

نوع مقاله: یادداشت پژوهشی

چکیده

با افزایش بلندمرتبه‌سازی و استفاده از حمل‌ونقل زیرزمینی در محیط‌های شهری، لزوم استفاده از گودبرداری‌های عمیق‌تر از پیش احساس می‌شود و استفاده از دیوار سپری، یکی از روش‌های کاربردی برای پایدارسازی این گودها می‌باشد. استفاده از مخلوط ماسه و تراشه‌های لاستیک در قسمت خاک ریز دیوارهای سپری با عمق‌های متفاوت، می‌تواند اثرات مختلفی بر جابه‌جایی جانبی و حداکثر لنگر خمشی دیوار سپری دو مزاری داشته باشد، بنابراین در این پژوهش با استفاده از مشخصات خاک ماسه‌ای و تراشه‌های لاستیک با نسبت‌های حجمی ۱۵ و ۳۰ درصد، تأثیرات استفاده از این مخلوط در قسمت خاک ریز، در شرایط استاتیکی و شبه‌استاتیکی به وسیله ضرایب لرزه‌ای افقی مختلف، برای دیوارهای با ارتفاع متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که در شرایط استاتیکی، استفاده از مخلوط ماسه و تراشه‌ی لاستیک در قسمت خاک ریز دیوار به جای خاک ریز تمام ماسه‌ای، منجر به کاهش جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی سپری می‌شود. جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی ایجاد شده در سپری، با افزایش ضریب شتاب لرزه‌ای افقی، روندی افزایشی از خود نشان داده است اما در یک ضریب شتاب لرزه‌ای افقی ثابت، با استفاده از مخلوط ماسه و تراشه لاستیک، مقادیر به دست آمده کاهش یافته است که در این بین، عملکرد مخلوط با نسبت حجمی ۳۰ درصد بهتر از عملکرد مخلوط با نسبت حجمی ۱۵ درصد بوده است، همچنین استفاده از خاک مسلح به لاستیک‌های فرسوده، به دلیل کاهش لنگرهای ایجاد شده در سپری، منجر به طرح اقتصادی‌تری برای طراحی لرزه‌ای سپری‌ها می‌شود.

واژگان کلیدی: سپری، تراشه لاستیک، جابه‌جایی جانبی، لنگر خمشی، شبه استاتیکی.

تحلیل عددی جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی سپری دو مزاری با خاک ریز مسلح به تراشه لاستیک در شرایط استاتیکی و شبه‌استاتیکی

محمد امین محمد ابراهیمی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

مسعود عامل سخی (نویسنده مسئول)

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران، amelsakhi@qut.ac.ir

روح‌اله بختیاری دوست

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

۱- مقدمه

با افزایش بلندمرتبه‌سازی و استفاده از حمل‌ونقل زیرزمینی در محیط‌های شهری، لزوم استفاده از گودبرداری‌های عمیق‌تر از پیش احساس می‌شود. به منظور جلوگیری از آسیب‌های جانی و مالی در این مورد، گودها باید با روش‌های مناسب پایدارسازی شوند. استفاده از دیوار سپری، یکی از روش‌های کاربردی در این زمینه است که پس از بررسی شرایط پروژه، قابل اجرا می‌باشد، همچنین از مزایای استفاده از سپری فولادی نسبت به روش‌های دیگر پایدارسازی، می‌توان به عدم نیاز به تمهیدات خاص در پروژه، سبک بودن و قابلیت استفاده دوباره

اشاره کرد. در هنگام استفاده از سپری‌های فولادی، ممکن است خاک موجود در پروژه برای خاک ریزی قسمت پشت دیوار، ضعیف باشد، بنابراین نیاز است تا با استفاده از روش‌های مختلف و اقتصادی، این خاک تقویت شود. روش‌های متفاوتی برای تقویت خاک‌های ضعیف وجود دارد که از جمله‌ی آنها می‌توان به استفاده از تراشه‌های لاستیک فرسوده خودروها اشاره کرد. سالیانه تعداد زیادی لاستیک خودرو، از چرخه استفاده خارج و باعث رقم خوردن چالش‌های زیست‌محیطی گسترده می‌شوند. استفاده‌ی مجدد از این لاستیک‌های فرسوده، کمک

مخلوط ماسه و تراشه‌های لاستیک با نسبت وزنی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد، به عنوان مواد خاک ریز با وزن سبک استفاده شد. مشاهده شد که دیوار با مخلوط ۱۵ درصد در خاک ریز، عملکرد بهتری نسبت به ماسه‌ی بدون چسبندگی، نشان داده است و استفاده از مخلوط ماسه و تراشه‌ی لاستیک، در خاک ریز دیوار حائل، می‌تواند منجر به کاهش جابه‌جایی دیوار و در نتیجه، کاهش ابعاد دیوار طره‌ای در حالت استاتیکی شود. بیلگین (Bilgin, 2010) اثر نوع ساخت‌وساز دیوار سپری فولادی، برای پروفیل‌های مختلف خاک و دیوار با ارتفاع‌های متفاوت را، با استفاده از مدل‌سازی المان محدود بررسی و مطالعه کرد. در این پژوهش، تأثیر روش ساخت‌وساز بر رفتار خاک، تغییر شکل دیوار، لنگر خمشی دیوار و نیروهای مهار بررسی شد. نتایج مطالعه نشان داد که ساخت دیوار سپری با روش خاک‌ریزی نسبت به روش خاک‌برداری، لنگر خمشی و تغییر شکل دیوار را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. عماره و سلیم (Emarah & Seleem, 2018) یک مطالعه‌ی پارامتری عددی، در سیستم‌های سپری تک و دو مزاری انجام دادند. این مطالعه با تغییر برخی از پارامترها، مانند عمق مدفون سپری، موقعیت میله‌های مهار و سختی خمشی دیوار سپری، تحت تأثیر قرار گرفت. نتایج نشان داد که نیروهای توسعه یافته در میله‌های مهار پایین، همیشه بیشتر از نیروهای توسعه یافته در میله‌های مهار بالاهستند و مقدار بالاتر حداکثر لنگر خمشی، در دیوار سپری سخت‌تر به دست می‌آید. سینگ و چترجی (Singh & Chatterjee, 2019)، تأثیر سربار یکنواخت در سطح زمین با فاصله از دیوار را، برای لنگر خمشی، فشار خالص زمین، جابه‌جایی جانبی سپری و نشست دیوارهای سپری طره‌ای، بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده‌ی این بود که وجود سربار یکنواخت در بالای دیوار، بر رفتار دیوار سپری طره‌ای، به‌طور قابل‌توجهی اثر می‌گذارد و با افزایش فاصله سربار یکنواخت، اثر آن کاهش یافته و در فاصله‌ی بیش از دو برابر عمق حفاری، تأثیر سربار ناچیز است. سینگ و چترجی (Singh & Chatterjee, 2020) دیوارهای سپری طره‌ای تحت سربار را، برای نشست و انحراف جانبی، از

زیادی به محافظت و نگهداری از محیط‌زیست می‌کند. تاکنون تحقیقات زیادی بر روی استفاده از تراشه‌ی لاستیک فرسوده، برای افزایش پارامترهای مقاومتی خاک‌های ماسه‌ای ضعیف، انجام شده است که نشان‌دهنده عملکرد مؤثر و خوب آن‌ها در تقویت این پارامترها بوده است. از آنجا که دیوار سپری فولادی می‌تواند به‌صورت دائمی و بلندمدت مورد استفاده قرار بگیرد، توجه به عملکرد آن‌ها در شرایط لرزه‌ای و تحت شتاب‌های مختلف، قابل اهمیت می‌باشد.

در مطالعات پیشین توسط عامل سخی (Amelsakhi, 2001) و قضاوی و عامل سخی (Ghazavi & Amelsakhi, 2005)، اثر درصد وزنی و نسبت ابعاد تراشه‌های لاستیک فرسوده، بر پارامترهای مقاومت برشی ماسه مخلوط با تراشه‌های لاستیک را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مخلوط ماسه و تراشه‌های لاستیک، نسبت به ماسه‌ی خالص، از مقاومت بهتری برخوردار است. در مطالعه عددی صورت گرفته بر روی پی مستقر بر روی خاک مسلح شده توسط تراشه‌های لاستیک‌های فرسوده، اثر مثبت استفاده از این مصالح به‌صورت نرم‌افزاری مورد تحقیق قرار گرفت (Amelsakhi & Zamani, 2013). شریعتمداری و زرگرباشی (Shariatmadari & Zargarbashi, 2002)، عملکرد تایرهای فرسوده‌ی خرد شده برای تسلیح ماسه به‌عنوان مصالح خاک‌ریز پشت دیوار را، با ساخت مدل فیزیکی دیوار یک متری بررسی کردند. مشاهده شد که افزایش میزان لاستیک‌ها، به‌طور قابل‌توجهی فشارهای جانبی روی دیوار را کاهش و مقاومت برشی ماسه را افزایش می‌دهد. در یک پژوهش دیگر ردی و کریشنا (Reddy & Krishna, 2015)، به بررسی آزمایشگاهی مخلوط ماسه و خرده‌های لاستیک، با نسبت وزنی متفاوت، به عنوان خاک ریز دیوارهای حائل صلب، با در نظر گرفتن سربار استاتیکی روی دیوار، پرداختند. نتایج نشان‌دهنده‌ی این بود که جابه‌جایی جانبی و فشار جانبی دیوار در این حالت، ۵۰ تا ۶۰ درصد، کاهش می‌یابد. دامالا و همکاران (Dammala et al., 2015) رفتار دیوار حائل طره‌ای با خاک ریز از جنس مخلوط ماسه و تراشه‌ی لاستیک را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، از

دو مهاری داشته باشد که این مسئله تا به حال در پژوهش‌های پیشین مورد توجه و بررسی قرار نگرفته است؛ بنابراین در این پژوهش با استفاده از مشخصات خاک ماسه‌ای و تراشه‌های لاستیک با نسبت‌های حجمی ۱۵ و ۳۰ درصد، تأثیرات استفاده از این مخلوط در قسمت خاک‌ریز، در شرایط استاتیکی و شبه‌استاتیکی به وسیله‌ی ضرایب لرزه‌ای افقی مختلف، بر روی جابه‌جایی جانبی و حداکثر لنگر خمشی سپری فولادی، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- نرم‌افزار و صحت‌سنجی

توسعه‌ی نرم‌افزار PLAXIS، در سال ۱۹۸۷ در دانشگاه فنی دلفت آغاز شد. هدف اولیه، توسعه‌ی یک نرم‌افزار اجزای محدود دو بعدی با کاربری آسان، برای تجزیه و تحلیل خاک‌ریزهای رودخانه در خاک‌های نرم دشت‌های هلند بود. PLAXIS در سال‌های بعد، برای پوشش بیشتر حوزه‌های دیگر مهندسی ژئوتکنیک گسترش یافت. استفاده از این نرم‌افزار اجزای محدود، از آن جهت حائز اهمیت می‌باشد که دقت و جزئیات ارائه شده توسط تجزیه و تحلیل اجزای محدود در مرحله‌ی طراحی، می‌تواند باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در طول ساخت و ساز شود.

برای صحت‌سنجی نرم‌افزار و همچنین اطمینان از درستی مدل‌سازی و نتایج به‌دست‌آمده، از یک مقاله‌ی مرتبط با موضوع این پژوهش استفاده شد. دلیل انتخاب این مقاله (Bilgin, 2010)، در دسترس بودن اطلاعات لازم برای مدل‌سازی، اعتبار مقاله و صحت مطالب مندرج در آن بوده است. به همین منظور از این مقاله، یک مدل از دیوار با ارتفاع ۱۲ متر که خاک قرار گرفته در قسمت خاک‌ریز پشت دیوار، ماسه با تراکم متوسط بود برای مدل‌سازی انتخاب شد. پس از مدل‌سازی و تحلیل، نتایج به‌دست‌آمده با نتایج موجود در مقاله مقایسه و بین نتایج انطباق خوبی مشاهده شد. نمودارهای مقایسه‌ای جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی سپری، در شکل‌های (۱) و (۲) قابل مشاهده است.

طریق رویکرد شبه‌استاتیکی، مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. این مطالعه به صورت پارامتریک، با فرض یک مدل موهر-کولمب، با تغییر در ضرایب لرزه‌ای، عمق نفوذ، زاویه اصطکاک خاک و دیوار، نوع خاک، مقدار سربار و فاصله از بالای دیوار انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش ضریب شتاب لرزه‌ای افقی، جابه‌جایی جانبی و نشست دیوارهای سپری طره‌ای، افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده شده است که با افزایش در فاصله‌ی سربار از بالای دیوار، نشست و جابه‌جایی جانبی، کاهش می‌یابد. در پژوهشی دیگر توسط کونتلی و ویجیانی (Conti & Viggiani, 2013) یک روش تعادل حدی شبه‌استاتیکی برای طراحی دیوارهای نگهدارنده طره‌ای ارائه شد. در این روش یک مطالعه پارامتریک از اثرات هندسه دیوار، با توجه به عمق‌های مختلف گود، عمق مدفون سپری، مقاومت خاک و تماس خاک و دیوار به کار رفت. مشخص شد که برای افزایش مقاومت سیستم دیوار-خاک، هر دو پارامتر شتاب بحرانی و حداکثر لنگر خمشی، افزایش می‌یابد. باسو و همکاران (Basu et al., 2022) به مدل‌سازی عددی یک دیوار سپری، با خاک‌ریز ماسه‌ای در شرایط لرزه‌ای پرداختند تا توانایی ابزارهای عددی در ارزیابی این سیستم را بررسی کنند. هونگ و همکاران (Hung et al., 2022) با استفاده از آزمایش‌های ساترفیوژ، رفتار دیوارهای سپری در حاشیه‌ی رودخانه‌ها و در معرض بارگذاری دینامیکی را بررسی کردند. مشاهده شد که در مقایسه با دیوار تک‌مهاری، دیوار دو مهاری می‌تواند جابه‌جایی جانبی، لنگر خمشی و زاویه‌ی چرخش سپری را، به میزان یک‌سوم کاهش دهد و نیروی مهار یک دیوار تک‌مهاری را $1/74$ برابر افزایش دهد. همچنین بیشترین لنگر خمشی، در سیستم دیوار تک‌مهاری، تقریباً دو برابر سیستم دیوارهای دو مهاری و بدون مهار بود و استفاده از دیوارهای دو مهاری، به‌طور قابل توجهی می‌تواند، حداکثر لنگر خمشی در امتداد سپری را کاهش دهد.

استفاده از مخلوط ماسه و تراشه‌های لاستیک در قسمت خاک‌ریز دیوارهای سپری با عمق‌های متفاوت، می‌تواند اثرات مختلفی بر جابه‌جایی جانبی و حداکثر لنگر خمشی دیوار سپری

۳۰ درصد (STC30). مشخصات پارامترهای مختلف این خاک‌ها برای مدل رفتاری موهر-کولمب در جدول (۱) آمده است. مقطع مورد نیاز برای سپری فولادی، بر اساس محاسبات تعادل حدی و روش پای مفصلی به دست آمده است که در جدول (۲) قابل مشاهده است. زاویه‌ی مهار با سطح افق در تمام مدل‌ها، ۱۵ درجه در نظر گرفته شده است، سایر مشخصات مهارها در جدول‌های (۳) و (۴) آمده است.

جدول (۱): مشخصات مصالح مورد استفاده در مدل‌سازی (Jjadouni et al., 2019; Amelsakhi, 2001).

STC30	STC15	STC0	
۱۵/۵	۱۵/۵	۱۵/۵	وزن مخصوص (کیلو نیوتن بر متر مکعب)
۲۳۰۰۰	۲۴۰۰۰	۲۵۰۰۰	مدول الاستیسیته (کیلو نیوتن بر متر مربع)
۰/۳۰۶	۰/۳۰۳	۰/۳	ضریب پواسون (۷)
۳۷	۳۳	۳۱	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
۲۰	۱۱	۰	چسبندگی (کیلو پاسکال)
۷	۳	۰	زاویه اتساع (درجه)
۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	ضریب اصطکاک دیوار و خاک

جدول (۲): مشخصات سپری‌های فولادی (Das, 2016).

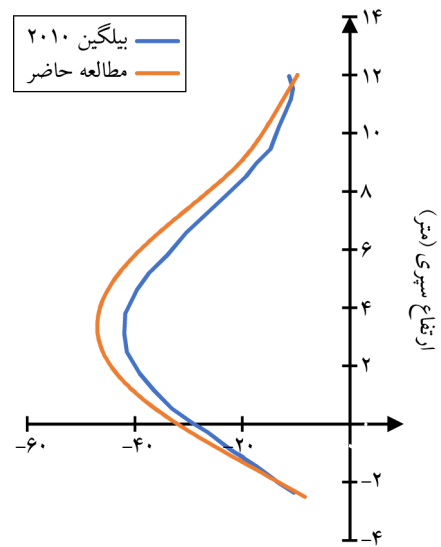
PZ35	PZ27	PZ22	
2×10^8	2×10^8	2×10^8	مدول الاستیسیته (کیلو نیوتن بر متر مربع)
$4/36 \times 10^6$	$3/36 \times 10^6$	$2/73 \times 10^6$	سختی محوری (کیلو نیوتن بر متر)
۹۸۶۰۰	۵۰۴۰۰	۲۳۰۰۰	سختی خمشی (کیلو نیوتن متر مربع بر متر)
.	.	.	ضریب پواسون

جدول (۳): خصوصیات ناحیه‌ی آنباند مهار (Sabatini et al., 1999).

ارتفاع دیوار (متر)	سختی محوری (کیلو نیوتن بر متر)	فاصله عرضی (متر)	حداکثر نیروی کششی (کیلو نیوتن)	حداکثر نیروی فشاری (کیلو نیوتن)
۶	$0/3 \times 10^5$	۲	۱۵۶	۱۵۶
۹	$1/47 \times 10^5$	۲	۷۸۲	۷۸۲
۱۲	$1/47 \times 10^5$	۲	۱۰۹۵	۱۰۹۵

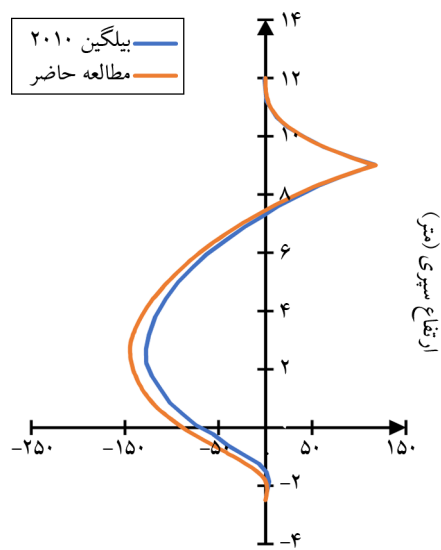
جدول (۴): خصوصیات ناحیه‌ی باند مهار (Sabatini et al., 1999).

ارتفاع دیوار (متر)	سختی محوری (کیلو نیوتن بر متر)	حداکثر نیروی محوری (کیلو نیوتن بر متر)
۶	$0/15 \times 10^5$	۷۸
۹	$0/73 \times 10^5$	۳۹۱
۱۲	$0/73 \times 10^5$	۵۴۷



جابه‌جایی جانبی سپری (میلی متر)

شکل (۱): نمودار تغییرات جابه‌جایی جانبی سپری در امتداد ارتفاع سپری (Bilgin, 2010).



لنگر خمشی سپری (کیلو نیوتن در متر بر متر)

شکل (۲): نمودار تغییرات لنگر خمشی سپری در امتداد ارتفاع سپری (Bilgin, 2010).

۳- مشخصات مصالح مصرفی

برای بررسی اثر خاک ماسه‌ای مسلح شده با تراشه‌های لاستیک فرسوده، قرار گرفته در قسمت خاک ریز پشت دیوار، از سه نوع مختلف خاک، در این مطالعه استفاده شد. این سه نوع خاک عبارتند از ماسه‌ی خالص (STC0)، مخلوط ماسه و تراشه‌ی لاستیک با نسبت حجمی ۱۵ درصد (STC15) و نسبت حجمی

۳- مدل‌سازی عددی

مدل‌سازی عددی در این پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار المان محدود PLAXIS انجام شده است. عمق مدل عددی استفاده شده، دو برابر ارتفاع دیوار، از پایین خط لایروبی در نظر گرفته شده است، همچنین عرض مدل نیز، هشت برابر ارتفاع دیوار می‌باشد که دیوار سپری در وسط عرض مدل جای گرفته است. این ابعاد برای تمام دیوارهای مدل شده در این مطالعه با ارتفاع‌های ۶، ۹ و ۱۲ متر در نظر گرفته شده است. به‌عنوان مثال در دیوار به ارتفاع ۱۲ متر، عمق کل مدل برابر ۳۶ متر و عرض کل مدل برابر با ۹۶ متر می‌باشد.

در مدل‌سازی دیوار سپری در این پژوهش، از روش ساخت مرحله‌ای استفاده شده است. ابتدا دیوار سپری در خاک کوبیده می‌شود که عمق نفوذ سپری برای دیوارهای ۶، ۹ و ۱۲ متری، به ترتیب ۲/۵، ۴/۵ و ۵/۵ متر در نظر گرفته شده است که در محاسبه‌ی این پارامتر از روش مرسوم پای مفصلی و ضریب اطمینان ۱/۴ استفاده شد. سپس خاک پشت دیوار به شش قسمت مساوی تقسیم و در شش مرحله اضافه شده است. لازم به ذکر است که المان مهار نیز هنگام خاک‌ریزی پشت دیوار، با رسیدن به موقعیت آن، فعال و اجرا می‌شود و سپس ادامه‌ی خاک‌ریزی صورت می‌گیرد. در دیوارهای دو مهاری، محل قرارگیری مهار اول در $0.25H$ ، ارتفاع گود یا همان ارتفاع دیوار سپری می‌باشد و محل قرارگیری مهار دوم، در وسط فاصله‌ی بین مهار اول و کف گود، یعنی $0.625H$ از بالای دیوار در نظر گرفته شد.

در ابتدا، دیوار سپری دو مهاری با ارتفاع‌های ۶، ۹ و ۱۲ متر، همراه با خاک‌ریز تمام ماسه‌ای مدل‌سازی شد، سپس اثر عمق لایه خاک مسلح شده با تراشه‌های لاستیک، بر جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی دیوارهای سپری دو مهاری، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.

برای بررسی اثر عمق خاک مسلح شده، خاک قسمت پشت دیوار به سه قسمت برابر تقسیم می‌شود. ابتدا در یک مدل، یک‌سوم بالایی خاک‌ریز با مخلوط STC15 و دو سوم پایینی با

خاک ماسه‌ای پر شد، سپس در مدل بعدی، دو سوم بالایی خاک‌ریز با مخلوط STC15 و یک‌سوم پایینی با خاک ماسه‌ای پر شد. عیناً همین مدل‌ها، با مخلوط STC30 به جای مخلوط SCT15 تکرار شد.

در نهایت تمام سه قسمت خاک‌ریز با خاک‌های STC15 و STC30 نیز پر شد تا اثر خاک‌ریز کامل مسلح شده و اثر عمق لایه خاک مسلح شده دیده شود.

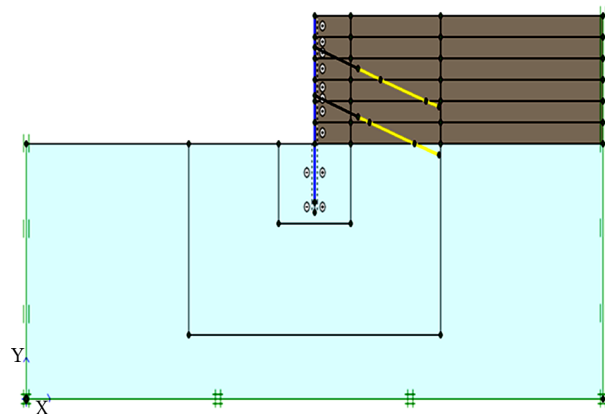
در انتها، به‌منظور تحلیل شبه‌استاتیکی گود پایدار شده با دیوار سپری و مشاهده‌ی رفتار جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی سپری در این وضعیت، سه ضریب شتاب لرزه‌ای افقی ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ به مدل عددی اعمال شد تا اثرات تغییر این ضریب بر رفتار دیوار سپری با ارتفاع‌های متفاوت و خاک‌ریز مسلح شده، بررسی شود.

۴- نام‌گذاری مدل‌ها

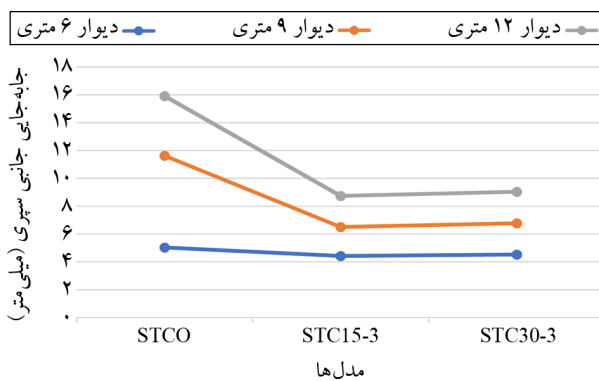
برای بیان نتایج در ادامه، نام مدل‌ها بر اساس ارتفاع دیوار و خاک قرار گرفته در قسمت خاک‌ریز نام‌گذاری شده است. به‌طور مثال S12-STC0 به معنای مدل دیوار سپری با ارتفاع ۱۲ متر و با خاک‌ریز تمام ماسه‌ای می‌باشد. حرف S در ابتدای نام‌گذاری، از حرف اول کلمه‌ی Sheet pile برگرفته شده است. به همین صورت برای نام‌گذاری مدل‌هایی که در آن، اثر تغییر عمق لایه خاک مسلح شده، دیده شده است، یک عدد به انتهای نام‌گذاری مدل‌ها اضافه شده است، یعنی برای مدلی که در آن، فقط یک‌سوم بالایی خاک‌ریز مسلح شده است، عدد ۱، برای مدلی که دو سوم بالایی خاک‌ریز مسلح شده است، عدد ۲ و برای خاک‌ریزی که به‌صورت کامل با تراشه‌های لاستیک مسلح شده است، عدد ۳ به انتهای نام مدل افزوده شده است.

به‌عنوان مثال مدل S12-STC15-2 بیانگر دیوار سپری ۱۲ متری با خاک‌ریزی که دو سوم بالایی آن با مخلوط ماسه و تراشه‌های لاستیک با نسبت حجمی ۱۵ درصد مسلح شده است می‌باشد. یک نمونه‌ی دیگر از نام‌گذاری مدل‌ها، در شکل (۳) مشاهده می‌شود.

همان گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، استفاده از مخلوط ماسه و تراشه لاستیک در قسمت خاک ریز پشت دیوار، منجر به کاهش جابه‌جایی جانبی سپری شده است که در این زمینه عملکرد مخلوط ۱۵ درصد و ۳۰ درصد تقریباً مشابه و برابر بوده است. همچنین مشاهده می‌شود که هرچه دیوار ارتفاع بیشتری داشته باشد، درصد کاهش جابه‌جایی جانبی سپری، بیشتر بوده است. به عبارت دیگر، اثربخشی این تسلیح خاک، خود را بهتر نشان می‌دهد.



شکل (۳): مدل S12-STC30-3



شکل (۴): نمودار تغییرات جابه‌جایی جانبی سپری در سه مدل مختلف در دیوار با ارتفاع‌های متفاوت.

لنگر خمشی حداکثر دیوار سپری، با مسلح سازی خاک ریز با تراشه‌های لاستیک و بهبود پارامترهای مقاومت برشی خاک، کاهش پیدا کرده است که این تغییرات در دیوار با ارتفاع ۶ متر و مخلوط ۱۵ درصد بین ۰/۶ تا ۲۴/۴۳ درصد و هنگام استفاده از مخلوط ۳۰ درصد بین ۰/۴ تا ۲۱/۹۵ درصد بوده است. با افزایش ارتفاع سپری نیز رفتار مشاهده شده به همین صورت می‌باشد. در سپری با ارتفاع ۹ و ۱۲ متر، حداکثر کاهش در مقدار لنگر خمشی به ترتیب برابر با ۶۰/۰۷ و ۵۶/۹۹ درصد می‌باشد. هنگامی که دوسوم بالایی خاک ریز مسلح به تراشه‌های لاستیک باشد، بیشترین کاهش در مقدار لنگر خمشی دیده شده است، اما در این وضعیت مقدار جابه‌جایی جانبی سپری افزایش می‌یابد، بنابراین برای کاهش در هر دو پارامتر، باید تمام خاک ریز مسلح به تراشه‌های لاستیک شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده، در صورت استفاده از مخلوط ماسه و تراشه‌های لاستیک در قسمت

۵- نتایج عددی

۵-۱- شرایط استاتیکی

جابه‌جایی جانبی سپری، در دیوار ۶ متری، هنگام استفاده از خاک مسلح به تراشه‌های لاستیک، روندی کاهشی از خود نشان می‌دهد که این کاهش به دلیل افزایش پارامترهای مقاومت برشی خاک ماسه‌ای، در اثر مسلح‌سازی با تراشه‌های لاستیک بوده است. بیشترین میزان کاهش به مقدار ۱۲/۱۲ درصد و زمانی اتفاق افتاده است که در تمام خاک ریز، از خاک مسلح به تراشه‌های لاستیک استفاده شده است. تغییرات جابه‌جایی جانبی در دیوارهای سپری با ارتفاع ۹ و ۱۲ متر نیز، مشابه با دیوار ۶ متری می‌باشد و حداکثر کاهش در مقدار جابه‌جایی جانبی آن‌ها به ترتیب برابر با ۴۴/۰۶ و ۴۵/۰۶ درصد بوده است. نتایج به‌دست آمده برای جابه‌جایی جانبی سپری در جدول (۵) قابل مشاهده است.

جدول (۵): مقادیر جابه‌جایی جانبی سپری برای مدل‌های مختلف با ارتفاع‌های متفاوت.

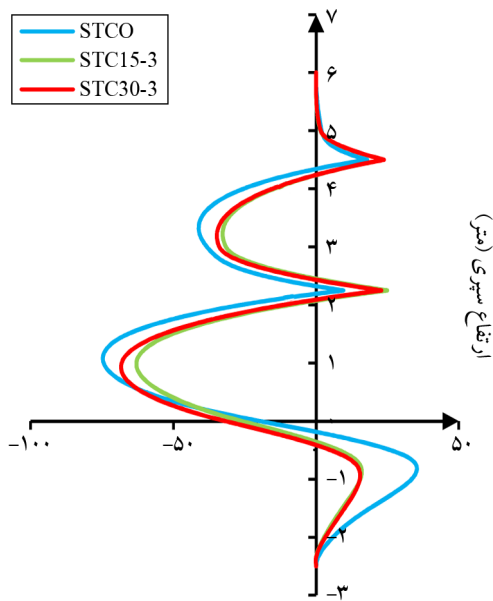
ارتفاع سپری	۶ متر	۹ متر	۱۲ متر	مدل
جابه‌جایی جانبی سپری (میلی‌متر)				
STC0	۵/۰۳	۱۱/۶۲	۱۵/۹۱	
STC15-1	۵/۰۱	۱۱/۵۸	۱۵/۸۴	
STC15-2	۴/۹۶	۱۴/۷۱	۲۱/۸۱	
STC15-3	۴/۴۲	۶/۵۰	۸/۷۴	
STC30-1	۵/۰۲	۱۱/۵۹	۱۵/۸۷	
STC30-2	۴/۹۲	۲۰/۵۴	۳۵/۷۰	
STC30-3	۴/۵۲	۶/۷۸	۹/۰۳	

تقریباً مشابه با دیوار سپری با ارتفاع ۹ متر رخ داده است که نشان‌دهنده‌ی آن است که با افزایش ارتفاع دیوار سپری، حداکثر لنگر خمشی در نقطه‌ای بالاتر به دست آمده است، همچنین استفاده از مخلوط ماسه و تراشه‌ی لاستیک با نسبت حجمی ۳۰ درصد، باعث می‌شود تا حداکثر لنگر خمشی، در نقطه‌ای پایین‌تر اتفاق بیفتد.

در شکل‌های (۶) تا (۸) نمودارهای تغییرات لنگر خمشی در امتداد ارتفاع سپری برای دیوار با ارتفاع‌های متفاوت و همچنین خاک ریزهای مختلف ترسیم شده است.

جدول (۷): مکان حداکثر لنگر خمشی سپری برای مدل‌های مختلف با ارتفاع‌های متفاوت.

ارتفاع سپری مدل	۶ متر	۹ متر	۱۲ متر
مکان حداکثر لنگر خمشی			
STC0	۰/۸۲ H	۰/۷۷ H	۰/۷۸ H
STC15-1	۰/۸۲ H	۰/۷۷ H	۰/۷۸ H
STC15-2	۰/۸۳ H	۰/۷۹ H	۰/۸۰ H
STC15-3	۰/۸۳ H	۰/۸۰ H	۰/۸۱ H
STC30-1	۰/۸۲ H	۰/۷۷ H	۰/۷۸ H
STC30-2	۰/۸۳ H	۰/۸۰ H	۰/۸۱ H
STC30-3	۰/۸۴ H	۰/۸۲ H	۰/۸۱ H



لنگر خمشی سپری (کیلونیوتن در متر بر متر)

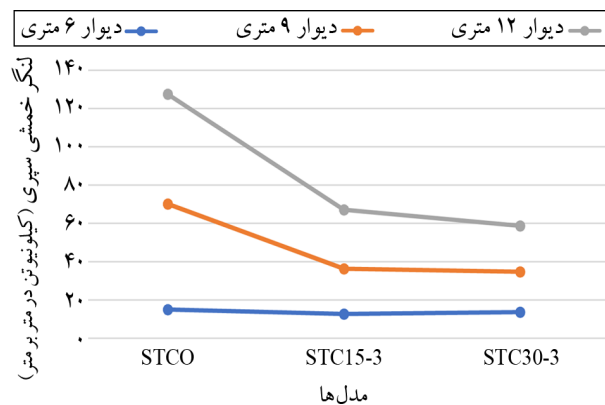
شکل (۶): نمودار تغییرات لنگر خمشی در امتداد ارتفاع سپری برای دیوار ۶ متری.

خاک ریز دیوار سپری فولادی، می‌توان از مقطع کوچک‌تری برای سپری استفاده کرد. مقادیر حداکثر لنگر خمشی سپری برای دیوار با ارتفاع‌های متفاوت، در جدول (۶) مشاهده می‌شود. همچنین در شکل (۵)، کاهش مقدار حداکثر لنگر خمشی سپری در صورت استفاده از مخلوط ماسه و تراشه لاستیک در قسمت خاک ریز پشت دیوار، مشاهده می‌شود که عملکرد مخلوط ۱۵ درصد و ۳۰ درصد تقریباً مشابه بوده است. در دیوار با ارتفاع‌های بیشتر، مقدار کاهش این پارامتر، بیشتر مشاهده شده است.

مکانی که در آن، حداکثر لنگر خمشی برای سپری‌های ۶ متری اتفاق افتاده است، در جدول (۷) آمده است که در بازه‌ی ۰/۸۲ تا ۰/۸۴ ارتفاع دیوار، از بالای گود بوده است. در دیوار با ارتفاع ۹ متر در مقایسه با دیوار ۶ متری، حداکثر لنگر خمشی در نقطه‌ای بالاتر شکل گرفته است. تغییرات در دیوار ۱۲ متری نیز،

جدول (۶): مقادیر لنگر خمشی سپری برای مدل‌های مختلف با ارتفاع‌های متفاوت.

ارتفاع سپری مدل	۶ متر	۹ متر	۱۲ متر
لنگر خمشی سپری (کیلونیوتن در متر بر متر)			
STC0	-۱۴/۹۴	-۷۰/۱۳	-۱۲۷/۶۱
STC15-1	-۱۴/۸۵	-۷۰/۴۸	-۱۲۸/۳۸
STC15-2	-۱۱/۲۹	-۳۵/۰۴	-۷۱/۶۷
STC15-3	-۱۲/۵۹	-۳۶/۲۶	-۶۷/۰۸
STC30-1	-۱۴/۸۸	-۷۰/۷۵	-۱۲۸/۵۳
STC30-2	-۱۱/۶۶	-۲۸	-۵۴/۸۸
STC30-3	-۱۳/۶۷	-۳۴/۶۹	-۵۸/۷۴



شکل (۵): نمودار تغییرات لنگر خمشی سپری در سه مدل مختلف در دیوار با ارتفاع‌های متفاوت.

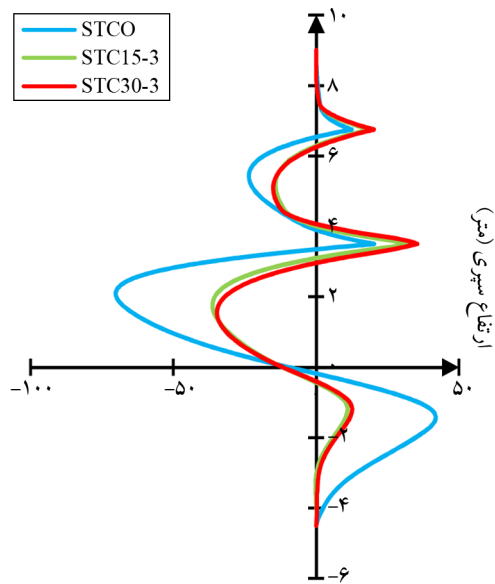
خاک ریز، به جای مخلوط ۱۵ درصد و خاک تمام ماسه، در یک ضریب شتاب لرزه‌ای افقی ثابت، باعث شده است تا این دو پارامتر کاهش پیدا کنند و هرچه ارتفاع دیوار بیشتر باشد، درصد کاهش این پارامترها بیشتر می‌باشد که این موضوع، اثربخشی بهتر مخلوط ماسه و تراشه‌ی لاستیک با نسبت حجمی ۳۰ درصد را نشان داده است. در این حالت، با کاهش لنگر خمشی، می‌توان از یک مقطع کوچک‌تر برای سپری استفاده کرد. در جدول‌های (۸) و (۹) به ترتیب، مقادیر به‌دست‌آمده برای جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی سپری، نشان داده شده است.

جدول (۸): مقادیر جابه‌جایی جانبی برای مدل‌های مختلف تحت ضرایب مختلف شتاب لرزه‌ای افقی.

ضریب شتاب لرزه‌ای افقی (g)	جابه‌جایی جانبی (میلی‌متر)		
	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲
S6-STC0	-۱۵/۸۴	-۲۴/۸۶	-۳۹/۹۸
S6-STC15	-۱۲/۴۵	-۱۸/۹۰	-۲۷/۲۴
S6-STC30	-۱۲/۱۸	-۱۷/۸۷	-۲۵/۲۸
S9-STC0	-۲۷/۸۲	-۳۸/۸۹	-۵۵/۴۰
S9-STC15	-۱۸/۵۷	-۲۷/۴۶	-۳۹
S9-STC30	-۱۸/۰۱	-۲۶/۰۳	-۳۶/۱۳
S12-STC0	-۳۶/۸۸	-۵۲/۱۷	-۷۷/۴۷
S12-STC15	-۲۵/۶۵	-۳۸/۱۹	-۵۶/۱۶
S12-STC30	-۲۴/۳۸	-۳۵/۹۰	-۵۳/۴۱

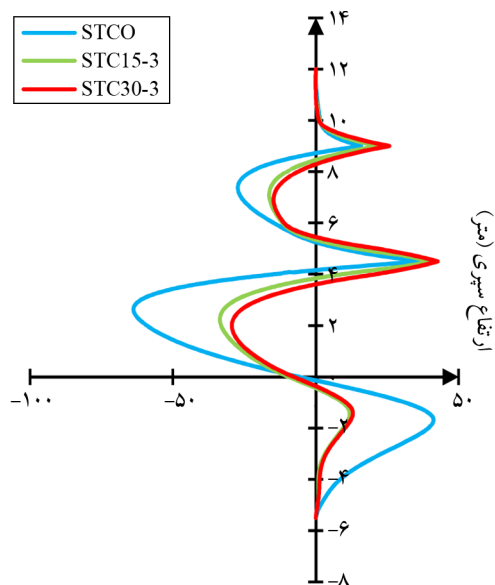
جدول (۹): مقادیر لنگر خمشی برای مدل‌های مختلف تحت ضرایب مختلف شتاب لرزه‌ای افقی.

ضریب شتاب لرزه‌ای افقی (g)	لنگر خمشی (نیوتن در متر بر متر)		
	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲
S6-STC0	-۱۹/۲۶	-۲۲/۶۳	-۲۹/۴۱
S6-STC15	-۱۵/۸۲	-۱۸/۱۷	-۲۰/۶۶
S6-STC30	-۱۶/۶۲	-۱۸/۶۰	-۲۰/۸۸
S9-STC0	-۷۶/۶۴	-۸۰/۸۷	-۸۷/۱۰
S9-STC15	-۴۴/۲۳	-۴۸/۰۶	-۵۲/۷۳
S9-STC30	-۴۰/۵۱	-۴۴/۳۹	-۴۸/۱۱
S12-STC0	-۱۳۷/۶۶	-۱۴۳/۹۸	-۱۵۷/۲۷
S12-STC15	-۸۲/۴۷	-۸۹/۵۷	-۱۰۰/۰۹
S12-STC30	-۶۹/۷۷	-۷۵/۲۱	-۸۰/۸۷



لنگر خمشی سپری (کیلو نیوتن در متر بر متر)

شکل (۷): نمودار تغییرات لنگر خمشی در امتداد ارتفاع سپری برای دیوار ۹ متری.



لنگر خمشی سپری (کیلو نیوتن در متر بر متر)

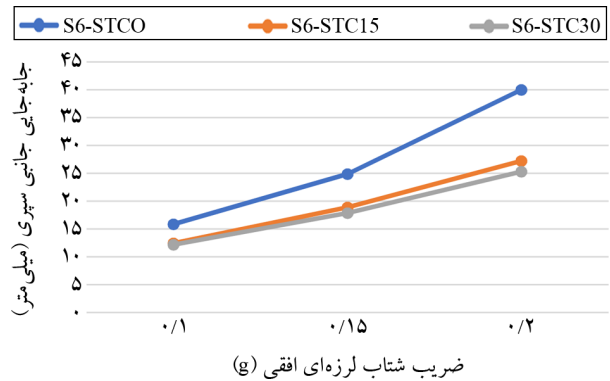
شکل (۸): نمودار تغییرات لنگر خمشی در امتداد ارتفاع سپری برای دیوار ۱۲ متری.

۵-۲- شرایط شبه‌استاتیکی

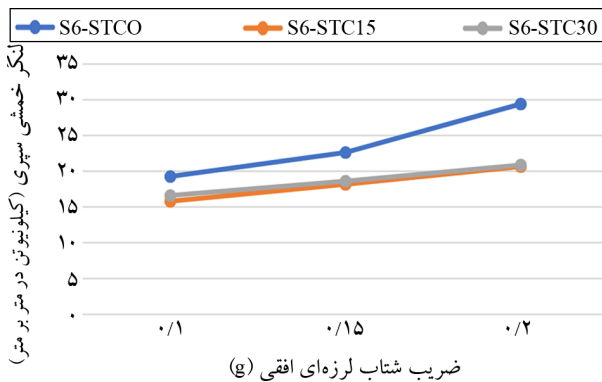
جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی سپری، با افزایش ضریب شتاب لرزه‌ای افقی، روندی افزایشی را از خود نشان داده است که علت آن، افزایش نیروی اینرسی و تمایل این نیرو برای افزایش این پارامترها بوده است. استفاده از مخلوط ۳۰ درصد در قسمت

ضریب شتاب لرزه‌ای افقی g ۰/۱ و g ۰/۱۵، تقریباً مشابه هم بوده؛ اما در هنگام اعمال ضریب g ۰/۲ عملکرد مخلوط ۳۰ درصد ماسه و تراشه لاستیک در کاهش جابه‌جایی جانبی سپری بهتر بوده است. استفاده از مخلوط ماسه و تراشه لاستیک در خاک ریز پشت دیوار سپری، منجر به کاهش لنگر خمشی سپری شده است که هرچه ارتفاع دیوار بیشتر باشد، مقدار کاهش این پارامتر بیشتر بوده است. این مطلب در شکل‌های (۱۲) تا (۱۴) به خوبی مشاهده می‌شوند. می‌توان این گونه بحث کرد که وجود عنصر مسلح کننده، باعث تسلیح خاک و در نتیجه افزایش پارامترهای مقاومت برشی شده است. افزایش پارامترهای مقاومت برشی خاک، باعث کاهش جابه‌جایی‌ها شده است. همچنین از سوی دیگر نتایج نشان داده است که هرچه ارتفاع دیوار افزایش پیدا کرده است، عملکرد مخلوط ماسه و تراشه لاستیک ۳۰ درصد نسبت به سایر خاک‌ها در کاهش مقدار لنگر خمشی ایجاد شده در سپری، بهتر بوده است.

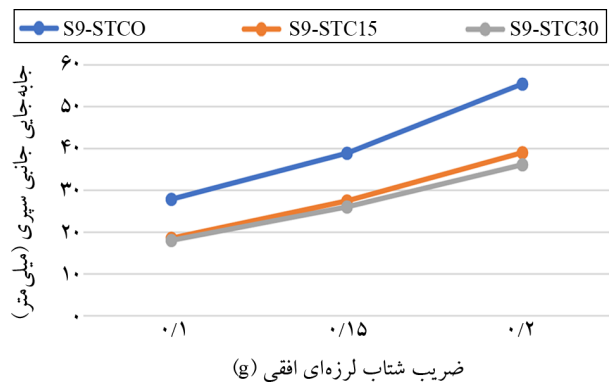
همان‌گونه که در شکل‌های (۹) تا (۱۱) مشاهده شده است، در دیوار با ارتفاع‌های متفاوت، هنگام استفاده از مخلوط ماسه و تراشه لاستیک در قسمت خاک ریز پشت دیوار، مقادیر جابه‌جایی جانبی سپری کاهش پیدا کرده است. همچنین عملکرد مخلوط ۱۵ و ۳۰ درصد ماسه و تراشه لاستیک، در هنگام اعمال



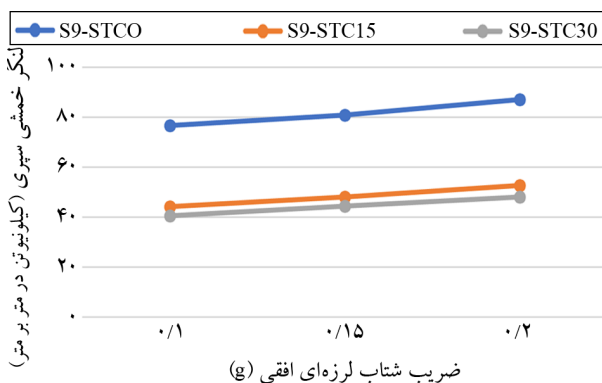
شکل (۹): نمودار تغییرات جابه‌جایی جانبی سپری ۶ متری با خاک ریز متفاوت تحت ضرایب شتاب لرزه‌ای افقی مختلف.



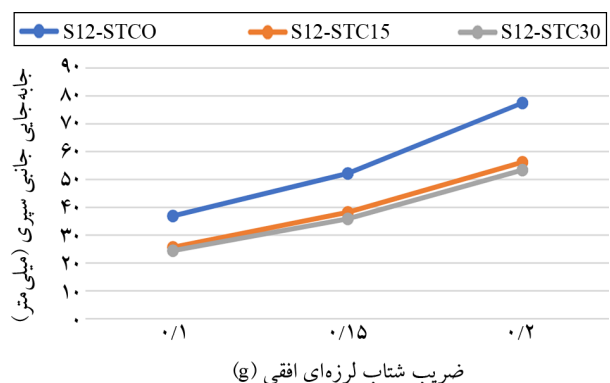
شکل (۱۲): نمودار تغییرات لنگر خمشی سپری ۶ متری با خاک ریز متفاوت تحت ضرایب شتاب لرزه‌ای افقی مختلف.



شکل (۱۰): نمودار تغییرات جابه‌جایی جانبی سپری ۹ متری با خاک ریز متفاوت تحت ضرایب شتاب لرزه‌ای افقی مختلف.



شکل (۱۳): نمودار تغییرات لنگر خمشی سپری ۹ متری با خاک ریز متفاوت تحت ضرایب شتاب لرزه‌ای افقی مختلف.

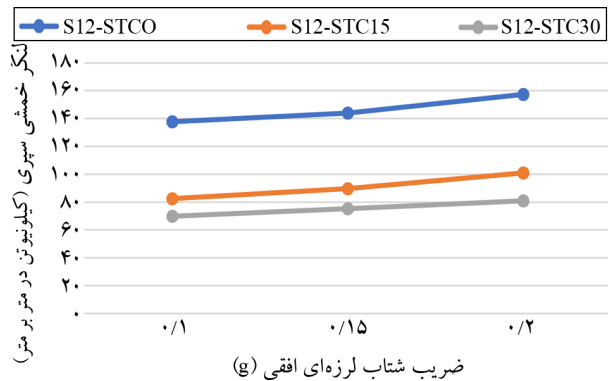


شکل (۱۱): نمودار تغییرات جابه‌جایی جانبی سپری ۱۲ متری با خاک ریز متفاوت تحت ضرایب شتاب لرزه‌ای افقی مختلف.

بالاتر نسبت به کف گود به دست آمده است، همچنین استفاده از مخلوط ماسه و تراشه‌ی لاستیک با نسبت حجمی ۳۰ درصد، باعث می‌شود تا حداکثر لنگر خمشی، در نقطه‌ای پایین‌تر نسبت به زمانی که از ماسه خالص استفاده می‌شود، اتفاق بیفتد که این نکته می‌تواند در مقاصد طراحی مورد توجه قرار گیرد. ۴. جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی ایجاد شده در سپری، با افزایش ضریب شتاب لرزه‌ای افقی، روندی افزایشی از خود نشان داده است. همان‌طور که انتظار می‌رود مقادیر مورد اشاره در تحلیل‌های صورت گرفته تابعی از ضریب شتاب افقی هستند.

۵. استفاده از مخلوط ماسه و تراشه‌ی لاستیک در قسمت خاک ریز به‌جای ماسه‌ی خالص، در یک ضریب شتاب لرزه‌ای افقی ثابت، مقادیر به‌دست آمده برای جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی ایجاد شده در سپری را کاهش داده است که در این بین، عملکرد مخلوط با نسبت حجمی ۳۰ درصد بهتر از عملکرد مخلوط با نسبت حجمی ۱۵ درصد بوده است. بر این اساس می‌توان این‌گونه تحلیل کرد که خاک مسلح به تراشه لاستیک، عملکرد لرزه‌ای بهتری دارد. باید به این نکته توجه کرد که مخلوط ماسه و لاستیک دارای انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به ماسه خالص است، بر این اساس انتظار می‌رود در هنگام زلزله رفتار مناسب‌تر و منعطف‌تری از خود نشان دهد. این مطلب در مورد مناطق لرزه‌خیز از اهمیت بیشتری برخوردار است. دلیل دیگر در خصوص نتایج به‌دست آمده، بحث تسلیح خاک ماسه مسلح شده است که تقویت پارامترهای مقاومت برشی خاک مسلح به لاستیک فرسوده باعث افزایش مقاومت خاک مسلح در برابر جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی ایجاد شده در ارتفاع سپری در هنگام وقوع زلزله شده است.

۶. نکته مهم و قابل‌ذکر دیگر این است که هرچه ارتفاع دیوار بیشتر بوده است، کاهش مقادیر جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی ایجاد شده در سپری نیز بیشتر اتفاق افتاده است؛ یعنی هرچه دیوار ارتفاع بیشتری داشته باشد، درصد کاهش جابه‌جایی جانبی سپری و نیز لنگر خمشی بیشتر بوده است.



شکل (۱۴): نمودار تغییرات لنگر خمشی سپری ۱۲ متری با خاک ریز متفاوت تحت ضرایب شتاب لرزه‌ای افقی مختلف.

به عبارت دیگر، اثر مثبت استفاده از خاک مسلح در دیوارهای با ارتفاع بیشتر، نمود بیشتری داشته است.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از مشخصات خاک ماسه‌ای و تراشه‌های لاستیک با نسبت‌های حجمی ۱۵ و ۳۰ درصد، تأثیرات استفاده از این مخلوط در قسمت خاک ریز با عمق‌های متفاوت، بر روی جابه‌جایی جانبی و حداکثر لنگر خمشی سپری فولادی، مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که:

۱. استفاده از مخلوط ماسه و تراشه‌ی لاستیک با نسبت حجمی ۱۵ و ۳۰ درصد، در قسمت خاک ریز دیوار به‌جای خاک ریز تمام ماسه‌ای، منجر به کاهش جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی سپری می‌شود.
۲. هنگامی که یک‌سوم بالایی خاک ریز، با تراشه‌های لاستیک مسلح شده باشد، جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی سپری، تغییرات ناچیزی دارد. با افزایش عمق لایه‌ی مسلح شده به دو سوم، در سپری با ارتفاع ۶ متر، جابه‌جایی جانبی و لنگر خمشی سپری، کاهش می‌یابد، اما با افزایش ارتفاع سپری به ۹ و ۱۲ متر، لنگر خمشی کاهش و تغییر مکان جانبی در این حالت، افزایش می‌یابد. با افزایش عمق لایه‌ی مسلح، به گونه‌ای که تمام خاک ریز، مسلح به تراشه‌های لاستیک باشد، تغییر مکان جانبی و لنگر خمشی، کاهش می‌یابد.
۳. با افزایش ارتفاع دیوار سپری، حداکثر لنگر خمشی در نقطه‌ای

chip mixtures as retaining wall backfill. *IFCEE*, 1420-1429.

Das, B.M. (2016). *Principles of Foundation Engineering*, 8th Edition, United States: CENGAGE learning.

Djadouni, H., Trouzine, H., Gomes Correia, A., & Miranda, T.F.D.S. (2019). 2D numerical analysis of a cantilever retaining wall backfilled with sand-tire chips mixtures. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 25(6), 1119-1135.

Emarah, D.A., & Seleem, S.A. (2018). A numerical study of anchored sheet piles subjected to different types of sandy soils backfill. *HBRC Journal*, 14(3), 422-430.

Ghazavi, M., & Amelsakhi, M.A. (2005). Influence of optimized tire shreds on shear strength parameters of sand. *International Journal of Geomechanics*, 5(1), 58-65.

Hung, W.Y., Tran, M. C., & Bui, V. K. (2022). Seismic Response of anchored sheet pile walls by centrifuge modeling tests. *International Journal of Civil Engineering*, 20(9), 1041-1065.

Reddy, S.B., & Krishna, A.M. (2015). Recycled tire chips mixed with sand as lightweight backfill material in retaining wall applications: an experimental investigation. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 1(4), 1-11.

Sabatini, P.J., Pass, D.G., & Bachus, R.C., (1999). *Ground Anchors and Anchored Systems (No. FHWA-IF-99-015)*. United States: Federal Highway Administration. Office of Bridge Technology.

Shariatmadari, N., & Zargarbashi, S. (2002). Application of waste tire chips in the reinforcement of sand embankment behind retaining wall. *The Third International Conference of Geotechnical Engineering and Soil Mechanics of Iran*, (in Persian).

Singh, A.P., & Chatterjee, K. (2019). Ground settlement and deflection response of cantilever sheet pile wall subjected to surcharge loading. *Indian Geotechnical Journal*, 50, 540-549.

Singh, A.P., & Chatterjee, K. (2020). Lateral earth pressure and bending moment on sheet pile walls due to uniform surcharge. *Geomechanics and Engineering*, 23(1), 71-83.

به عبارت دیگر می‌توان انتظار داشت که در دیوارهای با ارتفاع زیاد، استفاده از خاک مسلح به لاستیک فرسوده، اثربخشی بیشتری دارد که این مطلب بسیار مهمی است که کاربرد مؤثر این مصالح را در مناطق لرزه‌خیز اثبات می‌کند.

۷. نتایج به‌دست آمده از بندهای ۵ و ۶ نشان می‌دهند، استفاده از خاک مسلح به لاستیک‌های فرسوده، به دلیل کاهش لنگرهای ایجاد شده در سپری، منجر به طرح اقتصادی‌تری برای طراحی لرزه‌ای سپری‌ها خواهند شد. توجه به این مطلب که خود لاستیک‌های فرسوده بسیار ارزان هستند و همچنین اینکه استفاده از این مواد مضر در طبیعت، به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی کمک می‌کند، استفاده از این مصالح را بسیار قابل توجه‌تر می‌کند.

References

مراجع

Amelsakhi, M. (2001). *Influence of Optimized Tire Shreds on Strength of Sand-Reinforced with Tire Shreds*. In Partial Fulfillment of the Requirements the Degree of Master of Science, Faculty of Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran (in Persian).

Amelsakhi, M., & Zamani, M. (2013). Settlement investigation of shallow foundation located on sand reinforced with tire shreds using pseudo-static analysis. *Bulletin of Earthquake Science and Engineering*, 15(4), 37-44 (in Persian).

Basu, D. Pretell, R., Montgomery, J., & Ziotopoulou, K., (2022). Investigation of key parameters and issues in simulating centrifuge model tests of a sheet-pile wall retaining a liquefiable soil deposit. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 156.

Bilgin, (2010). Numerical studies of anchored sheet pile wall behavior constructed in cut and fill conditions. *Computers and Geotechnics*, 37(3), 399-407.

Conti, R., & Viggiani, G.M. (2013). A new limit equilibrium method for the pseudostatic design of embedded cantilevered retaining walls. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 50, 143-150.

Dammala, P.K., Sodom, B.R. & Adapa, M.K. (2015). Experimental investigation of applicability of sand tire

Numerical Analysis of Lateral Displacement and Bending Moment of Double Anchored Sheet Pile with Embankment Reinforced with Tire Chips in Static and Pseudo-Static Conditions

Mohammad Amin Mohammad Ebrahimi¹, Masoud Amelsakhi^{2*} and Rooholah Bakhtiari Doost³

1. M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran, *Corresponding Author, email: amelsakhi@qut.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran

With the increase of high-rise construction and the use of underground transportation in urban environments, the need to use deep excavation is felt more and more, and the use of a sheet pile wall is one of the practical methods for stabilizing these excavations. We can use tires in different shapes to reinforce the soils; full waste tire, tire shreds as well as waste tire chips. Different filed studies, laboratories studies and also numerical investigations demonstrate the economic and technical application of these cheap waste materials. It should be mentioned that these waste materials are harmful for the nature if we have no plan for these waste materials. The usage of a mixture of sand and tire chips in the embankment of sheet pile walls with different depths can have different effects on the lateral displacement and maximum bending moment of the double-anchored sheet pile wall. Therefore, in this research, using the characteristics of sandy soil and tire chips with volume ratios of 15 and 30%, the effects of using this mixture in the embankment were investigated in static and pseudo-static conditions by means of different horizontal seismic coefficients for walls with different heights. It is obvious that increasing the back fill's height increases the bending moment and also the horizontal displacement of the sheet pile. This issue is correct when we use reinforced or unreinforced back fill, but the most important matter that clearly exists in this research, is that using reinforced tire shred-sand, decreases the bending moment and also horizontal displacement. The obtained results demonstrate that this reinforced material with a low weight, in comparison with unreinforced sand, decrease the moment and displacement applying to the sheet pile. It is a key parameter in an economic design of sheet pile. The drainage is another key important in design of retaining walls and sheet piles. This reinforced material creates a good drainage condition for the sheet pile system. All these benefits are available when we use a very cheap and disposal material just behind the sheet piles. The reinforced sand-waste tire shreds, has a flexible behavior in seismic fields. The waste tire shreds with high damping ratio, although it is not studied in this research, decreases the forces, moments and also horizontal displacements against the sheet pile in seismic conditions. It was observed that in static conditions, the use of a mixture of sand and tire chips in the embankment of the wall, instead of full sand embankment leads to a reduction in the lateral displacement and the bending moment of the sheet pile. The lateral displacement and bending moment in the sheet pile, with the increase of the horizontal seismic acceleration coefficient, has shown an increasing trend, but in a constant horizontal seismic acceleration coefficient, by using a mixture of sand and tire chips, the obtained values have decreased, in the meantime, the performance of the mixture with a volume ratio of 30% was better than the performance of the mixture with a volume ratio of 15%. Also, the use of soil reinforced with tire chips, due to the reduction of the bending moment in the sheet pile, leads to a more economical plan for the seismic design of the sheet pile wall. It is very important to compact the sand-waste tire shreds to approach the desired compaction ratio desired for a specific project. Using waste tire shreds with high percent content in a mixed soil, makes the compaction impossible or it may be very hard to reach the desired compaction ratio. Thus it is recommended that using 30% would be a practical and also economic content, to reach the optimum conditions in a real and applicable project in the field.

Keywords: Sheet Pile, Tire Chip, Lateral Displacement, Bending Moment, Pseudo-Static.