

چکیده

در این تحقیق، تأثیر زاویه شیب‌های ناهمگن بر پاسخ لرزه‌ای سطح زمین در برابر امواج مهاجم قائم SV با استفاده از برنامه تفاضل محدود FLAC دو بعدی^۱ و در قالب مطالعات پارامتریک مورد مطالعه قرار گرفته است. مدل رفتاری استفاده شده در مدل‌سازی عددی، خطی الاستیک در نظر گرفته شد. در این راستا، به منظور بررسی تأثیر زاویه شیب‌های ناهمگن، شیب‌های با مشخصات لایه‌بندی مختلف در زوایای ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۵ و ۶۰ درجه مبنای مطالعات قرار گرفته است. همچنین در این تحقیق وابستگی اثر زاویه به پارامترهای ارتفاع شیب و فرکانس مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند تأثیر زاویه بر مقادیر پاسخ لرزه‌ای در مقایسه با پارامترهای دیگر کم است و تغییر موقعیت قرارگیری لایه‌ها اثر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. مشاهدات نشان داد تأثیر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای در فرکانس‌های پایین و ارتفاع کم ناچیز است و افزایش فرکانس و ارتفاع سبب افزایش تأثیر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای می‌شود. همچنین در انتها، با توجه به وابستگی اثر زاویه به هر دو پارامتر ارتفاع عارضه و فرکانس غالب موج مهاجم، تأثیر زاویه بر بزرگ‌نمایی تاج شیب‌های ناهمگن به‌ازای مقادیر مختلف H/λ (ارتفاع نرمالیزه شده) مورد بررسی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: پاسخ لرزه‌ای، موقعیت لایه، توپوگرافی شیب، بزرگ‌نمایی، رفتار خطی.

بررسی اثرات زاویه بر پاسخ لرزه‌ای شیب‌های دارای لایه‌بندی افقی در اثر انتشار امواج SV

حسین بختیاری

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

مسعود عامل‌سخی (نویسنده مسئول)

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

عبدا... سهرابی بیدار

دانشیار، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران،
ایران

۱- مقدمه

مربوط به زلزله پاکویما (۱۹۷۱) در دره سان‌فرناندو [۱-۲] و ثبت شتاب g ۱/۷۸ روی تپه تارزنا در زلزله نورث‌ریج (۱۹۹۴) [۳] بیانگر تأثیرات توپوگرافی بر بزرگ‌نمایی پاسخ لرزه‌ای می‌باشد. با وجود اثرگذاری فراوان توپوگرافی‌های سطحی و زیر سطحی بر بزرگ‌نمایی مشخصه‌های حرکتی زمین و محتوای فرکانسی زلزله ثبت شده در سطح زمین، اغلب آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای موجود، اثر ساختگاه را به صورت یک‌بعدی بررسی کرده و در طراحی سازه‌ها استفاده می‌کنند [۴-۶].

مشاهده تشدید اثر تخریبی زلزله‌های گذشته بر سازه‌های نزدیک به عوارض و توپوگرافی‌های همچون دره، تپه، شیب منجر به تحقیقات فراوان دانشمندان به منظور شناخت اثر توپوگرافی‌های گوناگون بر تغییر ماهیت امواج شده است. از جمله این مشاهدات می‌توان به مطالعات بوکاوآلاس و کوریتزیس [۷] در سال ۲۰۰۱

مشخصات و ویژگی‌های ساختگاه، از جمله مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر پاسخ لرزه‌ای می‌باشد که اثر ساختگاه^۲ نامیده می‌شود. اثر ساختگاه به آن دسته از عوامل موضعی اطلاق می‌شود که موجب تشدید و یا تضعیف لرزش‌های سنگ بستر هر ناحیه می‌شود و می‌تواند بر روی مؤلفه شتاب، سرعت، تغییر مکان و همچنین پیروید غالب زلزله اثرگذار باشد. اثر ساختگاه به دو شاخه اصلی تأثیر آبرفت (خصوصیات ژئوتکنیکی لایه‌های زیر سطحی) و تأثیر خصوصیات هندسی و ناهمواری‌های موجود در ساختگاه (اثر توپوگرافی) تقسیم می‌شود. اثر توپوگرافی غالباً با عوارضی همچون تپه^۳، دره^۴، شیب^۵ و پرتگاه^۶ معرفی می‌شوند. مطالعات حرکات ثبت شده زمین و خرابی‌های ناشی از زلزله‌های مخرب بسیاری در گذشته، تأثیر عوارض توپوگرافی را در امواج لرزه‌ای رسیده به سطح زمین مؤثر نشان داده است. ثبت شتاب g ۱/۲۵

اشاره کرد. بوشون [۸] اولین محققى بود که به تأثیر تپه‌های نیم‌سینوسی بر پاسخ لرزه‌ای پرداخت. وی در تحقیقات خود ناهمواری‌هایی از نوع تپه را با ضرایب شکل گوناگون، تحت اثر امواج SH بررسی کرد. آشفورد و همکاران [۹] در سال ۱۹۹۷ به مطالعه پارامتریک اثر شیب بر پاسخ لرزه‌ای پرداختند. مطالعات آنها بر روی بررسی تأثیر زاویه شیب و فرکانس تحریک بر پاسخ لرزه‌ای تاج شیب و همچنین نقاط با فاصله یک، دو و چهار برابر ارتفاع از تاج شیب انجام شد. نتایج مطالعات نشان داد، بیشینه بزرگ‌نمایی مربوط به نقطه تاج شیب و به‌ازای فرکانس بی‌بعد $(H/\lambda = 0.2)$ می‌باشد. جیلی و همکاران [۱۰] به مرور نتایج مهم آزمایشگاهی و مدل‌سازی‌های انجام شده در تحقیقات گذشته بر روی تأثیر توپوگرافی تپه بر حرکت زمین پرداختند و از مقایسه این نتایج با مشاهدات میدانی، دریافتند مقادیر بزرگ‌نمایی به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی از مقادیر مشاهده شده در مطالعات میدانی کمتر است. علت این اختلاف در نتایج را می‌توان ساده‌سازی‌های مدل‌سازی، فرضیات ساده‌کننده، در نظر نگرفتن وضعیت ژئولوژیکی لایه‌های زیر سطحی و اثر توپوگرافی‌های مجاور دانست. آنها با در نظر گرفتن تأثیر لایه بندی زیر سطحی و اثر توپوگرافی‌های مجاور عارضه مورد نظر توانستند تا حدی به تطابق قابل قبولی بین نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی با نتایج مشاهده شده در مطالعات میدانی برسند.

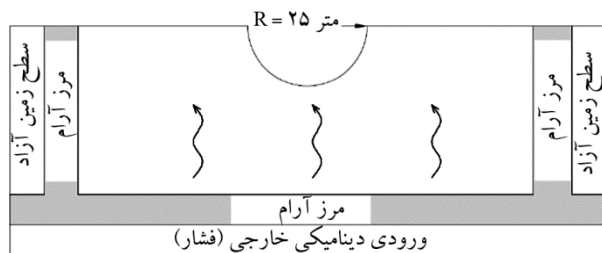
بوکواوالاس و پاپادیمیترو [۱۱] در سال ۲۰۰۵ به مطالعه پارامتریک پاسخ لرزه‌ای شیب‌ها تحت اثر امواج مهاجم SV پرداختند. آنها با بررسی اثر پارامترهای زاویه شیب، ارتفاع نرمالیزه شده، تعداد سیکل‌های تحریک و میرایی بر پاسخ لرزه‌ای دریافتند، تغییرات زاویه و ارتفاع شیب اثر قابل توجهی بر روی مؤلفه‌های افقی و قائم حرکت دارند و دامنه تأثیر توپوگرافی نیز متأثر از این پارامترها می‌باشد. همچنین تأثیرات قابل توجهی از تعداد سیکل تحریک و میرایی بر روی پاسخ مشاهده نشد. نتایج حاصل به ارائه روابطی منتهی شد که بر اساس متغیرهای مشخص و اثرگذار، می‌توان ضرایب بزرگ‌نمایی افقی و قائم و همچنین دامنه تأثیر توپوگرافی بر پاسخ را محاسبه کرد. انگوین و گتمیری [۱۲] به

بررسی تأثیر شکل عارضه، تأثیر زاویه عارضه مورد نظر و فرکانس محرک ورودی بر پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌ها پرداختند. مطالعات گتمیری و آرسون [۱۳] نشان داد در فرکانس‌های بالا اثرگذاری توپوگرافی بر پاسخ، برجسته‌تر و پیچیده‌تر می‌شود و دامنه تأثیرات توپوگرافی بر پاسخ نیز در فرکانس‌های بالا بیشتر است.

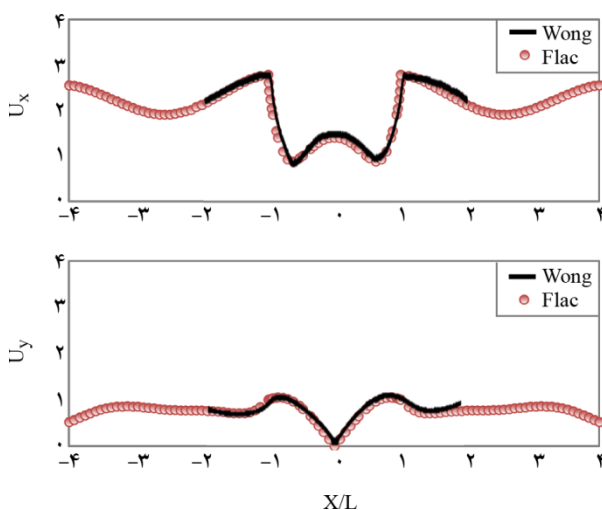
ژانگ و همکاران [۱۴] تأثیر انحنا و گرد گوشگی لبه‌های سطح شیب‌دار بر پاسخ لرزه‌ای را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج پژوهش آنان نشان داد، بین میزان انحنا لبه سطح شیب‌دار و مقادیر بزرگ‌نمایی رابطه معکوس وجود دارد و هر چه میزان انحنا بیشتر باشد ضرایب بزرگ‌نمایی نسبت به حالت تیز گوشه کمتر می‌شود. تریپ و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۱۳ به بررسی اثر توپوگرافی و لایه‌بندی بر پاسخ لرزه‌ای شیب‌ها در حوزه زمان پرداختند. نتایج نشان داد تأثیرات این دو کاملاً به هم وابسته بوده و قابل تفکیک نیست. همچنین مشاهده شد در فرکانس‌های نزدیک به فرکانس طبیعی توده خاک، اثر لایه‌بندی خاک بر روی پاسخ لرزه‌ای زمین برجسته‌تر است و در فرکانس‌هایی که در محدوده فرکانس توده خاک نیستند، اثر مربوط به توپوگرافی پاسخ است. ریزیتانو و همکاران [۱۶] اثر توأم لایه‌بندی و توپوگرافی بر رفتار لرزه‌ای شیب را به‌صورت خطی و خطی معادل بررسی کردند. نتایج مطالعات آنان نشان داد، ضرایب بزرگ‌نمایی توپوگرافی در تحلیل خطی مستقل از دامنه حرکت ورودی می‌باشد در حالیکه در حالت غیرخطی مقدار این پارامتر بر مقادیر بزرگ‌نمایی توپوگرافی اثرگذار است. پنچی و همکاران [۱۷-۱۸] به توسعه روش سنتی اجزای مرزی در حوزه زمان توسط حل‌های اساسی نیم‌فضا پرداختند. مطالعات آنها بر روی توپوگرافی محدب نشان داد، نه تنها توانایی و تأثیر این روش در تحلیل بسیار خوب است بلکه زمان تحلیل کوتاه‌تری در مقایسه با فرمولاسیون حل فضای کامل اجزای مرزی دارد. در نتیجه این روش می‌تواند به‌صورت کاملاً عملی جایگزین روش سنتی اجزای مرزی شود. پنچی و همکاران [۱۹] در سال ۲۰۱۴ به تحلیل پاسخ لرزه‌ای دره شبه سینوسی قرار گرفته در بالای حفره دایره‌ای شکل، تحت اثر امواج مهاجم SH پرداختند. مطالعات آنها بر مبنای روش اجزای مرزی در حوزه زمان توسط

قائم موج ریکر SV با نسبت طول موج $\lambda/R = 4$ قرار گرفت. اعمال نیروی دینامیکی به صورت تاریخچه شتاب، سرعت و یا جابه‌جایی امری مرسوم در تحلیل دینامیکی است، اما به منظور جلوگیری از امواج مصنوعی در کف مدل، توصیه شده که از تاریخچه تنش برای بارگذاری دینامیکی استفاده شود [۵]. مطابق شکل (۱)، از شرایط مرزی منطقه آزاد^۷ و مرزهای آرام^۸ برای شبیه‌سازی محیط نیمه‌بی‌نهایت استفاده شده است. همچنین فاصله مرزها از ناهمواری نیز طوری انتخاب شده که میرایی مرزهای جاذب تأثیری در نتایج نقاط مورد نظر نداشته باشد و از انعکاس کاذب امواج در سطوح اعمالی جلوگیری شود.

در نهایت نتایج بی‌بعد جابه‌جایی حاصل از تحلیل عددی در نقاط مختلف سطح زمین با نتایج حاصل از پژوهش عددی و ننگ مقایسه شده است. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود نتایج به دست آمده از تحلیل دینامیکی با نرم‌افزار، مطابقت خوبی با نتایج وونگ [۲۱] دارد.



شکل (۱): هندسه مدل و شرایط مرزی اعمال شده.



شکل (۲): صحت‌سنجی نتایج تحلیل عددی نرم‌افزار FLAC برای توپوگرافی دره ($\lambda/R = 4$ و $R = 25$ متر، موج قائم SV).

حل‌های اساسی نیم‌فضا انجام شد. نتایج نشان داد رفتار عارضه مورد مطالعه در مقایسه با عارضه دره شبه‌سینوسی و یا حفره تنها، کاملاً متفاوت است. پلکیس و همکاران [۲۰] پاسخ لرزه‌ای شیب‌های ناهمگن را مورد بررسی قرار دادند. آنها به مقایسه نتایج حاصل از تحلیل دو بعدی با مجموع نتایج حاصل از تحلیل یک‌بعدی (اثر لایه‌بندی) و تحلیل دو بعدی شیب همگن (نتایج اثر توپوگرافی) پرداختند. نتایج تحلیل بر روی یک شیب خاص نشان داد، در بازه $T = 0.15 - 0.25$ ، تطابق خوبی بین نتایج حاصل از روش جمع مستقل اثر لایه‌بندی و توپوگرافی با نتایج حاصل از تحلیل دو بعدی شیب ناهمگن وجود دارد، در حالی که در بازه $T = 0.25 - 0.35$ ، نتایج حاصل از روش ساده شده، با نتایج تحلیل دو بعدی اختلاف نسبتاً زیادی دارد و مقادیر کمتری را نتیجه می‌دهد. با مرور ادبیات فنی می‌توان مشاهده نمود که تاکنون مطالعاتی در مورد تأثیر زاویه شیب‌های ناهمگن بر پاسخ لرزه‌ای و اثر موقعیت قرارگیری لایه سست، فرکانس محرک موج ورودی و ارتفاع شیب بر روند اثرگذاری این پارامتر بر پاسخ لرزه‌ای انجام نشده است. به منظور تحقق این هدف، در این پژوهش شیب‌های ناهمگن با ارتفاع‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر و موقعیت قرارگیری لایه سست متفاوت، در زوایای ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۵ و ۶۰ درجه مدل‌سازی و تحت اثر موج ریکر با فرکانس ۱/۴، ۱/۲، ۷ و ۱۴ هرتز مورد بررسی قرار گرفت.

۲- صحت‌سنجی مدل عددی

پیش‌نیاز استفاده از هر برنامه مدل‌سازی عددی در پژوهش، اطمینان از صحت عملکرد و نتایج حاصل از آن و همچنین تعیین شرایط صحیح مدل‌سازی در آن می‌باشد. در این تحقیق از برنامه FLAC دو بعدی که مسائل دینامیکی را با الگوریتم روش تفاضل محدود صریح تحلیل می‌کند استفاده شده است. به منظور صحت‌سنجی در محیط این نرم‌افزار، دره‌ای نیم‌دایره‌ای به شعاع ۲۵ متر در محیط ویسکوالاستیک در حالت بدون میرایی بررسی شد. مشخصات مصالح استفاده شده عبارتند از: سرعت موج برشی $V_s = 500$ متر بر ثانیه، نسبت پواسون $\nu = 1/3$ و چگالی $\rho = 2000$ کیلوگرم بر مترمکعب. مدل ساخته شده تحت تابش

به‌طور متوالی گسترش داده شد تا اینکه تفاوتی در نتایج حاصل با ابعاد قبل مشاهده نشد. بدین ترتیب ابعاد مناسب مدل که در آن تأثیرات بازتاب امواج از مرزها مقادیر پاسخ در نقاط مختلف مدل را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد حاصل شد. علاوه بر این، به جهت اطمینان از عدم بازتاب امواج مصنوعی از مرزها در مدل‌سازی عددی، مرزهای جانبی به‌صورت مرز جاذب انرژی امواج مدل‌سازی شده است. ابعاد بستر نیز بر اساس مدل ارائه شده در صحت‌سنجی در نظر گرفته شده است. همچنین در زمان تحلیل دینامیکی، با انتشار موج در محیط ممکن است تحت شرایط ناخواسته مدل‌سازی، اغتشاشات عددی رخ دهد. مقدار فرکانس اعمال شده به محیط و سرعت موج بر دقت عددی شرایط انتقال موج تأثیرگذار است. در مدل‌سازی خاک از زون‌های چهار ضلعی استفاده شده است که برای انتخاب ابعاد مناسب آن لازم است به‌منظور دقت شرایط انتقال موج در محیط پیوسته خاک یا سنگ، شرط توصیه شده توسط کولمیر و لیسمر (۱۹۷۳) [۲۲] اقلان شود. لازم به ذکر است علاوه بر رابطه مذکور، در این تحقیق تحلیل حساسیت بر روی تأثیر ابعاد دیگر مش‌بندی نیز انجام گرفت و ابعاد مختلف المان مورد مطالعه قرار گرفت که در نهایت مناسب‌ترین ابعاد بر اساس رابطه مذکور انتخاب گردید. این دو محقق پیشنهاد کرده‌اند ابعاد زون‌های موجود در محیط پیوسته مورد مطالعه باید از رابطه (۲) پیروی کند. در این رابطه Δl اندازه بزرگ‌ترین زون و λ طول موج هنگام رخداد بیشترین فرکانس در محیط است.

در شکل (۲) محور قائم بیانگر نسبت بیشینه پاسخ مؤلفه افقی و قائم جابه‌جایی در نقاط مختلف سطح زمین بر بیشینه دامنه جابه‌جایی موج ریکر محرک ورودی می‌باشد. محور افقی نیز بیانگر نسبت بی‌بعد شده فاصله نقاط از مرکز دره (x) بر نصف عرض دره (L) است.

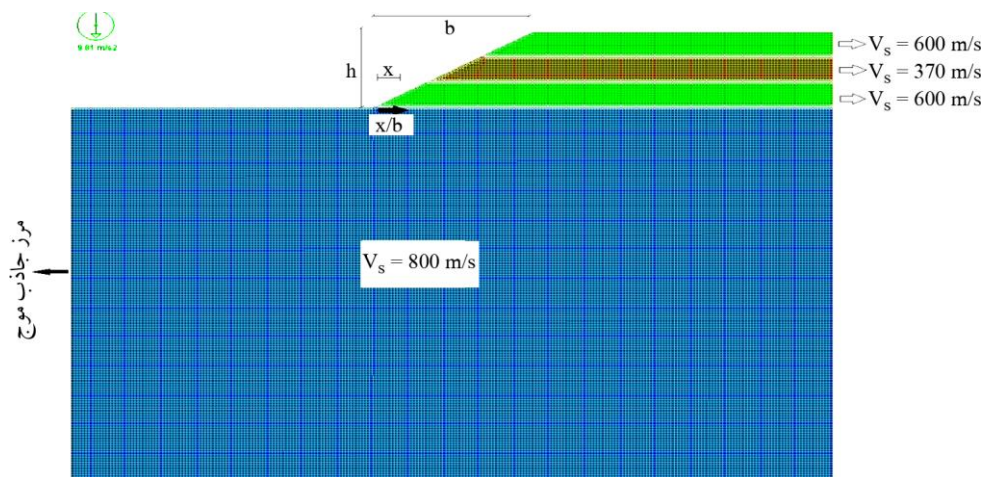
۳- روش انجام مطالعات

مطابق شکل (۳)، به‌منظور تحقق اهداف پژوهش که در بخش ۱ به آن اشاره شد، شیب‌های ناهمگن به‌صورت دو بعدی با فرض شرایط کرنش صفحه‌ای مدل‌سازی شد. از برنامه تفاضل محدود FLAC برای تحلیل دینامیکی در حوزه زمان استفاده شد. در این پژوهش از موجک ریکر به‌عنوان موج مهاجم با معادله زیر استفاده شده است:

$$F(t) = A_{\max} [1 - 2(\pi f_p (t - t_0))^2] e^{-(\pi f_p (t - t_0))^2} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، A_{\max} حداکثر دامنه، f_p فرکانس غالب موجک ریکر، t_0 زمان نظیر دامنه حداکثر و $F(t)$ تغییر مکان افقی حرکت در زمان t می‌باشد.

با توجه به اینکه یکی از اهداف این پژوهش بررسی وابستگی اثر زاویه شیب به فرکانس غالب موج ورودی می‌باشد، بنابراین در این راستا از موج ریکر با فرکانس‌های غالب (f_p)، ۱/۴، ۴/۲، ۷ و ۱۴ هرتز استفاده شده است. به جهت جلوگیری از تأثیرات نامطلوب بازتاب امواج مصنوعی از مرزهای جانبی، ابعاد مدل



شکل (۳): هندسه مدل عددی سطح شیب‌دار لایه‌بندی شده با نرم‌افزار تفاضلات محدود FLAC دو بعدی.

ثانیه و $1/3$ میانی ارتفاع شیب از جنس مصالح شن و ماسه متوسط با سرعت موج برشی 370 متر بر ثانیه می‌باشد (Mid).
 ۴. مدل لایه‌بندی شده که $2/3$ از ارتفاع شیب از جنس مصالح شن و ماسه خیلی متراکم با سرعت موج برشی 600 متر بر ثانیه و $1/3$ تحتانی ارتفاع شیب از جنس مصالح شن و ماسه متوسط با سرعت موج برشی 370 متر بر ثانیه می‌باشد (Bot).
 هندسه شیب مورد نظر با حالات لایه‌بندی مختلف به‌ازای ارتفاع‌های 10 ، 20 و 30 متر در زوایای 25 ، 30 ، 35 ، 45 و 60 درجه مدل‌سازی شده است. لازم به ذکر است پیش از انجام تحلیل و بررسی اثر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای، پایداری شیب با انجام تحلیل‌های استاتیکی و شبه‌استاتیکی مورد بررسی قرار گرفت و ضرایب اطمینان پایداری حاصل شده است.

جدول (۲) فرکانس طبیعی لایه‌های روی سنگ‌بستر را برای حالت‌های مختلف لایه‌بندی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود فرکانس غالب موج ورودی ($1/4$ ، $4/2$ ، 7 و 14 هرترتز) در محدوده فرکانس طبیعی لایه‌های خاک انتخاب شده است.

جدول (۲): فرکانس طبیعی حالت‌های مختلف لایه‌بندی.

H (متر)	حالت لایه‌بندی	f_n (هرتز)
10	Top	15/9
	Mid	11/8
	Bot	9/3
	IL-Soil	14/5
20	Top	7/8
	Mid	5/9
	Bot	4/6
	IL-Soil	7
30	Top	5/2
	Mid	3/9
	Bot	3
	IL-Soil	4/6

نتایج به‌صورت ضریب بزرگ‌نمایی مؤلفه افقی شتاب ارائه شده‌اند. ضرایب بزرگ‌نمایی با توجه به پاسخ سطح زمین آزاد^۹ محاسبه شده است. در این تحقیق ضرایب بزرگ‌نمایی مؤلفه افقی با

$$\Delta l \leq \frac{\lambda}{10} \quad (2)$$

به‌منظور بررسی تأثیر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای شیب‌های ناهمگن و همچنین بررسی اثر تغییر موقعیت لایه بر این پارامتر، سطح شیب‌دار مدل‌سازی شده از سه لایه افقی تشکیل شده است. ضخامت هر یک از این لایه‌ها، $1/3$ ارتفاع شیب می‌باشد. مشخصات ژئوتکنیکی یک لایه در مقایسه با دو لایه دیگر ضعیف‌تر بوده و لایه سست نام‌گذاری می‌شود. موقعیت این لایه در ارتفاع شیب در حالت‌های مختلف لایه‌بندی تغییر می‌کند، به‌صورتی که مدل‌ها بر اساس موقعیت قرارگیری این لایه در $1/3$ فوقانی، میانی و تحتانی ارتفاع شیب به ترتیب Top، Mid و Bot نام‌گذاری شده‌اند. همچنین یکی دیگر از حالات مورد بررسی مربوط به شیب تک‌لایه می‌باشد که IL-Soil نام‌گذاری شده است. لایه بستر سنگی دارای سرعت موج برشی 800 متر بر ثانیه، چگالی 2100 کیلوگرم بر مترمکعب و نسبت پواسون 0.4 می‌باشد. جنس مصالح لایه‌های شیب بر اساس توصیف لایه‌بندی زمین در آیین‌نامه 2800 ، شن و ماسه خیلی متراکم و شن و ماسه متوسط می‌باشد. مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌های سطح شیب‌دار مطابق جدول (۱) می‌باشد.

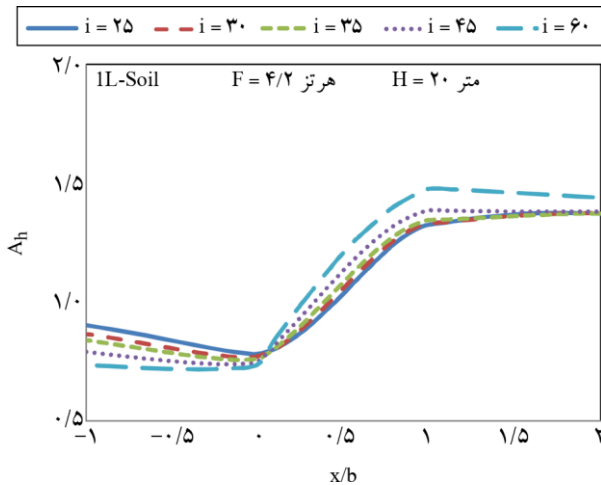
جدول (۱): مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌ها.

توصیف لایه	V_s (متر بر ثانیه)	ρ (کیلوگرم بر مترمکعب)	ν
شن و ماسه خیلی متراکم	600	2000	0.4
شن و ماسه متوسط	370	1900	0.4

بنابراین سطح شیب‌دار برای چهار حالت لایه‌بندی در زوایای مختلف تحلیل شده است که عبارتند از:

۱. مدل تک‌لایه از جنس مصالح شن و ماسه خیلی متراکم با سرعت موج برشی 600 متر بر ثانیه (IL-Soil).
۲. مدل لایه‌بندی شده که $2/3$ از ارتفاع شیب از جنس مصالح شن و ماسه خیلی متراکم با سرعت موج برشی 600 متر بر ثانیه و $1/3$ فوقانی ارتفاع شیب از جنس مصالح شن و ماسه متوسط با سرعت موج برشی 370 متر بر ثانیه می‌باشد (Top).
۳. مدل لایه‌بندی شده که $2/3$ از ارتفاع شیب از جنس مصالح شن و ماسه خیلی متراکم با سرعت موج برشی 600 متر بر

۶۰ درجه، بیشینه بزرگ‌نمایی در تاج شیب رخ داده و با فاصله گرفتن از تاج شیب مقادیر بزرگ‌نمایی کاهش می‌یابد.



شکل (۴): اثر زاویه بر مقادیر بزرگ‌نمایی افقی شیب همگن (IL-Soil)، ارتفاع ۲۰ متر، تحت اثر موج مهاجم ریکر با فرکانس ۴/۲ هرتز.

۴-۲- تأثیر زاویه شیب‌های ناهمگن بر پاسخ لرزه‌ای

برای بررسی روند تأثیر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای در حالت‌های مختلف موقعیت قرارگیری لایه سست، نتایج حاصل برای چهار حالت لایه‌بندی در شکل (۵) ارائه شده است. اثر گذاری زاویه شیب بر مقادیر بزرگ‌نمایی، در حالت‌های مختلف موقعیت قرارگیری لایه سست برای شیب با ارتفاع‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر تحت اثر موج مهاجم با فرکانس‌های ۱/۴، ۴/۲، ۷ و ۱۴ هرتز بررسی شد. نمودارهای ارائه شده در شکل (۵)، مربوط به مدل با ارتفاع شیب ۲۰ متر تحت اثر موج مهاجم ریکر با فرکانس غالب ۴/۲ هرتز می‌باشد. مطابق شکل مشاهده می‌شود اثر گذاری زاویه شیب بر مقادیر پاسخ، در حالت‌های مختلف قرارگیری لایه سست مشابه است و می‌توان گفت موقعیت قرارگیری لایه سست تغییری بر روند اثر گذاری زاویه شیب ندارد. افزایش زاویه شیب در تمام حالات مذکور اثر کاملاً مشابهی دارد و موقعیت قرارگیری لایه‌ها تأثیری بر تقویت یا تضعیف اثر زاویه بر پاسخ ندارد به صورتی که برای این حالت خاص افزایش زاویه از ۲۵ به ۴۵ درجه در حالت‌های لایه‌بندی IL-Soil، Top، Mid، Bot به ترتیب موجب افزایش ۴/۵، ۴/۸، ۴/۸ و ۴/۸ درصدی مقادیر بزرگ‌نمایی در تاج شده است.

A_{h_i} نشان داده شده‌اند. همچنین محور افقی نمودارها بیانگر نسبت بی‌بعد شده فاصله نقاط از پای شیب (x) به طول افقی شیب (b) است.

۴-۳ بررسی نتایج پژوهش

هدف این مطالعه بررسی تأثیر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای شیب‌های ناهمگن می‌باشد. بنابراین در بخش اول به بررسی تأثیر کلی زاویه بر تغییر مقادیر بزرگ‌نمایی و کوچک‌نمایی در نقاط مختلف شیب پرداخته می‌شود و در بخش‌های بعدی وابستگی روند اثر این پارامتر به مشخصات و موقعیت قرارگیری لایه‌ها، ارتفاع و فرکانس مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱- تأثیر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای شیروانی

به منظور بررسی اثر زاویه بر مقادیر بزرگ‌نمایی نقاط مختلف عرضه، شکل (۴) که مربوط به حالت شیب همگن (IL-Soil) با ارتفاع ۲۰ متر تحت اثر موج ورودی با فرکانس غالب ۴/۲ هرتز می‌باشد، ارائه می‌گردد. این نمودار روند تغییرات بزرگ‌نمایی با تغییر زاویه شیب را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش زاویه شیب بر مقادیر بزرگ‌نمایی و کوچک‌نمایی در نقاط مختلف شیب اثر گذار است اما تأثیرات این پارامتر قابل توجه نیست. در این مدل خاص افزایش زاویه شیب از ۲۵ درجه به ۴۵ درجه تنها موجب افزایش ۴/۵ درصدی مقدار بزرگ‌نمایی در تاج شیب شده است. همچنین تغییرات این پارامتر تنها بر روی مقادیر بزرگ‌نمایی و کوچک‌نمایی اثر گذار می‌باشد و نوع پاسخ را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش زاویه شیب از ۲۵ درجه تا ۶۰ درجه، پیوسته موجب افزایش مقادیر بزرگ‌نمایی و کوچک‌نمایی در نقاط مختلف شیب شده است. البته افزایش زاویه از ۴۵ درجه به ۶۰ درجه اثر بیشتری بر افزایش مقادیر بزرگ‌نمایی و کوچک‌نمایی دارد. نکته دیگری که در نمودار مشاهده می‌شود تفاوت در روند تغییرات مقادیر بزرگ‌نمایی در بالای شیب در زوایای مختلف است به صورتی که در زوایای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه مقادیر بزرگ‌نمایی با فاصله گرفتن از تاج شیب هم چنان در حال افزایش است، اما در زوایای ۴۵ و

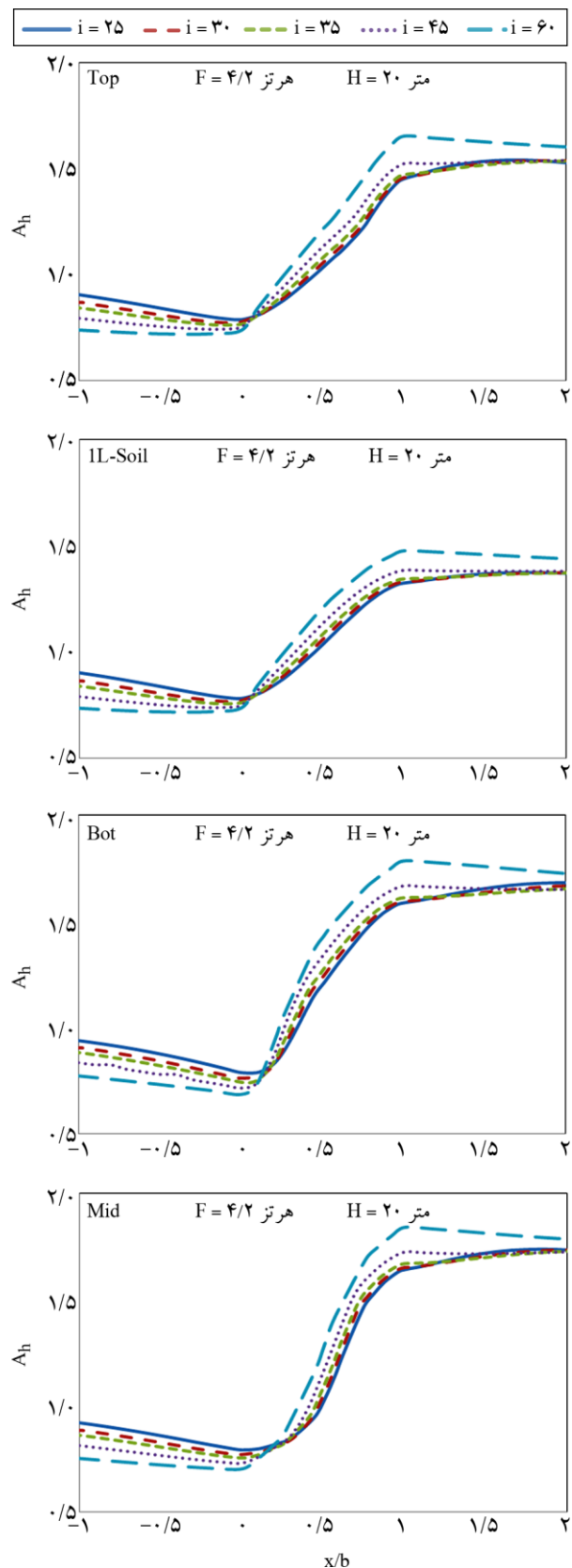
۳-۴- بررسی اثر زاویه در فرکانس‌های مختلف

اثر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای شیب‌های ناهمگن تحت اثر موج مهاجم با فرکانس‌های غالب مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارائه شده در شکل (۶) مربوط به شیب با ارتفاع ۲۰ متر و موقعیت لایه سست Mid می‌باشد. مطابق شکل، میزان تغییرات مقادیر بزرگ‌نمایی و کوچک‌نمایی در اثر تغییر زاویه شیب کاملاً به فرکانس غالب موج ورودی وابسته می‌باشد. به‌عنوان مثال برای این حالت، افزایش زاویه شیب از ۲۵ درجه به ۶۰ درجه در فرکانس‌های ۴/۱ و ۴/۲ هرتز به ترتیب موجب افزایش ۱/۸، ۱۲ درصدی مقادیر بزرگ‌نمایی در تاج شیب شده است.

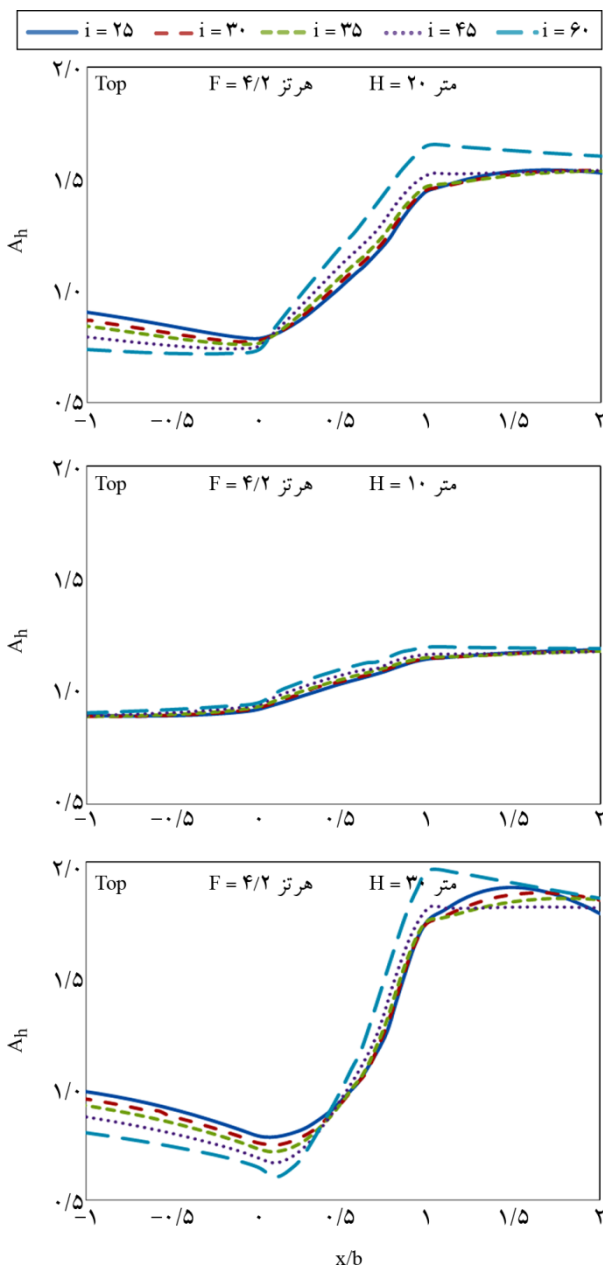
همان‌طور که مشاهده می‌شود در فرکانس ۱/۴ هرتز، اثر زاویه شیب بر پاسخ لرزه‌ای به حدی کم می‌باشد که می‌توان آن را ناچیز دانست. با افزایش فرکانس به ۴/۲ هرتز و سپس ۷ هرتز، تأثیر زاویه شیب بر پاسخ بیشتر می‌شود. در فرکانس ۱۴ هرتز، اختلاف مقادیر پاسخ در زوایای مختلف عارضه به‌خصوص روی دامنه و بالای شیب زیاد است. همچنین از مقایسه نمودارهای ارائه شده زیر مشاهده می‌شود که در فرکانس ۱/۴ هرتز، در تمام نقاط بالای شیب، روی دامنه و پایین شیب، افزایش زاویه باعث افزایش مقادیر A_{H_i} شده است در حالی که در فرکانس ۴/۲ هرتز، به ازای $x/b < 0.2$ افزایش زاویه باعث کاهش مقادیر A_{H_i} شده و برای $x/b > 0.2$ افزایش زاویه باعث افزایش مقادیر A_{H_i} شده است. این روند برای فرکانس‌های ۷ و ۱۴ هرتز به فواصل بی‌بعد دورتر انتقال پیدا می‌کند که به ترتیب برابر با $x/b = 0.75$ و $x/b = 0.9$ می‌باشد.

۴-۴- بررسی اثر زاویه در شیب‌های با ارتفاع مختلف

تأثیر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای، در شیب‌های با ارتفاع‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۷) مربوط به حالت لایه‌بندی Top تحت اثر موج مهاجم با فرکانس غالب ۴/۲ هرتز می‌باشد. همان‌طور که در نمودار مشخص است، اثر تغییر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای تحت تأثیر ارتفاع شیب می‌باشد. افزایش ارتفاع شیب، میزان تأثیر پارامتر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای را افزایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شیب با ارتفاع ۱۰ متر، افزایش زاویه باعث افزایش مقادیر A_{H_i} در تمام نقاط می‌شود.



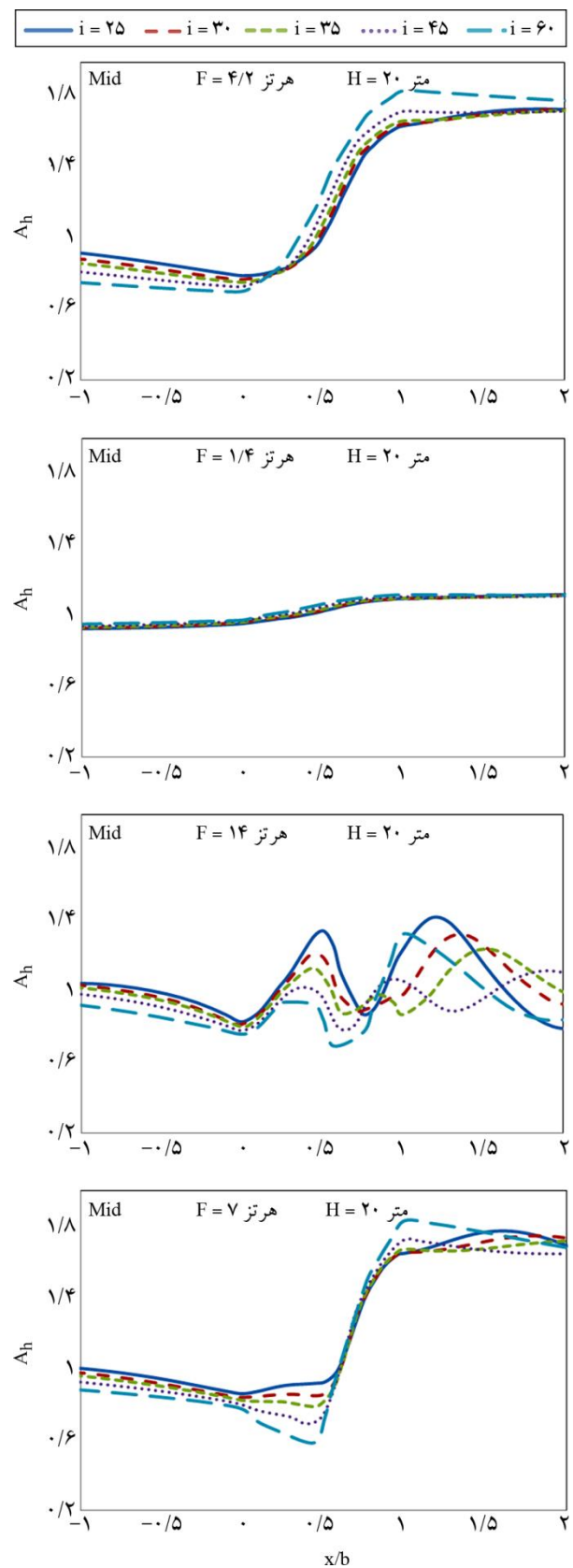
شکل (۵): اثر زاویه بر مقادیر بزرگ‌نمایی افقی در حالت‌های مختلف لایه‌بندی، برای شیب با ارتفاع ۲۰ متر و تحت اثر موج مهاجم ریکر با فرکانس ۴/۲ هرتز.



شکل (۲): اثر زاویه بر مقادیر بزرگ‌نمایی افقی برای شیب با ارتفاع‌های مختلف، تحت اثر موج مهاجم با فرکانس غالب ۴/۲ هرتز و موقعیت قرارگیری لایه سست Top.

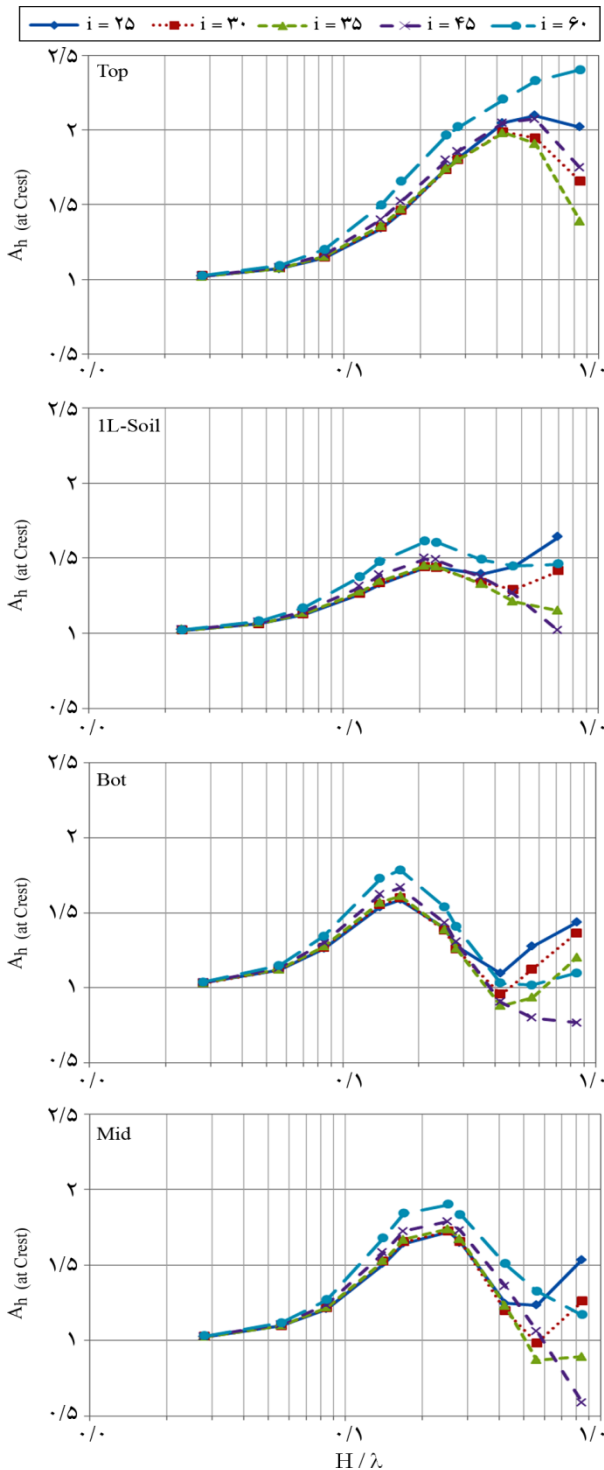
در شیب با ارتفاع ۲۰ متر به‌ازای $x/b < 0.1$ افزایش زاویه باعث کاهش مقادیر A_h شده و به‌ازای $x/b > 0.1$ ، افزایش زاویه باعث افزایش مقادیر A_h شده است. این روند برای شیب با ارتفاع ۳۰ در $x/b = 0.5$ مشاهده می‌شود.

جمع‌بندی موارد فوق بر این موضوع تأکید دارد که اثر تغییر زاویه بر مقادیر بزرگ‌نمایی و کوچک‌نمایی پاسخ لرزه‌ای، در



شکل (۶): اثر زاویه بر مقادیر بزرگ‌نمایی افقی تحت اثر موج مهاجم با فرکانس‌های غالب مختلف، برای شیب با ارتفاع ۲۰ متر و موقعیت قرارگیری لایه سست Mid.

نزدیک به هم هستند. با افزایش مقادیر H/λ و به ازای $H/\lambda \geq 0.4$ ، اثر تغییر زاویه بر مقادیر بزرگ‌نمایی افزایش می‌یابد و همان‌طور که در نمودارها مشاهده می‌شود اختلاف مقادیر بزرگ‌نمایی به ازای تغییر زاویه شیب از ۲۵ درجه تا ۴۵ درجه قابل توجه است.



شکل (۸): بررسی اثر زاویه بر مقادیر بزرگ‌نمایی تاج شیب در حالت‌های لایه‌بندی مختلف.

نقاط مختلف عارضه متفاوت می‌باشد. میزان تأثیرگذاری این پارامتر بر پاسخ لرزه‌ای، به مشخصات لایه‌ها و موقعیت قرارگیری لایه‌های خاک وابسته نیست اما فرکانس موج ورودی و ارتفاع عارضه بر میزان اثرگذاری این پارامتر بر پاسخ کاملاً مؤثر است. همان‌طور که مشاهده شد اثر زاویه در فرکانس‌های پایین و همچنین در شیروانی‌های با ارتفاع کم، تقریباً ناچیز است و هر چه فرکانس موج ورودی بیشتر می‌شود و یا ارتفاع عارضه افزایش می‌یابد اثر تغییر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای عارضه افزایش می‌یابد.

۴-۵- بررسی اثر زاویه شیب‌های ناهمگن بر بزرگ‌نمایی تاج شیب

همان‌طور که در بخش ۳ (روش انجام مطالعات) تشریح شد، شیب مورد نظر در ارتفاع‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر و در زوایای ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۵ و ۶۰ درجه، تحت اثر موج مهاجم ریکر با فرکانس‌های غالب ۱/۴، ۴/۲، ۷ و ۱۴ هرتز در چهار حالت لایه‌بندی تحلیل شده است. در بخش‌های (۳-۴) و (۴-۴)، وابستگی اثر زاویه به فرکانس غالب موج مهاجم ریکر و ارتفاع شیب به صورت مستقل مورد بررسی قرار گرفت و وابستگی اثر زاویه شیب به این پارامترها کاملاً مشاهده شد. در این بخش با توجه به وابستگی اثر زاویه به هر دو پارامتر فرکانس و ارتفاع، پارامتر ارتفاع نرمالیزه شده (H/λ) به منظور بررسی اثر زاویه بر بزرگ‌نمایی پاسخ در تاج شیب استفاده می‌شود و اثر تغییر زاویه بر مقادیر بزرگ‌نمایی در نقطه تاج شیب، به ازای H/λ مختلف بررسی می‌شود. پارامتر H/λ در واقع بیانگر نسبت ارتفاع شیب (H) به طول موج (λ) در محیط انتشار است. طول موج در محیط انتشار مطابق با رابطه (۳) محاسبه می‌شود. در این رابطه f فرکانس غالب موج ورودی و V_s سرعت موج برشی است.

$$\lambda = \frac{V_s}{f} \quad (3)$$

شکل (۸) اثر تغییر زاویه بر مقادیر بزرگ‌نمایی تاج شیب را در حالت‌های لایه‌بندی مختلف نشان می‌دهد. مطابق شکل، به ازای $H/\lambda \leq 0.4$ ، اثر افزایش زاویه شیب از ۲۵ تا ۴۵ درجه بر مقادیر بزرگ‌نمایی تاج شیب ناچیز است و مقادیر بزرگ‌نمایی بسیار

تغییر زاویه بر مقادیر بزرگ‌نمایی در فرکانس‌های پایین و شیب‌های با ارتفاع کم تقریباً ناچیز است و افزایش ارتفاع شیب و فرکانس باعث افزایش اثر زاویه بر مقادیر پاسخ لرزه‌ای می‌شود.

۴. بررسی تأثیر پارامتر زاویه شیب بر مقادیر بزرگ‌نمایی تاج شیب‌های ناهمگن نشان می‌دهد که اثر تغییر زاویه بر بزرگ‌نمایی پاسخ به‌ازای $H/\lambda \leq 0.4$ ناچیز است و اثر این پارامتر با افزایش مقادیر H/λ افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده شد به‌ازای مقادیر $H/\lambda \geq 0.4$ ، مقادیر بزرگ‌نمایی در تاج شیب با زاویه ۲۵ درجه نسبت به شیب ۳۰ درجه و شیب با زاویه ۳۰ درجه نسبت به ۳۵ درجه بیشتر است.

مراجع

- Trifunac, M.D. and Hudson, D.E. (1971) Analysis of the Pacoima dam accelerogram San Fernando, California, earthquake of 1971. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **61**, 1393-1411.
- Boore, D.M. (1973) The effect of simple topography on seismic waves: implications for the accelerations recorded at Pacoima Dam, San Fernando Valley, California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **63**, 1603-1609.
- Spudich, P., Hellweg, M., and Lee, W. (1996) Directional topographic site response at Tarzana observed in aftershocks of the 1994 Northridge, California, earthquake: implications for main shock motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **86**, 193-S208.
- International Council of Building Officials (UBC) (2000) *Uniform Building Code*.
- Building Seismic Safety Council (BSSC) Edition (2003) *The NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Part 1: Provisions (FEMA 368)*.
- International Council of Building Officials (IBC) (2012) *International Building Code*.
- Bouckovalas, G. and Kouretzis, G. (2001) Stiff soil amplification effects in the 7 September 1999 Athens (Greece) earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **21**, 671-687.

همچنین مشاهده می‌شود به‌ازای $H/\lambda \geq 0.4$ ، مقادیر بزرگ‌نمایی تاج شیب در زاویه ۲۵ نسبت به ۳۰ درجه و ۳۰ درجه نسبت به ۳۵ درجه بیشتر است.

نتایج حاصل در شکل (۸) نشان می‌دهد، اثر افزایش زاویه شیب از ۴۵ به ۶۰ درجه بر تغییر مقادیر بزرگ‌نمایی پاسخ در تاج شیب در مقایسه با زوایای دیگر بیشتر است و این اثر به‌ازای H/λ پایین نیز قابل مشاهده است؛ به‌صورتی که اختلاف مقادیر بزرگ‌نمایی در تاج شیب، ناشی از تغییر زاویه از ۴۵ به ۶۰ درجه به‌ازای $H/\lambda = 0.8$ آغاز می‌شود و با افزایش مقادیر H/λ افزایش می‌یابد.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با کمک نرم‌افزار تفاضل محدود FLAC دو بعدی به مطالعه و بررسی تأثیر زاویه شیب‌های ناهمگن بر پاسخ لرزه‌ای سطح زمین پرداخته شد. در این راستا، به‌منظور بررسی وابستگی اثر زاویه به فرکانس غالب موج مهاجم، ارتفاع و موقعیت قرارگیری لایه‌ها، هندسه شیب با ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر در زوایای ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۵ و ۶۰ درجه در چهار حالت لایه‌بندی مدل‌سازی عددی شد و تحت اثر موج مهاجم ریکر با فرکانس غالب ۱/۴، ۴/۲، ۷ و ۱۴ هرتز قرار گرفت. از جمله مهم‌ترین نتایج این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- به‌طور کلی تأثیر پارامتر زاویه شیب بر مقادیر پاسخ لرزه‌ای در مقایسه با پارامترهای دیگر کم است؛ به‌صورتی که در یک مدل بررسی شده افزایش زاویه شیب از ۲۵ به ۴۵ درجه تنها باعث ۴/۵ درصد افزایش مقادیر بزرگ‌نمایی در تاج شیب شده است.
- اثر زاویه بر پاسخ لرزه‌ای، تحت تأثیر موقعیت قرارگیری لایه سست تقویت و یا تضعیف نمی‌شود و میزان تأثیرگذاری این پارامتر بر پاسخ، به لایه‌بندی و موقعیت قرارگیری لایه‌های خاک وابسته نیست.
- نتایج حاصل از پژوهش، وابستگی اثر زاویه به فرکانس غالب موج مهاجم و ارتفاع شیب را نشان می‌دهد؛ به‌صورتی که اثر

- propagations problems by half-plane BEM. *Geophysical Journal International*, **194**, 1849-1865.
19. Panji, M., Kamalian, M., Asgari Marnani, J., and Jafari, M.K. (2014b) Antiplane seismic response from semi-sine shaped valley above embedded truncated circular cavity: a half-plane time-domain BEM. *International Journal of Civil Engineering*, **12**(2), 193-206.
 20. Pelekis, P., Batilas, A., Pefani, E., Vlachakis, V., and Athanasopoulos, G. (2017) Surface topography and site stratigraphy effects on the seismic response of a slope in the Achaia-Ilia (Greece) 2008 Mw6.4 earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **100**, 538-554.
 21. Wong, H.L. (1982) Effect of Surface Topography on the Diffraction of P, SV and Rayleigh Waves. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **72**(4), 1167-83.
 22. Kuhlemeyer, R.L. and Lysmer J. (1973) Finite Element Method Accuracy for Wave Propagation Problems, *J. Soil Mech. and Foundations, Div. ASCE*, **99**(SM5) 421-427.
 8. Bouchon, M. (1973) Effect of Topography on Surface Motion. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **63**, 615-632.
 9. Ashford, S.A., Sitar, N., Lysmer, J., and Deng, N. (1997) Topographic effects on the seismic response of steep slopes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **87**, 701-709.
 10. Geli, L., Bard, P.Y., and Jullien, B. (1988) The effect of topography on earthquake ground motion: a review and new results. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **78**, 42-68.
 11. Bouckovalas, G.D. and Papadimitriou, A.G. (2005) Numerical evaluation of slope topography effects on seismic ground motion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **25**, 547-558.
 12. Nguyen, K.V. and Gatmiri, B. (2007) Evaluation of seismic ground motion induced by topographic irregularity. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **27**, 183-188.
 13. Gatmiri, B. and Arson, C. (2008) Seismic site effects by an optimized 2D BE/FE method II. Quantification of site effects in two-dimensional sedimentary valleys. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **28**, 646-661.
 14. Zhang, Z., Fleurisson, J.A., and Pellet, F. (2018) the effects of slope topography on acceleration amplification and interaction between slope topography and seismic input motion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **113**, 420-431.
 15. Tripe, R., Kontoe, S., and Wong, T.K.C. (2013) Slope topography effects on ground motion in the presence of deep soil layers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **50**, 72-84.
 16. Rizzitano, S., Cascone, E., and Biondi, G. (2014) Coupling of topographic and stratigraphic effects on seismic response of slopes through 2D linear and equivalent linear analyses. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **67**, 66-84.
 17. Panji, M., Kamalian, M., Asgari Marnani, J., and Jafari, M.K. (2014a) Analyzing seismic convex topographies by a half-plane time-domain BEM. *Geophysical Journal International*, **197**(1), 591-607.
 18. Panji, M., Kamalian, M., Asgari Marnani, J., and Jafari, M.K. (2013) Transient analysis of wave

واژه‌نامه

FLAC ^{2D}	۱- فلک دو بعدی
Site Effect	۲- اثر ساختگاه
Hill	۳- تپه
Canyon	۴- دره
Slope	۵- شیب
Cliff	۶- پرتگاه
Free-Field Boundaries	۷- مرزهای آزاد منطقه
Quiet Boundaries	۸- مرزهای آرام
Free-Field	۹- سطح زمین آزاد

Effect of Non-Homogenous Slope Angles on Ground Surface Seismic Response due to Incident Vertical SV Waves

Hosein Bakhtiari¹, Masoud Amelsakhi^{2*}, and Abdollah Sohrabi Bidar³

1. M.Sc. Student in Geotechnics, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran, *Corresponding Author, email: amelsakhi@qut.ac.ir
3. Associate Professor, School of Geology, College of Science, Tehran University, Tehran, Iran

Source, site and path effect are three important parameters in ground seismic response in any area (flat surface and sloping surface). Site effect is a key parameter to study the evaluation of the seismic response of a hill or valley particularly in soil. Another important parameter is the soil layer combination in height of a hill, for example. In other words, appearing a loose and weak layer between dense soil layers, makes different seismic responses in comparison with a full homogenous slope in height. As we know in nature, there is not full homogenous slope or hill, so it is very important to study this problem in evaluating ground seismic response. We should take part soil slopes and rock slopes in seismic analyses. In this research, only non-homogenous soil hill is studied. We know that the slope angle has a clear role on the hill seismic response, so the amplification can be seen in top of the hill. It is clear that gathering energy in a bounded local area, top of the hill, can make a great response at top of the hill, as we call it, amplification. Amplification is related to different parameters such as soil layer parameters, geometry, slope angle, wave type and its characteristic as dominant frequency, and maybe so many other parameters that researchers have not studied yet. Another important civil engineering problem is construction on top of the slopes or near them. Therefore, in high seismic disaster areas, we may have large demolition of structures if designer has not implemented the site effect on his/her analysis. Recently, in 2800 Code (4th edition), topography effect is implemented in a simple table due to the slope angle to increase horizontal acceleration parameter. It should be noted that other different parameters may have great effect on ground seismic response and slope angle is one of them. In this research, effects of non-homogenous slopes' angle on seismic response of ground surface due to the incident SV wave using FLAC 2D finite difference software are studied. Different parameters are used in this research. The numerical and behavioral model linear elastic is selected. In order to study the effect of non-homogenous slopes, slopes with different materials with 25, 30, 35, 45 and 60 degree are selected. In addition, dependence of slope angle with other slope height and incident wave frequency are studied. Obtained results show that the effect of slope angle on seismic response, in comparison with other studied parameters, are low and it may be neglected. Besides, it can be seen that changing the location of soil layers, does not have high effect on ground seismic response. The results show that the effects of slope angle in low frequencies and also low height are small on ground seismic response. Thus, increasing these parameters, frequencies and slope height, increases the effect of slope angle on ground seismic response. In this research, due to dependence of slope angle to slope height and incident wave frequency on ground seismic response, the effect of slope angle on amplification of non-homogenous slopes are studied based on different H/λ (normalized height). In $H/\lambda \leq 0.4$, the effect of slope angle on amplification response can be neglected. In other words in this condition the effect of slope angle is small but increasing H/λ , increase this effect. For $H/\lambda \leq 0.4$ the amplification response in slopes with 25 degree is the highest in comparison with 30-degree slope. In addition, these results can be seen in 30-degree slope in comparison with 35-degree slope.

Keywords: Seismic Response, Layer Position, Topography of Slope, Amplification, Linear Behavior.