



بررسی تغییر شکل افقی نمای دیوار خاکی مسلح ژئوسنتتیک تحت اثر

بارگذاری عرشه پل

رضا نورزاد^۱، محمد لشنی^{۲*}

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

چکیده

این پژوهش، با انجام تحلیل‌هایی از طریق مدل‌سازی عددی، به ارزیابی تأثیر برخی پارامترها از جمله فاصله محل اثر بارگذاری نواری از وجه دیوار، میزان بارگذاری، طول مسلح کننده‌ها، مقاومت کششی مسلح کننده‌ها بر تغییر شکل نمای دیوار می‌پردازد. نتایج مدل‌سازی‌های عددی نشانگر این موضوع است که افزایش مقاومت کششی تغییرشکل‌های نمای دیوار را تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد و از آن مقدار به بعد تأثیر چندانی بر جابجایی افقی ندارد. با افزایش طول مسلح کننده‌ها جابجایی دیوار تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد، استفاده از خاک سخت‌تر به‌عنوان خاک پشت‌ریز سبب کاهش ۴۰ درصدی جابجایی افقی می‌گردد. فاصله محل اثر بار تأثیری مستقیم بر تغییر شکل نمای دیوار دارد؛ و با افزایش فاصله از وجه دیوار این تأثیر کاهش می‌یابد. در بررسی پارامترهای دیگر، تغییر شکل دیوار بیشتر ناشی از شدت بار است و فقط باعث افزایش ۲ برابری بیشینه تغییر شکل افقی می‌شود.

واژگان کلیدی: دیوارهای خاکی، ژئوسنتتیک، کوله پل‌ها، بارگذاری دینامیکی، تغییر شکل افقی.





۱- مقدمه

خاک مسلح یکی از قدیمی‌ترین روش‌هایی است که در ساختن سازه‌هایی که غالباً از خاک به‌عنوان اصلی‌ترین مصالح استفاده می‌شود، به‌کاررفته است. این روش به‌وفور در طبیعت توسط حیوانات و چرندگان نیز استفاده می‌شود. اساس این فن قدمت زیادی دارد و به هزاره ۴ یا ۵ قبل از میلاد مسیح بازمی‌گردد [۱]. احتمالاً تسلیح یکی از کاربردهای جدید ژئوتکتایل-های عصر جدید است. ایرانیان در حدود پنج هزار سال پیش از میلاد مسیح از خاک متراکمی که با کاه مسلح می‌شد، در ساخت مسکن و بیش‌تر سازه‌های مذهبی استفاده می‌کردند، مانند برج بابل که در هزاره اول پیش از میلاد مسیح ساخته شد [۲].

هنگامی که از ژئوسنتتیک‌ها در مسلح سازی خاک استفاده می‌شود، تمرکز اصلی بر روی مقاومت کششی آن‌هاست. مقاومت کششی بالای این محصول در کنار مقاومت فشاری بالای خاک، ترکیبی از مصالح را تشکیل می‌دهد، دارای مقاومت بالای کششی و فشاری است. مسلح سازی خاک در نتیجه باعث بهسازی عملکرد برشی خاک می‌شود. از موارد استفاده از ژئوگریدها می‌توان به استفاده آن‌ها در راه‌سازی، پل‌سازی، استفاده مسلح سازی دیوار نگهبان، پایداری شیب و خاکریز اشاره کرد [۳].

اصلی‌ترین مزیت دیوارهای نگهبان خاک مسلح، کم‌هزینه بودن آن نسبت به انواع دیگر دیوارهای نگهبان است، همین دلیل به‌تنهایی باعث استفاده گسترده از این گروه دیوار در چند دهه اخیر شده است. دلیل دیگر عدم نیاز به احداث پی در زیر آن است. البته شکل‌پذیر بودن این گروه دیوار نیز مزیت دیگری برای آن به‌شمار می‌رود [۴]. سازه‌ای است که نقش اصلی آن نگهداری توده خاک و سنگ در ناحیه مجاور آن است. هدف اولیه ساخت دیوار نگهبان مقاومت در برابر فشار جانبی خاک و کنترل حرکت توده خاک و سنگ تحت وزن آن است [۵].

از دیوارهای نگهبان در نواحی خاکریز با شیب زیاد برای جلوگیری از فرسایش و حرکت خاک استفاده می‌شود. همچنین این نوع دیوارها به‌طور گسترده‌ای در کوله‌پل‌ها برای کنترل دیواره قائم خاکی زیر پی پل و نیز پایداری خاکبرداری‌های قائم استفاده می‌شود [۵]. نیکس و آدامز^۱ نیز در سال ۲۰۱۶، چندین آزمایش بزرگ‌مقیاس، باهدف تعیین تغییر شکل‌های خاک مسلح، بر روی دیوارهای خاکی مسلح ژئوسنتتیکی تحت بار سرویس انجام دادند [۶]. بیلگین^۲ در سال ۲۰۰۹، تأثیر طول تقویت‌کننده بر سازوکار شکست دیوارهای GRS را بررسی نمود. لشچینسکی^۳ در سال ۲۰۱۴، اثر موقعیت پی، مقاومت تقویت‌کننده و فاصله‌گذاری بین تقویت‌کننده‌ها بر ظرفیت باربری پی قرارگرفته بر دیوار GRS و مد شکست با استفاده از تحلیل حدی پلاستیسیته به دست آورد. اگرچه چندین مطالعه برای بررسی رفتار پی قرارگرفته بر شیب‌های ماسه‌ای پایدار

¹ Nicks & Adams

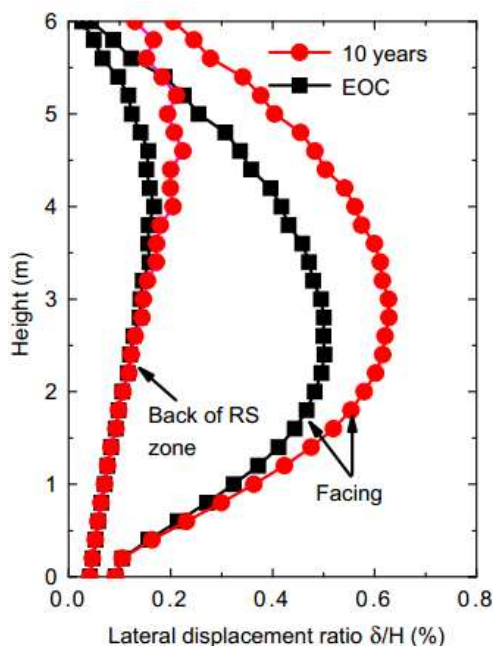
² Bilgin

³ Leshchinsky





صورت پذیرفت (هوانگ و همکاران در سال ۱۹۹۴، یوو در سال ۲۰۰۱) [۷]. یو^۱ و کیم دیوار نگهبان مسلح شده با ژئوتکستایل، تحت سربار موضعی به وسیله آباکوس را مدل کردند. به دلیل ناپایداری حل عددی در مدل این مدل، پژوهشگران نتوانستند المان سطح مشترک را مدل کنند، آن‌ها این موضوع را چنان توجیه کردند که به علت قرارگیری دیوار در حالت سرویس، عدم مدل‌سازی المان سطح مشترک، خطای چندانی ایجاد نمی‌کند [۸].



شکل ۱: جابجایی دیوار مورد بررسی توسط لیو در سال ۲۰۱۲ [۹].

اسکینر و رو در سال ۲۰۰۵، برای افزایش ظرفیت باربری شالوده دیوار خاک مسلح مواردی از قبیل افزایش طول و افزایش سختی مسلح کننده‌ها مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش مقاومت کششی و طول مسلح کننده لایه‌های پایینی می‌توان مقدار ظرفیت باربری تا ۱/۵ برابر افزایش داد [۱۰]. ایکسیه و لشیچینسکی^۲ در سال ۲۰۱۵ با هدف دستیابی به فاصله‌گذاری بهینه تقویت‌کننده‌ها پژوهش‌هایی عددی انجام دادند. آن‌ها بیان کردند که فاصله‌گذاری بهینه علاوه بر کاهش تمرکز تقویت‌کننده‌ها، باعث افزایش پایداری دیوار خاکی مسلح و کاهش نیروی کششی در تقویت‌کننده‌ها می‌شود [۱۱]. ویسوانادهام و مان^۳ تعدادی مدل دیوار خاک مسلح با وجه پوسته برگردانده شده^۴ با بستر صلب ساختند. در این پژوهش از

¹ Yoo & Kim

² Xie & Leshchinsky

³ Viswanadham & mane

⁴ Wrap around



انواع ژئوگریدها به عنوان مسلح کننده استفاده شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که علت اصلی گسیختگی دیوار ناشی از خواص تنش کششی-کرنش مسلح کننده است [۱۲]. سواف^۱ و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهش خود تأکید کردند که برای افزایش درک رفتار، طراحی و کاربرد سازه‌های خاک مسلح ژئوسنتتیکی، نیاز به پژوهش‌های بیشتری است. به هر حال، اطلاعات محدودی در خصوص تغییر شکل سازه‌های خاک مسلح ژئوسنتتیکی تحت بارگذاری عمودی پی نواری نزدیک تاج دیوار موجود می‌باشد [۱۳]. اجزاء محدود از قدیمی‌ترین تکنیک‌های حل مجموعه معادلات دیفرانسیل، با مقادیر اولیه و مقادیر مرزی می‌باشد. در این روش مقادیر پارامترهای میدان در هر جزء، با بهره‌گیری از توابع شکل^۲ به مقادیر پارامترها در گره‌های جزء مرتبط می‌شوند. فرمول‌بندی روش اجزای محدود بر اساس کمینه کردن انرژی محلی یا سراسری است. روش اجزای محدود مجموعه‌ای از معادلات جبری را تولید می‌کند. این روش، ماتریس سختی اجزا را ترکیب کرده و یک ماتریس سختی سراسری بزرگ را می‌سازد و معمولاً از روش‌های حل ماتریسی (غیرصریح)^۳ استفاده می‌شود [۱۴].

۲- روش پژوهش

خاک استفاده شده برای خاک پشت‌ریز دیوار خاک مسلح، ماسه‌ای با نسبت پوکی متغیر بین ۰/۷ تا ۲/۱ می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید (USCS)، این خاک در رده‌بندی ماسه با دانه‌بندی یکنواخت (SP)، با ۳ درصد ریزدانه قرار می‌گیرد. وزن مخصوص ماسه ۱۹/۵ کیلو نیوتن بر مترمکعب، با درصد رطوبت صفر بوده است. با استفاده از آزمایش برش مستقیم مقادیر زاویه اصطکاک داخلی این خاک ۳۵ درجه و زاویه اتساع ۵ درجه به دست آمده. سختی این خاک ۲۰ مگا پاسکال و ضریب پواسون این خاک ۰/۲۵ می‌باشد. در این مدل‌سازی از شش گروه ژئوگرید برای انجام تحلیل‌ها استفاده شده است، هر شش نوع ژئوگرید، دارای مصالح پلی‌استر با پوشش PVC هستند. تفاوت آن‌ها در میزان سختی است. به این ترتیب که برای مشاهده تغییر شکل دیوار در هر مرحله سختی ژئوگرید افزایش داده می‌شود. چون این پژوهش مدل‌سازی عددی است، مقدار سختی ژئوگرید به‌طور مستقیم استفاده می‌شود، در این پژوهش به دو دلیل مقدار فاصله‌گذاری قائم برای بارهای استاتیکی، برابر با ۰/۷۵ متر، انتخاب گردید. با توجه به این موضوع که مقدار این پارامتر، از پارامترهای متغیر در این پژوهش نیست و مقدار آن در طول پژوهش ثابت است، تصمیم گرفته شد که مقدار انتخابی موافق با عرف ساخت و ساز باشد. از آنجایی که دیوار مورد بررسی تحت بارگذاری‌های مختلف و در مقادیر مختلف قرار می‌گیرد. قرار بر آن شد که تغییر شکل‌های دیوار در طول‌های متفاوت بررسی گردد. از این‌رو پنج نسبت طول مسلح کننده به ارتفاع دیوار (L/H)، ۰/۸، ۰/۹، ۱، ۱/۲ و ۱/۵ برگزیده شد و تغییر شکل دیوار برای این پنج طول در شرایط مختلف بررسی گردید. البته باید توجه داشت که انتخاب این مقادیر به نحوی بوده که از خرابی ناشی از بیرون کشیده شدگی جلوگیری گردد. برای محاسبه بیشینه جابجایی ناشی از سربار نواری از نرم‌افزار عددی اجزای محدود PLAXIS استفاده شد. نرم‌افزار عددی PLAXIS یک نرم‌افزار اجزای محدود می‌باشد. برای تحلیل هر پروژه جدید، نخست وارد کردن یک مدل هندسی اهمیت دارد. یک مدل هندسی، نمایشی دوبعدی از نمونه

¹ Sawwaf et al (2007)

² Shape Function

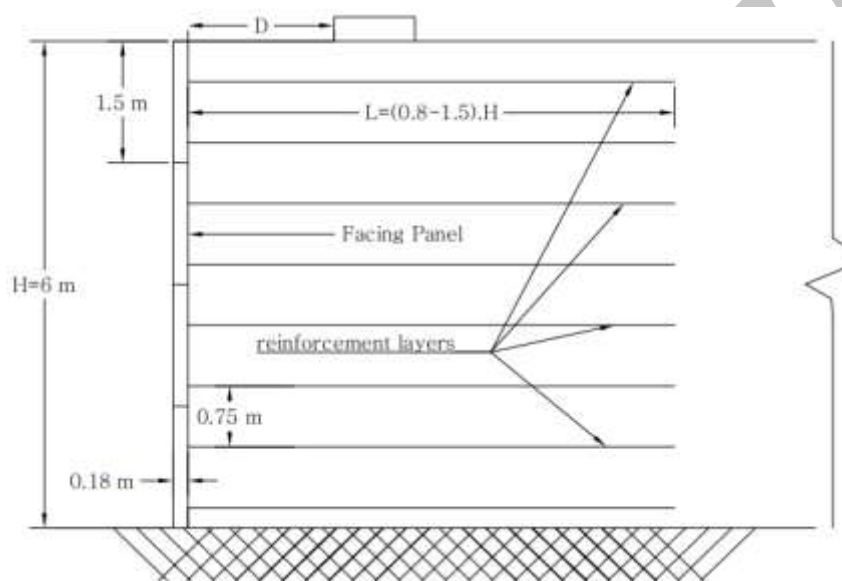
³ Implicit





سه‌بعدی واقعی است که باید دربرگیرنده نمونه‌ای از خاک بستر متشکل از لایه‌های مجزای خاک، اجزاء سازه‌ای، مراحل ساخت و نوع بارگذاری باشد. مدل باید به‌اندازه کافی بزرگ باشد تا مرزها روی نتایج نمونه مورد مطالعه تأثیری نگذارند [۱۵]. نرم‌افزار PLAXIS قابلیت مدل‌سازی هندسی سازه مورد نظر به صورت دوبعدی و انجام تحلیل در حالت کرنش مسطح و تقارن محوری را دارد. با توجه به فرض طویل بودن دیوار نگهبان و سربار نواری از حالت کرنش مسطح استفاده شد.

شمای کلی دیوار مدل‌سازی شده نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. دیوار مورد بررسی در این مدل‌سازی به ارتفاع ۶ متر می‌باشد که مسلح کننده‌ها در ۸ لایه به فاصله قائم ۷۵ سانتی‌متری از یکدیگر قرار داده شده‌اند. لایه‌های مسلح کننده به بلوک‌های صلب با ارتفاع ۱/۵ متر و ضخامت ۱۸ سانتی‌متر اتصال داده شده‌اند.



شکل ۲: نمای دوبعدی دیوار خاکی مسلح مدل‌سازی شده

۳- تغییر شکل افقی نمای دیوار خاکی مسلح

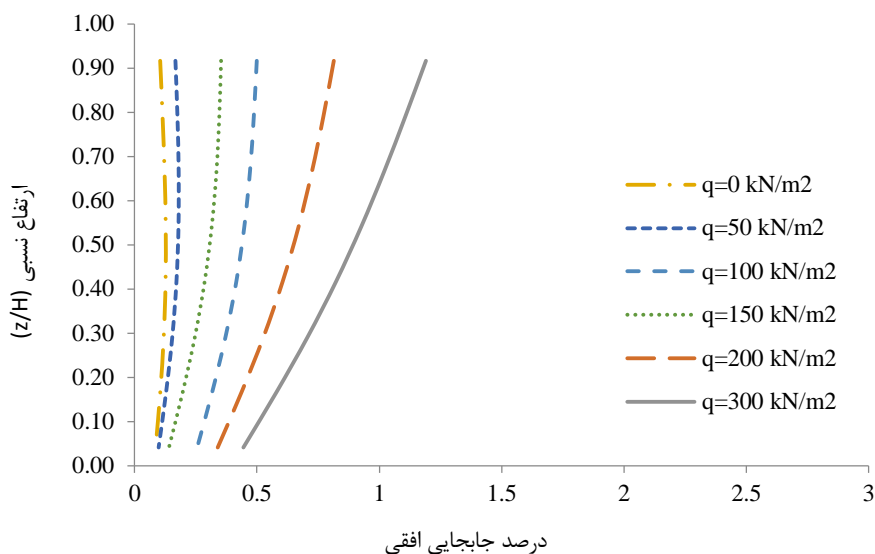
در این بخش تغییر شکل‌های افقی نمای دیوار خاک مسلح مدل‌سازی شده تحت اثر سربار عرشه پل، در مقادیر مختلف فاصله بارگذاری از وجه دیوار و در مقاومت کششی‌های متفاوت مسلح کننده بررسی می‌گردد.

۳-۱- تغییر شکل افقی نمای دیوار خاکی مسلح تحت اثر سربار عرشه پل

در شکل ۳ درصد تغییر مکان افقی دیوار خاکی مسلح ژئوسنتتیکی تحت مقادیر مختلف بارگذاری نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، با افزایش مقدار بارگذاری عرشه پل، تغییر مکان افقی بیشینه دیوار افزایش می‌یابد. برای مثال، با افزودن مقدار بار از ۱۰۰ کیلو نیوتن بر مترمربع به ۲۰۰ کیلو نیوتن بر مترمربع، مقدار بیشینه تغییر مکان افقی در



حدود ۱/۵ برابر افزایش می‌یابد. می‌توان علت اصلی این افزایش تغییر مکان دیوار را، افزایش تنش افقی ناشی از بارگذاری عرشه پل دانست. نگاهی دقیق‌تر به نتایج حاصل از تحلیل دیوار خاک مسلح نشان می‌دهد که تغییر مکان محل اعمال بار عرشه پل سبب انتقال تغییر مکان افقی بیشینه از نوک دیوار به سمت پای دیوار می‌شود و با افزایش میزان بار عرشه پل، بیشینه تغییر مکان افقی افزایش می‌یابد.



شکل ۳: منحنی جابجایی نسبی وجه دیوار در حالت بارگذاری‌های مختلف، برای نسبت طول $L = H$ ، مقاومت ژئوگرید ۴۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر و فاصله نسبی $D = 0.3H$ از وجه دیوار، برای سختی ۲۰ مگا پاسکال خاک پشت‌ریز.

۳-۲- تأثیر مقدار فاصله بارگذاری از وجه دیوار، بر تغییر مکان افقی دیوار خاکی مسلح

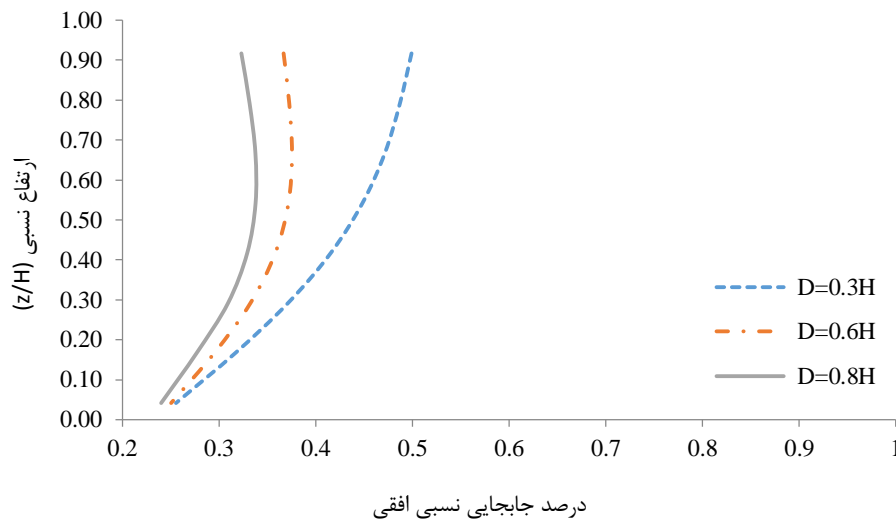
در شکل ۴ تغییر شکل دیوار در نسبت فاصله $(D/H) = 0.8$ شبیه به حالت بدون بارگذاری است. در شکل ۵ این دو حالت با یکدیگر مقایسه شده‌اند. دیوارهای خاکی مسلح در نخستین روزهای پایان ساخت خود یک باز توزیع بار را تجربه می‌کنند؛ به این ترتیب که بار قسمت‌های پایین دیوار کاهش می‌یابد (در اثر استراحت بار^۱) و بارهای قسمت بالایی دیوار افزایش می‌یابند. توضیح مقدماتی برای این باز توزیع بدین شرح است که قبل از اعمال بارگذاری بر روی دیوار، می‌توان باری که توسط توده خاک مسلح تحمل می‌شود را ثابت در نظر گرفت. اعمال بار وزن دیوار و فشار خاک جانبی به لایه‌های پایینی باعث افزایش بار در لایه‌های قسمت پایینی دیوار می‌شود.

در قسمت پایینی دیوار پدیده استراحت بار رخ می‌دهد. وقوع پدیده استراحت بار (کاهش بار در کرنش ثابت) باعث

¹ Load Relaxation



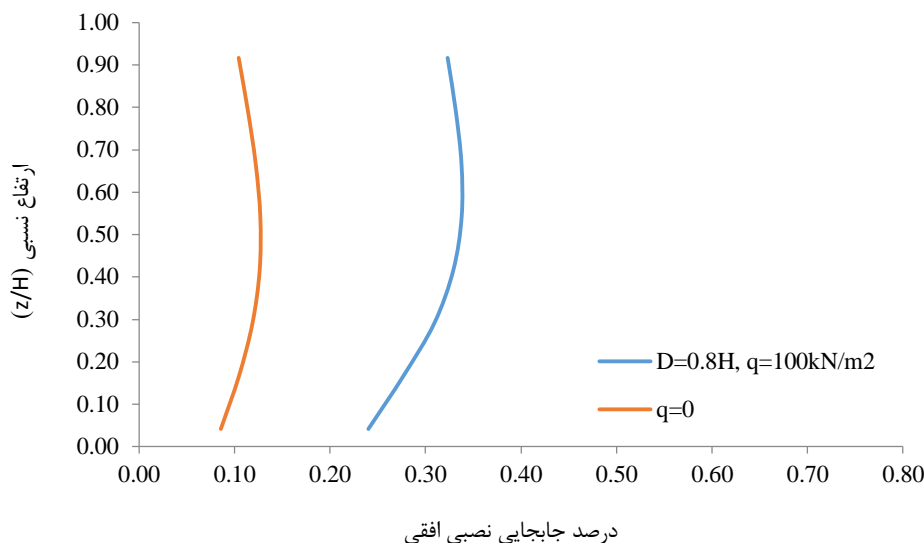
افزایش در تنش برشی خاک اطراف مسلح کننده‌ها می‌گردد. این امر به دلیل وجود سازگاری^۱ مسلح کننده‌ها و خاک اطراف آن در سطح مشترک^۲ خاک و مسلح کننده است. وجود شالوده در قسمت پایین دیوار همانند یک قید عمل کرده و افزایش کرنش برشی را محدود می‌کند، این امر هم باعث استراحت بار بزرگ‌تری می‌گردد و هم افزایش تنش برشی را محدود می‌کند. این اختلاف بار باید توسط خاک مسلح شده به قسمت بالایی انتقال یابد. این موضوع باز توزیع بار در میان قسمت‌های مختلف خاک را توضیح می‌دهد. ولی چون سختی قسمت بالایی دیوار به علت عدم محدودیت و آزادی حرکت آن کم می‌باشد. باید تغییر شکل برشی زیادی برای بسیج این تنش به وجود آید. باید توجه داشت که افزایش تنش برشی لزوماً به معنی کاهش بار در مسلح کننده‌ها نیست؛ و تنها در هنگام استراحت بار رخ می‌دهد. این فرآیند با کرنش مسلح کننده‌ها لایه‌های بالایی همراه می‌باشد. در بعضی نقاط که نیروی محدودکننده در خاک خیلی کم است، کرنش مسلح کننده‌ها به اندازه کافی برای افزایش بار زیاد می‌باشد. این موضوع برعکس استراحت بار در قسمت‌های پایینی عمل می‌کند.



شکل ۴: منحنی جابجایی نسبی وجه دیوار در حالت بارگذاری ۱۰۰ کیلو نیوتن بر مترمربع، برای نسبت طول $L = H$ ، مقاومت ژئوگرید ۴۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر و فاصله نسبی متفاوت محل اثر بار از وجه دیوار، برای سختی ۲۰ مگا پاسکال خاک پشت‌ریز.

¹ Compatibility

² Interface

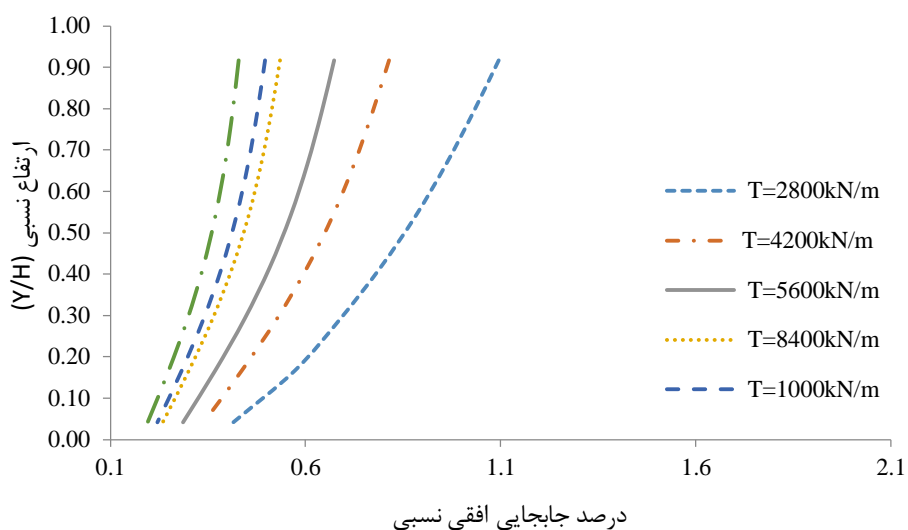


شکل ۵: منحنی مقایسه جابجایی نسبی وجه دیوار در حالت بارگذاری ۱۰۰ کیلو نیوتن بر مترمربع و بدون بار، برای نسبت طول $L = H$ ، مقاومت ژئوگرید ۴۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر و فاصله نسبی متفاوت محل اثر بار از وجه دیوار، برای سختی ۲۰ مگا پاسکال خاک پشت‌ریز.

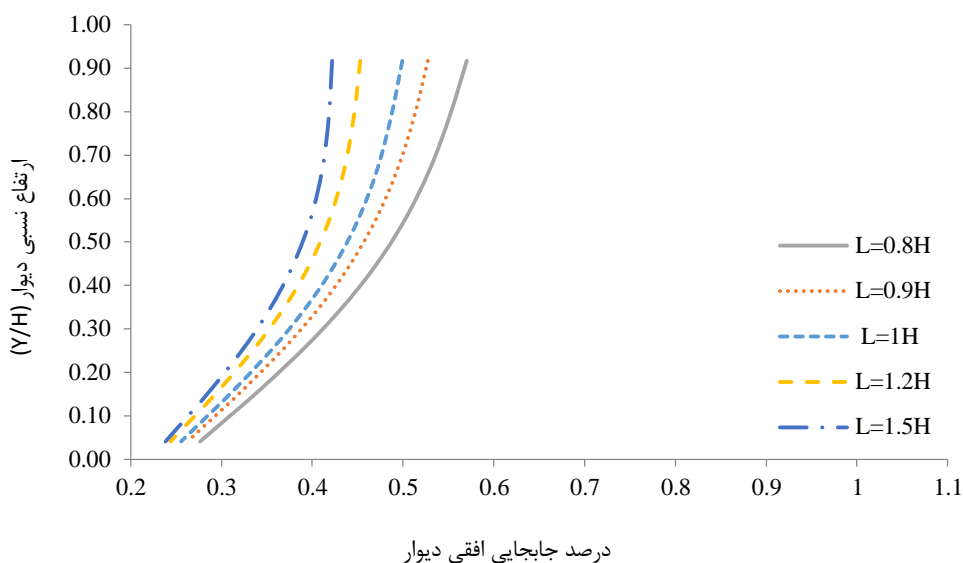
۳-۳- تأثیر طول و مقاومت کششی مسلح کننده، بر تغییر شکل افقی نمای دیوار خاکی مسلح

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، با افزایش مقاومت کششی مسلح کننده‌ها جابجایی افقی دیوار خاک مسلح به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. شیب روند کاهش این جابجایی‌ها از مقاومت کششی ۵۶۰۰ کیلو نیوتن بر متر به بالا کاهش می‌یابد. این کاهش نشان‌دهنده کم شدن تأثیر مقاومت کششی مسلح کننده بر جابجایی در این بارگذاری است. از آنجایی که تنش اعمالی برای ایجاد تغییر مکان افقی در لایه‌های مسلح کننده با مقاومت کششی بزرگ‌تر، از ظرفیت کششی مسلح کننده‌ها کوچک‌تر است؛ نمی‌تواند باعث ایجاد کرنش در مسلح کننده گردد.

در نمودار ۷ مشاهده می‌شود که با افزایش نسبت طول مسلح کننده به ارتفاع دیوار جابجایی کاهش می‌یابد. علت این اتفاق افزایش تنش اصطکاکی در دو سمت مسلح کننده با افزایش نیروی بیرون کشیدگی است، این افزایش، مقدار محدودی دارد و با توجه به طول مسلح کننده از مقدار مشخصی بیش‌تر نمی‌شود. در نمودار مشخص است که از نسبت $L/H=1$ مقدار تنش اصطکاکی ناشی از طول گیرداری بیش‌تر از نیروی محرک می‌گردد؛ بنابراین از این نسبت طول تأثیر افزایش طول به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد.



شکل ۶: منحنی جابجایی نسبی وجه دیوار در حالت بارگذاری ۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر، برای نسبت طول $L = H$ ، مقاومت ژئوگرید ۴۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر و جایگیری $D = 0.3H$ ، برای سختی ۲۰ مگا پاسکال خاک پشت‌ریز.



شکل ۷: منحنی جابجایی نسبی وجه دیوار در حالت بارگذاری ۱۰۰ کیلو نیوتن بر مترمربع، برای نسبت طول $L = H$ ، مقاومت ژئوگرید ۴۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر و جایگیری $D = 0.3H$ ، برای سختی ۲۰ مگا پاسکال خاک پشت‌ریز.



۴- نتیجه گیری

این پژوهش نتایج تحلیل ۷۰ مدل سازی عددی برای بررسی رفتار دیوار خاکی مسلح ژئوسنتتیکی تحت بارگذاری نواری را ارائه می دهد. در جریان پژوهش چهار پارامتر تأثیرگذار در رفتار دیوار خاک مسلح بررسی گردید: (۱) محل قرارگیری بار، (۲) میزان بار، (۳) طول مسلح کننده، (۴) مقاومت کششی مسلح کننده. با تحلیل مدل سازی های عددی نتایج کلی به قرار زیر استخراج گردید:

۱. جابجایی بیشینه تغییر شکل افقی نمای نیمرخ دیوارهای خاکی مسلح فقط در حالت جابجایی محل اثر بار رخ می دهد؛ و با دور شدن محل اثر بار از وجه دیوار، مکان بیشینه جابجایی افقی دیوار از بالای دیوار به سمت میانه دیوار جابجا می شود. زیرا بافاصله گرفتن محل اثر بار از وجه دیوار محل بیشینه تنش افقی از بالای دیوار به سمت پایین تغییر می کند. با تغییر در دیگر پارامترهای موردبررسی می توان دریافت که فرم کلی دیوار تغییر نمی کند؛ و تنها مقدار بیشینه جابجایی افقی دیوار دچار تغییر می شود، اما حدود نسبت فاصله آن از زمین تغییر نمی کند.
۲. با افزایش نسبت طول مسلح کننده به اندازه ی $1/5$ برابر طول مسلح کننده به ارتفاع دیوار، می توان پاسخی همانند بهسازی خاک پشت ریز از دیوار خاک مسلح دریافت نمود. بنابراین می توان با افزایش طول مسلح کننده در هنگام ساخت دیوار، در زمان و هزینه صرفه جویی کرد.
۳. افزایش مقاومت کششی مسلح کننده می تواند، باعث کاهش ۶۰ درصدی در تغییر شکل نمای دیوار خاک مسلح ژئوسنتتیکی شود. این کاهش تغییر شکل فقط تا یک مقدار مشخص پیش می رود و پس از آن تأثیر خود را از دست می دهد. مقاومت کششی مسلح کننده ها به حدی افزایش می یابد که نیروی رانشی توان خود در ایجاد تغییر شکل را از دست می دهد.





مراجع

- [1]. Jones, C. J. F. P, Earth Reinforcement and Soil Structures, 1th Edition, Butterworths, London, 1985.
- [2]. T. S. Ingold, The Geotextiles and Geomembranes Manual, 1th Edition, Elsevier Science Publishers LTD, 1994.
- [3]. Robert M. Koerner, 2005, Designing with Geosynthetics, 5th Edition, pearson prentice hall, pp.197-225.
- [4]. R. M. Koerner and T. Y. Soong, "Geosynthetic reinforced segmental retaining walls", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 19, 2001.
- [5]. M. Budhu, Foundation and Earth Retaining Structures, 2th Edition, John Wiley & Sons, 2008.
- [6]. Jennifer E. Nicks, Danial Esmaili, Michael T. Adams, "Deformations of geosynthetic reinforced soil under bridge service loads", Geotextiles and Geomembranes, Vol.44, pp. 641-653, 2016.
- [7]. Yonggui Xie, Ben Leshchinsky, Shangchuan Yang, " Evaluating reinforcement loading within surcharged segmental block reinforced soil walls using a limit state framework", Geotextiles and Geomembranes, Vol.44, pp.1-13, 2015.
- [8]. C. Yoo and S. Kim, "Perfomance of a two-tier geosynthetic reinforced segmental retaining wall under a surcharge load: Full-scale load test and 3D finite element analysis", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 26, 2008.
- [9]. Huabei Liu, 2012, "Long-term lateral displacement of geosynthetic-reinforced soil segmental retaining walls", Geotextiles and Geomembranes, Vol.32, pp. 18-27.
- [10]. Graeme D. Skinner, R. Kerry Rowe, "Design and behavior of a geosynthetic reinforced retaining wall and bridge abutment on a yielding foundation", Geotextiles and Geomembranes, Vol.23, pp.234-260, 2005.
- [11]. Yonggui Xie, Ben Leshchinsky, "MSE walls as bridge abutments: Optimal reinforcement density", Geotextiles and Geomembranes, Vol.43, pp. 128-138, 2015.
- [12]. J. G. Zornberg, N. Sitar, and J. Mitcell, "Performance of Geosynthetic Reinforced slopes at failure", Journal of Geotechnical and geoenvironmental engineering, Vol. 124, pp. 670-683, 1998.
- [13]. R. Kerry Rowe and G. D. Skinner, "Numerical analysis of geosynthetic reinforced retaining wall constructed on a layered soil foundation", Geotextiles and Geomembranes, Vol.19, pp.387-412, 2001.
- [14]. J. Raamachandran, 2000, "Boundary and Finite Element Theory and Problems", Alpha science International Ltd, First Edition, pp. 1-30.
- [15]. PLAXIS Reference Manual, 2D-Version8, A. A. Balkema Publishers, Lisse, Abingdon, Exton (pa), Tokyo, 2002.

