بررسی کاهش اثرات لرزه ای عوارض توپوگرافی شیروانی با استفاده از جداسازهای لرزه ای

حمید علی الهی
استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، دانشکده فنی و مهندسی، زنجان، ایران
h.alielahi@iauz.ac.ir

مهرداد کلهر
دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، دانشکده فنی و مهندسی، زنجان، ایران
mehrdad.kalhor1989@gmail.com

کلید واژه‌ها: *توپوگرافی شیروانی، جداسازهای ژئوسنتتیکی، مدلسازی عددی، موج ریکر، بزرگنمایی امواج لرزه ای*

چکیده

همواره بسیاری از مناطق مسکونی بر روی عوارض توپوگرافی شیروانی واقع شده‌اند. این عوارض موجب تقویت و بزرگنمایی امواج لرزه ای شده که می تواند موجب آسیب‌های جدی به سازه های واقع بر آن گردد. مطالعات محدودی در راستای معرفی روش‌های کاهش اثرات توپوگرافی در اثر برخورد امواج لرزه‌ای انجام شده است. در این راستا یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های کاهش اثر حرکات لرزه‌ای استفاده از ژئوسنتتیک‌های لغزنده به‌عنوان جداسازهای لرزه‌ای است. با جایگذاری این نوع از ژئوسنتتیک‌ها در خاک، بین لایه‌های خاک سطح لغزشی ایجاد می‌شود که لغزش لایه‌ها بر روی یکدیگر سبب استهلاک امواج لرزه‌ای عبوری و کاهش دامنه آنها می‌گردد. در این مقاله، به بررسی استفاده از این نوع المان‌های کاهنده امواج لرزه‌ای در توپوگرافی شیروانی به منظور کاهش اثرات بزرگنمایی امواج، پرداخته شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که اثر تعداد و موقعیت المان‌های ژئوسنتتیکی نسبت به تاج شیروانی حائز اهمیت است. میزان استهلاک امواج لرزه ای با نزدیک شدن موقعیت لایه ژئوسنتتیک به تاج شیروانی افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش تعداد لایه‌های ژئوسنتتیکی، امواج لرزه‌ای به مقدار قابل توجهی تضعیف می گردند.

مقدمه

تجربیات به‌دست آمده از زلزله‌های اخیر حاکی از اثرات بزرگنمایی امواج لرزه ای عوارض توپوگرافی شیروانی است. از طرفی با توجه به اینکه اغلب شهرها و سازه های مهم بر روی شیروانی ها واقع شده اند، لذا شناخت هرچه بیشتر رفتار لرزه ای این نوع از عوارض می تواند کمک شایانی به طراحی‌های ایمن سازه‌ها در برابر امواج ناشی از زلزله باشد. عوارض توپوگرافی شیب، به علت ایجاد امواج سطحی در اثر برخورد امواج تابشی، موجب تقویت و بزرگنمایی امواج لرزه ای می شوند. از طرف دیگر مهندسان همواره در جستجوی روش های کاربردی و اقتصادی برای کاهش اثرات لرزه ای عوارض توپوگرافی به‌ویژه شیروانی ها بوده که می تواند موجب طراحی اقتصادی سازه های واقع بر آنها گردد. برای این منظور در بین روشهای مختلف، استفاده از المان‌های ژئوسنتتیکی به‌عنوان جداسازهای لرزه‌ای، می‌تواند روشی اقتصادی و با کارایی بالا محسوب شود. در این نوع از المان‌ها، سطح لغزش متشکل از دو لایه آستر مصنوعی در تماس با یکدیگر است که با پایین آوردن میزان اصطکاک در سطح تماس و لغزش راحت‌تر بین دو لایه، موجب استهلاک امواج لرزه‌ای عبوری از سطح تماس آنها می شود. بنابراین، این رابط لغزنده همانند یک میراگر امواج زلزله را به میزان قابل توجهی تضعیف می کند. با مرور ادبیات فنی می‌توان مطالعات پیشین را در دو بخش: مطالعات انجام شده در مورد عوارض توپوگرافی شیروانی، و استفاده از ژئوسنتتیک‌های لغزنده در کاهش حرکات لرزه ای زمین تقسیم بندی نمود.

بوکووالاس و همکاران (۲۰۰۴)، به بررسی تاثیر توپوگرافی شیروانی بر پاسخ لرزه ای زمین در برابر امواج تابشیSV پرداختند. در این مطالعه اثر هندسه شیب، فرکانس غالب موج ورودی، تعداد تناوب امواج و خواص دینامیکی مصالح خاکی بررسی شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که امواج ورودی در تاج شیب به مقدار زیادی تقویت شده و در فواصل دور و نزدیک شیب دچار نوسان و تغییرات شدیدی می شوند [۱]. استاماتپولوس و همکاران (۲۰۰۷)، میزان آسیب پذیری ساختمان ها در نزدیکی لبه شیروانی سنگی را تحت امواج زلزله مطالعه نمودند. مطالعات

آنها نشان داد که در نقاط نزدیک به لبه شیب تحت امواج لرزه‌ای، تقویت شتاب افقی و عمودی رخ می دهد و همچنین مناطق مختلف واقع بر دامنه شیب، دارای تاریخچه های شتاب متفاوتی می باشند [۲]. رزم خواه و همکاران (۲۰۰۸)، به تحلیل پارامتریک پاسخ لرزه ای دو بعدی شیب ها، با تابش امواج عمودی SV و P پرداختند. با توجه به تاثیر مشخصات هندسی بر دامنه پاسخ لرزه ای، برای عارضه توپوگرافی شیب طیف گسترده ای از زاویه ها بررسی شده است. همچنین در این مطالعه اثر فرکانس بی بعد مورد تحقیق قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد، تاج شیب یک نقطه ی بحرانی بوده و شتاب در تاج شیب تقویت می شود. همچنین، کمترین میزان تقویت در پایین دست (پنجه) شیب است و با زیاد شدن زاویه شیروانی، میزان فاکتور تقویت در تاج شیب افزایش می‌یابد [۳].

از طرف دیگر، یگین و همکاران (۲۰۰۴)، به مطالعه جداسازی لرزه‌ای شالوده‌ها با استفاده از الیاف پلی اتیلن و ژئوتکستایل به کمک آزمایش فیزیکی میز لرزه پرداختند. ژئوتکستایل مورد استفاده از نوع UHMWPE (Ultra-high-molecular-weight polyethylene) بوده است. نتایج حاصل از آزمایش میز لرزه نشان داد که استحکام ژئوتکستایل بافته نشده بیشتر از پلی اتیلن بوده و ژئوتکستایل UHMWPE المان مناسبی برای این کار می‌باشد. همچنین مطالعات آنها نشان داد که ضریب اصطکاک ایستایی برای این المان رابط در حدود ۰/۱ و ضریب اصطکاک دینامیکی همراه با تنش نرمال در حدود ۰/۰۷ بوده و جابجایی و لغزش در امتداد آستر ایزوله با کاهش نیروهای برشی همراه می باشد [۴]. جورگاراکوس و همکاران (۲۰۰۵)، شکل‌های متفاوتی از المان‌های لغزنده را در زیر شالوده یک ساختمان مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که امواج رسیده به شالوده ساختمان تا حد قابل توجهی ضعیف تر از امواج وارده به نقاط غیر مسلح خاک است [۵]. تساتسیس و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی جداسازی لرزه‌ای خاک زیر سازه پایه پل با استفاده از ژئوسنتتیک‌های لغزشی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که سیستم پیشنهادی شبیه یک مکانیزم فیوز در خاک عمل نموده و شتاب انتقال یافته بر روی سازه را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می دهد [۶]. از جمله مطالعات محدود انجام شده در مورد استفاده از روشهای کاهش اثرات لرزه‌ای عوارض توپوگرافی شیب می‌توان به مطالعات استاماتپولوس و همکاران (۲۰۰۹) [۷] پرداخت. ایشان به بررسی کاهش شتاب‌ها در نزدیکی یک توپوگرافی شیروانی با استفاده از المانهای شمع و مهار پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که استفاده از مهار ها و شمع، می‌تواند به‌طور چشمگیری اثرات لرزه‌ای توپوگرافی شیروانی را کاهش دهد. همچنین استفاده از شمع ها و مهار با انحرافی در حدود ۵۵ درجه نسبت به امتداد قائم و طول حدود ۱۵ متر، می تواند تاثیر به‌سزایی در کاهش پاسخ لرزه‌ای شیروانی داشته باشد و استفاده از شمع ها نسبت به مهار تاثیر بیشتری دارد [۷].

با توجه به تحقیقات گذشته، در تاج شیروانی تقویت و بزرگنمایی شتاب اتفاق می افتد. بنابراین، طراحی و اجرای سازه‌های واقع بر آنها، نیازمند تمهیدات ویژه و صرف هزینه زیادی می‌باشد. از طرفی تحقیقات محدودی به منظور بهبود شرایط پاسخ لرزه ای شیروانی‌ها تحت امواج لرزه‌ای و کاهش تاثیرات آنها بر سازه‌ها صورت گرفته است. همچنین، اخیراً ایزولاسیون (جداسازی) لرزه‌ای شالوده‌ها با استفاده از روش‌های ساده و اقتصادی، نظیر استفاده از ژئوسنتتیک‌های ویژه با پتانسیل ایجاد لغزش بالا در لایه های خاک و استهلاک امواج، در کاربردهای مهندسی مورد توجه قرار گرفته‌اند [۴و ۵]. از طرف دیگر، تاکنون مطالعات محدودی در زمینه کاهش اثرات لرزه‌ای عوارض توپوگرافی شیب‌ها، فقط با استفاده از شمع و مهار انجام شده است. بنابراین، استفاده از ژئوسنتتیک‌های لغزشی به منظور کاهش اثرات لرزه ای شیب و سازه های واقع برآن، امری ضروری به نظر می رسد. لذا در این تحقیق، به بررسی پارامتریک تاثیر این نوع از ژئوسنتتیک‌های، در کاهش و استهلاک لرزه ای شیروانی پرداخته شده است.

مدلسازی عددی و اعتبار سنجی مدل عددی

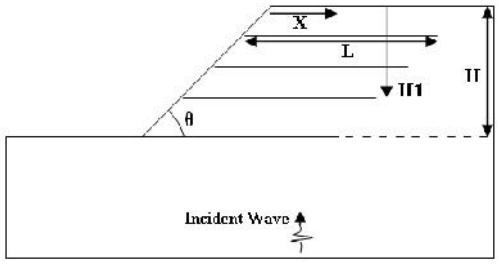
در این تحقیق به مطالعه پارامتریک رفتار لرزه ای عوارض توپوگرافی شیروانی با استفاده از روش عددی در دو حالت غیر مسلح و مسلح، تحت امواج تابشی قائم از نوع SV پرداخته شده است. المان های تسلیح از نوع ژئوتکستایل لغزشی UHMWPE در نظر گرفته شده است. به منظور مدل سازی عددی مساله و اعتبار سنجی مدل، از نرم افزار اجزای محدود Abaqus 6.13 استفاده شده است. این برنامه توانایی مدلسازی مسائل مختلف ژئوتکنیکی از قبیل: مدلسازی گود برداری ها، تونل ها، سازه های خاکی مانند دیواره ها و شیب ها و غیره را دارد. هندسه اولیه مدل شامل یک شیب با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق مطابق شکل ۱ در نظر گرفته شده است. θ زاویه شیروانی، H ارتفاع شیروانی، H1 موقعیت لایه ژئوتکستایل از تاج شیروانی، L طول ژئوتکستایل، N تعداد لایه های ژئوتکستایل و X فاصله نقطه مورد بررسی از تاج شیروانی می باشد. موج تابیده شده به مدل از نوع ریکر، با فرکانس غالب ۲ هرتز و ماکزیمم شتاب ۰/۳۵g در نظر گرفته شده است (شکل ۲).

معادله موج ریکر در زیر آورده شده است.

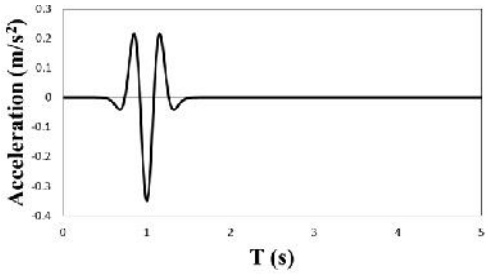
$$F(t) = A\left[1 - 2\left(® f_p (t - t_0)\right)^2\right] e^{-\left(® f_p (t-t_0)\right)^2} \qquad (۱)$$

که در آن f_p فرکانس غالب، t_0 زمان نظیر بیشینه دامنه، $A_{\max}$ بیشینه دامنه حرکت لرزه ای ناشی از موج تابشی و t زمان کل موج است.

مشخصات مصالح توپوگرافی شیروانی خاکی و ژئوتکستایل لغزشی در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱: هندسه توپوگرافی شیروانی به همراه پارامترهای آن

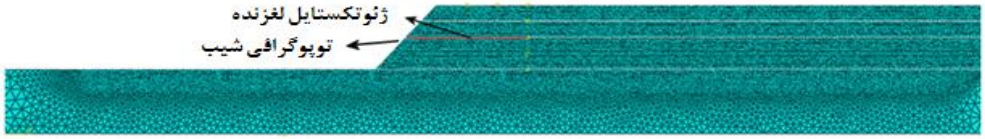


شکل۲: موج ریکر در فضای زمان

جدول ۱: مشخصات خاک و ژئوتکستایل

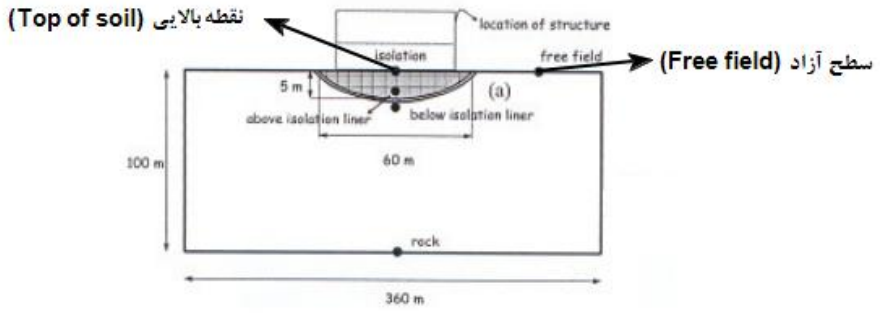
پارامتر ها	مصالح توپوگرافی شیروانی خاکی	ژئوتکستایل لغزشی UHMWPE
زاویه اصطکاک داخلی خاک φ	۳۴	---
مدول الاستیسیته $E(kN/m^2)$	۹۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰
وزن مخصوص $\gamma(kN/m^3)$	۱۸	۹/۴
ضریب پواسون υ	۰/۳	۰/۳
چسبندگی $C(kN/m^2)$	۲۰	---

مدل رفتاری شیروانی خاکی از نوع مدل موهر کولمب در نظر گرفته شده و برای مدلسازی ژئوتکستایل ها از مدل رفتاری الاستیک خطی بهره گرفته شده است. به منظور عدم بازتاب امواج از مرز های مدل، مرزها در فاصله ۱۰H، دورتر از شیب قرار داده شده است. علاوه بر دور نمودن مرز ها، از مرز های جاذب امواج بازتاب نیز استفاده شده است. شیروانی خاکی با المان های ۶ گرهی و لایه های ژئوتکستایل با المان تیر مدل شده است، که با توجه به ضخامت بسیار کم لایه ژئوتکستایل از مقاومت خمشی المان تیر صرف نظر شده است. اینترفیس (المان رابط بین لایه خاک و ژئوتکستایل لغزشی) بین خاک و لایه جداساز با ضریب اصطکاک استاتیکی ۰/۱ و دینامیکی ۰/۰۷ مدلسازی شده است [۴]. المان بندی مدل در نرم افزار آباکوس در شکل ۳ نشان داده شده است.



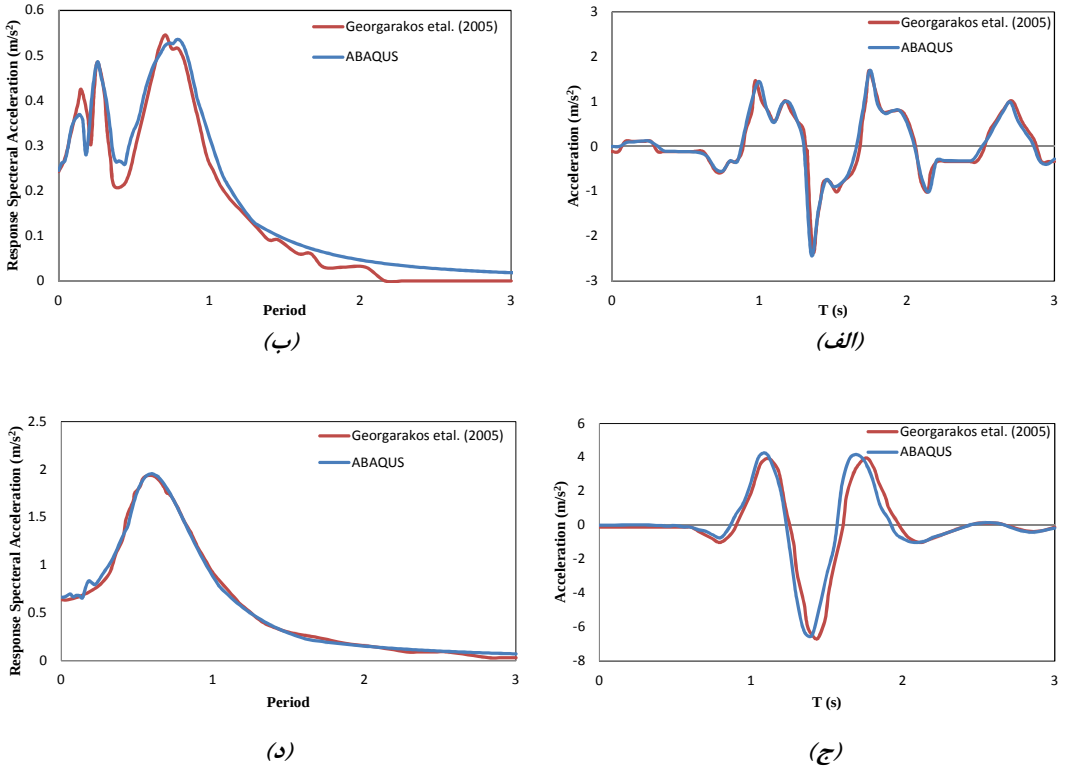
شکل ۳: نحوه المان بندی مدل عددی

به منظور اعتبار سنجی مدل عددی و اطمینان از نتایج بدست آمده در مطالعات پارامتریک، مدل جورگاراکوس و همکاران (۲۰۰۵) [۵] توسط نرم افزار اجزای محدود Abaqus 6.13 بررسی شده است. هندسه مدل در شکل ۴ آورده شده است. با توجه به تحلیل های انجام شده، مشاهده می شود که تاثیر گذارترین پارامتر در این مدل، تعریف المان اینترفیس می باشد. از این رو مهمترین علت رفتار کاهشی جداساز، المان اینترفیس و اثر کاهشی آن بر رفتار لرزه ای است. بنابراین، نحوه صحیح اعتبار سنجی، وابسته به صحت مدلسازی المان اینترفیس می باشد.



شکل ۴: هندسه مدل جورگاراکوس و همکاران [۵]

در شکل ۵ مقایسه نمودارهای شتاب و طیف پاسخ نقاط مختلف مدل عددی و مطالعات جورگاراکوس و همکاران [۵]، ارایه شده است. نتایج بدست آمده حاکی از توانایی مدل عددی در شبیه سازی مناسب عملکرد المان رابط اینترفیس دارد.



شکل ۵: (الف) مقایسه مؤلفه شتاب نقطه بالایی مدل جورگاراکوس و همکاران (۲۰۰۵)، (ب) طیف پاسخ شتاب نقطه بالایی مدل جورگاراکوس و همکاران (۲۰۰۵) با مدلسازی عددی، (ج) مؤلفه شتاب سطح آزاد مدل جورگاراکوس و همکاران (۲۰۰۵)، (د) طیف پاسخ شتاب سطح آزاد مدل جورگاراکوس و همکاران (۲۰۰۵) با مدلسازی عددی.

به منظور کاربردی نمودن نتایج حاصل از مطالعات پارامتریک، متغیر های مساله شامل: طول لایه ژئوتکستایل لغزشی (L)، موقعیت ژئوتکستایل از تاج شیروانی (H1) و فاصله نقاط مورد بررسی در پشت تاج شیروانی (X)، نسبت به ارتفاع شیروانی (H) طبق جدول ۲ بی بعد شده اند. با توجه به مشخصات خاک، مقدار θ به نحوی انتخاب شده است که شیروانی غیر مسلح پایدار باشد. همچنین، این زاویه به نحوی انتخاب شده است که وجود لایه ژئوتکستایل با سطح لغزنده، باعث ناپایداری شیب در حالت استاتیکی نگردد. همچنین شیب در هنگام تابش امواج لرزه ای و پس از پایان آن نیز پایدار می باشد.

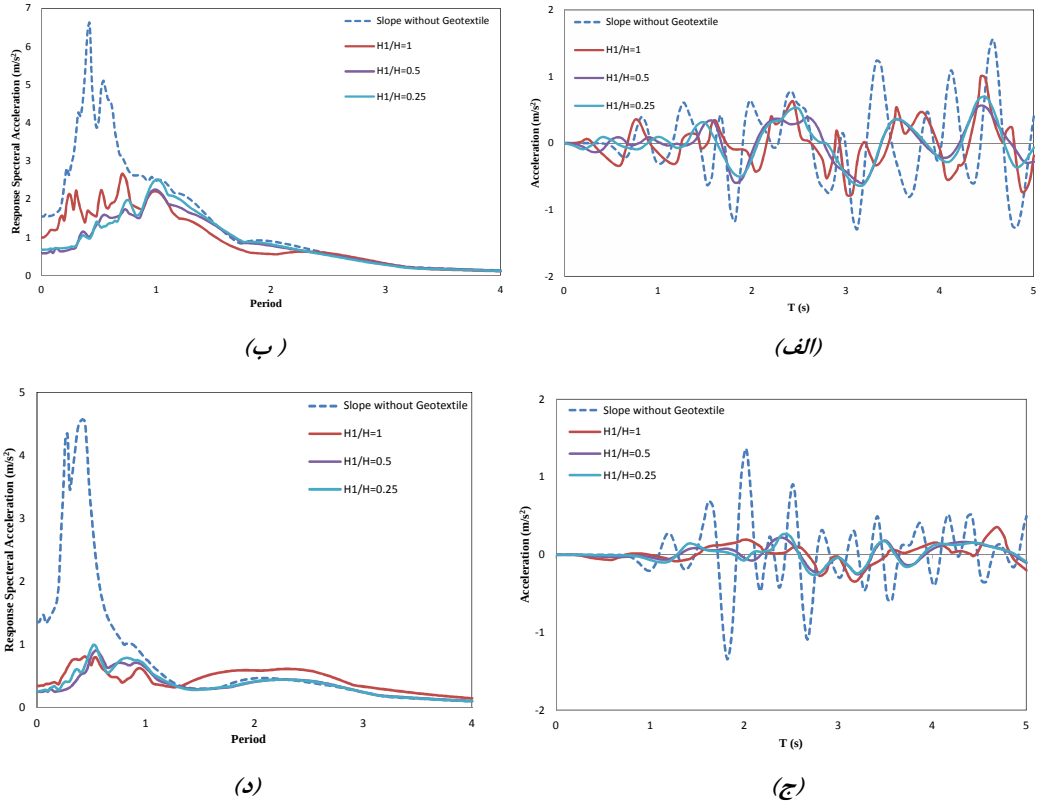
جدول ۲: متغیر های تحلیل به منظور انجام مطالعات پارامتریک

پارامتر ها	پارامتر های ثابت	پارامترهای متغیر
زاویه شیب خاکی θ	۴۵	---
نسبت طول ژئوتکستایل به ارتفاع شیب L/H	۲	---
موقعیت لایه ژئوتکستایل نسبت به ارتفاع شیب H1/H	---	۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱
تعداد لایه های ژئوتکستایل N	---	۱(H1/H=۰/۲۵),۲(H1/H=۰/۲۵ ،۰/۵) ۳(H1/H=۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵),۴(H1/H=۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)
فاصله از پشت تاج نسبت به ارتفاع شیروانی X/H	---	۰ ،۰/۲ ،۰/۴ ،۰/۶ ،۰/۸ ،۱ ،۱/۲ ،۱/۴ ،۱/۶ ،۱/۸ ،۲

بررسی نتایج حاصل از تحلیل های پارامتریک

در این تحقیق، به بررسی عملکرد و لغزش لایه جداساز ژئوتکستایلی در پاسخ لرزه ای عارضه توپوگرافی شیروانی خاکی پرداخته شده است. ایجاد لغزش در بین لایه های خاک بوسیله المان‌های لغزشی موجب استهلاک امواج لرزه ای و کاهش اثرات لرزه ای شیروانی می‌گردد. رفتار

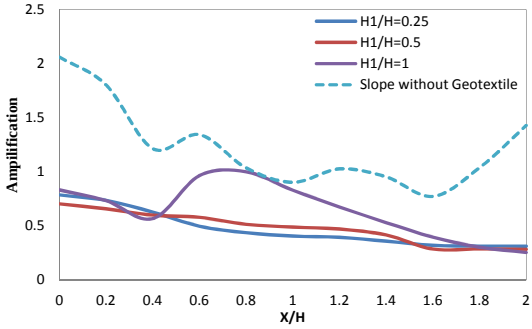
لرزه ای شیروانی خاکی بر اساس جدول ۲، مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا اثر موقعیت لایه ژئوتکستایل نسبت به تاج شیروانی در شکل ۶ بررسی شده است. در این شکل، نمودار شتاب و طیف پاسخ شتاب در دو نقطه پشت تاج شیروانی مشاهده می گردد.



شکل ۶: بررسی اثر موقعیت لایه ژئوتکستایل در توپوگرافی شیروانی. (الف)نمودار شتاب نسبت به زمان در موقعیت X/H=۰، (ب) طیف پاسخ شتاب در X/H=۰، (ج) نمودار شتاب نسبت به زمان در X/H=۲، (د) طیف پاسخ شتاب در X/H=۲

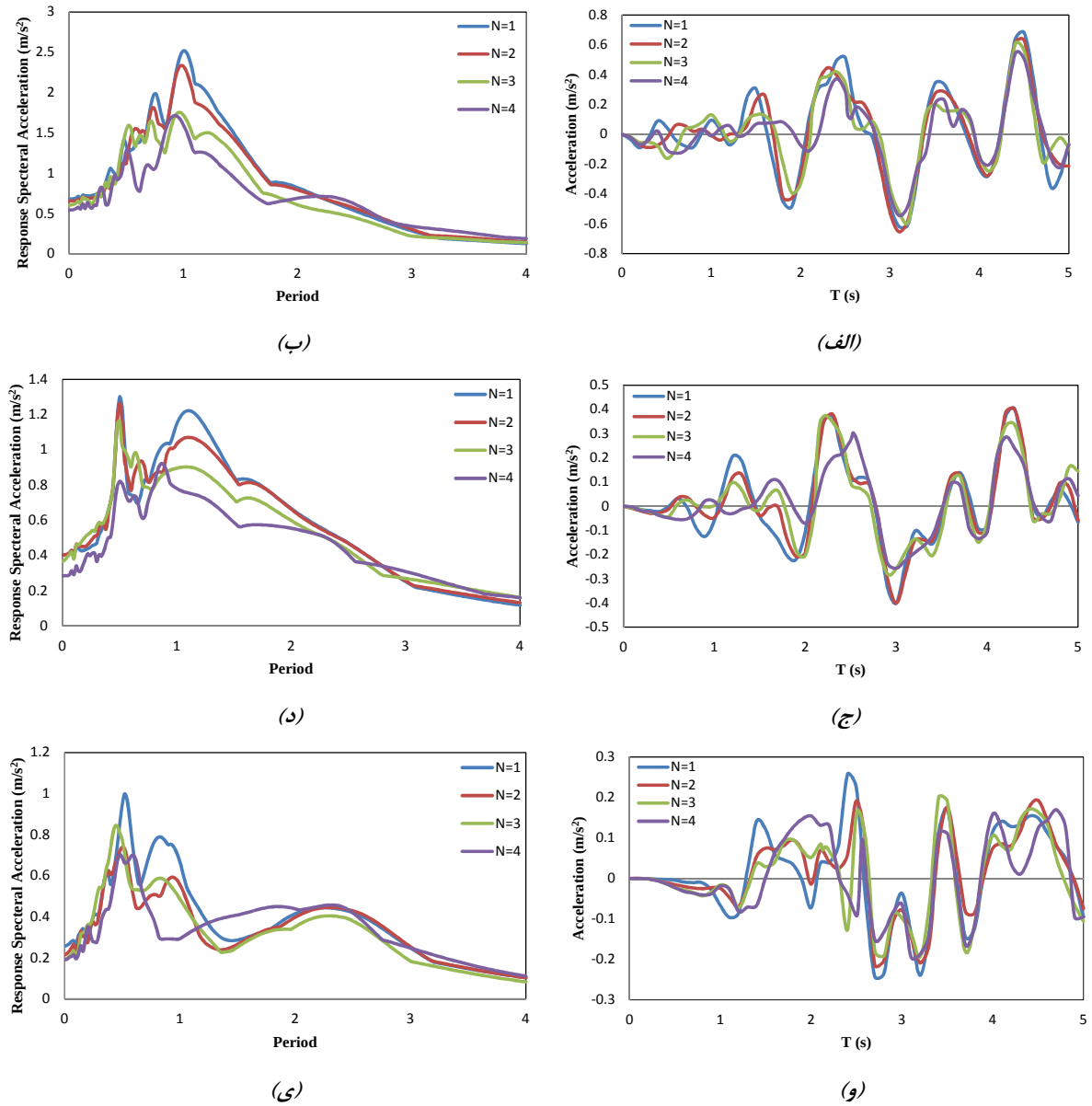
نتایج بدست آمده از شکل ۶ نشان می دهد که با نزدیک شدن به تاج توپوگرافی شیروانی غیر مسلح، طیف پاسخ شتاب قوی تر و میزان بزرگنمایی و تشدید امواج در سطح بیشتر می شود. با قرار دادن لایه جداساز ژئوتکستایلی درون شیب و در هر ارتفاعی، موجب استهلاک امواج لرزه ای می شود. در واقع این لایه با ایجاد یک سطح لغزش بین لایه های خاک، انرژی امواج ورودی را تا حد زیادی جذب می‌کند. به عبارت دیگر، لایه جداساز انرژی امواج لرزه ای را به تغییر شکل های جانبی تبدیل می کند که در این حالت، طیف پاسخ شتاب مقادیر کمتری نسبت به شیب بدون لایه ژئوتکستایل دارد. همچنین با تغییر موقعیت لایه ژئوتکستایل نسبت به ارتفاع شیروانی، طیف پاسخ تغییر کرده و مقادیر متفاوتی مشاهده می شود. از طرفی، با نزدیک شدن موقعیت لایه ژئوتکستایل به تاج شیب، مقادیر طیف پاسخ کمتر شده است. به عبارت دیگر، با نزدیک‌تر شدن موقعیت لایه ژئوتکستایل به تاج شیروانی، امواج لرزه ای به میزان بیشتری مستهلک شده است. همچنین، وجود لایه ژئوتکستایل به عنوان المان کاهنده امواج، در پریود های ۰ تا ۱ ثانیه بیشترین تاثیر را داشته است.

با تقسیم نمودار های طیف پاسخ حاصل از تحلیل های پارامتریک بر طیف پاسخ شتاب free-field (سطح زمین صاف، بدون اثر توپوگرافی)، نمودار بی بعد بزرگنمایی در شکل ۷ ترسیم شده است.



شکل ۷: بررسی اثر موقعیت لایه ژئوتکستایل در توپوگرافی شیروانی بر حسب موقعیت نقطه در پشت تاج آن

با توجه به شکل ۷ مشاهده می شود که میزان بزرگنمایی توپوگرافی شیب بیشتر از ۱ بوده و میزان شتاب در تاج شیب تقویت شده است. همچنین مشاهده می شود، با قرار گیری ژئوتکستایل در داخل شیب، میزان این تقویت کاهش می یابد. نتایج بدست آمده برای وجود لایه جداساز ژئوتکستایلی در موقعیت H1/H=۱، میزان تقویت نسبت به سایر حالت ها تفاوت بسیاری دارد و استفاده از ژئوتکستایل در پایین ترین نقطه شیروانی مناسب نبوده و کمترین اثر را دارد. در صورتی استفاده از المانهای جداساز در موقعیت های بالاتر شیروانی و در نزیکی تاج، تقریباً در تمامی موقیت ها، به یک میزان تضعیف ایجاد شده و اثر کاهنده آنها در تمامی نقاط واقع در پشت تاج شیروانی یکسان است. در بررسی کلی می توان نتیجه گرفت که استفاده از المانهای کاهنده امواج در موقعیت سطحی H1/H=۰/۲۵، می تواند بطور قابل توجهی میزان بزرگنمایی امواج را در تمامی نقاط بالای توپوگرافی شیروانی کاهش دهد. شکل ۸ نمودارهای شتاب و طیف پاسخ تاثیر تعداد لایه های ژئوتکستایل را نشان می دهد.



شکل ۸: بررسی اثر تعداد لایه های ژئوتکستایل در توپوگرافی شیب. (الف)نمودار شتاب نسبت به زمان در موقعیت X/H=۰ (ب) طیف پاسخ شتاب در X/H=۰ (ج) نمودار شتاب نسبت به زمان در X/H=۱ (د) طیف پاسخ شتاب در X/H=۱ (و) نمودار شتاب نسبت به زمان در X/H=۲ (ی) طیف پاسخ شتاب در X/H=۲

با توجه به شکل ۸ مشاهده می شود که با بیشتر شدن تعداد لایه های ژئوتکستایل درون توپوگرافی شیروانی شکل، امواج لرزه ای به میزان بیشتری تضعیف می شوند. به عبارت دیگر با افزایش تعداد لایه های ژئوتکستایل، استهلاک در امواج لرزه ای در اثر عبور از لایه های کاهنده امواج بیشتر می شوند. همچنین، با افزایش تعداد لایه های ژئوتکستایل، طیف پاسخ شتاب نیز کاهش می یابد که البته این اثر نسبت به اثر تغییر موقعیت لایه جداساز کمتر است.

جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، به بررسی رفتار لرزه ای عوارض توپوگرافی شیروانی های خاکی در دو حالت مسلح و غیر مسلح با المان لغزشی کاهنده امواج لرزه ای پرداخته شده است. برای این منظور از نرم افزار Abaqus 6.13 مبتنی بر روش اجزای محدود استفاده شده است. استفاده از المانهای لغزشی نظیر ژئوتکستایل (UHMWPE) به عنوان رابط لغزنده میان لایه های خاک، موجب کاهش و استهلاک چشمگیر دامنه امواج عبوری و به دنبال آن در میزان بزرگنمایی و تضعیف امواج لرزه ای می گردد. در این تحقیق تمرکز مطالعات پارامتریک بر موقعیت لایه ژئوتکستایل مدفون درون شیب نسبت به تاج شیب و همچنین تعداد لایه های ژئوتکستایل بوده است. از جمله مهمترین نتایج بدست آمده در این تحقیق شامل:

۱. به طور کلی میزان تشدید شتاب در نزدیکی تاج شیروانی نسبت به فاصله های دور، بیشتر است.
۲. استفاده از لایه ژئوتکستایل به عنوان جداساز لغزنده در ارتفاع توپوگرافی شیروانی، طیف پاسخ شتاب را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد. در واقع استفاده از این نوع ژئوتکستایل ویژه در شیب، موجب فراهم نمودن آسانتر امکان لغزش در میان لایه های خاک شده و میزان تقویت امواج در تاج شیب را کاهش می دهد.
۳. لایه جداساز ژئوتکستایلی با ایجاد یک سطح لغزش بین لایه های خاک، انرژی امواج ورودی را تا حد زیادی جذب می کند. به عبارت دیگر، لایه ژئوتکستایل انرژی امواج لرزه ای را به تغییر شکل های جانبی تبدیل می کند.
۴. با کم‌تر شدن فاصله لایه لغزنده از تاج شیب، میزان تشدید شتاب در سطح شیروانی کاهش می یابد. که بهترین موقعیت برای رابط لغزنده در H1/H=۰/۲۵ می باشد.
۵. وجود لایه ژئوتکستایل لغزنده به عنوان المان کاهنده امواج، بیشترین تاثیر را در محدوده پریود های ۰ تا ۱ ثانیه در پاسخ لرزه‌ای عوارض توپوگرافی شیروانی داشته است.
۶. با افزایش تعداد لایه های ژئوتکستایل درون شیب، شتاب و طیف پاسخ شتاب کاهش یافته است. از طرفی با توجه به میزان کاهش ایجاد شده در مقادیر شتاب و طیفهای پاسخ، استفاده از یک لایه ژئوتکستایل با تغییر موقعیت آن منطقی و اقتصادی‌تراست.

به طور کلی، استفاده از ژئوتکستایل‌های لغزنده به‌عنوان المان کاهنده امواج لرزه‌ای، اثرات بزرگنمایی عوارض توپوگرافی شیروانی‌ها و سازه‌های واقع بر آنها را کاهش می دهد. از طرفی، با توجه به سادگی اجرا و اقتصادی بودن آنها، می تواند کاربرد های زیادی در این موضوع داشته باشد. لذا استفاده از این نوع ژئوتکستایل‌های خاص به منظور اقتصادی تر شدن پروژه های عمرانی و طراحی بهینه‌تر سازه ها توصیه می شود.

مراجع

Bouckovalas GD and Papadimitriou AG (2004) “Numerical evaluation of slope topography effects on seismic ground motion”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25, 547-558

Georgarakos P, Yegian MK and Gazetas G (2005) “In-Ground Isolation Using Geosynthetic Liners”, 9th World Seminar on Seismic Isolation, Kobe, Japan, June 13-16

Razmkhah A, Kamalian M and Sadroddini SMA, “Time Domain Modeling of Topographic Effects on the Seismic Response of Slopes”, *IACMAG*, 2008, 1-6

Stamatopoulos CA and Bassanou M (2009) “Mitigation of the seismic motion near the edge of cliff-type topographies using anchors and piles”, Bull Earthquake eng,7, 221–253

Stamatopoulos CA, Bassanou M, Brennan AJ and Madabhushi G (2007) “Mitigation of the seismic motion near the edge of cliff-type topographies”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27, 1082-1100

Tsatsis AK, Anastasopoulos IC, Gelagoti FL and Kourkoulis RS (2013) “Effectiveness of In-soil Seismic Isolation taking into account of Soil-Structure Interaction”, Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

Yegian MK and Kadakal U (2004) “Fondation Isolation for Seismic Protection Using a Smooth Synthetic Liner”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineerig, ASCE, November, 1121-1130