

اثر شیب سنگ بستر بر پایداری لرزه ای شیروانی ها بر اساس داده های لرزه خیزی ایران

مسعود میرابوطالبی¹، فرج الله عسکری^{2*}، اورنگ فرزانه³

¹ دانشجوی دکتری ژئوتکنیک پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

² استادیار پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

³ استادیار دانشکده مهندسی عمران - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت 87/12/20، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده 89/7/3، تاریخ تصویب 89/10/28)

چکیده

در این مقاله اثر شیب سنگ بستر بر عملکرد لرزه ای شیروانی ها مطالعه شده است. این بررسی با تحلیل دینامیکی شیروانی های مختلف، برآورد شتاب زلزله در توده لغزنده و محاسبه تغییر مکان ماندگار این توده با روش بلوک لغزشی نیومارک صورت پذیرفته است. بررسی های انجام یافته بیانگر آن است که با تغییر زاویه سنگ بستر با افق و در نتیجه تغییر پریرود طبیعی اصلی شیروانی (T_s)، در شرایطی که پریرود میانگین تاریخچه زمانی شتاب بر روی سطح لغزش بحرانی (T_{ms}) به یکدیگر نزدیک باشند، بزرگنمایی شتاب در توده لغزش به حداکثر خود خواهد رسید. در این حالت، تغییر مکان ماندگار شیروانی نیز بیشترین مقدار را خواهد داشت. الگوریتم ارائه شده در این مقاله می تواند جهت تهیه نمودارهای لازم برای طراحی لرزه ای شیبها بر اساس عملکرد مورد استفاده قرار گیرد. این نمودارها می توانند در تعیین ضریب شبه استاتیکی لازم جهت عملکرد مورد انتظار یک شیروانی به کار آیند.

واژه های کلیدی: تغییر مکان ماندگار، عملکرد لرزه ای شیروانی، شتاب توده لغزش

مقدمه

محدود می باشد. در این روش کرنش های دائمی ناشی از زلزله در هر المان از شبکه با یکدیگر جمع شده و تغییر شکل دائمی شیروانی به دست می آید. مدل های رفتاری مختلفی را می توان در تحلیل های دینامیکی مورد استفاده قرار داد، لیکن این تحلیل ها در ساده ترین حالات خود نیز غالباً پیچیده و وقت گیر می باشند. بدین سبب تحلیل لرزه ای شیروانی های خاکی طبیعی و خاکریزها عموماً با روشهای ساده شده تعیین تغییر مکان ماندگار که بر پایه کارهای نیومارک (Newmark) در سال 1965 و مکدیسی (Makdisi) در سال 1978 شکل گرفته ارزیابی گردیده است [1 و 2]. تغییر مکان لرزه ای به دست آمده از این روشها به دلیل سهولت محاسبه، به طور مطلوبی به عنوان شاخصی از عملکرد لرزه ای مورد توجه قرار گرفته است. برآورد تغییر مکان لرزه ای شیبها به دلیل پیچیدگی های پاسخ دینامیکی مصالح خاکریز و تغییر پذیری حرکت ورودی زمین بر اثر زلزله به سادگی میسر نمی باشد. با این حال هنگامی که شاخصی از پتانسیل عملکرد لرزه ای مد نظر باشد، تغییر مکان لرزه ای محاسبه شده در این روشها می تواند به طور مؤثری برای ارزیابی این عملکرد در سازه

همه ساله بر اثر وقوع زلزله، خسارتهای جانی و مالی بسیاری بر اثر لغزش شیروانی ها در مناطق مختلف جهان بوجود می آید. قرار گرفتن کشور ایران در یک ناحیه لرزه خیز کره زمین از یک سو و لزوم انجام ساخت و سازهای گوناگون در مناطق کوهستانی و در مجاورت شیروانی های طبیعی از سوی دیگر، توجه به عوامل مؤثر بر پایداری لرزه ای شیروانی ها را دوچندان می کند.

روش های تحلیل پایداری لرزه ای شیروانی ها شامل تحلیل های شبه استاتیکی، محاسبه تغییر مکان بر اساس تحلیل های دینامیکی و روش های مبتنی بر محاسبه تغییر مکان ساده شده می باشند. در روش شبه استاتیکی اثرات زلزله معادل با نیروهای ثابت ناشی از شتاب های قائم یا افقی گرفته می شود و با اعمال این نیروهای شبه استاتیکی بر توده لغزش، ضریب اطمینان شبه استاتیکی پایداری شیروانی محاسبه می شود. در این روشها هیچ گونه اطلاعاتی در زمینه تغییر شکل های زمان گسیختگی شیروانی به دست نمی آید.

دقیق ترین روش محاسبه تغییر مکان، تحلیل دینامیکی در فضای زمان با استفاده از روش هایی نظیر روش اجزاء

ملاحظه‌ای بوده اند انتخاب شده و با کاربرد مدل موهر - کولمب و انجام تحلیلهای دینامیکی، تاریخچه شتاب در توده خاک با تغییر زاویه شیب سنگ بستر محاسبه شده است. در نهایت با کاربرد روشی که از اصلاح روش بری و راجه حاصل شده است، اثر شیب سنگ بستر بر تاریخچه شتاب در توده لغزنده ارزیابی شده و با استفاده از روش نیومارک، تغییر مکان ماندگار شیروانی در زمان وقوع زلزله به دست آمده است. با استفاده از روش ارائه شده، به عنوان نمونه نمودارهایی کاربردی جهت طراحی لرزه ای شیروانی‌ها در محدوده ای از پارامترهای مؤثر در تحلیل ارائه شده اند. در ادامه، ابتدا خلاصه ای از روش بری و راجه بیان شده و سپس مبانی و جزئیات روش تحقیق حاضر و نتایج حاصل از آن ارائه گردیده است.

روش بری و راجه

روش بری و راجه ترکیبی از تحلیل دینامیکی شیروانی ها و روش بلوک لغزشی نیومارک می‌باشد. نیومارک در سال 1963 برای اولین بار این مفهوم مهم را پیشنهاد نمود که رفتار لرزه‌ای خاکریزها به جای ضریب اطمینان براساس تغییر شکل های بوجود آمده بررسی شود. در روش نیومارک، ابتدا یک تاریخچه زمانی شتاب زلزله که بر شیروانی مؤثر است در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعد، شتاب تسلیم شیروانی (شتاب متناظر با ضریب اطمینان برابر یک) محاسبه میگردد و از آنجا، تغییر مکان ماندگار شیروانی با دو بار انتگرال گیری از قسمت‌هایی از شتاب نگاشت که از شتاب تسلیم شیروانی بیشتر هستند، به دست می آید.

در روش بری و راجه مشخصه های اصلی زلزله شامل شتاب افقی حداکثر (MHA)، پریود میانگین (T_m) و مدت غالب زلزله ($D_{5.95}$) مورد استفاده قرار گرفته است. منظور از پریود میانگین، میانگین وزنی پریودهای مختلف در تبدیل فوریه سریع رکورد زلزله است به نحوی که ضرائب وزنی در این میانگین گیری، مربع ضرائب فوریه می باشند [10]. منظور از $D_{5.95}$ نیز زمان بین 5 درصد و 95 درصد سطح انرژی در نمودار شدت اریاس (Arias Intensity) است [11].

با تحلیل دینامیکی خاکریزهای مختلف و محاسبه پریود اساسی خاکریز (T_s) و تعیین T_s/T_m ، نمودار شکل (2) حاصل شده است.

های خاکی و خاکریزها مورد استفاده قرار گیرد. با وجود سادگی روش مورد بحث، باید توجه داشت که دقت این روش تا حدود زیادی به دقت برآورد شتاب در شیروانی و توده لغزنده بستگی دارد.

در دو دهه اخیر، بحث های گسترده ای از کاربرد این روش در شیب‌ها توسط لین (Lin) و وایتمن (Whitman) در سال 1983، امبرسیز (Ambraseys) و منو (Menu) در سال 1988، جیسون (Jibson) در سال 1993، بری (Bray) و همکاران در سال 1995، کرامر (Kramer) و اسمیت (Smith) در سال 1997، بری و راجه در سال 1998، بری و راجه (Rathje) در سال 2000 و بری و تراواسارو (Travasrou) در سال 2007 ارائه گردیده است [3, 9, ...].

بری و همکاران تحقیقات خود را بر روی گروه خاصی از شیروانی ها، یعنی دپوی ضایعات یا مدفن زباله ها با هندسه نشان داده شده در شکل (1) انجام داده اند. ایشان بر اساس روش نیومارک و استفاده از رکورد ثبت شده زلزله های آمریکا، نمودارهایی کاربردی برای تعیین تغییر مکان ماندگار این گروه از شیروانی ها ارائه کرده اند.



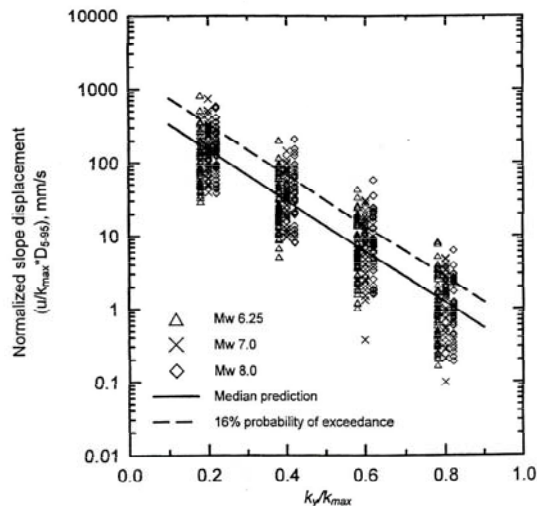
Potential Slide Plane

شکل 1: شیروانی های مورد بررسی در تحقیقات بری [10].

در مناطق کوهستانی، اغلب شیروانی های خاکی بر روی دامنه های سنگی چین خوردگی ها و به عبارت دیگر بر روی سنگ بستر شیب دار قرار دارند. اگر چه برخی از محققان تاثیر توپوگرافی سنگ بستر را در شرایط ساختمانی مورد مطالعه قرار داده اند، لیکن اثر این مسئله بر پایداری لرزه ای شیبها چندان مشخص نمی باشد. در این راستا، سوالی که مطرح می شود آن است که زاویه دار بودن سنگ بستر چه تاثیری بر عملکرد لرزه ای این نوع از شیروانی های خاکی دارد.

در این تحقیق ابتدا مدلی هندسی برای یک دامنه طبیعی واقع بر سنگ بستر شیب دار در نظر گرفته شده است. سپس تعدادی از شتاب نگاشت های زلزله‌های به وقوع پیوسته در ایران که دارای شتاب حداکثر قابل

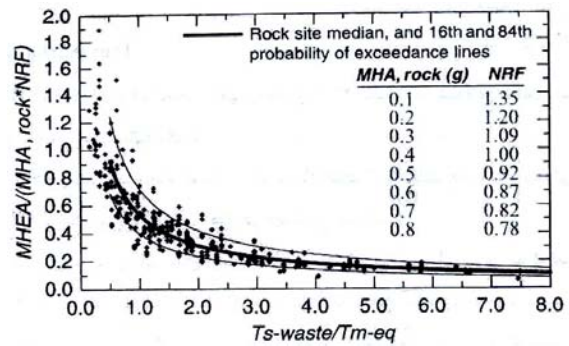
خود را با فرض مقادیر 0/2، 0/4، 0/6 و 0/8 برای نسبت شتاب تسلیم به شتاب حداکثر رکورد، مورد تحلیل قرار داده اند و تغییر مکان‌های حاصل از تحلیل را با تغییر مکان‌های ایجاد شده در چندین خاکریز در زلزله Loma Prieta (1989) و Northridge (1994) مقایسه کرده اند.



شکل 3: تغییر مکان نرمال شده نسبت به تغییرات شتاب بحرانی (Bray, Rathje, 1998).

از این نمودارها می توان به عنوان نمودارهای کاربردی در طراحی‌ها براساس عملکرد مورد انتظار استفاده نمود. ابتدا با مشخص بودن ساختگاهی که در آن شیب مورد مطالعه قرار دارد و همچنین مشخص بودن هندسه شیب، مقادیر T_m و T_s و شتاب افقی حداکثر روی سنگ بستر (MHA) را تعیین نموده و با استفاده از نمودار (2) مقدار MHEA را و در نتیجه k_{max} را به دست می آوریم. سپس با انجام تحلیل شبه استاتیکی، مقدار ضریب شتاب بحرانی شیب مورد نظر را تعیین کرده و با استفاده از نمودار (3) مقدار تغییر مکان ماندگار شیب را تعیین و با تغییر مکان مجاز مقایسه می نمائیم.

با توجه به شرایط لرزه خیزی کشور ولزوم انجام ساخت وساز در مناطق کوهستانی و شیبهای طبیعی و نیز خسارتهای جانی و مالی بسیاری که در اثر زلزله های بوقوع پیوسته در کشور از جمله زلزله رودبار و کجور به وجود آمده است، اهمیت تهیه چنین نمودارهایی با توجه به خصوصیات لرزه خیزی ایران برای ارزیابی پایداری شیروانی ها در این کشور مشخص است. بخشی از تحقیق حاضر، تهیه نمودارهای مزبور با استفاده از اطلاعات لرزه خیزی ایران بوده که این مهم، با انجام اصلاحاتی در روش



شکل 2: رابطه حداکثر شتاب نرمال شده به پریرود طبیعی نرمال شده (Bray, Rathje, 1998).

در نمودار مذکور NRF فاکتور پاسخ غیر خطی است که نسبت به شتاب افقی حداکثر روی سنگ بستر (MHA, rock) تعریف می شود و (MHEA) شتاب افقی حداکثر توده لغزنده (که در ادامه نحوه محاسبه آن آورده خواهد شد) می باشد. در نهایت با استفاده از نمودار شکل (3) می توان مقدار تغییر مکانی (بر حسب سانتیمتر) را تعیین نمود که به احتمال ۸۴،۱۶،۵ و یا ۹۵ درصد، تغییر مکان واقعی از آن کمتر باشد. منحنی های کاربردی شکل های (2) و (3) برای اولین بار توسط ایشان ارائه گردیده و این روش به عنوان راهنمای ارزیابی خطر لرزه ای دریالت کالیفرنیا مورد استفاده قرار گرفته است.

برخی از مهم ترین ویژگی های روش بری و راجه را می توان به شرح ذیل خلاصه نمود:

(الف) - بری و راجه تحقیقات خود را برای خاکریزهایی با مقطع نشان داده شده در شکل (1) انجام داده اند.

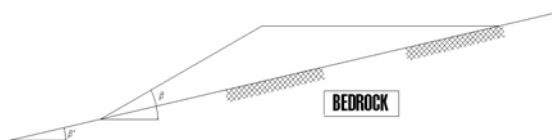
(ب) - در روش بری، پریرود طبیعی توده لغزنده از فرمول $T_s = 4H/V_s$ (مطابق شکل 1) محاسبه گردیده است. بری برای سایر شیبها نیز توصیه نموده که T_s از همین رابطه تعیین گردد، لیکن ارتفاع شیب نبوده و به روشی که در ادامه توضیح داده خواهد شد تعیین می گردد.

(ج) در روش بری ضرایب شتاب بحرانی شیروانی (k_y) بطور انتخابی در نظر گرفته شده است.

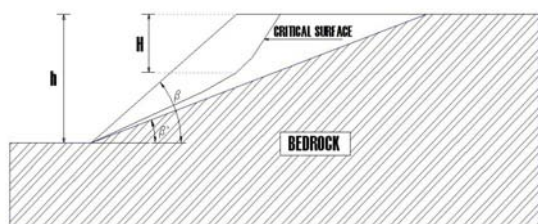
(د) - تحلیل های دینامیکی انجام یافته توسط بری به صورت یک بعدی و با کاربرد روش معادل خطی انجام شده است.

بری و همکاران تحلیل های خود را بر روی تعداد 6 خاکریز با ارتفاع های مختلف انجام و نتایج را ارائه کرده اند. ایشان تاریخچه شتاب های زلزله مورد استفاده

نمودارهای تغییر مکان ماندگار شیروانی نسبت به شتاب معادل توده لغزنده ارائه می شود.



شکل 4: دامنه شیب همگن مورد مطالعه.



شکل 5: هندسه مدل شیروانی مورد مطالعه.

همان گونه که قبلا نیز اشاره شد، تحقیق حاضر بر مبنای اصلاح روش بری و راجه (1998) پایه ریزی شده است. مهم ترین اصلاحات انجام شده به اجمال عبارتند از: الف) بری و راجه تحقیقات خود را برای خاکریزهای دپوی ضایعات (Waste Fill) با مقطع نشان داده شده در شکل 1 انجام داده اند. همان گونه که ملاحظه می گردد علاوه بر متفاوت بودن هندسه مدل مورد استفاده در دو تحقیق، سطح لغزش در مدل ایشان از قبل مشخص است. در تحقیق حاضر سطح لغزش ابتدا با انجام تحلیل شبه استاتیکی برای هندسه و پارامترهای مدل انتخابی تعیین می گردد و محاسبات بعدی بر روی سطح لغزش بدست آمده انجام می شود.

لازم به ذکر است که زاویه اصطکاک مرز لایه خاک و سنگ بستر، برابر با زاویه اصطکاک توده خاکی در نظر گرفته شده و در هیچیک از تحلیل های انجام شده، سطح لغزش بحرانی در توده خاکی از مرز لایه خاکی و سنگی عبور نکرده است.

ب) در روش بری، پیروید طبیعی توده لغزنده از فرمول $T_s = 4H/V_s$ (مطابق شکل 1) محاسبه گردیده است، در حالیکه در روش حاضر پیروید غالب با اعمال رکوردهای هارمونیک به مدل، تغییر دادن فرکانس و بدست آوردن فرکانس تشدید تعیین گردیده است. این تحلیل های مکرر با استفاده از نرم افزار PLAXIS صورت پذیرفته است.

بری و راجه که در ادامه تشریح می گردد انجام شده است.

روش تحقیق حاضر و ویژگی های آن

در تحقیق حاضر، اثر شیب سنگ بستر که در مطالعات بری و راجه مورد مطالعه قرار نگرفته، بررسی شده است، علاوه بر آن ضمن از میان برداشتن برخی از محدودیت هایی که در روش بری و راجه وجود داشته است، تلاش گردیده که این نمودارها با توجه به تعدادی از رکوردهای ثبت شده زلزله در داخل کشور، تهیه شود. بدین منظور در ادامه با در نظر گرفتن مدلی دو بعدی از شیروانی و انجام تحلیل های دینامیکی عملکرد شیروانی در محدوده ای از هندسه، پارامترهای مقاومت برشی و سرعت موج برشی برای توده خاک مورد بررسی قرار گرفته است. این عملکرد با ارزیابی رکورد شتاب در توده لغزنده (توده واقع بر بالای سطح لغزش بحرانی) و محاسبه تغییر مکان شیب با استفاده از روش نیومارک صورت پذیرفته است. ابتدا رکوردهای ثبت شده موجود و مربوط به زلزله های ایران مورد بررسی قرار گرفته و پس از انتخاب رکوردهایی مناسب، محدوده ای از پارامترهای مقاومتی و سرعت موج برشی در نظر گرفته شده و تحلیل ها انجام گردیده است.

این تحقیق برای دامنه های طبیعی واقع بر بستر سنگی شیب دار مطابق شکل (4) انجام شده است. شیبهای مذکور به گونه ای که در شکل (5) ملاحظه می شود مدل گردیده اند.

در مدل مذکور، شیبی به ارتفاع h و زاویه β بر روی سنگ بستری شیب دار با زاویه β' قرار گرفته است. در هر تحلیل ضریب شتاب بحرانی (ky) و سطح لغزش بحرانی تعیین گردیده و در مرحله بعد با انجام تحلیلهای دینامیکی غیر خطی، پاسخ هر یک از رکوردهای انتخابی بر روی سطح لغزش بحرانی تعیین و شتاب ماکزیمم معادل توده لغزش برآورد می گردد. جهت تعیین ky ، تحلیل پایداری شیروانی به صورت شبه استاتیکی و با تغییر ضریب شتاب افقی صورت گرفته است. ضریب اطمینان به ازای مقادیر مختلف ضریب شتاب افقی، محاسبه شده و ضریب شتاب متناظر با ضریب اطمینان یک به عنوان ky در نظر گرفته شده است.

پس از آن تغییر مکان ماندگار با استفاده از روش نیومارک تحت اثر هر یک از رکوردها محاسبه گردیده و

مراحل انجام روش تحقیق حاضر

در این بخش مراحل روش تحقیق تشریح گردیده است. این مراحل با جهت گیری بررسی تاثیر شیب سنگ بستر بر رفتار شیروانی ارائه شده است.

انتخاب رکوردها

باتوجه به محدود بودن رکوردهای با بیشینه شتابهای مناسب برای انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی در کشور، رکوردهای مربوط به زلزله‌های رخ داده در کل کشور با استفاده از فایل رکوردهای اصلاح شده (سینایان، 1385) مورد بررسی قرار گرفت و از بین آنها 14 رکورد مربوط به 5 زلزله در دو جهت، شامل ایستگاه‌های بم، آوج، زنجیران، دیهوک، طبس، میمند و آب بر که دارای بیشترین بزرگای و شتاب بودند برای انجام تحلیل‌های دینامیکی انتخاب گردیدند [12].

مشخصات زلزله‌های انتخابی در جدول (1) ارائه گردیده است.

برای شیب‌های نظیر شیب مورد استفاده در این تحقیق نیز توصیه نموده که T_s از رابطه $4H/V_s$ تعیین گردد، لیکن H نظیر مقدار نشان داده شده در شکل (5) در نظر گرفته شود. صحت این فرض در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

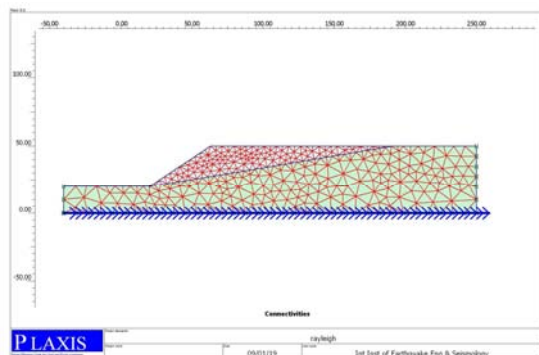
ج) در روش بری ضرایب شتاب بحرانی شیروانی (k_y) بطور انتخابی انتخاب گردیده در حالی که در این تحقیق از ضرایب شتاب بحرانی بدست آمده از تحلیل‌های شبه استاتیکی مربوط به ضریب اطمینان برابر واحد استفاده شده است.

د) - تحلیل‌های دینامیکی انجام یافته توسط بری به صورت یک بعدی و با کاربرد روش معادل خطی انجام شده است، در حالی که مدل هندسی مورد استفاده در این تحقیق به صورت دو بعدی و مدل رفتاری مورد استفاده برای خاک از نوع غیر خطی الاستوپلاستیک (مدل رفتاری موهر-کولمب) بوده است.

جدول 1: مشخصات زلزله‌های انتخاب شده در مقاله حاضر [12].

بزرگای			P.G.A. (cm/s/s)	فرکانس غالب (Hz)		تاریخ	موقعیت جغرافیایی		ایستگاه
M_w	M_s	M_b		مولفه عرضی	مولفه طولی		عرض	طول	
--	7/4	6/4	410	2/5	5	1978/9/16	33/29	57/5	دیهوک
--	7/4	6/4	897	4/2	5	1978/8/16	33/58	56/92	طبس
--	7/7	6/4	653	8/3	6/3	1990/6/20	36/92	48/97	آب بر
--	5/7	5/9	503	4/5	5/6	1994/6/20	28/87	52/75	میمند
--	5/7	5/9	1006	10	10	1994/6/20	29/07	52/62	زنجیران
6/5	6/4	6/2	498	4/2	5	2002/6/22	35/58	49/22	آوج
--	6/7	--	989	4/5	5	2003/12/26	29	58/33	بم

اجزای محدود مورد استفاده در برنامه PLAXIS در شکل (6) ملاحظه می‌گردد. چنانکه قبلاً نیز اشاره گردید، در این تحقیق تحلیل دینامیکی الاستو-پلاستیک با استفاده از مدل موهر-کولمب صورت گرفته است.



شکل 6: تصویر مدل اجزای محدود مورد استفاده در برنامه PLAXIS

میرایی هندسی در نرم افزار پلاکسیس توسط مرزهای جاذب انرژی و توسط خود نرم افزار اعمال میگردد. جهت لحاظ میرایی مادی، ماتریس میرایی در تحلیل‌های دینامیکی از روش رایلی و برابر با $\alpha M + \beta K$ در نظر گرفته شده است.

بدین منظور ابتدا پروده‌های غالب اول و دوم (ω_1 و ω_2) شیروانی با اعمال رکوردهای هارمونیک به مدل شیب در نظر گرفته شده، تغییر دادن فرکانس از کوچکترین فرکانس‌های قابل قبول به سمت فرکانس‌های بزرگتر و بدست آوردن فرکانس‌های مودهای اول و دوم تعیین گردیده است.

سپس معادله (1) برای هر یک از مقادیر ω_1 و ω_2 نوشته شده و ضرایب α و β از دستگاه معادلات مذکور تعیین شده است

$$\alpha + \beta \omega^2 = 2\omega \xi \quad (1)$$

نسبت میرایی (ξ) حدود 5% در نظر گرفته شده است. یاد آوری می‌شود که در روش رایلی، نسبت میرایی تابع فرکانس بارگذاری در نظر گرفته می‌شود. با توجه به آنکه برخلاف سیستم‌های سازه ای، میرایی مادی خاک تابع فرکانس بارگذاری نمی‌باشد، کاربرد روش رایلی در اینباره خاکی باید با دقت صورت پذیرد. در این تحقیق، مقادیر ضرایب α و β به گونه‌ای اختیار شده اند که در مودهای اول و دوم که بیشترین مشارکت مودی وجود دارد، مقادیر میرایی 5% باشد.

انتخاب پارامترهای هندسه شیروانی و مقاومت توده خاک

با توجه به گستره نسبتا زیاد پارامترهای هندسی و مقاومتی شیروانی و زمان نسبتا زیاد لازم برای تحلیل‌هایی که در مرحله 4 بدان اشاره خواهد شد، محدوده ای از پارامترهای مختلف در نظر گرفته شده و تحلیل‌ها برای آنها به انجام رسیده است.

به منظور انجام تحلیل‌ها، یک شیروانی بازوویه شیب دامنه برابر 35 درجه، ϕ برابر 30 درجه، نسبت $\gamma h/c$ برابر 45 و نسبت h/V_s برابر 0/3 در نظر گرفته و اثر شیب سنگ بستر برای زوایای 0، 15، 30، 45 و 60 درجه مورد بررسی قرار گرفته است. سنگ بستر به صورت صلب (مدول الاستیسیته برابر با 2.55×10^{17} KN/m²) فرض شده است.

انجام تحلیل‌های شبه استاتیکی به منظور تعیین سطح لغزش و ضریب شتاب بحرانی (ky)

سطح لغزش و شتاب بحرانی از روش تحلیل حدی مرز بالا و برنامه TRASS که بر اساس روش مذکور توسط عسکری (1378) تهیه گردیده تعیین شده است [13]. در این برنامه، مکانیسم گسیختگی با استفاده از تعدادی بلوک صلب که حرکت انتقالی داشته و توسط ناپیوستگی‌های سرعت از یکدیگر جدا شده اند مدل می‌شود. با توجه به مدل هندسی و پارامترهای مقاومتی در نظر گرفته شده و انجام تحلیل‌های شبه استاتیکی، ضریب شتاب افقی بحرانی (ky)، یعنی ضریب شتاب افقی که در آن ضریب اطمینان برابر 1 می‌شود، تعیین و مختصات سطح گسیختگی بحرانی مشخص گردیده است.

انتقال رکوردهای شتاب به سطح لغزش بحرانی و تعیین شتاب افقی ماکزیمم معادل در توده لغزشی

یکی از نکاتی که در تحلیل‌های پایداری شیروانی بر اساس عملکرد به روش نیومارک در خور توجه می‌باشد، انتخاب محل رکورد شتاب زلزله است. در تحقیق حاضر، رکورد شتاب از سنگ بستر به سطح لغزش بحرانی انتقال یافته و از رکورد انتقال یافته جهت ارزیابی عملکرد شیب استفاده شده است.

برای تعیین رکورد شتاب زلزله بر روی سطح لغزش بحرانی از برنامه PLAXIS استفاده شده است. تصویر مدل

ضریب اطمینان کمتر از 1 می شود در طول سطح گسیختگی حرکت کرده و در زمانی که تنش اعمال شده از زلزله از مقاومت سطح لغزش بحرانی کمتر گردد، متوقف می شود.

بر اساس مقدار تغییر مکان توده لغزنده، که ممکن است در محدوده چند سانتی متر تا چند متر باشد، پایداری یا ناپایداری شیروانی بر اساس عملکرد مورد بررسی قرار می گیرد. برای تعیین تغییر مکان ماندگار، برنامه ای در محیط نرم افزار MATLAB نوشته شد و بر اساس روش نیومارک با شتاب بحرانی (ky) به دست آمده در بند 3، تغییر مکان ماندگار شیروانی با دو بار انتگرال گیری از بخش‌هایی از منحنی شتاب- زمان که از شتاب بحرانی بیشتر بوده محاسبه گردید.

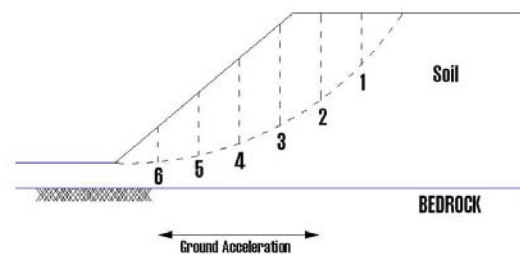
بررسی اثر شیب بستر سنگی بر عملکرد لرزه‌ای شیروانی

برای بررسی اثر شیب بستر سنگی بر پایداری لرزه‌ای شیروانی، دامنه‌ای با زاویه شیب 35 درجه، زاویه اصطکاک داخلی خاک (ϕ) برابر 30 درجه، نسبت ارتفاع به سرعت موج برشی (h/v_s) برابر 0/3 و $\gamma h/c$ برابر 45 در نظر گرفته شد و با ثابت نگهداشتن مقادیر مذکور، زاویه سنگ بستر با افق از حالت افقی تا 20 درجه تغییر داده شد و مراحل 1 تا 5 تحلیل که در بخش‌های قبل ذکر گردیدند بر روی مدل انجام گردید. در شکل (9)، مقادیر به دست آمده شتاب ماکزیمم معادل بر روی سطح لغزش (MHEA) که نسبت به شتاب ماکزیمم رکورد در سنگ بستر (MHAr) نرمال گردیده برای زوایای مختلف سنگ بستر (Bedrock angle) با افق نشان داده شده است. در شکل (10)، مقادیر تغییر مکان ماندگار توده لغزش (U) برای زوایای مذکور ارائه شده است. همانگونه که در شکل (9) مشاهده می‌گردد نسبت شتاب ماکزیمم معادل به شتاب ماکزیمم در سنگ بستر با زیاد شدن زاویه سنگ بستر با افق تا زاویه 10 درجه افزایش و سپس کاهش یافته است. در واقع برای زاویه 10 درجه بیشترین بزرگنمایی در پاسخ شتاب بوجود آمده است. همچنین با ملاحظه شکل (10) می‌توان دریافت که تغییر مکان ماندگار شیروانی تا زاویه 10 درجه سنگ بستر با افق افزایش و سپس کاهش یافته است. مشاهده می‌گردد که این روند با تغییرات نسبت شتاب ماکزیمم معادل به شتاب

پس از تعیین ضرایب α و β ، با انجام تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی شتاب هر یک از زلزله‌ها، برای 6 نقطه از سطح لغزش تعیین گردیده (شکل 7) و سپس با استفاده از رابطه (2) تاریخچه زمانی متوسط شتاب زلزله بر روی سطح لغزش بحرانی به دست آمده است (آبرامسون و همکاران (2002)):

$$HEA(t) = \frac{\sum_{i=1}^n HEA_i(t) m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (2)$$

در این رابطه $HEA(t)$ شتاب متوسط در لحظه t در بلوک لغزشی، $HEA_i(t)$ شتاب در نقطه i در سطح لغزش و m_i جرم ستون مصالح واقع در بالای نقطه i بر روی سطح لغزش می‌باشد. مقدار ماکزیمم این تاریخچه زمانی شتاب به عنوان MHEA برای توده لغزش انتخاب گردیده است.

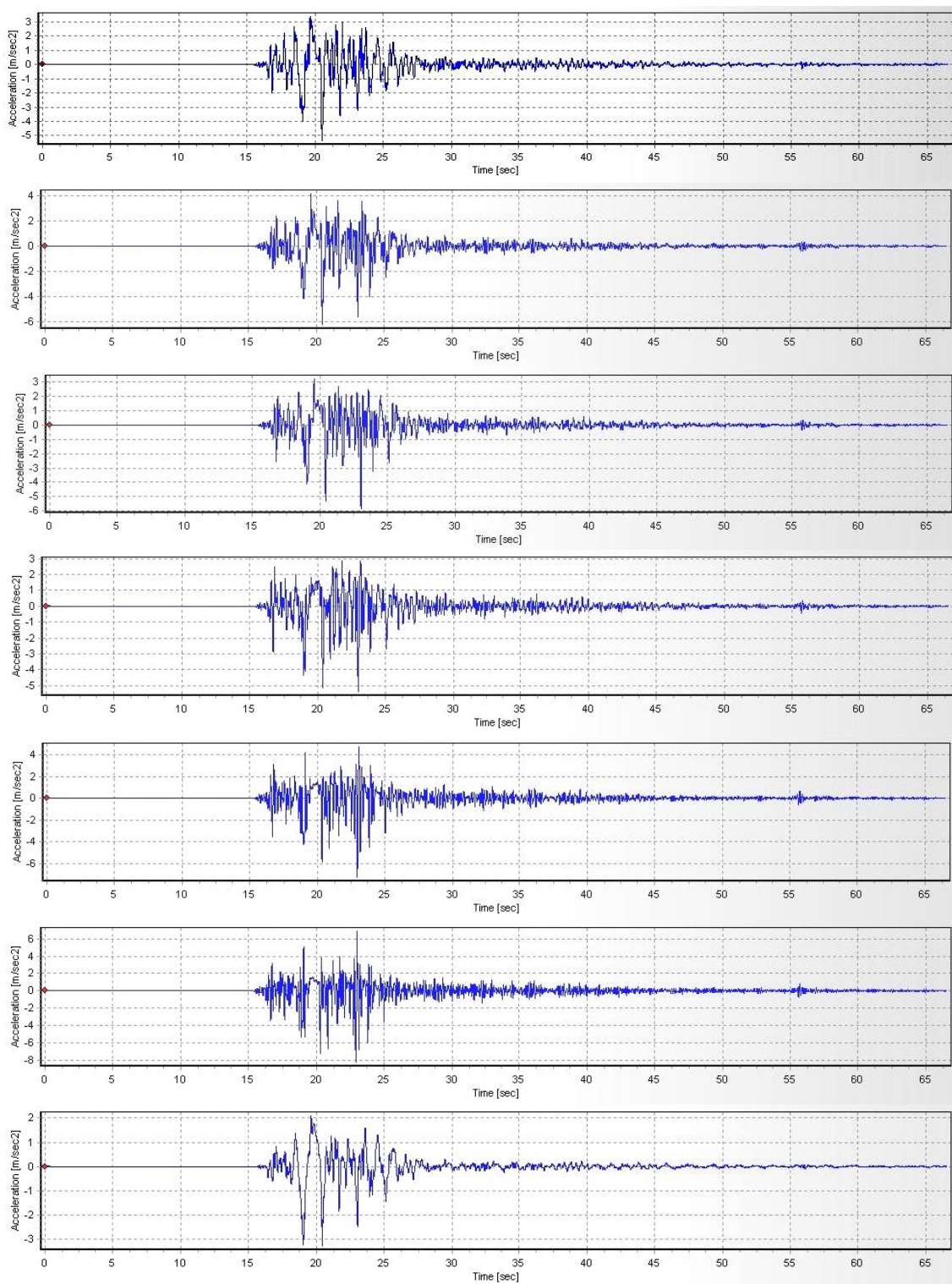


شکل 7: تعیین تاریخچه زمانی متوسط رکورد بر روی سطح لغزش بحرانی بر اساس رابطه 2.

در شکل (8) نمونه ای از پاسخ بدست آمده از تاریخچه زمانی شتاب زلزله در تحلیل بر روی سطح لغزش بحرانی برای 6 نقطه و نیز تاریخچه زمانی متوسط شتاب نشان داده شده است. در نمودارهای نشان داده شده، محور افقی معرف زمان و محور قائم معرف مقدار شتاب افقی بر حسب متر بر مجذور ثانیه می باشد.

تعیین تغییر مکان ماندگار با روش نیومارک

بر اساس روش نیومارک، اگر بلوکی را بر روی یک سطح شیبدار در نظر بگیریم و نیروی ناشی از زلزله بر بلوک، بیشتر از مقاومت ناشی از اصطکاک در کف بلوک گردد، اختلاف نیرو منجر به جابجایی بلوک می شود. این ایده که اولین بار توسط نیومارک مطرح شد، به معنای آن است که در هنگام وقوع زلزله، توده لغزشی از لحظه ای که



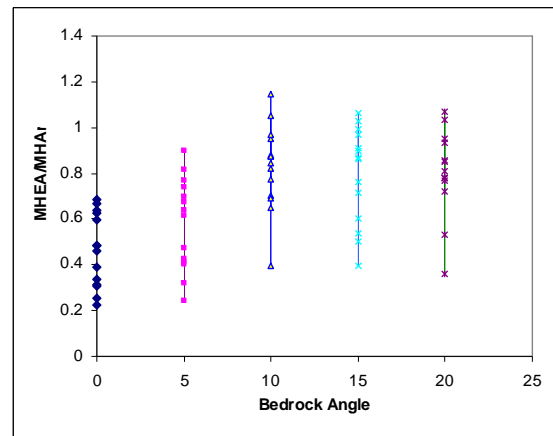
شکل 8: پاسخ تاریخیچه زمانی شتاب زلزله بر روی 6 نقطه روی سطح لغزش بحرانی و تاریخیچه زمانی متوسط پاسخ ها (به ترتیب از بالا به پایین).

معادل بر روی سطح لغزش بحرانی (T_{mi}) برای زوایای مختلف سنگ بستر با افق محاسبه شده است. مقادیر میانگین این نسبت برای رکوردهای مختلف، برای زوایای

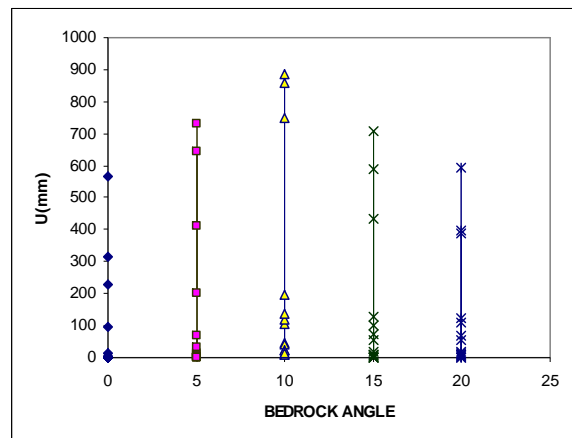
ماکزیمم در سنگ بستر (شکل 9) مطابقت دارد. برای بررسی علت این پدیده، مقادیر نسبت پریود اساسی توده لغزش (T_s) به پریود میانگین تاریخیچه زمانی شتاب

منجر به بروز پدیده تشدید در این شیب‌ها و در نتیجه علت اصلی افزایش بزرگنمایی پاسخ شتاب در محدوده زوایای 10 و 15 درجه باشد. در شکل (11) نمودار نسبت شتاب ماکزیمم معادل بر روی سطح لغزش برشتاب ماکزیمم در سنگ بستر (MHEA/MHAr) بر حسب نسبت پریود غالب توده به پریود میانگین پاسخ رکورد بر روی سطح لغزش بحرانی (T_s/T_{mt}) ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد بیشترین بزرگنمایی شتاب در محدوده زوایای 10 و 15 درجه رخ داده است. چنانچه نظیر روش بری و همکاران (1998) مقادیر نسبت پریود غالب توده لغزش (T_s) به پریود میانگین رکوردها در سنگ بستر (T_s/T_m) را برای زوایای مختلف محاسبه نمائیم، مقدار میانگین آنها برای رکوردهای مختلف برای زوایای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ درجه به ترتیب برابر 1/45، 1/67، 2/24، 1/81، 1/34 به دست خواهد آمد که همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با مقایسه این مقادیر نمی‌توان در خصوص بزرگنمایی شتاب اظهار نظری نمود. شایان ذکر است که پریود غالب توده لغزنده (T_s) با تغییر زاویه بستر سنگی با افق تغییر نموده بطوریکه برای زوایای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ درجه به ترتیب برابر 0/5، 0/435، 0/667، 0/54 و 0/4 ثانیه است. چنانکه قبلاً اشاره شد، بری و همکاران برای به دست آوردن پریود غالب توده لغزش فرمول ($T_s=4H/V_s$) را پیشنهاد نموده اند. در این فرمول در شکل (5) نشان داده شده است. در مدل مورد مطالعه در این مقاله، با استفاده از رابطه پیشنهادی بری و همکاران به مقدار T_s ثابت برابر 0/372 دست می‌یابیم که با مقادیر به دست آمده از تحلیل‌های دینامیکی در تحقیق حاضر مغایرت دارد. به عبارت دیگر، تغییر شیب بستر با افق بر روی پریود غالب تاثیر گذار بوده و نمی‌توان مقدار ثابت $T_s=4H/V_s$ را برای پریود غالب در نظر گرفت. در شکل (12) نمودار حداکثر شتاب نرمال شده (نسبت شتاب ماکزیمم توده لغزش (MHEA) به ماکزیمم شتاب در بستر سنگی (MHAr))، به پریود نوسانی نرمال شده (نسبت پریود غالب توده لغزش (T_s) به پریود میانگین رکورد زلزله (T_m))، برای زوایای مختلف سنگ بستربا افق نشان داده شده است. بیشترین این مقدار در زاویه 10 درجه ملاحظه می‌گردد. همچنین در شکل (13) نمودار تغییر مکان نرمال شده (نسبت تغییر مکان ماندگار شیروانی (U))، به حاصل ضرب مدت زمان غالب زلزله

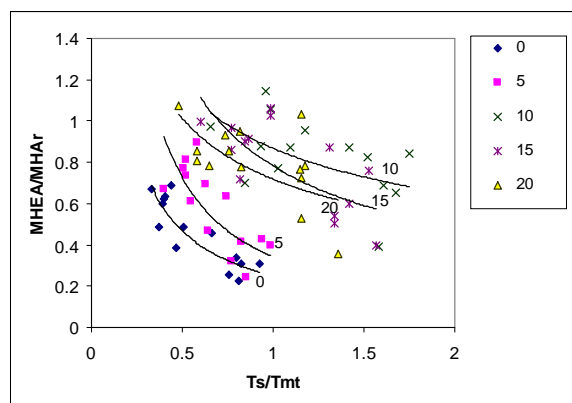
0، 5، 10، 15، و 20 درجه به ترتیب برابر 1/577، 1/674، 1/23، 1/08 و 1/89 به دست آمده است.



شکل 9: نسبت شتاب ماکزیمم معادل بر روی سطح لغزش به شتاب ماکزیمم رکورد در سنگ بستر برای زوایای مختلف سنگ بستر با افق (β°).



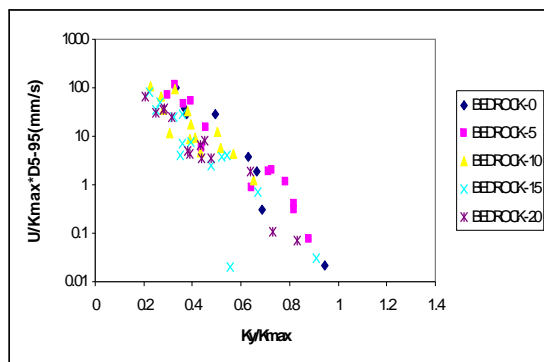
شکل 10: تغییر مکان ماندگار توده لغزش برای زوایای مختلف سنگ بستر با افق.



شکل 11: نمودار حداکثر شتاب نرمال شده به پریود نوسانی نرمال شده برای زوایای مختلف سنگ بستر با افق.

با دقت در مقادیر به دست آمده ملاحظه می‌گردد که در زوایای 10 و 15 درجه مقادیر (T_s/T_{mt}) به یک نزدیکتر هستند. نزدیک بودن این نسبت‌ها به عدد یک می‌تواند

عملکرد مورد نظر است. اگر ضریب اطمینان شیروانی مورد مطالعه با در نظر گرفتن kh برابر با ky بزرگتر از یک باشد، عملکرد شیب مورد رضایت است.



شکل 13: نمودار تغییر مکان نرمال شده نسبت به نسبت شتاب بحرانی برای زوایای مختلف سنگ بستر با افق.

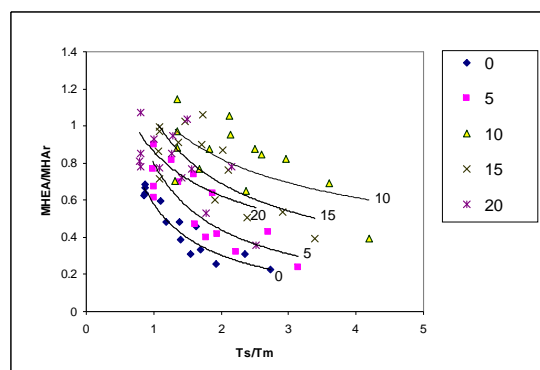
نتیجه گیری

در این مقاله اثر شیب سنگ بستر بر عملکرد لرزه ای شیروانی ها مورد مطالعه قرار گرفته است. این بررسی بر اساس انتخاب رکوردهای شتاب زلزله در سنگ بستر، انتقال رکوردها به توده لغزنده در شیروانی با تحلیل دینامیکی غیرخطی شیب، ارزیابی رکورد شتاب معادل توده لغزشی، محاسبه تغییر مکان ماندگار شیروانی با استفاده از روش بلوک لغزشی نیومارک صورت پذیرفته است. نتایج محاسبات انجام یافته برای شیروانی های با شیب دامنه 35 درجه، (ϕ) برابر 30 درجه، نسبت $(\gamma h/c)$ برابر 45 و نسبت (h/Vs) برابر 0/3 و زوایای شیب سنگ بستر برابر 0، 5، 10، 15 و 20 درجه بیانگر آن است که:

- نسبت شتاب ماکزیمم معادل در توده لغزنده به شتاب ماکزیمم در سنگ بستر، با زیاد شدن زاویه شیب سنگ بستر تا زاویه 10 درجه افزایش و سپس کاهش می یابد. در بررسی علت این پدیده، پیوند میانگین پاسخ شتاب زلزله بر روی سطح لغزش (Tmt) و پیوند غالب توده لغزش (Ts) محاسبه گردید و مشخص شد که در محدوده زاویه های 10 تا 15 درجه، نسبت دو پیوند مذکور به عدد یک نزدیک شده است.

- تغییر مکان ماندگار شیروانی نیز تا زاویه 10 درجه برای سنگ بستر، افزایش و سپس کاهش می یابد.
- با توجه به موارد فوق، با تغییر پیوند غالب شیروانی (Ts) و نزدیک شدن آن به پیوند میانگین پاسخ رکورد بر روی سطح لغزش (Tmt)، بزرگنمایی شتاب و همچنین تغییر مکان ماندگار به حداکثر مقدار خود خواهد رسید.

(D5-95) در ضریب شتاب ماکزیمم توده لغزش ($kmax$) به نسبت شتاب بحرانی (نسبت ضریب شتاب افقی بحرانی ky به ضریب شتاب ماکزیمم توده لغزش ($kmax$)) برای زوایای مختلف سنگ بستر با افق ارائه گردیده است. $kmax$ برابر $MHEA/g$ می باشد. با مقایسه این نمودار با نتایج بدست آمده توسط بری و راجه (شکل 2) ملاحظه می گردد که نتایج با یکدیگر هماهنگ می باشند. چنانچه این نمودارها در محدوده گسترده ای از پارامترها تهیه شوند، از آنها می توان به عنوان نمودارهای کاربردی در طراحی ها براساس عملکرد مورد انتظار، به روشی که در ادامه تشریح می گردد، استفاده نمود. ابتدا با مشخص بودن ساختگاهی که در آن شیب مورد مطالعه قرار دارد و همچنین مشخص بودن هندسه شیب، مقادیر Tm ، Ts و MHA_r را تعیین نموده و با استفاده از نمودار (12) مقدار $MHEA$ را و در نتیجه $kmax$ را به دست می آوریم. سپس با انجام تحلیل شبه استاتیکی، مقدار ضریب شتاب بحرانی شیب مورد نظر را تعیین کرده و با استفاده از نمودار (13) مقدار تغییر مکان ماندگار شیب را تعیین و با تغییر مکان مجاز مقایسه می نماییم.



شکل 12: نمودار حداکثر شتاب نرمال شده به پیوند نوسانی نرمال شده برای زوایای مختلف سنگ بستر با افق.

می توان از این نمودار ها برای تعیین ضریب شبه استاتیکی (kh)، بر اساس عملکرد استفاده نمود. چنانچه مقداری را بعنوان تغییر مکان مجاز شیب در نظر بگیریم (عملکرد مورد انتظار)، ابتدا مقادیر Tm ، Ts را تعیین نموده و با استفاده از نمودار شکل (12)، مقدار $MHEA$ و در نتیجه $kmax$ را به دست می آوریم. با توجه به تغییر مکان در نظر گرفته شده و نمودار شکل (13) مقدار $ky/kmax$ و در نتیجه ky به دست می آید. مقدار ky به دست آمده همان ضریب شبه استاتیکی پیشنهادی برای سطح

انطباق خوبی را با نتایج بدست آمده توسط بری و راجه (1998) نشان میدهد.

- الگوریتم ارائه شده در این مقاله می تواند جهت تهیه نمودارهای لازم برای طراحی لرزه ای شیبها بر اساس عملکرد مورد استفاده قرار گیرد. این نمودارها می توانند در تعیین ضریب شبه استاتیکی لازم جهت عملکرد مورد انتظار یک شیروانی به کار آیند.

- نادیده گرفته شدن تغییرات پیوند غالب توده لغزنده با تغییر زاویه بستر سنگی با افق که در گذشته توسط برخی از محققان نادیده گرفته شده می تواند به نتایج غیر واقعی در ارزیابی عملکرد لرزه ای شیب منجر گردد.
- نمودار تغییر مکان نرمال شده بر حسب نسبت شتاب بحرانی، برای زوایای مختلف سنگ بستر با افق،

مراجع

- 1 - Newmark, N. M. (1965). "Effects of earthquakes on dams and embankments." *Geotechnique*. Vol. 15, No. 2, PP. 139-160.
- 2 - Makdisi, F. and Seed, H. (1978). "Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations." *J. Geotech. Engrg. Div.*, Vol. 104, No. 7, PP. 849-867.
- 3 - Lin, J. S. and Whitman, R. V. (1983). "Decoupling approximation to the evaluation of earthquake-induced plastic slip in earth dams." *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, Vol. 11, PP. 667-678.
- 4 - Ambraseys, N. N. and Menu, J. M. (1988). "Earthquake-induced ground displacements." *J. Earthquake Eng.*, Vol. 16, PP. 985-1006.
- 5 - Jibson, R. W. (1993). *Predicting earthquake induced landslide displacements using Newmark's sliding block analysis*, Transportation Research Record. 1411, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- 6 - Bray, J. D., Augello, A. J., Leonards, G. A., Repetto, P. C. and Byrne, R. J. (1995). "Seismic stability procedures for solid waste landfills." *J. Geotech. Engrg.*, Vol. 121, No. 2, PP. 139-151.
- 7 - Kramer, S. L. and Smith, M. W. (1997). "Modified Newmark model for seismic displacements of compliant slopes." *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, Vol. 123, No. 7, PP. 635-644.
- 8 - Bray, J. D. and Rathje, E. R. (1998). "Earthquake-induced displacements of solid-waste landfills." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.*, Vol. 124, No. 3, PP. 242-253.
- 9 - Bray, J. D. and Travasarou, T. (2007). "Simplified procedure for estimating earthquake-induced deviatoric slope displacement." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.*, Vol. 133, No. 4, PP. 381-392.
- 10 - Rathje, E. R. and Bray, J. D. (1999). "An examination of simplified earthquake induced displacement procedures for earth structures." *Can. Geotech. J.* Vol. 36, PP. 72-87.
- 11 - Blake, T. F., Hollingsworth, R. A. and Stewart, J. P. (2002). *GUIDELINES FOR ANALYZING AND MITIGATING LANDSLIDE HAZARDS IN CALIFORNIA*, Committee organized through the ASCE Los Angeles Section Geotechnical Group, Document published by the Southern California Earthquake Center.
- 12 - Sinaeiyan, F. (2006) *Study of Strong Ground Motions in Iran*, Ph.D. Dissertation Thesis (In Persian), International Institute of earthquake engineering and seismology, Iran.
- 13 - Askari, F. (1999). *Three-Dimensional Analysis of Homogeneous and Nonhomogeneous Slopes in Static and Dynamic Mode Using Upper Bound Theorem of Limit Analysis*, Ph.D. Dissertation Thesis (In Persian), University of Tehran, Iran.
- 14 - Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S. and Boyce, G. B. (2002). *Slope Stability and Stabilization Methods*, John Wiley & Sons, Inc., New York.