

پایدارسازی ایمن گود به روش نیلینگ و انکراژ

قسمت اول: ضوابط و الزامات طراحی



شکل ۱- نمایی از یک گود پایدار شده به روش نیلینگ

یک گود بکار گرفته می شود و پارامترهایی که برای مدل سازی رفتار آنها انتخاب می شود به همراه پارامترهای خاک در طرح سیستم پایدارسازی یک گود موثر است. انتخاب دقیق و مهندسی این پارامترها در نهایت جواب های منطقی و واقع بینانه ای را در تحلیل های طراحی سازه نگهبان نتیجه می دهد.

● **چسبندگی خاک و دوغاب:** از پارامترهای موثر در طراحی ها، چسبندگی خاک و دوغاب است که رابطه مستقیم با ضریب اطمینان پایداری گود دارد. آیین نامه FHWA برای چسبندگی خاک و دوغاب مقادیری را پیشنهاد کرده است. اما نکته قابل توجه در استفاده از این مقادیر این است که محدوده مقادیر پیشنهادی برای نوع مشخصی از خاک و روش حفاری بسیار زیاد بوده و باید با احتیاط از پارامترهای

است که گسترش یافته و امروزه در ساخت و سازهای شهری بیشتر استفاده آن را در گودهای عمیق می بینیم.

با توجه به حساسیت گودبرداری های شهری، طراحی سیستم پایدارسازی آنها باید کاملاً با دقت و مطابق ضوابط آیین نامه ای انجام شود و از آنجایی که پارامترها و خصوصیات خاک بسیار متغیر بوده و برغم انجام آزمایش های مکانیک خاک و مطالعات نمی توان به طور کامل به نتایج آنها اطمینان کرد و قضاوت های مهندسی ای که در انتخاب پارامترهای طراحی انجام می شود، باید به صورت محافظه کارانه لحاظ شود. در این مقاله ضوابطی که در طراحی یک گود حایز اهمیت است را بررسی می کنیم. (شکل ۱)

پارامترهای موثر در طراحی المان های سازه ای زیادی در پایدارسازی

سید امیررضا امین جواهری

کارشناس ارشد - ژئوتکنیک



حمیدرضا خوشدل مفیدی

کارشناس عمران



علی نبی زاده

کارشناس ارشد - ژئوتکنیک



مقدمه

امروزه یکی از روش های متداول در جهت پایدارسازی دیوار گود (نیلینگ و انکراژ) است که در ساخت و سازهای برون و دورن شهری در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می گیرد. هرچند که این روش در کشورها چند سالی

ارایه شده استفاده شود و به نوعی برای یک تخمین اولیه مناسب است. قابل توجه است که به پیشنهاد آیین نامه FHWA، ضریب اطمینان مربوط به این پارامتر در طراحی باید برابر در نظر گرفته شود.

این مقادیر برای تزریق دوغاب به صورت وزنی ارایه شده و آیین نامه مذکور برای فشار تزریق تا ۳ bar پیشنهاد داده است که می توان مقدار چسبندگی خاک و دوغاب را تا ۲ برابر مقدار پیشنهاد شده نیز در نظر گرفت. در هر صورت عدم قطعیت در صحت این پارامتر تا زمان انجام آزمایش Pull out در خاک محل پروژه همچنان وجود خواهد داشت و بهتر است در طول یک پروژه گودبرداری، در لایه های مختلف و در چند ناحیه مختلف، تست Pull out انجام شود تا مقدار این پارامتر با توجه به جنس خاک محل پروژه به درستی تعیین شود. لازم به ذکر است که تجربه نشان می دهد این عمل در برخی از پروژه ها می تواند منجر به سبک تر شدن طرح اولیه نیز شود.

• پارامترهای مقاومتی و رفتاری خاک: نوع خاک محل پروژه و پارامترهای آن به طور کامل در طرح سیستم پایدارسازی موثر بوده و بر همین اساس تعیین دقیق پارامترهای مقاومتی و رفتاری خاک شامل وزن مخصوص، چسبندگی، زاویه اصطکاک، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون بسیار حایز اهمیت است.

در گودبرداری هایی که اهمیت ویژه ای داشته و به طور نسبی دارای خطر است، بهتر است مدیران پروژه، انجام آزمایش های برجا را در دستور کار قرار دهند تا با تدقیق پارامترهای مذکور از ایمنی و کارایی سیستم پایدارسازی، اطمینان حاصل شود. البته در آزمایش برجا معمولاً پارامترهای مکانیکی خاک دست بالاتر به دست می آید و آزمایش های آزمایشگاهی به خاطر دست خوردگی نمونه ها، مقادیر کمتری را ارایه می دهد، بنابراین در کاربرد نتایج آزمایش های برجا، قضاوت مهندسی و رعایت جانب احتیاط باید کاملاً لحاظ شود.

پیشنهاد می شود در تحلیل های تغییر شکل از مدل رفتاری Hardening Soil به جای مدل رفتاری موهر-کولمب استفاده شود زیرا این مدل رفتاری اثر باربرداری را در تحلیل و نتایج به خوبی در نظر می گیرد و بنابراین گودهای مدل شده با این مدل رفتاری بالازدگی کمتری را در کف گود نتیجه می دهد که در نهایت تغییر شکل های کلی مدل واقع بینانه تر است.

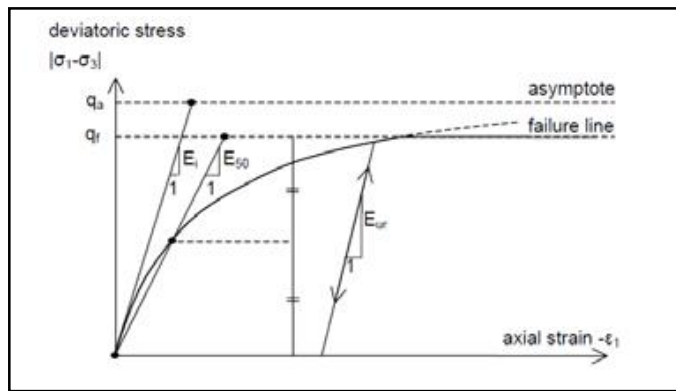
نکته قابل توجه در مدل سازی توسط مدل رفتاری Hardening soil، تعیین مدول الاستیسیته های E_{50} ، E_{0e} و E_{ur} است، زیرا معمولاً مدول الاستیسیته گزارش شده توسط آزمایشگاه مکانیک خاک، مدول الاستیسیته E_{50} بوده که مقدار آن بزرگتر از E_{50} است و بنابراین استفاده از مدول E_{50} در مدل رفتاری H-S تغییر شکل های کمتری را نتیجه می دهد که این امر غیر محافظه کارانه است. معمولاً E_{50} برابر ۶۰ تا ۸۰ درصد E_{0e} ، E_{0e} برابر E_{50} و E_{ur} ۲/۵ تا ۳ برابر E_{50} در نظر گرفته می شود. همچنین ضریب m نیز برابر ۰/۵ در نظر گرفته می شود. (شکل ۲)

• قطر گمانه: قطر گمانه های حفاری در روش نیلینگ در مقدار نیروهای مقاوم در گوه گسیختگی نقش دارد و افزایش قطر حفاری باعث افزایش ضریب اطمینان پایداری کلی طرح می شود.

همچنین در طراحی سیستم پایدارسازی به روش اتکراژ، علاوه بر مطلب فوق، افزایش قطر حفاری باعث کاهش طول تزریق شده (Bond Length) المان های مسلح کننده اتکر می شود. با این وجود، با توجه به مته های حفاری موجود، قطر گمانه ها می تواند از ۷۶ میلیمتر تا ۱۱۰ میلیمتر متغیر باشد و انتخاب قطر گمانه بیش از این مقادیر، غیر محافظه کارانه است.

• ظرفیت باربری المان های مسلح کننده: بدیهی است، تسلیح خاک باعث افزایش مقاومت برشی خاک و به تبع آن افزایش پایداری خاک می شود. با افزایش عمق گودبرداری و آزاد شدن تنش ها، نیروهای کششی و برشی در المان های مسلح کننده ها فعال شده که موجب افزایش پایداری و ایمنی طرح پایدارسازی می شود. با این وجود ظرفیت کششی المان ها باید کنترل شود و به پیشنهاد آیین نامه، ضریب اطمینان ۱/۸ برای ظرفیت کششی المان های نیل باید در نظر گرفته شود. شکل ۴ مکانیسم توزیع نیروی کششی در المان نیل را نشان می دهد.

ظرفیت برشی المان های نیل می تواند باعث افزایش ضریب اطمینان طرح شود ولی آیین نامه FHWA پیشنهاد می کند که در روش نیلینگ بهتر است در جهت اطمینان از ظرفیت برشی المان های نیل



شکل ۲- نمایش مدول الاستیسیته E_{50} ، E_{0e} و E_{ur}

به دست آوردن نتایج قابل قبول، امری ضروری است. نظر به اینکه المان های نیل و انکر از یک المان فولادی تشکیل شده که اطراف آن با دوغاب پر شده است، مدول الاستیسیته معادل مقطع مرکب مسلح کننده در نهایت از رابطه زیر محاسبه می شود که در آن E_s و E_g به ترتیب مدول الاستیسیته فولاد و گروت و A_s و A_g به ترتیب سطح مقطع خالص فولاد و گروت است.

$$E_{eq} = E_s \left(\frac{A_s}{A} \right) + E_g \left(\frac{A_g}{A} \right)$$

در نهایت سختی محوری و سختی خمشی ناحیه تزریق شده از روابط زیر محاسبه می شود که در آنها D قطر گمانه، E_{eq} مدول الاستیسیته مقطع معادل و S_h فاصله افقی المان های مسلح کننده است:

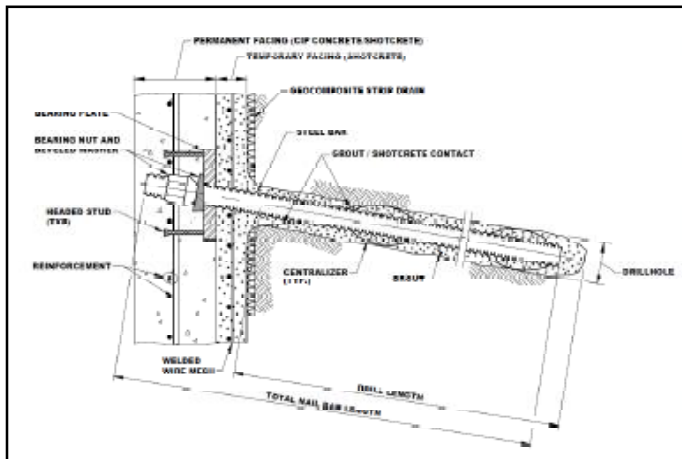
$$EA = \frac{E_{eq}}{S_h} \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right)$$

$$EI = \frac{E_{eq}}{S_h} \left(\frac{\pi \times D^4}{64} \right)$$

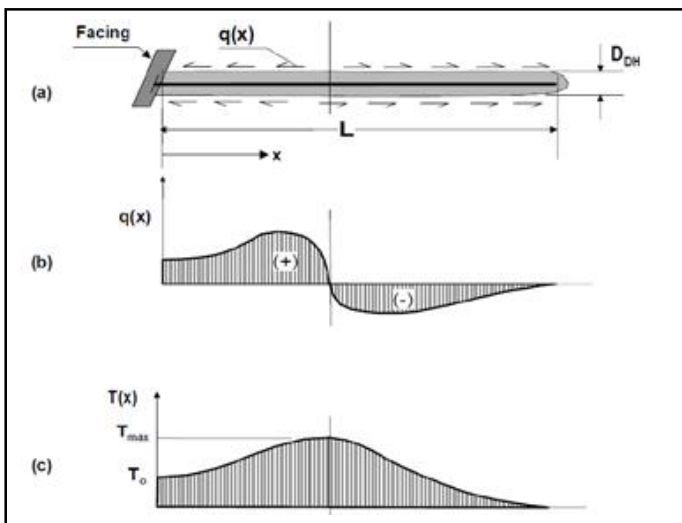
کنترل طرح سیستم پایداری بعد از طراحی اولیه سیستم پایداری، محاسبه تغییر شکل ها و ضرایب اطمینان پایداری مجاز، ضروری است طرح به دست آمده کنترل شده و از عملکرد و کارایی آن اطمینان حاصل شود. موارد زیر از جمله مواردی است که پیش از نهایی کردن طرح گودبرداری باید کنترل شود:

- کنترل گسیختگی: کلیه المان های مسلح کننده باید بعد از به دست آمدن طرح اولیه کنترل شود تا با توجه به نیروی بسیج شده در آنها گسیختگی کششی و Pull out روی ندهد. برای این منظور باید مقاومت ناحیه تزریق شده بیشتر از نیروی فعال شده باشد.

در ضمن برای بهینه بودن طرح و استفاده از ظرفیت کششی نهایی المان های مسلح کننده، آیین نامه پیشنهاد کرده است تا با احتساب ضریب اطمینان ۱/۸ برای



شکل ۳- نمایش شماتیک مقطع المان مسلح کننده نیل



شکل ۴- مکانیسم توزیع تنش برشی و گسیختگی کششی در المان نیل

تست کشش، تا مقدار ۸۰ درصد مجاز است. لازم به ذکر است که در کلیه مراحل طراحی سیستم پایداری، شامل تحلیل پایداری و تحلیل تغییر شکل، ضروری است از ظرفیت کششی خاک صرف نظر شود.

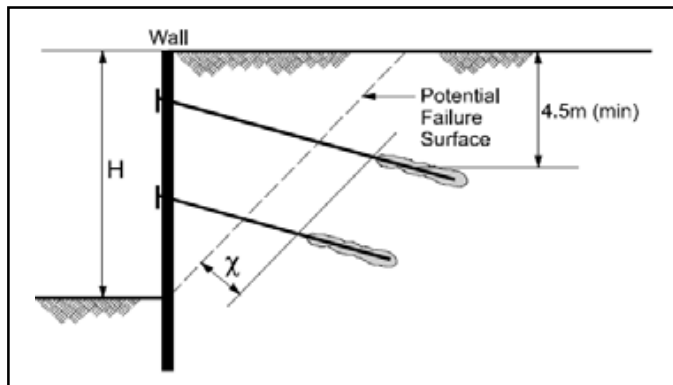
- سختی محوری المان های مسلح کننده: در تحلیل های تغییر شکل، سختی محوری المان های نیل و انکر در کنترل تغییر شکل موثر بوده و محاسبه دقیق آن برای

کاملاً صرف نظر نشود اما در روش انکراژ همواره باید از ظرفیت برشی المان های انکر صرف نظر شود و اعمال آن در طراحی گودها قابل قبول نیست.

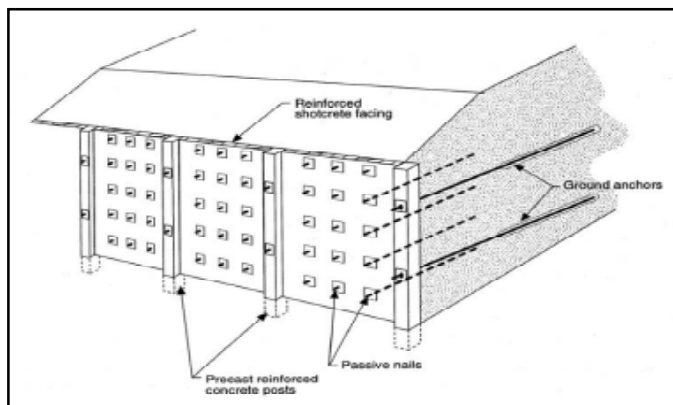
در نهایت در طراحی المان های انکر نیروی کششی باید حداکثر برابر ۶۰ درصد ظرفیت کششی آن در نظر گرفته شود و بیش از این مقدار غیر مجاز است. یادآوری می شود که اعمال بار کششی بیش از این مقدار تنها برای بارهای موقت همانند

صورت گیرد.

برای کنترل و ارزیابی طرح به دست آمده، باید در حین عملیات اجرایی گود، تغییرشکل های افقی و نشست پایش شده با تغییرشکل های به دست آمده از تحلیل های عددی مقایسه شود تا تغییرشکل های پایش شده از مقادیر تحلیل شده بیشتر نشود و از صحت عملکرد سیستم پایداری اطمینان حاصل شود. بدیهی است، انتخاب روش مناسب پایداری، می تواند به افزایش کارایی و ایمنی گود کمک بسزایی کند. استفاده از المان های Soldier Pile می تواند در کاهش تغییرشکل های سازه های مجاور بسیار موثر باشد (شکل ۶). به تجربه می توان گفت در گودهای عمیق، کاربرد المان های نیلینگ به تنهایی چندان قابل اطمینان نبوده و می تواند موجب تغییرشکل های زیادی شود که این امر خود عامل آسیب های جدی به سازه های مجاور است و با در نظر گرفتن چند ردیف انکر در ردیف های بالایی گود از ایجاد این مشکل جلوگیری به عمل می آید.



شکل ۵- نمایش شماتیک موقعیت ناحیه تزریق شده نسبت به گوه گسیختگی



شکل ۶- نمایش شماتیک سیستم پایداری ترکیبی با روش های نیلینگ و انکراز و

Soldier Pile

جمع بندی

از آنجایی که گودبرداری های شهری، مخاطرات بسیاری را در بر دارد و از طرفی همواره عدم قطعیت در رفتار خاک حاکم است، رعایت اصول ایمنی و انتخاب پارامترها به صورت محافظه کارانه و با حفظ جنبه های اقتصادی، می تواند به افزایش آسایش خاطر و ایمنی این عملیات ساختمانی منجر شود. برای رسیدن به این هدف، ضروری است در طراحی سیستم های پایداری به روش نیلینگ و انکراز، ضرایب اطمینان مربوط به اجزای مختلف تشکیل دهنده سیستم پایداری و پارامترها را به صورت محافظه کارانه انتخاب و کنترل های تکمیلی در طراحی

ظرفیت کششی المان های مسلح کننده، در نهایت ضریب اطمینان پایداری بالاتر از ۱ حاصل شود.

● کنترل طول تزریق شده انکرها: در طراحی پایداری به روش انکراز، برای کنترل و پایداری گوه گسیختگی بحرانی ضروری است طول تزریق شده انکر در پشت گوه گسیختگی قرار گیرد. بنابراین برای اطمینان از این مطلب آیین نامه FHWA پیشنهاد کرده است که شروع ناحیه تزریق شده با فاصله χ از پشت گوه قرار گیرد. χ از رابطه زیر محاسبه می شود که در آن H برابر ارتفاع گود است. (شکل ۵)

$$\chi = \text{Max} \left\{ \frac{1}{5} \text{ متر و یا } \left(\frac{0.2}{H} \right) \right\}$$

منابع و مراجع

- 1- FHWA. (1998). Manual for Design & Construction Monitoring of Soil Nail Walls, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, USA.
- 2- FHWA. (1999). Geotechnical Engineering Circular No. 4. Ground Anchors and Anchored Systems, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, USA.
- 3- FHWA. (2003). Geotechnical Engineering Circular No. 7. Soil nail Walls, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, USA.