بررسی بیشینه جابه‌جایی افقی دیوار خاکی مسلح ژئوسنتتیکی 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

Archive of SID

چکیده

در دهه‌های اخیر دیوارهای خاکی مسلح با ژئوسنتتیک به‌طور فزاینده‌ای در کوله‌های پل‌ها مورداستفاده قرار گرفته‌اند. در دیوارهای خاکی مسلح، بارهای بزرگی از طریق پایه پل در نزدیکی وجه دیوار مسلح وارد می‌گردد. وجود چنین بارگذاری‌هایی باعث ایجاد تغییر شکل‌های جانبی در مراحل ساخت و پس‌از آن خواهد شد. در این موارد، ضروری است که تا درک کاملی از اثر بار بر روی عملکرد دیوار حاصل شود. بااین‌حال، مطالعات محدودی برای بررسی عملکرد دیوارهای خاکی مسلح قرارگرفته تحت اثر بارهای دینامیکی و استاتیکی صورت پذیرفته است. این پژوهش، با انجام تحلیل‌هایی از طریق مدل‌سازی عددی، به ارزیابی تأثیر برخی پارامترها ازجمله فاصله محل اثر بارگذاری نواری از وجه دیوار، میزان بارگذاری، طول مسلح کننده‌ها، مقاومت کششی مسلح کننده‌ها بر تغییر شکل جانبی دیوار و تغییر شکل وجه دیوار می‌پردازد. نتایج مدل‌سازی‌های عددی نشانگر این موضوع است که افزایش مقاومت کششی تنها تا یک مقدار مشخص باعث کاهش روند جابجایی می‌شود و از آن مقدار به بعد تأثیر چندانی بر جابجایی افقی ندارد. با افزایش طول مسلح کننده‌ها جابجایی دیوار تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد، افزایش مقاومت کششی مسلح کننده‌ها می‌تواند تا ۵۰ درصد از مقدار بیشینه جابجایی افقی بکاهد. 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 دوبرابری بیشینه تغییر شکل افقی می‌شود.

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

www.SID.ir

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 باز می‌گردد [۱]. احتمالاً تسلیح یکی از کاربردهای جدید ژئوتکستایل‌های 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].

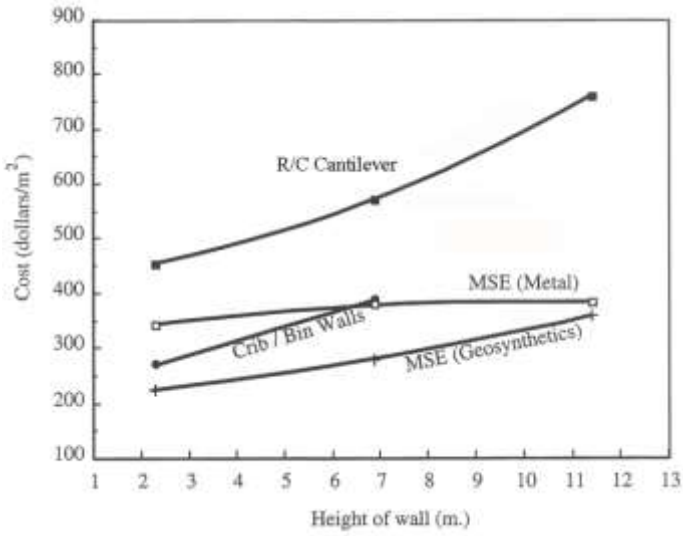
در سال‌های اخیر نوع خاصی از دیوارهای شکل‌پذیر رایج شده است که دیوارهای نگهبان خاک مسلح نام دارد. در این نوع دیوار المان‌های مسلح کننده از نوع تسمه‌های فولادی یا نوارهای ژئوسنتتیکی در درون توده خاک پشت دیوار به‌صورت افقی قرار داده می‌شود تا مقاومت برشی خاک پشت دیوار افزایش پیدا کند. این اجزا به وجه دیوار متصل می‌گردند؛ و همانند لنگر در مقابل حرکت خاک پشت دیوار مقاومت می‌کنند. به دلیل اینکه برای ایجاد نقش گیرداری در مسلح کننده‌ها باید در آن‌ها نیرو تولید شود و ازآنجایی‌که این نیرو از طریق اصطکاک بین خاک و المان‌های مسلح کننده منتقل می‌شود. به‌طورمعمول این دیوار در خاک‌های دانه‌ای با زاویه اصطکاک داخلی زیاد بسیار پرکاربرد است[۳] .

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 کوله پل‌ها برای کنترل دیواره قائم خاکی زیر پی پل و نیز پایداری خاک‌برداری‌های قائم استفاده می‌شود[۴] .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 ده 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 به شمار می‌رود [۵].

یو[1] و کیم دیوار نگهبان مسلح شده با ژئوتکستایل، تحت سربار موضعی به‌وسیله 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 [۶] . بیلگین[2] در سال ۲۰۰۹، تأثیر طول تقویت‌کننده بر سازوکار شکست دیوارهای GRS را بررسی نمود. لشچینسکی[3] 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 پلاستیسیتی به دست آورد. اگرچه چندین مطالعه برای بررسی رفتار پی قرارگرفته بر شیب‌های ماسه‌ای پایدار صورت پذیرفت (هوانگ و همکاران در سال ۱۹۹۴، یوو در سال۲۰۰۱) [۷].

[1] Yoo & Kim
[2] Bilgin
[3] Leshchinsky

www.SID.ir
Archive of SID



شکل ۱: مقایسه هزینه ساخت انواع دیوار نگهبان مسلح بر اساس ارتفاع [۸].

اسکینر و رو در سال ۲۰۰۵، برای افزایش ظرفیت باربری شالوده دیوار خاک مسلح مواردی از قبیل افزایش طول و افزایش سختی مسلح کننده‌ها موردبررسی 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 [۱۱].

سواف[1] 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. به‌هرحال، اطلاعات محدودی در خصوص تغییر شکل سازه‌های خاک مسلح ژئوسنتتیکی تحت بارگذاری عمودی پی نواری نزدیک تاج دیوار موجود می‌باشد [۱۲].

ایکسیه و لشچینسکی[2] در سال ۲۰۱۵ باهدف 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 [۱۰]. نیکس و آدامز[3] نیز در سال ۲۰۱۶، چندین آزمایش بزرگ‌مقیاس، باهدف تعیین تغییر شکل‌های خاک مسلح، بر روی دیوارهای خاکی مسلح ژئوسنتتیکی تحت بار سرویس انجام دادند [۹].

ویسوانادهام و مان[4] تعدادی مدل دیوار خاک مسلح با وجه پوسته برگردانده شده[5] با بستر صلب ساختند. در این پژوهش از انواع ژئوگریدها به‌عنوان مسلح کننده استفاده شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که علت اصلی گسیختگی دیوار ناشی از خواص تنش

[1] Sawwaf et al (2007)
[2] Xie & Leshchinsky
[3] Nicks & Adams
[4] Viswanadham & mane
[5] Wrap around

www.SID.ir
Archive of SID

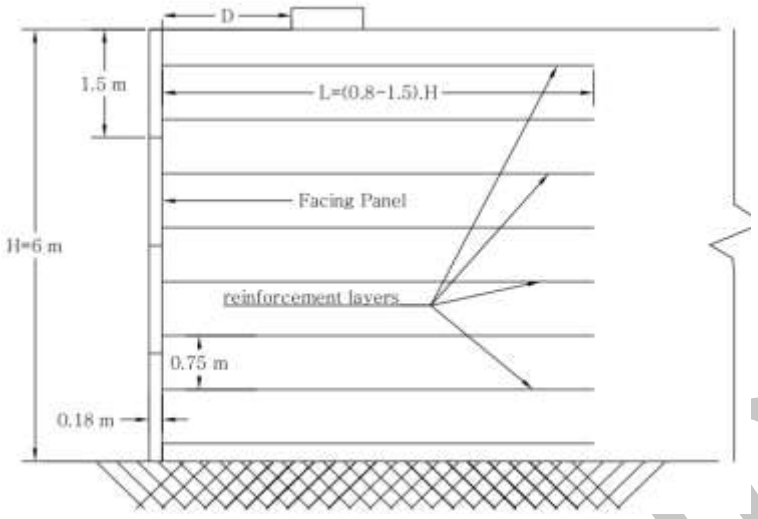
کششی-کرنش مسلح کننده است [۱۳]. تعیین مقدار جابجایی افقی‌دیوار خاک مسلح تحت اثر سربار یکی از مسائل مهم در طراحی دیوار نگهبان است. طراحی دیوارهای نگهبان مستلزم تخمین کمی جابه‌جایی افقی دیوار است. اگر سرباری به صورت غیر یکنواخت و یا در سطح محدودی اعمال شود، در این‌صورت مقدار تنش قائم و افقی و افزوده ناشی از سربار با عمق تغییر می‌کند و این تغییر در تنش باعث تغییر در جابجایی قائم و افقی می‌گردد.

۲- روش پژوهش

در این پژوهش جهت طرح اولیه سعی گردید تا با ارائه برنامه‌ای در محیط EXCEl طراحی دیوار خاک مسلح شده تحت اثر سربار نواری انجام شود. برای محاسبه بیشینه جابجایی ناشی از سربار نواری از نرم‌افزار عددی اجزای محدود PLAXIS استفاده شد. نرم‌افزار عددی PLAXIS یک نرم‌افزار اجزاء محدود می‌باشد. برای تحلیل هر پروژه جدید، نخست واردکردن یک مدل هندسی اهمیت دارد. یک مدل هندسی، نمایشی دوبعدی از نمونه 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 تاثیری نگذارند [۱۴]. نرم افزار PLAXIS قابلیت مدل-سازی هندسی سازه مورد نظر به صورت دو بعدی 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. ابعاد مدل عددی با انجام طراحی بر اساس روش حدی طوری در نظر گرفته گردید که از عدم گسیختگی سازه مورد نظر اطمینان حاصل شود. در تحلیل‌های اصلی در برنامه PLAXIS بار نواری در نسبت فواصل معین ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۸ فاصله بارگذاری از لبه دیوار به ارتفاع دیوار (D/H) اعمال گردید و بیشینه جابجایی افقی ناشی از سربار در عمق دیوار در نمودارهایی رسم گردید. در انجام محاسبات از دیواری به ارتفاع ۶ متر استفاده گردید. وجه دیوار از بلوک‌های صلب بتنی به ارتفاع ۱/۵ متر و ضخامت ۰/۱۸ متر ساخته شد. در جریان مدل‌سازی از شش نوع مسلح کننده ژئوسنتتیکی با فواصل ۰/۷۵ متر در ارتفاع و در پنج نسبت طولی (L/H) مختلف استفاده گردید. شکل ۲ نمایشگر نمای دوبعدی دیوار می‌باشد. در شکل‌های ۳- ۵ بیشینه جابجایی افقی دیوار خاک مسلح در پارامترهای مختلف برای سه بارگذاری مختلف ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلونیوتن بر متر مربع نمایش داده شده است علت انتخاب این مقادیر بارگذاری نزدیکی‌شان به مقادیر حقیقی بارگذاری عرشه پل است.

Archive of SID

www.SID.ir



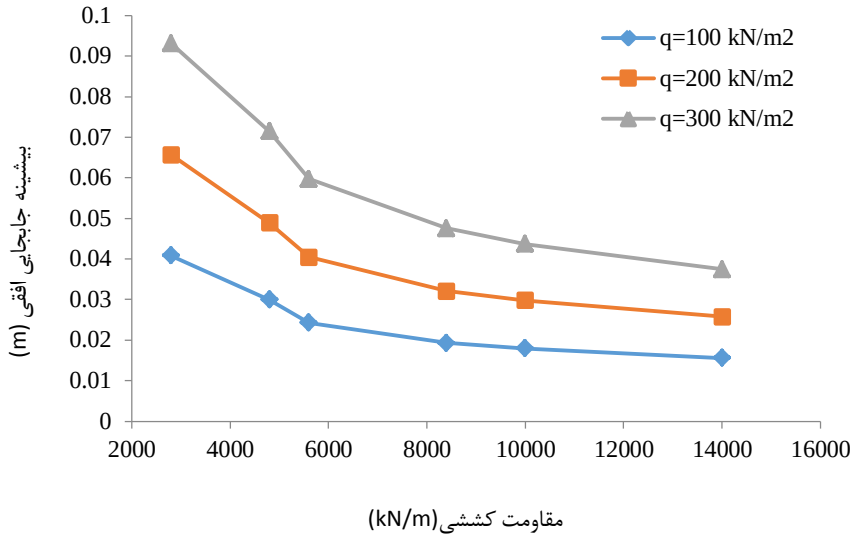
شکل ۲: نمای دو بعدی دیوار خاکی مسلح مدل‌سازی شده.

۳- بیشینه تغییر مکان افقی دیوار خاکی مسلح تحت اثر سربار عرشه پل

در شکل ۳ بیشینه تغییر مکان افقی دیوار خاکی مسلح در مقاومت کششی مسلح کننده‌های مختلف مشاهده می‌شود. افزایش مقاومت کششی مسلح کننده باعث کاهش تغییر مکان افقی دیوار خاک مسلح می‌گردد. همچنین باید توجه داشت که می‌توان با افزایش مقاومت کششی مسلح کننده میزان بیشینه تغییر مکان افقی را به نصف کاهش داد که نشان‌دهنده تأثیر بسیار زیاد مقاومت کششی مسلح کننده بر رفتار دیوار خاکی مسلح است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش مقاومت کششی مسلح کننده‌ها در هر مرحله، روند کاهش بیشینه تغییر مکان افقی کاهش می‌یابد. تا جایی که می‌توان از تأثیر تغییر مقاومت کششی در دو مرحله پایانی چشم‌پوشی کرد. علت این رفتار، مقاومت کششی بیش‌ازحد مسلح کننده می‌باشد، چراکه ایجاد تنش در مسلح کننده و به‌تبع آن جابجایی افقی در لایه‌ها، مستلزم وجود نیروی محرک اعمالی از لایه‌های بالایی می‌باشد. ازآنجاکه تنش اعمالی برای ایجاد تغییر مکان افقی در لایه‌های مسلح کننده با مقاومت کششی بزرگ‌تر، ناکافی است. روند کاهش بیشینه تغییر مکان افقی، روندی کاهشی خواهد بود.

Archive of SID

www.SID.ir



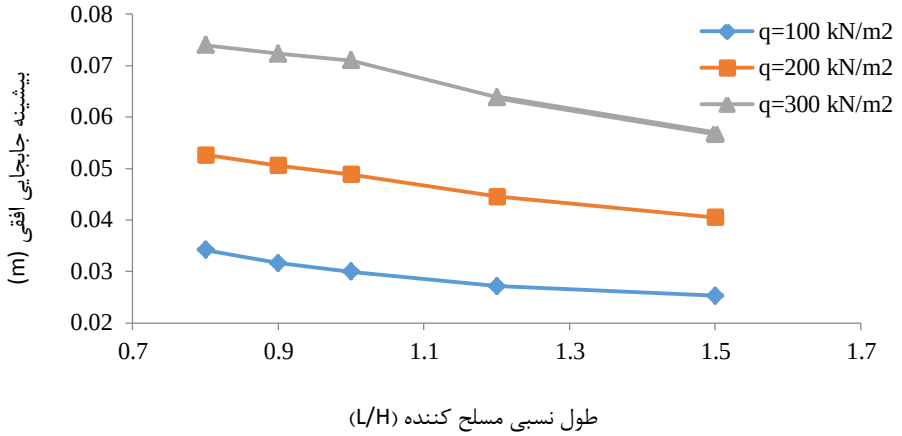
شکل ۳: نمودار تغییر شکل بیشینه وجه دیوار بر اساس مقاومت ژئوتکستایل در مقادیر بار مختلف.

در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب تغییر مکان افقی دیوار خاکی مسلح در نسبت‌های متفاوت طول مسلح کننده به ارتفاع دیوار و فاصله‌های مختلف بارگذاری از وجه دیوار نشان داده‌شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، با افزایش طول مسلح کننده‌ها، بیشینه تغییر مکان افقی دیوار کاهش می‌یابد. برای مثال، با توجه به شکل ۴، در بارگذاری ۲۰۰ کیلو نیوتن بر مترمربع، با افزایش نسبت طول مسلح کننده به ارتفاع دیوار از ۰/۸ به ۱، بیشینه تغییر مکان افقی دیوار ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. علت این کاهش تغییر مکان، افزایش مقاومت بیرون کشیدگی[1] در اثر افزایش طول گیرداری مسلح کننده‌هاست. این نکته قابل‌بیان است که در این پژوهش، هر مسلح کننده فقط به‌اندازه نیروی مقاومت بیرون کشیدگی خود، مقاومت کششی دارد.

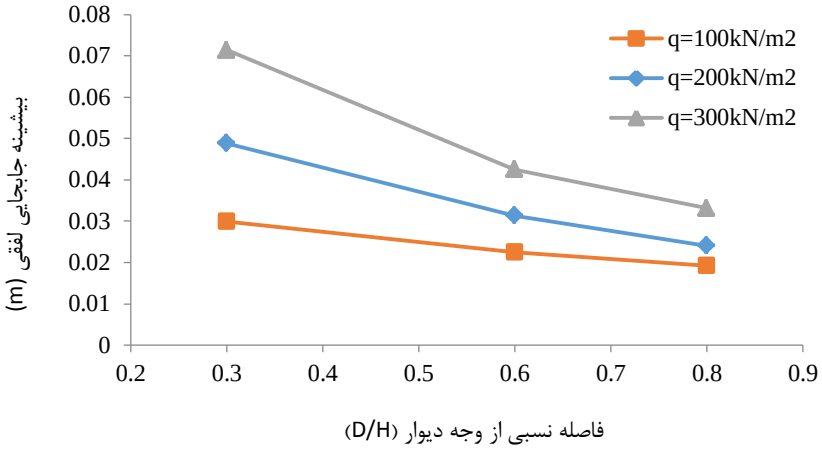
شکل ۵، نشان‌دهنده‌ی بیشینه تغییر شکل افقی دیوار در نسبت‌های مختلف فاصله بارگذاری به ارتفاع دیوار از وجه دیوار است. با افزایش مقدار بارگذاری عرشه پل، مقدار تنش افقی وارد بر دیوار افزایش می‌یابد و با دور شدن محل اعمال بار از وجه دیوار، مقدار این تنش کاهش‌یافته و مقدار بیشینه آن از بالای دیوار به سمت میانه دیوار حرکت می‌کند. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با افزایش فاصله محل اعمال بار از وجه دیوار، روند کاهش بیشینه جابجایی افقی دیوار کاهشی است و با کاهش مقدار بار این روند بیشتر کاهش می‌یابد.

[1] Pull Out

www.SID.ir



شکل ۴: نمودار تغییر شکل بیشینه وجه دیوار بر اساس طول نسبی ژئوتکستایل در مقادیر بار مختلف.

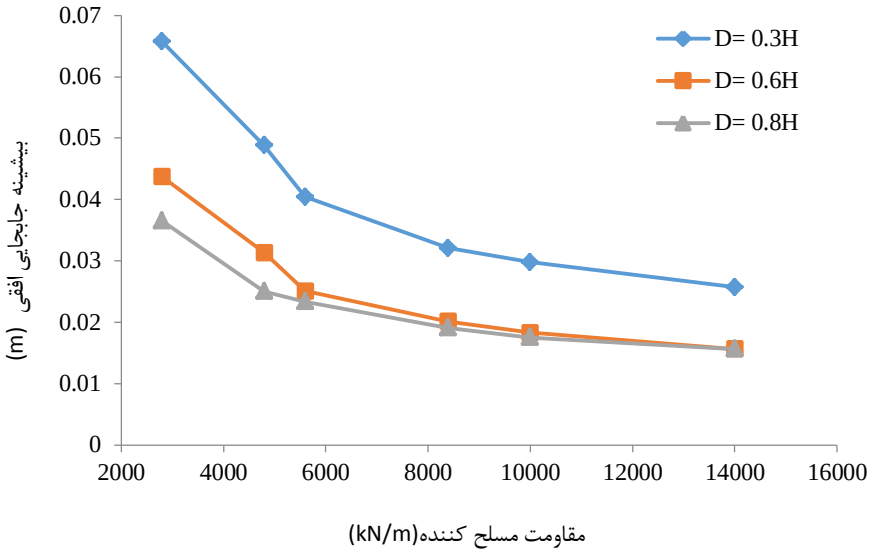


شکل ۵: نمودار تغییر شکل بیشینه وجه دیوار بر اساس فاصله نسبی بارگذاری از وجه دیوار در بارهای مختلف.

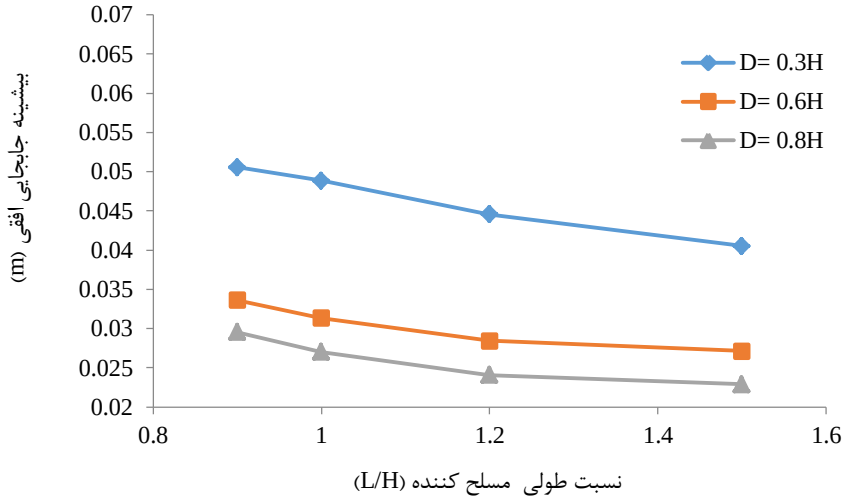
در شکل ۶ سه نکته قابل‌توجه است: اول آنکه، در نمودار از برای مسلح کننده‌های با مقاومت بیش‌تر از ۱۰۰۰۰ کیلو نیوتن بر متر روند کاهش تغییر شکل ناچیز می‌باشد و این نشان از مقاومت بیش‌ازحد مسلح کننده است. دوم این موضوع که در یک مقاومت ثابت، مثلاً ۶۰۰۰ کیلو نیوتن بر متر مشاهده می‌شود که بیشینه تغییر شکل افقی دیوار در تغییر جابجایی بار از نسبت فاصله ۰/۳ به ۰/۶ به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد، ولی این مقدار از نسبت ۰/۶ تا ۰/۸ تغییر ناچیزی دارد. این امر ناشی از کاهش یافتن تنش افقی در اثر فاصله گرفتن از دیوار است. در فصل قبل نحوه توزیع تنش پشت دیوار در اثر بارگذاری نواری نشان داده شد، همان‌طور که در نمودار مشخص است، اختلاف تنش در نسبت‌های ۰/۶ و ۰/۸ ناچیز می‌باشد و محل بیشینه جابجایی افقی تقریباً در یک ارتفاع اتفاق می‌افتد.

www.SID.ir

نکته سوم تأثیر فاصله بارگذاری در مقاومت‌های پایین مسلح کننده است. مشاهده می‌شود که در مقاومت‌های کششی کم‌تر از ۵۶۰۰ کیلو نیوتن بر متر، با جابجایی بار از ۰/۶ به ۰/۸ حدود ۲۰ درصد از بیشینه جابجایی افقی کاسته می‌شود.



شکل ۶: نمودار تغییر شکل بیشینه وجه دیوار بر اساس مقادیر مقاومت کششی مسلح کننده، در سه حالت فاصله نسبی متفاوت از وجه دیوار.



شکل ۷: نمودار تغییر شکل بیشینه وجه دیوار بر اساس نسبت‌های طولی مسلح کننده، در سه حالت فاصله نسبی متفاوت از وجه دیوار.

در شکل ۷ بیشینه تغییر مکان افقی دیوار خاکی مسلح در نسبت‌های طول به ارتفاع متفاوت مسلح کننده، مشاهده

www.SID.ir

می‌شود. افزایش طول مسلح کننده باعث کاهش بیشینه جابجایی افقی دیوار خاک مسلح می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است، در نسبت‌های طولی بیش‌ازحد ۰/۶ طول مسلح کننده به ارتفاع دیوار، تأثیر محل قرارگیری بار، بر روی تغییر شکل‌ها به‌شدت کاهش پیدا می‌کند.

۴- نتیجه گیری

این پژوهش نتایج تحلیل ۷۵ مدل‌سازی عددی برای بررسی رفتار دیوار خاکی مسلح ژئوسنتتیکی تحت بارگذاری نواری را ارائه می‌دهد. در جریان پژوهش چهار پارامتر تاثیرگذار در رفتار دیوارخاک مسلح بررسی گردید: ۱) محل قرار گیری بار، ۲) میزان بار، ۳) طول مسلح کننده، ۴) مقاومت کششی مسلح کننده. با بررسی تحلیل‌ها نتایجی کلی به قرار زیر استخراج گردید:

۱. افزایش مقاومت کششی مسلح کننده باعث کاهش تغییر مکان افقی دیوار خاک مسلح ژئوسنتتیکی می‌شود. همچنین باید توجه داشت که می‌توان با افزایش مقاومت کششی مسلح کننده میزان بیشینه تغییر مکان افقی را به طرز چشمگیری کاهش داد، با افزایش مقاومت کششی مسلح کننده‌ها در هر مرحله، روند کاهش بیشینه تغییر مکان افقی کاهش می‌یابد. تا جایی که می‌توان از تأثیر تغییر مقاومت کششی در مقاومت‌های بالا چشم‌پوشی کرد. ازآنجایی‌که مسلح کننده با مقاومت کششی ۸۴۰۰ کیلو نیوتن بر متر به ظرفیت کششی خود نمی‌رسد، بنابراین کاملاً طبیعی است که مسلح کننده‌های با مقاومت کششی بیشتر تأثیری در جابجایی‌ها نداشته باشند.
۲. با افزایش نسبت طول مسلح کننده‌ها، تغییر مکان افقی بیشینه دیوار تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. علت این کاهش تغییر مکان، افزایش نیروی اصطکاکی در اثر افزایش طول گیرداری مسلح کننده‌هاست. در ابتدا نیروی اصطکاکی ایجادشده در جداره متناسب با نیروی بیرون کشیدگی مسلح کننده است و با افزایش نیروی مسلح کننده نیروی اصطکاک جداره به بیشینه مقدار خود می‌رسد، و پس‌ازآن دیگر افزایش نمی‌یابد.
۳. با افزایش فاصله بارگذاری از وجه دیوار، جابجایی افقی دیوار ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله از وجه دیوار، محل بیشینه جابجایی افقی از قسمت بالای دیوار به سمت میانه دیوار حرکت می‌کند. این حالت تغییر شکل، شبیه به حالت دیوار بدون بارگذاری است؛ یعنی با افزایش فاصله محل اثر بار از وجه دیوار، تأثیر مستقیم بار، بر تغییر شکل وجه دیوار کاهش می‌یابد.

Archive of SID

مراجع

[1]. Jones, C. J. F. P, Earth Reinforcement and Soil Structures, 1th Edition, Butterworths, London, 1985.

[2]. T. S. Ingold, The Geotextilees and Geomembranes Manual, 1th Edition, Elsevier Science Publishers LTD, 1994.

[3]. D. F. McCarthhy, Essentials of Soil Mechanics & Foundations, 7th Edition, Pearson Prentice Hall, 2007.

[4]. M. Budhu, Foundation and Earth Retaining Structures, 2th Edition, John Wiley & Sons, 2008.

[5]. R. M. Koerner and T. Y. Soong, "Geosynthetic reinforced segmental retaining walls", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 19, 2001.

[6]. 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.

[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]. V. Elias, R. Barry, and B. R. Christopher, "Mechnically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines", FHWA Report # FHWA-NHI-00-043, National Highway Institute Office of Bridge Technology, pp.17-56, 2001.

[9]. 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.

[10]. Yonggui Xie, Ben Leshchinsky, "MSE walls as bridge abutments: Optimal reinforcement density", Geotextiles and Geomembranes, Vol.43, pp. 128-138, 2015.

[11]. Graeme D. Skinner, R. Kerry Rowe, "Design and behavior of a geosythetic reinforced retaining wall and bridge abutment on a yielding foundation", Geotextiles and Geomembranes, Vol.23, pp.234-260, 2005.

[12]. 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.

[13]. 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.

[14]. PLAXIS Reference Manual, 2D-Version8, A. A. Balkema Publishers, Lisse, Abingdon, Exton (pa), Tokyo, 2002.

Archive of SID

www.SID.ir