

بررسی تأثیرپذیری عملکرد لرزه‌ی دیوار خاک مسلح از پارامترهای شاخص زلزله به منظور انتخاب زلزله‌ی طرح مناسب

علی کمک‌پناه (دانشیار)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس

مجید یزداندوست* (استادیار)

گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

مهندسی عمران شریف، بهار ۱۳۹۴ (۱۳۹۴)
درویش ۲ - ۳۱، شماره ۱/۱، ص. ۱۷-۲۶

در این پژوهش، به منظور معرفی معیاری مناسب جهت انتخاب زلزله‌ی طرح مورد استفاده در تحلیل‌های دینامیکی مبتنی بر تاریخچه‌ی زمانی سازه‌های خاک مسلح، به بررسی تأثیر پارامترهای شاخص زلزله نظیر بزرگ، شتاب بیشینه، سرعت بیشینه و... در عملکرد لرزه‌ی سازه‌ی خاک مسلح پرداخته شده است. در راستای نیل به این هدف، با بهره‌گیری از مدل‌سازی عددی تفاضل محدود و انتخاب ۳۰ شتاب‌نگاشت با پارامترهای شاخص معین، تأثیر هر یک از پارامترهای مذکور در عملکرد لرزه‌ی سازه در قالب تغییرمکان‌های افقی رویه بررسی شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که از میان تمامی پارامترهای شاخص مورد بررسی در این پژوهش، پارامتر CAV^1 دارای بیشترین هم‌گرایی با عملکرد لرزه‌ی سازه‌ی خاک مسلح است. لذا این امر مناسب بودن این پارامتر را جهت انتخاب یک زلزله‌ی طرح مناسب محرز می‌سازد.

واژگان کلیدی: خاک مسلح با تسمه‌ی فولادی، عملکرد لرزه‌ی، پارامترهای شاخص زلزله، زلزله‌ی طرح.

۱. مقدمه

روش طراحی لرزه‌ی سازه‌ها، به‌خصوص سازه‌های ژئوتکنیکی بعد از وقوع زلزله‌های دهه‌ی ۱۹۹۰، به‌خصوص نورث‌ریج آمریکا (۱۹۹۴) و کوبه‌ی ژاپن (۱۹۹۵) دچار تغییرات اساسی شد. آسیب‌های به‌وجودآمده در زلزله‌های مذکور برای سازه‌هایی که انتظار عملکرد بهتری از آنها بود، این تفکر را به‌وجود آورد که عملکرد مطلوب می‌تواند به‌متزلزله‌ی شاخص مناسب طراحی لرزه‌ی تلقی شود. از این رو، بیان روش طراحی بر مبنای عملکرد لرزه‌ی بنا نهاده شد. این روش بر ۳ اصل اساسی تعیین سطوح عملکرد سازه، انتخاب سطح عملکرد براساس کاربری سازه و انتخاب زلزله‌ی طرح مناسب استوار است. لذا دستیابی به یک طراحی ایده‌آل در این روش منوط به شناخت کافی از اصول مذکور خواهد بود.^[۱]

طی سال‌های اخیر، هم‌زمان با توسعه‌ی روش طراحی بر مبنای عملکرد لرزه‌ی برای سازه‌های ژئوتکنیکی، سازه‌های خاک مسلح نیز از این پیشرفت بی‌بهره نمانده‌اند. مطالعات گسترده‌ی در زمینه‌ی سطوح عملکرد لرزه‌ی این سیستم صورت گرفته است. از جمله اولین پژوهش‌ها در این زمینه، توسط لی و همکاران (۱۹۷۳) بر روی خاک مسلح شده با تسمه‌های فولادی انجام شده است.^[۲]

* نویسنده مسئول

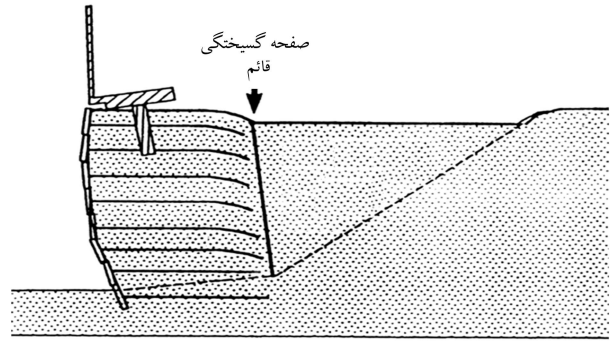
تاریخ: دریافت ۱۳۹۱/۸/۲، اصلاحیه ۱۳۹۱/۱۰/۱۸، پذیرش ۱۳۹۲/۲/۲۸.

تحقیقات انجام‌شده در سال ۱۹۷۵ بر روی تعدادی دیوار خاک مسلح تحت اثر شتاب افقی نشان می‌دهد که شتاب دینامیکی باعث تشکیل سطح گسیختگی صاف‌تر، نیروی افقی بزرگ‌تر و توزیع غیرخطی نیروی حاصله از بار دینامیکی بر روی پوشش دیوار می‌شود.^[۳]

اولین مدل مقیاس کامل در سال ۱۹۷۷ مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، شبیه‌سازی زلزله بر روی یک دیوار ۶ متری با استفاده از انفجار انجام شد و نتایج آن نشان داد که به‌طور کلی در تسمه‌های بلندتر، نیروهای دینامیکی بزرگ‌تری تولید می‌شود و نیروی بیشینه‌ی دینامیکی اندازه‌گیری‌شده به‌طور قابل ملاحظه‌ی از نیروهای محاسباتی با روش طراحی لرزه‌ی ریچاردسون و لی (۱۹۷۵) کمتر هستند، که دلیلش تأثیر طول، آرایش و تراکم مسلح‌کننده‌ها در خاکریز است.^[۴]

رفتار لرزه‌ی خاک مسلح شده در سال ۱۹۹۹ با شبکه‌های فولادی به طول‌هایی بین ۰/۵ تا ۱/۴ برابر ارتفاع دیوار و تحت شتابی معادل با $g/۸۵$ با استفاده از آزمایش‌های سانتریفیوژ انجام شده است. بر مبنای نتایج به‌دست‌آمده، مدگسیختگی توده‌ی مسلح شده به‌صورت دو خطی پیشنهاد شده است (شکل ۱).^[۵]

همچنین مطالعاتی در سال ۲۰۰۵ نشان می‌دهد که سختی المان‌های تسلیح تأثیر ناچیزی در پاسخ دیوار تحت بارهای استاتیکی دارد. این در حالی است که توزیع و مقدار نیروی پشت دیوار در هنگام زلزله به شدت تحت تأثیر سختی المان‌های تسلیح است.^[۵]



شکل ۱. سطوح شکست در آزمایش‌های سانتربیفور.

در دهه ۸۰ میلادی برخی از محققین با مطالعه بر روی رفتار دینامیکی چند سد خاکی، پارامتر بزرگا (M) را به منزله‌ی یک معیار مناسب جهت انتخاب زلزله‌ی طرح مطرح کردند. آنها نشان دادند ضمن افزایش بزرگای یک زلزله، سطح عملکرد آن نیز افزایش می‌یابد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشتر مطالعات بر روی اصل اول روش طراحی بر مبنای عملکرد، یعنی تعیین سطوح عملکرد، متمرکز شده است و مطالعات چشمگیری در زمینه‌ی معیار انتخاب زلزله‌ی طرح صورت نگرفته است. لذا در این پژوهش سعی بر آن است که در این راستا، گامی هر چند کوچک برداشته شود.

۲. هدف و روش انجام پژوهش

طی سال‌های اخیر، فلسفه‌ی استفاده از روش طراحی بر مبنای عملکرد لرزه‌یی^۴ برای سازه‌های خاکی مطرح شده است، که سازه‌های خاک مسلح نیز از این قاعده مستثنی نبوده‌اند. بنابراین به علت نوپا بودن این روش، تاکنون مطالعات جامعی در این زمینه صورت نگرفته است. در این روش تغییر مکان سازه به‌عنوان معیار طراحی در نظر گرفته شده است و سازه برای پاسخگویی به یک سطح عملکرد مشخص طراحی می‌شود. لذا انتخاب زلزله‌ی طرح مناسب و تعیین سطح عملکرد سازه، از ارکان اصلی این روش به‌شمار می‌آید. تعدد پارامترهای شاخص یک زلزله و تأثیرپذیری عملکرد لرزه‌یی یک سازه‌ی ژئوتکنیکی از پارامترهای مذکور از یک سو و اهمیت انتخاب زلزله‌ی طرح در دستیابی به یک طراحی بهینه و موفق از سوی دیگر، ضرورت بررسی تأثیرات پارامترهای شاخص زلزله در عملکرد سازه را به منظور دستیابی به معیاری مناسب جهت انتخاب زلزله‌ی طرح محرز می‌سازد.

لذا در این پژوهش با در نظر گرفتن تغییر مکان افقی دیوار خاک مسلح شده با تسمه‌ی فولادی به‌عنوان معیار سنجش عملکرد لرزه‌یی سازه و انتخاب چند پارامتر از پارامترهای شاخص یک زلزله به‌عنوان پارامترهای شاخص پراهمیت از میان بقیه‌ی پارامترهای یک نگاشت، در زمینه‌ی معرفی معیاری مناسب جهت انتخاب زلزله‌ی طرح کوشش شده است.

در راستای دستیابی به این هدف، یک دیوار خاک مسلح با تسمه‌ی فولادی به ارتفاع ۶ متر جهت انجام آنالیزهای دینامیکی مبتنی بر تاریخچه‌ی زمانی و تعیین سطوح عملکرد انتخاب و براساس آیین‌نامه‌ی FHWA طراحی شده است.^[۱۲] سپس از میان پارامترهای شاخص زلزله، ۸ پارامتر به‌عنوان پارامترهای شاخص پراهمیت برای مطالعه در این پژوهش، برگزیده و در ادامه با انتخاب ۳۰ شتاب‌نگاشت از میان شتاب‌نگاشت‌های ثبت‌شده در بانک‌های اطلاعاتی زمین‌لرزه‌های قوی جهان و تعیین پارامترهای شاخص هر یک از زلزله‌های مذکور، ضمن اعمال آن به مدل‌های خاک مسلح ساخته و به بررسی تأثیر پارامترهای مذکور در عملکرد لرزه‌یی سازه پرداخته شده است.

۳. مراحل انجام پژوهش

با توجه به اهداف تعریف‌شده، مراحل انجام پژوهش به این شرح است.

۱.۳. انتخاب مدل‌های عددی مورد بررسی

۱.۱.۳. نرم‌افزار مورد استفاده

جهت انجام تحلیل‌ها، نرم‌افزار تفاضل محدود FLAC^۵ مورد استفاده قرار گرفته

پژوهشگرانی نیز در سال ۲۰۰۶، با بهره‌گیری از آزمایش‌های میز لرزه اثر سختی، طول و فاصله‌ی قائم المان‌های تسلیح را در پاسخ دیوار به نیروهای دینامیکی مورد مطالعه و بررسی قرار داده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از کاهش چشمگیر مقدار جابجایی دیوار به ازاء افزایش سختی مسلح‌کننده‌هاست. همچنین مشاهده شده است که نیروهای وارد به دیوار و المان‌های تسلیح به شدت تحت تأثیر آرایش، سختی و فاصله‌ی لایه‌های مسلح‌شده از یکدیگر هستند.^[۶]

مطالعات عددی و آزمایشگاهی انجام‌شده‌ی دیگری در سال ۲۰۰۴، حاکی از تأثیر چشمگیر میزان گیرداری پای دیوار در نوع عملکرد سیستم خاک مسلح است. همچنین نشان داده شده است که اندازه‌ی گوه‌ی گسیختگی در نظر گرفته‌شده در روش‌های متداول تحلیل شبه استاتیکی، به مراتب کوچک‌تر از واقعیت است.^[۷]

در پژوهشی در سال ۲۰۰۸ نیز براساس آزمایش‌های انجام‌شده با میز لرزه بر روی دیوار خاک مسلح با تسمه‌ی فولادی، این نتیجه به‌دست آمد که ظرفیت باربری خاک بستر نقش عمده‌یی در نحوه‌ی شکل‌گیری سطوح گسیختگی توده‌ی خاک مسلح‌شده دارد. مطالعات انجام‌شده نشان داد که علی‌رغم فرضیات رانکین، سطح گسیختگی تشکیل‌شده سهموی است.^[۸]

براساس مطالعات عددی انجام‌شده‌یی در سال ۲۰۰۹ مشخص شد که ارتفاع دیوار و زاویه‌ی اصطکاک داخلی خاک، دو عامل اصلی در تشکیل نوع مدگسیختگی سیستم خاک مسلح هستند.^[۹]

همچنین در پژوهشی در زمینه‌ی تأثیر پارامترهای زلزله در عملکرد سیستم خاک مسلح (۲۰۰۸) نشان داده شد که شتاب قائم زلزله در عملکرد لرزه‌یی سازه در شرایط $K_h < 0.2$ ، تأثیر ناچیزی دارد. این در حالی است که برای مقادیر $K_h > 0.2$ و $\varphi < 30^\circ$ ، در نظر گرفتن آثار شتاب قائم زلزله به‌شدت توصیه شده است. همچنین نشان داده شده است که در نظر گرفتن اثر بزرگ‌نمایی^۲ شتاب منجر به دستیابی به یک طراحی دست پایین می‌شود.^[۱۰]

در پژوهش دیگری در سال ۱۹۷۴، با استفاده از آزمایش‌های میز لرزان بر روی ۳ مدل نشان داده شده است که دیوارهای صلب و انعطاف‌پذیر در هنگام زلزله رفتار مشابهی ندارند. همچنین توزیع رانش فعال دینامیکی در پشت دیوار حائل کاملاً غیرخطی است. نقطه‌ی اثر این رانش در دیوار صلب پایین‌تر است، به طوری که نقطه‌ی اثر رانش فعال در دیوارهای انعطاف‌پذیر بین ۰.۳۶۴ H و ۰.۴۳۳ H گزارش شده است. بر اساس این مطالعه پیشنهاد شده است که در روش شبه استاتیکی ضریب شتاب افقی براساس رابطه‌ی ۱ اصلاح شود:^[۱۱]

$$K_h = \frac{2\pi f}{g} \nu_{\max} \quad (1)$$

که در آن، ν_{\max} سرعت بیشینه و f بسامد بارگذاری است.

جدول ۱. مشخصات ژئوتکنیکی خاک مسلح.

پارامتر	پی	خاک مسلح	واحد
وزن مخصوص	۲۰۰۰	۲۰۵۰	(kg/m ³)
مدول برشی	$\sigma_{\text{p}}^{0.8} \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e}$	۳۰۸۰	(KPa)
ضریب پواسون	۰/۳۳	۰/۳	...
چسبندگی	۰/۱	۰	(kg/cm ²)
زاویه اصطکاک داخلی	۳۲	۳۷	(درجه)
نسبت تخلخل	۰/۴۹	۰/۴۲	...

جدول ۲. مشخصات ژئوتکنیکی مصالح حد فاصل.

وزن مخصوص	$\gamma_{\text{interface}} = \gamma_{\text{soil}}$
مدول برشی	$G_{\text{interface}} = G_{\text{soil}}$
ضریب پواسون	$\nu_{\text{interface}} = \nu_{\text{soil}}$
چسبندگی	$C_{\text{interface}} = 0$
زاویه اصطکاک داخلی	$\varphi_{\text{interface}} = 2/3 \varphi_{\text{soil}}$

جدول ۳. مشخصات رویه و تسمه.

پارامتر	تسمه	پوسته	واحد
وزن مخصوص	۷۸۰۰	۲۵۰۰	(kg/m ³)
مدول کشسانی	۲۰۰	۲۰	(GPa)
ابعاد	۶ × ۰/۵	۱۵ × ۱۵ × ۱۵	(cm)
تنش گسیختگی	۲۳۵	۲۱	(MPa)

از تنش محصورکننده تعریف شده است، که با توجه به عمق برای مدل انتخاب می‌شود.

به منظور اعمال اندرکنش توده‌ی خاک با رویه‌ی بتنی، در حد فاصل^۷ بین المان‌های رویه و محدوده مصالح ژئوتکنیکی، از یک محدوده مصالح ژئوتکنیکی با مشخصات مکانیکی معادل استفاده شده است (جدول ۲).^[۱۸]

۴.۱.۳. المان‌های تسلیح و رویه

فاصله‌ی قائم و افقی تسمه، طول تسمه و ابعاد آن تأثیر به‌سزایی در رفتار دیوارهای خاک مسلح ایفا می‌کند. در این پژوهش با توجه به استفاده از المان‌های پوسته به صورت صلیبی شکل، که به‌طور متداول مورد استفاده قرار می‌گیرد، فواصل تسمه‌ها در راستای قائم و افق به صورت مساوی برابر با ۷۵ سانتی‌متر انتخاب شده است. بدین‌گونه که ۲ عدد تسمه به صورت افقی و عمودی با فواصل مساوی بر روی هر پوسته‌ی ۱/۵ متری نصب می‌شود. تسمه‌ها به ابعاد رایج ۵ × ۶۰ میلی‌متر جهت مدل‌سازی انتخاب شده‌اند.

با توجه به پارامترهای ژئوتکنیکی انتخاب شده، ارتفاع سازه و همچنین در نظر گرفتن بیشینه‌ی شتاب در تمامی شتاب‌نگاشت‌های منتخب، طول تسمه‌ها براساس آیین‌نامه‌ی FHWA، به گونه‌ی طراحی و انتخاب شده‌اند، که مدل‌ها تحت اعمال تمامی شتاب‌نگاشت‌ها دچار هیچ‌گونه ناپایداری نشوند. لذا طول تسمه‌ها در تمامی مدل‌ها ۰/۸ ارتفاع سازه در نظر گرفته شده است. سایر مشخصات تسمه‌های فولادی در جدول ۳ ارائه شده است.^[۱۲]

از جمله مهم‌ترین پارامتر در مدل‌سازی تسمه‌ها، اندرکنش میان تسمه و خاک است. به منظور مدل‌سازی تسمه‌های فولادی از المان STRIP استفاده شده است. المان STRIP حد تسلیم و پارگی فولاد را در کنشش به خوبی می‌تواند مدل کند.

است. استفاده از مدل‌های رفتاری متنوع خاک، توانمندی در مدل‌سازی اندرکنش مصالح، در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح، مدل‌سازی مناسب رفتار مصالح حین زلزله و همچنین قابلیت کدنویسی توسط کاربر از جمله مزیت‌های این نرم‌افزار به شمار می‌آید.^[۱۳]

۲.۱.۳. مشخصات هندسی مدل عددی

از آنجا که ارتفاع سازه نقش مهمی در عملکرد لرزه‌ی سیستم خاک مسلح ایفا می‌کند و این سیستم نیز در رده‌های ارتفاعی مختلف به صورت یک پارچه و یا پله‌ی اجرا می‌شود، لذا در این پژوهش از سازه‌ی یک پارچه با ارتفاع ۶ متر به‌عنوان یک سیستم خاک مسلح با ارتفاع و مکانیزمی متداول و معمول استفاده شده است. در راستای حذف تأثیر مرزهای تعریف شده در نتایج تحلیل، براساس تحلیل‌های حساسیت انجام شده، طول توده‌ی خاک پشت دیوار به اندازه‌ی ۵ برابر ارتفاع دیوار و طول توده‌ی خاک جلوی دیوار برابر با ۱/۵ برابر ارتفاع آن در هر یک از مدل‌ها انتخاب شده است. همچنین با توجه به تأثیر چشم‌گیر ابعاد پی در تغییر شکل‌های موجود آمده در سیستم، در راستای اعمال این تأثیر و حذف اثر ساخت‌گاه، براساس تحلیل‌های حساسیت انجام شده از یک پی با ارتفاعی برابر با ارتفاع سازه استفاده شده است.^[۱۵، ۱۴] شکل ۲، حاوی نمای شماتیک از سیستم خاک مسلح با ابعاد مذکور است.

همچنین به جهت عبور موج از مدل و جلوگیری از فیلتر شدن امواج با بسامدهای بالا، ابعاد مش‌ها تقریباً به اندازه‌ی طول موج بزرگ‌ترین بسامد موج ورودی انتخاب شده است.

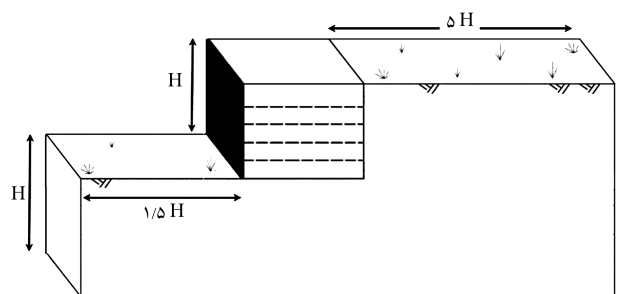
۳.۱.۳. پارامترهای ژئوتکنیکی

در این پژوهش سعی شده است تا با انتخاب هر چه دقیق‌تر و واقعی‌تر پارامترهای ژئوتکنیکی مورد استفاده در مدل‌های عددی، به نتایجی کاربردی دست یابیم. لذا در این راستا از پارامترهای ژئوتکنیکی اخذ شده از ۳ گمانه، که معرف خاک نوع ۲ آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ایران است، جهت مدل‌سازی پی و پشت توده‌ی خاک مسلح استفاده شده است.^[۱۶]

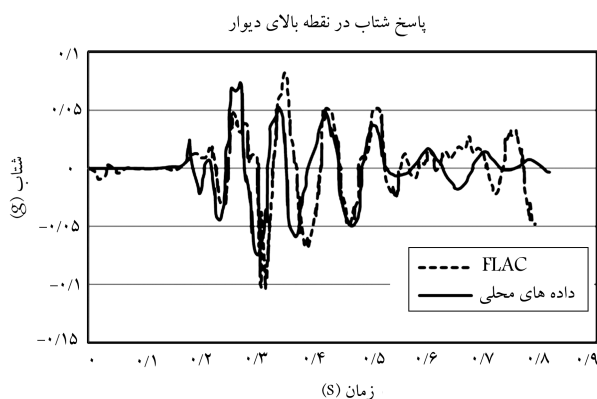
مصالح خاکی به‌کاررفته در دیوارهای خاک مسلح غالباً مصالح دانه‌ی، بدون چسبندگی و یا با چسبندگی ناچیز و با تراکم بالای ۹۵٪ هستند. مدل رفتاری مورد استفاده برای مصالح ژئوتکنیکی در این پژوهش مورکلمب و پارامترهای استفاده شده در مدل‌سازی در جدول ۱ ارائه شده است.

برای انجام تحلیل‌های دینامیکی از روش خطی معادل^۶ استفاده شده است. در این روش، مدل رفتاری ماده به صورت خطی فرض شده است و مقادیر سختی خاک و میرایی به صورت تابعی از میزان کرنش در هر گام تحلیل دینامیکی تغییر می‌کند.

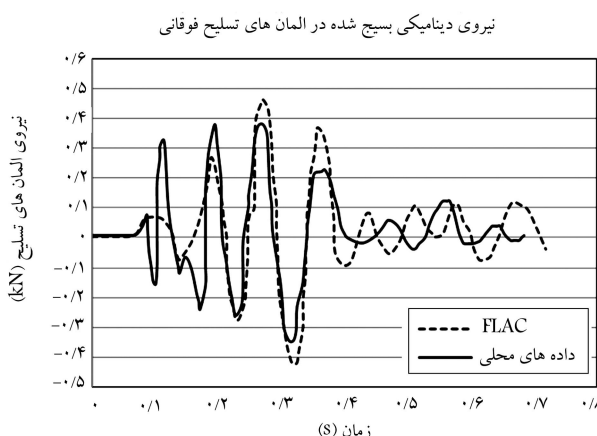
همچنین مقادیر مدول برشی بیشینه (G_0) و پارامترهای میرایی پسماند با توجه به ماهیت درشت‌دانه‌بودن خاک و محدوده‌ی دانه‌بندی توصیه شده برای آن توسط آیین‌نامه انتخاب شده‌اند.^[۱۷] از سوی دیگر، مقدار مدول برشی بیشینه به‌عنوان تابعی



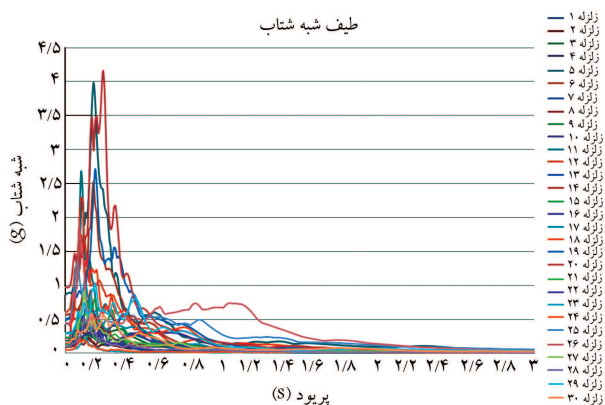
شکل ۲. ابعاد مدل‌های ساخته شده.



شکل ۴. مقایسه‌ی پاسخ شتاب در بالای دیوار مدل مقیاس کامل و مدل عددی.

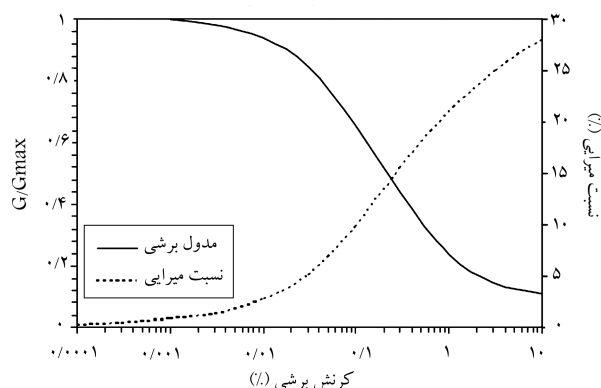


شکل ۵. مقایسه‌ی اضافه‌ی نیروی دینامیکی تسه‌ی فوقانی مدل مقیاس کامل با مقادیر مدل عددی.



شکل ۶. طیف پاسخ سازه یک درجه‌ی آزادی برای ۳۰ نگاشت منتخب.

چنان‌که مشاهده می‌شود، هر ۳۰ نگاشت انتخاب‌شده، به جهت رژیم تکنیکی، به گسل‌های معکوس یا امتداد لغز مربوط هستند. از میان شتاب‌نگاشت‌های انتخاب‌شده، تعداد ۱۲ نگاشت به زمین‌لرزه‌های ایران تعلق دارند که شتاب‌نگاشت‌هایی از زمین‌لرزه‌های ون‌دیک (۱۹۷۶)، ناغان (۱۹۷۷)، طبس (۱۹۷۸)، چنگوره (۲۰۰۲)، بهم (۲۰۰۳) و بلده (فیروزآباد کجیور، ۲۰۰۴) را در بر می‌گیرند. شتاب‌نگاشت‌های متعلق به زمین‌لرزه‌ی دوزجه‌ی ترکیه (۱۹۹۹) نیز به لحاظ ویژگی‌های زمین‌ساختی، شباهت‌های بسیاری با زمین‌لرزه‌های ایران دارند. مابقی شتاب‌نگاشت‌های انتخاب‌شده



شکل ۳. منحنی تغییرات مدول و میرایی.

یکی از مزیت‌های این المان مدل‌سازی غیرخطی اندرکنش ستمه و خاک است.

۵.۱.۳. شرایط مرزی و تکیه‌گاهی

شرایط مرزی در تحلیل‌های دینامیکی و استاتیکی، دارای اهمیت خاصی است. در حالت استاتیکی از تکیه‌گاه‌های غلتکی برای مدل‌کردن خاک اطراف دیوار استفاده شده است. به این معنی که در تکیه‌گاه‌های جانبی دیوار، حرکت خاک در جهت افقی بسته و در جهت قائم حرکت آزادانه انجام می‌گیرد. اما در تکیه‌گاه زیرین مدل، حرکت در جهت قائم بسته و در راستای افق رها شده است. این روش در تحلیل سبب نزدیک شدن مدل‌سازی به واقعیت خواهد شد. در تحلیل‌های دینامیکی به منظور جلوگیری از بازتاب امواج به داخل مدل که منجر به کاهش شدید دقت نتایج می‌شود، از مرزهای آرام^۸ با قابلیت مدل‌سازی توده‌ی نیمه‌ی بی‌نهایت خاک به جای مرزهای استاتیکی استفاده شده است.

۶.۱.۳. میرایی

همان‌گونه که بیان شد، میرایی به‌کارگرفته‌شده تابعی از سطح کرنش است. در نرم‌افزار مذکور، به منظور ساده‌سازی با استفاده از الگوهای موجود و با توجه به نوع خاک فرض‌شده، منحنی میرایی و مدول برشی مربوطه به مدل اعمال می‌شود (شکل ۳).

۷.۱.۳. صحت‌سنجی مدل عددی

به‌منظور صحت‌سنجی نتایج در حالت دینامیکی، از یک مدل مقیاس کامل با ارتفاع ۶ متر که در دانشگاه کالیفرنیا توسط ریچاردسون (۱۹۷۶) ساخته شده است، بهره گرفته شده است. شبیه‌سازی زلزله با استفاده از انفجارهای متوالی در پای دیوار صورت پذیرفته است. نتایج حاصل از تحلیل عددی مدل ساخته‌شده در این پژوهش و مدل مقیاس کامل در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

۲.۳. انتخاب شتاب‌نگاشت مناسب

در راستای انجام آنالیزهای دینامیکی مبتنی بر تاریخچه‌ی زمانی، از ۳۰ شتاب‌نگاشت ورودی از میان شتاب‌نگاشت‌های ثبت‌شده در بانک‌های اطلاعاتی زمین‌لرزه‌های قوی جهان استفاده شده است. با توجه به تأثیرپذیری عملکرد لرزه‌ی یک سیستم ژئوتکنیکی از تمامی پارامترهای شاخص زلزله و به‌منظور جلوگیری از تأثیرگذاری سایر پارامترهای شاخص در نتایج حاصل از پارامترهای انتخاب‌شده کوشش شده است تا شتاب‌نگاشت‌ها به‌گونه‌ی انتخاب شوند که از لحاظ سایر پارامترهای شاخص نظیر نوع گسلش، مدت دوام، عمق کانونی، ساختگاه و... در یک سطح قرار گیرند. شناسنامه‌ی شتاب‌نگاشت‌های انتخاب‌شده در جدول ۴ و طیف پاسخ سازه‌ی یک درجه‌ی آزادی آنها با میرایی ۵٪ در شکل ۶ ارائه شده است.

جدول ۴. مشخصات شتاب نگاشت‌های منتخب.

ردیف	نام زمین لرزه	مکانیزم گسلس	بزرگا	فاصله‌ی کانونی (km)	شتاب بیشینه (g)
۱	San Fernando ۱۹۷۱/۰۲/۰۹ ۱۴ : ۰۰	R	۶٫۶	۲۳٫۵	۰٫۱۶
۲	San Fernando ۱۹۷۱/۰۲/۰۹ ۱۴ : ۰۰	R	۶٫۶	۲۳٫۵	۰٫۱۳
۳	Vendic, Iran ۱۹۷۶/۱۱/۰۷	SS	۶٫۴	۱۰	۰٫۱۷
۴	Vendic, Iran ۱۹۷۶/۱۱/۰۷	SS	۶٫۴	۱۰	۰٫۱۸
۵	Naghan, Iran ۱۹۷۷/۰۴/۰۶	R	۶٫۱	۷	۰٫۸۷
۶	Naghan, Iran ۱۹۷۷/۰۴/۰۶	R	۶٫۱	۷	۰٫۵۷
۷	Tabas, Iran ۱۹۷۸/۰۹/۱۶	R	۷٫۴	۴۵	۰٫۱۱
۸	Tabas, Iran ۱۹۷۸/۰۹/۱۶	R	۷٫۴	۴۵	۰٫۰۹
۹	N. Palm Springs ۱۹۸۶/۰۷/۰۸ ۰۹ : ۲۰	RO	۶٫۰	۴۵٫۶	۰٫۱۰
۱۰	N. Palm Springs ۱۹۸۶/۰۷/۰۸ ۰۹ : ۲۰	RO	۶٫۰	۴۵٫۶	۰٫۱۳
۱۱	N. Palm Springs ۱۹۸۶/۰۷/۰۸ ۰۹ : ۲۰	RO	۶٫۰	۷٫۳	۰٫۴۹
۱۲	N. Palm Springs ۱۹۸۶/۰۷/۰۸ ۰۹ : ۲۰	RO	۶٫۰	۷٫۳	۰٫۶۱
۱۳	Northridge ۱۹۹۴/۰۱/۱۷ ۱۲ : ۳۱	R	۶٫۷	۲۶٫۸	۰٫۱۷
۱۴	Northridge ۱۹۹۴/۰۱/۱۷ ۱۲ : ۳۱	R	۶٫۷	۲۶٫۸	۰٫۲۲
۱۵	Northridge ۱۹۹۴/۰۱/۱۷ ۱۲ : ۳۱	R	۶٫۷	۳۶٫۱	۰٫۲۳
۱۶	Northridge ۱۹۹۴/۰۱/۱۷ ۱۲ : ۳۱	R	۶٫۷	۳۶٫۱	۰٫۱۳
۱۷	Northridge ۱۹۹۴/۰۱/۱۷ ۱۲ : ۳۱	R	۶٫۷	۸٫۲	۰٫۳۰
۱۸	Northridge ۱۹۹۴/۰۱/۱۷ ۱۲ : ۳۱	R	۶٫۷	۸٫۲	۰٫۴۳
۱۹	Duzce, Turkey ۱۹۹۹/۱۱/۱۲	SS	۷٫۱	۸٫۲	۰٫۵۱
۲۰	Duzce, Turkey ۱۹۹۹/۱۱/۱۲	SS	۷٫۱	۸٫۲	۰٫۹۷
۲۱	Duzce, Turkey ۱۹۹۹/۱۱/۱۲	SS	۷٫۱	۸٫۵	۰٫۱۳
۲۲	Duzce, Turkey ۱۹۹۹/۱۱/۱۲	SS	۷٫۱	۸٫۵	۰٫۱۵
۲۳	Duzce, Turkey ۱۹۹۹/۱۱/۱۲	SS	۷٫۱	۲۷	۰٫۰۵
۲۴	Duzce, Turkey ۱۹۹۹/۱۱/۱۲	SS	۷٫۱	۲۷	۰٫۰۵
۲۵	Changureh, Iran ۲۰۰۲/۰۲/۲۶	R	۶٫۰	۲۸	۰٫۴۳
۲۶	Changureh, Iran ۲۰۰۲/۰۲/۲۶	R	۶٫۰	۲۸	۰٫۴۴
۲۷	Bam, Iran ۲۰۰۳/۱۲/۲۶	SS	۶٫۵	۵۶	۰٫۱۶
۲۸	Bam, Iran ۲۰۰۳/۱۲/۲۶	SS	۶٫۵	۵۶	۰٫۱
۲۹	Baladeh, Iran ۲۰۰۴/۰۵/۲۸	R	۶٫۳	۲۰	۰٫۲۹
۳۰	Baladeh, Iran ۲۰۰۴/۰۵/۲۸	R	۶٫۳	۲۰	۰٫۱۶

مدل شده و تحت آنالیز استاتیکی قرار گرفته است. سپس جهت اجرای لایه‌ی اول، ابتدا بلوک‌ها، المان‌های تسلیح، مصالح توده‌ی خاک مسلح و توده‌ی خاکریز مدل و سپس جهت برقراری پایداری در سیستم و توزیع تنش‌های استاتیکی، مدل تحت آنالیز استاتیکی قرار گرفته است. این روند تا اجرای لایه‌ی چهارم برای دستیابی به ارتفاع ۶ متر ادامه یافته است. مراحل ساخت مدل به صورت شماتیک در شکل ۷ ارائه شده است.

۲.۳.۳. تحلیل مدل در حالت دینامیکی

به منظور تعیین عملکرد لرزه‌ی سیستم خاک مسلح در قالب تغییر مکان‌های افقی ماندگار رویه در حالت دینامیکی، پس از انجام تحلیل استاتیکی آخرین گام اجرایی

به زمین لرزه‌های مهم آمریکا مربوط هستند، که حوادثی چون زلزله‌های معروف سان‌فرناندو (۱۹۷۱) و نورث‌ریج (۱۹۹۴) را در بردارند.

۳.۳. تهیه و تحلیل مدل‌های عددی

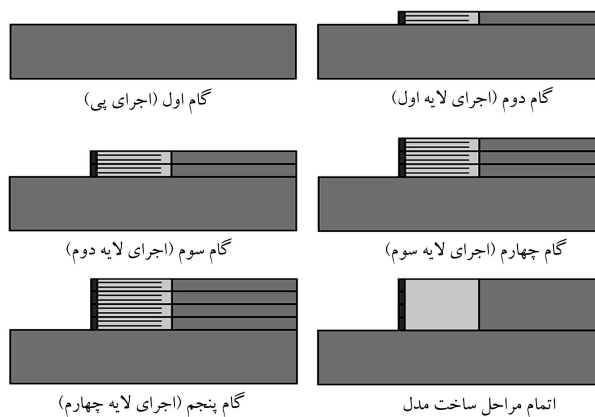
۱.۳.۳. تهیه و تحلیل مدل‌های عددی مطابق با روش اجرای سیستم خاک

مسلح در حالت استاتیکی

در راستای نزدیک‌تر شدن هر چه بیشتر مراحل ساخت مدل به مراحل اجرایی سیستم خاک مسلح و توزیع واقعی تنش در مدل، ابتدا پی براساس ابعاد ارائه شده در بند ۲.۱.۳.

۴.۳. تعیین پارامترهای شاخص شتاب نگاشت‌ها

با توجه به کثرت پارامترهای شاخص یک شتاب نگاشت و عدم امکان بررسی تمامی پارامترهای مذکور، در این پژوهش از میان تمامی پارامترهای شاخص یک نگاشت، شتاب بیشینه (PGA)^۹، بزرگا (M)، فاصله‌ی کانونی^{۱۰}، سرعت بیشینه (PGV)^{۱۱}، دانسیته‌ی انرژی ویژه (SED)^{۱۲}، سرعت مطلق تجمعی (CAV)، شتاب بیشینه‌ی پایدار (SMA)^{۱۳} و سرعت بیشینه‌ی پایدار (SMV)^{۱۴} به‌عنوان پارامترهای شاخص انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به‌منظور تعیین پارامترهای شاخص هر یک از شتاب نگاشت‌های انتخاب‌شده، از نرم‌افزار SeismoSignal استفاده و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.



شکل ۷. مراحل ساخت مدل.

۴. نتایج و تحلیل‌ها

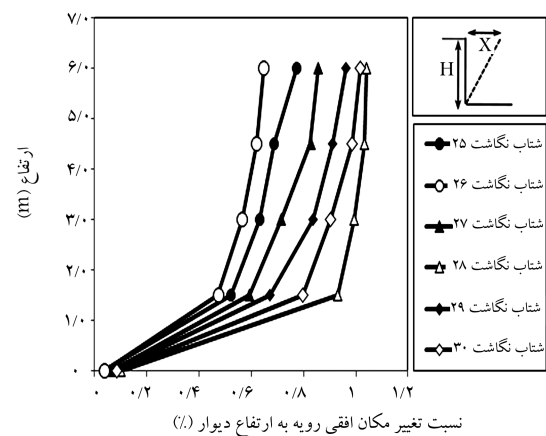
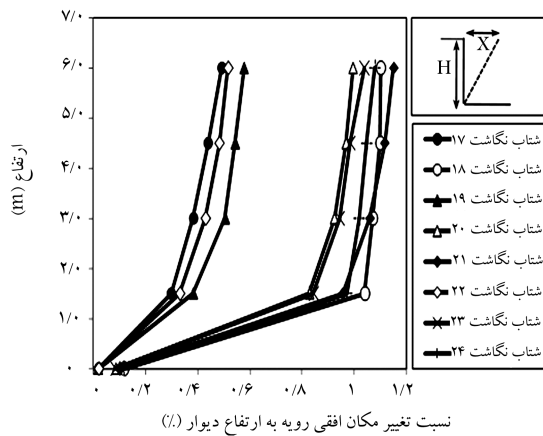
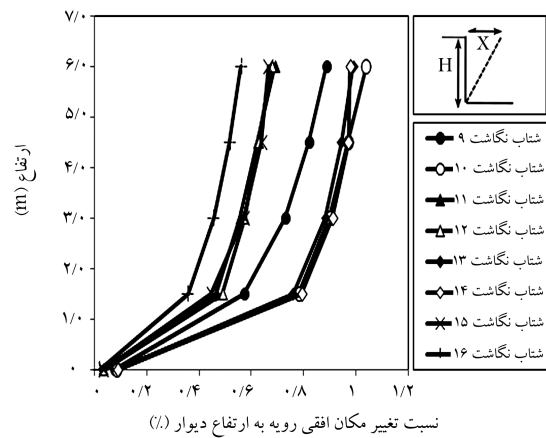
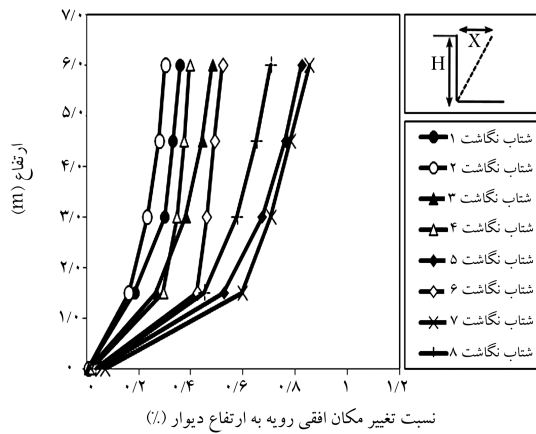
۱.۴. تغییر مکان‌های افقی رویه تحت شتاب نگاشت‌های اعمال شده

نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی مبتنی بر تاریخچه‌ی زمانی سیستم خاک مسلح مفروض تحت شتاب نگاشت‌های انتخاب‌شده، در قالب تغییر مکان ماندگار افقی رویه

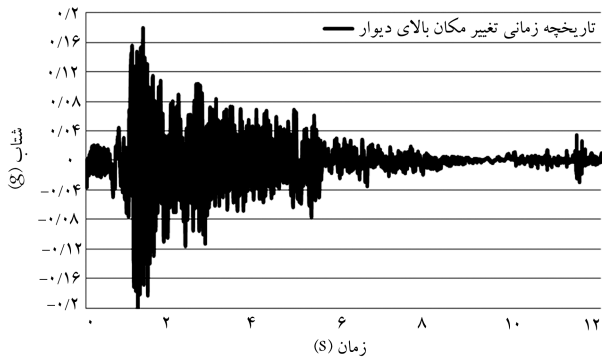
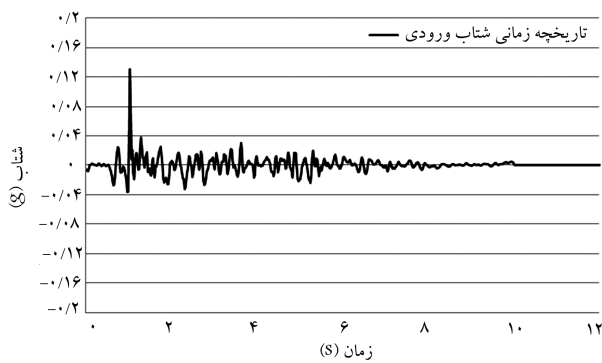
و صفر کردن تغییر مکان‌های به‌وجود آمده در مدل، بارگذاری دینامیکی براساس اعمال شتاب نگاشت‌های انتخاب‌شده در طول بستر پی و تحلیل دینامیکی در طول زمان هر شتاب نگاشت و با گام‌های زمانی $10^{-7} \times 5/207$ انجام شده است.

جدول ۵. مشخصات پارامترهای شاخص شتاب نگاشت‌های منتخب.

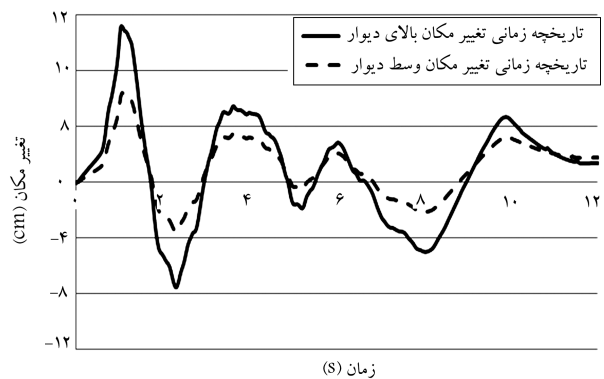
فاصله‌ی کانونی (km)	SMV (cm/s)	SMA (g)	CAV (cm/s)	SED (cm ² /s)	PGV (cm/s)	PGA (g)	M	ردیف
۲۳٫۵	۹	۰٫۱۴	۴۳۹	۲۵۲	۲۱	۰٫۱۶	۶٫۶	۱
۲۳٫۵	۷	۰٫۱۱	۳۷۲	۱۲۷	۱۲	۰٫۱۳	۶٫۶	۲
۱۰	۱۷	۰٫۳۴	۷۸۸	۲۸۹	۲۷	۰٫۱۷	۶٫۴	۳
۱۰	۱۹	۰٫۳۹	۷۲۵	۴۶۶	۳۲	۰٫۱۸	۶٫۴	۴
۷	۱۳	۰٫۲۵	۱۰۳۶	۵۱۱	۲۲	۰٫۸۷	۶٫۱	۵
۷	۹	۰٫۲۱	۷۹۴	۲۲۷	۱۹	۰٫۵۷	۶٫۱	۶
۴۵	۱۸	۰٫۴۷	۱۳۸۹	۷۹۲	۳۲	۰٫۱۱	۷٫۴	۷
۴۵	۱۴	۰٫۲۸	۱۱۶۹	۶۰۳	۳۰	۰٫۰۹	۷٫۴	۸
۴۵٫۶	۱۱	۰٫۳۱	۹۷۶	۱۷۳	۱۷	۰٫۱۰	۶٫۰	۹
۴۵٫۶	۷	۰٫۱	۱۱۲۳	۱۶۶	۱۳	۰٫۱۳	۶٫۰	۱۰
۷٫۳	۱۱	۰٫۴۹	۸۶۹	۸۰	۱۲	۰٫۴۹	۶٫۰	۱۱
۷٫۳	۱۲	۰٫۵۲	۸۴۰	۱۰۲	۱۷	۰٫۶۱	۶٫۰	۱۲
۲۶٫۸	۱۰	۰٫۳۷	۱۱۳۱	۹۰	۱۳	۰٫۱۷	۶٫۷	۱۳
۲۶٫۸	۱۱	۰٫۲۲	۱۴۱۴	۱۶۱	۱۴	۰٫۲۲	۶٫۷	۱۴
۳۶٫۱	۱۵	۰٫۳۶	۱۰۲۱	۳۴۸	۲۵	۰٫۲۳	۶٫۷	۱۵
۳۶٫۱	۲۵	۰٫۳۵	۸۵۰	۸۳۶	۳۲	۰٫۱۳	۶٫۷	۱۶
۸٫۲	۱۹	۰٫۲۵	۷۲۳	۱۵۲	۱۴	۰٫۳۰	۶٫۷	۱۷
۸٫۲	۲۶	۰٫۴۷	۱۴۹۱	۲۰۸	۱۹	۰٫۴۳	۶٫۷/۶	۱۸
۸٫۲	۲۱	۰٫۳۲	۶۵۰	۳۶۷	۲۲	۰٫۵۱	۷٫۱	۱۹
۸٫۲	۲۵	۰٫۳۲	۱۰۹۸	۲۲۶	۲۱	۰٫۹۷	۷٫۱	۲۰
۸٫۵	۱۳	۰٫۲۹	۱۳۵۲	۶۷۶	۳۲	۰٫۱۳	۷٫۱	۲۱
۸٫۵	۱۵	۰٫۴۰	۵۶۵	۲۵۵	۲۸	۰٫۱۵	۷٫۱	۲۲
۲۷	۱۱	۰٫۳۷	۱۱۶۶	۱۵۷	۱۳	۰٫۰۵	۷٫۱	۲۳
۲۷	۹	۰٫۲۱	۱۲۳۴	۳۴۸	۱۷	۰٫۰۵	۷٫۱	۲۴
۲۸	۱۸	۰٫۴۱	۹۹۹	۵۷۱	۳۱	۰٫۴۳	۶٫۰	۲۵
۲۸	۲۰	۰٫۳۴	۸۱۰	۱۴۷۷	۳۹	۰٫۴۴	۶٫۰	۲۶
۵۶	۱۷	۰٫۲۸	۹۵۸	۳۱۱	۲۳	۰٫۱۶	۶٫۵	۲۷
۵۶	۱۴	۰٫۴۱	۱۱۵۴	۲۵۷	۱۷	۰٫۱	۶٫۵	۲۸
۲۰	۲۳	۰٫۴۰	۱۲۲۱	۷۴۸	۲۵	۰٫۲۹	۶٫۳	۲۹
۲۰	۲۴	۰٫۲۳	۱۳۵۵	۸۷۳	۳۶	۰٫۱۶	۶٫۳	۳۰



شکل ۸. تغییر مکان ماندگار رویه تحت شتاب نگاشت‌های اعمالی.

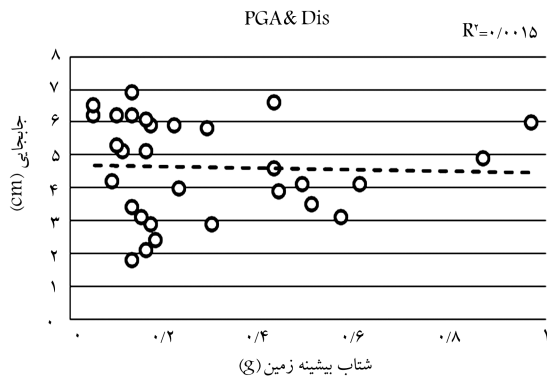


شکل ۱۰. مقایسه‌ی شتاب ورودی و پاسخ شتاب بالای دیوار.



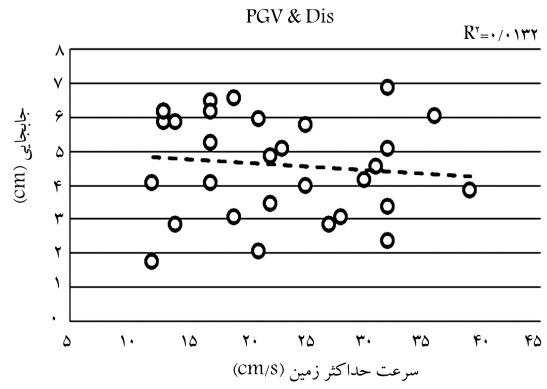
شکل ۹. مقایسه‌ی تاریخچه‌ی تغییر مکان نقاط وسط و بالای دیوار.

در شکل ۸ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل‌ها به‌وضوح دیده می‌شود، مد غالب تغییر شکل سازه به‌صورت دوران حول پاشنه بوده است، که میزان این دوران کاملاً وابسته به پارامترهای شاخص شتاب‌نگاشت‌های اعمال شده است. از طرفی، بیشترین تغییرات در جابجایی‌های اتفاق افتاده در رویه‌ی دیوار، در لایه‌ی اول و دوم سازه مشاهده می‌شود؛ که این امر بیانگر اعمال بیشترین فشار ناشی از زلزله به سازه در محدوده‌ی ۱/۳ ارتفاع آن است. برای نمونه، تاریخچه‌ی مربوط به جابجایی افقی دو نقطه از دیوار در برابر زمان در شکل ۹ و تاریخچه‌ی مربوط به شتاب ورودی و پاسخ نقطه‌ی بالای دیوار در برابر زمان در شکل ۱۰ ارائه شده است. مشاهده



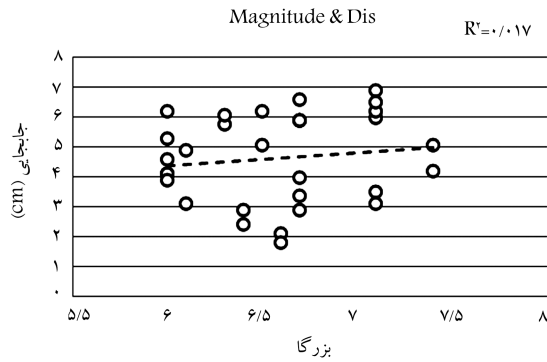
شتاب بیشینه زمین (g)

تغییرات مکان بیشینه رویه نسبت به شتاب بیشینه نگاشت



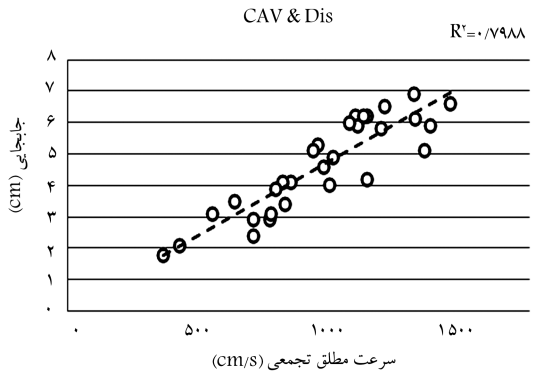
سرعت حداکثر زمین (cm/s)

تغییرات مکان بیشینه رویه نسبت به سرعت بیشینه نگاشت



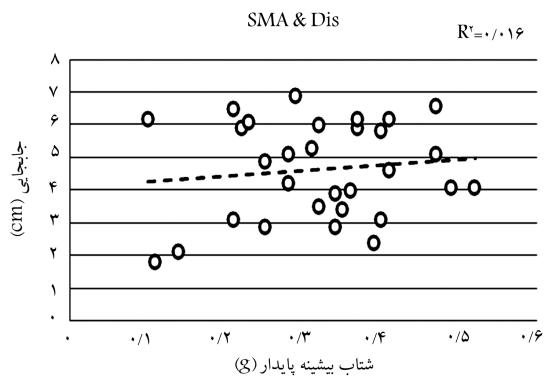
بزرگا

تغییرات مکان بیشینه رویه نسبت به بزرگا نگاشت



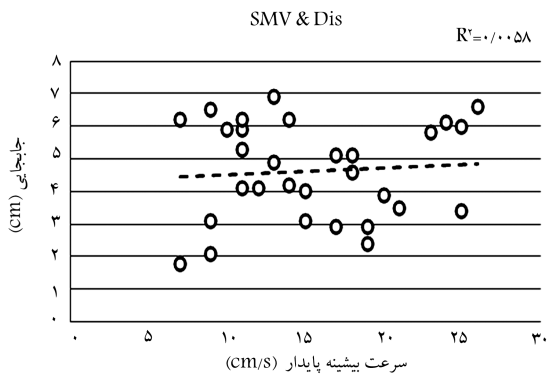
سرعت مطلق تجمعی (cm/s)

تغییرات مکان بیشینه رویه نسبت به سرعت مطلق تجمعی نگاشت



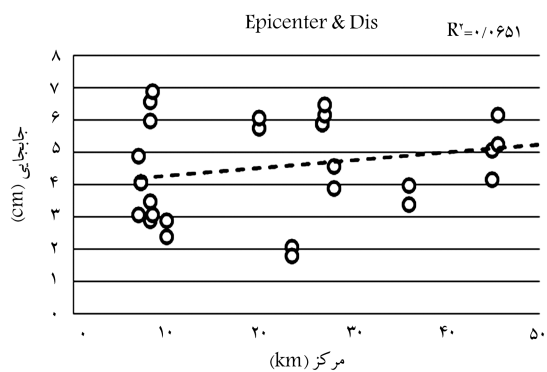
شتاب بیشینه پایدار (g)

تغییرات مکان بیشینه رویه نسبت به شتاب بیشینه پایدار نگاشت



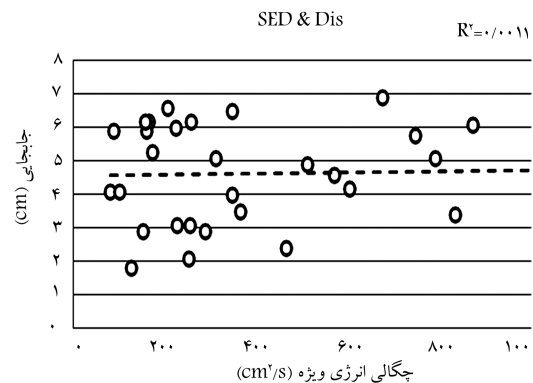
سرعت بیشینه پایدار (cm/s)

تغییرات مکان بیشینه رویه نسبت به سرعت بیشینه پایدار نگاشت



مرکز (km)

تغییرات مکان بیشینه رویه نسبت به مرکز کانونی نگاشت



چگالی انرژی ویژه (cm²/s)

تغییرات مکان بیشینه رویه نسبت به چگالی انرژی ویژه نگاشت

شکل ۱۱. تغییرات جابجایی بیشینه‌ی رویه با تغییرات شاخص‌های شتاب نگاشت.

فوقانی را می‌توان ناشی از کاهش تنش نرمال وارده بر تسمه‌های فوقانی به علت کاهش فشار سربار و آفت اندرکنش تسمه با خاک دانست.

۲. بیشترین تغییرات در جابجایی‌های اتفاق افتاده در رویه‌ی دیوار، در لایه‌های اول و دوم سازه مشاهده می‌شود؛ که این امر بیانگر اعمال بیشترین فشار ناشی از زلزله به سازه در محدوده‌ی ۱/۳ ارتفاع آن است. لذا توجه به آرایش تسمه‌ها در این محدوده دارای اهمیت خاصی است.

۳. پایین بودن سطوح عملکرد سازه‌ی مورد بررسی تحت تمامی زلزله‌های اعمال شده، حاکی از یک طراحی دست بالا براساس آیین‌نامه‌ی FHWA است. لذا با تکیه بر روش طراحی بر مبنای عملکرد لرزه‌ی، می‌توان ضمن دستیابی به یک طرح اقتصادی و بهینه، سازه را براساس سطوح عملکرد مورد نیاز طراحی کرد.

۴. پراکنندگی داده‌های به دست آمده از تحلیل دینامیکی سازه‌ی مورد نظر تحت شتاب‌نگاشت‌های گوناگون نشان می‌دهد که عملکرد لرزه‌ی یک سازه‌ی خاک مسلح به تمامی پارامترهای یک نگاشت وابسته است و انتخاب فقط یک پارامتر از میان تمامی پارامترهای شاخص زلزله به منظور طراحی سازه، سبب عدم دستیابی به یک طرح موفق می‌شود.

۵. وابستگی سطوح عملکرد به پارامترهای شاخص زلزله، بیانگر حساسیت انتخاب زلزله‌ی طرح در روش طراحی بر مبنای عملکرد لرزه‌ی است. لذا انتخاب یک زلزله‌ی طرح مناسب براساس یک معیار مشخص در این روش طراحی اجتناب‌ناپذیر است.

۶. با وجود وابستگی پارامتر سرعت مطلق تجمعی (CAV) به چندین پارامتر دیگر زلزله مانند: شتاب بیشینه، سرعت بیشینه، مدت نگاشت، تعداد سیکل‌های تکرار شده و...، هم‌گرایی مناسبی میان این پارامتر و عملکرد لرزه‌ی سازه خاک مسلح دیده می‌شود، به گونه‌ی که افزایش آن منجر به افزایش تغییرمکان سازه می‌شود. لذا می‌توان رابطه‌ی میان این پارامتر و سطح عملکرد سیستم مذکور به صورت رابطه‌ی ۳ ارائه کرد. بنابراین در روش طراحی براساس عملکرد لرزه‌ی سازه‌های خاک مسلح شده با تسمه‌ی فولادی، می‌توان پارامتر CAV را به عنوان بهترین معیار جهت انتخاب زلزله‌ی طرح معرفی کرد.

$$\Delta x/H = 0.70008 CAV \quad (3)$$

۷. علی‌رغم آنکه پارامتر بزرگا (M) جزء یکی از شاخص‌ترین پارامترهای یک زلزله به شمار می‌آید و پژوهشگران آن را به عنوان یک معیار مناسب در جهت انتخاب زلزله‌ی طرح معرفی کرده‌اند، عدم هم‌گرایی مناسب بین این پارامتر و عملکرد لرزه‌ی سیستم خاک مسلح، این پارامتر را به عنوان یک پارامتر ناکارآمد در انتخاب زلزله‌ی طرح معرفی می‌سازد.

۸. عدم هم‌گرایی مناسب بین شتاب بیشینه (PGA) و عملکرد لرزه‌ی، استفاده از این پارامتر پرکاربرد را جهت انتخاب زلزله‌ی طرح در روش طراحی بر مبنای عملکرد لرزه‌ی در حاله‌ی از ابهام قرار می‌دهد.

می‌شود که جابجایی از صفر آغاز و پس از نوسان، نهایتاً به یک مقدار ثابت رسیده و تغییرمکان ماندگار در سازه ایجاد شده است. این روند بیانگر پایداری و هم‌گرایی سیستم در پایان تحلیل است. همچنین افزایش پاسخ شتاب در نقطه‌ی بالای دیوار نسبت به شتاب ورودی، بیانگر وقوع بزرگ‌نمایی و کاهش آن در پایان بارگذاری، بیانگر هم‌گرایی و عملکرد مناسب میرایی سیستم است.

۲.۴. بررسی تأثیر پارامترهای شاخص شتاب‌نگاشت‌های منتخب در تغییرمکان‌های افقی

در راستای بررسی تأثیر شاخص‌های نگاشت در عملکرد لرزه‌ی دیوار خاک مسلح، روند تغییرات هر یک از شاخص‌های مذکور با تغییرات جابجایی ماندگار بیشینه‌ی سیستم مورد بررسی قرار گرفته است، که نتایج آن در شکل ۱۱ ارائه شده است.

همان‌طور که از نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود، بیشترین هم‌گرایی بین پارامترهای شاخص زلزله و عملکرد لرزه‌ی دیوار خاک مسلح مربوط به پارامتر سرعت مطلق تجمعی (CAV) است، به گونه‌ی که می‌توان گفت افزایش آن منجر به افزایش تغییرمکان سازه می‌شود.

CAV عبارت است از مقدار کل سرعت و یا سطح زیر نمودار شتاب بدون در نظر گرفتن علامت منفی که به صورت رابطه‌ی ۲ تعریف می‌شود:

$$CAV = \int_0^t |a(t)| dt \quad (2)$$

که در آن، $a(t)$ تغییرات شتاب در برابر زمان است.

لذا می‌توان گفت در روش طراحی براساس عملکرد لرزه‌ی سازه‌های خاک مسلح شده با تسمه‌ی فولادی، پارامتر CAV به عنوان بهترین معیار در انتخاب زلزله طرح است. از سوی دیگر، کمترین هم‌گرایی مربوط به پارامتر دانسیته‌ی انرژی ویژه (SED) است که این امر پارامتر مذکور را به عنوان ناکارآمدترین معیار در انتخاب زلزله‌ی طرح مطرح می‌سازد. همچنین می‌توان به ناهم‌گرایی مناسب بین پارامتر بزرگا (M) و عملکرد لرزه‌ی اشاره کرد. این موضوع برخلاف نظریه‌ی سید (۱۹۸۰) که پارامتر بزرگا را بهترین معیار انتخاب زلزله‌ی طرح برای سدهای خاکی می‌داند، بزرگا را پارامتری ناکارآمد در انتخاب زلزله‌ی طرح برای دیوارهای خاک مسلح معرفی می‌سازد.

۵. نتیجه‌گیری

با تکیه بر نتایج به دست آمده می‌توان به این موارد اشاره کرد:

۱. مد غالب تغییرمکان سازه‌های مورد بررسی تحت تمامی زلزله‌های اعمال شده، دوران حول پاشنه است. عامل افزایش تغییرمکان‌های افقی سازه در لایه‌های

پانویس‌ها

1. cumulative absolute velocity
2. amplification
3. magnitude

4. performance base design
5. fast lagrangian analysis of continuum
6. equivalent linear method
7. interface
8. quiet boundary
9. peak ground acceleration

10. epicenter
11. peak ground velocity
12. specific energy density
13. sustained maximum acceleration
14. sustained maximum velocity

(References) منابع

1. International Workshop on New Trends of Seismic Geotechnical Design Based on Performance and Life Cycle Analysis, Tehran, Iran (August 2008).
2. Richardson, G.N. and Lee, K.L. "Seismic design of reinforced earth walls", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, **101**(GT2), pp.167-188 (1975).
3. Richardson, G.N., Feger, A. and Lee, K.L. "Seismic testing of reinforced earth walls", *Journal of Geotechnical Engineering*, Division, ASCE, **103**(1), pp. 1-17 (1977).
4. Howard Jr., R.W.A., Kutter, B.L. and Siddharthan, R. "Seismic deformation of reinforced soil centrifuge models", *Proceedings of the 3rd International Conference on Geotechnical Engineering and Soil Dynamics Conference*, Special Publication, ASCE, **1**(75), pp. 446-457 (1999).
5. Hatami, K., Bathurst R.J., El-Emam M.M. and Allen T.M. "Validation of numerical Models for static and McMat, Seismic analysis and reinforced soil wall", ASME/ASCE/SES joint Conference on Mechanical and Materials, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana (USA 2005).
6. El-Emam, M.M. and Bathurst, R.J. "Influence of reinforcement parameters on the seismic response of reduced-scale reinforced soil retaining walls", *Geotextiles and Geomembranes*, **27**, pp. 33-49 (2007).
7. Bathurst, R.J.; El-Emam, M.M. and Hatami, K. "Numerical modeling of reinforced soil retaining walls subjected to base acceleration", *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 2621 (2004).
8. Huai, Z. and MengXi, Z. "Model test on sand retaining wall reinforced with denti-strip inclusions", *Science in China Series E: Technological Sciences*, *Springer Journal*, **51**(12), pp. 2269-2279 (December 2008).
9. Belabed, L., Yahiaoui, J., Zennir, A.M. and Benyaghla, H. "Mechanical behavior of reinforced earth retaining walls", *ISSN 1392 - 1207, Mechanika*, **Nr.1**(75), pp. 19-25 (February 2009).
10. Nouria, H., Fakher, A. and Jones, C.J.F.P. "Evaluating the effects of the magnitude and amplification of pseudo-static acceleration on reinforced soil slopes and walls using the limit equilibrium horizontal slices method", *Geotextiles and Geomembranes, Elsevier Journal*, **26**(3), pp. 263-278 (2008).
11. Prakash, S. and Nandkumar, P. "Dynamic earth pressure distribution behind flexible retaining walls", *Indian Geotech. J.*, **4**, pp. 207-224 (1974).
12. FHWA, *Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes*, Publication No. FHWA-NHI-10-024, National Highway Institute Office of Bridge Technology (2009).
13. FLAC Manual Ver. 5.0, Itasca, USA (2005).
14. Bathurst, R.J. and Hatami, K. "Influence of reinforcement stiffness, length and base condition on seismic response of geosynthetic reinforced soil walls", *Proceedings of the 6th International Conference on Geosynthetics*, USA, pp. 613-616 (1998).
15. Bathurst, R.J. and Hatami, K. "Earthquake response analysis of reinforced soil walls using FLAC", *Flac and Numerical Modeling in Geomechanics*, pp.273-297 (1999).
16. Saeidzade, N. "The study on the effect of site characterizations on standard No. 2800 spectrum in the base of real inputs", Master of Science thesis, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran (2010).
17. Ishihara, K., *Soil Behaviour in Earthquake Engineering*, Clarendon Press, Oxford University, New York, USA, 350 p. (1996).
18. Huang, B., Bathurst, R.J. and Hatami, K. "Numerical study of the influence of reinforcement length and spacing on reinforced soil segmental walls of variable height", *Proceedings of the First Pan American Geosynthetics Conference and Exhibition*, Cancun, Mexico, IFAI, pp. 1256-1264 (2008).