گروه مهندسین

بسمه تعالی

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)

REV	شرح	تهیه	بررسی	تأیید	تصویب	تاریخ انتشار	محل ضرب مهرهای تحت کنترل- منسوخ
۰۳							
۰۲							
۰۱							
۰۰	پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)	وحید پاچیده	امیر ساعدی				

www daryan-co

تهران - سعادت آباد - خیابان ریاضی بخشایش - بن بست قائم - پلاک ۴ - طبقه چهارم

تلفن : ۷-۲۲۱۳۷۰۸۶ فکس : ۲۲۱۳۷۰۸۴

فهرست مطالب

۱-مقدمه ۳

۲-معرفی ۳

۳-اجزای دیوارهای میخکوبی شده ۳

۴-مراحل اجرا ۶

۵-شرایط استفاده از روش نیلینگ ۹

۵-۱- شرایط مناسب برای اجرای نیلینگ ۹

۵-۲- شرایط نامناسب و مشکل ساز اجرای نیلینگ ۱۰

۵-۳- شرایط متوسط برای اجرای نیلینگ ۱۴

۶-مزایا و معایب روش نیلینگ ۱۴

۶-۱- مزایا ۱۴

۶-۲- معایب ۱۵

۱- مقدمه

با پیشرفت روزافزون احداث ساختمان‌های با زیرزمین‌های عمیق، راه‌سازی، حفاری‌های عمیق زیرزمینی، حفاظت از ترانشه‌ها و . . . روش‌های نوین حفاظت از گود و ترانشه به طرز چشمگیری توسعه یافته‌اند. اکثراین روش‌ها براساس پایدارسازی گود بر مبنای جلوگیری از عدم تشکیل و یا کاهش پتانسیل تشکیل گوه گسیختگی خاک استوار است. یکی از پرکاربردترین و سریعترین روش‌های موجود استفاده از سیستم نیلینگ (میخ‌کوبی) و انکراژ است.در این دو روش از المان‌های کششی جهت افزایش مقاومت برشی سطح لغزش محتمل گوه گسیختگی، استفاده می‌شود. این المان‌های کششی عمدتاً میلگردهای فولادی هستند که در دون خاک قرار گرفته و در یک بیان ساده، گوه گسیختگی به توده خاکی پایدار پشت خودف دوخته می‌شود.

با توجه به کاربرد قابل توجه این روش‌ها در گودبرداری‌های ساختمانی بخصوص در شهرهای بزرگی مانند تهران، در این نوشتار به بررسی کلی آن‌ها پرداخته شده است.

۲- معرفی

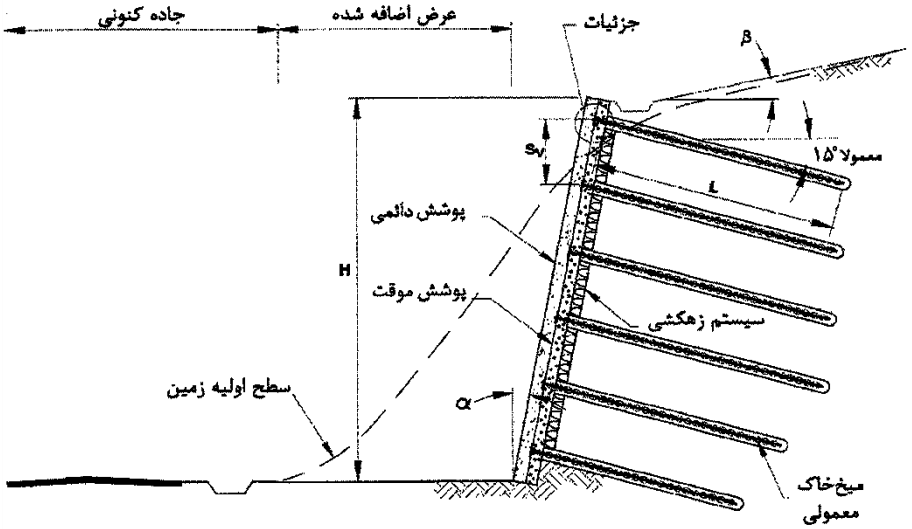
میخ‌کوبی خاک به معنای تحکیم غیر فعال (بدون اعمال پیش‌تنیدگی) زمین می‌باشد که انجام این کار به کمک نصب میله‌های فولادی (میخ‌ها[۱]) صورت می‌پذیرد. معمولاً توصیه بر آن است که میخ‌ها به زاویه‌ای بین ۱۰ الی ۲۰ درجه نسبت به افق در خاک رانده شوند تا از ظرفیت کششی آن‌ها بیشتر استفاده شود. سپس این میله‌ها به کمک تزریق در دوغاب سیمان قرار می‌گیرند. با ادامه روند ساخت که به صورت رو به پائین انجام می‌شود، یک لایه شاتکریت یا لایه‌ی بتنی نیز بر سطح حفاری اجرا می‌شود که پیوستگی میان میخ‌ها را برقرار کند. به طور معمول از این تکنیک جهت تحکیم شیب‌ها و گودبرداری‌هایی که حفاری آن‌ها به صورت از بالا به پائین انجام می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به کارگیری این تکنیک دارای امتیازاتی نسبت به دیگر سیستم‌های نگهداری می‌باشد. در صورتی که شرایط برای اجرای اینگونه دیوارها فراهم باشد، استفاده از آن نسبت به روش انکراژ یا سپرکوبی ارجحیت دارد.

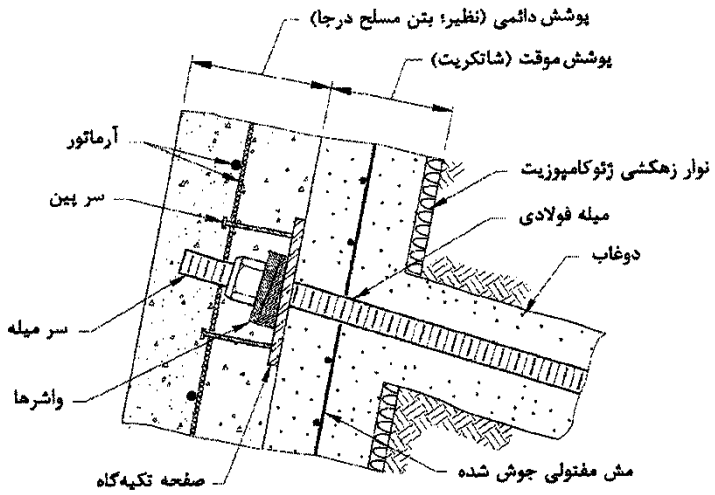
۳- اجزای دیوارهای میخ‌کوبی شده

روش کلیاجرا به این صورت است که ابتدا سوراخی جهت قراردادن میله‌ی آرماتور در دیوار حفر می‌شود، سپس آرماتور در درون آن قرار داده شده و اطراف چال و پیرامون آرماتور بوسیله‌ی دوغاب سیمان تزریق می‌شود. اجزای اصلی این دیوار عبارتند از(شکل ۱):

---

[۱] *Nails*





شکل ۱: اجزای مختلف سیستم نیلینگ

آرماتور فولادی: عنصر اصلی در این روش میله‌های توپر فولادی می‌باشند. آرماتورها در چال‌های از پیش حفر شده جای گرفته و به صورت درجا دوغاب ریزی می‌شوند. تنش کششی در آرماتورها به صورت غیرفعال می‌باشد؛ بدین معنی که پس از استحکام دوغاب، آرماتورها تحت کشش قرار نمی‌گیرند. در واقع تنش کششی به واسطه‌ی تغییرشکل و جابجایی زمین در آن‌ها تشکیل خواهد شد.

دوغاب: پس از قرارگیری آرماتور در چال، تزریق دوغاب انجام می‌شود. وظیفه‌ی اصلی دوغاب، انتقال تنش از زمین اطراف به آرماتور می‌باشد. همچنین دوغاب یک سطح محافظ خورندگی پیرامون آرماتور ایجاد می‌کند.

سر آرماتور: انتهای آرماتور به شکل رزوه شده می‌باشد که کمی بالاتر از سطح دیوار قرار می‌گیرد.

مهره شش‌گوش، واشر و صفحه تکیه‌گاهی: این قطعات جهت اتصال آرماتور به سطح خاک به سر آن بسته می‌شوند (شکل ۲).

شکل ۲: صفحه تکیه‌گاهی، مهره شش گوش و واشر

پوشش موقت و دائمی: این لایه‌ها، یکپارچگی سازه را مهیا می‌نماید. پوشش موقت به عنوان نگه‌دارنده صفحات تکیه‌گاهی و همچنین محافظت از خاک در معرض هوازدگی عمل می‌کند. پوشش موقت قبل از ادامه حفاری به تراز بعدی اجرا می‌گردد. پوشش دائمی پس از بستن مهره‌ها و در پایان کار روی پوشش موقت اجرا می‌شود.

نوار زهکشی ژئوکامپوزیتی: این لایه قبل از لایه‌ی شاتکریت جهت جمع‌آوری و هدایت نشت آب که ممکن است موجب تخریب سطح شاتکریت شود، اجرا می‌شود.

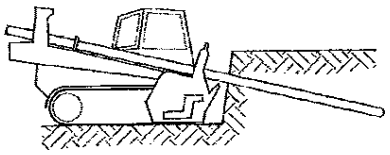
شکل ۳: نصب نوارهای زهکشی در پشت لایه‌ی مش و شاتکریت

٤- مراحل اجرا

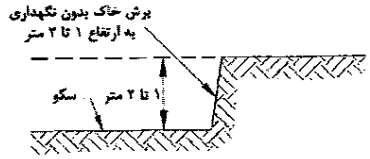
ترتیب کلی اجرای یک دیوار میخکوبی شده با استفاده از میله‌های فولادی صلب در ذیل توصیف شده است. شکل ۳ نمای شماتیک مراحل اجرای اینگونه دیوارها را نشان می‌دهد.

مرحله ۱، خاکبرداری(Excavation): خاکبرداری اولیه تا عمقی صورت می‌گیرد که خاک قادر باشد برای یک دوره زمانی کوتاه به طور معمول ۲۴ تا ۴۸ ساعت بدون مهار باقی بماند. عمق برداشت خاک معمولاً بین ۱ تا ۲ متر و به زیر ترازی که میخ‌ها نصب خواهند شد می‌رسد. عرض سکوی (*Platform*) خاکبرداری شده باید جهت استقرار تجهیزات کافی باشد.

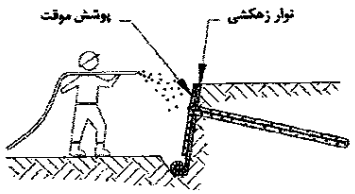
مرحله ۲، حفر سوراخ میخ‌ها : سوراخ‌ها با طول، قطر، شیب و فاصله افقی معین ازروی سکوی خاکبرداری شده حفر می‌شوند (شکل ۵).



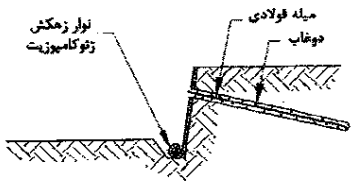
مرحله ۲: حفر چال



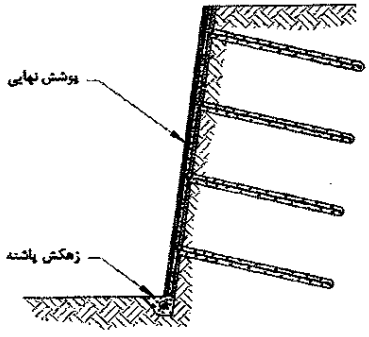
مرحله ۱: برش خاک به مقدار کم



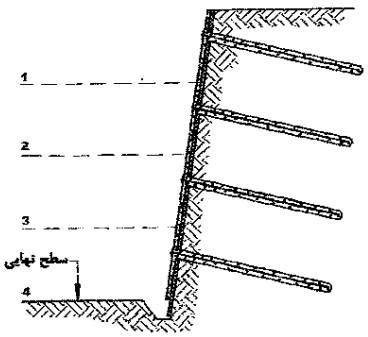
مرحله ۴: اجرای پوشش موقت
(شامل شاتکریت مسلح،
نصب صفحه تکیه‌گاه،
مهره و واشرها)



مرحله ۳: نصب و تزریق میخ
(به همراه نصب تراز زهکشی)



مرحله ۶: اجرای پوشش دائمی
در دیوارهای دائمی
(شامل احداث زهکش پاشنه)



مرحله ۵: ساخت طبقات زیرین

شکل ٤: نمای شماتیک مراحل پایدارسازی گود به روش نیلینگ

شکل ۵: دستگاه حفاری سوراخ میخ‌ها

مرحله ۳، نصب آرماتور و ملات ریزی: میله میخ در سوراخ از پیش حفر شده مستقر می‌شود. اگرچه میخ‌های فولادی تو خالی نیز می‌توانند بکار روند اما میله‌ها اغلب توپر هستند. فاصله‌گذارها[۱] (شکل۶) پیش از قرار دادن میخ در سوراخ به منظور کمک به صاف باقی ماندن آن درون سوراخ و فراهم کردن پوشش ملات محافظ کافی در اطراف میله میخ، بر روی میخ قرار می‌گیرند. همچنین لوله تزریق ترمی[۲] نیز در همین زمان داخل سوراخ رانده می‌شود.

شکل ٦: فاصله‌گذار

در مواقعی که به حفاظت از خوردگی شدید نیاز باشد، از یک غلاف پلاستیکی دندانه‌دار[۳] نیز جهت حفاظت مضاعف در برابر خوردگی استفاده می‌شود. سپس با ملات سیمان از درون لوله ترمی سوراخ حفر شده پر شود. ملات معمولا تحت جاذبه یا فشار کم تزریق می‌شود.اگر میله‌های توخالی خود حفار[۴] به کار می‌روند (تنها به عنوان سازه‌های موقت) حفاری و تزریق در یک مرحله عملیات صورت می‌گیرد. پیش از مرحله ۴ (اجرای پوسته) نوارهای زهکش ژئوکامپوزیت (شکل ۳) بر روی سطح شیروانی مصنوعی تقریباً در میان هر ستون از میخ‌های مجاور نصب می‌شوند. سپس طاقه نوارهای زهکش

---

[۱] *Centralizer*
[۲] *Termie*
[۳] *Corrugated plastic sheathing*
[۴] *Hollow self-drilling bars*

در برداشت بعدی خاک ، بر روی دیوار باز می شود. نوارهای زهکش تا پای گودبرداری امتداد یافته و در آنجا آب جمع‌آوری شده ازطریق زهکش در قسمت پنجه از دیوار میخکوبی شده منتقل می‌شود.

مرحله ٤، اجرای لایه‌ی شاتکریت موقت: یک لایه‌ی موقت جهت نگهداری مقطع حفاری شده و بازخاک در برابر هوازدگی، قبل از اینکه برداشت بعدی خاک صورت گیرد، اجرامی‌شود. اغلب لایه‌های موقت معمول شامل یک لایه شاتکریت که به طور سبک مسلح شده و دارای ضخامت معمول ۱۰۰mm هستند، می‌باشند. معمولاً جهت تسلیح این لایه‌ی بتنی از شبکه‌های فولادی (مش) استفاده می‌شود(شکل ۷) . ابعاد مش‌ها به گونه‌ای باید باشد که حداقل یک چشمه کامل شبکه با پانل بعدی مش هم‌پوشانی کند. بعد از زمان گیرش مناسب این لایه‌ی موقتف صفحه باربر بر روی میخ که از سوراخ بیرون آمده نصب می‌شود.سپس یک مهره و واشر جهت محکم کردن سر میخ به صفحه باربر بسته می‌شود. بعد از اینکه پوسته موقت به گیرش کافی رسید مهره با گشتاور حداقل لازم محکم می‌شود. گیرش معمولاً حداقل ۲۴ ساعت زمان نیاز دارد.در صورت نیاز ممکن است آزمایش میخ‌های نصب شده جهت اندازه‌گیری تغییر شکل (برای مقایسه با ضوابط طراحی) و تعیین ظرفیت باربری، قبل از خاک‌برداری بعدی صورت پذیرد. قبل از اقدام به برداشت خاک در مرحله بعد؛ شاتکریت باید حداقل ۷۲ ساعت زمان گیرش داشته یا حداقل مقاومت فشاری مشخصه ۳ روزه (عموماً ۱۰٫۵Mpa=۱٫۵۰۰psi) را دارا باشد.

شکل ۷: اجرای لایه موقت مش و شاتکریت

مرحله ٥، اجرای ترازهای بعدی: مرحله ۱ تا ۴ برای سایر بخش‌های خاک‌برداری تکرار می‌شود. در هر برداشت خاک، نوارهای زهکش به سمت پائین و بر روی سطح خاکبرداری بعدی باز می‌شوند و یک پانل جدید مش با همپوشانی حداقل به اندازه یک چشمه پانل استقرار می‌یابد. شاتکریت موقت با درز سرد به شاتکریت مرحله قبل متصل می‌شود. در پایین گودبرداری، نوارهای زهکش به زهکش قسمت پنجه بسته می‌شوند.

مرحله ٦، ساخت لایه‌ی دائمی (نهایی): بعد از اینکه گودبرداری به انتها رسید و میخ‌ها نصب و بارها توزیع شد، ممکن است لایه‌ی دائمی اجرا شود. این لایه می‌تواند از بتن مسلح درجا یا بتنشاتکریت مسلح یا پانل‌های پیش ساخته تشکیل شده باشد.مسلح کننده لایه‌ی دائمی، میلگردهای معمولی یا شبکه مش می‌باشد.

ممکن است تغییری بین مراحل توضیح داده شده در بالا جهت سازگاری با شرایط خاص پروژه لازم باشد. به طور مثال ممکن است در هر برداشت خاک، اجرای شاتکریت بلافاصله بعد از خاکبرداری و پیش از حفر سوراخ و نصب میخ صورت گیرد، خصوصاً هنگامی که پایداری دیواره امری ضروری باشد.

۵- شرایط استفاده از روش نیلینگ

میخ کوبی دیوارهای خاکی می تواند در محدوده گسترده ای از انواع خاک ها و شرایط مختلفی به کار گرفته شود.تجربه در پروژه ها نشان داده است در صورت مطلوب بودن شرایط زمین، استفاده از نیلینگ نسبت به تکنیک‌های دیگر اقتصادی تر خواهد بود. به عکس، اگر شرایط نامطلوب خاک سرسری گرفته شود ممکن است استفاده از روش میخکوبی نسبت به دیگر روش ها بسیار پر هزینه تر تمام شود. معمولاً میخ کوبی دیوارهای خاکی می تواند در شرایط لایه بندی پیچیده انجام شود به شرط آنکه هر یک از لایه ها در مقطع خاک از مصالح مناسبی تشکیل شده باشد. در بخش های بعدی شرایط مناسب خاک جهت به کارگیری این روش گفته می شود. شرایط متوسط خاک نیز مد نظر قرار گرفته است اما وضعیت امکان سنجی میخ خاک ها در این شرایط صریحاً مشخص نمی باشد.

۵-۱- شرایط مناسب برای اجرای نیلینگ

سیستم دیوارهای خاکی میخکوبی شده در خاکهای مختلفی با موفقیت اجرا شده است. عموماً هنگامی که شرایط خاک مناسب باشد، سختی ها و پیچیدگی های ساخت مرتبط با زمان اجرای عملیات وجود ندارد. مواردی که میخکوبی خاک توجیه اقتصادی و تکنیکی داشته است عبارتند از:

- خاکهایی که در هنگام گودبرداری هر فاز، قادر به پایداری بدون حائل به ارتفاع ۱ تا ۲ متر بصورت قائم یا نزدیک به قائم برای مدت زمان ۱ تا ۲ روز باشند.
- تمام میخ هایی که در مقطع عرضی، بالای سطح آب زیرزمینی واقع شده اند؛
- در صورتی که میخ‌ها زیر سطح ایستابی قرار گیرند، وجود آب زیرزمینی تأثیر سوئی بر جبهه کار حفاری و قدرت چسبندگی بین دوغاب و پیرامون آن نداشته باشد و در طولانی مدت بر پایداری دیوار میخ‌کوبی شده تأثیری نگذارد (برای مثال، خواص شیمیایی خاک موجب افزایش فرسودگی نشود).

چنانچه شرایط زمین طوری باشد که چال‌های حفاری شده بتوانند به مدت چند ساعت (تا زمان گذاشتن آرماتورها و تزریف دوغاب) پایدار بمانند و نیازی به کارگذاری غلاف پلاستیکی نباشد، امتیازی برای این روش محسوب می‌گرددف هرچند که این شرط جهت به کارگیریاین روش الزامی نیست. در صورتی‌که دیواره‌ی چال‌ها پایدار نباشد، ضمن اینکه

چال‌ها با استفاده از آگر[۱] حفر می‌شوند، از غلاف‌های دائمی یا موقت نیز استفاده می‌شود. نکته مهم این است که انتخاب روش چال‌زنی معمولاً به طور مستقیم به عهده‌ی پیمانکار نصب میخ خاک گذاشته می‌شود.

بر اساس معیارهای عمومی فوق الذکر، خاکهای زیر برای اجرای نیلینگ مطلوب می باشد:

۱- **خاکهای ریزدانه سخت تا مقاوم:** خاکهای ریزدانه(یا چسبنده) ممکن است شامل رسهای سخت تا مقاوم، سیلت های رسدار، رس های لای دار، رس های ماسه دار، لای های ماسه دار و ترکیبی از آنها باشد. اینگونه خاکهای ریزدانه بطور تجربی می تواند شامل خاکهای سفت باشد که عدد *SPT-N* آنها لااقل ۹ ضربه به ازای ۳۰۰ میلیمتر است. با این حال برای تعیین مشخصات استقامتی خاکهای ریزدانه، نباید منحصراً به مقادیر *SPT-N* تکیه شود. در عوض، مشخصات استقامتی (مقاومت برشی) باید بوسیله دیگر آزمایش های محلی یا آزمایشگاهی تهیه شود. برای به حداقل رساندن جابجایی های افقی درازمدت دیوارهای میخ‌کوبی شده، خاکهای ریز دانه باید خاصیت خمیری نسبتاً کمی داشته باشند (به عنوان مثال با$PI<$۱۵).

۲- **خاکهای دانه ای متراکم تا خیلی متراکم با چسبندگی کم:** اینگونه خاکها شامل ماسه و شن می باشند و اعداد *SPT-N* بزرگتر از ۳۰ را نتیجه می دهند و با مقداری ریزدانه (معمولاً نه بیشتر از ۱۰ تا ۱۵ درصد) یا با سیمان طبیعی برای تامین چسبندگی همراه هستند. نیروهای موئینگی در ماسه های ریز ممکن است یک چسبندگی ظاهری ایجاد نماید؛ در کل، چسبندگی ظاهری برای این خاکها باید بزرگتر از ۵ کیلوپاسکال باشد تا زمان خودپایداری معقولی را تضمین نماید. برای جلوگیری از قطع شدید نیروهای موئینگی و بواسطه آن کاهش در چسبندگی ظاهری، لازم است جریان آب به سمت سطح گودبرداری به حداقل برسد که این عمل می تواند از طریق هدایت آب‌های سطحی به خارج از سینه کار انجام شود.

۳- **سنگ هوازده بدون هیچگونه سطوح شکست:** سنگ هوازده به شرطی می تواند یک تکیه گاه مناسب برای میخ ها تامین نماید که سطوح شکست در جهت های نامطلوب غالب نباشد. اگر درجه هوازدگی در کل سنگ تقریباً یکنواخت باشد، در این حالت تنها یک روش حفاری و نصب کافی خواهد بود که این امری مطلوبست. برعکس، تغییرات زیاد در هوازدگی سنگ در یک سایت ممکن است تیم مجری را مجبور به تعویض تجهیزات حفاری و یا تغییر روشهای نصب نماید و بواسطه آن اجرای نیلینگ را پر هزینه سازد.

۴- **رسوبات یخچالی:** اینگونه خاکها معمولاً برای کاربرد نیلینگ مناسب هستند؛ بدلیل آنکه معمولاً متراکم، خوب دانه بندی شده یا با مقدار محدودی ریزدانه همراه هستند.

۵-۲- شرایط نامناسب و مشکل ساز اجرای نیلینگ

موارد نامناسب و شرایط دشوار زمین جهت میخ‌کوبی خاک عبارتند از:

۱- **خاک‌های خشک و بدون چسبندگی:** خاک‌های بدون چسبندگی کاملاً خشک بوده و فاقد ریزدانه چسبنده یا سیمان طبیعی هستند که اصطلاحاً به آن‌ها خاک‌های ریزشی گفته می‌شود. بنابراین دسترسی به گودبرداری‌های عمودی یا نزدیک به قائم بسیار دشوار است.

---

[۱] *Hollow-stem drilling*

شکل ۸: گسیخته شدن دیوار میخکوبی شده در خاک بدون چسبندگی

۲- **وجود آب زیرزمینی زیاد:** وجود آب زیرزمینی در پشت دیوار میخ‌کوبی شده، ضرورت استفاده از سیستم زهکشی را ایجاب می‌کند. علاوه بر این میزان آب زیرزمینی زیاد موجب فروپاشی زودرس چال‌های حفر شده می‌گردد (به خصوص در خاک‌های با دانه‌بندی ضعیف). لذا هزینه‌ی نصب میخ‌ها بسیار گران تمام خواهد شد. همچنین تراوش زیاد آب زیرزمینی از جبهه کار ممکن است باعث مشکلات اساسی در استفاده از شاتکریت گردد(شکل ۹).

شکل ۹: هجوم آب زیرزمینی به داخل گود و ایجاد اشکال در روند اجرایی پروژه

۳- **خاک‌ای دارای تخته سنگ و قلوه سنگ:** وجود مقدار زیاد تخته سنگ و قلوه سنگ در خاک ممکن است موجب افزایش مشکلات حفاری و در نتیجه افزایش هزینه‌های ساخت و زمان اجرا گردد. هنگامی که در محیط خاکی مقدار تخته سنگ و قلوه سنگ کم باشد، تغییر مکان چالزنی از محلی به محل دیگر کمتر صورت گرفته و مشکلات کمتری را در پی خواهد داشت.

۴- **خاک‌های ریزدانه نرم تا خیلی نرم:** این نوع خاک‌ها مموماً *SPT* کمتر از ۴ داشته و برای بکارگیری روش میخ‌کوبی نامناسب هستند؛ زیرا دوغاب تزریق شده مقاومت چسبندگی ضعیفی با خاک ایجاد می‌کند و بنابراین لازم است جهت رسیدن به مقاومت مورد نیاز، طول‌های بلندتری از میخ‌ها مور استفاده قرار گیرد (شکل ۱۰). در رس‌های با درجه پلاستیک بالا، جابجایی‌های وابسته به زمان (خزش) از اهمیت زیاد برخوردار است. پدیده خزش در کاربردهای موقت اهمیت کمتری دارد، ولی برای سازه‌های دائمی مشکل افرین است. به کارگیری و اجرای هرگونه سازه نگهبان در عملیات گودبرداری در خاک‌های ریزدانه و نرم، دارای پتانسیل ناپایداری زیادی در کف گود می‌باشد. علاوه بر این، خاک‌های با درجه‌ی بالای پلاستیسیته ممکن است فروپاشیده شده و یا ممکن است در نتیجه‌ی تورم و آماس، در سطح حفاری فشار نقطه‌ای اضافی ایجاد نماید.

شکل ۱۰: گسیخته شدن دیوار میخ‌کوبی شده به دلیل اجرا در خاک رسی نرم

۵- **خاک‌های آلی:** برخی از خاک‌های آلی مانند گل‌های آلی، رس‌های آلی و ذغال سنگ‌ها معمولاً مقاومت برشی بسیار کمی داشته و در نتیجه مقاومت چسبندگی آن‌ها نیز ضعیف استف تا آنجه که اجرای نیلینگ در اینگونه خاک‌ها غیراقتصادی خواهد بود (به دلیل لزوم استفاده از آرماتورهای بلند). برخی از خاک‌های آلی مقاومت‌های قابل قبولی دارند و برخی دیگر از آن‌ها مانند ذغال فیبری ممکن است به شدن ناهمگن و ناهمسان باشند. در این موارد، باوجود اینکه مقاومت برشی خاک می‌تواند در برخی از امتدادهها منطقی و قابل قبول باشد، ولی ممکن است در جهات دیگر مقدار آن کم باشد. وجود جهات نامطلوب ممکن است تأثیر سوئی در پایداری دیوار داشته

و آرماتورهای بلند مورد نیاز باشد. علاوه بر این، روند فرسایش خاک‌های آلی نسبت به خاک‌های غیرآلی، بیشتر است.

۶- **خاک‌های خورنده (خاکستر، سربار) یا آب زیرزمینی اسیدی:** در این شرایط ممکن است استفاده از یک سیستم حفاظتی گران‌قیمت مورد نیاز باشد که به طور قطع بزرگترین عیب استفاده از روش نیلینگ در این شرایط خواهد بود.

۷- **سنگ‌های هوازده ودارای صفحات ضعیف و آهکی:** سنگ‌های هوازده به همراه صفحات نامناسب نظیر درزه-ها، شکستگی‌ها، بریدگی‌ها، گسل‌هاف چین‌ها، شیست‌های متورق و شکافتگی مکن است در چال‌زنی و پایداری چال تأثیر گذاشته و مشکلاتی برای تزریق ایجاد نماید. علاوه بر این، وجود این ناپیوستگی‌ها پتانسیلی برای تشکیل بلوک‌های ناپایدار در توده سنگ شده که در حین حفاری خطراتی را در پی خواهد داشت. ناپایداری بلوک‌های مرزی ممکن است در نتیجه‌ی وجود عواملی نظیر بریدگی در درزه‌هاف فشارهای هیدرواستاتیک جانبی و رو به بالا و نیروهای منفذی تشدید گردد. همچنین ممکن است تأمین پایداری تک تک بلوک‌ها لازم باشد که در مقایسه با اجرای معمول نیلینگ، غیراقتصادی خواهد شد. علاوه بر این، تزریق در سنگ‌های حفره دار و درزه‌های باز شده بسیار دشوار بوده و در نتیجه فرار دوغاب، موجب پرهزینه شدن اجرای نیلینگ می‌شود.

۸- **گل و لای رسی:** گل و لای هنگامی که خشکد هستند مقاومت قابل قبولی دارند و اجرای نیلینگ درآن‌ها اقتصادی می‌باشد. اما هنگامی که میزان قابل توجهی آب به پشت دیواره نفوذ کند، سازه ممکن است در اثر کاهش مقاومت برشی، فروپاشده شده و مقاومت آن از بین برود. بنابراین احتمال فروپاشی در شرایط مرطوب این گونه خاک‌ها باید مدنظر قرار گیرد. برای جلوگیری از تجمع آب در محدوده‌ی دیوار میخ‌کوبی شده باید اقدامات پیش‌گیرانه مناسبی صورت گیرد تا از فروپاشی گل و لای خشک شده جلوگیری شود. علاوه بر این در شرایط مرطوب، به آرماتورهای بلندتری جهت تأمین چسبندگی مورد نیاز خواهد بود که موجب غیراقتصادی شدن این روش می‌گردد. از طرف دیگر نیاز به تزریق مجدد در گل‌های رسی جهت افزایش مقاومت چسبندگی نیز بر میزان هزینه‌ها خواهد افزود.

علاوه بر مطالب فوق، به هنگام مطالعات فنی و اقتصادی، جنبه‌های دیگری از خاک نیز باید مدنظر قرار گیرد که عبارتند از:

- سرمای طولانی مدت و دمای زیر صفر که ممکن است موجب تشکیل بلور یخ در خاک‌های دانه‌ای و گل‌های اشباع گردد و در نتیجه فشار مضاعف بر دیوارهای حایل موقت و دائمی وارد شود.
- تکرار دوره‌های یخ‌بندان که موجب کاهش مقاومت چسبندگی سطح اشتراک خاک و دوغاب و همچنین بین خاک و شاتکریت می‌گردد. برای کم کردن تأثیرات مخرب، حفاظت مناسبی جهت جلوگیری از تشکیل بلورهای یخ باید صورت گیرد و ترکیب مناسبی از شاتکریت استفاده گردد.
- خاک‌های دانه‌ای خیلی شل ($SPT<۴$) و شل ($۴<SPT<۱۰$) ممکن است در نتیجه‌ی لرزش حاصل از عبور وسایل نقلیه و تجهیزات ساخت، دستخوش نشست مضاعف گردند.
- خاک‌های دانه‌ای شل و خیلی شل در مناطق لرزه‌خیز ممکن است دچار روانگرایی شوند. تکنیک‌های بهسازی مختلفی برای متراکم نمودن خاک‌های دانه‌ای وجود دارد که می‌تواند از این اثرات جلوگیری نماید.

۵-۳- شرایط متوسط برای اجرای نیلینگ

وضعیت بینابینی نیز نسبت شرایطی که توضیح داده شد وجود دارد. اگرچه داشتن شرایط ایده‌ال خوب است، اما در شرایط کمی نامطلوب هم اجرای روش نیلینگ نتایج رضایت بخشی (چه از نظر مهندسی و چه از نظر اقتصادی) داده است. مواردی از این شرایط متوسط عبارتند از:

- **خاکریز:** میخکوبی در خاکریز می‌تواند انجام شود، به شرط آنکه مواد دانه‌ای بکار رفته در مخلوط، از دانه‌بدی خوبی برخوردار بوده (حدود ۹۰درصد مخلوط) و خاک ریزدانه (زیر ۱۰ درصد) خاصیت پلاستیکی کمی داشته باشد ($PI<5$).
- **خاک‌های رسوبی:** خاک‌های رسوبی (نظیر خاک‌های برجا مانده از تخته سنگ هوازده) ممکن است محیط مناسبی برای اجرای روش میخکوبی باشد. همچنین، خاک سرخ، نوعی خاک هوازده منطقه‌ی استوایی، نیز ممکن است برای اجرای این روش قابل قبول باشد. در این موارد ملاحظات ویژه ای جهت تغییرپذیری حجمی و قابلیت زهکشی خاک باید صورت گیرد.

٦- مزایا و معایب روش نیلینگ

٦-١- مزایا

میخکوبی خاک نسبت به روش‌های دیگر پایدارسازی و سازه‌های نگهبان (نظیر انکراژ، دیوار دیافراگمی، حائل‌بندی و . . .) امتیازات بیشماری دارد که برخی از آنها در این بخش اشاره خواهد شد.

اجرا:

- نسبت به نصب انکرها فضای کمتری از راه اشغال می‌شود (به جهت طول کوتاه‌تر میله‌ها)
- تداخل کمتری با ترافیک داشته و در نتیجه تأثیر محیطی کمتری در مقایسه با روش‌های دیگر دارد.
- اشغال فضا در کف گود کمتر است، به خصوص در مقایسه با روش مهار متقابل (استرات).
- در این روش در پائین گودبرداری هیچگونه عضو سازه‌ای نظیر ستون‌های نگهدارنده که در روش دیوار برلنی مورد استفاده قرار می‌گیرد، نیاز نمی‌باشد.
- نصب میخ‌ها نسبتاً سریع است و معمولاض مصالح کمتری نسبت به دیوارهای انکراژ استفاده می‌شود.
- نتنظیم و جانمایی مجدد میخ‌ها هنگام برخور با موانع (نظیر تخته سنگ‌ها، لوله‌ها و تأسیسات مدفون) امکان‌پذیر است. در حالیکه تغییر موقعیت افقی انکرها مشکل‌تر و تقریباً تنظیم و هماهنگی آن‌ها در محل، پرهزینه می‌باشد.
- به دلیل اطمینان بیشتر میخ‌ها نسبت به انکره، دستکاری و اصلاح طرح میخ‌ها بدون از دست دادن سطح ایمنی، راحت‌تر صورت می‌گیرد.
- تجهیزات نصب میخ‌ها نسبت به تجهیزات نصب دیوارهای انکراژی کوچک‌تر هستند که این مسأله به خصوص زمانی که ساخت و ساز زیر پل انجام می‌شود اهمیت بیشتری دارد.
- در نقاط صعل‌العبور، میخکوبی به دلیل کوچکی تجهیزات از برتری ویژه‌ای برخوردار است.

- تعداد پیمانکاران باتجربه و ماهر در زمینه‌ی نیلینگ هر سال در حال افزایش است.

عملکرد:

- دیوارهای میخکوبی شده نسبتاً انعطاف‌پذیر بوده و می‌توانند نشست‌های تقریباً بزرگی را تحمل نمایند.
- تغییر شکل و خمش دیوارهای میخکوبی شده معمولاً قابل قبول و در محدوده‌ی مجاز می‌باشد.
- دیوارهای میخکوبی شده در زمین‌لرزه به دلیل انعطاف‌پذیری کل سیستم، از عملکرد خوبی برخوردار هستند.

هزینه:

- بکارگیری روش‌های مرسوم در ساخت دیوارهای میخکوبی شده از ساخت دیوار حایل بتنی، اقتصادی‌تر می‌باشد.
- معمولاً روش میخکوبی متعارف، هم قیمت یا ارزان‌تر از ساخت دیوارهای انکراژی متعارف تمام می‌شود.
- به طور معمول احداث لایه شاتکریت از ساخت انواع دیگر پوشش بتنی که در روش‌های مختلف استفاده می‌شود، هزینه‌ی کمتری دارد.

٦-٢- معایب

برخی از معایب این روش عبارتند از:

- روش میخکوبی خاک در پروژه هایی که کنترل جابجایی حائز اهمیت و جدی باشد (مثلاً قرارگیری سازه‌ها و تأسیسات در پشت دیوار) مناسب نمی‌باشد؛ زیرا این سیستم جهت انسجام نیروهای مقاومتی نیاز به مقداری جابجایی دارد. برای حل این مشکل می‌توان از میخ‌های پیش‌تنیده استفاده کرد، لکن هزینه‌ی پروژه افزایش خواهد یافت.
- در ردیف‌های بالا، وجود تأسیسات مدفون در محل نصب آرماتورها ممکن است موقعیت، شیب و طول آن‌ها را با مشکل مواجه سازد.
- در شرایطی که نشت آب زیرزمینی زیاد باشد، به دلیل عدم پایداری جبهه کار حفاری تا زمان نصب آرماتورها، به کارگیری روش میخکوبی خاک چندان مناسب نمی‌باشد.
- استفاده از دیوار میخکوبی شده به عنوان سازه نگهبان دائمی نیازمند وجود اطمینان از شرایط زیرزمینی دارد.
- نصب میخ‌ها نیاز به پیمانکاران متخصص و ویژه‌ای دارد.