

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)

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

	پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)									
	صفحه: ۲	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
	شهریور ۹۳							۰۱		

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

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)										
صفحه: ۳		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
شهریور ۹۳								۰۱		

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. اکثر این 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 (میخ کوبی) 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 خود فروخته 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.

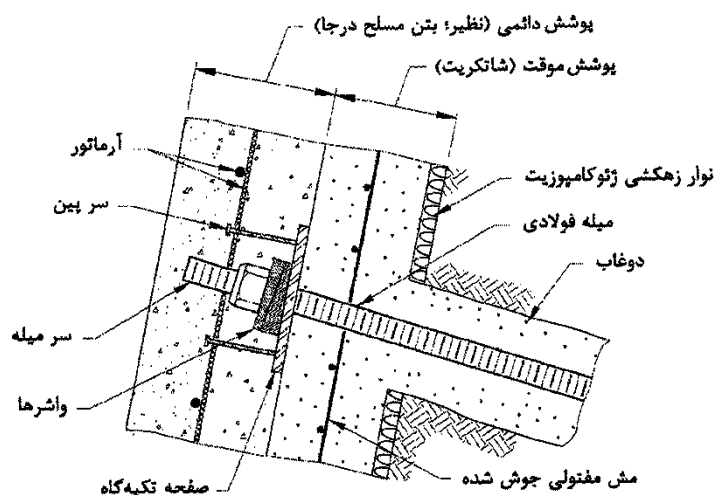
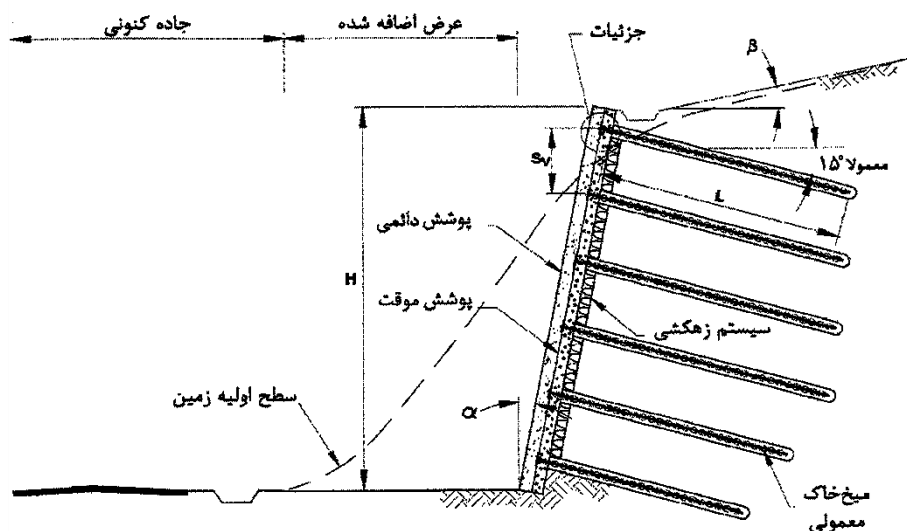
۲- معرفی

میخ کوبی خاک به معنای تحکیم غیر فعال (بدون اعمال پیش‌تیدگی) 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 لایه 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 سپر کوبی ارجحیت دارد.

۳- اجزای دیوارهای میخ کوبی شده

روش کلی اجرا 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):

¹ 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 تغییر شکل 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 شش گوش، واشر و صفحه تکیه گاهی: این قطعات جهت اتصال آرماتور به سطح خاک به سر آن بسته می‌شوند

(شکل ۲).

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)									 گروه مهندسين D/M
صفحه: ۵		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
شهریور ۹۳								۰۱	



شکل 2: صفحه تکیه گاهی، مهره شش گوش و واشر

پوشش موقت و دائمی: این لایه ها، یکپارچگی سازه را مهیا می نماید. پوشش موقت به عنوان نگه دارنده صفحات تکیه گاهی و همچنین محافظت از خاک در معرض هوازدگی عمل می کند. پوشش موقت قبل از ادامه حفاری به تراز بعدی اجرا می گردد. پوشش دائمی پس از بستن مهره ها و در پایان کار روی پوشش موقت اجرا می شود.

نوار زهکشی ژئوکامپوزیتی: این لایه قبل از لایه ی شاتکریت جهت جمع آوری و هدایت نشت آب که ممکن است موجب تخریب سطح شاتکریت شود، اجرا می شود.



شکل 3: نصب نوارهای زهکشی در پشت لایه ی مش و شاتکریت

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)									
صفحه: ۶		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
شهریور ۹۳								۰۱	

۴- مراحل اجرا

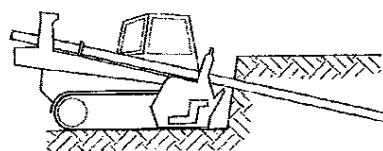
ترتیب کلی اجرای یک دیوار میخکوبی شده با استفاده از میله‌های فولادی صلب در ذیل توصیف شده است. شکل ۳ نمای شماتیک مراحل اجرای اینگونه دیوارها را نشان می‌دهد.

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 تراز میخ‌ها نصب خواهند شد می‌رسد. عرض سکوی (Platform) خاکبرداری شده باید جهت استقرار تجهیزات کافی باشد.

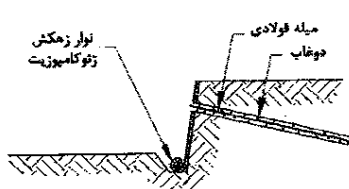
مرحله ۲، حفر سوراخ میخ‌ها: سوراخ‌ها با طول، قطر، شیب و فاصله افقی معین از روی سکوی خاکبرداری شده حفر می‌شوند (شکل ۵).



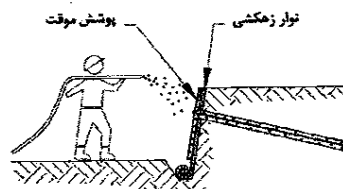
مرحله ۱: برش خاک به مقدار کم



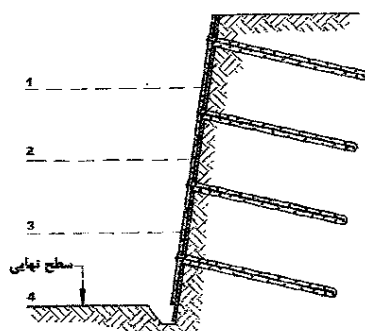
مرحله ۲: حفر چال



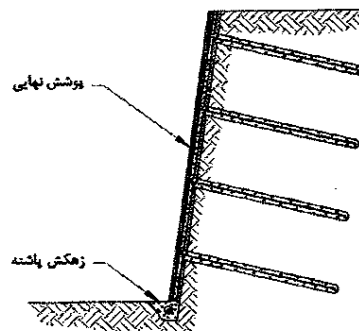
مرحله ۳: نصب و تزریق میخ (به همراه نصب نوار زهکشی)



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



مرحله ۵: ساخت طبقات زیرین



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

شکل ۴: نمای شماتیک مراحل پایدارسازی گود به روش نیلینگ

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)									گروه مهندسين دانا
صفحه: ۷		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
شهریور ۹۳								۰۱	



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 (شکل ۶) 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 ۶: 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 معمولاً 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

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)									گروه مهندسين DMS
صفحه: ۸		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
شهریور ۹۳								۰۱	

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

مرحله ۴، اجرای لایه شاتکریت موقت: یک لایه موقت جهت نگهداری مقطع حفاری شده و بازخاک در برابر هوازدگی، قبل از اینکه برداشت بعدی خاک صورت گیرد، اجرامی شود. اغلب لایه های موقت معمول شامل یک لایه شاتکریت که به طور سبک مسلح شده و دارای ضخامت معمول 100mm هستند، می باشند. معمولاً جهت تسلیح این لایه بتنی از شبکه های فولادی (مش) استفاده می شود (شکل ۷). ابعاد مش ها به گونه ای باید باشد که حداقل یک چشمه کامل شبکه با پانل بعدی مش هم پوشانی کند. بعد از زمان گیرش مناسب این لایه موقت صفحه باربر بر روی میخ که از سوراخ بیرون آمده نصب می شود. سپس یک مهره و واشر جهت محکم کردن سر میخ به صفحه باربر بسته می شود. بعد از اینکه پوسته موقت به گیرش کافی رسید مهره با گشتاور حداقل لازم محکم می شود. گیرش معمولاً حداقل ۲۴ ساعت زمان نیاز دارد. در صورت نیاز ممکن است آزمایش میخ های نصب شده جهت اندازه گیری تغییر شکل (برای مقایسه با ضوابط طراحی) و تعیین ظرفیت باربری، قبل از خاک بردای 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 $1,500\text{psi}=10.5\text{Mpa}$) را دارا باشد.



شکل ۷: اجرای لایه موقت مش و شاتکریت

مرحله ۵، اجرای ترازهای بعدی: مرحله ۱ تا ۴ برای سایر بخش های خاک برداری تکرار می شود. در هر برداشت خاک، نوارهای زهکش به سمت پائین و بر روی سطح خاک برداری بعدی باز می شوند و یک پانل جدید مش با هم پوشانی حداقل به اندازه یک چشمه پانل استقرار می یابد. شاتکریت موقت با درز سرد به شاتکریت مرحله قبل متصل می شود. در پایین گودبرداری، نوارهای زهکش به زهکش قسمت پنجه بسته می شوند.

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)									
صفحه: ۹		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
شهریور ۹۳								۰۱	

مرحله ۶، 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 بتن‌شاکریت 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 شاکریت 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 می‌تواند در محدوده گسترده‌ای از انواع خاک‌ها و شرایط مختلفی به کار گرفته شود. تجربه در پروژه‌ها نشان داده است در صورت مطلوب بودن شرایط زمین، استفاده از نیلینگ نسبت به تکنیک‌های دیگر اقتصادی‌تر خواهد بود. به عکس، اگر شرایط نامطلوب خاک سرسری گرفته شود ممکن است استفاده از روش میخکوبی نسبت به دیگر روش‌ها بسیار پرهزینه‌تر تمام شود. معمولاً میخ کوبی دیوارهای خاکی می‌تواند در شرایط لایه بندی پیچیده انجام شود به شرط آنکه هر یک از لایه‌ها در مقطع خاک از مصالح مناسبی تشکیل شده باشد. در بخش‌های بعدی شرایط مناسب خاک جهت به کارگیری این روش گفته می‌شود. شرایط متوسط خاک نیز مد نظر قرار گرفته است اما وضعیت امکان سنجی میخ خاک‌ها در این شرایط صریحاً مشخص نمی‌باشد.

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، سختی‌ها و پیچیدگی‌های 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 میخ‌هایی که در مقطع عرضی، بالای سطح آب زیرزمینی واقع شده‌اند؛

- 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 میخ کوبی شده تأثیری نگذارد (برای مثال، خواص شیمیایی خاک موجب افزایش فرسودگی نشود).

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

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)										
صفحه: ۱۰		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
شهریور ۹۳								۰۱		

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 فوق‌الذکر، خاکهای زیر برای اجرای نیلینگ مطلوب می‌باشد:

۱- **خاکهای ریزدانه سخت تا مقاوم:** خاکهای ریزدانه (یا چسبنده) ممکن است شامل رسهای سخت تا مقاوم، سیلت‌های رس‌دار، رس‌های لای‌دار، رس‌های ماسه‌دار، لای‌های ماسه‌دار و ترکیبی از آنها باشد. اینگونه خاکهای ریزدانه بطور تجربی می‌تواند 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 منحصرأ به مقادیر $SPT-N$ تکیه شود. در عوض، مشخصات استقامتی (مقاومت برشی) باید بوسیله دیگر آزمایش‌های محلی یا آزمایشگاهی تهیه شود. برای به حداقل رساندن جابجایی‌های افقی درازمدت دیوارهای میخ‌کوبی شده، خاکهای ریزدانه باید خاصیت خمیری نسبتاً کمی داشته باشند (به عنوان مثال با $PI < 15$).

۲- **خاکهای دانه‌ای متراکم تا خیلی متراکم با چسبندگی کم:** اینگونه خاکها شامل ماسه و شن می‌باشند و اعداد $SPT-N$ بزرگتر از ۳۰ را نتیجه می‌دهند و با مقداری ریزدانه (معمولاً نه بیشتر از ۱۰ تا ۱۵ درصد) یا با سیمان طبیعی برای تامین چسبندگی همراه هستند. نیروهای موئینگی در ماسه‌های 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 می‌تواند از طریق هدایت آب‌های سطحی به خارج از سینه کار انجام شود.

۳- **سنگ هوازده بدون هیچگونه سطوح شکست:** سنگ هوازده به شرطی می‌تواند یک تکیه‌گاه مناسب برای میخ‌ها تامین نماید که سطوح شکست در جهت‌های 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 پرهزینه سازد.

۴- **رسوبات یخچالی:** اینگونه خاکها معمولاً برای کاربرد نیلینگ مناسب هستند؛ بدلیل آنکه معمولاً متراکم، خوب دانه‌بندی 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

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)									گروه مهندسين دانا
صفحه: ۱۱		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
شهریور ۹۳								۰۱	



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

۲- **وجود آب زیرزمینی زیاد:** وجود آب زیرزمینی در پشت دیوار میخ کوبی شده، ضرورت استفاده از سیستم زهکشی را ایجاب می کند. علاوه بر این میزان آب زیرزمینی زیاد موجب فروپاشی زودرس چال های حفر شده می گردد (به خصوص در خاک های با دانه بندی ضعیف). لذا هزینه ی نصب میخ ها 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

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)									گروه مهندسین دانا
صفحه: ۱۲		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
شهریور ۹۳								۰۱	

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 معمولاً SPT کمتر از ۴ داشته و برای بکارگیری روش میخ کوبی 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 مشکل‌افزین 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 میخ کوبی 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 است 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 فیری ممکن است به شدن ناهمگن و ناهمسان باشند. در این موارد، باوجود اینکه مقاومت برشی خاک می‌تواند در برخی از امتدادها 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

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)									
صفحه: ۱۳		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
شهریور ۹۳								۰۱	

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

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

۷- **سنگ‌های هوازده و دارای صفحات ضعیف و آهکی:** سنگ‌های هوازده به همراه صفحات نامناسب نظیر درزه‌ها، شکستگی‌ها، بریدگی‌ها، گسل‌ها، 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 درزه‌های 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 خشک هستند مقاومت قابل قبولی دارند و اجرای نیلینگ در آن‌ها اقتصادی می‌باشد. اما هنگامی که میزان قابل توجهی آب به پشت دیواره نفوذ کند، سازه ممکن است در اثر کاهش مقاومت برشی، فروپاشیده 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 میخ کوبی شده باید اقدامات پیش گیرانه 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 ($SPT < 4$) و شل ($4 < SPT < 10$) 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.

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)										
صفحه: ۱۴		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
شهریور ۹۳								۰۱		

۵-۳- شرایط متوسط برای اجرای نیلینگ

وضعیت بینابینی نیز نسبت شرایطی که توضیح داده شد وجود دارد. اگرچه داشتن شرایط ایده‌آل 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 دانه‌بندی خوبی برخوردار بوده (حدود ۹۰ درصد 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 منطقه‌ای استوایی، نیز ممکن است برای اجرای این روش قابل قبول باشد. در این موارد ملاحظات ویژه‌ای جهت تغییرپذیری حجمی و قابلیت زهکشی خاک باید صورت گیرد.

۶- مزایا و معایب روش نیلینگ

۶-۱- مزایا

میخکوبی خاک نسبت به روش‌های دیگر پایدارسازی و سازه‌های نگهدارنده (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 معمولاً مصالح کمتری نسبت به دیوارهای انکراژ استفاده می‌شود.
- تنظیم و جانمایی مجدد میخ‌ها هنگام برخورد 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.

پایدارسازی گود به روش نیلینگ (میخ کوبی)									
صفحه: ۱۵		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
شهریور ۹۳								۰۱	

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

عملکرد:

- دیوارهای میخکوبی شده نسبتاً انعطاف پذیر بوده و می توانند نشست های تقریباً بزرگی را تحمل نمایند.
- تغییر شکل و خمش دیوارهای میخکوبی شده معمولاً قابل قبول و در محدوده مجاز می باشد.
- دیوارهای میخکوبی شده در زمین لرزه به دلیل انعطاف پذیری کل سیستم، از عملکرد خوبی برخوردار هستند.

هزینه:

- بکارگیری روش های مرسوم در ساخت دیوارهای میخکوبی شده از ساخت دیوار حایل بتنی، اقتصادی تر می باشد.
- معمولاً روش میخکوبی متعارف، هم قیمت یا ارزان تر از ساخت دیوارهای انکراژی متعارف تمام می شود.
- به طور معمول احداث لایه شاتکریت از ساخت انواع دیگر پوشش بتنی که در روش های مختلف استفاده می شود، هزینه کمتری دارد.

۶-۲- معایب

برخی از معایب این روش عبارتند از:

- روش میخکوبی خاک در پروژه هایی که کنترل جابجایی حائز اهمیت و جدی باشد (مثلاً قرارگیری سازه ها و تأسیسات در پشت دیوار) مناسب نمی باشد؛ زیرا این سیستم جهت انسجام نیروهای مقاومتی نیاز به مقداری جابجایی دارد. برای حل این مشکل می توان از میخ های پیش تنیده استفاده کرد، لکن هزینه ی پروژه افزایش خواهد یافت.
- در ردیف های بالا، وجود تأسیسات مدفون در محل نصب آرماتورها ممکن است موقعیت، شیب و طول آن ها را با مشکل مواجه سازد.
- در شرایطی که نشأت آب زیرزمینی زیاد باشد، به دلیل عدم پایداری جبهه کار حفاری تا زمان نصب آرماتورها، به کارگیری روش میخکوبی خاک چندان مناسب نمی باشد.
- استفاده از دیوار میخکوبی شده به عنوان سازه نگهبان دائمی نیازمند وجود اطمینان از شرایط زیرزمینی دارد.
- نصب میخ ها نیاز به پیمانکاران متخصص و ویژه ای دارد.