

چکیده

این پژوهش مطالعه‌ای است روی رفتار لرزه‌ای تپه‌های نیم‌سینوسی شکل که در معرض امواج برشی قائم ریکر قرار گرفته‌اند. برای مدل‌سازی از نرم‌افزاری که بر مبنای روش تفاضل محدود می‌باشد، استفاده شده است. چون تمرکز بر روی تأثیرات توپوگرافی است، از پارامتر ضریب شکل (نسبت ارتفاع به نیم‌پهنای تپه) و پارامترهای زمین به‌عنوان متغیر استفاده شده است. رفتار محیط مدل سازی الاستیک خطی در نظر گرفته شده است؛ در نتیجه تپه‌های شبه‌سینوسی با ضریب شکل‌های متفاوت (۰/۱، ۰/۴ و ۰/۸)، در زمین با جنس‌های متفاوت تپ I، II و III (که تفاوت آنها طبق استاندارد ۲۸۰۰ در چگالی و سرعت موج برشی در محیط پیوسته است) مدل شده‌اند که هر کدام از آنها تحت موج ریکر با فرکانس ثابت قرار گرفته‌اند. در این تحقیق جابه‌جایی‌های افقی و عمودی برای نقاط مختلف روی تپه محاسبه شده‌اند. همچنین بزرگنمایی جابه‌جایی با توجه به مدل میدان آزاد به‌دست آمده است. نتایج نشان‌دهنده این مطلب است که با افزایش ضریب شکل، هم جابه‌جایی افقی و هم جابه‌جایی قائم و در نتیجه بزرگنمایی در تمام موارد افزایش می‌یابد. همچنین از نمودارهای حاصله می‌توان دریافت که با تغییر جنس زمین از تپ I به تپ II جابه‌جایی‌ها کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: تپه‌های نیم‌سینوسی، موج ریکر، اثرات توپوگرافی، رفتار لرزه‌ای.

نوع مقاله: علمی - ترویجی

بررسی اثرات توپوگرافی بر روی جابه‌جایی افقی و قائم تپه‌های نیم‌سینوسی تحت برخورد امواج ریکر

مهیار نوبخت

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

مسعود عامل‌سخی (نویسنده مسئول)

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران،
mamelsakhi@yahoo.com

فاطمه شش‌پری

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

۱- مقدمه

ساختگاه به‌نوبه خود به دو شاخه اصلی تأثیر آبرفت و یا به عبارت دیگر خصوصیات ژئوتکنیکی لایه‌های زیرسطحی و تأثیر خصوصیات هندسی و ناهمواری‌های موجود در ساختگاه تقسیم می‌شود. مشاهدات حاصل از زلزله‌های مخرب سال ۱۹۷۱ سان‌فرناندو، ۱۹۸۵ شیلی، ۱۹۹۴ نورث‌ریج، ۱۹۹۹ کوبه و بسیاری دیگر از زلزله‌های بزرگ مقیاس در سراسر دنیا حاکی از این است که عدم شناخت شرایط ساختگاه موجب خسارات زیان‌بار بسیاری گردیده است. هنگامی که زلزله‌ای رخ می‌دهد، انواع مختلف امواج حجمی و امواج سطحی تولید می‌نماید. امواج حجمی که در اعماق زمین منتشر می‌شوند به دو گونه هستند؛ امواج P و امواج S. اندرکنش امواج حجمی مایل با سطح آزاد از تنش، امواج سطحی ایجاد می‌کند. امواج ریلی و لاو از انواع امواج سطحی هستند.

زلزله‌ها وقایع طبیعی هستند که می‌توانند صدمات مالی و جانی قابل ملاحظه‌ای به جامعه وارد سازند. جنبه ژئوتکنیکی زلزله‌ها موضوعی است که در چند دهه اخیر مورد توجه مهندسان قرار گرفته است. در این میان توپوگرافی سطحی و زیرسطحی از جمله عواملی به شمار می‌آیند که بر بزرگنمایی مشخصه‌های حرکتی زمین و محتوای فرکانسی زلزله ثبت شده در سطح زمین تأثیر می‌گذارند. امروزه کاملاً آشکار است که اثرات ساختگاهی بر پاسخ لرزه‌ای سطح زمین و توزیع خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه، اثر بسزایی دارد. شرایط ساختگاهی آن دسته از عوامل موضعی هستند که همانند یک فیلتر تأثیر تشدید کننده و یا تخفیف‌دهنده، بر لرزش‌های سنگ بستر هر ناحیه دارند و می‌تواند بر روی شتاب، سرعت، تغییر مکان و همچنین پیروی غالب زلزله تأثیر بسزایی بگذارد. تأثیر

می‌شوند. دسته نخست، عوارض توپوگرافی سطح آزاد زمین را در برمی‌گیرند و شامل پشته‌ها، کوه‌ها و تپه‌ها، تنگه‌ها و دره‌ها، شیب‌ها، دیواره‌ها و غیره می‌باشند. دسته دوم که مربوط به میان‌لایه‌های زیرسطح آزاد زمین هستند دره‌های آبرفتی، لایه‌های چین‌خوردگی، گسل‌ها و لایه‌های کنگره‌ای و شیاردار را شامل می‌شوند. اثرات ناشی از ناهمواری‌های سطحی و زیرسطحی از یکدیگر بسیار متفاوت هستند [۵]. در زمینه تحلیل پاسخ دوبعدی تپه‌ها، بور [۶] به بررسی پاسخ لرزه‌ای تپه‌های مثلثی شکل که تحت انتشار امواج SH در راستای قائم قرار گرفته بودند پرداخت. وی با استفاده از روش تفاضل محدود نشان داد که توپوگرافی می‌تواند نقش قابل توجهی در توزیع شتاب در نقاط مختلف ناهمواری ایفا کند. بوجون [۷] تأثیر تپه‌های نیم‌سینوسی بر پاسخ لرزه‌ای سطح زمین را مورد بررسی قرار داد. وی در مطالعات خود نسبت‌های شکل مختلفی را مورد توجه قرار داد و نتایج وی مربوط به انتشار امواج مهاجم SH بودند. پدرسون و همکاران [۸] روش المان مرزی را برای انتشار سه‌بعدی امواج انتشار یافته به توپوگرافی دو بعدی تعمیم دادند و رفتار لرزه‌ای تپه نیم‌دایره‌ای شکل را تحت انتشار امواجی با زوایای مختلف آزیموتی بررسی نمودند. تاکاناکا و همکاران [۹] روش المان مرزی عدد موج گسسته را برای حل سه‌بعدی انتشار امواج مهاجم به یک تپه نیم‌سینوسی دوبعدی گسترش دادند. کمالیان و همکاران [۱۰-۱۱] از روش المان مرزی در حوزه زمان و ترکیب روش المان مرزی و المان محدود در حوزه زمان، برای تحلیل پراکنش و تفرق امواج P و SV در محیط همگن و غیرهمگن اشکال مختلف توپوگرافی پرداختند. آنها طی مطالعاتی گسترده رفتار لرزه‌ای تپه‌های دوبعدی نیم‌سینوسی، نیم‌بیضی و دوزنقه‌ای شکل را که تحت انتشار قائم امواج P و SV قرار گرفته بودند ارزیابی کردند [۱۰-۱۱]. بعدها سهرابی بیدار [۱۲] و سهرابی بیدار و همکاران [۱۳-۱۵] با استفاده از روش المان مرزی سه‌بعدی در حوزه زمان به بررسی اشکال مختلف توپوگرافی پرداختند.

تحقیقات نشان می‌دهد که پارامترهای مختلفی از جمله

هنگامی که یک موج حجمی به مرز قائمی میان دو مصالح متفاوت برخورد نماید، بخشی از انرژی موج منعکس گردیده و بخش دیگر آن از مرز منتقل می‌شود. رفتار موج در مرز، وابسته به ضریب امپدانس ویژه مصالح در دو طرف مرز می‌باشد. این ضریب، دامنه و جهت امواج منعکس شده و منتقل شده را تعیین خواهد نمود.

تحلیل پاسخ توده‌های خاک و سازه‌های خاکی در برابر حرکات زلزله، یکی از مهم‌ترین مفاهیم عملی در ژئوتکنیک لرزه‌ای است. در این پژوهش صرفاً تحلیل خطی در حالت یک‌بعدی بررسی شده است. تحلیل یک‌بعدی پاسخ زمین بر پایه فرضیاتی چون افقی بودن مرز لایه‌ها و اینکه پاسخ یک توده خاک عمده‌تأثیر اثر امواج SH که از بستر سنگی به صورت عمودی منتشر می‌شوند، استوار است [۱]. تحلیل‌های دو و سه‌بعدی پاسخ زمین معمولاً با بهره‌گیری از تحلیل دینامیکی اجزای محدود انجام می‌شوند. این تحلیل‌ها را می‌توان با استفاده از روش خطی معادل و یا غیرخطی به دست آورد.

در تحقیقات اخیر حرکات ثبت‌شده زمین و خرابی‌های ناشی از زلزله‌های مخرب بسیاری تأثیر عوارض توپوگرافی را در امواج لرزه‌ای رسیده به سطح زمین مؤثر نشان داده است. شتاب‌های بسیار بالای ثبت‌شده در سد پاکوئیم (g ۱/۲۵) در زلزله سال ۱۹۷۱ سان‌فرناندو [۲-۳] و در تارزن‌هاییل (g ۱/۷۸) در زلزله سال ۱۹۹۴ نورث‌ریج [۴]، مثال‌های اندکی از تأثیر توپوگرافی می‌باشد. این زلزله‌ها نمونه‌هایی از وقایع طبیعی هستند که در آنها اکثر خرابی‌ها در نقاط با ارتفاع بیشتر نسبت به زمین‌های اطراف رخ داده است.

غالباً زمین به‌طور ایده‌آل به‌صورت یک نیم‌فضای همگن یا نیم‌فضای لایه‌بندی شده با سطح صاف و هموار در نظر گرفته می‌شود. زمین واقعی دارای ساختارهای زیرسطحی ناهمگن و توپوگرافی‌های ناهموار است. ناهمواری‌هایی که بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند عمدتاً شامل میان‌لایه‌ها یا مرزها هستند. ناهمواری‌های میان‌لایه‌ای را می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی نمود که ناهمواری‌های سطحی و ناهمواری‌های زیرسطحی نامیده

می‌باشد که با استفاده از تبدیل فوریه حاصل شده است [۱۷].

$$r(\tau) = \left(1 - \frac{1}{2}\omega_p^2\tau^2\right) \exp\left(-\frac{1}{4}\omega_p^2\tau^2\right) \quad (1)$$

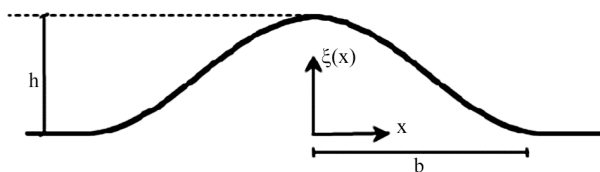
$$R(\omega) = \frac{2\omega^2}{\sqrt{\pi}\omega_p^3} \exp\left(-\frac{\omega^2}{\omega_p^2}\right) \quad (2)$$

در روابط بالا τ زمان برحسب ثانیه و ω_p حداکثر فرکانس انرژی برحسب رادیان بر ثانیه است.

۲-۱- مشخصات هندسی

شکل هندسی عوارض توپوگرافی یکی از مهم‌ترین پارامترها در برآورد پاسخ لرزه‌ای سطح زمین می‌باشد و تا به امروز بر روی این پارامتر مطالعات گسترده‌ای انجام شده است. اشکال ساده هندسی نظیر نیم‌بیضی، نیم‌دایره، نیم‌سینوس، گوه‌ای شکل و ذوزنقه‌ای در بررسی‌ها دیده شده و همان‌طور که در اکثر مطالعات مشاهده می‌شود شکل نیم‌سینوس برای عارضه تپه‌ای شکل مناسب‌تر به نظر رسیده و با واقعیت تطابق بیشتری دارد. به همین سبب در این مطالعه تپه‌های نیم‌سینوسی یا شبه‌سینوسی مورد توجه قرار داده شده‌اند. هندسه تپه نیم‌سینوسی بر اساس معادله زیر تعریف می‌شود (شکل ۱):

$$\xi(x) = 0.5h \left(1 + \cos\left(\frac{\pi x}{b}\right)\right) \quad (3)$$



شکل (۱): هندسه تپه نیم‌سینوسی.

۲-۲- مراحل مدل‌سازی

فرضیه‌ای که در فرایند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است از مقاله‌ای برداشت شده است که در بخش صحت‌سنجی نیز از آن استفاده شده است [۱۸]. توصیه می‌شود که بارگذاری زمین‌لرزه‌ها به صورت تنش برشی برای امواج برشی و تنش قائم برای امواج فشاری، به بستر زمین اعمال شود. از این‌رو چون در

ضریب شکل، نوع موج، جهت و زاویه موج، میرایی محیط، زاویه شیب ناهمواری و محتوای فرکانسی امواج بر روی رفتار لرزه‌ای توپوگرافی مؤثر می‌باشند [۱۶].

با توجه به نتایج تحقیقات پیشین، هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی و تحلیل تأثیر توپوگرافی در حوزه نتایج حاصل از مدل‌های عددی است که با استفاده از نرم‌افزار صورت گرفته است. اصلی‌ترین مسئله در این مطالعه بررسی میزان جابه‌جایی‌ها در زمین‌های مختلف و با ضریب شکل‌های گوناگون است. آنچه در این تحقیق به‌طور مشخص مورد بررسی قرار خواهد گرفت ارزیابی رفتار لرزه‌ای عوارض روستی (توپوگرافی) از طریق انجام مطالعات پارامتریک و اعمال موج ریکر بر روی اشکال هندسی رایج، مرسوم و قابل تطابق با طبیعت و با فرض رفتار خطی می‌باشد. تأثیر پارامترهای مذکور بر رفتار لرزه‌ای توپوگرافی در این پژوهش با استفاده از روش تفاضل محدود صورت گرفته است.

۲-۲- مدل‌سازی عددی

در این پژوهش برای مدل‌سازی از نرم‌افزار تفاضل محدود FLAC استفاده شده است که در این بخش مراحل مدل‌سازی شرح داده می‌شود.

این نرم‌افزار که بر پایه تحلیل لاگرانژی عمل می‌کند، رفتار سازه‌هایی را که در آنها خاک، سنگ و یا سایر مصالحی که ممکن است بعد از حد تسلیم به حالت پلاستیک برسند به خوبی مدل‌سازی می‌کند. روش تفاضل محدود تقریباً قدیمی‌ترین روش تحلیل عددی است که بر پایه معادلات دیفرانسیل عمل کرده و در آن مقادیر اولیه و مرزی به مدل معرفی می‌شود. در روش تفاضل محدود، هریک از مشتقات معادلات حاکم مستقیماً با یک توصیف جبری برحسب متغیرات مدل (مانند تنش یا جابه‌جایی) در نقاط مجزای هندسه مدل تعریف می‌شود.

معادله موجک ریکر، مشتق دوم تابع گاوس است و در هر دو حوزه زمان و فرکانس ارائه شده است. رابطه (۱) بیانگر معادله موجک ریکر در حوزه زمان و رابطه (۲) در حوزه فرکانس

شکل هندسی تمام مدل‌هایی که در این تحقیق استفاده شده شبه‌سینوسی یا نیم‌سینوسی است که به‌صورت همگن فرض می‌شوند. نسبت پواسون $\nu = 0.33$ می‌باشد؛ یعنی محیط مدل الاستیک فرض شده است. یکی از متغیرها نسبت شکل می‌باشد. یکی دیگر از متغیرها جنس زمین است که تفاوت آنها در ρ و V_s می‌باشد. از این رو بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ سه تیپ زمین مورد بررسی قرار گرفته است. تیپ یک با مشخصات $V_s = 2500$ متر بر ثانیه و $\rho = 2500$ کیلوگرم بر مترمکعب، تیپ دو با مشخصات $V_s = 600$ متر بر ثانیه و $\rho = 2000$ کیلوگرم بر مترمکعب و تیپ سه با مشخصات $V_s = 250$ متر بر ثانیه و $\rho = 1500$ کیلوگرم بر مترمکعب که هر کدام از تیپ‌ها تحت اثر برخورد موج ریکر قرار گرفته‌اند. یکی از نمودارهایی که از نتایج استخراج می‌گردد، مربوط به بزرگنمایی است. برای این منظور مقدار جابه‌جایی در هر نقطه به مقدار جابه‌جایی در مدل میدان آزاد، تقسیم می‌گردد و این نسبت نشان‌دهنده بزرگنمایی است. منظور از مدل میدان آزاد، مدلی است که در آن هیچ عارضه توپوگرافی وجود ندارد و مسطح است.

۳- صحت‌سنجی

به‌منظور اعتبارسنجی روش عددی به کار گرفته شده در این تحقیق از یک تپه نیم‌دایره‌ای شکل که در محیط نرم‌افزار FLAC مدل شده و تحت موج قائم ریکر به‌صورت انتشار قائم قرار گرفته است، استفاده و نتایج بزرگنمایی حاصل با نتایج حاصل از مطالعه سال ۲۰۱۰ نظری و بازبار [۱۸]، صحت‌سنجی شده است. در بخشی از این مقاله یک دره نیم‌دایره‌ای تحت موج ریکر با مشخصات فرکانس مرکزی $5/58$ و زمان $0/26$ قرار گرفته است (شکل ۳). سرعت موج برشی، نسب پواسون و دانسیته خاک به ترتیب $223/33$ متر بر ثانیه، $0/33$ و 2000 کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد.

شکل (۴) نموداری است که در این تحقیق به دست آمده و قرابت خوبی با نتایج دانشمندان قبلی که در شکل (۵) آمده است، نشان می‌دهد. در این نمودار محور قائم نشانگر بزرگنمایی و محور افقی بی‌بعد است.

این تحقیق موج ریکر از جنس موج برشی است از تنش برشی در محاسبات استفاده شده است.

$$\sigma_s = 2(\rho C_s) V_s \quad (4)$$

$$C_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (5)$$

در روابط بالا ρ جرم مخصوص، C_s سرعت موج برشی در محیط پیوسته، V_s سرعت ورودی موج برشی و G مدول برشی می‌باشد. برای مدل‌سازی موج برخوردی به عارضه که در اینجا تپه نیم‌سینوسی می‌باشد از موج برشی ریکر استفاده می‌گردد.

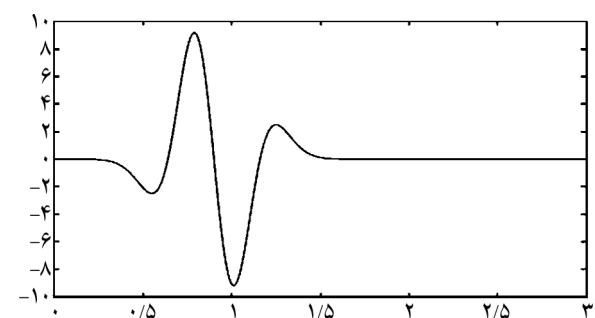
$$F(t) = [1 - 2(\pi f_p (t - t_0))^2] e^{-\pi f_p (t - t_0)^2} \quad (6)$$

که گفتم t_0 و f_p به ترتیب فرکانس مرکزی و زمان نظیر دامنه حداکثر هستند. نکته‌ای که درباره این دو باید مورد توجه قرار داد این است که این دو مقدار بدون بعد هستند و از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$F_p = \frac{\omega b}{\pi V_s} \quad (7)$$

$$T_0 = \frac{t V_s}{2b} \quad (8)$$

که در آنها ω فرکانس دورانی سیگنال ورودی، b عرض یا نیم‌پهنای تپه و V_s سرعت موج برشی در محیط پیوسته است. فرکانس بدون بعد معکوس پریود بدون بعد است که تعبیر فیزیکی آن عبارت است از نسبت طول موج مهاجم به پهنای تپه. در بخش‌های آتی مقاله منظور از زمان، فرکانس و پریود، مقادیر بدون بعد آنها است. در این تحقیق مقدار فرکانس غالب $1/5$ و زمان $0/9$ در نظر گرفته شده است (شکل ۲).

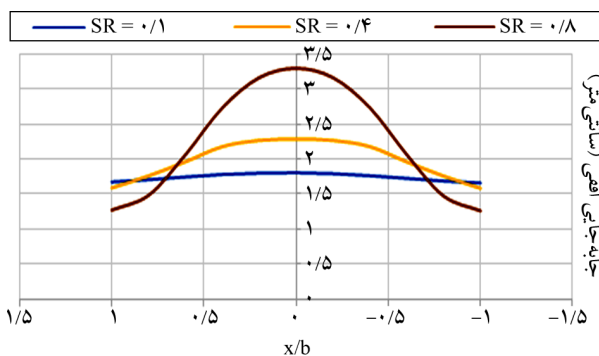


شکل (۲): نمودار سرعت موج ریکر برای مقادیر $f_p = 1/5$ و $t_0 = 0/9$.

۴-۱- جابه‌جایی‌های افقی

۴-۱-۱- زمین تپ ۱

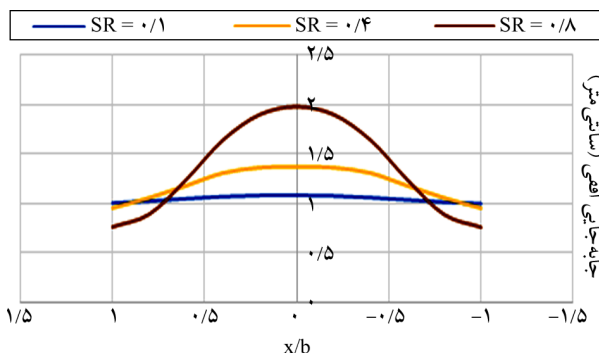
با توجه به شکل (۶) با افزایش ضریب شکل، جابه‌جایی در قله و اطراف آن افزایش و در پای تپ کاهش می‌یابد. در هر منحنی نیز روند جابه‌جایی از پای دامنه به سمت قله، افزایشی است. در ضرایب شکل بزرگ‌تر روند تغییرات شدیدتر است؛ به طوری که در ضرایب شکل کوچک تقریباً منحنی خط مستقیم است و جابه‌جایی به طور تقریبی برابر است.



شکل (۶): نمودار جابه‌جایی افقی برای زمین تپ یک تحت برخورد موج ریکر.

۴-۱-۲- زمین تپ ۲

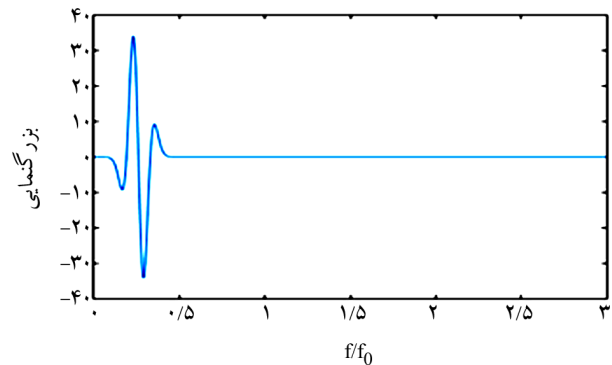
با توجه به شکل (۷) روند تغییرات مشابه تپ یک می‌باشد اما مقادیر جابه‌جایی کاهش پیدا کرده است.



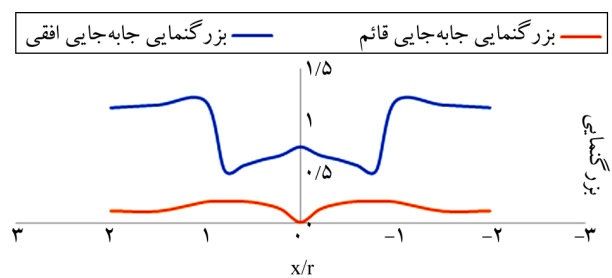
شکل (۷): نمودار جابه‌جایی افقی برای زمین تپ دو تحت برخورد موج ریکر.

۴-۱-۳- زمین تپ ۳

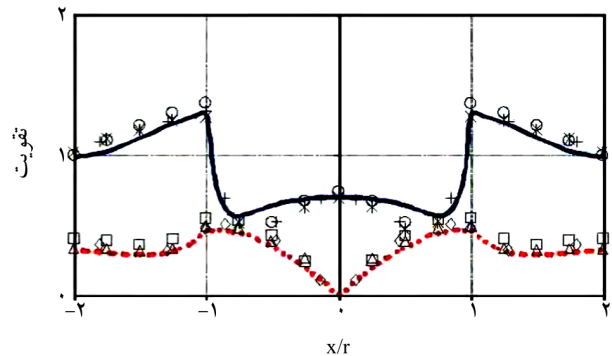
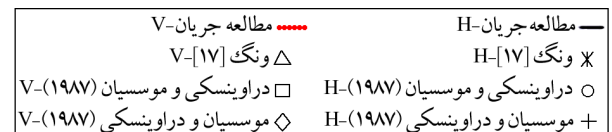
با توجه به شکل (۸) تغییرات مشابه دو تپ قبلی است و شاهد کوچک‌تر شدن جابه‌جایی‌ها نسبت به آنها هستیم.



شکل (۳): منحنی موج ریکر.



شکل (۴): بزرگنمایی جابه‌جایی افقی و قائم.



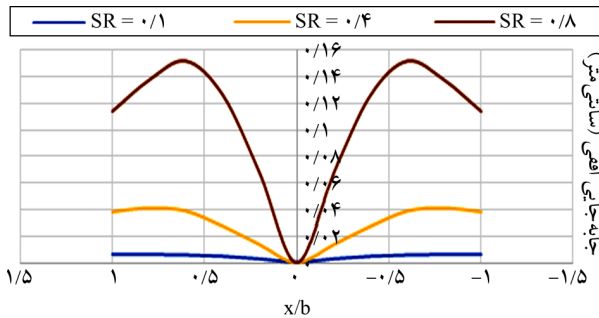
شکل (۵): بزرگنمایی جابه‌جایی افقی و قائم در مقاله مرجع.

۴- مقادیر و نتایج حاصله

در این بخش اعداد مربوط به هر مدل و نمودارهای حاصله آورده شده و در زیر هر نمودار نتایج به دست آمده بیان شده‌اند. این بخش شامل سه قسمت است. در قسمت اول جابه‌جایی‌های افقی نقاط روی تپه برای زمین با جنس‌های مختلف، تحت تأثیر موج ریکر آورده شده است و در قسمت دوم جابه‌جایی‌های قائم برای هر تپه با ضریب شکل ثابت رسم شده است.

۴-۲-۳- زمین تپ III

با توجه به شکل (۱۱) در این مورد نیز تغییرات جابه‌جایی مشابه تپ‌های یک و دو می‌باشد، اما در اینجا شاهد کاهش زیاد مقدار جابه‌جایی‌ها هستیم.

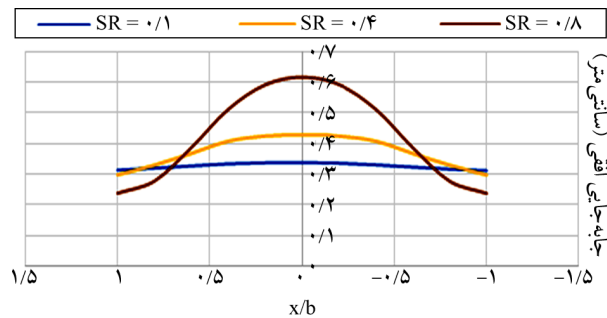


شکل (۱۱): نمودار جابه‌جایی قائم برای زمین تپ سه تحت برخورد موج ریکر.

۵- نتیجه‌گیری

همان‌طور که ذکر شد، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر توپوگرافی در حوزه نتایج حاصل از مدل‌های عددی است. به منظور مدل‌سازی از نرم‌افزار تفاضل محدود FLAC دو بعدی استفاده گردید. هندسه توپوگرافی که نزدیک‌ترین شباهت را به عارضه‌های طبیعی دارد، شکل نیم‌سینوسی است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. برای اعمال موج برشی مهاجم به مدل‌ها از معادله موجک ریکر استفاده شد. مواردی که به‌عنوان نتیجه از تحلیل‌ها برداشت شده است به شرح زیر است:

- طبق نمودارهای به‌دست آمده با تغییر جنس زمین جابه‌جایی‌ها هم تغییر می‌کنند. در تمام مدل‌ها در تپ I بیشترین جابه‌جایی و در تپ III حداقل جابه‌جایی را داریم. این پدیده را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که در تپ I زمین، چگالی و سرعت موج برشی بیشتری دارد و از این رو تنش برشی بیشتری به مدل اعمال می‌شود و در نتیجه در قسمت خروجی، جابه‌جایی‌های بزرگ‌تری خوانده می‌شود. در مقابل در زمین تپ سه که چگالی و سرعت موج کمتر است، تنش نیز کمتر خواهد بود و نتیجتاً جابه‌جایی‌ها هم کمتر است.
- حداکثر جابه‌جایی افقی در قله تپ‌ها رخ می‌دهد. با حرکت از

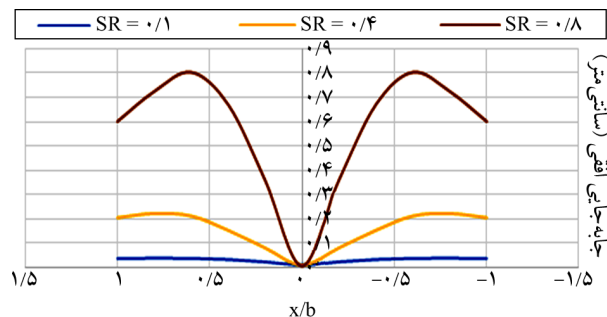


شکل (۸): نمودار جابه‌جایی افقی برای زمین تپ سه تحت برخورد موج ریکر.

۴-۲-۱- جابه‌جایی‌های قائم

۴-۲-۱-۱- زمین تپ I

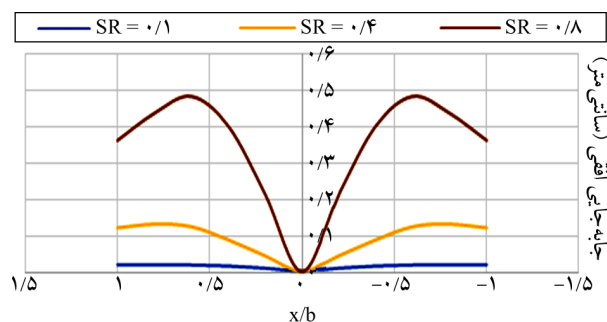
با توجه به شکل (۹) با افزایش ضریب شکل، جابه‌جایی قائم نیز افزایش می‌یابد و روند تغییرات شدیدتر می‌شود. در هر منحنی جابه‌جایی از پای دامنه به سمت قله افزایش یافته به طوری که در فاصله حدود $x/b = 0.6$ به حداکثر مقدار خود می‌رسد و از آن پس روند نزولی پیدا می‌کند و در قله جابه‌جایی نداریم.



شکل (۹): نمودار جابه‌جایی قائم برای زمین تپ یک تحت برخورد موج ریکر.

۴-۲-۱-۲- زمین تپ II

با توجه به شکل (۱۰) روند جابه‌جایی مشابه تپ یک است و نسبت به تپ یک، مقادیر کمتر شده‌اند.



شکل (۱۰): نمودار جابه‌جایی قائم برای زمین تپ دو تحت برخورد موج ریکر.

8. Pedersen, H., Le Brun, B., Hatzfeld, D., Campillo, M., and Bard, P.Y. (1994) Ground-motion amplitude across ridges. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **84**(6), 1786-1800.
9. Takenaka, H., Kennett, B.L.N., and Fujiwara, H. (1996) Effect of 2-D topography on the 3-D seismic wavefield using a 2.5-D discrete wavenumber-boundary integral equation method. *Geophysical Journal International*, **124**(3), 741-755.
10. Kamalian, M., Gatmiri, B., and Sohrabi-Bidar, A. (2003a). On time-domain two-dimensional site response analysis of topographic structures by BEM. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, **5**(2), 35-45.
11. Kamalian, M., Jafari, M.K., Sohrabi-bidar, A., Razmkhah, A., and Gatmiri, B. (2006) Time-domain two-dimensional site response analysis of non-homogeneous topographic structures by a hybrid BE/FE method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **26**(8), 753-765.
12. Sohrabi-Bidar, A. (2008) *Seismic Behavior Assessment of Surface Topographies Using Time-Domain 3D Boundary Elements Method*. Ph.D. Thesis, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Iran.
13. Sohrabi-Bidar, A., Kamalian, M., and Jafari, M.K. (2009) Time-domain BEM for three-dimensional site response analysis of topographic structures. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, **79**(12), 1467-1492.
14. Sohrabi-Bidar, A., Kamalian, M., and Jafari, M.K. (2010) Seismic response of 3-D Gaussian-shaped valleys to vertically propagating incident waves. *Geophysical Journal International*, **183**(3), 1429-1442.
15. Sohrabi-Bidar, A., Kamalian, M., and Jafari, M.K. (2011) Seismic waves scattering in three-dimensional homogeneous media using time-domain boundary element method. *Earth and Space Physics*, **38**, 23-40.
16. Assimaki, D. and Gazetas, G. (2004) Soil and topographic amplification on canyon banks and the 1999 Athens earthquake. *Journal of Earthquake Engineering*, **8**(01), 1-43.

قله به سمت دامنه تپه از جابه‌جایی افقی کاسته می‌شود تا در پای دامنه به کمترین مقدار خود می‌رسد.

- جابه‌جایی قائم در قله صفر است. با حرکت از قله به سمت دامنه، ابتدا جابه‌جایی افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

- با افزایش ضریب شکل، جابه‌جایی افقی و قائم افزایش می‌یابند و با بزرگ‌تر شدن ضریب شکل، بازه تغییرات عددی هم بزرگ‌تر می‌شود؛ به عبارت دیگر با افزایش ضریب شکل، علاوه بر بزرگ‌نمایی، کوچک‌نمایی نیز تشدید می‌شود.

مراجع

1. Kramer S.L. (1996) *Geotechnical Earthquake Engineering*. Chapters: 2, 3, 5, 7, and 8, and Appendix A.
2. 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**(5), 1393-1411.
3. 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**(5), 1603-1609.
4. Spudich, P., Hellweg, M., and Lee, W.H.K. (1996) Directional topographic site response at Tarzana observed in aftershocks of the 1994 Northridge, California, earthquake: implications for mainshock motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **86**(1B), S193-S208.
5. Naganoh, M., Kagami, H., and Muratami, H. (1993) 'Effects of surface and subsurface irregularities'. In: *Earthquake Motions and Ground Conditions*. The Architectural Institute of Japan, Tokyo.
6. Boore, D.M. (1972) A note on the effect of simple topography on seismic SH waves. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **62**(1), 275-284.
7. Bouchon, M. (1973) Effect of topography on surface motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **63**(2), 615-632.

17. Wang, Y. (2015) Frequencies of the Ricker wavelet. *Geophysics*, **80**(2), A31-A37.
18. Nazari, A., Baziar, M., and Shahnazari, H. (2010) Seismic effects of two-dimensional semi-sine shaped hills on ground motion response electronic. *Journal of Geotechnical Engineering*, **15**.

Evaluation of the Effects of Topography on the Horizontal and Vertical Displacement of Semi-Sine Shaped Hills against Ricker Waves

Mahyar Nobakht¹, Masood AmelSakhi^{2*} and Fatemeh Sheshpari³

1. M.Sc. Graduate of Geotechnical Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran; *Corresponding Author, email: Mamelsakhi@yahoo.com
3. M.Sc. Graduate of Geotechnical Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran

This study presents the results of a numerical study on seismic behavior of two-dimensional semi-sine shaped hills that were subjected to vertically propagating incident SV wave of the Ricker wavelet. In the case of 2D response analysis of hills, different researchers studied the seismic response of triangular shaped hills under vertically propagating SH waves. Earthquakes are natural events that can have considerable economic and social injuries and have effects on people life and their environment. Geotechnical earthquake engineering has been noticed particularly in recent decades. Soil mass and soil structure response analysis against earthquake movements is one of the most important practical concepts in geotechnical earthquake engineering. This paper used finite difference method and represented that topography has specific effect on acceleration distribution in different points of roughness. The finite difference software is used to model and analyze the different sizes of the hills. Concentration is on topographic effects, so parameters such as the shape factor (the ratio of the height to half width of the hill) and the type of ground took into account in this research. The medium was assumed to have a linear elastic constitutive behavior. An important factor that affects on numerical results is the shape factor of the hills. Therefore, we modeled semi-sine hills with different shape factors (0.1, 0.4 and 0.8) subjected to Ricker wavelet with constant frequency on grounds with different properties that differ from each other in density and shear velocity (three types). The finite difference software used to run the numerical analyses was Flac 2D. The aim of this project was to investigate the response of topography effects on semi-sine shaped hills under Ricker wavelet, which is the second derivative of Gauss function. In this research, the horizontal and vertical displacements of different points on hills were calculated. Also, amplification factors were calculated from the ratio of horizontal components of motion to displacements of free-field model. The results are shown that both horizontal and vertical displacements were increased with a change in the shape factor as well as the amplification. It is shown that changing ground type from one to three, the displacements were reduced. Obtained results show that most horizontal displacement occurs in the top of the hill and as we reach the lowest height of the hill, this displacement decreases. Thus it can be seen that most amplification occurs in the top of the hill for different numerical models. The vertical displacement in top of the hill is zero and with decreasing the height of the hill, this vertical displacement increases and then decreases. Based on obtained results, the most vertical displacement occurs in the height between the top and down of the hill for different finite difference numerical models. Another important result is that these vertical and horizontal displacements depend mostly on soil geotechnical behavior of the hill. It is obvious that the shape factor of the hill affects on the obtained numerical results. An important factor that is studied in this research is the shape factor of the hill. Another important factor on which results are dependent is input motion frequencies. It is clear that when natural frequencies of the hill and the input motion frequencies are near to each other, the vertical and horizontal displacement increases. When the hill steep increases, the obtained results increase because of gathering most energy on top of the hill in a narrow band area.

Keywords: Semi-Sine Hills, Ricker Wavelet, Topography.