکوبی شده، ساخته شده در فرانسه CLOUTERRE(1991)

۲-۳- نحوه ی اجرای میخکوبی خاک

این روش یکی از روشهای ساخت از بالا به پایین است؛ به این معنی که عملیات از بالا به پایین انجام میگیرد.

مراحل اجرای این روش به این شرح است:

۱. ابتدا یک مرحله خاکبرداری انجام میگیرد به طوری که جبهه توانایی پایداری بدون سیستم نگهدارنده را در حدود ۲۴ الی ۴۸ ساعت داشته باشد. عمق خاک برداری معمولا در حدود ۱ الی ۲ متر انتخاب میگردد ولی بسته به نوع خاک متفاوت است.

۲. در این مرحله حفره‌هایی جهت قرارگیری میخ‌ها توسّط دستگاه‌های مخصوص ایجاد میگردد. معمولا میخها تحت زویه ای بین ۱۰ تا ۲۰ درجه نسبت به افق قرار میگیرند.

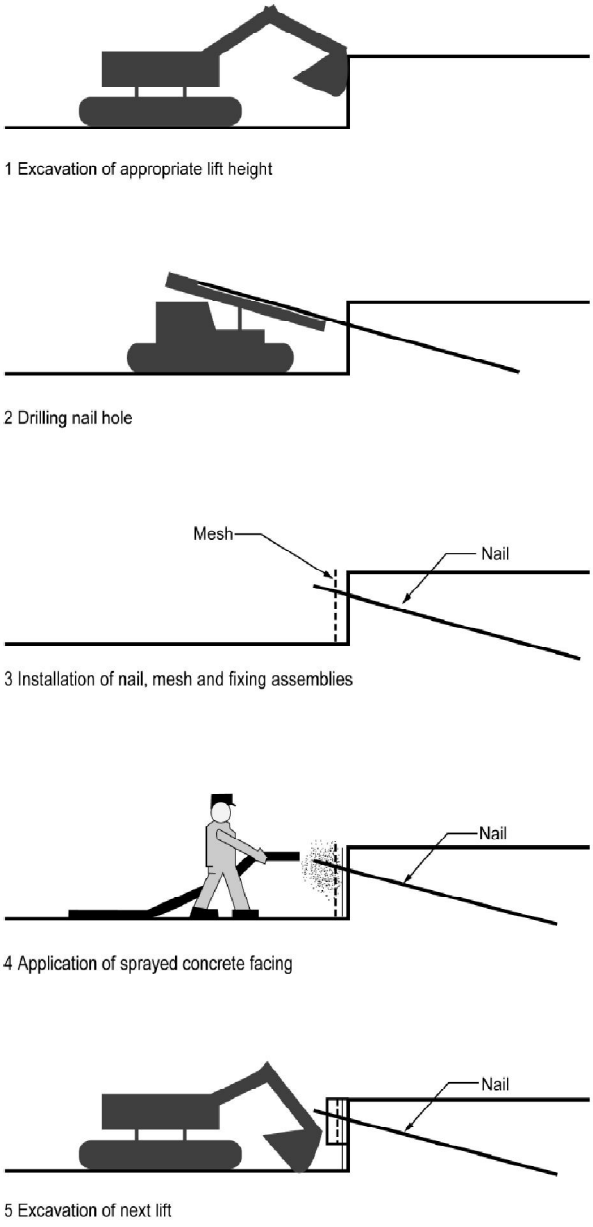
۳. میخ‌ها درون حفره‌های ایجاد شده قرار میگیرند و دوغاب دور آنها تزریق میگردد. در هنگام قرار دادن میخها درون حفره ها از المان‌هایی با نام Centralizer استفاده میشود که بر روی میخها قرار داده میشوند تا میخ را در طول حفره در فاصله ای از دیواره حفظ کنند و پوشش دوغاب مورد نظر در طول میخ حفظ گردد. عمل دوغاب ریزی درون حفره ها معمولا توسط لوله ترمی انجام میگیرد تا از حبس هوا درون دوغاب و ایجاد حفره در آن جلو گیری شود. Centralizer ها باید طوری طرّاحی شوند تا از ورود لوله ترمی به سوراخ ها جلوگیری نکنند و نیز در هنگام قرار گیری درون سوراخ ها تغییر شکل ندهند و صلبیت لازم را جهت حفظ فاصله مورد نظر با دیواره حفره را داشته باشند. معمولا عمل دوغاب ریزی تحت فشار پایین انجام میگیرد و یا فشاری ایجاد نمیگردد و دوغاب تحت اثر وزن خود در حفره قرار داده میشود. قبل از انجام مرحله چهارم زهکشهای نواری بین ردیف های مجاور میخها و تقریباً در وسط آنها قرار میگیرند.

این زهکشها تا پایین خاک برداری ادامه خواهند داشت و نهایتاً آب را به زهکش پای دیوار منتقل خواهند کرد.

۴. در این مرحله یک پوشش موقتی بر روی جبهه کار ایجاد میگردد. معمولا میلگردهایی هم در ایجاد این پوشش برای مسلّح کردن پوشش استفاده میشود که رایج ترین آن استفاده از WWM است که در وسط پوشش (که معمولا حدود ۱۰۰ میلیمتر ضخامت دارد) قرار داده میشود. نحوه قرار دادن باید طوری باشدکه حداقل یک ردیف از خا نه‌های WWM با لایه‌ی بعدی هم پوشانی داشته باشد. سپس صفحه‌های اتّصال قرار گرفته و با واشر و مهره‌های مخصوص سفت میگردند.

۵. پس از اتمام یک مرحله خاک برداری و انجام آزمایشات کنترلی لایه‌ی بعدی خاک برداری انجام میگیرد. باید دقّت کرد که زهکشهای نواری تا پایان خاک برداری ادامه پیدا کنند. سپس با استفاده از جت آب یا هوای فشرده شده سطح شاتکریت لایه ی قبل را تمیز کرده و شاتکریت جدید اجرا میگردد و این مراحل تا پایان خاکبرداری تکرار میشوند.

۶. در ساخت بعضی دیوارهای میخکوبی شده یک لایه دایمی هم بر روی دیوار ساخته میشود. رویه‌ی دایمی میتواند از بتن در جا یا با استفاده از پانلهای پیش‌ساخته باشد. در ساخت رویه‌ی دائمی با استفاده از بتن درجا یا شاتکریت تا حد امکان باید از ایجاد درز های افقی جلوگیری گردد.



شکل(۲-۴): مراحل ساخت یک دیوار میخکوبی شده(CIRIA (2005

۲-۴- زمین های مناسب میخکوبی

قبل از اجرای این روش باید خاک محل پروژه مورد بررسی قرار گیرد. اجرای این روش در بعضی از انواع خاکها بسیار اقتصادی تر از روشهای دیگر و در بعضی انواع دیگر غیر اقتصادی میباشد و یا حتی ممکن است با شکست کامل پروژه همراه باشد. در ادامه، بررسی سطحی در مورد انواع خاک هایی که مناسب و یا نامناسب برای این روش می‌باشند میپردازیم؛

۲-۴-۱- انواع خاک هایی که مناسب این روش میباشند

خصوصیاتی که خاکها را برای این روش مناسب می سازد:

- بتوانند به مدّت یک الی دو روز به حالت قائم یا نزدیک به قائم به ارتفاع ۱ الی ۲ متر پایداری خود را حفظ کنند.
- تمامی میخها بالای سطح آب زیر زمینی باشند.
- اگر میخها زیر سطح آب زیرزمینی باشند، آب زیرزمینی تأثیر خیلی شدیدی بر روی پایداری جبهه کار نداشته باشد و باعث کاهش درگیری بین سطح دوغاب و زمین اطراف نشود. معمولا ترجیح داده میشود که حفره‌های ایجاد شده برای قرار گرفتن میخها بتوانند بدون Casing حفّاری گردند و بتوانند پایداری خود را تا چندساعت حفظ کنند.

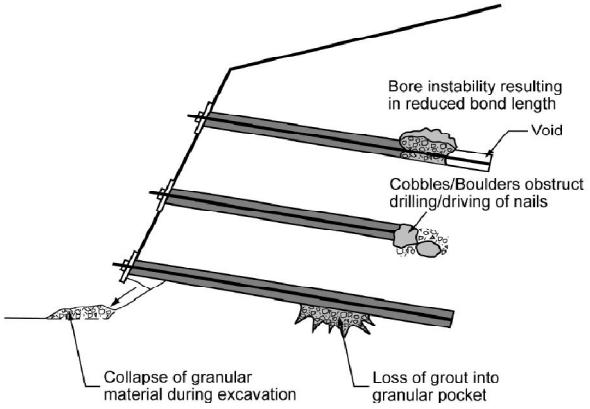
انواع خاک هایی که مناسب هستند، شامل انواع زیر می باشند:

- خاک های ریز دانه سخت؛ خاک‌های ریزدانه (چسبنده) شامل رس سخت، رس سیلتی، رس ماسه‌ای، سیلت ماسه‌ای یا ترکیبی از آنها. خاک های ریزدانه‌ای سخت تلقی میگردند که SPTآنها حداقل ۹ باشد. هر چند نباید تنها بر معیار SPT تکیه کرد و باید آزمایشهای دیگری هم انجام داد. برای کاهش جابجایی‌های جانبی دیوار میخکوبی شده باید این نوع دیوارها در خاک های ریزدانه با پلاستیسیته کم اجرا گردند (PI<۱۵).

- خاکهای دانه‌ای متراکم یا خیلی متراکم؛ این نوع خاک ها شامل شن و ماسه هایی میشود که SPT بزرگتر از ۳۰ دارند و نیز حاوی مقداری ریز دانه(کمتر از ۱۰ تا ۱۵ ٪) یا دارای سیمنتاسیون طبیعی میباشند که اندکی چسبندگی در آنها ایجاد میکند. در خاک های ماسه‌ای ریز کاپیلاریته میتواند مقداری چسبندگی ظاهری برای پایداری اوّلیه در جبهه خاکبرداری ایجاد نماید ولی در این صورت باید دقّت کرد که جریان آب به جبهه کاملاً کنترل شده باشد؛ مثلاً آب های سطحی باید از محوّطه منحرف گردند، چون آب اضافه باعث از بین رفتن این چسبندگی ظاهری گردیده و در نتیجه باعث ناپایدار شدن خواهد گردید.

- سنگ های هوا زده شده بدون صفحه های ضعیف نامناسب؛ سنگ های هوا زده شده که صفحه-های ضعیف به طرف محل خاکبردری ندارند محیط مناسبی برای اجرای این روش است؛ در ضمن بهتر است که درجه هوا زدگی این سنگ ها یکنواخت باشد تا بتوان از یک نوع روش حفاری استفاده کرد و برای حفّاری قسمتهای مختلف مجبور نباشیم از روش های مختلف استفاده کنیم.

- خاکهای یخرفتی؛ این نوع خاک‌ها معمولا خوب دانه‌بندی شده‌اند و دارای مقدار محدودی ریز دانه میباشند که معمولا مناسب برای روش میخ کوبی خاک هستند ولی گاها مشکلاتی هم به وجود می آورند.



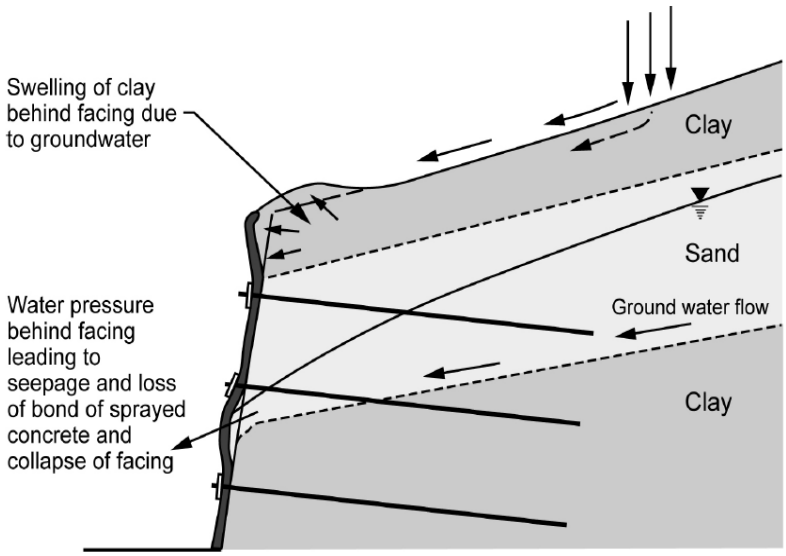
شکل(۲-۵): مشکلات ناشی از وجود مصالح دانه‌ای در خاکهای یخرفتی(2005) CIRIA

۲-۴- ۲- خاک هایی که نامناسب برای این روش هستند

- خاک‌های خشک و بد دانه بندی شده بدون چسبندگی؛ خاک های بد دانه بندی شده بدون هیچ گونه چسبندگی خشک که دارای ریز دانه نیستند و هیچ گونه سیمنتاسیون طبیعی ندارند قابلیت پایدار ماندن در مراحل خاکبرداری را ندارند و اصلاً مناسب نمیباشند.

- خاک های با سطح آب زیر زمینی بالا؛ اگر سطح آب زیر زمینی بالا باشد، مخصوصاً در خاک‌های دانه‌ای سست، آب زیر زمینی باعث ریزش حفره هایی که برای قرار دادن میخها ایجاد شده اند

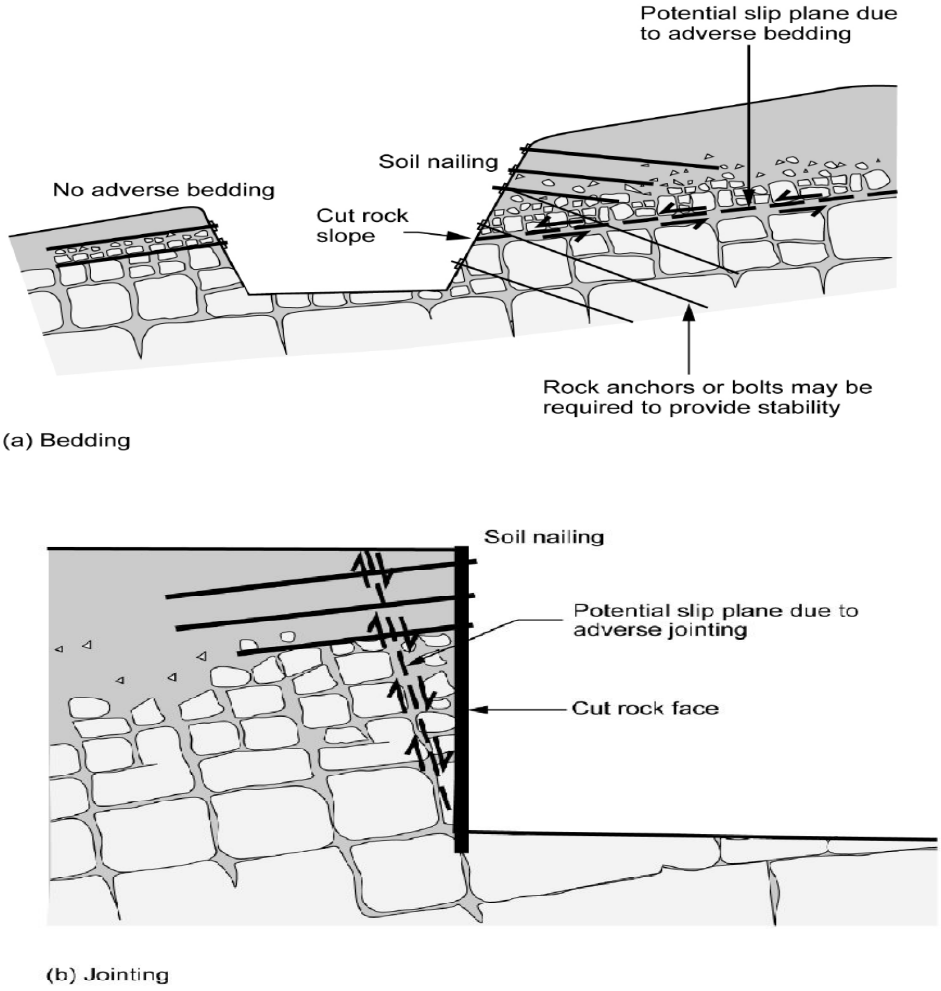
خواهد شد و باید تدابیری جهت زهکشی آن اتّخاذ گردد. اگر نشت آب زیر زمینی به درون جبهه خاکبرداری قابل توجه باشد مشکلات بسیاری در اجرای شاتکریت ایجاد خواهد کرد.



شکل(۲-۶): تاثیرات نامطلوب آب زیرزمینی بر پوشش دیوار CIRIA (2005)

- خاک های ریز دانه نرم یا بسیار نرم؛ در این نوع خاک ها به علّت کمبود درگیری بین دوغاب و خاک اطرف نیاز به طول میخهای بسیار زیاد و غیر منطقی است که پروژه را کاملاً غیر اقتصادی میکند. در خاک هایی که پلاستیسیته بالا دارند مسئله خزش باید مورد بررسی قرار گیرد که بدیهی است این امر در دیوارهایی که با کاربرد دائمی ساخته میشوند اهمیت پیدا میکند. خاک های دارای پلاستیسیته بالا ممکن است در اثر تورم باعث ایجاد فشارهای موضعی اضافی بر رویه-ی دیوار گردند.

- خاک های آلی؛ این نوع خاک ها عموما دارای مقاومت برشی پایین هستند که در نتیجه درگیری بسیار ضعیفی بین دوغاب میخ‌ها و زمین اطرف ایجاد خواهد شد و نیاز به استفاده از میخ های با طول زیاد خواهد بود. عموما این نوع خاک ها خیلی ناهمگن هستند و اگر در جهتی مقاومت برشی لازم را داشته باشند در بعضی جهات دیگر با کاهش مقاومت روبرو خواهیم بود که مجبور به استفاده از میخ های با طول غیر منطقی خواهیم شد. در ضمن در این نوع خاک ها پوسیدگی میخ ها خیلی بیشتر از انواع دیگر خاک ها است.
- آب زیر زمینی و خاک هایی که خطر پوسیدگی در آنها بالاست؛ در این نوع موارد ممکن است مجبور به استفاده از پوشش برای میخ‌ها باشیم که گران قیمت است. بدیهی است که این امر درکاربرد طولانی مدّت دیوارها اهمیت مییابد.
- سنگ های هوا زده دارای صفحه‌های ضعیف نامناسب؛ سنگ هایی که دارای درز و ترکهای نامناسب هستند ممکن است در هنگام حفّاری باعث ناپایداری جبهه کار گردند. در این مواقع گاها مجبور میشویم هر یک از بلوک ها را به صورت مجزّا پایدار کنیم که باعث افزایش غیر منطقی قیمت پروژه خواهد شد. در ضمن تزریق دوغاب در سنگهایی که دارای درزهای بسیار هستند کاری بسیار مشکل و هزینه بر است.

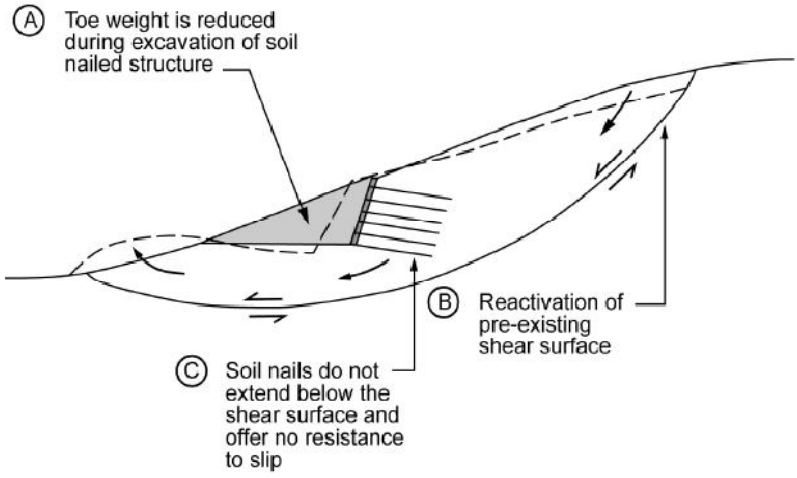


شکل(۲-۷): مشکلات ناشی از وجود لایه‌های ضعیف و درزها در سنگهای ضعیف و هوازده CIRIA (2005)

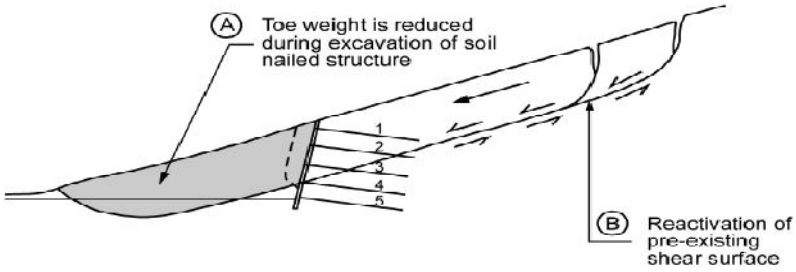
- بادرفت‌ها؛ در این نوع خاک ها معمولا در زمان خشک بودن مقاومت برشی قابل قبولی برای اجرای میخکوبی مشاهده میشود، ولی هنگامی که آب به این خاک ها نفوذ میکند باعث کاهش شدید مقاومت برشی آن میگردد. در صورت استفاده از روش میخ کوبی خاک در این نوع خاک ها باید تدابیر ویژه‌ای جهت کنترل جریان آب به آن اتّخاذ گردد. گاها جهت افزایش مقاومت تزریق دوباره انجام میگردد.

- خاکهایی که دارای قلوه سنگ بزرگ و سنگریزه میباشند؛ در صورتی که خاک دارای مقادیر زیادی قلوه سنگ بزرگ و سنگریزه باشد مشکلات زیادی برای حفّاری‌ها در این روش ایجاد خواهد کرد، ولی در صورتی که مقدار محدود از آنها موجود باشد میتوان با اصلاح جهت قرار گیری میخ ها مقداری از این مشکلات را حل کرد که محدودیت هایی از نظر اجرایی خواهد داشت.

- خاکهای رس حساس که در آنها قبلا لغزش اتفاق افتاده؛ خاکهای رس با پلاستیسیته بالا معمولا از خود حساسیت نشان میدهند، به عبارت دیگر مقاومت دست خورده‌ی آنها خیلی کمتر از مقاومت دست نخورده‌ی آنها میباشد. در این نوع موارد باید دقت ویژه‌ای به سطوح لغزش قبلی در خاک کرد. مثلا در شکل نشان داده شده قبلا لغزشی در توده خاک رخ داده و خاک مقاومت کمتری در روی سطح لغزش از خود نشان میدهد و با خاکبرداری پای شیروانی کل سیستم ناپایدار شده و لغزش رخ میدهد:



(a) Pre-existing shear surface below a soil-nailed structure



C
1. Soil nails 1, 4 and 5 are above or below shear surface and offer no resistance to slip
2. Soil nail 2 has little anchorage below the shear surface and is likely to pull out
3. The wall facing may offer nominal shear resistance but the majority of the driving force from the slip is transferred to nail 3 which is likely to fail by pullout or rupture

(b) Pre-existing shear surface through a soil-nailed structure

شکل(۲-۸): مثالی از تاثیر وجود صفحه لغزش قبلی در توده‌ی خاک میخکوبی شده CIRIA (2005)