

OHN10109861065

بررسی تاثیر ویژگی‌های ساختگاه بر عملکرد دیوارهای حایل با خاکریز از جنس مخلوط خاک و خرده‌های لاستیک فرسوده

فرزام زائری^۱، مسعود عامل سخی^۲

۱- کارشناس ارشد خاک و پی دانشگاه ارومیه

۲- استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه ارومیه

⋮

farzam.zaeri@yahoo.com

خلاصه

کاهش تغییر مکان استاتیکی و دینامیکی وارده به دیوارهای حایل و نیز افزایش اطمینان از پایداری آنها یکی از مسایل مهم در مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. یکی از روش‌های موثر در کاهش تغییر مکان وارده به این سازه‌های ژئوتکنیکی، کاهش وزن مصالح خاکریز قرار گرفته در پشت آنها می‌باشد. از سوی دیگر حجم عظیم لاستیک‌های فرسوده با توجه به عدم تجزیه پذیری در طبیعت باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی فراوان شده که رفع آن از دغدغه‌های اصلی کارشناسان این حوزه می‌باشد. لذا در سال‌های اخیر مخلوط کردن خرده‌های لاستیک با خاک و استفاده از آنها در پشت دیوار حایل به عنوان یکی از روش‌های کاهش تغییر مکان و فشارهای استاتیکی و دینامیکی وارده به دیوارهای حایل مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش تاثیر استفاده از مخلوط خاک-خرده لاستیک فرسوده به عنوان خاکریز در پشت دیوار حایل بر پارامترهای موثر در پایداری این سازه‌های با استفاده از دو نرم‌افزار EERA و Plaxis بررسی شده است. درصد خرده لاستیک موجود در مخلوط و ویژگی‌های ساختمانی پارامترهای مورد مطالعه در این پژوهش می‌باشند. برای افزایش دقت پاسخ‌ها از مدل رفتاری معادل خطی در مرحله اول (بررسی پاسخ ساختمانی) و موهر کولمب در مرحله دوم (آنالیز مجموعه دیوار، خاکریز و ساختمانی) برای مصالح ساختمانی و مدل رفتاری خاک سخت‌شونده با لحاظ سخنی در کرنش‌های کوچک برای مصالح خاکریز از جنس مخلوط خاک-خرده لاستیک فرسوده استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد خرده لاستیک ضریب اطمینان استاتیکی دیوار افزایش می‌یابد که این افزایش ضریب اطمینان در ساختمانی سخت‌تر از ساختمانی نرم می‌باشد. همچنین با افزایش درصد خرده لاستیک تا میزان مشخصی، تغییر مکان دینامیکی کاهش یافته ولی افزایش بیشتر از آن تاثیر چندانی بر کاهش این پارامتر ندارد. همچنین لغزش پایه ایجاد شده در اثر بارهای لرزه‌ای با استفاده از این مصالح در ساختمانی نرم کاهش زیادی می‌یابد.

کلمات کلیدی: مخلوط خاک و خرده لاستیک فرسوده، دیوار حایل، آنالیز دینامیکی، ویژگی‌های ساختمانی.

۱. مقدمه

پایداری دیوارهای حایل در برابر نیروهای استاتیکی و دینامیکی ناشی از بارهای لرزه‌ای، از مسایل مهم در مهندسی ژئوتکنیکی می‌باشد. یکی از موثرترین اقدامات برای کاهش نیروهای ورودی وارده به دیوارهای حایل، کاهش وزن مصالح خاکریز پشت دیوار می‌باشد. از سوی دیگر با کاهش فشارهای وارده، می‌توان به طرحی سبک‌تر و اقتصادی‌تر جهت مقابله با اثرات ناشی از زلزله در این سازه‌های ژئوتکنیکی دست یافت. نکته قابل توجه در طرح‌های مهندسی استفاده از راه حل‌های اقتصادی می‌باشد که این امر در کشورهای در حال توسعه از اهمیت به مراتب بالاتری برخوردار است، زیرا که به صرفه بودن طرح از نظر اقتصادی، علاوه بر کارفرمایان دولتی، کارفرمایان خصوصی را نیز مشتاق به استفاده از طرح‌های مصوب فنی ارزان قیمت

^۱ کارشناس ارشد خاک و پی
^۲ استادیار گروه عمران

خواهد نمود. در سال‌های اخیر ایده مخلوط کردن خاک با خرده‌هایی از لاستیک‌های فرسوده جهت بهبود ویژگی‌های خاک پایه به عنوان یکی از روش‌های بازیافت و استفاده مجدد از لاستیک‌های فرسوده مورد توجه قرار گرفته است.

هر ساله حدود ۵۰ میلیون تیر استفاده شده در ایالات متحده دور انداخته می‌شود [1]. بر اساس آمارهای ارائه شده که تنها بخش اندکی از حجم عظیم لاستیک‌های فرسوده می‌باشد، رها نمودن این مواد در طبیعت می‌تواند منجر به فاجعه زیست‌محیطی گردد. اثرات منفی استفاده از این مصالح بر روی کیفیت آب‌های زیرزمینی، یکی از مواردی می‌باشد که مورد بررسی قرار گرفته است. بر طبق این تحقیقات هیچ تاثیر مضر قابل توجهی بر روی کیفیت آب زیرزمینی در طی دوره دو ساله مشاهده نشده است [2,3,4]. آزمایش‌های انجام گرفته جهت تعیین رفتار دینامیکی مخلوط ماسه - خرده لاستیک نشان داد با افزایش درصد لاستیک مدول برشی مخلوط کاهش چشمگیری می‌یابد. همچنین افزایش درصد لاستیک تا حدود ۵۰٪ تاثیر کمی بر روی نسبت میرای مخلوط دارد ولی با رسیدن به ۷۵٪ نسبت میرایی افزایش قابل توجهی داشته و به حدود ۵٪ در کرنش‌های پایین و حدود ۲۰٪ در کرنش‌های بالا می‌رسد. این بررسی‌ها نشان داد افزایش تنش نرمال باعث افزایش قابل توجهی در مدول برشی می‌شود ولی تاثیری بر روی میرایی مخلوط ندارد [5]. ساخت یک خاکریز راه در آمریکا در مقیاس واقعی با استفاده از مخلوط ماسه - خرده لاستیک و ثبت داده‌های ابزار دقیق به مدت یک سال نشان داد حداکثر نشست خاکریز که پس از ۲۰۰ روز رخ داد برابر با ۱۲ میلی‌متر بوده و حداکثر حرکت جانبی خاکریز تنها ۲ میلی‌متر ثبت شد و پس از آن تغییر شکل‌ها ثابت باقی ماند [6]. مدل سازی عددی عملکرد خاک لاستیک فرسوده به عنوان ایزولاسیون لرزه‌ای در زیر پی نشان داد استفاده از این مصالح در خاک ماسه‌ای متراکم باعث کاهش قابل ملاحظه در شتاب‌های رسیده به ساختمان می‌شود. همچنین پاسخ دینامیکی مخلوط در اثر تغییرات ابعاد و ارتفاع ساختمان بررسی شد. مقایسه دامنه فوریه برای خاک مسلح و غیر مسلح تحت شرایط ذکر شده نشان دهنده اندکی کاهش دامنه فوریه در خاک مسلح و نیز شیفترکانسی در برخی حالات بوده است [7]. آزمون‌های آزمایشگاهی بر روی خصوصیات مقاومتی مخلوط ماسه سیلتی - خرده لاستیک نشان داد درصد رطوبت بهینه وابستگی کمی به درصد لاستیک دارد. همچنین نتایج نشان دهنده کاهش مقامت برشی مخلوط در صورت یخ‌زدن می‌باشد. علاوه بر این با افزایش درصد لاستیک مدول تغییر شکل و مقاومت کششی مخلوط کاهش یافته و وابستگی آن به دما نیز کاهش می‌یابد. همچنین در صورت افزودن خرده لاستیک به ماسه سیلتی مخلوط با وجود تحمل تنش کششی کمتر، کرنش‌های بیشتری را تحمل می‌کند [8].

از لاستیک‌های فرسوده می‌توان به عنوان مصالح کننده خاک استفاده نمود و نتایج مطالعات محققین مختلف نشان دهنده افزایش پارامترهای مقاومت برشی خاک، یعنی چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک، بوده است [9,10]. تحقیقات گذشته مؤلفین نشان داده که استفاده از این مصالح در زیر ساختمان‌های واقع بر خاک‌های رسی بسیار نرم باعث میرا شدن امواج رسیده، شده است [11]. با توجه به مطالب گفته شده استفاده از چنین مصالحی به دلیل ارزان بودن آنها، علاوه بر دفع و بازیافت آنها و جلوگیری از ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی، باعث تسلیح خاک‌ها نیز می‌گردد. از سوی دیگر از خاصیت میرایی آنها می‌توان در میرا نمودن امواج ارتعاشی ناشی از زلزله وارده به دیوارهای حایل استفاده نمود.

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد تحقیقات کمی بر روی عملکرد دینامیکی این مواد به عنوان خاکریز دیوارهای حایل انجام گرفته است. از این رو در این پژوهش مخلوط خاک و خرده لاستیک فرسوده به عنوان خاکریز در پشت دیوار حایل مدل شده و تاثیر پارامترهای درصد خرده لاستیک و ویژگی‌های ساختگاه بر عملکرد این سازه‌های ژئوتکنیکی با استفاده از آنالیزهای عددی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲. ابعاد مدل المان محدود

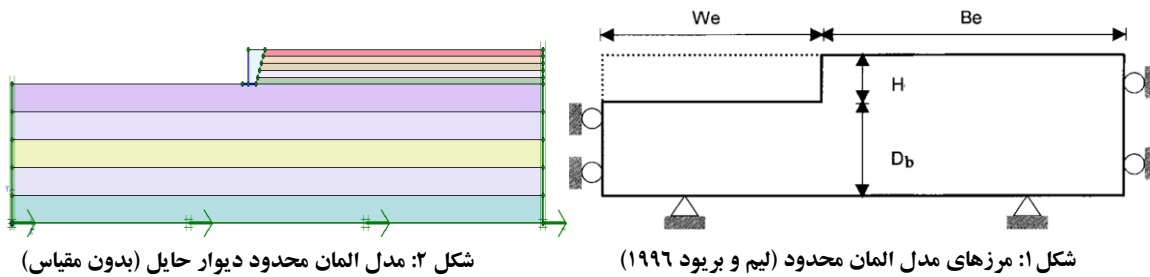
در این پژوهش برای مدلسازی دیوار حایل از نرم‌افزار المان محدود Plaxis استفاده شده است. سنگ بستر در ژرفای ۲۰ متری از جلوی دیوار مدل شده است. برای از بین بردن اثر منفی مرزهای مدل از محل مورد نظر (دیوار حایل) فاصله مرزها از دیوار براساس پژوهش‌های لیم و بریود^۱ (۱۹۹۶) [12] انتخاب شده است. لیم و بریود پیشنهاد کردند فاصله مرزهای پایین و جوانب مدل از محل مورد مطالعه (دیوار حایل) باید شرایط ذکر شده در روابط ۱ و ۲ را با توجه به شکل ۱ را برآورده نماید.

$$We = 3D_b \quad (1)$$

$$Be = 3(H + D_b) \quad (2)$$

در شکل شماره ۲ مدل المان محدود ساخته شده در این پژوهش توسط نرم افزار المان محدود Plaxis نشان داده شده است.

1. Lim & Briaud



شکل ۲: مدل المان محدود دیوار حایل (بدون مقیاس)

شکل ۱: مرزهای مدل المان محدود (لیم و بریود ۱۹۹۶)

۳. ویژگی‌های مصالح

در این پژوهش مصالح ساختمانی از دو نوع متفاوت رس سفت و نرم جهت بررسی تاثیر ویژگی‌های ساختمانی و همچنین برای تعیین اثر درصد خرده لاسیتیک از ۳ درصد متفاوت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد استفاده شده است. همچنین برای تعیین مدول برشی بیشینه مصالح ساختمانی از رابطه ارائه شده توسط ویجیانی و اتکینسون^۱ (۱۹۹۵) [13] (رابطه ۳) با توجه به داده‌های آموروسی و بولدینی^۲ (۲۰۰۹) [14] که در جدول ۱ آورده شده است، استفاده می‌شود. همچنین برای تعیین میرایی مصالح از رابطه ۴ که توسط اوکار و آنسال^۳ در سال ۲۰۰۷ [15] ارائه شده استفاده می‌شود.

$$G_0 = S \left(\frac{P'}{P_r} \right)^n R^m P_r \quad (3)$$

$$D = -6.3 + 19.2 \times 0.9976^{PI} [1.54 - e^{(-8.37 \times \gamma_a \times 0.99^{PI})}] \quad (4)$$

در روابط بالا G_0 مدول برشی حداکثر با توجه به تنش اصلی موجود (P') ، P_r تنش مبنا و برابر با 1 kPa ، m, n و S پارامترهای وابسته به نشانه موسسانی $(PI^{\frac{1}{2}})$ و R نسبت تنش بیش تحکیمی و D نسبت میرایی در کرنش برشی مورد نظر (γ_a) می‌باشد.

جدول ۱: ویژگی‌های مصالح ساختمانی (آموروسی و بولدینی، ۲۰۰۹)

ساختمانی	γ_{unsat} kN/m ³	OCR (R)	C kN/m ²	ϕ deg	S	n	m	PI
رس سفت	۲۰	۴	۳۰	۲۳	۴۹۰۰	۰/۸۲۵	۰/۲۴۵	۱۰
رس نرم	۱۷	۱/۵	۱	۲۴	۶۰۰	۰/۸۲	۰/۳۶	۱۰

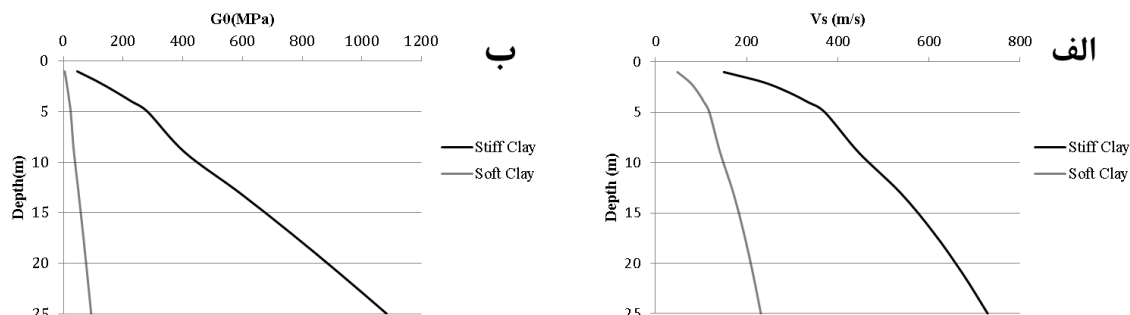
تغییرات مدول برشی و سرعت موج برشی بیشینه در ژرفای پروفیل ساختمانی با توجه به رابطه شماره ۳ و داده‌های جدول ۱ در شکل شماره ۳ نشان داده شده است.

از آنجاکه ویژگی‌های دینامیکی خاک وابستگی زیادی به بزرگای کرنش برشی رخ داده در اثر لرزش‌های زلزله دارد، برای اعمال تاثیر این پدیده ابتدا آنالیزهای یک بعدی پروفیل ساختمانی با لحاظ کردن اثر تنش وارده ناشی از وزن خاک بر مدول برشی بیشینه مطابق شکل شماره ۳ با استفاده از نرم افزار EERA و با در نظر گرفتن مدل رفتاری معادل خطی برای مصالح ساختمانی انجام شده و سپس ویژگی‌های دینامیکی موثر با توجه به پیشنهاد ادريس و سان^۴ (۱۹۹۲) [16] با در نظر گرفتن بزرگای رکورد زلزله مورد نظر تعیین می‌شود.

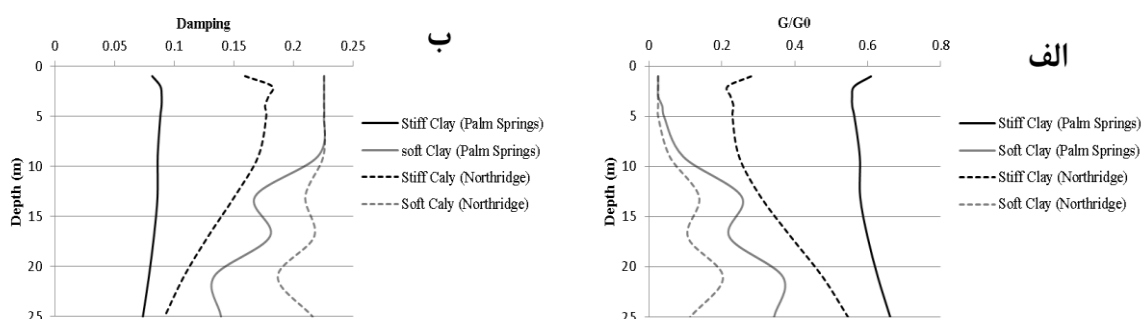
در تحلیل‌های انجام شده از شتاب نگاشت‌های ثبت شده سنگ بستر با کمینه فاصله ۳۰ کیلومتری شتابنگاشت از گسل مربوط به زلزله‌های قوی پالم اسپرینگ^۵ و نورتریج^۶ که شتاب بیشینه آنها به ۰/۳۵ شتاب گرانش همپایه شده است، استفاده می‌شود. سپس این ویژگی‌ها در آنالیزهای دو بعدی و

1. Viggiani and Atkinson (1995)
 2. Amorosi and Boldini (2009)
 3. Okur and Ansal (2007)
 4. Plasticity Index
 5. Idriss and Sun 1992
 6. Palm Springs

به عنوان داده‌های مدل رفتاری موهر کولمب استفاده می‌شود. تغییرات مدول برشی و نسبت میرایی موثر با توجه به رکورد زلزله مورد نظر در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳: نمودار الف) تغییرات سرعت موج برشی پیشینه در ژرفای خاک، ب) تغییرات مدول برشی پیشینه در ژرفای خاک



شکل ۴: نمودار الف) تغییرات مدول برشی همپایه شده موثر ب) تغییرات نسبت میرایی موثر در ژرفای خاک با توجه به رکورد زلزله

در این پژوهش ویژگی‌های استاتیکی مصالح مخلوط خاک خرده-لاستیک (SRM^۲) با توجه به پژوهش‌های آتوم^۳ (۲۰۰۶) و ویژگی‌های دینامیکی این مصالح را با توجه به آزمون‌های آزمایشگاهی انجام گرفته توسط سن‌تاکیس و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۲ [17] در نظر گرفته و در جدول ۲ نمایش داده شده است. مخلوط خاک و خرده‌های لاستیک فرسوده با سه درصد متفاوت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۲: ویژگی‌های مخلوط خاک و خرده لاستیک

مصالح	مدل رفتاری	γ kN/m ³	D_{50R}^* (mm)	E_{ur}^{ref} kN/m ²	E_{oed}^{ref} kN/m ²	E_{50}^{ref} kN/m ²	m	$G_{0.2}$ kN/m	$\gamma_{0.7}$	R_{int}	C kN/m ²	ϕ deg	ψ deg	ν_{ur}	K_0	R_f
SRM0%	HS-Samll ^۱	۱۷/۹۳	۲/۸	۴۷۹۰۰	۱۵۹۶۶	۱۵۹۶۶	۰/۵	۴۷۹۰۰	۰/۰۰۰۲	۰/۶۲۵	۱	۳۲	۲	۰/۲	۰/۴۷	۰/۹
SRM10%	HS-Samll	۱۵/۹۵	۲/۸	۲۰۳۷۷	۶۷۹۲	۶۷۹۲	۰/۵	۲۰۳۷۷	۰/۰۰۰۶	۰/۴۳۴	۲	۴۶	۱۶	۰/۲	۰/۲۸	۰/۹
SRM20%	HS-Samll	۱۴/۴۶	۲/۸	۹۰۶۷	۳۰۲۲	۳۰۲۲	۰/۵	۹۰۶۷	۰/۰۰۰۳	۰/۴	۲	۵۰	۲۰	۰/۲	۰/۲۳	۰/۹
SRM30%	HS-Samll	۱۳/۵۸	۲/۸	۴۴۸۳	۱۴۹۴	۱۴۹۴	۰/۵	۴۴۸۳	۰/۰۲	۰/۳۸۵	۲	۵۲	۲۲	۰/۲	۰/۲۲	۰/۹

*: D_{50} خرده‌های لاستیک فرسوده

**مدل رفتاری خاک سخت شونده با لحاظ سختی در کرنش‌های برشی کوچک

زاویه اصطکاک فصل مشترک دیوار و خاک با توجه به توصیه نامه مهندسی ارتش آمریکا^۵ [18] برای ماسه تمیز و بتن برابر با ۲۰ درجه در نظر گرفته شده است.

1. Northridge
2. Sand-Rubber Mixture
3. Attom 2006
4. Senetakis et al 2012
5. Engineering Manual, Us Army

۴. میرایی مصالح

در این پژوهش برای اعمال میرایی مصالح از میرایی رایلی مطابق رابطه زیر استفاده شده است:

$$\alpha + \beta \omega_i^2 = 2\omega_i \zeta_i \quad (5)$$

پارامترهای α و β ، پارامترهای رایلی، ζ میرایی مصالح متناظر با مود ارتعاشی مورد نظر و ω فرکانس ارتعاشی مود مورد نظر مصالح بوده که با استفاده از پاسخ‌های بدست آمده از آنالیز یک بعدی پژوهش خاک تعیین می‌شود.

۵. المان بندی

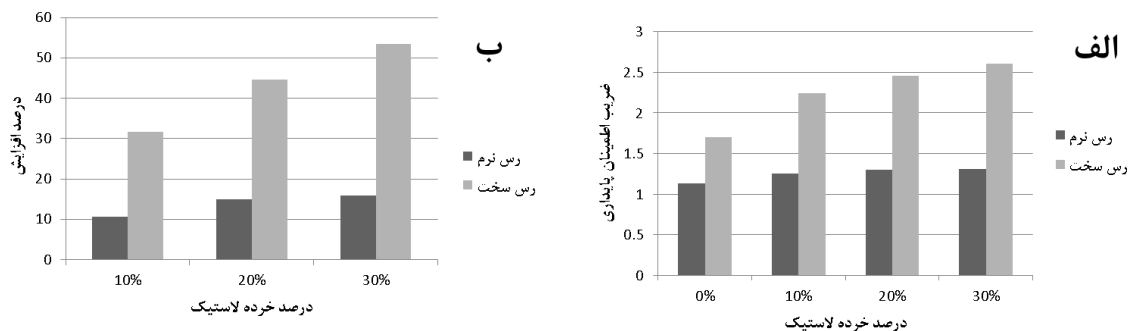
برای بالا بردن دقت محاسبات در این پژوهش از المان‌های مثلثی ۱۵ گره‌ای استفاده شده است. برای انجام تحلیل‌های دینامیکی در مسائل ژئوتکنیکی به روش المان محدود، اندازه حداکثر بعد المان را برای رسیدن به دقت‌های قابل قبول از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$h_{\max} = \frac{1}{N} \frac{V_s}{f_{\max}} \quad (6)$$

در رابطه فوق f_{\max} بیشترین فرکانس مورد نظر، V_s سرعت موج برشی در مصالح و N ضریب ثابتی بوده که مطابق توصیه برخی پژوهشگران در بازه ۸ تا ۱۰ می‌باشد [19]، که در این پژوهش برای رسیدن به دقت مورد نظر از $N=10$ استفاده شده است.

۶. بررسی پاسخ‌ها

مدل المان محدود دیوار با دو ساختگاه بیان شده در بخش ۳ و خاکریزی با شیب خارجی ۶۰ درجه با توجه نکات بیان شده در بخش‌های پیشین ساخته شده بوده است. دیوار با ضخامت ۵۵ سانتیمتر و ارتفاع ۵ متر و پی با ضخامت ۵۰ سانتیمتر، عرض ۴ متر و فاصله ابتدا تا جلو دیوار برابر با ۱/۷ متر در نظر گرفته شده بود. قابل ذکر است که در این مرحله از ویژگی‌های استاتیکی مصالح برای مدل سازی استفاده می‌شود. ضریب اطمینان پایداری دیوار برای دو ساختگاه بیان شده در صورت استفاده از SRM با درصد‌های ۰٪، ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ در شکل‌های شماره ۵-الف و ۵-ب بصورت نمودار نشان داده شده است.



شکل ۵: الف) ضریب اطمینان پایداری دیوار برای درصد‌های متفاوت خرده لاستیک. ب) درصد افزایش ضریب اطمینان پایداری

با توجه به این دو شکل می‌توان دریافت که استفاده از SRM در ساختگاه‌هایی از جنس رس سخت در مقایسه با رس نرم بیشتر مفید می‌باشد و موجب می‌شود ضریب اطمینان پایداری دیوار بیشتر افزایش یابد، همچنین تغییرات ضریب اطمینان پایداری در ساختگاه‌هایی با رس نرم در برابر درصد خرده لاستیک موجود در SRM کمتر از این تغییرات در ساختگاه‌هایی با رس سخت می‌باشد.

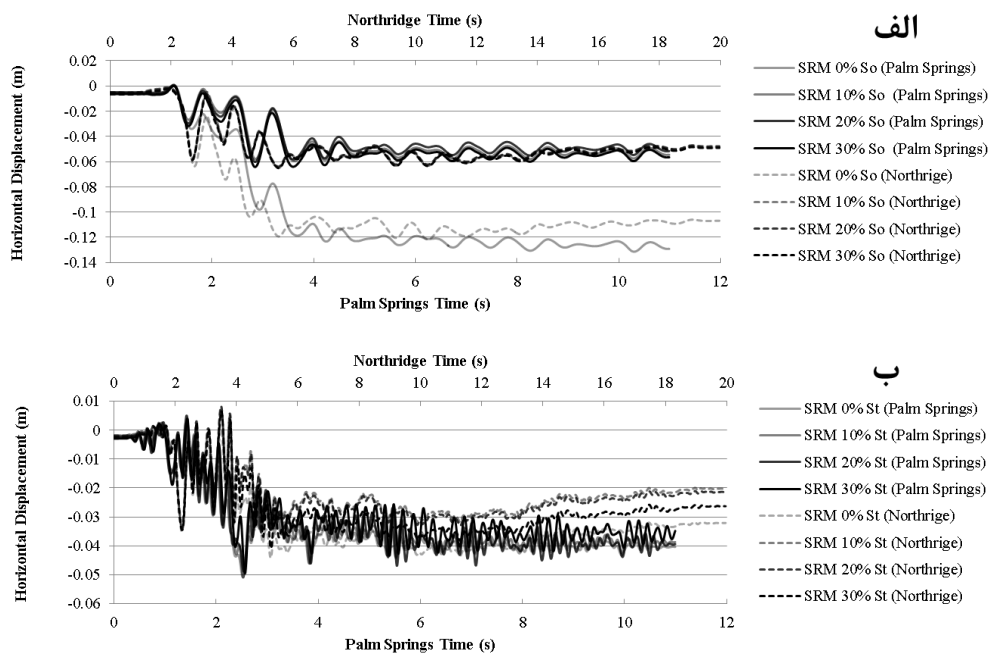
از میان پارامترهای موثر بر فشار محرک وارد بر دیوار حایل (رابطه ۷) در این پژوهش ارتفاع دیوار (H) ثابت بوده و دیگر پارامترها که وابسته به ویژگی‌های ساختگاه می‌باشد تغییر می‌کند، با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که زاویه اصطکاک داخلی دو ساختگاه تقریباً برابر بوده و همچنین اختلاف بین وزن مخصوص‌ها (γ) زیاد نمی‌باشد ولی حاصل جمله دوم رابطه ۷ به دلیل ناچیز بودن چسبندگی (C) در ساختگاه نرم نزدیک به صفر است، در صورتیکه در ساختگاه سخت به دلیل قابل ملاحظه بودن چسبندگی حاصل جمله دوم قابل چشم پوشی نمی‌باشد و فشار محرک وارد بر دیوار

(P_a) کاهش زیادی می‌یابد. به عبارت دیگر هر دو دستگاه دارای زاویه اصطکاک داخلی نزدیک به یکدیگر می‌باشند و در نتیجه ضریب فشار محرک (K_a) در هر دو برابر است، ولی به دلیل اختلاف زیاد چسبندگی خاک سخت نسبت به خاک نرم، بخشی از نیروی محرک ناشی از مصالح دستگاه، در دستگاه سخت کمتر شده و باعث افزایش ضریب اطمینان پایداری دیوار در این دستگاه نسبت به دستگاه با خاک نرم می‌شود.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2C\sqrt{K_a} \quad (7)$$

از سوی دیگر با افزایش درصد خرده لاستیک به دلیل کاهش سنگینی ویژه مقدار جمله ابتدایی رابطه ۷ کاهش می‌یابد و موجب کاهش فشار محرک در پشت دیوار می‌شود، همچنین با افزودن خرده لاستیک به خاک پشت دیوار به دلیل افزایش زاویه اصطکاک داخلی ضریب فشار محرک در پشت دیوار از ۰/۳ در صورت استفاده از ماسه به ۰/۱۲ در صورت استفاده از RSM با ۳۰٪ خرده لاستیک کاهش می‌یابد که موجب کاهش بیشتر در فشار محرک وارده به دیوار می‌شود.

پس از پایان آنالیز استاتیکی، آنالیز دینامیکی با وارد کردن رکوردهای زلزله که در بخش‌های پیشین اشاره شد به پایین مدل المان محدود انجام می‌شود. ۲ نقطه در بالا و پایین دیوار به عنوان نقاط کنترلی در نظر گرفته شده است. قبل از انجام مرحله آنالیز دینامیکی در یک فاز محاسباتی ویژگی‌های استاتیکی مصالح با ویژگی‌های دینامیکی بدست آمده از آنالیز دینامیکی با روش بیان شده در بخش ۳ و نمودارهای نشان داده شده در شکل‌های ۶-الف و ۶-ب جایگزین می‌شود. پاسخ‌های بدست آمده از آنالیز دینامیکی در شکل‌های ۴ نمایش داده شده است.



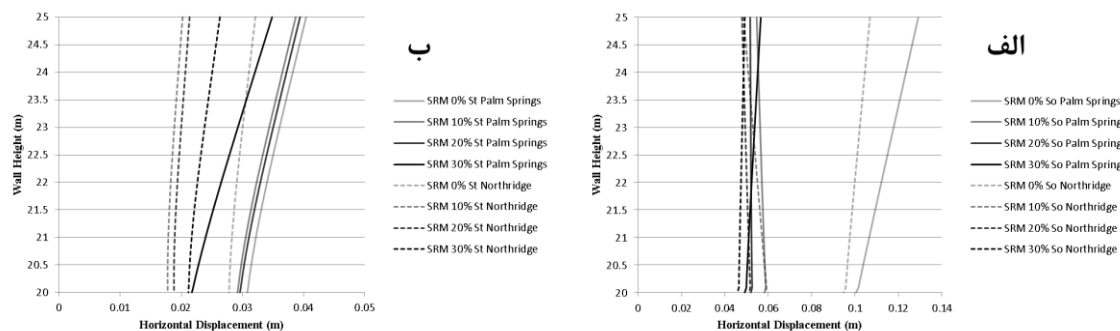
شکل ۶: تغییر مکان پیشینه بالای دیوار، الف) در دستگاه نرم، ب) در دستگاه سخت

با توجه به شکل ۶-الف می‌توان دریافت در دستگاه‌های نرم به دلیل اختلاف ناچیز بین سختی SRM و مصالح دستگاه، بزرگ‌نمایی و یا کوچک‌نمایی در اثر انتقال موج از محیط سخت به محیط نرم و یا بالعکس رخ نمی‌دهد، ولی به دلیل کمتر بودن سنگینی ویژه SRM نسبت به مصالح دستگاه فشار وارده به دیوار کاهش یافته و در نتیجه تغییر مکان ایجاد شده کاهش قابل توجهی (در حدود ۵۰٪) می‌یابد. از سوی دیگر با توجه به شکل ۶-ب مشاهده می‌شود استفاده از این مصالح در دستگاه سخت به دلیل اختلاف زیاد بین سختی دو مصالح (SRM و مصالح دستگاه) و انتقال موج از محیط سخت (ساختگاه) به محیط نرم (SRM) باعث بزرگ‌نمایی شده و تاثیر کاهش وزن و افزایش میرایی SRM نسبت به خاک پایه اثر این بزرگ‌نمایی را جبران می‌کند، از این رو در کاهش تغییر مکان ایجاد شده در دیوار نقش ناچیز ایفا می‌کند.

با توجه به شکل های ۶-الف و ۶-ب بطور کلی می توان نتیجه گرفت، استفاده از SRM به عنوان مصالح خاکریز در پشت دیوار حایل در ساختگاه های نرم نسبت به سخت تاثیر بیشتری در کاهش تغییر مکان ایجاد شده در اثر زلزله دارد.

با توجه به شکل های ۶-الف و ۶-ب می توان دریافت، افزوده بیش از ۱۰٪ خرده لاستیک به خاک پایه تاثیر زیادی در کاهش بیشتر تغییر مکان دیوار ندارد که این مسئله به دلیل تاثیر همزمان کاهش سختی و سنگینی ویژه و افزایش میرایی SRM در اثر افزودن درصد های بالاتر خرده لاستیک به خاک پایه می باشد. از این رو استفاده بیش از ۱۰٪ خرده لاستیک در خاکریز پشت دیوار حایل برای کاهش تغییر مکان لرزه ای دیوار پیشنهاد نمی شود.

در شکل های ۷-الف و ۷-ب بترتیب پروفیل تغییر مکان افقی دیوار در ساختگاه نرم و سخت در پایان آنالیز دینامیکی نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷-الف مشاهده می شود، استفاده از SRM به عنوان خاکریز در پشت دیوار حایل در ساختگاه نرم موجب کاهش قابل ملاحظه لغزش پایه دیوار (در حدود ۵۰٪) به دلیل کاهش نیروی محرک ناشی از کاهش وزن می شود. همچنین مد تغییر شکلی دیوار از تغییر شکل خمشی به حرکت صلب تغییر می یابد. ولی استفاده از این مصالح در ساختگاه صلب با توجه به شکل ۵-ب تاثیر زیادی در تغییر مد تغییر شکل دیوار ندارد و نیز بیشینه کاهش لغزش پایه در حدود ۳۰٪ و کمینه آن نزدیک به ۵٪ می باشد.



شکل ۷: پروفیل تغییر مکان ماندگار دیوار در پایان آنالیز دینامیکی در، (الف) ساختگاه نرم، (ب) ساختگاه سخت

۷. نتیجه گیری

- ۱- استفاده از SRM به عنوان خاکریز در پشت دیوارهای حایل باعث افزایش ضریب اطمینان پایداری می شود.
- ۲- با افزایش درصد خرده لاستیک در SRM ضریب اطمینان پایداری در برابر نیروهای استاتیکی افزایش می یابد.
- ۳- در آنالیزهای استاتیکی تغییرات ضریب اطمینان پایداری در ساختگاه هایی با رس نرم در برابر درصد خرده لاستیک موجود در SRM کمتر از این تغییرات در ساختگاه هایی با رس سخت می باشد.
- ۴- تغییر مکان لرزه ای ایجاد شده در ساختگاه های نرم به دلیل اختلاف ناچیز بین سختی SRM و مصالح ساختگاه و نیز کمتر بودن سنگینی ویژه SRM نسبت به مصالح ساختگاه کاهش قابل توجهی در حدود ۵۰٪ می یابد.
- ۵- در ساختگاه های سخت به دلیل اختلاف زیاد بین سختی SRM و مصالح ساختگاه تاثیر کاهش سنگینی و افزایش میرایی SRM در کاهش تغییر مکان لرزه ای ایجاد شده در دیوار ناچیز می باشد.
- ۶- افزودن بیش از ۱۰٪ خرده لاستیک به خاک پایه به دلیل تاثیر همزمان کاهش سختی و سنگینی ویژه و افزایش میرایی SRM تاثیر زیادی در کاهش بیشتر تغییر مکان لرزه ای دیوار ندارد.
- ۷- استفاده از SRM به عنوان خاکریز در پشت دیوار حایل در ساختگاه های نرم موجب کاهش قابل ملاحظه لغزش پایه دیوار ایجاد شده در اثر بارهای لرزه ای در حدود ۵۰٪ به دلیل کاهش نیروی محرک ناشی از کاهش وزن می شود.
- ۸- استفاده از SRM به عنوان خاکریز در پشت دیوار حایل در ساختگاه های نرم موجب تغییر "مد تغییر شکل"، از تغییر شکل خمشی به تغییر شکل صلب می شود.
- ۹- استفاده از SRM در ساختگاه سخت تاثیر زیادی در تغییر مد تغییر شکل دیوار ندارد و نیز بیشینه کاهش لغزش پایه در حدود ۳۰٪ و کمینه آن نزدیک به ۵٪ می باشد.

- [1] Blumenthal, M. (1998), "Scrap Tire Market Development: the Impact of State Programs", Resource Recycling XVII (3), pp 15–19.
- [2] O'Shaughnessy, V., Garga, V. K., (2000). "Tire-Reinforced Earth Fill. Part3: Environmental Assessment". Canadian Geotechnical Journal, (37), , pp. 117–131.
- [3] Humphrey, D.N., Katz, L.E., (2002), Water Quality Effects if Using Tire Shreds Below the Ground Water Table, Final Report, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Main, Orono, ME.
- [4] Moon, C.M., Environmental Effect of Waste Tires as Earth Reinforcing Material. Master Thesis, Inha University (in Korean), 2003
- [5] Feng, Z.Y., Sutter, K.G., (2000), "Dynamic Properties of Granulated Rubber/Sand Mixtures", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, (23), No. 3, September, pp 338–344.
- [6] Yoon, S., Prezzi, M., Siddiki, N.Z., Kim, B. (2006), "Construction of a Test Embankment using a Sand–Tire Shred Mixture as Fill Material", Waste Management, (26), No. 9, October, pp 1033–1044.
- [7] Tsang, H. H. (2007). Seismic Isolation by Rubber–Soil Mixtures for Developing Countries, Earthquake Engineering And Structural Dynamics, (37), No. 17, pp. 283–303.
- [8] Christ, M., Park, G.B., (2009) Laboratory Determination of Strength Properties of Frozen Rubber–Sand Mixtures, Cold Regions Science and Technology, (60), NO. 13, pp. 169–175.
- [9] Ghazavi, M., Amel Sakhi, M. (2005), "Optimization of Aspect Ratio of Waste Tire Shreds in Sand–Shred Mixtures Using CBR Tests", Geotechnical Testing Journal, (28), No. 6, pp 1-6.
- [10] Ghazavi, M., Amel Sakhi, M. (2005) , "Influence of Optimized Tire Shreds on Shear Strength Parameters of Sand", International Journal of Geomechanics, ASCE, (5), No. 1, March , pp 58-65.
- [۱۱] عامل سخی، م؛ زائری، ف: ۱۳۸۹، "بررسی عددی رفتار دینامیکی مخلوط خاک- تراشه لاستیک فرسوده". نشریه زمین شناسی مهندسی: جلد چهارم، شماره دوم، ۱۰۱۱-۱۰۳۰.
- [12] Briaud, J. L., Lim, Y. (1996). "Tieback Walls In Sand: Numerical Simulation And Design Implications". Rep. to Schnabel Foundation & The Federal Highway Administration, Department of Civil Engineering, Texas A&M University, College Station, Tex.
- [13] Viggiani, G.M.B., Atkinson, H.J. (1995). "Stiffness of fine-grained soils at very small strains". Geotechnique, (45), No .2, pp 249–265.
- [14] A. Amorosi, A., Boldini, D. (2009) , "Numerical modelling of the transverse dynamic behaviour of circular tunnels in clayey soils", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, (28), pp 1059-1072
- [15] Okur, D.V., Ansal, A. (2007). Stiffness degradation of natural fine grained soils during cyclic loading, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 27, pp. 843-854.
- [16] Idriss, I. M., Sun, J. I. (1992). "User's Manual for SHAKE91", Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil Engineering, University of California, Davis.
- [17] Senetakis, K., Anastasiadis, A., Ptilakis, K. (2012). "Dynamic properties of dry sand/rubber (SRM) and gravel/rubber (GRM) mixtures in a wide range of shearing strain amplitudes", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, (33), pp 38–53.
- [18] Us Army Corps Of Engineers. EM 1110-2-2504 (1994). "Engineering & Design Manual Design Of Sheet pile Walls".
- [19] Lysmer J., Udaka T., Tsai CF., Seed H.B. (1975), " FLUSH, A Computer Program for Approximate 3-D Analysis of Soil-Structure Interaction Problems " , Report No, EERC 75-30,