

بررسی و مقایسه نتایج پارامتر ضریب بزرگ‌نمایی خاک حاصل از تحلیل دینامیکی خطی و غیرخطی (مطالعه موردی: شهر ارومیه)

میلادمحمدیان^{۱*}، فاطمه قاسمپور^۲، و عباس مهدویان^۳

^۱ کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ کارشناس ارشد مهندسی خاک و پی، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۳ دانشیار، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۴)

چکیده

مدارک مستند فراوانی براساس مطالعات دفتری و مشاهدات میدانی وجود دارد که نشان می‌دهند هنگام وقوع زلزله، محیط خاکی زیر سازه‌ها و پدیده اندرکنش خاک و سازه، نیروهای لرزه‌ای وارد به سازه را افزایش داده به طوری که این افزایش، در موارد زیادی به خرابی و فروریزش سازه‌ها منجر شده است. مشاهدات عینی زلزله‌های گذشته، تجربیات و مدل‌سازی‌ها نشان می‌دهند که شدت و محتوای فرکانسی امواج زلزله ثبت شده روی سطح زمین، تحت تأثیر رفتار غیرخطی خاک ساختگاه قرار دارد. اطلاع از شدت و چگونگی این تأثیر برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و شریان‌های حیاتی ضروری است؛ از این رو در این پژوهش برای ارزیابی رفتار غیرخطی خاک، تحلیل‌های دینامیکی خطی معادل و غیرخطی در حوزه زمان روی مدل‌های یک‌بعدی از لایه خاک زیرسطحی با استفاده از اطلاعات گمانه‌های حفر شده در شهر ارومیه انجام و نتایج دو تحلیل با یکدیگر مقایسه شده است. در این تحلیل‌ها، از یازده شتاب‌نگاشت به‌عنوان حرکت ورودی برای تحلیل استفاده شد. با مقایسه شتاب‌های طیفی در سطح زمین در دوره‌تناوب‌های مختلف با مقادیر متناظر روی سنگ بستر لرزه‌ای، ضریب بزرگ‌نمایی شتاب طیفی در دوره‌تناوب‌های مختلف ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در دوره‌تناوب‌های ۰/۱ تا ۱ ثانیه، بیشترین مقدار بزرگ‌نمایی و بیشترین تفاوت بین دو تحلیل وجود دارد. به‌علاوه، مقدار ضریب بزرگ‌نمایی خاک بر اثر رخداد زلزله‌هایی با دوره بازگشت بزرگ‌تر، به‌علت شدیدتر شدن رفتار غیرخطی خاک، کمتر است و این بزرگ‌نمایی‌ها در دوره‌تناوب‌های بیشتری رخ می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل دینامیکی غیرخطی، اثرهای ساختگاهی، بزرگ‌نمایی، اندرکنش دینامیکی، پاسخ طیفی

۱ مقدمه

مهندسان ژئوتکنیک و زلزله مدت‌هاست که متوجه تأثیر شدید خصوصیات خاک زیرسطحی بر شدت و محتوای فرکانسی امواج زلزله به ثبت رسیده روی سطح زمین شده‌اند. بررسی‌هایی که در اواخر دهه شصت و اوایل دهه هفتاد میلادی انجام شد، وجود رابطه‌ای غیرخطی بین تنش و کرنش در خاک را نشان می‌داد (سید و ایدریس، ۱۹۶۹؛ هاردین و درنویچ، ۱۹۷۲ و ایدریس و سید، ۱۹۶۸). با این حال، تأثیر رفتار غیرخطی خاک بر حرکت زمین تا پیش از زمین‌لرزه ۱۹۸۹ لوماپریتا در کالیفرنیا آمریکا با بزرگای ۶/۹ و زمین‌لرزه ۱۹۹۴ نورتریچ در سان‌فرناندو آمریکا با بزرگای ۶/۷، به خوبی بررسی نشده بود. در زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا در کالیفرنیا به وضوح تأثیر رفتار غیرخطی خاک در یک زلزله قدرتمند به نمایش درآمد (چین و آکی، ۱۹۹۱؛ برزنو، ۲۰۰۲؛ شف و بروزا، ۲۰۰۴ و باردن و کاپوسکار، ۲۰۰۴). در این زلزله‌ها مشاهده شد که رفتار غیرخطی خاک باعث بروز تغییر شکل‌های ماندگار در مناطقی دورتر از منبع لرزه و کاهش سختی خاک تا ۸۰٪ و کاهش سرعت موج برشی خاک تا حدود ۵۰٪ می‌شود (ون، ۱۹۹۴؛ برزنو و همکاران، ۱۹۹۵؛ فیلد و همکاران، ۱۹۹۷ و برجا و همکاران، ۱۹۹۹). از دیگر پژوهش‌هایی که منجر به جمع‌آوری اطلاعات دقیق و قابل اطمینان برای بررسی رفتار غیرخطی خاک شده است، پژوهش‌های اسمارت (SMART) در تایوان بود (آبراهامسون و همکاران، ۱۹۸۷ و آکی، ۲۰۰۳). تحلیل نگاشت‌های ثبت شده در این پژوهش، حاکی از رفتار غیرخطی خاک است. به علاوه، کاهش سرعت موج برشی در بیشتر شتاب‌های بزرگ‌تر از $g/15$ مشاهده شده بود. در اغلب بررسی‌های ریزپهنه‌بندی که تاکنون برای شهرهای بزرگ ایران انجام گرفته، از مدل‌های خطی معادل استفاده شده است (اکبری و همکاران، ۲۰۱۱؛ نائینی و زرینچه، ۲۰۱۰؛ جایکا، ۲۰۰۰؛

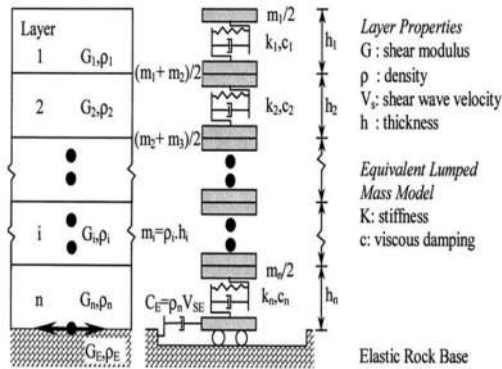
قنبری و همکاران، ۲۰۱۰؛ حائری و بناب، ۲۰۰۰ و فیلد و همکاران، ۱۹۹۸). این مدل‌ها در مقایسه با مدل‌های غیرخطی، پاسخ غیرخطی خاک را به خوبی نمایش نمی‌دهند، اما به صورت گسترده‌ای در مهندسی ژئوتکنیک لرزه‌ای کاربرد پیدا کرده‌اند و در نرم‌افزارهای کامپیوتری نیز جایگاه ویژه‌ای یافته‌اند؛ برای مثال، در نرم‌افزارهایی مانند EERA و SHAKE از این مدل‌ها استفاده شده است (لیسمر و همکاران، ۱۹۷۲؛ باردت و همکاران، ۲۰۰۰ و استریتر و همکاران، ۱۹۷۴). نتایج و خروجی‌های روش خطی معادل، بیش از مقدار واقعی جنبش و پاسخ زلزله در واقعیت برآورد می‌شود (لیام فین و همکاران، ۱۹۷۸ و چوب‌بستی و همکاران، ۲۰۱۴). این پدیده به علت شبه-تشدیدهای اتفاق افتاده در دوره‌تناوب‌های متناظر با دوره‌تناوب ستون خاک در حالت کشسان است. علاوه بر این، رفتار خاک در تحلیل به روش خطی معادل، خطی باقی می‌ماند که در این صورت تغییر شکل‌های ماندگار خاک به درستی به نمایش در نمی‌آید. از طرف دیگر، مهندسان از مدل‌های غیرخطی به علت نیاز به پارامترهای ورودی متعدد، کمتر استفاده می‌کنند. در سال‌های اخیر، از مدل‌های غیرخطی در پژوهش‌های تأثیر ساختگاه در ایران و سایر نقاط جهان استفاده شده است (کندرن، ۱۹۶۳؛ هارتزل و همکاران، ۲۰۰۲؛ آرچولتا و همکاران، ۲۰۰۳ و آسیماکی و همکاران، ۲۰۰۸).

۲ روش تحلیل

۱-۲ مدل خاک

تاکنون مدل‌های زیادی برای در نظر گرفتن رفتار غیرخطی خاک پیشنهاد شده است، اما هنگام استفاده از این مدل‌ها باید توجه داشت که به کدام یک از پارامترهای خصوصیات خاک نیاز است و شدت تأثیر تغییرات در این پارامترها بر پاسخ ارائه شده با مدل چه اندازه خواهد بود. با توجه به این موارد، به نظر می‌رسد مدل هذلولوی

منفذی) را در نظر بگیرند؛ بنابراین برای در نظر گرفتن تمام پارامترهای رفتاری خاک، باید از تحلیل غیرخطی در حوزه زمان استفاده کرد.



شکل ۱. لایه‌های افقی آبرفت که با سیستم جرم و فنر ایدئال‌سازی شده است (نیومارک، ۱۹۵۹).

(هیپربولیک) اصلاح شده مناسب‌ترین گزینه برای بررسی‌های ریزپهنه‌بندی باشد؛ زیرا این مدل برای گستره وسیعی از خاک‌های ماسه و رسی مشاهده شده در گمانه حفر شده در شهر ارومیه قابل استفاده است و اصلی‌ترین پارامترهای مورد نیاز این مدل برای تحلیل غیرخطی با روش تنش کل، از منحنی‌های کاهش سختی و افزایش میرایی با افزایش کرنش قابل استخراج است. این منحنی-ها، از آزمایش‌های دوره‌ای اجرا شده روی نمونه خاک-های مشاهده شده در دو گمانه شهر ارومیه به‌دست آمده‌اند. پایه اصلی این مدل، در سال ۱۹۶۳ ارائه شد (ماتاسویچ، ۱۹۹۳).

۲-۲ تحلیل یک‌بعدی خاک

اصلی‌ترین فرض در تحلیل یک‌بعدی خاک، انتشار امواج برشی افقی (SH) از میان لایه‌های آبرفتی افقی است. این امواج را می‌توان تخمین قابل قبولی از جنبش نیرومند زمین در نظر گرفت. در این نوع تحلیل‌ها می‌توان خاک را به‌صورت سیستم جرم و فنر کلومین مدل کرد. در سال ۱۹۷۲، برای مدل کردن پاسخ غیرخطی خاک تحت تأثیر شتاب‌نگاشت مشخص و مقادیر اولیه مدول برشی و میرایی برای هر لایه روش خطی معادل پیشنهاد شد (هشاش و پارک، ۲۰۰۱). حل مسئله در این روش به‌صورت اعمال تکرار بود. پس از آن، پژوهش‌هایی برای بررسی تأثیر شدت و محتوای فرکانسی امواج زلزله بر پارامترهای دینامیکی خاک انجام شد (آسیماکي و همکاران، ۲۰۰۰) که در نهایت منجر به ارائه مدل‌های جدیدتری شد. مزیت این مدل‌های جدید در این است که می‌توانند امواج زلزله را که فرکانس زیادی دارند و در مدل‌های قدیمی تر فیلتر می‌شدند، در محاسبات وارد کنند، اما این مدل‌ها نمی‌توانند رفتار غیرخطی خاک (مانند کاهش مدول برشی در اثر تعداد چرخه‌های بارگذاری، کرنش‌های باقی‌مانده و اضافه فشار آب

۳ روش‌های تحلیل پاسخ زمین

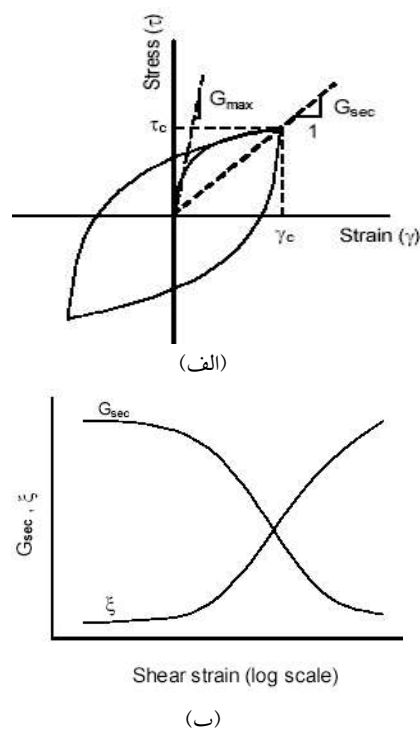
تحلیل پاسخ زمین می‌تواند با مدل‌سازی یک، دو و سه‌بعدی انجام شود. این روش‌ها از نظر فرضیات هر روش برای مدل کردن پاسخ زمین، توانایی مدل کردن هندسه مسئله و موج و روش تحلیل استفاده شده برای حل معادلات حرکت، متفاوت هستند. تحلیل پاسخ یک‌بعدی زمین برای ساختگاه‌های افقی یا کم‌شیب مفید است. در این‌گونه ساختگاه‌ها، مرز لایه‌ها موازی است. سطوح شیب‌دار و غیرخطی زمین، سازه‌های سنگین و سخت، سازه‌های مدفون، دیوارها و تونل‌ها همگی نیاز به تحلیل دو یا حتی سه‌بعدی دارند. از نظر رفتاری، با توجه به رفتار غیرخطی خاک می‌توان هر کدام از روش‌های یک، دو و سه‌بعدی را به‌صورت خطی معادل و غیرخطی مدل کرد. از بین این روش‌ها، روش خطی معادل به دلیل سادگی نسبی و پارامترهای آشنا و ساده آن، مقبولیت بیشتری بین مهندسان دارد. روش‌های تحلیل بر پایه توابع تبدیل بنا شده‌اند. برای مسئله پاسخ زمین می‌توان از توابع تبدیل جهت بیان پارامترهای مختلف پاسخ مانند جابه‌جایی، سرعت، شتاب، تنش و کرنش برشی برحسب

مدول برشی و میرایی سازگار با کرنش‌های مؤثر در هر لایه به کار می‌رود. در روش خطی معادل، از منحنی‌های تغییرات مدول برشی و ضریب میرایی نسبت به کرنش برشی در هر لایه مجزا استفاده می‌شود که حاصل آن، تولید نتایجی است که همخوانی بیشتری با طبیعت دارد (شکل ۲).

۲-۳ روش غیرخطی

روش خطی معادل، روشی متداول در محاسبات است و برای بسیاری از مسائل نتایج منطقی ارائه می‌دهد، اما همچنان روشی تقریبی برای رفتار غیرخطی پاسخ لرزه‌ای زمین است. روش دیگر، تحلیل پاسخ غیرخطی واقعی توده خاک با بهره‌گیری از انتگرال‌گیری مستقیم عددی در حوزه زمان است. با انتگرال‌گیری از معادله حرکت در گام‌های کوتاه زمانی، هر مدل تنش-کرنش خطی یا غیرخطی یا مدل رفتاری پیچیده‌ای را می‌توان حل کرد. در ابتدای هر گام زمانی به رابطه تنش-کرنش رجوع می‌شود تا خصوصیات مناسب خاک در آن گام زمانی مشخص شود. با این روش، یک رابطه تنش-کرنش غیرخطی غیرکشسان را می‌توان در یک مجموعه با گام‌های کوچک افزایشی، بصورت خطی به کاربرد. برخلاف روش خطی معادل، روش غیرخطی را می‌توان برحسب تنش‌های مؤثر فرمول‌بندی کرد تا امکان مدل کردن نحوه تولید، توزیع مجدد و چگونگی از بین رفتن فشار منفذی در خلال و پس از لرزش‌های زلزله فراهم شود. از طرف دیگر، لازمه روش‌های غیرخطی، وجود یک رابطه تنش-کرنش یا مدل رفتاری قابل اعتماد است. پارامترهایی که چنین مدل‌هایی را تشریح می‌کنند، به خوبی مدل‌های خطی معادل، تدوین نشده‌اند؛ بنابراین انجام یک مجموعه کامل آزمون‌های آزمایشگاهی و صحرایی جهت ارزیابی پارامترهای مدل غیرخطی ضروری است.

یک پارامتر جنبش ورودی مانند شتاب بستر سنگی استفاده کرد. چون این روش بر پایه اصل جمع آثار قوا است؛ لذا تنها محدود به تحلیل سیستم‌های خطی است. رفتار غیرخطی را می‌توان با استفاده از روش تکرار مراحل با در نظر گرفتن خواص خطی معادل خاک تخمین زد.



شکل ۲. مدل خطی معادل (الف) منحنی تغییرات تنش نسبت به کرنش (ب) تغییرات مدول برشی و میرایی نسبت به دامنه کرنش برشی.

۱-۳ روش خطی معادل

از آنجایی که خاک حین زلزله یا سایر بارهای دینامیکی، رفتار غیرخطی دارد؛ جهت تعیین پاسخ منطقی زمین در مسائل عملی، فرض رفتار خطی خاک باید اصلاح شود. رفتار واقعی غیرخطی هیستریتیک تنش-کرنش خاک‌های بارگذاری شده به صورت چرخه‌ای را می‌توان با در نظر گرفتن خواص معادل خطی خاک تعیین کرد. در رهیافت خطی معادل، ویژگی غیرخطی مدول برشی و میرایی برای تعیین ویژگی‌های خطی معادل خاک، با استفاده از یک فرایند تکرار شونده برای یافتن مقادیر

جدول ۱. اطلاعات گمانه

Layer	Depth (m)	Material Name	Thickness (m)	Unit Weight (KN/m ³)	Velocity (m/sec)	Modulus Curve	Damping Curve
1	2	CL(PI=30.7)	2	18.1	319	Vucetic & Dorby	Vucetic & Dorby
2	6	ML(PI=2.9)	4	18.1	422	Vucetic & Dorby	Vucetic & Dorby
3	9	CL-ML(PI=5.6)	3	18.1	449	Vucetic & Dorby	Vucetic & Dorby
4	12	ML(PI=0.2)	3	17.8	458	Vucetic & Dorby	Vucetic & Dorby
5	15	CL-ML(PI=6.6)	3	18.2	461	Vucetic & Dorby	Vucetic & Dorby
6	18	ML(PI=2.1)	3	18.7	463	Vucetic & Dorby	Vucetic & Dorby
7	21	CL-ML(PI=5.7)	4	18	464	Vucetic & Dorby	Vucetic & Dorby
8	24	CL(PI=21.3)	3	18.4	470	Vucetic & Dorby	Vucetic & Dorby
Bedrock	-	-	-	18.9	750		

جدول ۲. اطلاعات زلزله‌ها و شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده

Station	Record No.	Coordinate		Date Y/M/D	PGA (Cm/s ²)	Magnitude			Distance (Km)
		N	E			M _b	M _s	M _w	
Abbhar	1362/1	36.92	48.97	1990/6/20	566	6.2	7.4	-	35
Zarrat	1492/16	29.1	52.83	1994/6/20	310	5.9	5.9	-	34
Firuzabad	1493/2	28.83	52.56	1994/6/20	280	5.9	5.9	-	7
HajiAbad	3040/03	28.21	54.2	2003/7/10	138.1	-	5.9	6	27
Gifan	1726/2	37.89	57.48	1997/2/4	132	-	6.4	6.8	25
Razan	2756_01	35.393	49.033	2002/6/22	196	-	6.4	6.5	40
Varzaqan	5579/01	38.52	46.86	2012/08/11	426	-	-	6.1	35
Haris	5540/03	38.45	46.75	2012/08/11	270	-	-	6.2	39
Kariq	1833/02	37.99	48.15	1997/02/28	615	-	-	6	11
Lali	3938	32.35	49.36	2005/12/26	292	-	-	5.2	25
Siyahoo	2325/01	56.66	27.92	2000/03/05	213	-	-	5.4	37

قسمتی از اطلاعات زلزله‌های مورد استفاده در تهیه این تحقیق در جدول (۲) آورده شده است.

۶ منحنی تغییرات مدول برشی و ضریب میرایی برحسب کرنش

منحنی نسبت مدول برشی و میرایی خاک برحسب کرنش برای انواع خاک ارائه شده است. منحنی‌های مورد استفاده در این پژوهش برای مصالح رس در شکل ۳ نشان داده شده است.

۷ مقایسه تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی برای گمانه‌های انتخابی

نرم‌افزار DEEPSOIL قابلیت انجام هر دو تحلیل خطی معادل و غیرخطی را دارد. در این بخش، نتایج مربوط به

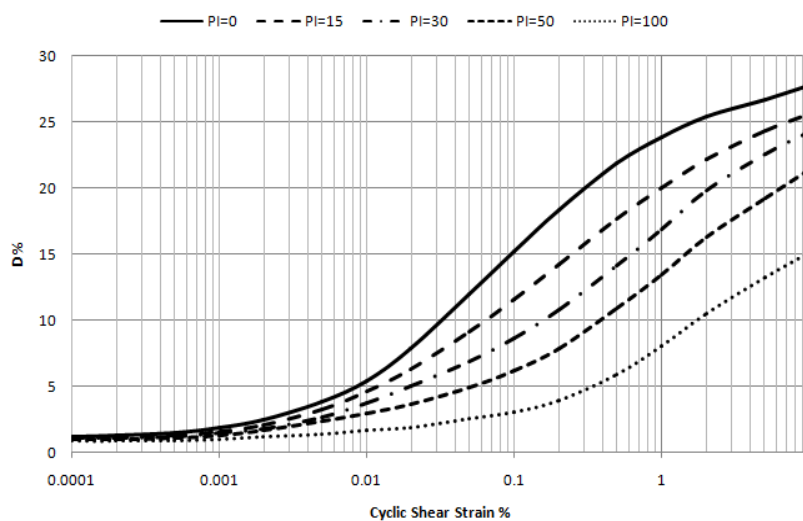
۴ استخراج و دسته‌بندی اطلاعات گمانه‌های انتخابی برای تحلیل

تحلیل رفتار خاک، مستلزم تعریف لایه‌های خاک در مقطع مورد مطالعه و مشخصات جنبش اولیه اعمال شده به آن مقطع است. مهم‌ترین پارامترهای مقطع نماینده خاک که در بررسی‌های تخمین رفتار خاک در حالت دینامیک مورد نیاز است شامل: ضخامت، وزن مخصوص خاک، بیشینه مدول برشی، سرعت موج برشی، شتاب ورودی زمین در محل گمانه و نوع خاک است.

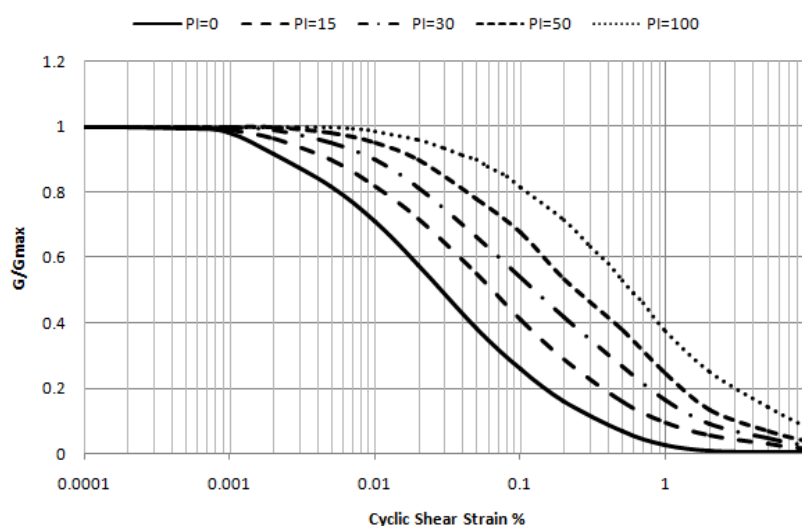
۵ شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده

در این پژوهش از اطلاعات یازده شتاب‌نگاشت استفاده می‌شود. این شتاب‌نگاشت‌ها در حوزه فرکانس به مقیاس درآمده‌اند و شکل طیفی یکسان با بیشینه شتاب‌های متفاوت g ۰/۲ تا g ۰/۵ و با گام‌های g ۰/۰۵ دارند.

تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی حاصل از نرم افزار DEEPSOIL بیان و با یکدیگر مقایسه می شوند. بعد از



(الف)



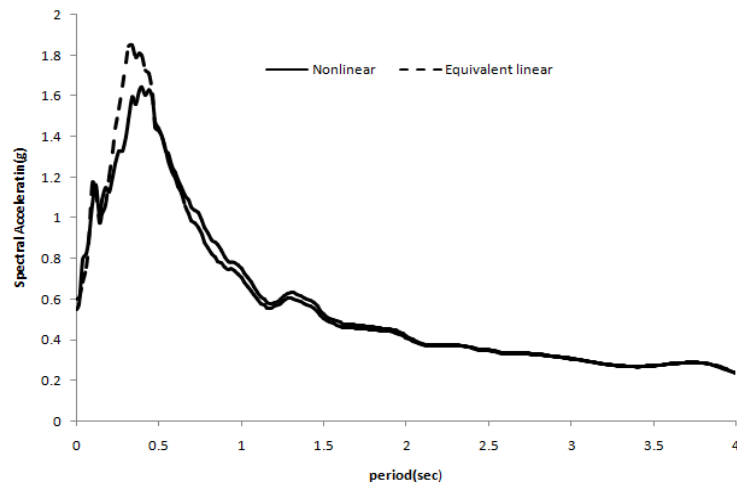
(ب)

شکل ۳. منحنی استاندارد برای رس (الف) میرایی (ب) مدول برشی

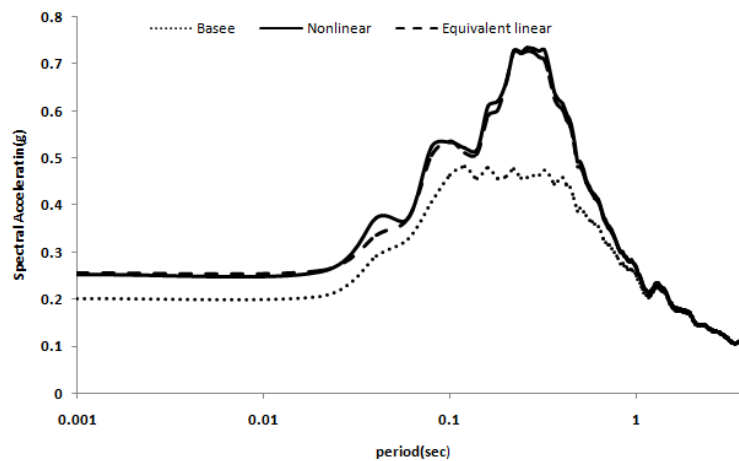
حالتی که محورهای مختصات را به صورت خطی نشان دهیم، تفاوت دو تحلیل خطی معادل و غیرخطی به درستی در تمامی بازه های دوره تناوب آشکار نیست؛ لذا از مقیاس لگاریتمی برای این محورها استفاده شده است (شکل ۵).

انجام تحلیل، منحنی های طیف شتاب برای بیشینه شتاب های $0.2g$ تا $0.5g$ تهیه می شود.

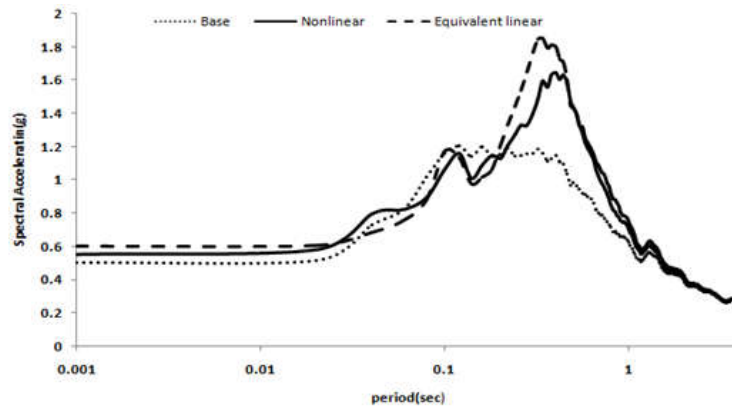
همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، هنگام مقایسه طیف شتاب متوسط در سطح زمین حاصل از تحلیل خطی معادل با طیف شتاب متوسط در سطح زمین حاصل از تحلیل غیرخطی برای گمانه مورد نظر، در



شکل ۴. مقایسه تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی در حالتی که محورهای مختصات خطی هستند.



(الف)



(ب)

شکل ۵. طیف متوسط شتاب در سطح زمین برای تحلیل خطی معادل (خط چین) و تحلیل غیرخطی (خط پر) و طیف متوسط شتاب در سنگ بستر لرزه‌ای

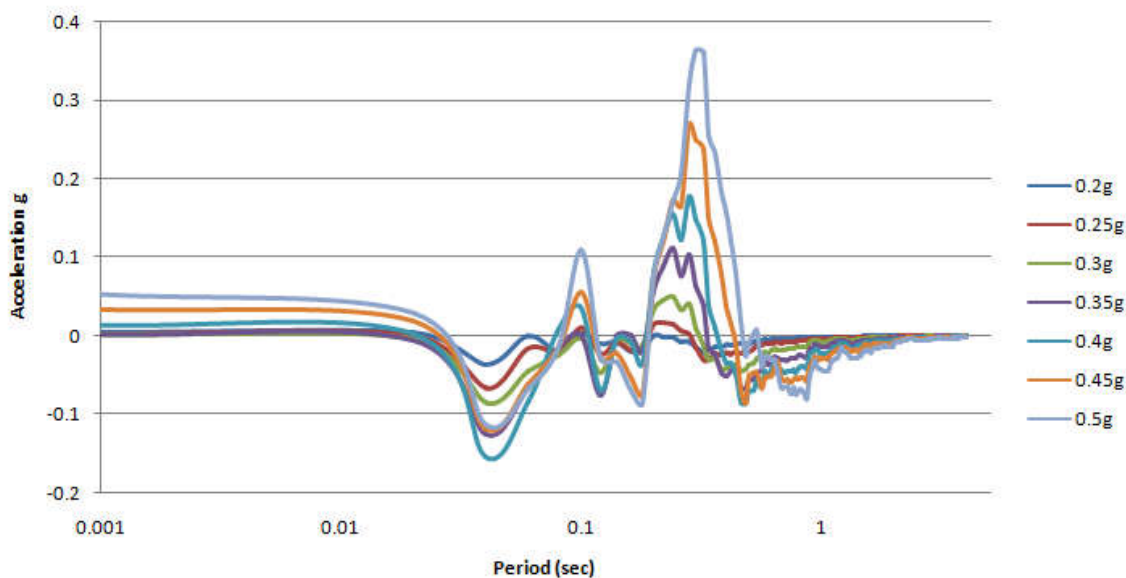
(نقطه چین) با بیشینه شتاب (الف) 0.2 g (ب) 0.5 g

۰/۱۲ تا ۰/۲ ثانیه، منحنی رسم شده پایین محور صفر (افقی) قرار دارد؛ یعنی در این دوره تناوب‌ها، شتاب تحلیل خطی معادل نسبت به تحلیل غیرخطی کمتر است. در دوره تناوب‌های دیگر، این نتیجه برعکس است. می‌توان گفت در دوره تناوب‌های بیش از ۱ ثانیه، اختلاف طیف‌های شتاب دو تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی بسیار ناچیز است.

۸ ضریب بزرگ‌نمایی خاک

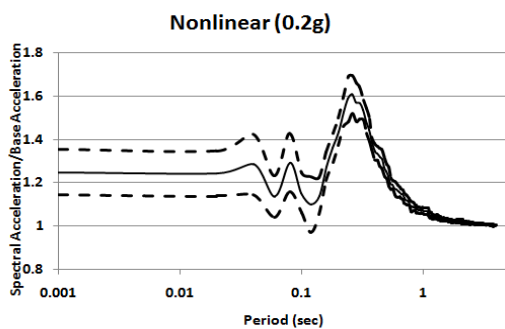
پدیده بزرگ‌نمایی یکی از اثرهای ساختگاهی حین وقوع زلزله است. در این پدیده، امواج زلزله هنگام عبور از لایه‌های خاک ممکن است تقویت و دچار بزرگ‌نمایی شوند. در این حالت، شتاب بیشینه در سطح زمین بیشتر از شتاب بیشینه در سنگ‌بستر لرزه‌ای می‌شود. عکس این حالت نیز ممکن است رخ دهد: امواج میرا شوند و شتاب کمتری در سطح زمین ثبت شود. البته باید توجه داشت که عوامل دیگری از جمله مشخصات موج زلزله، نوع خاک، توپوگرافی سطحی زمین و سختی سنگ بستر نیز می‌تواند

با توجه به منحنی‌های رسم شده برای گمانه (شکل ۵)، معلوم می‌شود که با افزایش شتاب سنگ بستر از بیشینه شتاب ۰/۲ g تا ۰/۵ g، اختلاف بین طیف‌های شتاب رسم شده در سطح زمین برای تحلیل خطی معادل و غیرخطی نیز افزایش می‌یابد. این اختلاف برای دوره‌تناوب‌های بیش از یک ثانیه در تمامی بیشینه شتاب‌ها، بسیار کم و نزدیک به صفر است. بیشترین اختلاف بین منحنی تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی، تقریباً مربوط به دوره‌تناوب‌های بین ۰/۱ تا ۱ ثانیه است. برای مقایسه بهتر و نمایش دقیق‌تر اختلاف بین نتایج می‌توان از منحنی‌های اختلاف تحلیل خطی معادل با تحلیل غیرخطی استفاده کرد. طیف به‌دست‌آمده از تفاضل دو طیف شتاب خطی معادل و شتاب غیرخطی برای گمانه، در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به منحنی‌های این شکل به این نتیجه می‌رسیم که اختلاف طیف‌های شتاب دو تحلیل در دوره‌تناوب‌های بیش از ۰/۰۴ ثانیه و کمتر از ۰/۵ ثانیه بیشتر نمایان است. در دوره‌تناوب‌های بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۸ ثانیه و دوره‌تناوب‌های

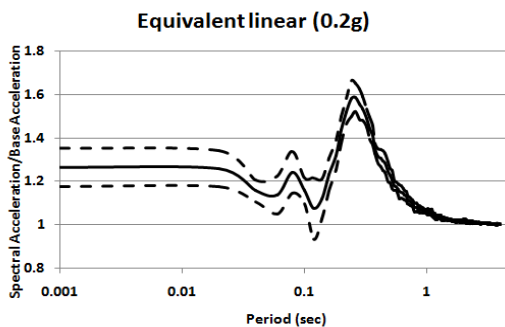


شکل ۶. منحنی‌های اختلاف طیف شتاب متوسط در سطح زمین بین دو تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی برای تمامی شتاب‌های بیشینه

بزرگ‌نمایی شتاب در سطح زمین است. همان‌طور که در شکل ۵ نیز مشاهده شد، طیف شتاب در سطح زمین نسبت به طیف شتاب سنگ بستر بزرگ‌نمایی دارد. از منحنی‌های رسم شده در شکل ۵ نتیجه می‌شود که پدیده تشدید در دوره‌تناوب‌های کمتر از یک ثانیه اتفاق می‌افتد و بیشترین تشدید در دوره‌تناوب‌های ۰/۱ تا ۱ ثانیه است.



(الف)

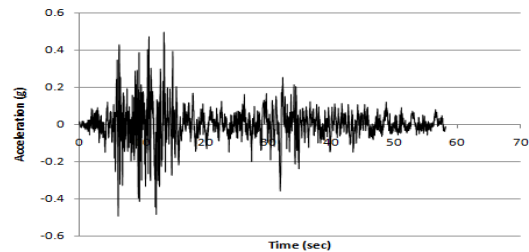


(ب)

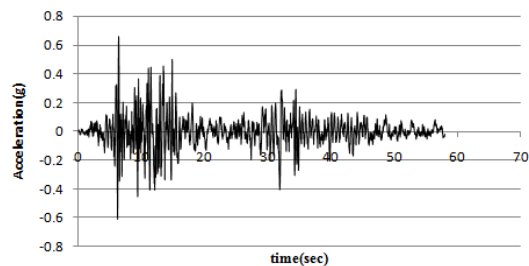
شکل ۸ ضرایب بزرگ‌نمایی طیفی (خط‌چین) به همراه منحنی خطای استاندارد (خطوط توپر) آن برای بیشینه شتاب $0.2g$ (الف) تحلیل غیرخطی (ب) تحلیل خطی معادل

برای محاسبه ضریب بزرگ‌نمایی کافی است منحنی نسبت طیف شتاب به دست آمده در سطح زمین به طیف شتاب بستر سنگی برحسب دوره‌تناوب رسم شود. این کار برای گمانه موردنظر انجام شد (شکل ۸). در این شکل به‌منظور نمایش توزیع پراکندگی داده‌های به دست آمده، منحنی انحراف استاندارد نیز رسم شده

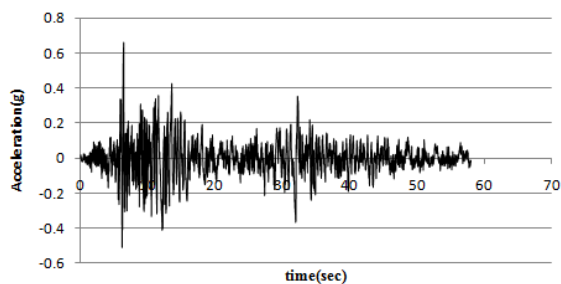
در مقدار ضریب بزرگ‌نمایی تأثیرگذار باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت که امواج زلزله در خاک، در بعضی دوره‌تناوب‌ها تقویت و در بعضی دیگر میرا می‌شوند.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۷. نمایش پدیده تشدید با استفاده از منحنی شتاب-زمان (الف) تاریخچه زمانی شتاب در سنگ بستر لرزه‌ای (ب) تاریخچه زمانی شتاب در سطح زمین برای تحلیل خطی معادل (ج) تاریخچه زمانی شتاب در سطح زمین برای تحلیل غیرخطی

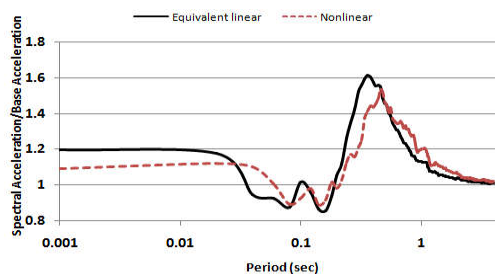
منحنی تاریخچه زمانی شتاب در سنگ بستر در شکل ۷-الف برای شتاب بیشینه $0.5g$ رسم شده است. برای مشاهده پدیده تشدید در این گمانه، تاریخچه زمانی شتاب در سطح زمین برای هر دو تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی در شکل ۷-ب و ۷-ج نشان داده شده است. شتاب بیشینه در این شکل‌ها، به‌خوبی نشان‌دهنده

ثانیه است. البته در شتاب‌های بیشتر از 0.3 g اختلاف در دوره‌تناوب‌های بیشتر از 0.1 نیز مشاهده می‌شود و در دوره‌تناوب‌های بیشتر از 1 ثانیه و کمتر از 0.1 ثانیه، اختلافی در منحنی‌های رسم شده برای تحلیل خطی و غیرخطی مشاهده نمی‌شود. ضرایب بزرگ‌نمایی طیفی رسم شده را می‌توان در تحلیل خطی معادل با بیشینه شتاب‌های متفاوت 0.2 g تا 0.5 g در یک منحنی رسم و با یکدیگر مقایسه کرد (شکل ۱۰-ب). این مقایسه نشان می‌دهد که در تحلیل خطی معادل برای دوره‌تناوب‌های کمتر از حدود 0.3 ثانیه با افزایش شتاب بیشینه، ضریب بزرگ‌نمایی کاهش می‌یابد و برای دوره‌تناوب‌های بزرگ‌تر از آن، با افزایش شتاب بیشینه، ضریب بزرگ‌نمایی افزایش می‌یابد. برای تحلیل غیرخطی نیز همین نتیجه حاصل می‌شود با این تفاوت که در حالت غیرخطی، برای دوره‌تناوب‌های کمتر از 0.4 ثانیه با افزایش شتاب بیشینه، ضریب بزرگ‌نمایی کاهش می‌یابد و برای دوره‌تناوب‌های بزرگ‌تر از آن، با افزایش شتاب بیشینه، ضریب بزرگ‌نمایی افزایش می‌یابد (شکل ۱۰-الف).

از آنجایی که هدف اصلی در این پژوهش مقایسه دو تحلیل است، اختلاف ضرایب بزرگ‌نمایی در دو تحلیل خطی معادل و غیرخطی نیز با یکدیگر مقایسه می‌شود. منحنی شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در دوره‌تناوب‌های بیشتر از 0.5 ثانیه و کمتر از 1 ثانیه، با افزایش شتاب بیشینه، اختلاف ضریب بزرگ‌نمایی افزایش می‌یابد و این ضریب در بازه 0.1 تا 0.8 ثانیه و کمتر از 0.5 ثانیه برای حالت خطی معادل بیشتر از تحلیل غیرخطی است، ولی برای دوره‌تناوب‌های بیشتر از 0.8 و 0.5 الی 0.1 ثانیه عکس این مطلب صادق است.

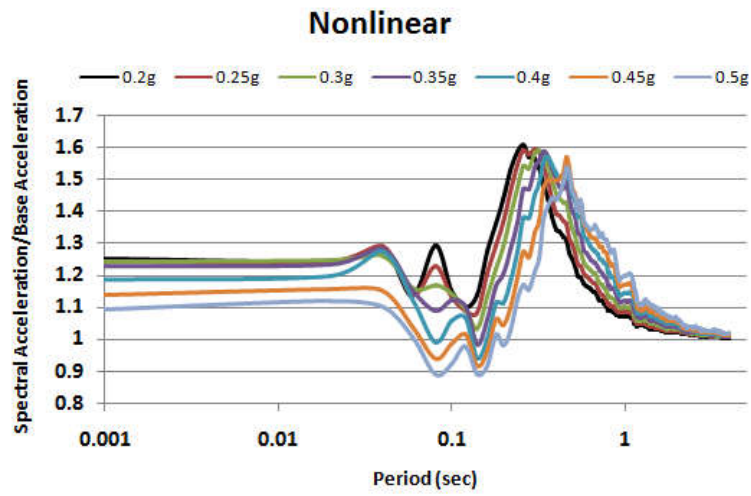
است. با توجه به منحنی‌ها، مشاهده می‌شود که پراکندگی داده‌ها در محدوده دوره‌تناوب‌های کمتر از 0.1 ثانیه بیشتر است و منحنی‌های خطای استاندارد به‌خوبی از منحنی ضریب بزرگ‌نمایی قابل تشخیص است. در دوره‌تناوب‌های بزرگ‌تر از 0.1 ثانیه، پراکندگی داده‌های متناظر با هر دوره‌تناوب کمتر است. این پراکندگی در دوره‌تناوب‌های بزرگ‌تر از 0.1 ثانیه بسیار کم و نزدیک به صفر است. همچنین می‌توان گفت ضریب بزرگ‌نمایی در حالت خطی معادل، بیشتر از حالت غیرخطی است (شکل ۹).

در شکل ۱۰، برای مقایسه ضریب بزرگ‌نمایی در تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی، ضرایب به‌دست‌آمده در قسمت قبل برای هر دو تحلیل و با شتاب‌های بیشینه 0.2 g تا 0.5 g روی یک نمودار رسم شده است.

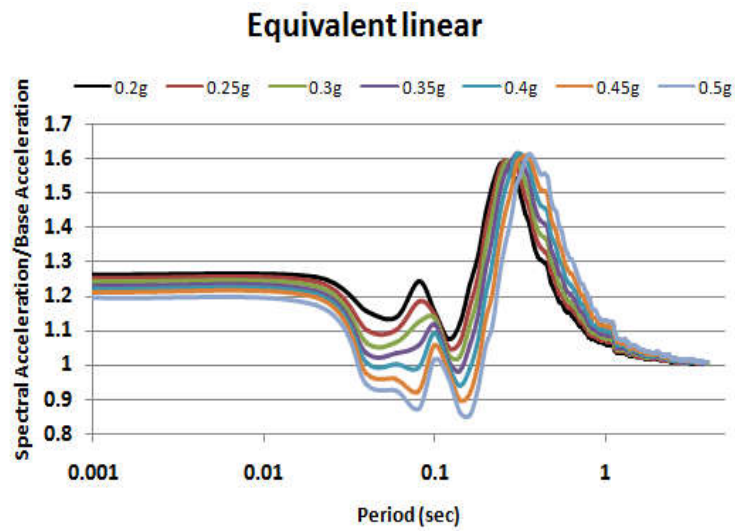


شکل ۹. منحنی ضریب بزرگ‌نمایی طیفی برای بیشینه شتاب 0.5 g

با توجه به شکل ۱۰ که برای گمانه رسم شده است، مشاهده می‌شود که با افزایش شتاب بیشینه، اختلاف بین ضریب بزرگ‌نمایی طیفی در دو حالت خطی معادل و غیرخطی نمایان می‌شود. برای شتاب‌های کمتر از 0.3 g ، این اختلاف بیشتر در دوره‌تناوب‌های بین 0.1 تا 0.1

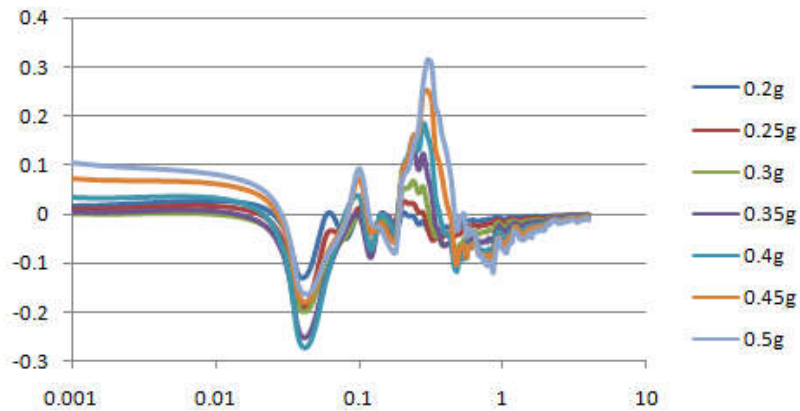


(الف)



(ب)

شکل ۱۰. ضریب‌های بزرگ‌نمایی طیفی برای شتاب‌های ۰/۲ g تا ۰/۵ g در (الف) تحلیل غیرخطی (ب) تحلیل خطی معادل



شکل ۱۱. اختلاف ضریب‌های بزرگ‌نمایی طیفی خطی معادل و غیرخطی

۹ نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، مقایسه نتایج تحلیل آبرفت به روش دینامیکی خطی معادل و غیرخطی در برآورد ضریب بزرگ‌نمایی و میزان تقویت امواج در اثر رخداد زمین‌لرزه است. از سوی دیگر، با توجه به نظریه‌های موجود در راستای استفاده از روش‌های تحلیل و با توجه به محدوده کرنش برشی که پژوهشگران معرفی کرده‌اند، کاربرد دو تحلیل بررسی شده است. شایان ذکر است که اگر کرنش کمتر از 10^{-4} درصد باشد، می‌توان از تحلیل خطی استفاده کرد. در صورتی که کرنش بین 10^{-4} تا 10^{-3} درصد باشد، از تحلیل خطی معادل و اگر بیشتر از 10^{-3} درصد باشد، از تحلیل غیرخطی استفاده می‌شود.

در این پژوهش نتایج نشان داد که دو روش تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند. این تفاوت بیشتر در محدوده دوره‌تناوب‌های $0/1$ تا 1 ثانیه است که اوج این اختلاف در دوره‌تناوب‌های $0/1$ تا 1 ثانیه به چشم می‌خورد. همچنین با افزایش شتاب بیشینه، اختلاف بین دو تحلیل نیز بیشتر می‌شود. به طور خلاصه می‌توان گفت که تفاوت تحلیل‌های خطی معادل و غیرخطی به درجه غیرخطی بودن رفتار واقعی خاک بستگی دارد؛ بنابراین اگر به دلیل ضعیف بودن جنبش ورودی، تراز کرنش پایین باشد؛ تحلیل خطی معادل می‌تواند انجام گیرد. در تراز بالاتر کرنش که مدول برشی با افزایش کرنش، کاهش و نسبت میرایی افزایش می‌یابد، باید از روش تحلیل غیرخطی استفاده کرد.

در تمامی شتاب‌های بیشینه موجود در این مطالعه، بین مقادیر به‌دست‌آمده از تحلیل خطی معادل و غیرخطی اختلاف وجود دارد. این اختلاف در شتاب‌های کم، کمتر است و با افزایش شتاب تا $0/5$ g این اختلاف نیز افزایش می‌یابد.

محدوده کرنش‌ها در این پژوهش، برای بیشینه شتاب‌های موجود تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهد که این کرنش‌ها بیشتر از 10^{-3} درصد است؛ به‌عنوان نمونه، برای شتاب بیشینه $0/2$ g، مقدار کرنش بیشینه 2×10^{-3} درصد و برای شتاب بیشینه $0/5$ g مقدار کرنش به 7×10^{-3} درصد رسید. بنابراین طبق توصیه انجام شده بهتر است برای این محدوده کرنش‌ها از تحلیل غیرخطی استفاده کرد؛ این مسئله، توجه‌پذیری تحلیل‌های انجام شده را بیان می‌کند. در شتاب‌های بیشینه کم که مقدار کرنش به‌دست‌آمده بسیار نزدیک به 10^{-3} درصد است، هر دو تحلیل با تقریب خوبی جوابگو هستند. با افزایش شتاب بیشینه، شدت جنبش لرزه‌ای بیشتر می‌شود و مقدار کرنش نیز افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت که نتایج تحلیل‌های صورت گرفته، تطبیق به‌نسبت خوبی با توصیه‌های پژوهشگران درباره محدوده کرنش برشی و تعیین نوع تحلیل داشته است.

با نگاهی به منحنی‌های طیف متوسط شتاب در سطح زمین و سنگ بستر، می‌توان دوره‌تناوب غالب را به‌دست‌آورد (دوره‌تناوب غالب، دوره‌تناوبی از ارتعاش است که شدیدترین تشدید در آن اتفاق می‌افتد). در این دوره‌تناوب، شتاب طیفی و اختلاف دو تحلیل خطی معادل و غیرخطی بیشترین مقدار خود را دارند. با افزایش مقدار شتاب بیشینه، دوره‌تناوب موردنظر نیز بیشتر و مقدار بیشینه در منحنی‌های طیف متوسط شتاب به سمت راست متمایل می‌شود و در دوره‌تناوب بیشتری قرار می‌گیرد.

از آنجا که دوره‌تناوب طبیعی خاک در گمانه موجود در محدوده $0/1$ تا 1 ثانیه قرار دارد، بزرگ‌نمایی نیز در این بازه از دوره‌تناوب‌ها بیشتر است و ضریب بزرگ‌نمایی تعیین شده در این محدوده، مقدار بزرگ‌تری دارد. در دوره‌تناوب بیشتر از 1 ثانیه نیز به‌علت دور شدن از

- SMART I accelerograph array (1980-1987): a review: Earthquake spectra, **3**(2), 263-287.
- Akbari, M., Ghafoori, M., Moghaddas, N. H., and Lashkaripour, G. R., 2011, Seismic microzonation of Mashhad city, northeast Iran: Annals of Geophysics, **54**(4), 424-434.
- Aki, K., 2003, A perspective on the history of strong motion seismology: Physics of the Earth and Planetary Interiors, **137**(1), 5-11.
- Archuleta, R. J., Liu, P., Steidl, J. H., Bonilla, L. F., Lavallée, D., and Heuze, F., 2003, Finite-fault site-specific acceleration time histories that include nonlinear soil response: Physics of the Earth and Planetary Interiors, **137**(1), 153-181.
- Assimaki, D., Kausel, E., and Whittle, A., 2000, Model for dynamic shear modulus and damping for granular soils: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, **126**(10), 859-869.
- Assimaki, D., Li, W., Steidl, J., and Schmedes, J., 2008, Quantifying nonlinearity susceptibility via site-response modeling uncertainty at three sites in the Los Angeles Basin: Bulletin of the Seismological Society of America, **98**(5), 2364-2390.
- Bardet, J. P., and Kapuskar, M., 1993, Liquefaction sand boils in San Francisco during 1989 Loma Prieta earthquake: Journal of geotechnical engineering, **119**(3), 543-562.
- Bardet, J. P., Ichii, K., and Lin, C. H., 2000, EERA: a computer program for equivalent-linear earthquake site response analyses of layered soil deposits: University of Southern California, Department of Civil Engineering.
- Beresnev, I. A., Wen, K. L., and Yeh, Y. T., 1995, Nonlinear soil amplification: its corroboration in Taiwan: Bulletin of the Seismological Society of America, **85**(2), 496-515.
- Beresnev, I. A., 2002, Nonlinearity at California generic soil sites from modeling recent strong-motion data: Bulletin of the Seismological Society of America, **92** (2), 863-870.
- Borja, R. I., Chao, H. Y., Montáns, F. J., and Lin, C. H., 1999, Nonlinear ground response at Lotung LSST site: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, **125**(3), 187-197.
- Chang, C. Y., Power, M. S., Tang, Y. K., and Mok, C. M., 1989, Evidence of nonlinear soil response during a moderate earthquake: دوره تناوب طبیعی خاک، پدیده تشدید دیده نمی‌شود و چون اثر زلزله اعمال شده کمتر است و تغییر شکل‌های کوچک‌تری ایجاد شده است، تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی نیز دیده نمی‌شود. البته باید توجه داشت که عوامل دیگری از جمله مشخصات موج زلزله، نوع خاک، توپوگرافی سطحی زمین و سختی سنگ بستر نیز می‌تواند در مقدار ضریب بزرگ‌نمایی تأثیر بگذارد؛ زیرا امواج زلزله در خاک در بعضی دوره‌تناوب‌ها تقویت و در برخی دیگر، میرا می‌شوند. در این پژوهش نیز با افزایش شتاب بیشینه در دوره‌تناوب‌های حدود ۰/۱ ثانیه، در بعضی موارد میرایی امواج مشاهده شده است.
- در یک جمع‌بندی کلی، به این نتیجه می‌رسیم که هر دو روش خطی معادل و غیرخطی را می‌توان به صورت موفقیت‌آمیزی برای تحلیل پاسخ یک‌بعدی زمین به‌کاربرد. نحوه کاربرد و تفسیر هر یک از این روش‌ها نیازمند داشتن اطلاعاتی درباره فرضیات بستر، تفهیم نحوه عملکرد هر روش و تشخیص محدودیت‌های آنها دارد و هیچ‌کدام را نمی‌توان به صورت قاطعانه و دقیق در نظر گرفت. با وجود این، دقت این روش‌ها با تغییرات شرایط خاک، عدم قطعیت در ویژگی‌های خاک و پراکندگی اطلاعات تجربی که تعداد زیادی از پارامترهای ورودی براساس آنها پایه‌گذاری شده است، کاهش می‌یابد.
- منابع**
- قاسمپور، ف.، ۱۳۹۰، بررسی آنالیز خطی و غیرخطی در رفتار دینامیکی خاک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی.
- Abrahamson, N. A., Bolt, B. A., Darragh, R. B., Penzien, J., and Tsai, Y. B., 1987, The

- propagation in the Mississippi embayment: *Engineering Geology*, **62**(1), 185-206.
- Idriss, I. M., and Seed, H. B., 1968, An analysis of ground motions during the 1957 San Francisco earthquake: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **58**(6), 2013-2032.
- JICA, 2000, The study on seismic microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran: Pacific Consultants International Report, OYO Cooperation, Japan.
- Kondner, R. L., 1963, A hyperbolic stress-strain formulation for sands: Northwestern University.
- Liam Finn, W. D., Martin, G. R., and Lee, M. K. W., 1978, Comparison of Dynamic Analyses for Saturated Sands: In Volume I of Earthquake Engineering and Soil Dynamics- Proceedings of the ASCE Geotechnical Engineering Division Specialty Conference, June 19-21, 1978, Pasadena, California.
- Lysmer, J., Seed, H. B., and Schanable, P. B., 1972, Shake: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites: U. o. C. Rpt. EERC, 72-12.
- Matasovic N., 1993, Seismic response of composite horizontally-layered soil deposits: Doctoral dissertation, University of California, Los Angeles.
- Naeni, S. A., and Zarincheh, A., 2010, Site effect microzonation and seismic hazard analysis of Kermanshah region in Iran: *Journal of Applied Sciences (Faisalabad)*, **10**(19), 2231-2240.
- Newmark, N. M., 1959, A method of computation for structural dynamics: In Proc. ASCE, **85**, 67-94.
- Schaff, D. P., and Beroza, G. C., 2004, Coseismic and postseismic velocity changes measured by repeating earthquakes: *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **109**(B10).
- Seed, H. B., and Idriss, I. M., 1969, Influence of soil conditions on ground motions during earthquakes: University of California, Institute of Transportation and Traffic Engineering, Soil Mechanics Laboratory.
- Streeter, V., Wylie, E., and Richart, F., 1974, Soil motion computations by characteristics method: 12F, 16R. *J. GEOTECH. ENGG. DIV. V100, N. GT3, MAR. 1974*, P247-263: In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and In Proc. 12th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, **3**(August), 1-4.
- Chin, B. H., and Aki, K., 1991, Simultaneous study of the source, path, and site effects on strong ground motion during the 1989 Loma Prieta earthquake: a preliminary result on pervasive nonlinear site effects: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **81**(5), 1859-1884.
- Choobbasti, A. J., Rezaei, S., Farrokhzad, F., and Azar, P. H., 2014, Evaluation of site response characteristic using nonlinear method (Case study: Babol, Iran): *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 1-14.
- Elgamal, A., Yan, L., Yang, Z., and Conte, J. P., 2008, Three-dimensional seismic response of Humboldt Bay bridge-foundation-ground system: *Journal of Structural Engineering*, **134**(7), 1165-1176.
- Field, E. H., Johnson, P. A., Beresnev, I. A., and Zeng, Y., 1997, Nonlinear ground-motion amplification by sediments during the 1994 Northridge earthquake: *Nature*, **390**(6660), 599-602.
- Field, E. H., Kramer, S., Elgamal, A. W., Bray, J. D., Matasovic, N., Johnson, P. A., and Anderson, J. G., 1998, Nonlinear site response: Where we're at (A report from a SCEC/PEER seminar and workshop): *Seismological Research Letters*, **69**(3), 230-234.
- Ghanbari, A., Hassanzadeh, A., and Zarangzadeh, S. S., 2010, Amplification ratio and period of the earthquakes in Karaj, Iran: *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, **15**.
- Haeri, S. M., and Bonab, M. H., 2000, Seismic microzonation of the city of Tabriz in Iran: *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, **1**(3), 63-70.
- Hardin, B. O., and Drnevich, V. P., 1972, Shear modulus and damping in soils: Measurement and parameter effects (Terzaghi Lecture): *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, **98**(6), 603-624.
- Hartzell, S., Leeds, A., Frankel, A., Williams, R. A., Odum, J., Stephenson, W., and Silva, W., 2002, Simulation of broadband ground motion including nonlinear soil effects for a magnitude 6.5 earthquake on the Seattle fault, Seattle, Washington: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**(2), 831-853.
- Hashash, Y., and Park, D., 2001, Non-linear one-dimensional seismic ground motion

Zeghal, M., Elgamal, A. W., Tang, H. T., and Stepp, J. C., 1995, Lotung downhole array, II: Evaluation of soil nonlinear properties: Journal of Geotechnical Engineering, **121**(4), 363-378.

Geomechanics Abstracts, **11**(8), August A164, Pergamon.

Wen, K. L., 1994, Nonlinear soil response in ground motions: Earthquake Engineering and Structural Dynamics, **23**(6), 599-608.

Linear and nonlinear analysis investigation on soil dynamic behavior (Case study: Urmia city, Iran)

Milad Mohammadian^{1*}, Fatemeh Ghasem Pour¹, and Abbas Mahdavian²

¹M. Sc., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

(Received: 17 November 2017, Accepted: 15 December 2018)

Summary

Iran is seismically a very active region. Earthquakes with high magnitudes occur every year in Iran, averagely. Therefore, dynamic response analysis is one of the most important issues in evaluating the soil behavior. In seismic response analysis method of earth layers, deformation issues during earthquakes are important. Two methods exist for dynamic analysis: equivalent linear method and nonlinear method. If seismic motion is weak, shear strain of alluvium will be less than 10^{-4} percent and earth layer behavior will be elastic. For strains greater than 10^{-4} percent, soil behavior will be nonlinear; then nonlinear and equivalent linear methods should be used. In large shear strain that soil behavior is completely nonlinear, the problem should be solved at time domain, step by step. Difference between nonlinear and equivalent linear method depends on soil nonlinear behavior.

Ground response can be analyzed with 1D, 2D and 3D modeling. These methods have different capabilities in terms of problem and wave geometry modeling, also to the solution of equation of motion. 1D ground response analysis is used for horizontal structures that boundaries between their layers are distinct, but inclined surfaces, nonlinear ground, heavy and rigid buried structures, walls and tunnels need 2D and sometimes 3D analysis. In other words, while one of the two soil profile dimensions (surface or sub-surface dimension) is much bigger than the other one, transmission synthesis is acceptable. Nonlinear behavior of soil can be modeled as equivalent linear or nonlinear medium by 1D, 2D or 3D methods. Equivalent linear method is popular between engineers, due to its relative simplicity and its simple and clear parameters. Using accelerometers, geotechnical boreholes and equivalent linear and nonlinear analysis, acceleration spectra can be compared. DEEPSOIL software can analyze the alluvium. It is based on direct and continuous solution of equation of transmitted waves and calculates responses of a system with homogenous and viscoelastic layers to shear waves. DEEPSOIL is a one dimensional ground response analyzing software which is able to examine the defined layers by both of linear and nonlinear analysis methods.

Urmia city has experienced many large and moderate earthquakes in last years. According to Iranian standard 2800, the design base acceleration in this city is 0.25g. For studying the Urmia bedrock, two borehole data of the city with depth at 16 and 24 meters were used and some appropriate accelerograms were selected and scaled for matching with design spectra. These accelerograms were scaled with the same form spectrum, but they had different maximum acceleration (0.2g, 0.25g, 0.3g, 0.35g, 0.4g, 0.45g and 0.5g). Using DEEPSOIL software with capability of nonlinear and equivalent linear analysis, acceleration spectra were compared.

The aim of this study is to compare the results of the alluvial analysis with linear and non linear dynamics in estimating the amplification coefficient and the amount of amplification of the waves in then earthquake event

Therefore, in order to evaluate the nonlinear behavior of soil, Equivalent linear and non linear analysis in time domain were performed on one-dimensional models of subsurface layer using borehole data in Urmia. The results of the two analyzes were compared with each other. By comparing spectral accelerations at the Earth's surface during different periods with corresponding values on seismic bed rock, the amplification coefficient is presented in different periods.

The results show that in the range of 0.1 to 1 second, the greatest amplification and the greatest difference were present between the two analyzes.

In conclusion, we conclude that both Equivalent linear and nonlinear linear methods can be successfully used to analyze the one-dimensional ground response. The method of applying and interpreting each of these methods requires information about the assumptions of the Ground floor, the manner in which each method operates, the recognition of its constraints, and none of them can be considered decisively and precisely. However, the accuracy of these methods decreases with changes in soil conditions, uncertainty in soil characteristics and the empirical data dispersion, with a large number of input parameters based on them.

Keywords: dynamic analysis, equivalent linear method, nonlinear method, DEEPSOIL software

*Corresponding author:

milad.engeener@gmail.com