

دانشکده مهندسی عمران

تحلیل بزرگنمایی موج زلزله طبس با استفاده از نرم افزار Proshake

پروژه ی پایانی درس دینامیک خاک

رشته مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک

نام دانشجویان :

محمد رضا نبی زاده شهربابک ۹۳۶۸۵۱۴۲

میلاد دهقان کروکی ۹۳۶۸۵۰۴۳

پوریا علیدوست ۹۳۶۸۵۰۸۸

استاد راهنما:

پروفسور محمدحسن بازیار

دی ماه ۱۳۹۳


بسم الله الرحمن الرحيم

خالصانه قدر می دانیم

راهنمایی ها، زحمات، نصیحت ها و پشتیبانی های استاد بزرگوارمان

دکتر محمد حسن بازیار

را، که در انجام این پروژه از ما هیچ کمک و همراهی را دریغ نکردند.

نیکی پناهشان باد

چکیده

در این پروژه اثر چگونگی لایه های خاک در نحوه ی بزرگنمایی شـتاب ناشـی از زلزله بررسـی شد. در این مطالعه از نرم افزار ProShake اسـتفاده شـد. این نرم افزار با ظاهری سـاده اقدام به محاسـبات و تحلیل ویژگی های یک موج زلزله می پردازد. در پایان این پروژه، شاهد تحلیل های ارائه شده بر نتایج حاصله خواهیم بود.

واژه‌های کلیدی: زلزله ی طبس، بزرگنمایی زلزله، انتشار امواج، ProShake

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

فصل ۲: پیش درآمدی بر اجرای پروژه ۳

۲-۱- زلزله ی طبس، چرا ؟ چگونه ؟ کجا ؟ و به چه صورت ؟ ۴

۲-۱-۱- زمان زلزله ۴

۲-۱-۲- تخریب ۵

۲-۱-۳- تلفات ۵

۲-۱-۴- مرکز و عمق کانونی زلزله ۶

۲-۱-۵- شدت و بزرگی زلزله ۱۰

۲-۱-۶- شتاب زلزله ۱۳

۲-۱-۷- گسل زلزله ی طبس ۱۴

۲-۲-ProShake چیست ؟ ۱۷

۲-۲-۱- تئوری مورد استفاده در ProShake ۱۷

۲-۳-Quake/W چیست ؟ ۱۸

فصل ۳: شرح انجام پروژه ۱۹

۳-۱- صورت مسئله ی پروژه ۲۰

۳-۲- مراحل تعریف پروژه ۲۱

۳-۲-۱- تبدیل فرمت فایل متنی (*.txt) به فرمت ورودی ProShake (*.eq) ۲۱

۳-۲-۲- تعریف پروفیل خاک ۲۳

۳-۲-۳- تعریف زلزله ی ورودی ۲۵

۳-۳- پاسخ سوالات ۲۶

۳-۳-۱- پاسخ سوال ۱ ۲۶

۳-۳-۲- پاسخ سوال ۲ ۲۸

۳-۳-۳- پاسخ سوال ۳ ۲۹

۳-۳-۴- پاسخ سوال ۴ ۲۹

فصل ٤: نتایج و تفسیر آنها ۳۳

۴-۱- پاسخ سوال ۵ ۳۴

۴-۱-۱- برای زلزله طبس: ۳۴

۴-۱-۲- برای موج سینوسی : ۴۰
۴-۲- پاسخ سوال ۶ ..... ۴۷
۴-۳- پاسخ سوال ۷ ..... ۴۸
۴-۴- پاسخ سوال ۸ ..... ۴۹
۴-۴-۱- در اثر اعمال شتابنگاشت زلزله ی طبس ۴۹
۴-۴-۲- در اثر اعمال شتابنگاشت زلزله ی سینوسی ۵۳
۴-۵- پاسخ سوال ۹ ..... ۵۷

فصل ۵: جمع‌بندی و پیشنهادها و مراجع **۶۳**
۵-۱- پاسخ سوال ۱۰ ..... ۶۴
۵-۲- مقایسه نتایج با نتایج نرم افزار Quake/W ۶۶

مراجع **۶۸**

فهرست اشکال

شکل ۱- تلفات زلزله ی طبس ۵
شکل ۲- ارتفاعات و محل رخداد زلزله ی طبس..... ۷
شکل ۳- تصویر ماهواره ای محل رخداد زلزله..... ۸
شکل ۴- دید به سمت شمال از محل زلزله بوسیله ی فناوری ۳بعدی ۸
شکل ۵- دید به سمت شرق از محل زلزله بوسیله ی فناوری ۳بعدی ۹
شکل ۶ - دید به سمت جنوب از محل زلزله بوسیله ی فناوری ۳بعدی..... ۹
شکل ۷- ۲۰,۵ کیلومتر و ۵۶,۳ کیلومتر فاصله ی مرکز زلزله تا دیهوک و طبس ۱۰
شکل ۸- خرابی های ایجاد شده در این زلزله مرگبار..... ۱۱
شکل ۹- ایستگاه های ثبت کننده ی اطلاعات زلزله ی طبس..... ۱۲
شکل ۱۰- بیشترین شتاب ثبت شده توسط شتاب نگاشت ها و ارائه شده توسط مرکز مصالعات زلزله اقیانوس آرام..... ۱۳
شکل ۱۱- یکی از شتابنگاشت های بحرانی زلزله ی طبس..... ۱۴
شکل ۱۲- تصویری از گسل زلزله ی طبس..... ۱۶
شکل ۱۳- تصویری شماتیک از اطلاعات پروفیل خاک..... ۲۱
شکل ۱۴- تبدیل فایل با فرمت txt به فرمت eq..... ۲۲
شکل ۱۵- محل تعریف پروفیل خاک..... ۲۳
شکل ۱۶- یک نمونه پروفیل تعریف شده در نرم افزار ۲۴
شکل ۱۷- محل ایجاد خروجی ۲۵
شکل ۱۸ - شتابنگاشت اصلاح نشده ی زلزله ی طبس..... ۲۶
شکل ۱۹- اصلاح شتابنگاشت زلزله ی طبس با شتاب بیشینه ی 0.35g..... ۲۶
شکل ۲۰- طیف سرعت شتابنگاشت اصلاح شده ۲۷
شکل ۲۱- طیف جابجایی شتابنگاشت اصلاح شده..... ۲۷
شکل ۲۲- طیف فوریه ی شتابنگاشت اصلاح شده..... ۲۸
شکل ۲۳- طیف قدرت شتاب اصلاح شده زلزله ی طبس ۲۹
شکل ۲۴- طیف شتابنگاشت سینوسی با بیشینه شتاب 0.25g..... ۳۰
شکل ۲۵- طیف سرعت برای موج سینوسی ۳۰

شکل ۲۶- طیف جابجایی موج سینوسی..... ۳۱
شکل ۲۷- طیف فوریه ی شتابنگاشت موج سینوسی..... ۳۱
شکل ۲۸- طیف قدرت موج سینوسی ۳۲
شکل ۲۹- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت یک متر ۳۴
شکل ۳۰- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت دو متر ۳۵
شکل ۳۱- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت سه متر ۳۵
شکل ۳۲- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت چهار متر ۳۶
شکل ۳۳- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت پنج متر ۳۶
شکل ۳۴- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت شش متر ۳۷
شکل ۳۵- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت هفت متر ۳۷
شکل ۳۶- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت هشت متر ۳۸
شکل ۳۷- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت نه متر. ۳۸
شکل ۳۸- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت ده متر ۳۹
شکل ۳۹- نمودار نسبت بزرگنمایی در سطح خاک..... ۴۰
شکل ۴۰- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت صفر متر ۴۰
شکل ۴۱- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت یک متر ۴۱
شکل ۴۲- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت دو متر ۴۱
شکل ۴۳- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت سه متر ۴۲
شکل ۴۴- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت چهار متر ۴۲

شکل ۴۵- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت پنج متر ۴۳
شکل ۴۶- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت شش متر ۴۳
شکل ۴۷- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت هفت متر ۴۴
شکل ۴۸- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت هشت متر ۴۴
شکل ۴۹- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت نه متر. ۴۵
شکل ۵۰- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت ده متر ۴۵
شکل ۵۱- نمودار نسبت بزرگنمایی در سطح خاک برای زلزله سینوسی..... ۴۶
شکل ۵۲- نمودار شتاب در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس..... ۴۹
شکل ۵۳- نمودار سرعت در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس..... ۴۹
شکل ۵۴- نمودار تغییر مکان در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس ۵۰
شکل ۵۵- نمودار تنش برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس..... ۵۰
شکل ۵۶- نمودار مدول برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس ۵۱
شکل ۵۷- نمودار کرنش برشی موثر در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس..... ۵۱
شکل ۵۸- نمودار نسبت تنش سیکلیک در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس..... ۵۲
شکل ۵۹- نمودار کرنش برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس..... ۵۲
شکل ۶۰- نمودار شتاب در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی..... ۵۳
شکل ۶۱- نمودار سرعت در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی..... ۵۳
شکل ۶۲- نمودار تغییر مکان در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی..... ۵۴
شکل ۶۳- نمودار تنش برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی..... ۵۴
شکل ۶۴- نمودار کرنش برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی..... ۵۵
شکل ۶۵- نمودار کرنش برشی موثر در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی..... ۵۵
شکل ۶۶- نمودار مدول برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی..... ۵۶
شکل ۶۷- نمودار نسبت تنش سیکلیک در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی ۵۶

شکل ۶۸- روابط بین G/Gmax در مقابل γc و λ در مقابل منحنی های γc و پلاستیسیته خاک برای خاک های تحکیم عادی یافته و پیش تحکیم یافته..... ۵۹
شکل ۶۹- همبستگی بین میرایی λ و شاخص خمیری PI برای خاک های تحکیم عادی یافته و پیش تحکیم یافته..... ۶۰
شکل ۷۰- همبستگی بین G/Gmax و شاخص خمیری PI برای خاک های تحکیم عادی یافته و پیش تحکیم یافته..... ۶۱
شکل ۷۱- ضریب بزرگنمایی زلزله ی مکزیکوسیتی..... ۶۴
شکل ۷۲- اثر ساختگاه و شیبدار بودن آن در خسارت های وارد شده..... ۶۵
شکل ۷۳- مدل پروفیل خاک در Quake/W..... ۶۶
شکل ۷۴- شتابنگاشت در نرم افزار Quake/W..... ۶۶
شکل ۷۵- بزرگنمایی شتاب از عمق تا سطح پروفیل بحرانی..... ۶۷
شکل ۷۶- مقایسه نتایج ProShake و Quake/W..... ۶۷

فهرست جداول

جدول ۱- ویژگی های اطلاعات شتابنگاشت زلزله ی طبس ۲۲
جدول ۲- جدول مشخصات یک پروفیل اختیاری ۲۴
جدول ۳- جدول پریود غالب برای زلزله ی طبس ۲۸
جدول ۴- بزرگنمایی شتاب در سطح زمین برای زلزله ی طبس ۳۹
جدول ۵- بزرگنمایی شتاب در سطح زمین برای زلزله ی سینوسی ۴۶
جدول ۶- تاثیر افزایش فاکتور های مختلف روی G/Gmax و D از رس تحکیم عادی و نسبتا پیش تحکیم یافته ۵۸

فصل ۱: مقدمه

۱-۱- مقدمه

ارزیابی پاسخ زمین یکی از مهمترین مسائلی است که در مسائل ژئوتکنیک لرزه ای مطرح می باشد. تحلیل پاسخ زمین جهت پیش بینی حرکات سطح زمین و تدوین طیف پاسخ طرح بمنظور تعیین تنش ها و کرنش های دینامیکی برای ارزیابی پدیده روانگرایی و محاسبه نیروهای ناشی از زلزله در تحلیل پایداری زمین وسازه های حائل بکار می روند.

برای تحلیل پروفیل خاک با رفتار تنش-کرنش غیر خطی می توان از روش شبه غیر خطی استفاده کرد. بدین منظور هر لایه خاک به زیر لایه های کوچکتری تقسیم می شود و فرض می شود مدول در این زیر لایه ها با عمق ثابت است.

پس از محاسبه ی پاسخ دینامیکی به ارتعاش پایه از روش خطی ، کرنش های برشی در وسط زیرلایه ها محاسبه شده و مقادیر جدید مدول و میرایی برای هر زیر لایه محاسبه می شود. روند فوق تا همگرایی مقدار فرض شده مدول و میرایی به مقدار کرنش بدست آمده تکرار می شود. این روش اساس نرم افزاری کامپیوتری Shake است که برای آنالیز دینامیکی لایه های خاک به کار می رود. در حال حاضر چندین روش برای ارزیابی اثر شرایط خاک محلی بر پاسخ زمین در طول زلزله موجود می باشند. اکثر این روش ها بر اساس فرضیاتی از پاسخ اصلی توده خاک که موجب گسترش رو به بالای موج برش از لایه سنگ بستر زیرین می باشد. این روش آنالیز بر اساس مفهوم رفتار غیرخطی خاک تطابق خوبی را با مشاهدات موردی دارد. بر اساس این یافته ها از این روش در مهندسی زلزله برای پیش بینی پاسخ توده های خاک و مشخصات حرکت سطح زمین استفاده بسیاری شد.

این روش آنالیز بطور عمده شامل مراحل زیرمی باشد :

تخمین مشخصات حرکات در لایه بستر سنگی و انتخاب شناسه بر اساس این ویژگی ها برای استفاده در آنالیز، شتاب حداکثر- فرکانس غالب و طول مؤثر لرزه مؤثرترین پارامترها در حرکات زلزله هستند .

تخمین مشخصات دینامیکی نهشته های خاک - رابطه متوسطی بین مدول برش دینامیکی و نسبت های میرایی خاک، تابعی از کرنش برش و مشخصات استاتیکی بوده و برای انواع خاک متفاوت می باشند.

فصل ۲: پیش درآمدی بر اجرای پروژه

۲-۱- زلزله ی طبس، چرا ؟ چگونه ؟ کجا ؟ و به چه صورت ؟

در شـهریور سـال ۱۳۵۷، زمین‌لرزه‌ای به شـدت ۷٫۸ طبس و روسـتاهای مجاور آن را ویران کرد. این زمین‌لرزه که یکی از بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های سـده ی اخیر در ایران بوده‌است، حدود ۱۵٬۰۰۰ کشته به جای گذاشـت. طبس تا قبل از زمین لرزه سـال ۱۳۵۷ جز مناطق با خطر نسبی متوسط پهنه بندی شـده بود. تحقیقات و پژوهش‌های ریخت زمین‌شـناسـی و نوزمین سـاختی نشان می‌دهد که طبس به دلیل وضـعیت خاص زمین‌شـناسی مستعد زلزله‌های با قدرت بالا بوده ولی ابزارهای موجود در گذشته توان شـناسـایی این پتانسـیل را نداشته است. دکتر محمد آریامنش زلزله شناس و استاد دانشگاه، که خود از بازماندگان همین زمین لرزه می‌باشد معتقد است که تا قبل از زلزله سال پنجاه و هفت حد اقل سـه زمین لرزه بزرگ در این منطقه روی داده است. وی طی سالیان متوالی پژوهش‌های مختلفی را در زمینه وضـعیت لرزه خیزی و زلزله شـناسـی و چشمه‌های لرزه را در طبس ارائه داده است. (Tabas Earthquake 2014)

زلزلـه طبس در نوع خود بی نظیرترین و شـــدیـدترین زلزلـه ایران درچند قرن اخیر بود که شـــهری اســـتراتژیک در طول تاریخ با قدمت بیش از ۲۵۰۰ ســـال و با معماری بی نظیر به همراه حداقل ۳۰ روســـتـای تاریخی را به تلی از خاک تبدیل کرد و ده ها هزار نفر را به کام مرگ فرو برد به طوری که اجسـاد برخی دیگر سر از خاک بر نیاورد . شدت و نوع زلزله طبس به صورتی است که تا مدتی مبنای محاسـبات سازه در آیین نامه زلزله ایران بود. در حال حاضر بعد از طبس قویترین زلزله صورت گرفته در ایران زلزله سراوان در تاریخ ۲۸/۱/۱۳۹۲ به شدت ۷٫۷ ریشتر بود که در عمق ۷۰ کیلومتری زمین قرار داشت و به دلیل عمق زیاد آن تخریب کمی در منطقه داشت.

۲-۱-۱- زمان زلزله

حدود سـاعت ۱۹ و ۳۶ دقیقه (بعدازظهر ۲۵) شـهریور ماه سـال ۱۳۵۷ (ساعت ۱۵ و ۳۵ دقیقه و ۵۶ ثانیه به وقت گرینویچ) (روز ۱۶ سپتامبر ۱۹۷۸)

۲-۱-۲- تخریب

شـهرزیبا و تاریخی طبس با سابقه بیش از ۲۵۰۰ سال قدمت بکلی ویران و ۳۰ آبادای خراب و به ۱۰۰ آبادی دیگر خسـارت وارد شد.خسارتهای عمده این زلزله در شعاع ۳۰ کیلومتری طبس بود و در تهران به فاصله مستقیم ۵۴۰ کیلومتر و در مشهد به فاصله مستقیم ۳۸۰ کیلومتر احساس شد.

۲-۱-۳- تلفات

اگر چه در مورد اغلب زلزله های بزرگ کشور آمار دقیقی از تعداد کشته شده‌ها در دست نیست ولی از نکات قابل توجه در مورد زلزله طبس، اختلاف فاحش آمار موجود از تعداد جان باختگان این زلزله است . در آمارهای متفاوت تلفات زلزله حدود ۱۹۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ کشته را نشان می داد.



شکل ۱- تلفات زلزله ی طبس

۲-۱-۴- مرکز و عمق کانونی زلزله

مختصات جغرافیایی مرکز زلزله طبس و عمق آن به وسیله مراکز مختلف چنین گزارش شده است:

۱. انگلستان I.S.C ؛ عرض جغرافیایی N 37/33(±0/21) درجه و طول جغرافیایی E 44/57(± 0/15) درجه و عمق

۲. مسکو : عرض جغرافیایی N 24/33 و طول جغرافیایی E 40/57 و عمق 33 km

۳. آمریکا : عرض جغرافیایی N 40/33 و طول جغرافیایی E 40/57 و عمق 33 km NEIS

۴. فرانسه : عرض جغرافیایی N 31/33 و طول جغرافیایی E 40/57 و عمق 32 km C.S.EM

۵. ایران : عرض جغرافیایی N 35/33 و طول جغرافیایی E 40/57 و عمق 5 km

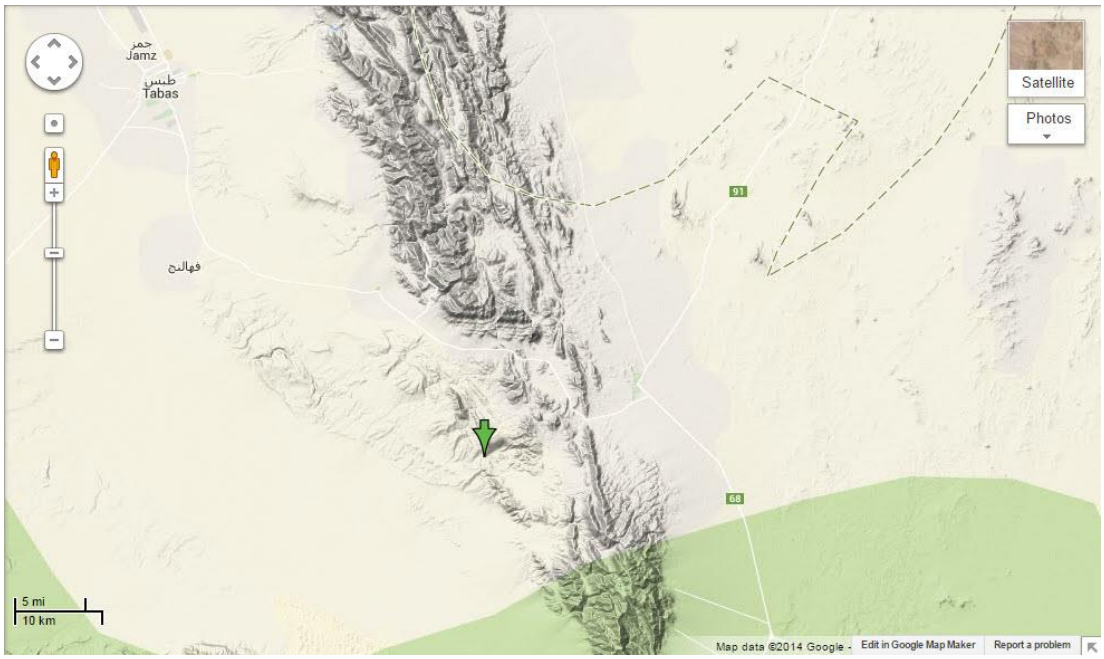
این مختصات عموماً جنوب شرقی منطقه خسارت دیده اصلی و حوالی دیهوک را نشان می دهند که خسارتها و شدت زلزله در آنها به مراتب کمتر از طبس بوده است. در مورد عمق نرمال با توجه به بزرگی و شدت زلزله و وسعت منطقه خسارت دیده به نظر می رسد عمقهای دیگر مراجع به واقعیت نزدیکتر است. مشخصات به دست آمده توسط ایران با استفاده از پایگاه های لرزه نگاری که ۲۳ عدد می باشند بدست آمده است.

بر طبق اطلاعات ذخیره شده در مرکز تحقیقات مهندسی زلزله اقیانوس آرام (PEER Strong Motion Database 2000) اطلاعات زیر در رابطه با زلزله ی طبس قابل استخراج است :

Earthquake:Tabas,Iran1978-09-16
Magnitude:7.35
Mo:1.1885E+27
Mechanism:2
Hypocenter Latitude: 33.2150 | Longitude: 57.3230 | Depth: 5.8 (km)
Fault Rupture Length: 90.0 (km) | Width: 35.0 (km)
Average Fault Displacement: 105.4 (cm)
Epicentral Distance: 55.24 (km) | Hypocentral Distance: 55.54 (km) |
Joyner-BooreDistance:1.79(km) Campbell R Distance: 6.78 (km) | RMS Distance: 21.13 (km) | Closest Distance: 2.05 (km)

بر طبق ادعای مرکز تحقیقات مهندسی زلزله اقیانوس آرام

(PEER Strong Motion Database 2000) محل وقوع زلزله ی طبس مختصـــا تی که در بالا ذکر شـده بود و تصـویر ارتفاعات منطقه ای که زلزله در آن رخ داده است که در تصویر زیر نشان داده شده است :



شکل ۲- ارتفاعات و محل رخداد زلزله ی طبس

و تصویر ماهواره ای :



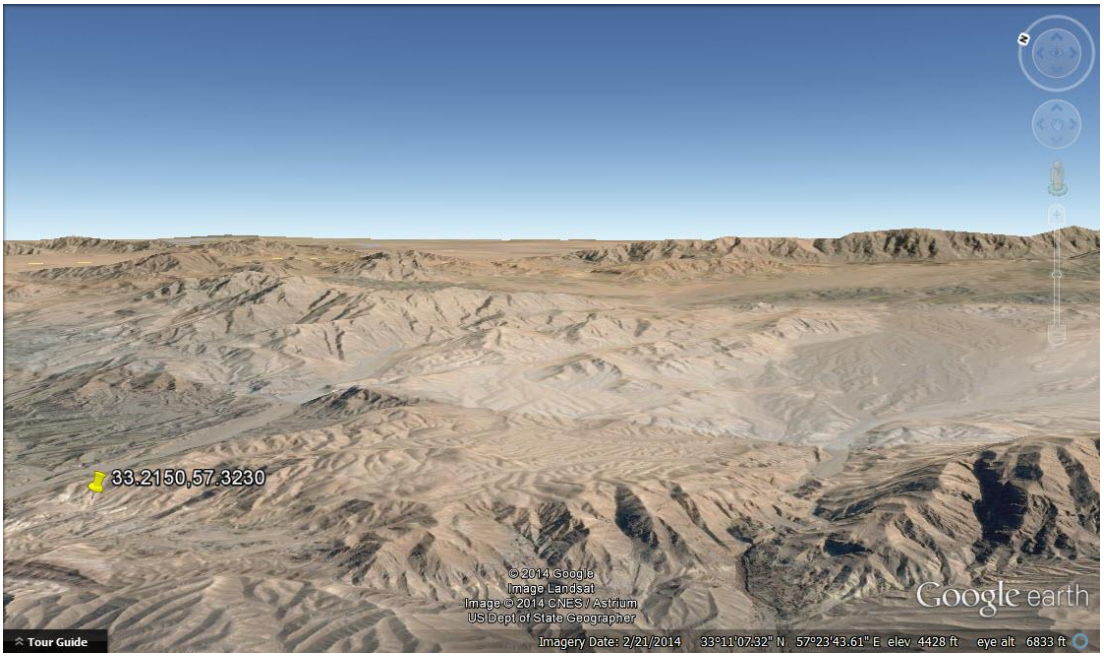
شکل ۳- تصویر ماهواره ای محل رخداد زلزله

در عکس زیر نمای سه بعدی محل رخداد زلزله با استفاده از فناوری GoogleEarth3D نشان داده شده است. دید به سمت شمال :



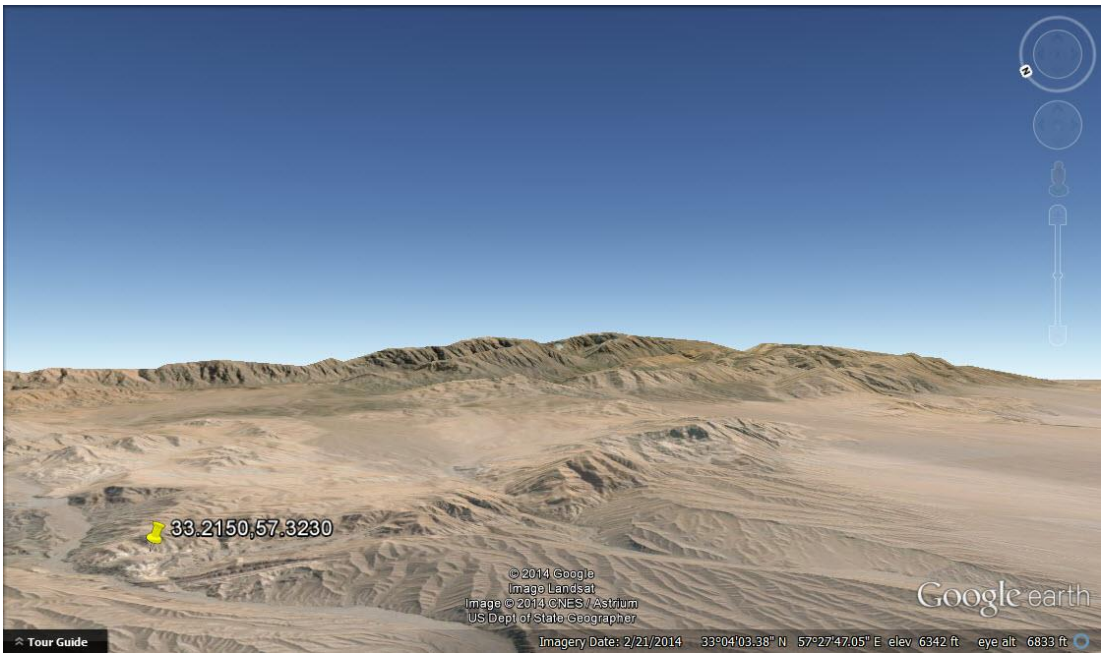
شکل ۴- دید به سمت شمال از محل زلزله بوسیله ی فناوری ۳بعدی

دید به سمت شرق :



شکل ۵- دید به سمت شرق از محل زلزله بوسیله ی فناوری ۳بعدی

و در نهایت دید به سمت جنوب :



شکل ۶ - دید به سمت جنوب از محل زلزله بوسیله ی فناوری ۳بعدی

فاصله ی تقریبی مرکز زلزله مذکور تا طبس و دیهوک نشان داده شده است :



شکل ۷- ۲۰,۵ کیلومتر و ۵۶,۳ کیلومتر فاصله ی مرکز زلزله تا دیهوک و طبس

۲-۱-۵- شدت و بزرگی زلزله

بزرگی زلزله طبس را USGS با امواج سطحی در ابتدا MS=7.7 گزارش کرد و سپس مراکز دیگر بزرگی آن را به شرح زیر محاسبه نموده اند:

I.S.C.MS=7.4Mb=6.4
MOSMS=7.3Mb=6.8
NEISMS=7.4Mb=6.5
BRK MS=7.8

شـدت زلزله طبس در محدوده۲۰ کیلومتری آن با مقیاس مرکالی حداکثر حدود X برآورد شده است و در مجاورت گسـلی که با زلزله طبس دیده شـد در خسـروآباد که نزدیکترین آبادی به گسل می باشد، یک دیوار سـالم به جای نمانده است. ساختمان غسالخانه که آجری با سقف تیرآهن و طاق ضربی است بکلی خراب شد و از ۱۱۰۰ نفر جمعیت آن ۵۰۰ نفر کشته شدند.

شدت زلزله با مشاهدات از منطقه چنین برآورد می شود:

طبس، خسروآباد، کریت، فهالنج بینX,IX

دیهشـــک، دشـــتغران، امامزاده ســـلطان،جعفرآباد (متروکه) مزرعه طلوعی، ابراهیم آباد، تقی آباد: بین IX,VIII

الهه آباد، جنت آباد، چمنزار، ده نو فاطمه برات، بهشـت آباد (متروکه) و اصفهک بینVIII,VII دیهوک، حسین آباد (متروکه)، رکن آباد (متروکه)، هادی آباد، همت آباد (شرق طبس)، و نصیرآباد: بینVII,VI



شکل ۸- خرابی های ایجاد شده در این زلزله مرگبار

با توجه به اطلاعات موجود این مرکز مطالعاتی اطلاعات مربوط به هفت ایســـتگاه هنگام وقوع زلزله ی طبس را عرضه می کند که در شکل زیر نشان داده شده اند :

Query Results

Record ID	Earthquake	Station	Data Source	Record/Component	HP (Hz)	LP (Hz)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
P0138	Tabas, Iran 1978/09/16	69 Bajestan		TABAS/BAJ-V1	0.05	null	0.029	5.7	6.16
P0138	Tabas, Iran 1978/09/16	69 Bajestan		TABAS/BAJ-T1	0.02	15.0	0.067	5.7	10.03
P0138	Tabas, Iran 1978/09/16	69 Bajestan		TABAS/BAJ-L1	0.02	15.0	0.094	7.6	10.77
P0139	Tabas, Iran 1978/09/16	70 Boshrooyeh		TABAS/BOS-V1	0.06	null	0.085	11.6	8.36
P0139	Tabas, Iran 1978/09/16	70 Boshrooyeh		TABAS/BOS-T1	0.04	20.0	0.089	18.0	18.27
P0139	Tabas, Iran 1978/09/16	70 Boshrooyeh		TABAS/BOS-L1	0.04	20.0	0.107	13.7	10.5
P0140	Tabas, Iran 1978/09/16	9102 Dayhook		TABAS/DAY-UP	0.1	null	0.183	12.0	4.97
P0140	Tabas, Iran 1978/09/16	9102 Dayhook		TABAS/DAY-LN	0.1	null	0.328	20.6	12.56
P0140	Tabas, Iran 1978/09/16	9102 Dayhook		TABAS/DAY-TR	0.1	null	0.406	26.5	8.75
P0141	Tabas, Iran 1978/09/16	71 Ferdows		TABAS/FER-V1	0.04	null	0.053	7.6	6.78
P0141	Tabas, Iran 1978/09/16	71 Ferdows		TABAS/FER-L1	0.02	20.0	0.087	5.7	4.61
P0141	Tabas, Iran 1978/09/16	71 Ferdows		TABAS/FER-T1	0.04	20.0	0.108	8.6	9.69
P0142	Tabas, Iran 1978/09/16	72 Kashmar		TABAS/KSH-T1	0.02	20.0	0.037	11.4	7.1
P0142	Tabas, Iran 1978/09/16	72 Kashmar		TABAS/KSH-L1	0.03	20.0	0.034	10.7	10.6
P0142	Tabas, Iran 1978/09/16	72 Kashmar		TABAS/KSH-V1	0.05	20.0	0.026	7.4	6.78
P0143	Tabas, Iran 1978/09/16	73 Sedeh		TABAS/SED-V1	0.02	20.0	0.013	6.1	11.61
P0143	Tabas, Iran 1978/09/16	73 Sedeh		TABAS/SED-L1	0.02	20.0	0.026	5.6	6.42
P0143	Tabas, Iran 1978/09/16	73 Sedeh		TABAS/SED-T1	0.02	20.0	0.027	4.1	4.91
P0144	Tabas, Iran 1978/09/16	9101 Tabas		TABAS/TAB-UP	0.05	null	0.688	45.6	17.04
P0144	Tabas, Iran 1978/09/16	9101 Tabas		TABAS/TAB-LN	0.05	null	0.836	97.8	36.92
P0144	Tabas, Iran 1978/09/16	9101 Tabas		TABAS/TAB-TR	0.05	null	0.852	121.4	94.58

شکل ۹- ایستگاه های ثبت کننده ی اطلاعات زلزله ی طبس

که در شکل زیر ایستگاه هایی که بیشترین شتاب را ثبت کرده اند مشخص شده اند :

Query Results

Record ID	Earthquake	Station	Data Source	Record/Component	HP (Hz)	LP (Hz)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
P0138	Tabas, Iran 1978/09/16	69 Bajestan		TABAS/BAJ-V1	0.05	null	0.029	5.7	6.16
P0138	Tabas, Iran 1978/09/16	69 Bajestan		TABAS/BAJ-T1	0.02	15.0	0.067	5.7	10.03
P0138	Tabas, Iran 1978/09/16	69 Bajestan		TABAS/BAJ-L1	0.02	15.0	0.094	7.6	10.77
P0139	Tabas, Iran 1978/09/16	70 Boshrooyeh		TABAS/BOS-V1	0.06	null	0.085	11.6	8.36
P0139	Tabas, Iran 1978/09/16	70 Boshrooyeh		TABAS/BOS-T1	0.04	20.0	0.089	18.0	18.27
P0139	Tabas, Iran 1978/09/16	70 Boshrooyeh		TABAS/BOS-L1	0.04	20.0	0.107	13.7	10.5
P0140	Tabas, Iran 1978/09/16	9102 Dayhook		TABAS/DAY-UP	0.1	null	0.183	12.0	4.97
P0140	Tabas, Iran 1978/09/16	9102 Dayhook		TABAS/DAY-LN	0.1	null	0.328	20.6	12.56
P0140	Tabas, Iran 1978/09/16	9102 Dayhook		TABAS/DAY-TR	0.1	null	0.406	26.5	8.75
P0141	Tabas, Iran 1978/09/16	71 Ferdows		TABAS/FER-V1	0.04	null	0.053	7.6	6.78
P0141	Tabas, Iran 1978/09/16	71 Ferdows		TABAS/FER-L1	0.02	20.0	0.087	5.7	4.61
P0141	Tabas, Iran 1978/09/16	71 Ferdows		TABAS/FER-T1	0.04	20.0	0.108	8.6	9.69
P0142	Tabas, Iran 1978/09/16	72 Kashmar		TABAS/KSH-T1	0.02	20.0	0.037	11.4	7.1
P0142	Tabas, Iran 1978/09/16	72 Kashmar		TABAS/KSH-L1	0.03	20.0	0.034	10.7	10.6
P0142	Tabas, Iran 1978/09/16	72 Kashmar		TABAS/KSH-V1	0.05	20.0	0.026	7.4	6.78
P0143	Tabas, Iran 1978/09/16	73 Sedeh		TABAS/SED-V1	0.02	20.0	0.013	6.1	11.61
P0143	Tabas, Iran 1978/09/16	73 Sedeh		TABAS/SED-L1	0.02	20.0	0.026	5.6	6.42
P0143	Tabas, Iran 1978/09/16	73 Sedeh		TABAS/SED-T1	0.02	20.0	0.027	4.1	4.91
P0144	Tabas, Iran 1978/09/16	9101 Tabas		TABAS/TAB-UP	0.05	null	0.688	45.6	17.04
P0144	Tabas, Iran 1978/09/16	9101 Tabas		TABAS/TAB-LN	0.05	null	0.836	97.8	36.92
P0144	Tabas, Iran 1978/09/16	9101 Tabas		TABAS/TAB-TR	0.05	null	0.852	121.4	94.58

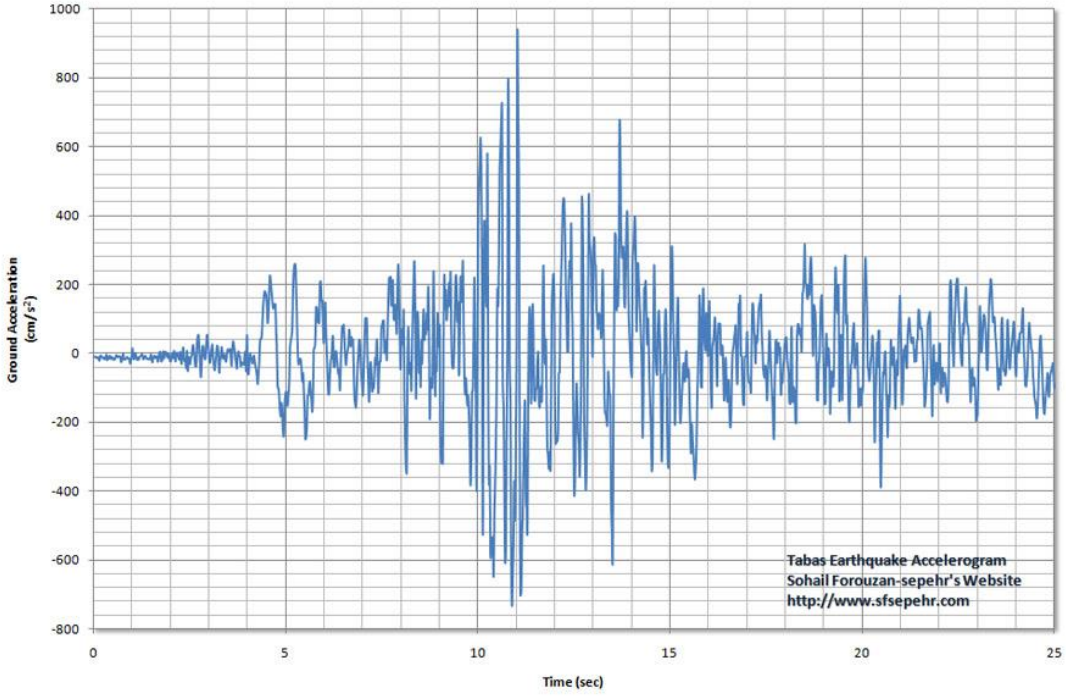
شکل ۱۰- بیشترین شتاب ثبت شده توسط شتاب نگاشت ها و ارائه شده توسط مرکز مصالعات زلزله اقیانوس آرام

۲-۱-۶- شتاب زلزله

دستگاه شتابنگار SMA-1 موجود در شهر طبس نموداری با حداکثر شتاب حدود نود درصد شتاب ثقل زمین را ثبت نموده است که آثار واژگونی بعضی اشیاء، افتادن دیوار، پرت شدن قلوه سنگها در سطح زمین و جابجایی اشیاء سنگین نشان دهنده‌ی وجود شتاب قابل توجه زلزله در حوالی شهر طبس می باشد. در طبس صندوق فلزی پست که در بتن کار شده بود و دستگاه سیمکوپ از جا کنده شده و حرکت قائم آن، شتاب قائم بسیار زیاد زلزله را نشان می دهد.

در ژنراتور ۵۰ تنی برق، Cm۸۰ و در منبع گازوئیل این مرکز برق که حاوی ۵۰ متر مکعب سوخت بوده Cm۱۷ تغییر مکان مشاهده شده است. بدین ترتیب مشاهدات محلی نیز شتاب زیادی را در امتداد قائم و افقی نشان می دهند با حداکثر شتاب افقی g٪۹۶ و شتاب قائم حداکثر g٪۷۲ در زلزله‌ی طبس علاوه

بر شتابنگار موجود در منطقه، شتابنگار دیهوک واقع در ۷۵ کیلومتری جنوب شرق طبس نمودارهایی با حداکثر شـــتاب افقی حدود% ۳۸g و حداکثر شـــتاب قائم حدود g٪۱۸ ، در بجســـتان واقع در ۱۶۰ کیلومتری شـمال شـرق طبس نیز دسـتگاه شتابنگار نمودارهایی با حداکثر شتاب افقی حدود g٪۲۲ و حداکثر شـتاب قائم حدود g٪۳ ثبت نموده است و بقیه‌ی شتابهایی زیر 15% g داشته اند. تصویری از شتابنگاشتت زلزله ی طبس در زیر آورده شده است :

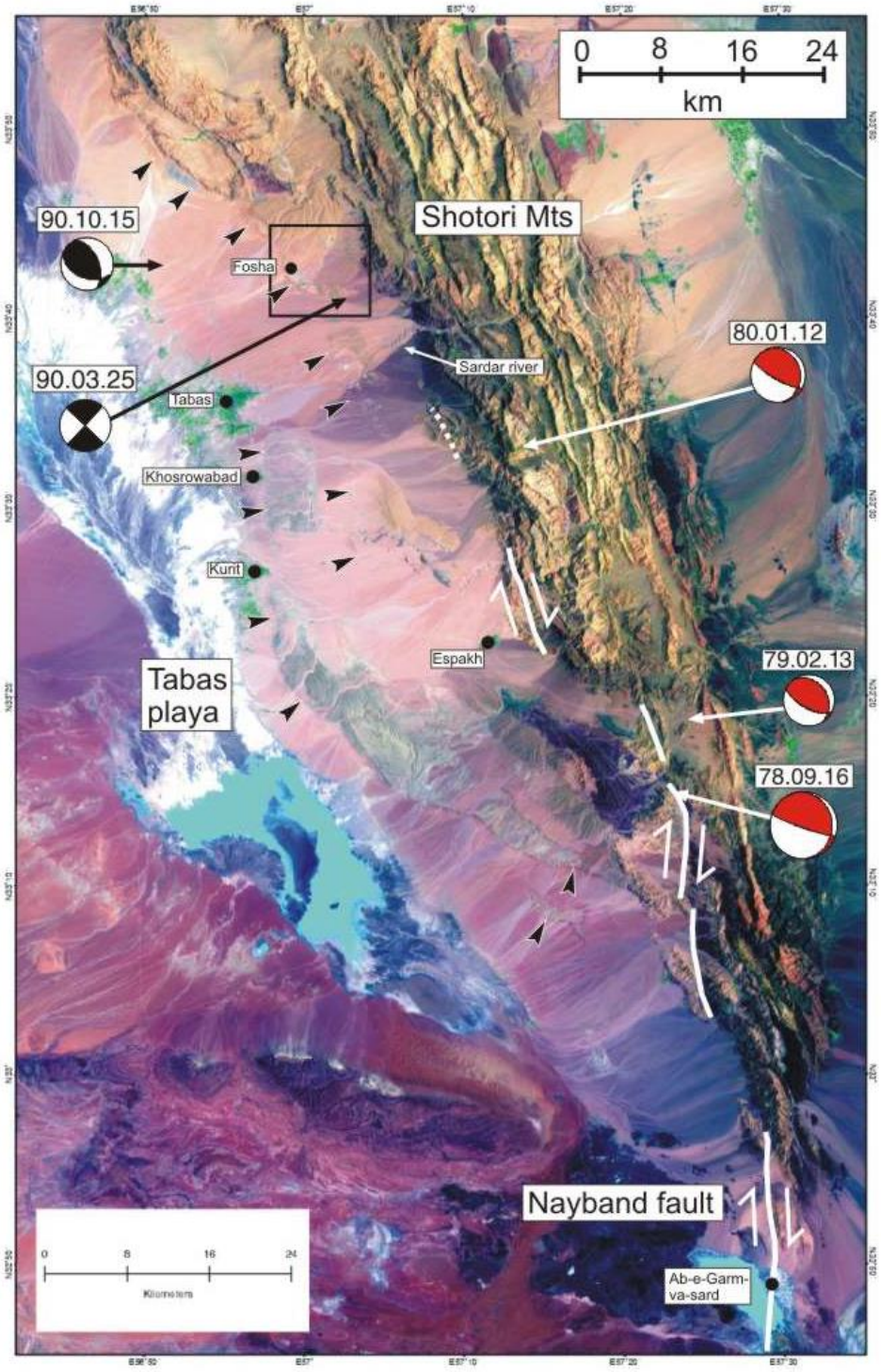


شکل ۱۱- یکی از شتابنگاشت های بحرانی زلزله ی طبس

۲-۱-۷- گسل زلزله ی طبس

در این گسل مثل همیشه طبس تا قبل از زمین لرزه سال ۱۳۵۷ جزو مناطق با خطر نسبی متوسط پهنه بندی شده بود. تحقیقات و پژوهش های ریخت زمین شناسی و نو زمین ساختی نشان می دهد که طبس به دلیل وضعیت خاص زمین شناسی مستعد زلزله های با قدرت بالا بوده ولی ابزارهای موجود در گذشته، توان شناسایی این پتانسیل را نداشته است. گسل عامل این زمین‌لرزه حدود ۸۰ کیلومتر طول دارد و در عمق حدود ۱۰ کیلومتری سطح زمین واقع است که از فاصله حدود ۱۰ کیلومتری شهر طبس عبور

می‌کند و کانون این زمین‌لرزه هم در نزدیکی روستای کریت طبس واقع بود و خرابی‌ها از شهر دیهوک در جنوب شرق تا روستای اصفهک و سپس خود شهر طبس گسترش می‌یافت. شهر طبس از منطقه‌ی گسل نایبند فاصله‌ی چندانی ندارد. گسلهای مهم آن، گسل کوهبانان، گسل کلمرو، گسل داور، گسل کلرکوه، گسل اصفهک، گسل اسفندیار، گسل نایبند که عموماً شمالی- جنوبی می باشند و گسل جدید آن در ۵ کیلومتری طبس که شمالی جنوبی می باشد و با این زلزله دیده شده است. طول آن ۳ کیلومتر روی زمین که از شمال شرق طبس در سرآسیاب تا جنوب آن حدود معظم آباد ادامه دارد و طول غیر پیوسته ۸۵ کیلومتر برایش تخمین زده شده است. حداکثر تغییر مکان قائم cm۳۰ در ۵ کیلومتری جنوب شرقی خسروآباد مشاهده شده و تغییر مکان افقی ناچیز حدود cm۵ در جاده‌ی خسروآباد به ده نو بوده است.



شکل ۱۲- تصویری از گسل زلزله ی طبس

تمامی مطالب مقدماتی بالا از دانشنامه طبس گلشن دریافت شده اند. (دانشنامه ی طبس گلشن ۲۰۰۹)

۲-۲- ProShake چیست ؟

پیشرفت های اخیر در تکنولوژی کامپیوتر، سیستمهای کاربری و زبان نویسی اجازه داده اند تا برنامه های کامپیوتری توسعه پیدا کنند. برنامه هایی که بطور گسترده عملیات ورود اطلاعات را ساده کرده و نتایج مهم و رفتارهای با ارزش اطلاعاتی را ارائه می کنند.

در حال حاضر چندین روش برای ارزیابی اثر شرایط خاک محلی بر پاسخ زمین در طول زلزله موجود می باشند. اکثر این روش ها بر اساس فرضیاتی از پاسخ اصلی توده خاک که موجب گسترش رو به بالای موج برش از لایه سنگ بستر زیرین می باشد. این روش آنالیز بر اساس مفهوم رفتار غیرخطی خاک تطابق خوبی را مشاهده موردی دارد. بر اساس این یافته ها این روش در مهندسی زلزله برای پیش بینی پاسخ توده های خاک و مشخصات حرکت سطح زمین استفاده بسیاری یافت.

Proshake برنامه ای است که در محیطی آسان فرآیند تحلیل نتایج حرکات زمین را با سهولت و سرعت بالا انجام می دهد.

برنامه ProShake پاسخ سیستم همگن، ویسکوالاستیک با لایه های محدود افقی را که موج های برشی در آن بطور عمودی منتشر می شوند را محاسبه می کند. فرضیات زیر در آنالیز برنامه ProShake لحاظ می شدند :

۱. سیستم خاک تنها در جهت افقی گسترش می یابد.
۲. هر لایه از سیستم خاک بطور کامل بوسیله مقدار مدول برش، نسبت میرایی بحرانی، تراکم و ضخامت تعریف می شود.
۳. پاسخ سیستم موجب انتشار رو به بالای موج برش از لایه های بستر سنگی می گردد.

۲-۲-۱- تئوری مورد استفاده در ProShake

تئوری استفاده شده در نرم افزار ProShake بر طبق راهنمایی این نرم افزار (ProShake manual 2005) این گونه توصیف شده است :

ProShake uses a frequency domain approach to solve the ground response problem. In simple terms, the input motion is represented as the sum of a series of sine waves of different amplitudes, frequencies, and phase angles. A relatively simple solution for the response of the soil profile to sine waves of different frequencies (in the form of a transfer function) is used to obtain the response of the soil deposit to each of the input sine waves. The overall response is obtained by summing the individual responses to each of the input sine waves. This section describes the basic
mathematics of the process for a problem involving a single soil layer, illustrates

how that problem can be solved using a widely available mathematical programming language, and extends the approach to layered systems.

۲-۳- Quake/W چیست ؟

روابط و فرمولاســـیون برنـامـه هـای Quake/W و ProShake کـاملا متفاوت می باشـــد. برنامه ی ProShake از حوزه ی فرکانس برای تحلیل زمین اسـتفاده می کند (Idriss 1992) . آنالیز های مورد استفاده در این برنامه بر اساس کتاب مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای استوین کرامر می باشد (Ksramer 1996). برنامه ی Quake/W بر اسـاس روابط اجزاء محدود و با اسـتفاده از انتگرال گیری مستقیم در حوزه زمان عمل می کند. که مشاهده می شود علی رغم فرمولاسیون متفاوت نتایج تطابق نسبتا خوبی دارند.

فصل ۳: شرح انجام پروژه

۳-۱- صورت مسئله ی پروژه

به نام خدا

پروژه درس دینامیک خاک

گروه ۹

صورت پروژه: پروفیل خاک داده شده را در نظر بگیرید. مشخصات هندسی لایه پایینی و مشخصات لرزه‌ای و ژئوتکنیکی هر دو لایه در شکل داده شده است.

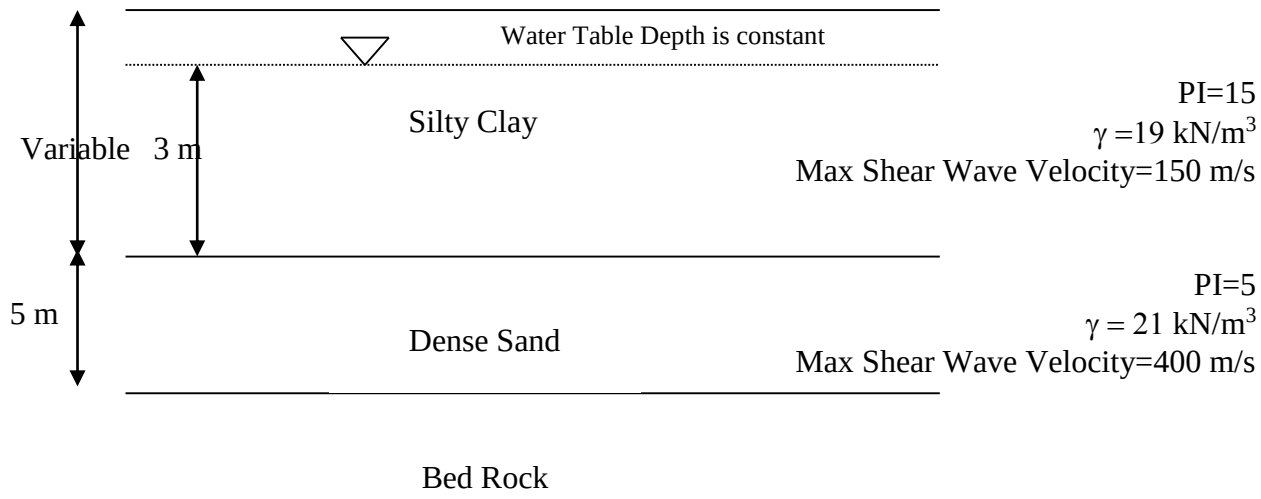
شتاب نگاشت مورد استفاده: رکورد زلزله طبس در ایستگاه طبس

مدل رفتاری خاک:

Module (G) reduction curve: Vocetic & Dobry
Damping ratio curve: Vocetic & Dobry

مطلوبست:

۱. اصلاح شتاب نگاشت (Scaling) به شتاب ماکزیمم 0.35g
۲. طیف فوریه شتاب نگاشت حاصل از ۱ و تعیین پریود غالب و یا تعیین باند آن
۳. طیف قدرت شتاب نگاشت حاصل از ۱
۴. تشکیل یک موج سینوسی که پریود آن برابر پریود غالب در ۲ بوده و دامنه آن 0.25g و مدت آن برابر با مدت شتاب نگاشت باشد.
۵. ترسیم منحنی تغییرات بزرگنمایی موج زلزله در سطح خاک در برابر تغییرات ضخامت لایه بالایی در دو حالت زیر:
   - در اثر اعمال شتاب نگاشت حاصل از ۱
   - در اثر اعمال موج سینوسی حاصل از ۴
۶. تعیین ارتفاع بحرانی لایه بالایی هم برای موج سینوسی و هم برای شتاب نگاشت که در آن بیشترین بزرگنمایی در سطح رخ می‌دهد. آیا در این ارتفاع تشدید رخ داده است ؟
۷. بحث در مورد ارتفاع خاک بدست آمده در ۶ و ارتباط آن با روابط موجود در انتشار امواج در حالت موج سینوسی
۸. منحنی تغییرات شتاب، سرعت و تغییر مکان ماکزیمم نسبت به عمق در حالت عمق بحرانی
۹. روابط ارائه شده توسط Vocetic & Dobry در مورد منحنی های کاهش مدول و افزایش نسبت میرایی با ذکر مراجع معتبر
۱۰. نکات قابل توجه در حین انجام پروژه و نتیجه گیری



شکل ۱۳- تصویری شماتیک از اطلاعات پروفیل خاک

۳-۲- مراحل تعریف پروژه

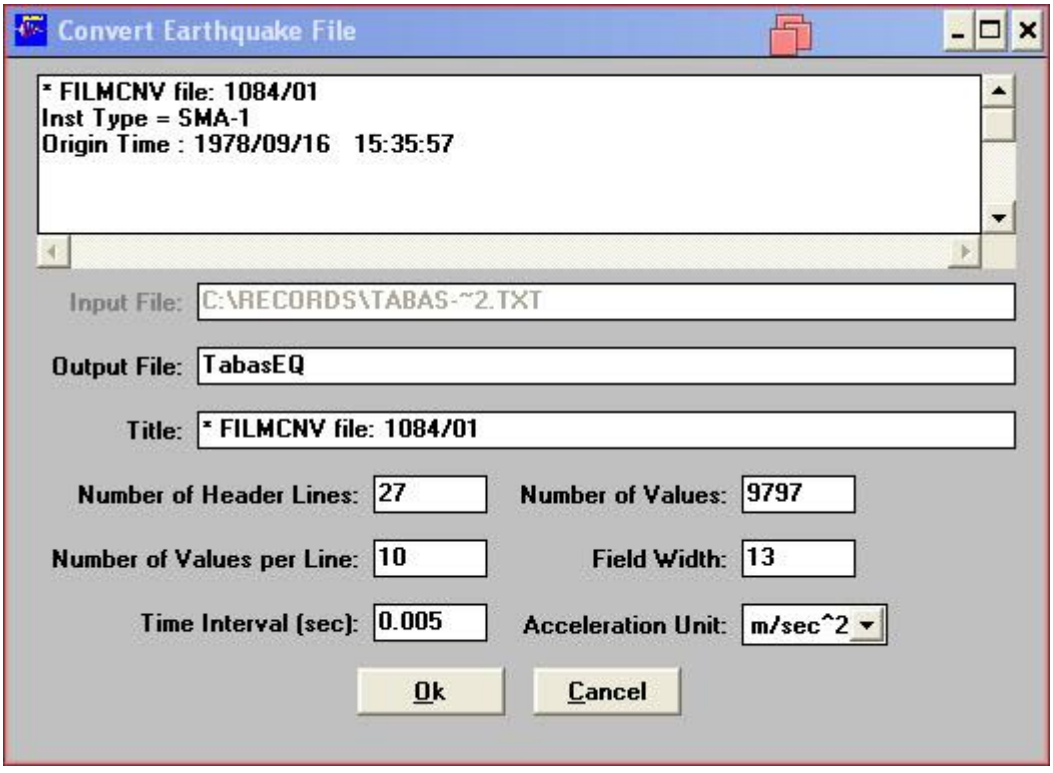
۳-۲-۱- تبدیل فرمت فایل متنی (*.txt) به فرمت ورودی ProShake (*.eq)

فایل رکورد زلزله ورودی در این پروژه به صورت txt می باشد. برای استفاده از این رکورد باید این فایل را به فایلی که برای نرم افزار قابل برداشت است تبدیل کنیم، برای این منظور در نرم افزار منویی تعبیه شده که فایل‌های متنی را به فایل با پسوند eq تبدیل می کند. حال از فایل شامل داده های زلزله ی طبس (زلزله مربوط به این پروژه) اطلاعات مورد نیاز را برداشت می نماییم. این داده ها شامل شماره‌ی خط بالایی شـروع شـتاب ها که برای این گروه در زلزله ی طبس خط ۲۷ بود. تعداد کل شـتاب های ثبت شـده که تعداد ۹۷۹۷ بود. تعداد داده در هر خط که ۱۰ سـتون وجود داشـت. تعداد رقم هر عدد شتاب که با مثبت و منفی و صفر قبل ممیز و ممیز تعداد ۱۳ رقم بود. بازه زمانی ثبت هر شتاب که در فایل مورد نظر آمده است ۰,۰۰۵ ثانیه بود. و در آخر به شکل زیر داده رکورد زلزله را تبدیل می‌کنیم. نکته ی بسـیار حائز اهمیت در این تبدیل توجه به واحد شتاب است، رنج اطلاعات موجود در فایل txt حدود ۰,۵ است، به خوبی قابل استناد است که واحد این اطلاعات متر بر مجذور ثانیه است.

زلزله ی طبس	اطلاعات مورد نیاز	
۲۷	تعداد خطوط توضیحات ابتدایی در فایل txt	Number Of Header Lines
۹۷۹۷	تعداد داده ثبت شده برای شتابنگاشت زلزله	Number Of Values
۱۰	تعداد ستون های داده ثبت شده	Number Of Values Per Line
۱۳	تعداد کاراکترهای هر داده ثبت شده	Field Width
۰,۰۰۵	فاصله زمانی برای داده ها	Time Interval(Sec)
m/sec^2	واحد شتاب	Acceleration Unit

جدول ۱- ویژگی های اطلاعات شتابنگاشت زلزله ی طبس

تصـویر زیر نشان دهنده صفحه ای است که بوسیله ی نرم افزار ProShake می توان تبدیل را انجام داد :

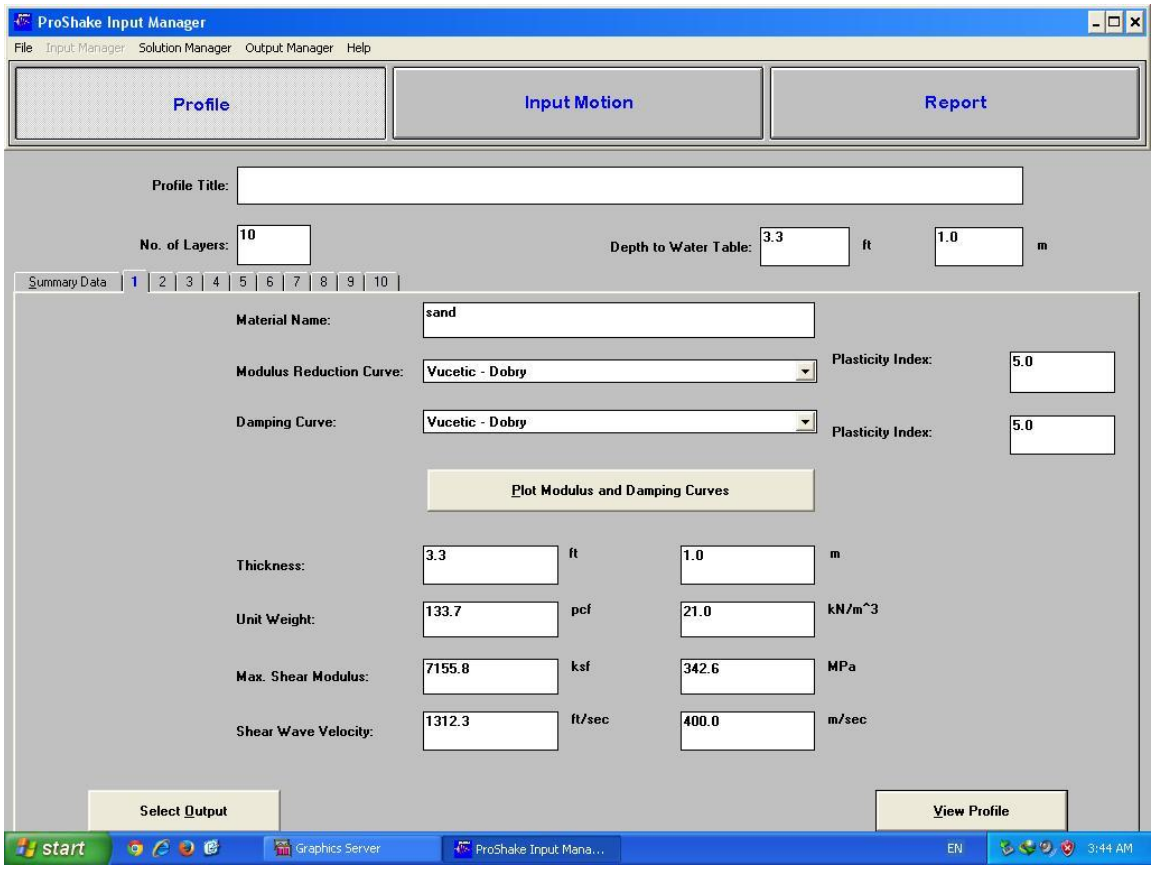


شکل ۱۴- تبدیل فایل با فرمت txt به فرمت eq

۳-۲-۲- تعریف پروفیل خاک

در ابتدای کار با برنامه برای شروع یک پروژه جدید، باید پروفیل خاک مورد بررسی را به برنامه معرفی نمود و در راستای تعریف پروفیل، ویژگی های اساسی را در برنامه وارد نمود. که از جمله این ویژگی ها، می توان به الگوی تغییر مدول خاک و میرایی در عمق (که در این پروژه از مدلVocetic & Dobry استفاده شده است) ، سرعت برشی خاک و وزن مخصوص و ضخامت آن اشاره نمود. نکته لازم به یادآوری در مورد ضخامت پروفیل این است که چنانچه قصد داشته باشیم نحوه تغییرات پارامترهای خروجی از برنامه را در عمق یک لایه مشخص مورد بررسی قرار دهیم الزاما باید این لایه خاک را به زیر لایه هایی تقسیم نموده و به عنوان لایه مجزایی تعریف نماییم تا قادر باشیم خروجی های مد نظر را از برنامه در سطح مورد نظر بدست آوریم. در این پروژه نیز هر لایه خاک با مشخصات ثابت به زیر لایه هایی به ضخامت ۱ متر تقسیم شده است. در بخش select output نیز می توان آنچه در خروجی نیاز داریم را مشخص کنیم و درصدهای متفاوت میرایی را برای ترسیم طیف پاسخ در این بخش وارد می کنیم. در مورد گزینه outcrop لازم به توضیح است که در لایه ی Bedrock این گزینه فعال خواهد شد.

در پروژه حال حاضر تعداد لایه های تعریف شده را تا عمق ۱۰ متر سیلت ادامه می دهیم تا عمق بحرانی را در پروژه بدست بیاوریم، سطح آب هم همواره با تغییر عمق چون نسبت به سطح زمین در نظر گرفته شده است ، با تغییر عمق ، باید اصلاح شود.

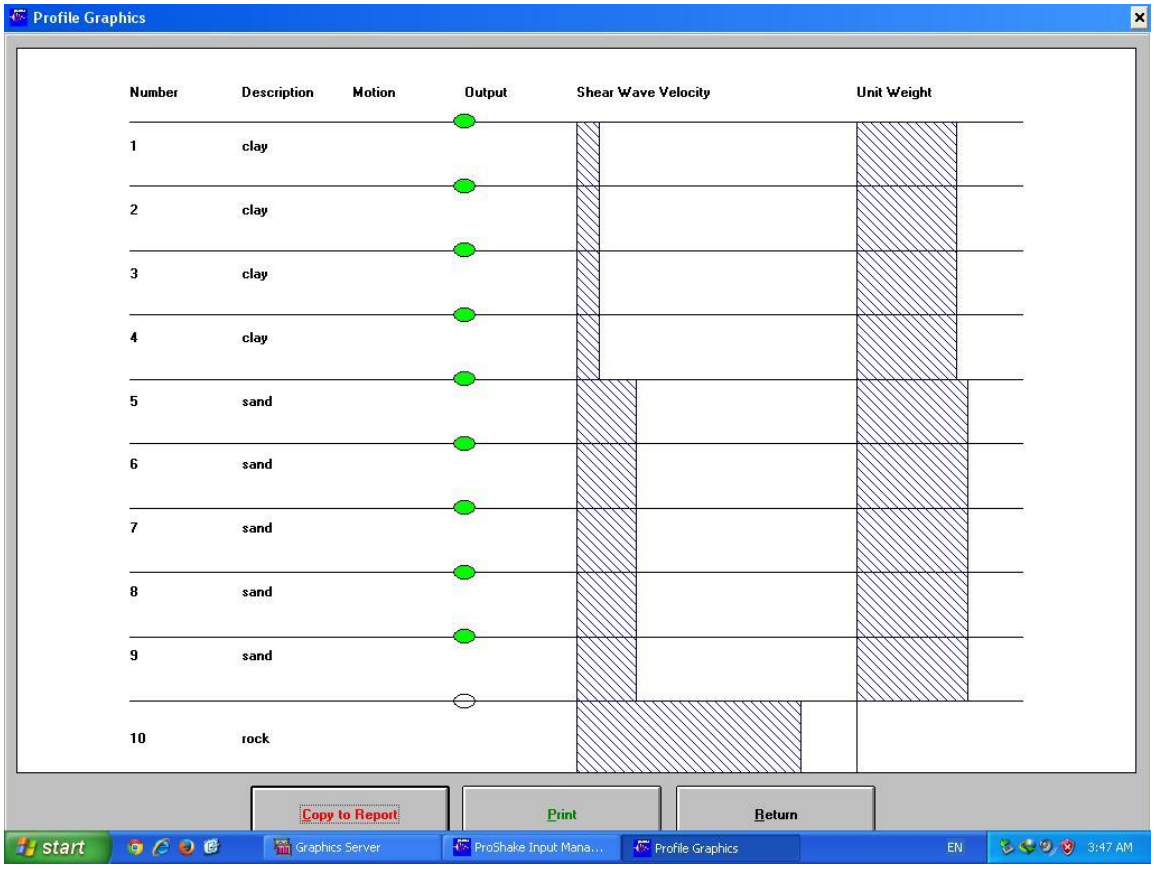


شکل ۱۵- محل تعریف پروفیل خاک

Layer Number	Material Name	Thickness (ft)	Unit Weight (pcf)	Gmax (ksf)	Vs (ft/sec)	Modulus Curve	Damping Curve	Mod. Parameter	Damp. Parameter
1	silty clay	3.28	120.95	910.44	492.13	Vucetic - Dobry	Vucetic - Dobry	15.00	15.00
2	sand	3.28	133.68	7,155.76	1,312.34	Vucetic - Dobry	Vucetic - Dobry	5.00	5.00
3	sand	3.28	133.68	7,155.76	1,312.34	Vucetic - Dobry	Vucetic - Dobry	5.00	5.00
4	sand	3.28	133.68	7,155.76	1,312.34	Vucetic - Dobry	Vucetic - Dobry	5.00	5.00
5	sand	3.28	133.68	7,155.76	1,312.34	Vucetic - Dobry	Vucetic - Dobry	5.00	5.00
6	sand	3.28	133.68	7,155.76	1,312.34	Vucetic - Dobry	Vucetic - Dobry	5.00	5.00
7	bed rock	Infinite	140.05	105,419.68	4,921.26	Rock	Rock		

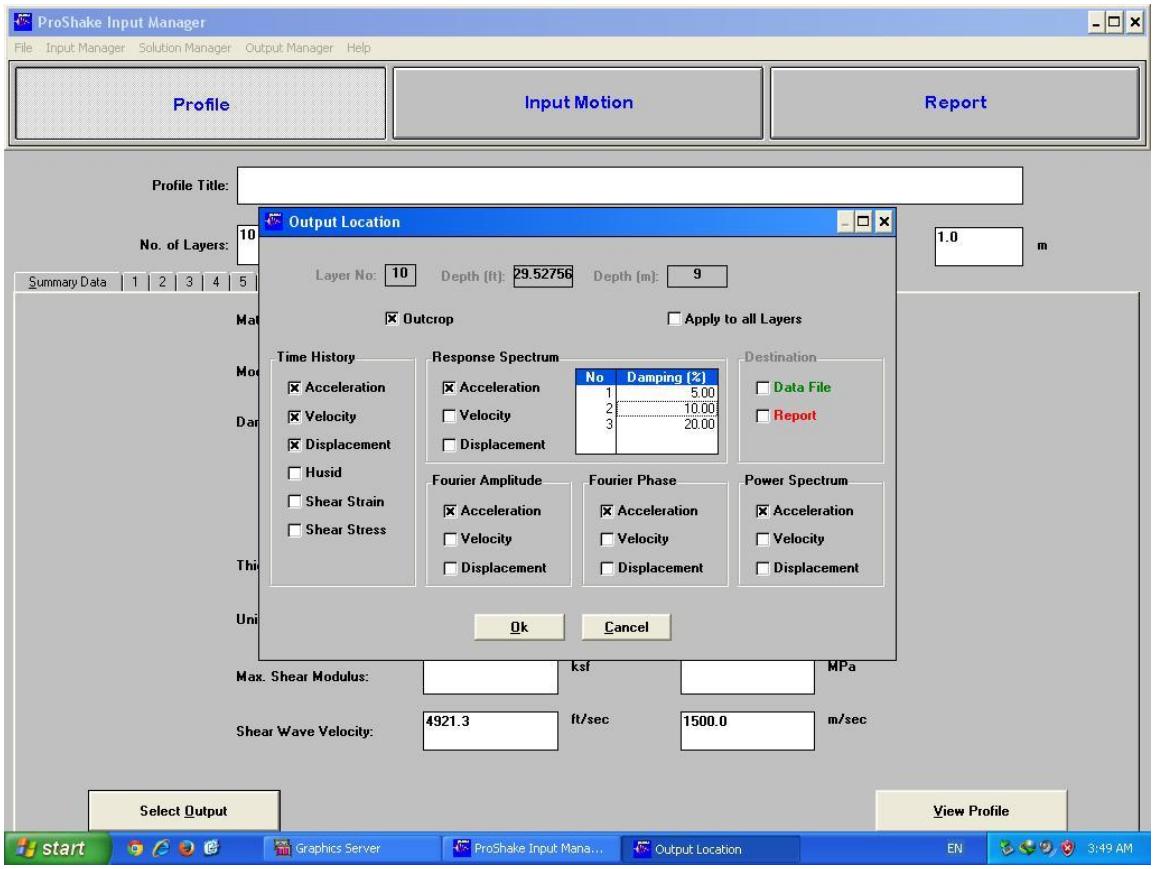
جدول ۲- جدول مشخصات یک پروفیل اختیاری

روند تعریف پروفیل را تا ۱۰ لایه ی سیلت تکرار می کنیم، شکل کلی لایه ها به صورت شماتیک به صورت زیر می شود:



شکل ۱۶- یک نمونه پروفیل تعریف شده در نرم افزار

خروجی های مورد نیاز که بعد تحلیل نیاز داریم را از نرم افزار به شکل زیر از گزینه Select Output از منوی Inpute motion انتخاب می کنیم تا بعد از تحلیل اطلاعات مورد نیاز برای هر لایه را در اختیار کاربر قرار دهد.



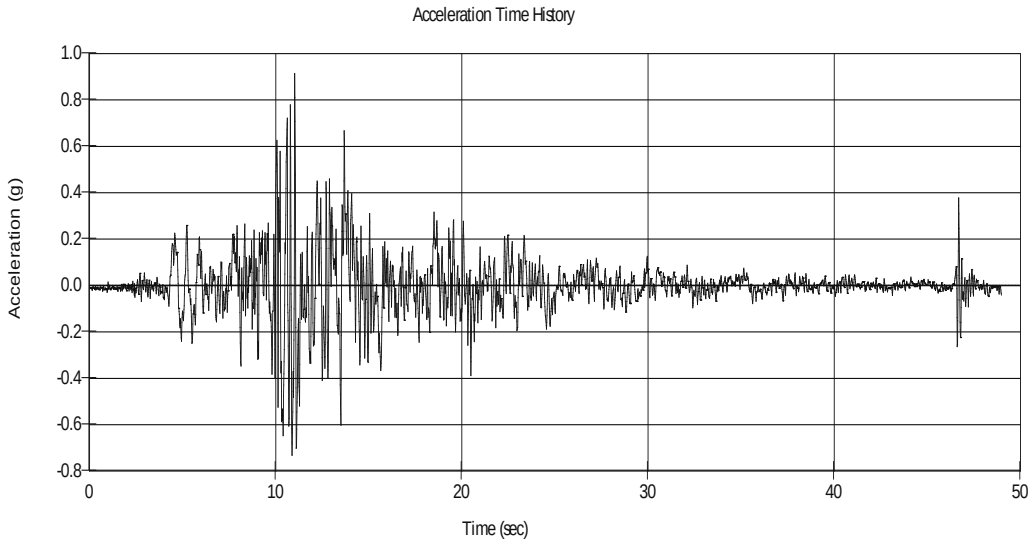
شکل ۱۷- محل ایجاد خروجی

۳-۲-۳- تعریف زلزله ی ورودی

برای اعمال تحریک در برنامه در ابتدا باید تعداد تحریک ها را تعیین نمود و ما در این پروژه دو تحریک شتابنگاشت طبس و شتابنگاشت سینوسی که مطابق مولفه های تعریف شده در صورت پروژه و دوره تناوب اصلی (Predominant period) زلزله طبس تهیه شده است را اعمال خواهیم نمود. برای اعمال تحریک زلزله طبس فایل با پسوند eq که در مرحله قبل تبدیل نمودیم را وارد برنامه می کنیم که اطلاعات آن به صورت شکل زیر می باشد.

تنها باید در این بخش خواسته سوال ۱ را پاسخ داد و در بخش Peak acceleration(g) ضریب ۰,۳۵ را وارد نمود با این کار شتابنگاشت زلزله مقیاس می شود به صورتی که شتاب ماکزیمم به 0.35g تبدیل می شود. حال می توان نمودار های مختلف و طیف های متفاوت زلزله را به همراه اطلاعات کلی مشاهده نمود.

شکل رکورد وارده بدون اصلاح شتاب ماکسیمم به صورت زیر می‌باشد:

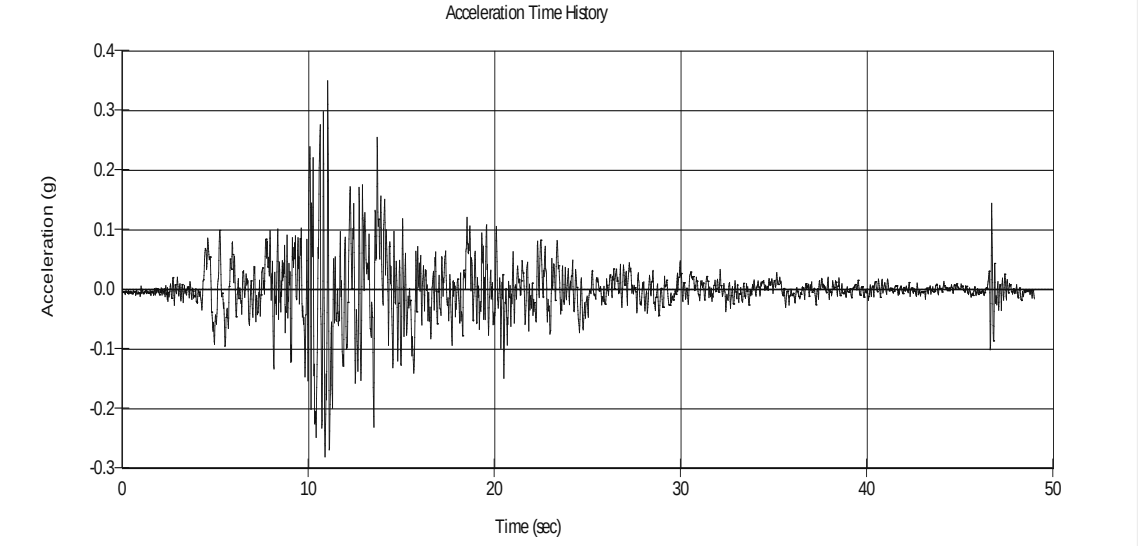


شکل ۱۸ - شتابنگاشت اصلاح نشده ی زلزله ی طبس

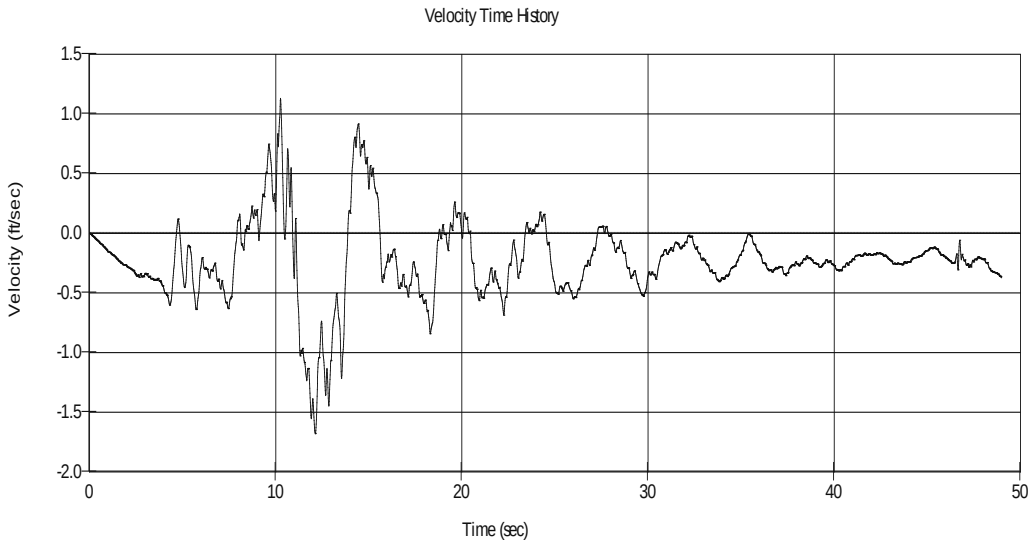
۳-۳- پاسخ سوالات

۳-۳-۱- پاسخ سوال ۱

بعد از اطلاع شتاب نگاشت به 0.35g زلزله ورودی به شکل زیر اطلاح می‌شود:



شکل ۱۹- اصلاح شتابنگاشت زلزله ی طبس با شتاب بیشینه ی 0.35g

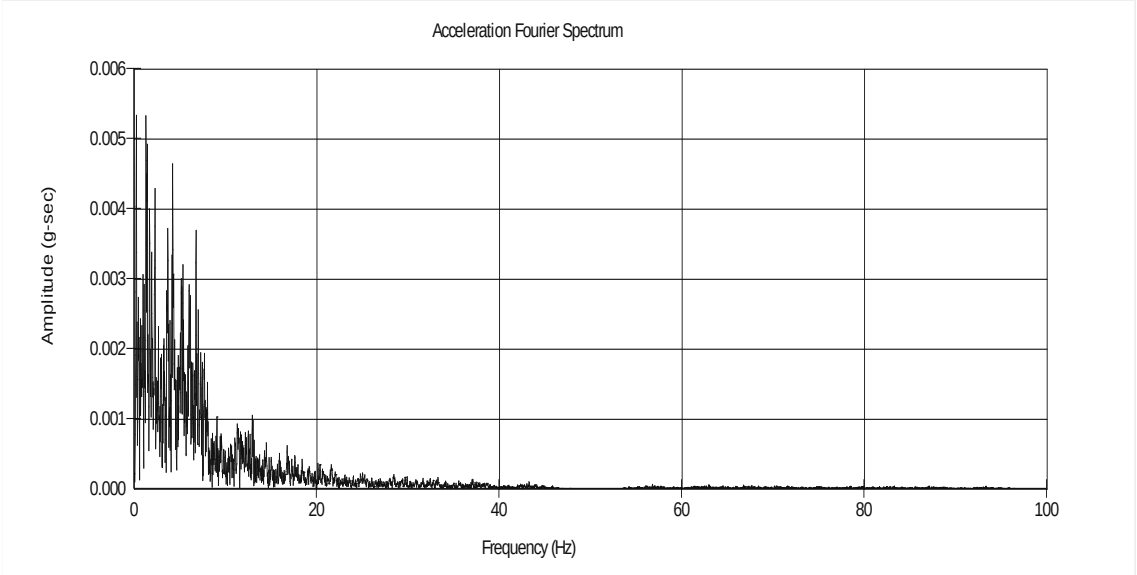


شکل ۲۰- طیف سرعت شتابنگاشت اصلاح شده



شکل ۲۱- طیف جابجایی شتابنگاشت اصلاح شده

۳-۳-۲- پاسخ سوال ۲



شکل ۲۲- طیف فوریه ی شتابنگاشت اصلاح شده

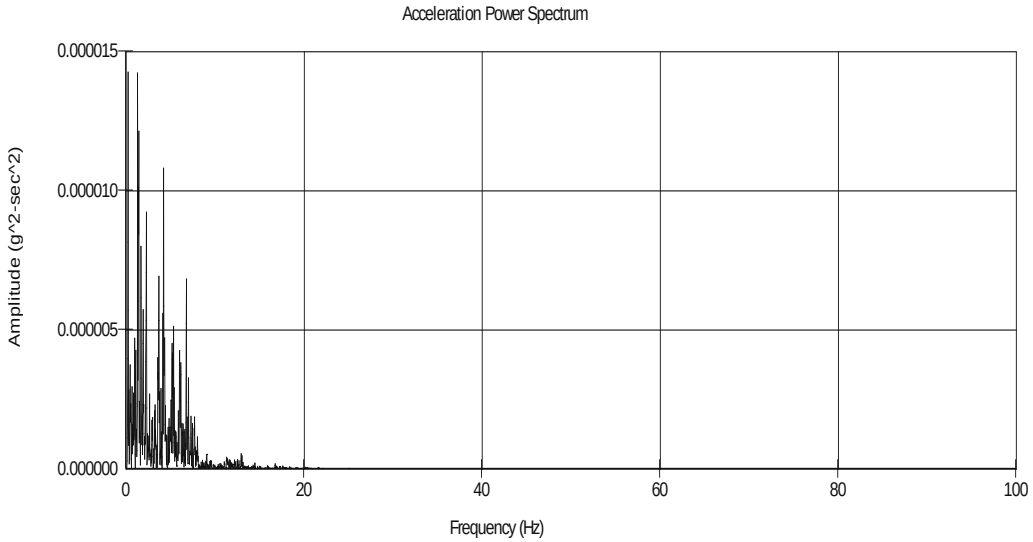
برای بدست آورن پریود قالب وارد قسمت Input motion می شویم. در پایین صفحه در قسمت other parameter انتخاب کرده و گزینه ی calculate را کلیک می کنیم. حال داده ها بصورت زیر مشاهده می گردد. همانطور که مشاهده می شود پریود غالب لرزه بدست آمد برابر است با :

Motion Number:	1
Peak Acceleration (g):	0.3500
Peak Velocity (ft/sec):	1.7430
Peak Displacement (ft):	11.7200
RMS Acceleration (g):	0.0727
Arias Intensity (ft/sec):	5.5860
Response Spectrum Intensity (g^2):	2.9030
Predominant Period (sec):	4.5510
Mean Period (sec):	0.4931
Bracketed Duration (sec):	42.4100
Trifunac Duration (sec):	18.8200
Spectral Acceleration at 0.3 sec (g):	0.8481
Spectral Acceleration at 1.0 sec (g):	0.2688
Chracteristic Intensity (g^1.5*sec^0.5):	0.0850

جدول ۳- جدول پریود غالب برای زلزله ی طبس

۳-۳-۳- پاسخ سوال ۳

طیف قدرت شتاب نگاشت هم مطابق شکل زیر می باشد:



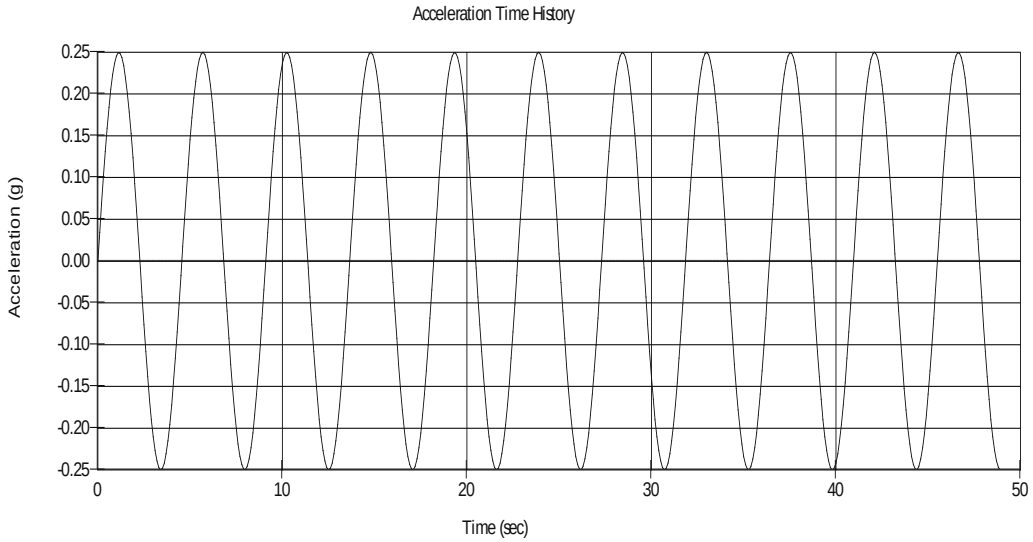
شکل ۲۳- طیف قدرت شتاب اصلاح شده زلزله ی طبس

۳-۳-۴- پاسخ سوال ۴

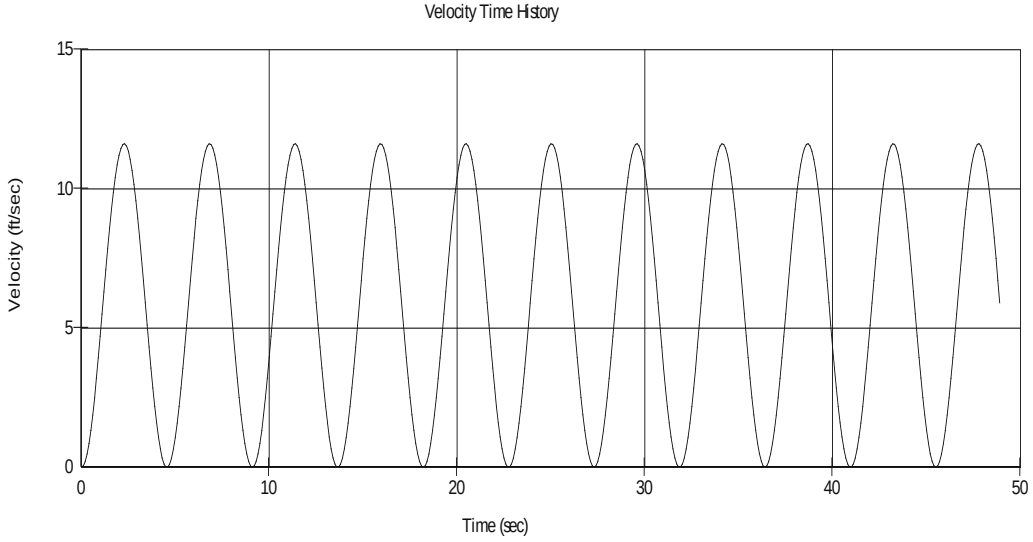
موج سینوسی که دامنه آن $0.25g$ بوده و پرپود آن برابر پریود غالب در زلزله طبس است را تشکیل می دهیم، برای این منظور یک فایل اکسل همراه داده ها پروژه ضمیمه می شود که تعداد ۴۹۹ داده حاصل از موج سینوسی را دارا می‌باشد، همانند قسمت ها گذشته ، این رکورد را تبدیل به فایل eq کرده و داده های خروجی را در قسمت Inpute motion وارد می کنیم.

$$a(g) = 0.25g * \sin(1.38092 * \Delta t)\ ,\ (\Delta t = 0.1, 0.2, 0.3, \dots)$$

طیف شتاب نگاشت و طیف فوریه و طیف قدرت این موج سینوسی همانند اشکال نشان داده شده در شکل های زیر می باشد.



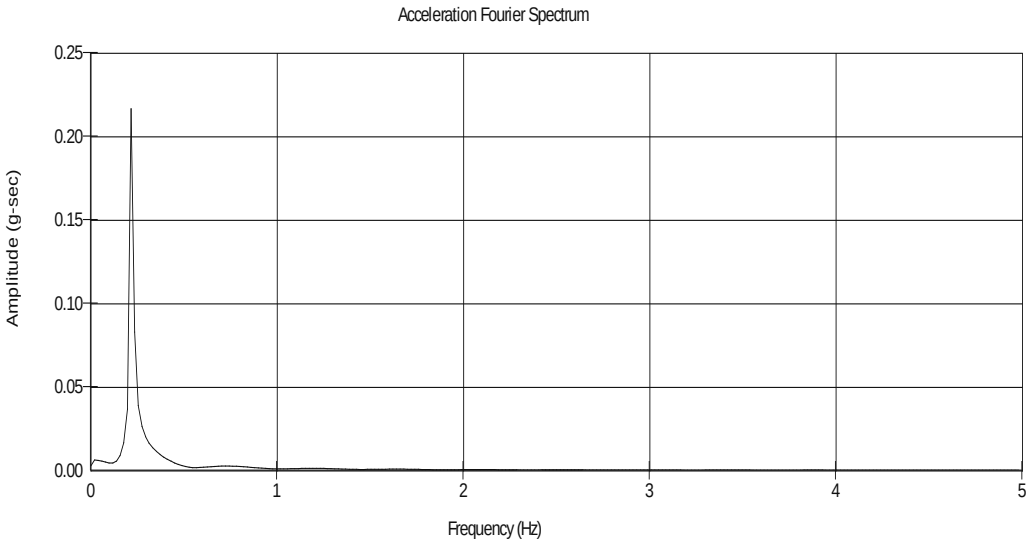
شکل ۲۴- طیف شتابنگاشت سینوسی با بیشینه شتاب 0.25g



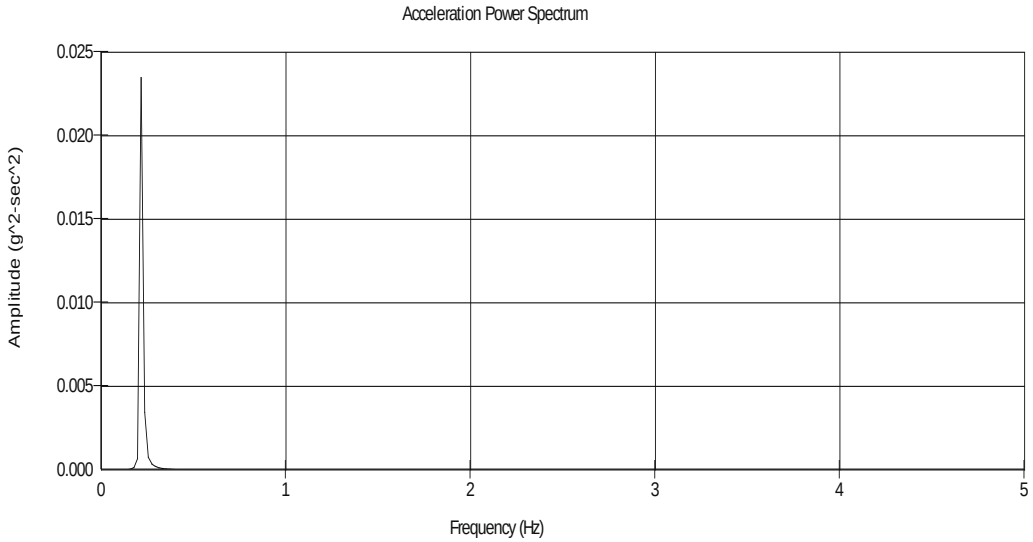
شکل ۲۵- طیف سرعت برای موج سینوسی



شکل ۲۶- طیف جابجایی موج سینوسی



شکل ۲۷- طیف فوریه ی شتابنگاشت موج سینوسی



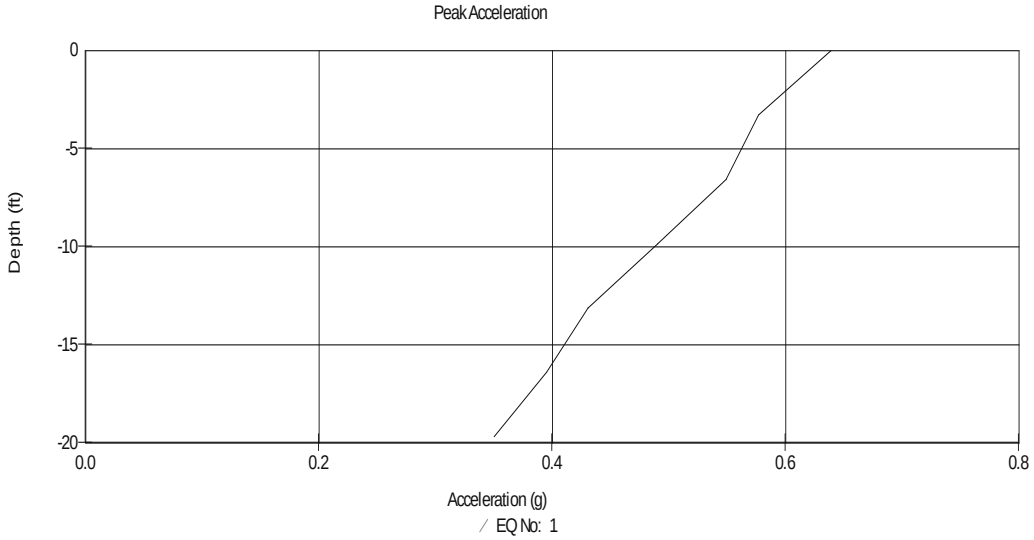
شکل ۲۸- طیف قدرت موج سینوسی

فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها

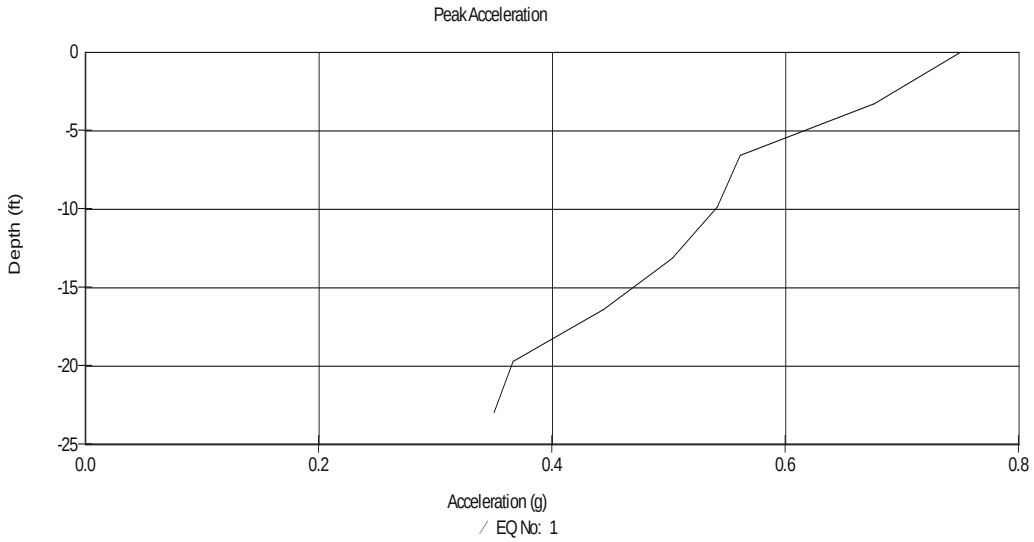
۴-۱- پاسخ سوال ۵

برای بدست آوردن منحنی بزرگنمایی بر حسب ارتفاع خاک بالایی، خروجی هایی که از نرم افزار می گیریم را با استفاده از منوی Output manager باز می کنیم، با بدست آوردن شتاب ماکسیمم در هر لایه از قسمت Other Parameter ، و تقسیم این شتاب بر ماکسیمم دامنه شتاب که همان 0.35g می‌باشد. می توانیم ضریب بزرگنمایی یا همان Amplification را محاسبه کنیم. اعداد بدست آمده برای Amplification برای هر دو موج (زلزله طبس و موج سینوسی) در جدوال زیر بدست آمده و نمودار آن‌ها رسم شده است.

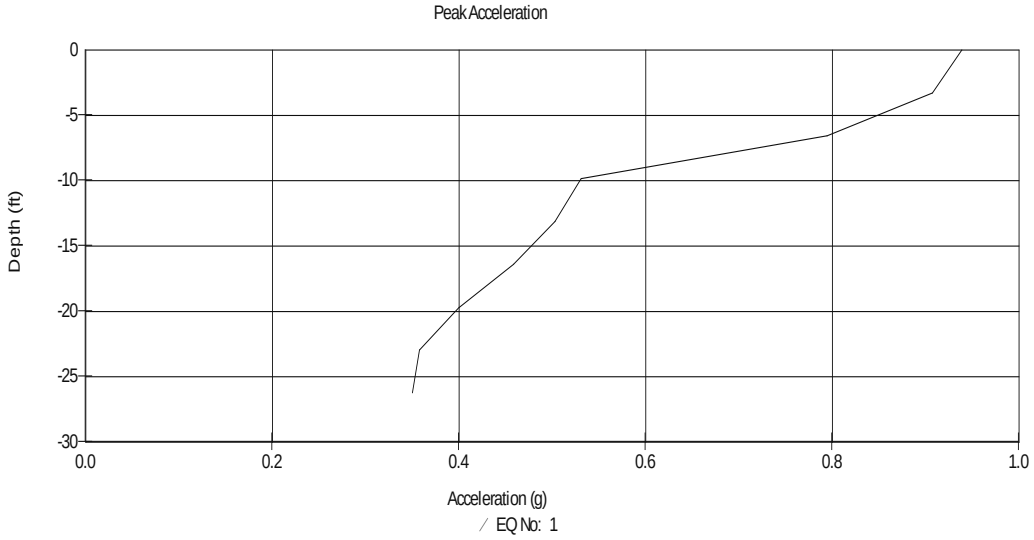
۴-۱-۱- برای زلزله طبس



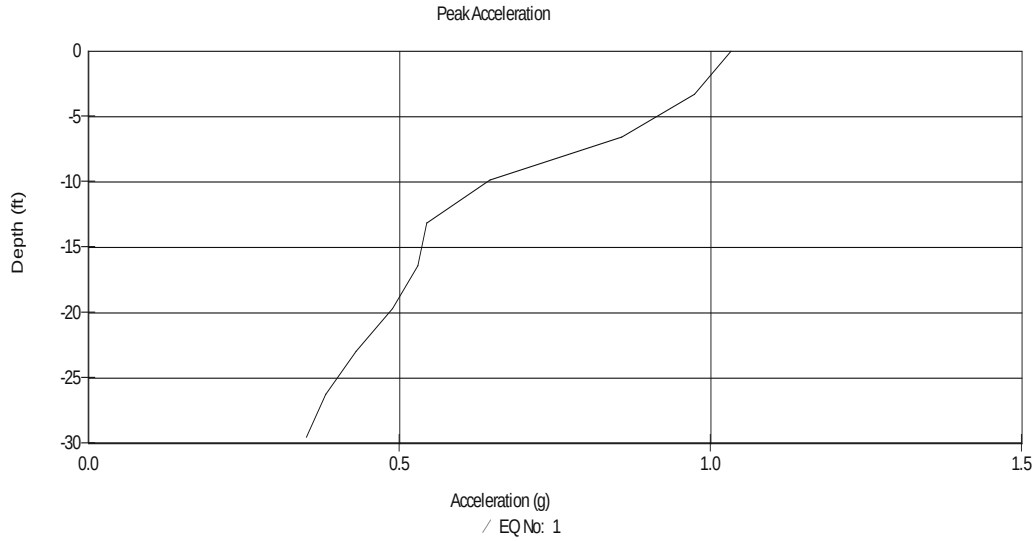
شکل ۲۹- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت یک متر



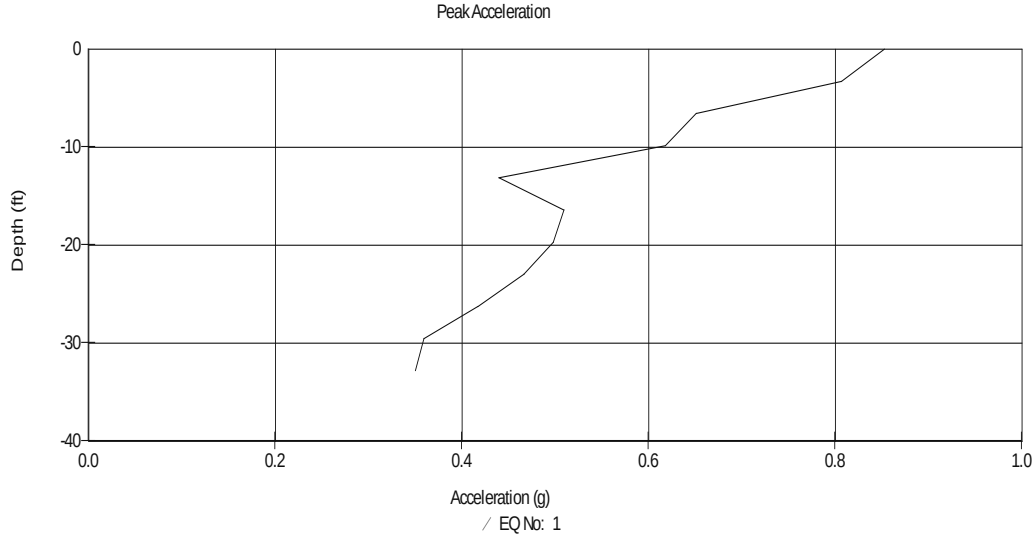
شکل ۳۰- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت دو متر



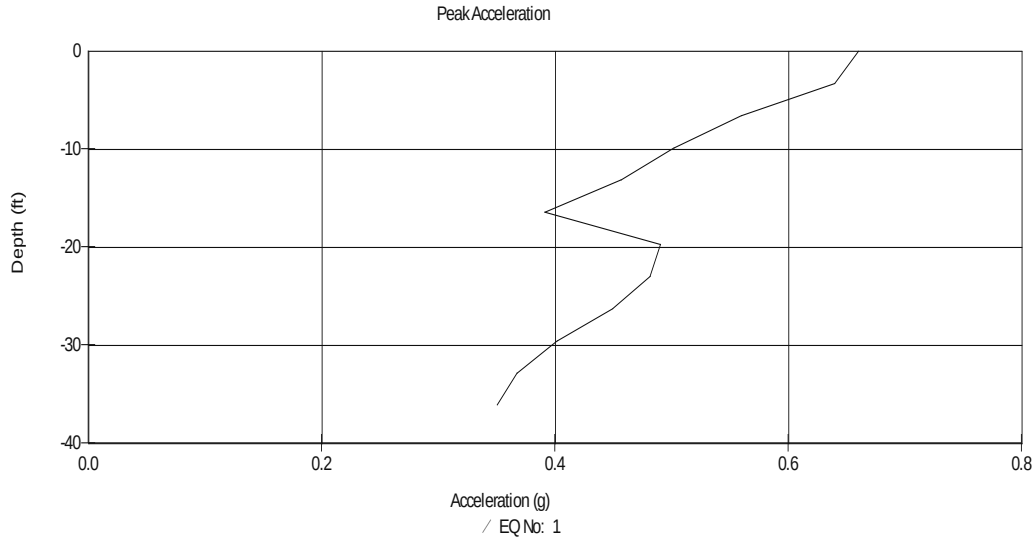
شکل ۳۱- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت سه متر



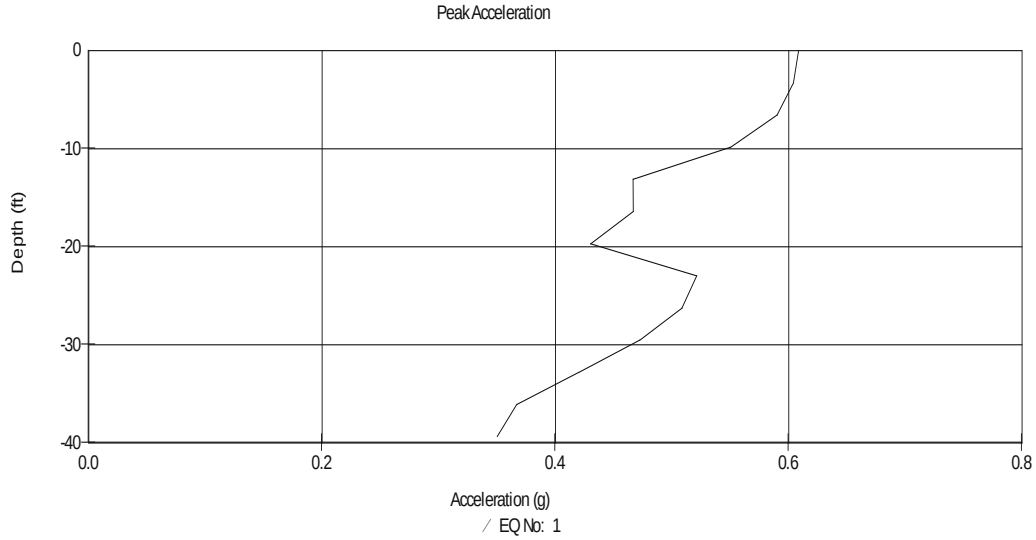
شکل ۳۲- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت چهار متر



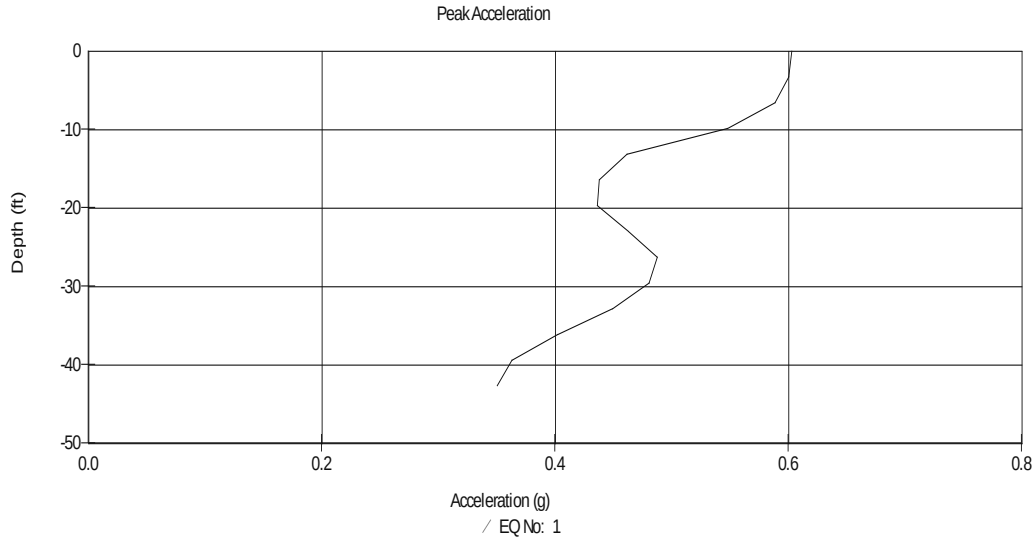
شکل ۳۳- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت پنج متر



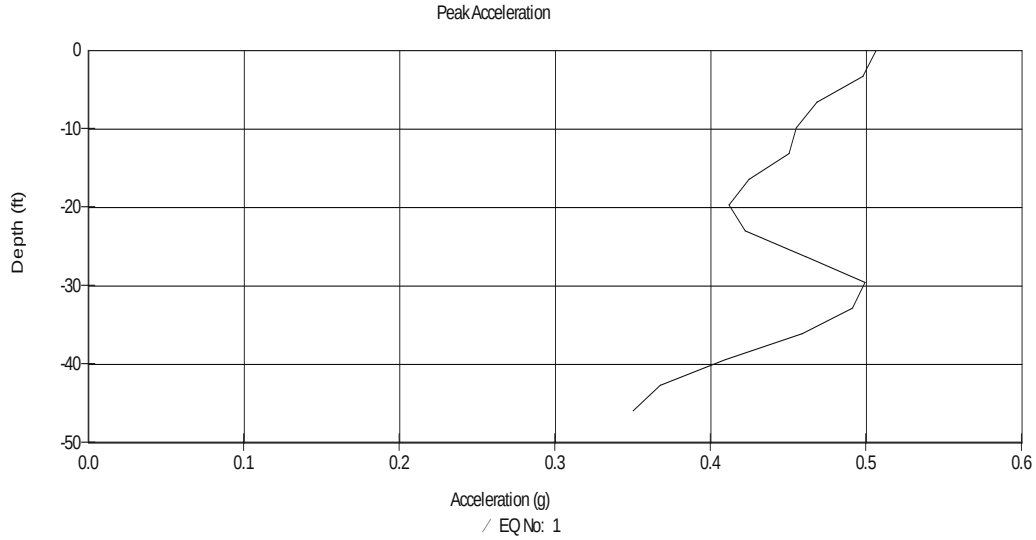
شکل ۳۴- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت شش متر



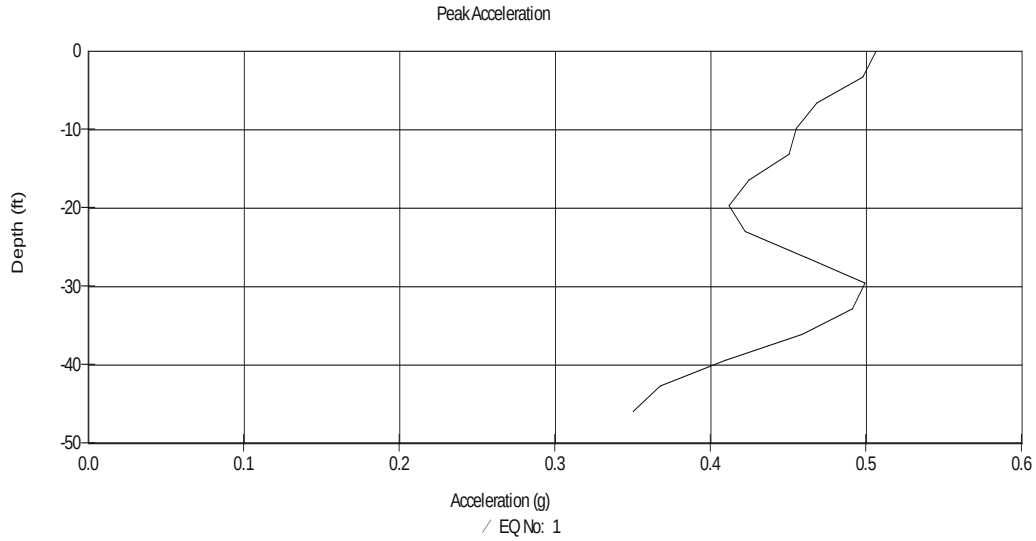
شکل ۳۵- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت هفت متر



شکل ۳۶- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت هشت متر



شکل ۳۷- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت نه متر

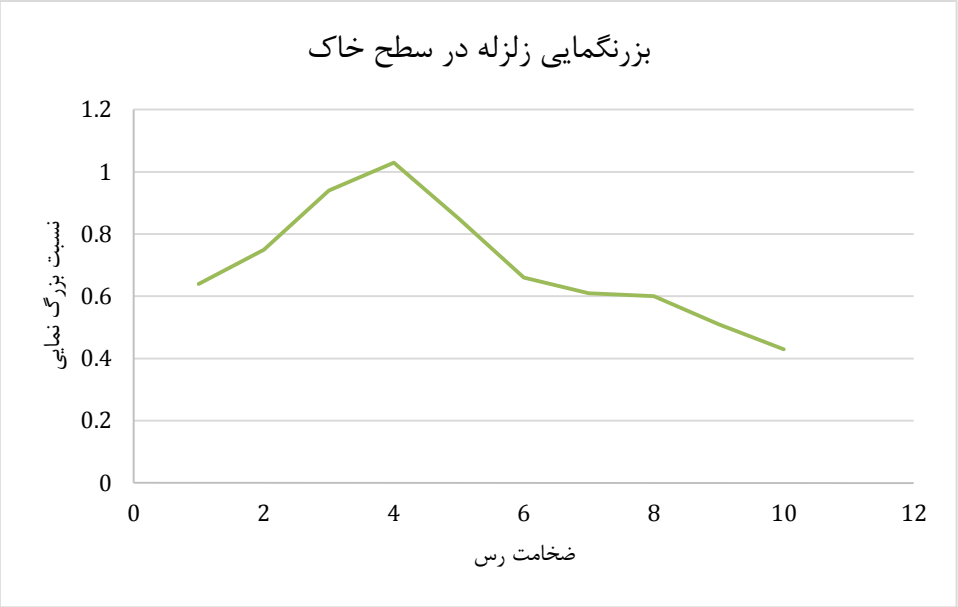


شکل ۳۸- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت ده متر

خلاصه ی نمودار های بالا در جدول زیر آمده است :

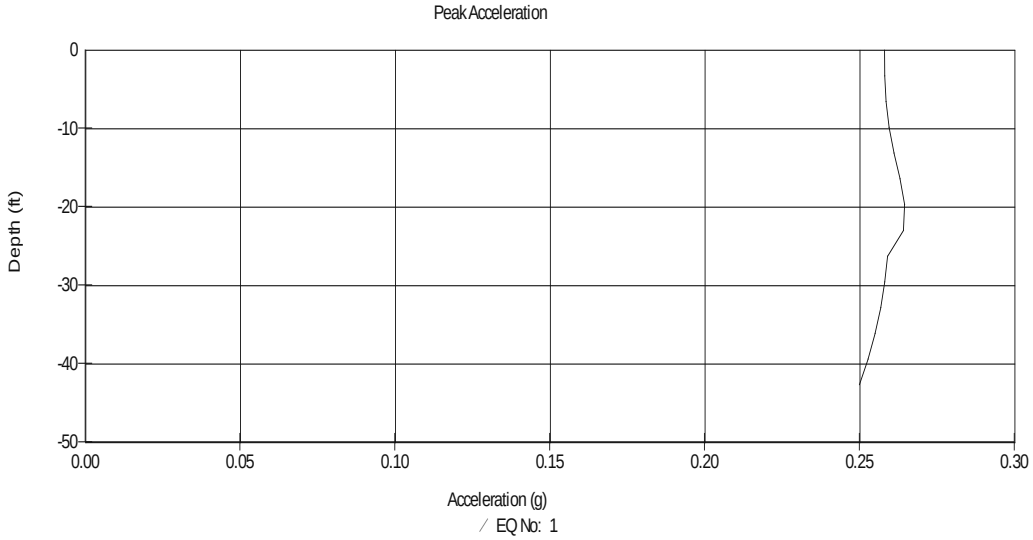
ضخامت رس	شتاب بالا	شتاب پایین	بزرگنمایی
0	0.69	0.35	1.971429
1	0.64	0.35	1.828571
2	0.75	0.35	2.142857
3	0.94	0.35	2.685714
4	1.03	0.35	2.942857
5	0.85	0.35	2.428571
6	0.66	0.35	1.885714
7	0.61	0.35	1.742857
8	0.6	0.35	1.714286
9	0.51	0.35	1.457143
10	0.43	0.35	1.228571

جدول ۴- بزرگنمایی شتاب در سطح زمین برای زلزله ی طبس

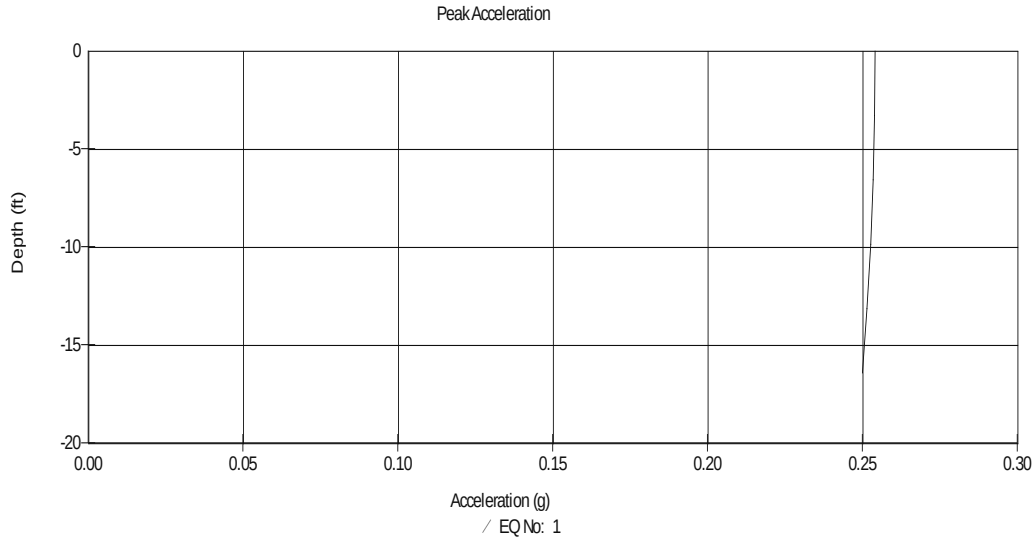


شکل ۳۹- نمودار نسبت بزرگنمایی در سطح خاک

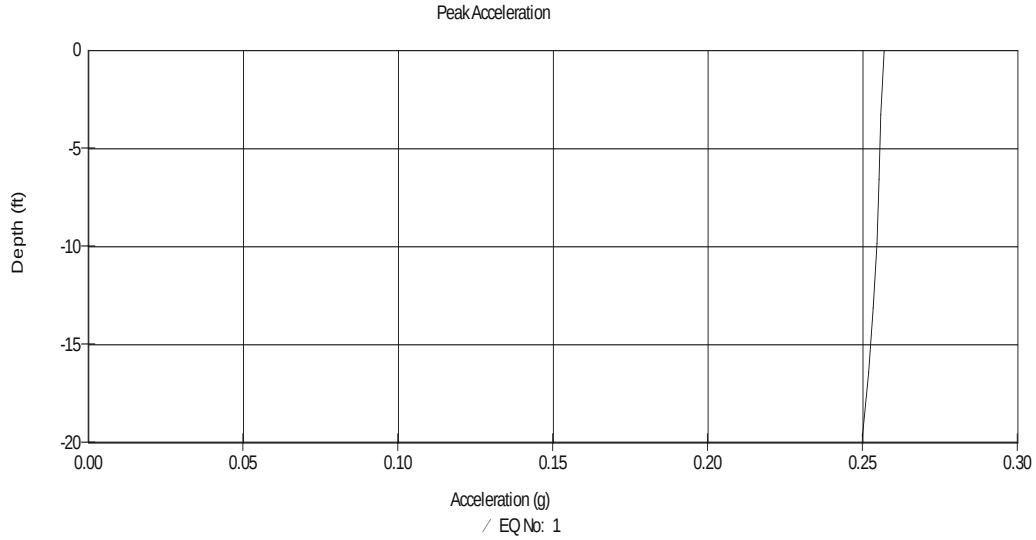
۴-۱-۲- برای موج سینوسی



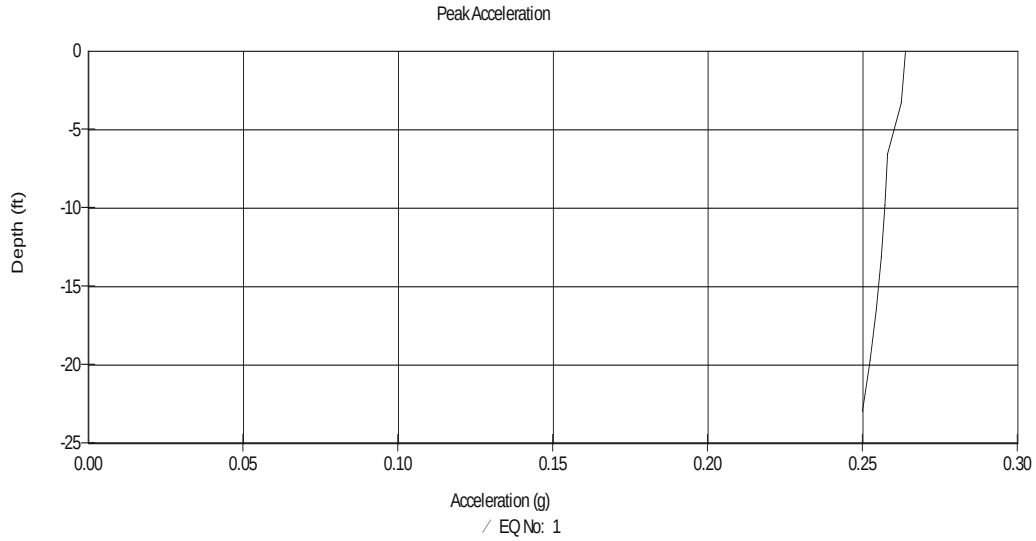
شکل ۴۰- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت صفر متر



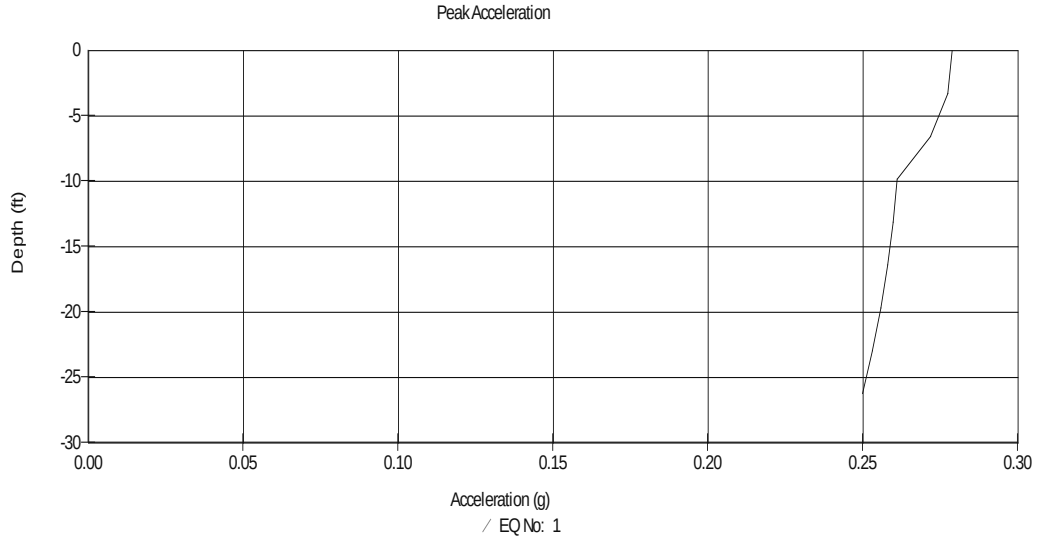
شکل ۴۱- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت یک متر



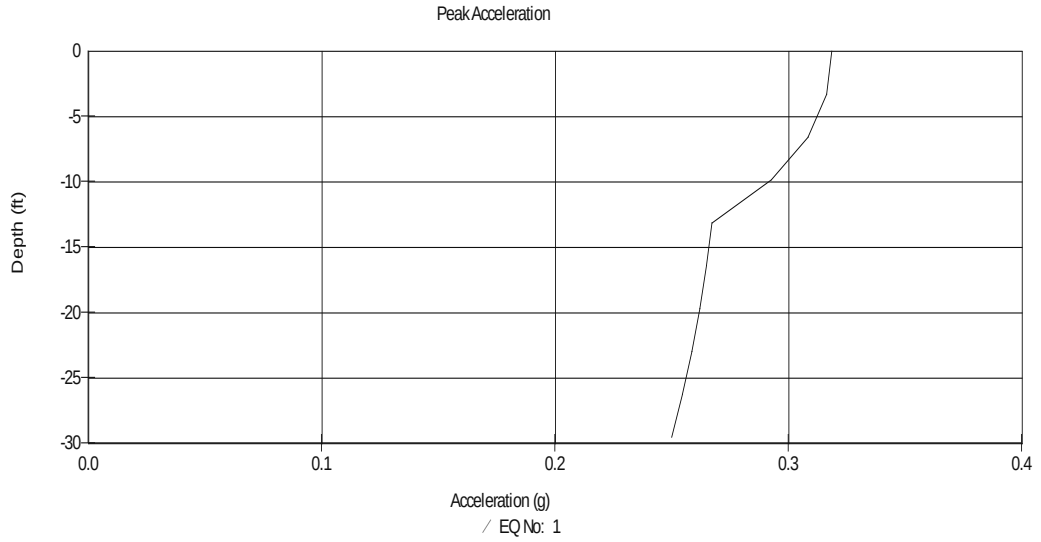
شکل ۴۲- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت دو متر



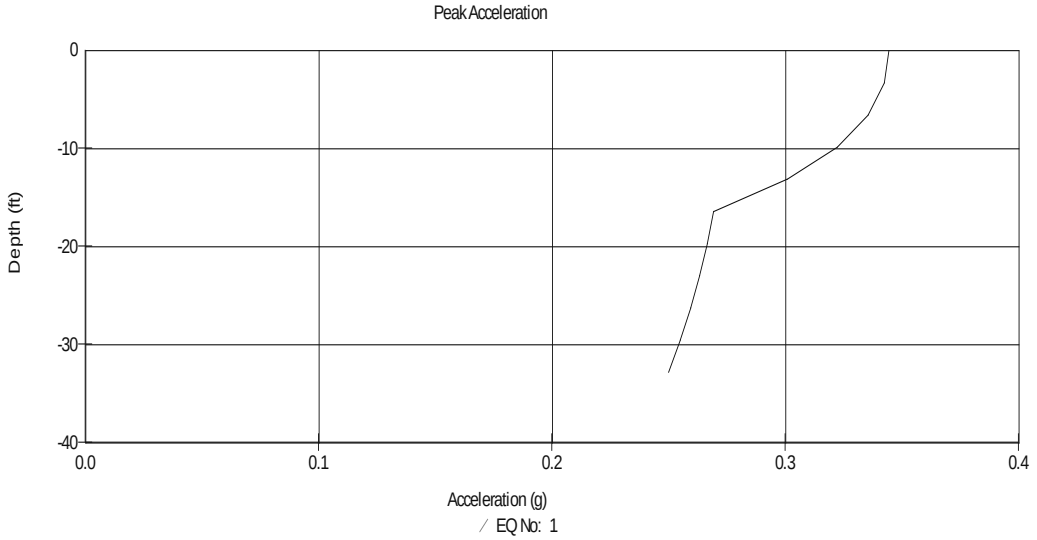
شکل ۴۳- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت سه متر



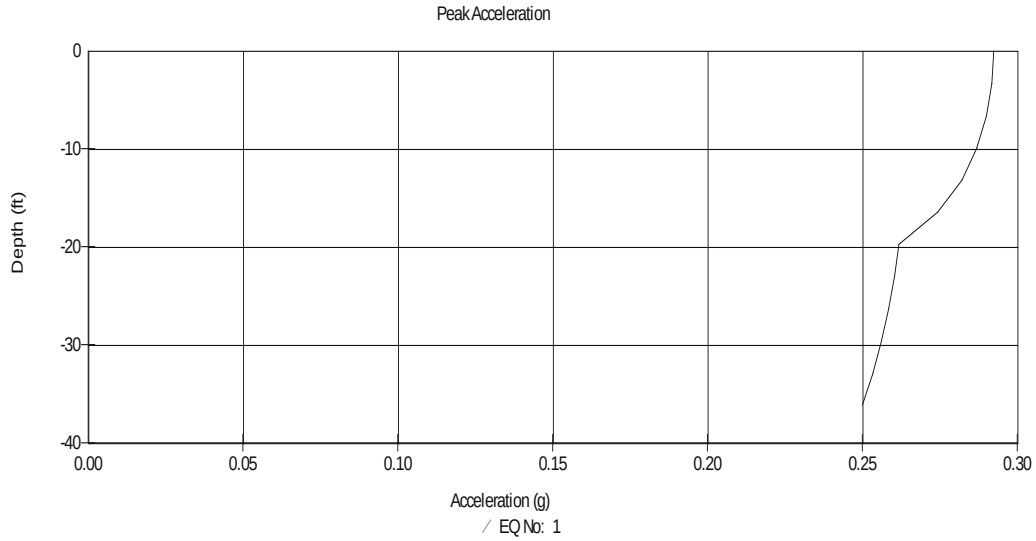
شکل ۴۴- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت چهار متر



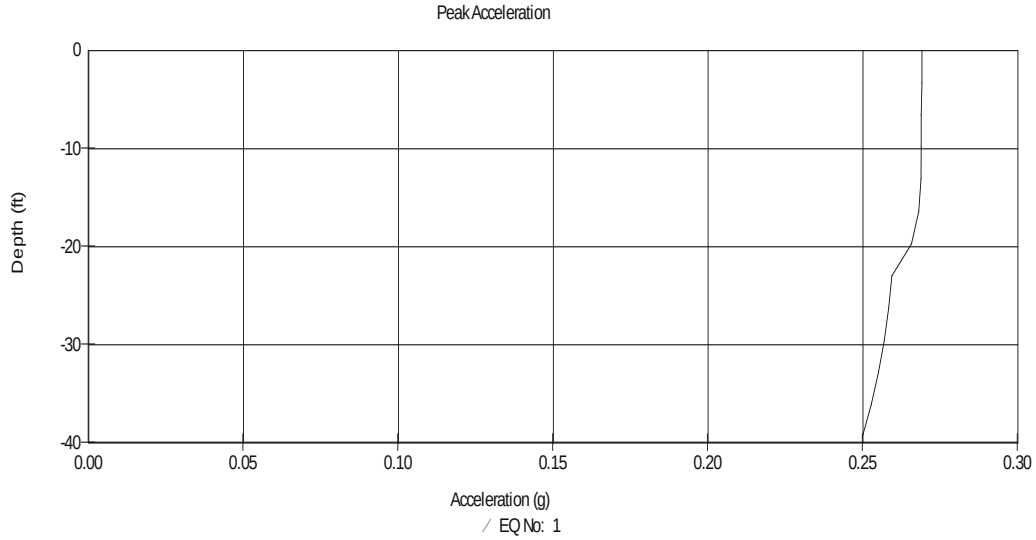
شکل ۴۵- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت پنج متر



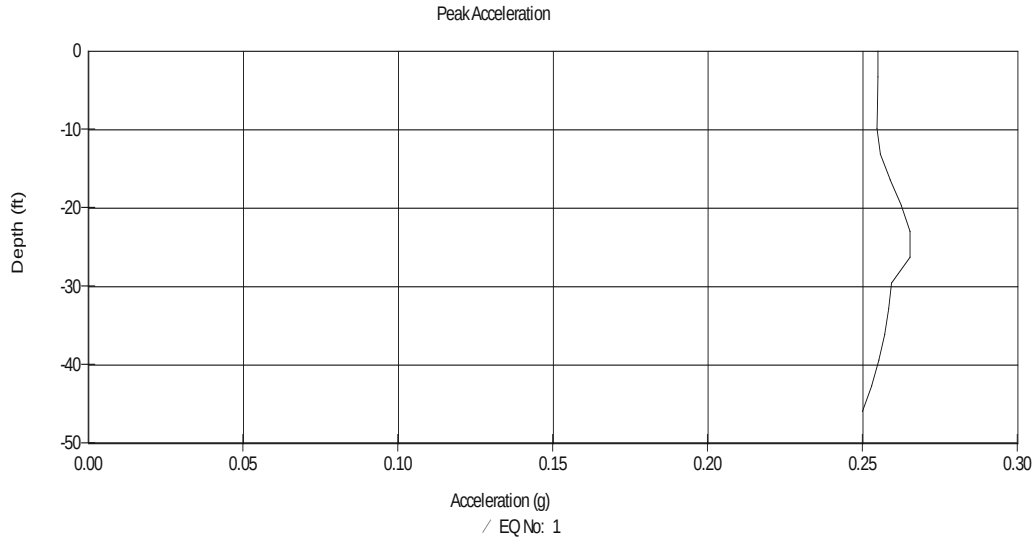
شکل ۴۶- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت شش متر



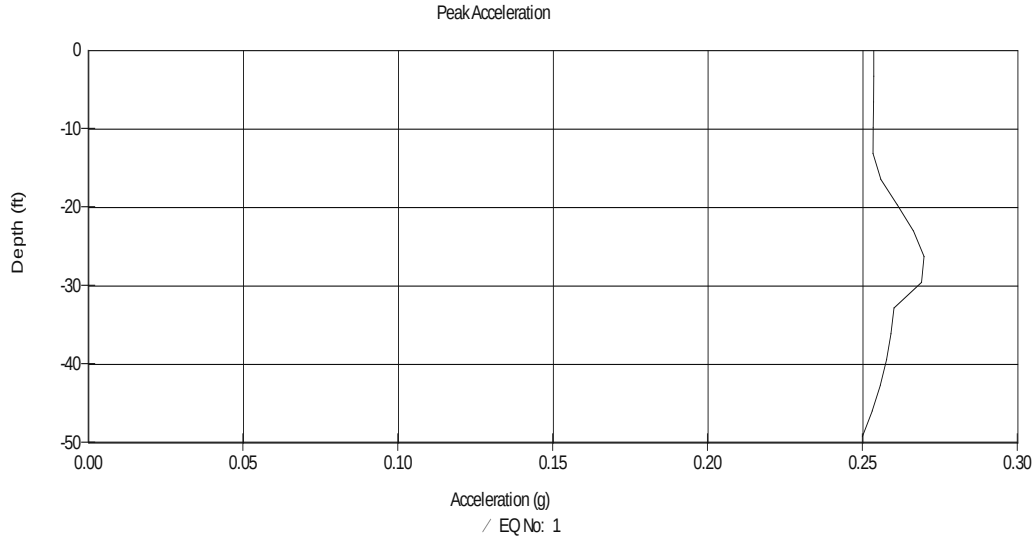
شکل ۴۷- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت هفت متر



شکل ۴۸- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت هشت متر



شکل ۴۹- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت نه متر

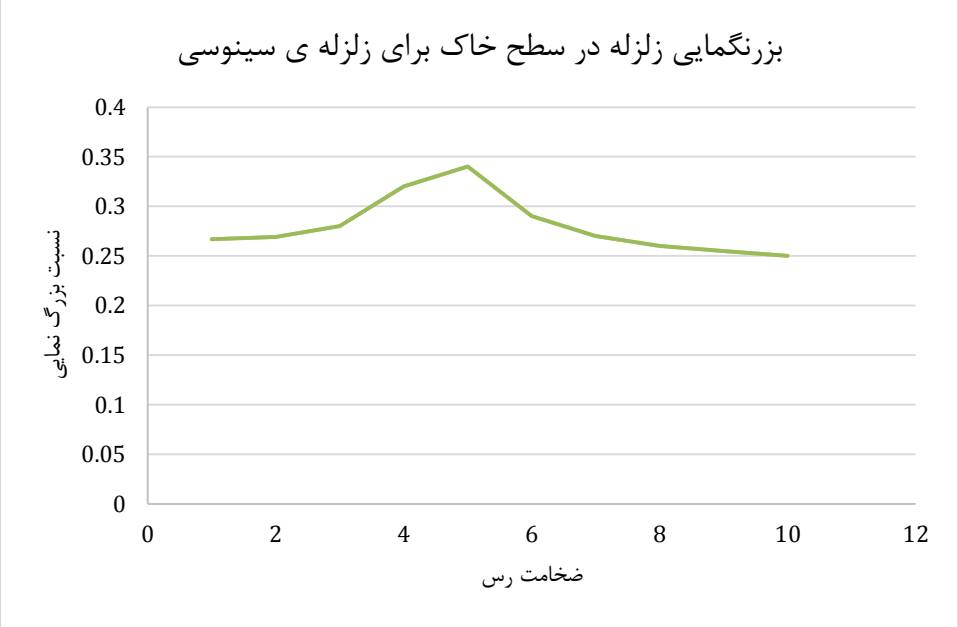


شکل ۵۰- منحنی تغییرات شتاب موج زلزله در برابر عمق خاک برای لایه رسی به ضخامت ده متر

خلاصه ی نمودار های بالا در جدول زیر آمده است :

ضخامت رس	شتاب بالا	شتاب پایین	نسبت
0	0.26	0.25	1.04
1	0.267	0.25	1.068
2	0.269	0.25	1.076
3	0.28	0.25	1.12
4	0.32	0.25	1.28
5	0.34	0.25	1.36
6	0.29	0.25	1.16
7	0.27	0.25	1.08
8	0.26	0.25	1.04
9	0.255	0.25	1.02
10	0.25	0.25	1

جدول ۵- بزرگنمایی شتاب در سطح زمین برای زلزله ی سینوسی



شکل ۵۱- نمودار نسبت بزرگنمایی در سطح خاک برای زلزله سینوسی

۴-۲- پاسخ سوال ۶

برای بدست آوردن ارتفاع بحرانی باید دقت شود که در کدام ارتفاع، بیشترین بزرگنمایی رخ داده است. با توجه به نمودارهای فوق می توان دریافت. در موج زلزله طبس بحرانی ترین ارتفاع همان ارتفاع ۴ متر برای رس سیلتی می‌باشد. ولی برای موج سینوسی ارتفاع بحرانی برابر ۵ متر برای لایه رس سیلتی بدست آمد.

برای بررسی این موضوع که در ارتفاع بحرانی آیا تشدید رخ می‌دهد، از نمودار ۴-۲۷ صفحه ۱۸۶ کتاب دینامیک خاک بازیار-قناد (بازیار و قناد ۱۳۹۳) استفاده می کنیم، با توجه به توضیحات این شکل داریم:

برای زلزله طبس با توجه به ارتفاع بحرانی در همان لایه ۴ متری :

$$T_A = \frac{4H}{C_S} = \frac{4\times4}{150} = 0.107\ sec$$

$$T_B = \frac{4H}{C_S} = \frac{4\times5}{500} = 0.04\ sec$$

$$\frac{T_B}{T_A} = 0.3738 \quad , \quad \frac{\rho_A H_A}{\rho_B H_B} = \frac{19\times4}{21\times5} = 0.7238$$

با توجه به شکل ۴-۲۷ ، و درونیابی در نمودار داریم:

$$\frac{T}{T_A} = 1.4 \qquad T = 0.1498\ sec$$

$$T_f = 4.5\ sec.$$

$$\frac{T_f}{T} = \frac{4.5}{0.1498} = 30.04$$

چون نسبت فوق نزدیک به ۳۰ می‌باشد ، مشخص است که تشدید در مود اول رخ نمی دهد و با هیمن روند به سادگی قابل استنباط است که در مود دوم هم تشدید رخ نمی‌دهد.

برای موج سینوسی هم روند بالا را تکرار می کنیم:

$$T_A = \frac{4H}{C_S} = \frac{4\times5}{150} = 0.133\,\text{sec} \ , T_B = \frac{4H}{C_S} = \frac{4\times5}{500} = 0.04\ sec$$

$$\frac{T_B}{T_A} = 0.3 \quad , \quad \frac{\rho_A H_A}{\rho_B H_B} = \frac{19\times5}{21\times5} = 0.9$$

با توجه به شکل ۴-۲۷ ، و درونیابی در نمودار داریم:

$$\frac{T}{T_A} = 1.4 \qquad T = 0.1862\ sec$$

$$T_f = 4.5\ sec.$$
$$\frac{T_f}{T} = \frac{4.5}{0.1862} = 24.16$$

چون نسبت فوق تقریبا نزدیک به ۲۵ می باشد ، می‌توان نتیجه گرفت که تشدید در مود اول رخ نمی دهد و با هیمن روند به سادگی قابل استنباط است که در مود دوم هم تشدید رخ نمی‌دهد.

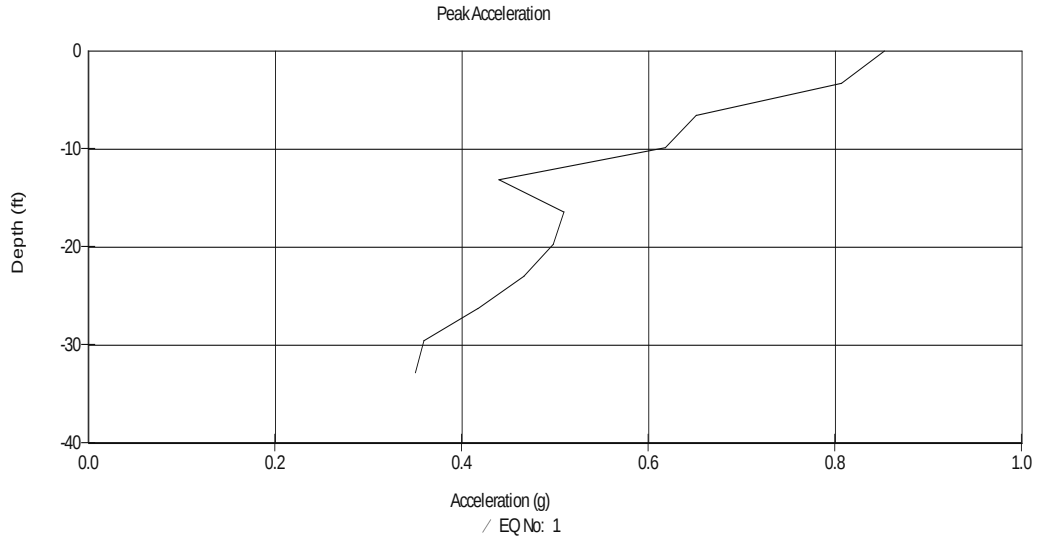
۴-۳- پاسخ سوال ۷

بحث در مورد ارتفاع خاک بدست آمده در ۶ و ارتباط آن با روابط موجود در انتشار امواج در حالت موج سینوسی

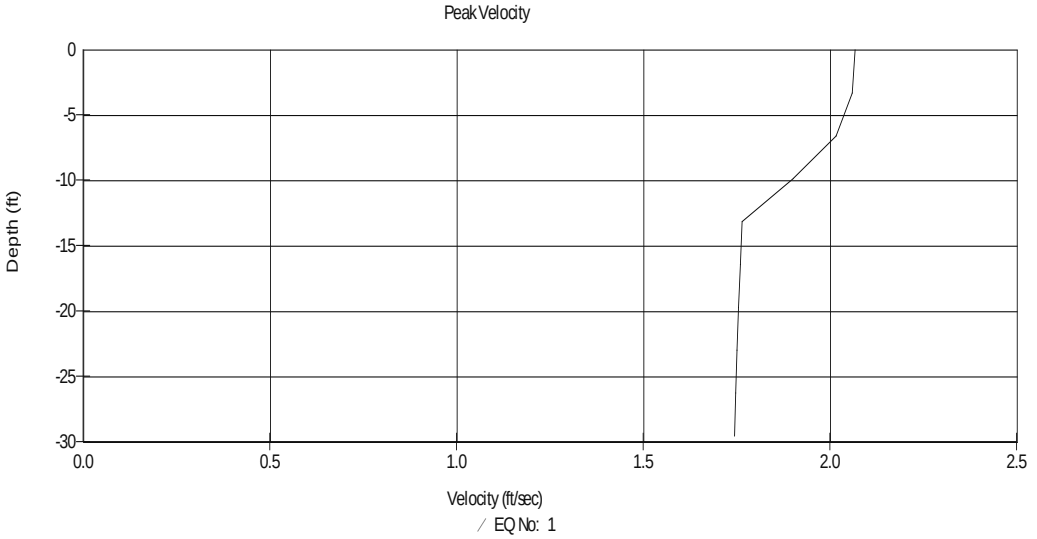
با توجه به رابطه‌ی۴-۴۳ ارائه شده در کتاب دینامیک خاک بازیار-قناد در صفحه ۱۷۶، می توان دید که با افزایش ارتفاع ضریب بار دینامیکی یا همان DLF با افزایش ارتفاع کاهش می یابد.

۴-۴- پاسخ سوال ۸

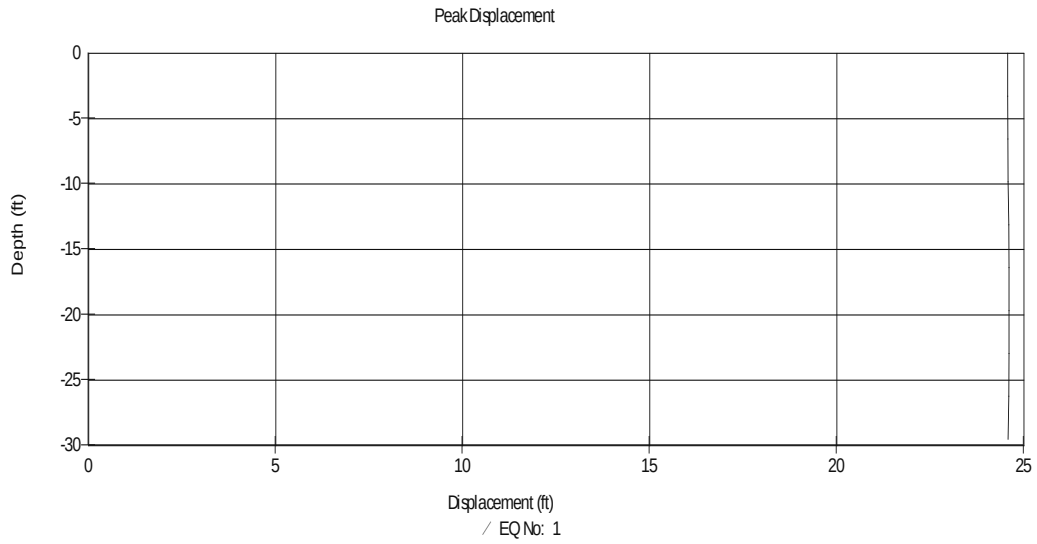
۴-۴-۱- در اثر اعمال شتابنگاشت زلزله ی طبس



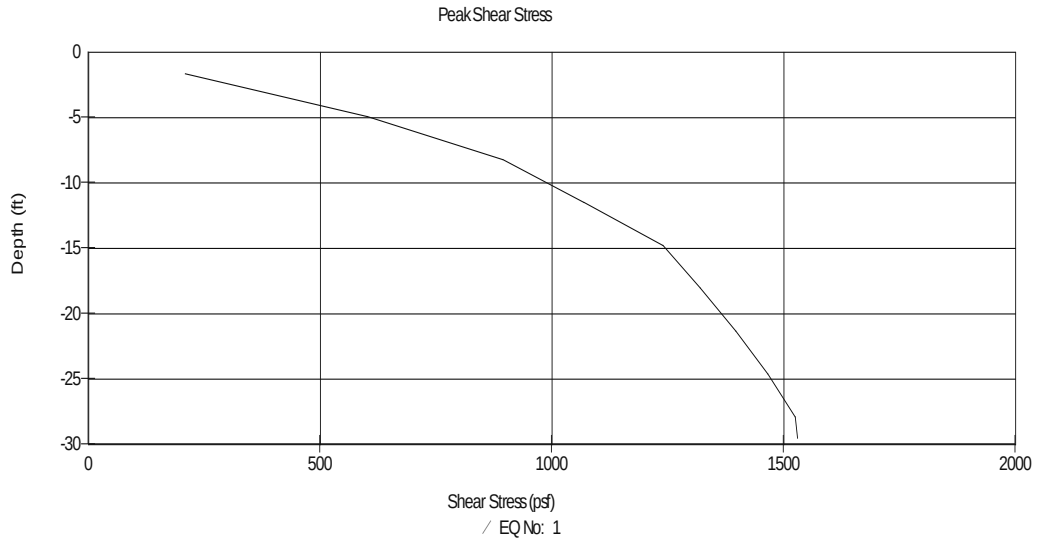
شکل ۵۲- نمودار شتاب در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس



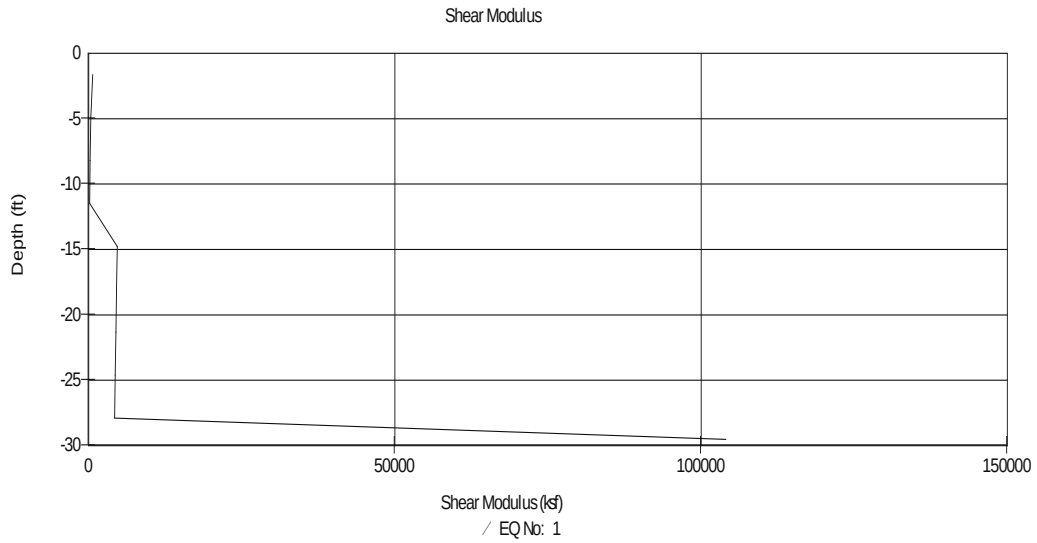
شکل ۵۳- نمودار سرعت در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس



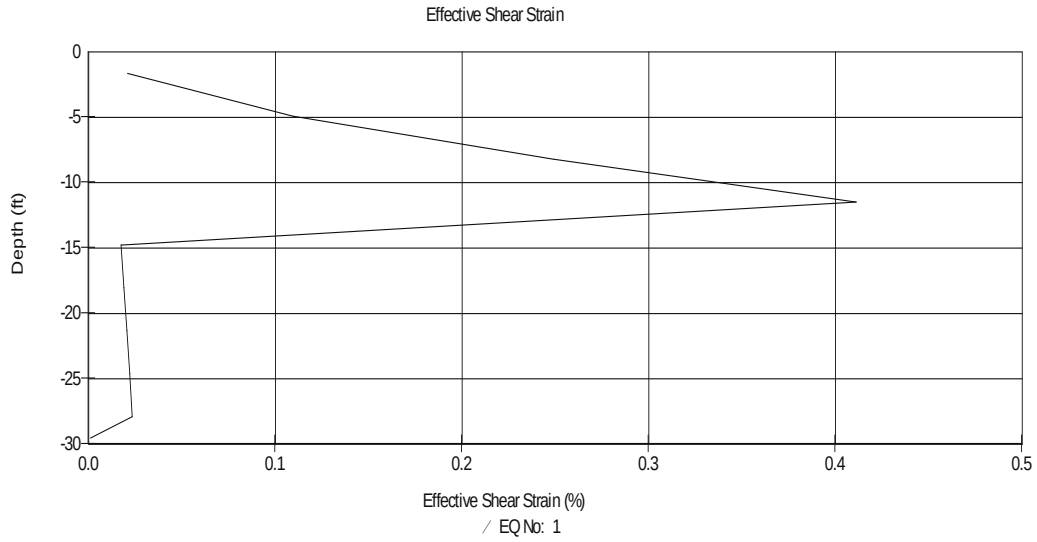
شکل ۵۴- نمودار تغییر مکان در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس



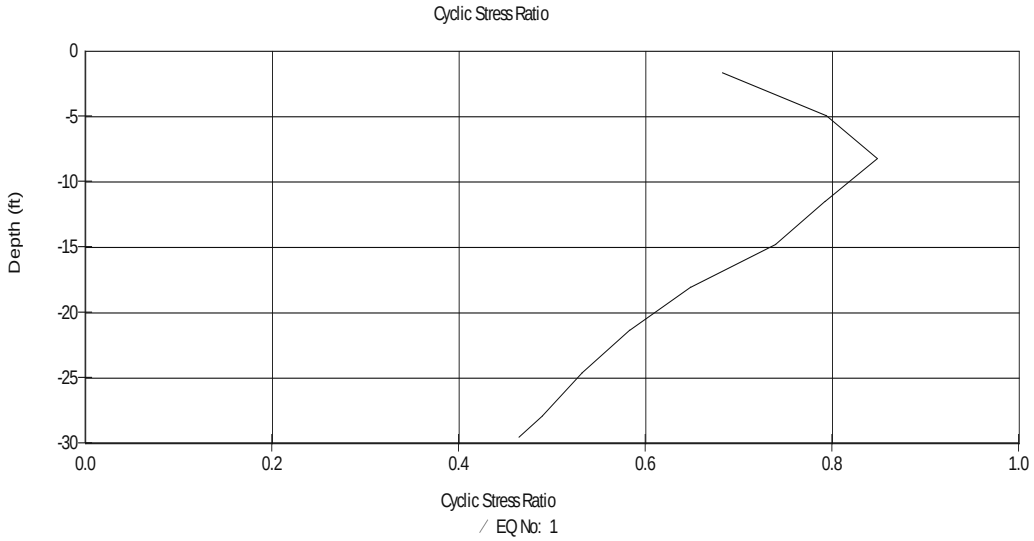
شکل ۵۵- نمودار تنش برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس



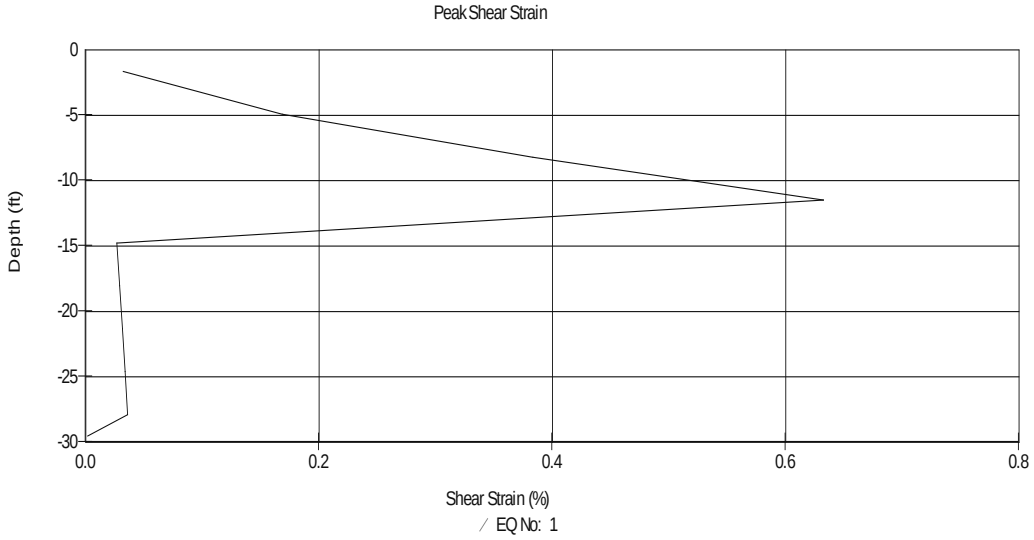
شکل ۵۶- نمودار مدول برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس



شکل ۵۷- نمودار کرنش برشی موثر در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس

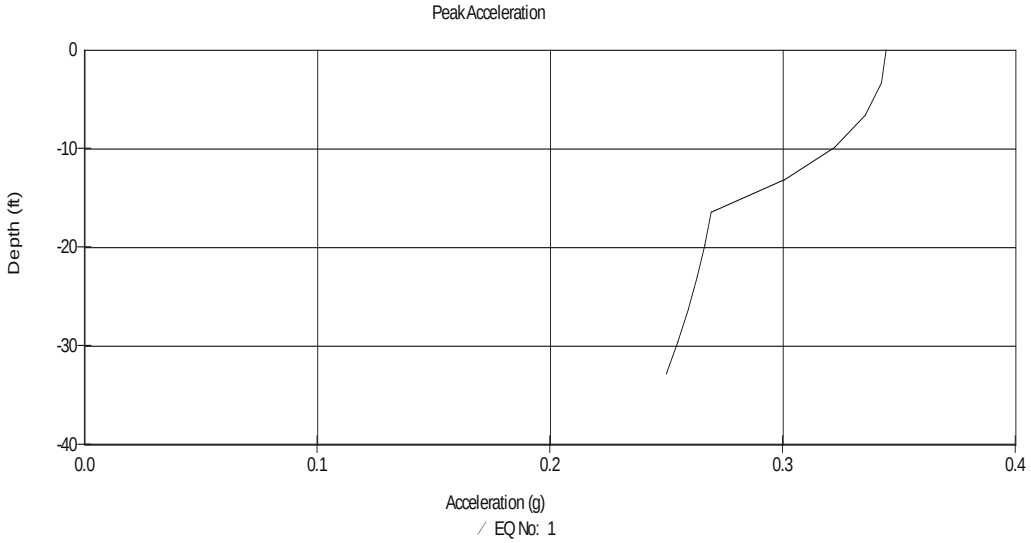


شکل ۵۸- نمودار نسبت تنش سیکلیک در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس

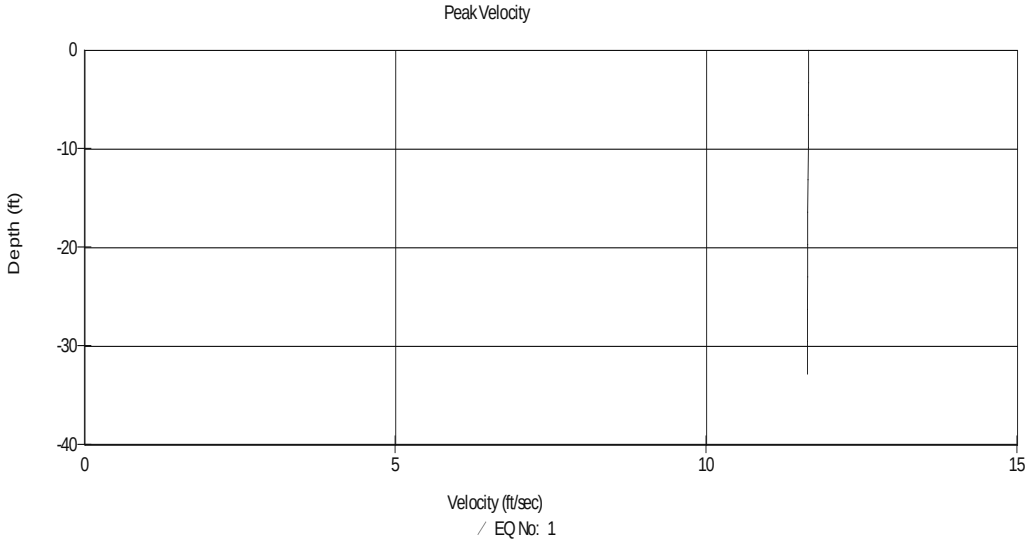


شکل ۵۹- نمودار کرنش برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی طبس

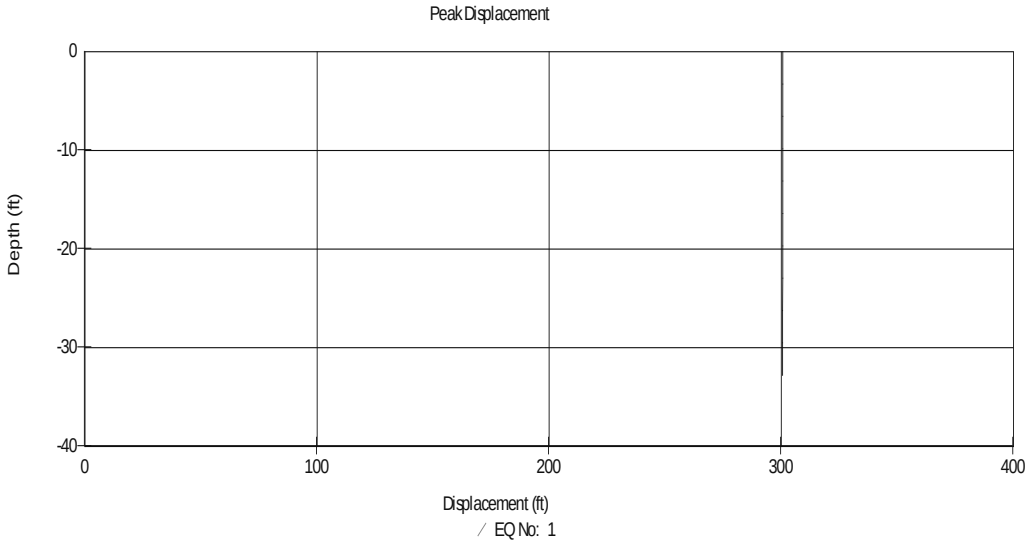
۴-۴-۲- در اثر اعمال شتابنگاشت زلزله ی سینوسی



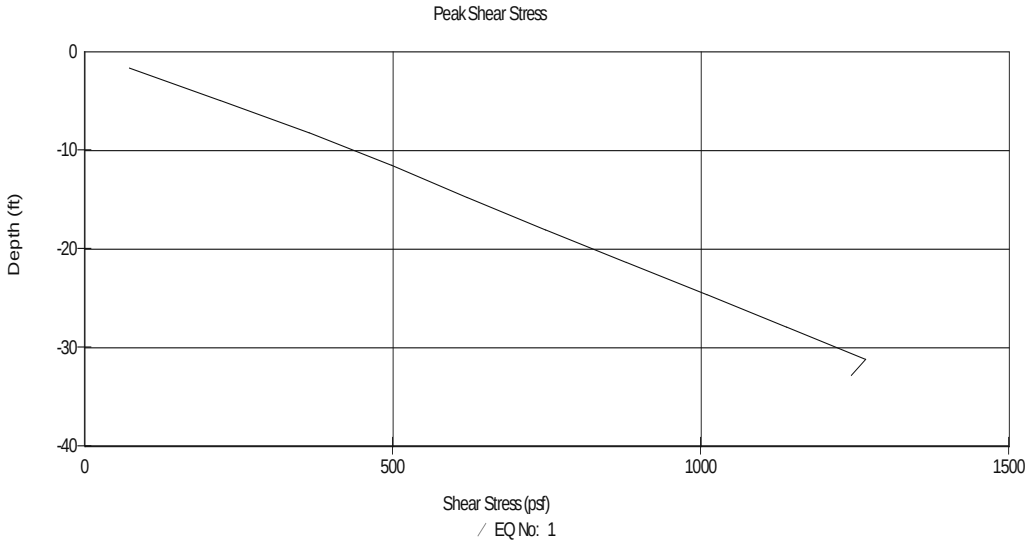
شکل ۶۰- نمودار شتاب در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی



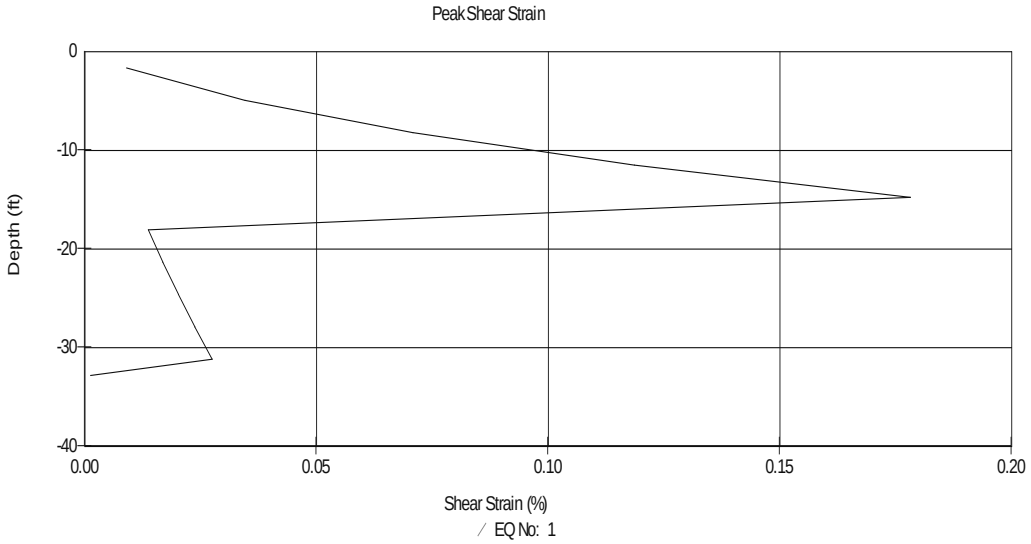
شکل ۶۱- نمودار سرعت در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی



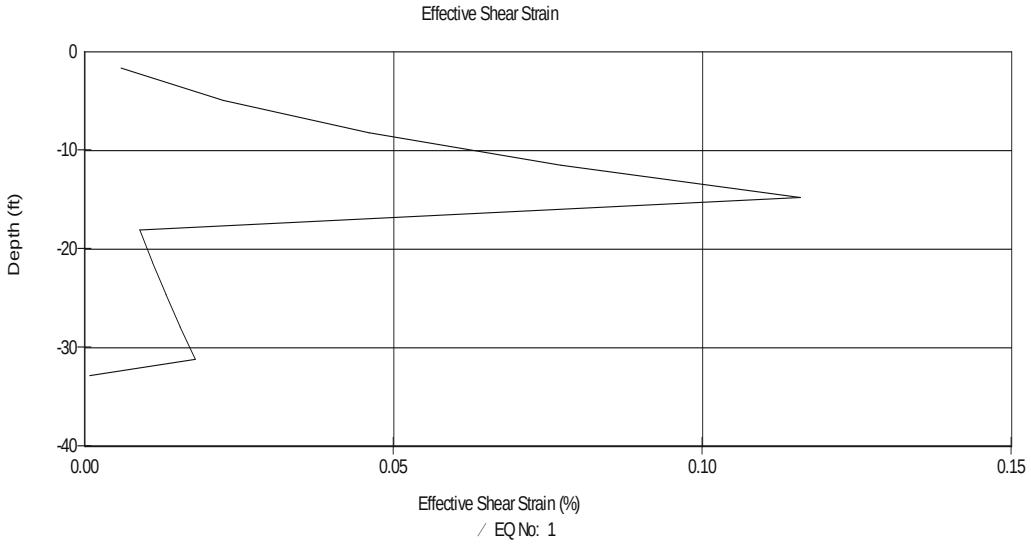
شکل ۶۲- نمودار تغییر مکان در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی



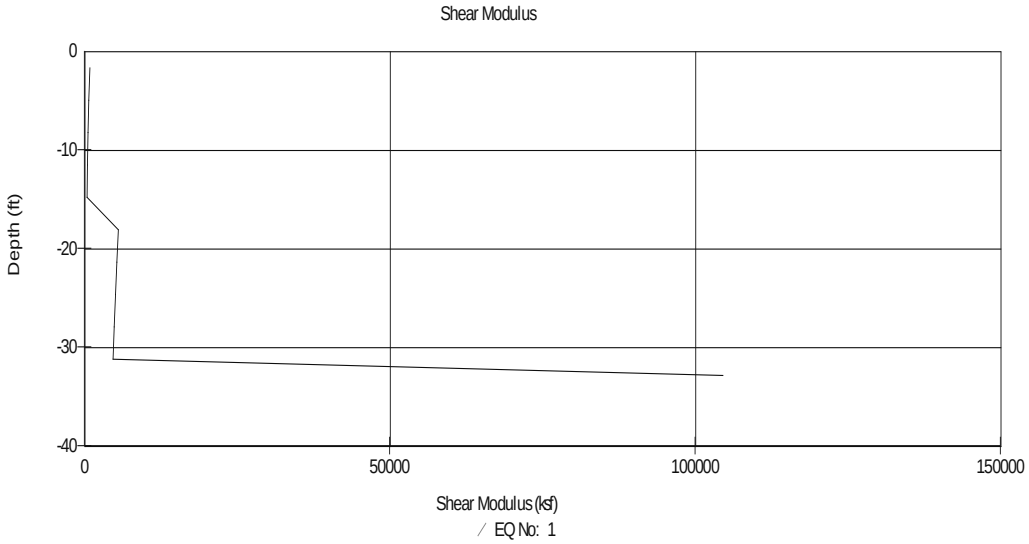
شکل ۶۳- نمودار تنش برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی



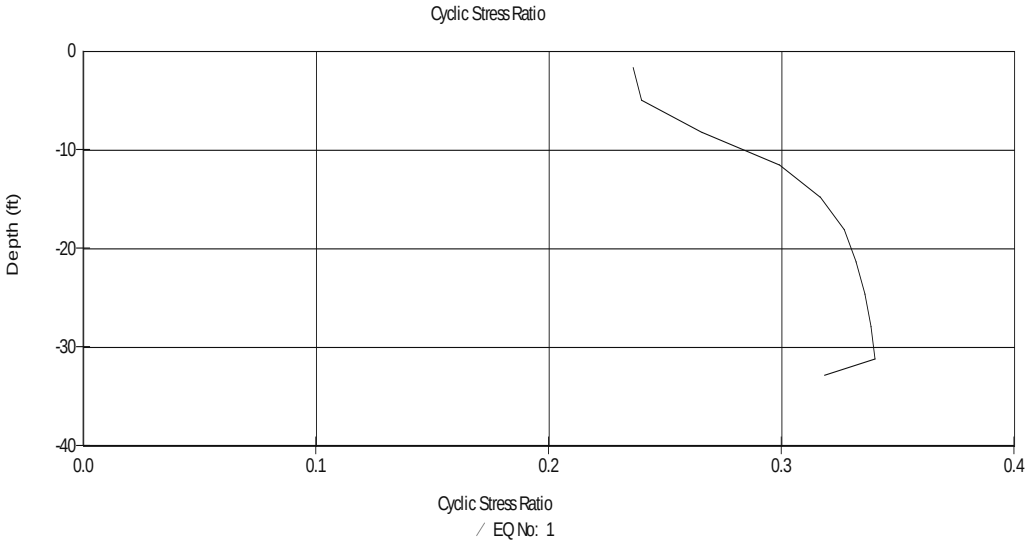
شکل ۶۴- نمودار کرنش برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی



شکل ۶۵- نمودار کرنش برشی موثر در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی



شکل ۶۶- نمودار مدول برشی در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی



شکل ۶۷- نمودار نسبت تنش سیکلیک در پروفیل بحرانی خاک برای زلزله ی سینوسی

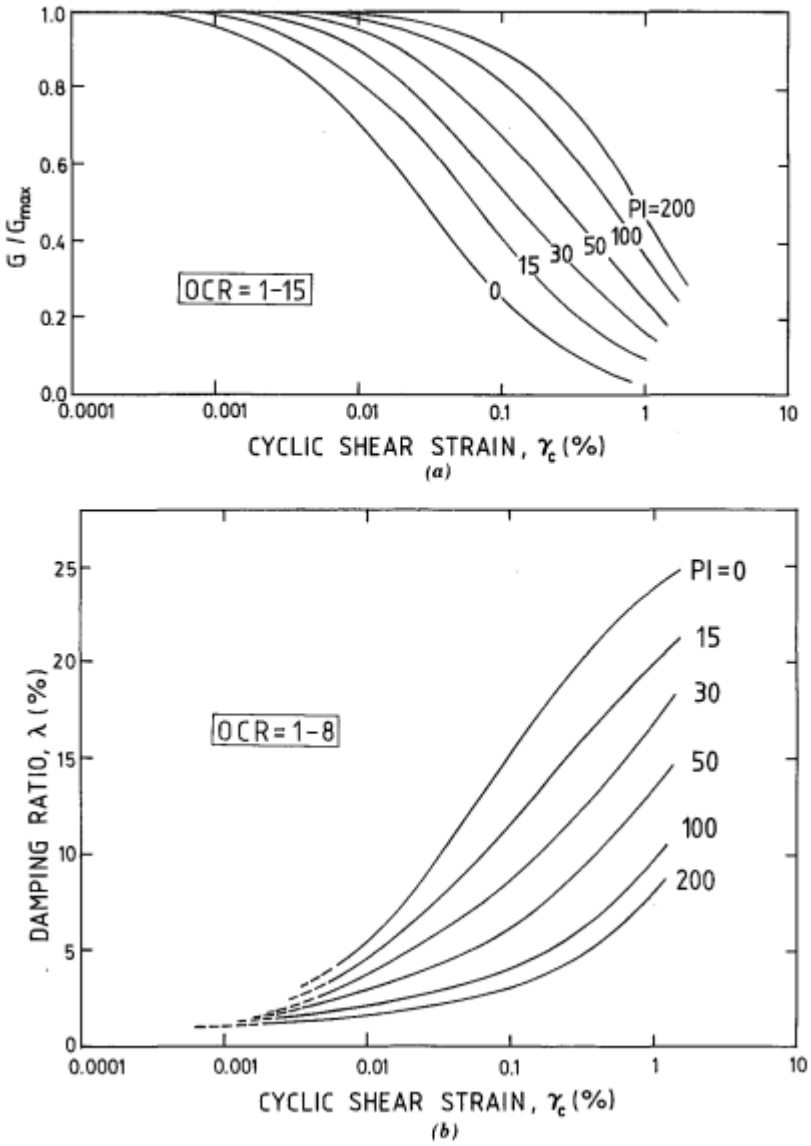
۴-۵- پاسخ سوال ۹

شـاخص خمیری (PI) یکی از مهمترین شـاخصه های مهم برای ارزیابی پاسخ زمین و کاربرد های لرزه ای اسـت ، همانطور که قبلا داده های منتشر شده در مقاله ی ووستیک و دوبری (Vucetic و Dobry 1991) بطور واضـح نشـان می دهد که پارامتر های برشـی چرخه ای مورد نیاز برای ارزیابی رفتار مهندسـی بطور ویژه ای به PI بسـتگی دارد. آنها در مقاله شـان، که نمودار های قابل استفاده آن نشان داده شـده اسـت ، تاثیرات PI روی G/Gmax در برابر کرنش برشی چرخشی را نشان داده اند، و روی نسبت میرایی مصالح D در برابر γ_C

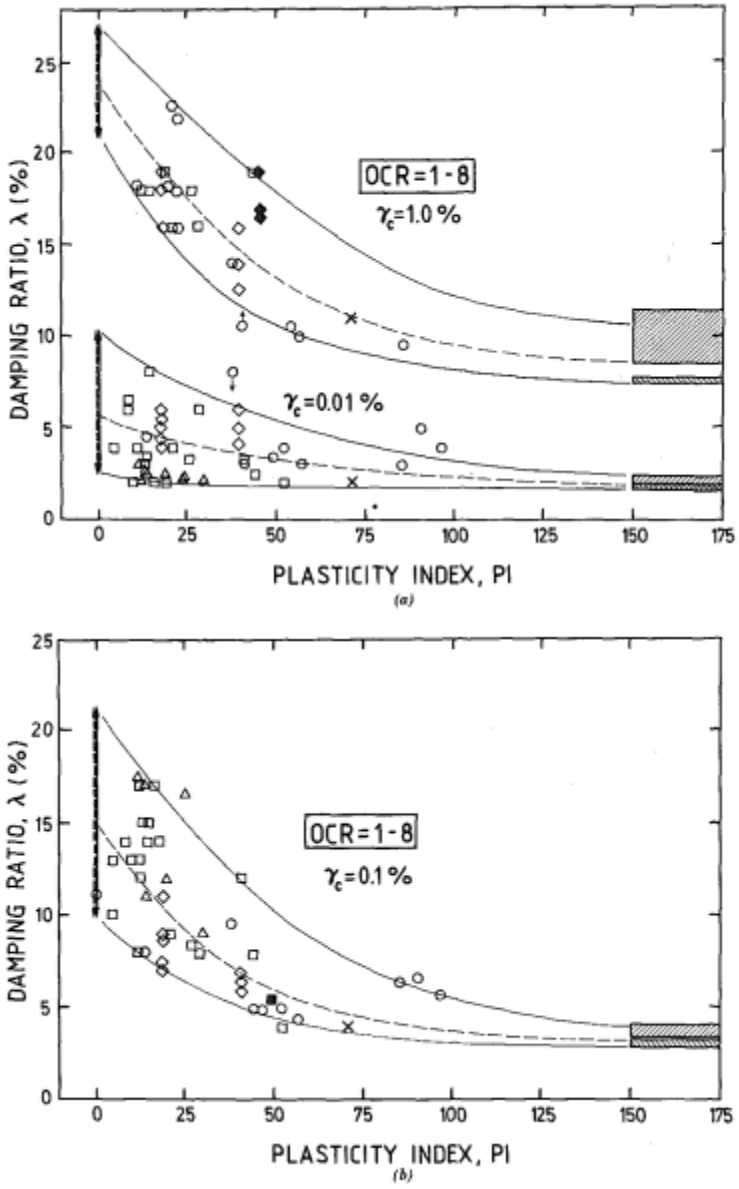
نشان داده شده بود که PI فاکتور اصلی کنترل کننده ی G/Gmax و d برای خاک های مختلف است. اگر برای یک γ معلوم PI افزایش پیدا کند ، G/Gmax افزایش و D کاهش می یابد. استنتاج می شود که خاک هایی که شاخص خمیری بالاتری دارند تمایل به پاسخ تنش- کرنش چرخه ای خطی بیشتری در کرنش های کوچک، و کاهش کمتر در کرنش های بزرگتر، از خاک هایی که دارای PI کمتری هستند، دارند. (Vucetic و Dobry 1991)

عوامل افزایشی	Gmax	G/Gmax	D
فشار همه جانبه (σ)	افزایش می یابد با (σ)	ثابت می ماند یا افزایش می یابد با (σ)	ثابت می ماند یا کاهش می یابد با (σ)
نسبت تخلخل (e)	کاهش می یابد با (e)	افزایش می یابد با (e)	کاهش می یابد با (e)
سن زمین شناسی (t)	افزایش می یابد با (t)	ممکن است افزایش یابد با (t)	کاهش می یابد با (t)
سمنتاسیون (c)	افزایش می یابد با (c)	ممکن است افزایش یابد با (c)	ممکن است کاهش یابد با (c)
پیش تحکیمی (OCR)	افزایش می یابد با (OCR)	موثر نیست	موثر نیست
شاخص خمیری (PI)	اگر (OCR >۱) با (PI) افزایش می یابد و با (OCR=1) ثابت می ماند	افزایش می یابد با (PI)	کاهش می یابد با (PI)
کرنش چرخه ای (γ_c)	-	کاهش می یابد با (γ_c)	افزایش می یابد با (γ_c)
نرخ کرنش (γ')	افزایش می یابد با (γ')	موثر نیست	ثابت می ماند یا ممکن است افزایش یابد با (γ)
تعداد سیکل های بارگذاری (N)	بعد از (N) سیکل از (γ_c) بزرگ کاهش می یابد و با گذشت زمان بهبود می یابد	بعد از (N) سیکل از (γ_c) بزرگ کاهش می یابد	مهم نیست

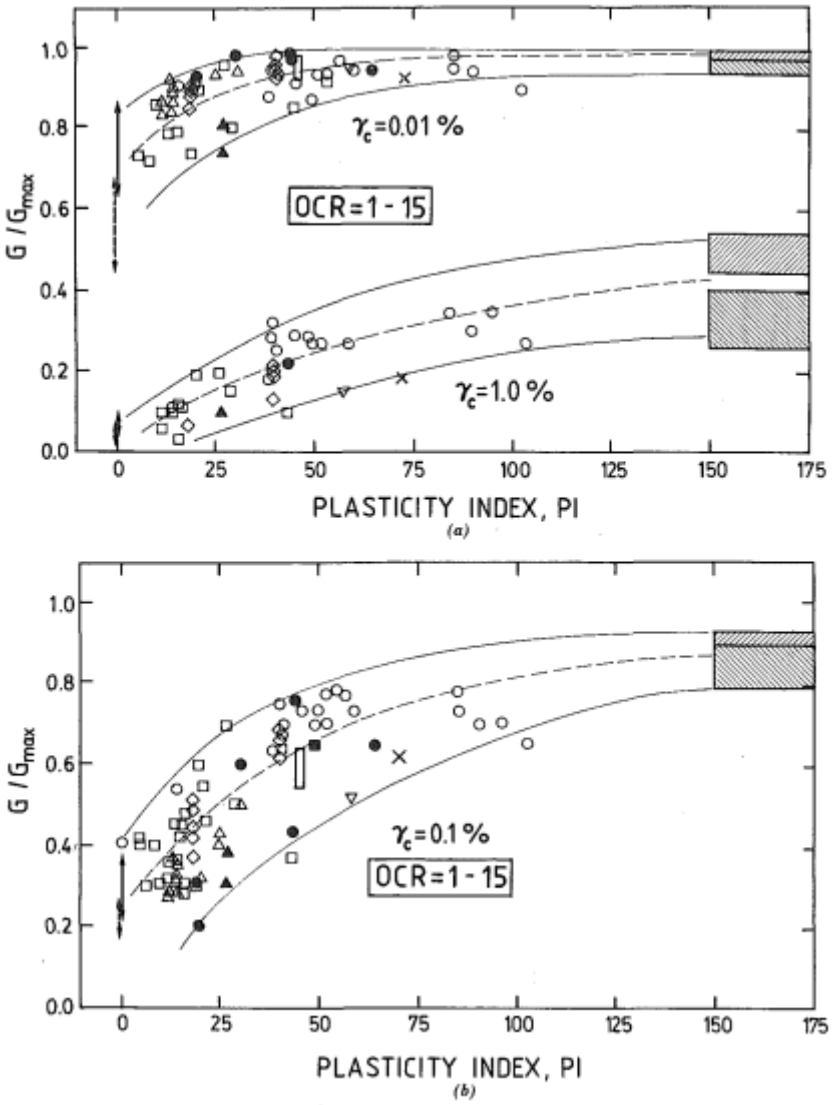
جدول ۶- تاثیر افزایش فاکتور های مختلف روی G/Gmax و D از رس تحکیم عادی و نسبتا پیش تحکیم یافته



شکل ۶۸- روابط بین G/Gmax در مقابل γ_c و λ در مقابل منحنی های γ_c و پلاستیسیته خاک برای خاک های تحکیم عادی یافته و پیش تحکیم یافته



شکل ۶۹- همبستگی بین میرایی λ و شاخص خمیری PI برای خاک های تحکیم عادی یافته و پیش تحکیم یافته



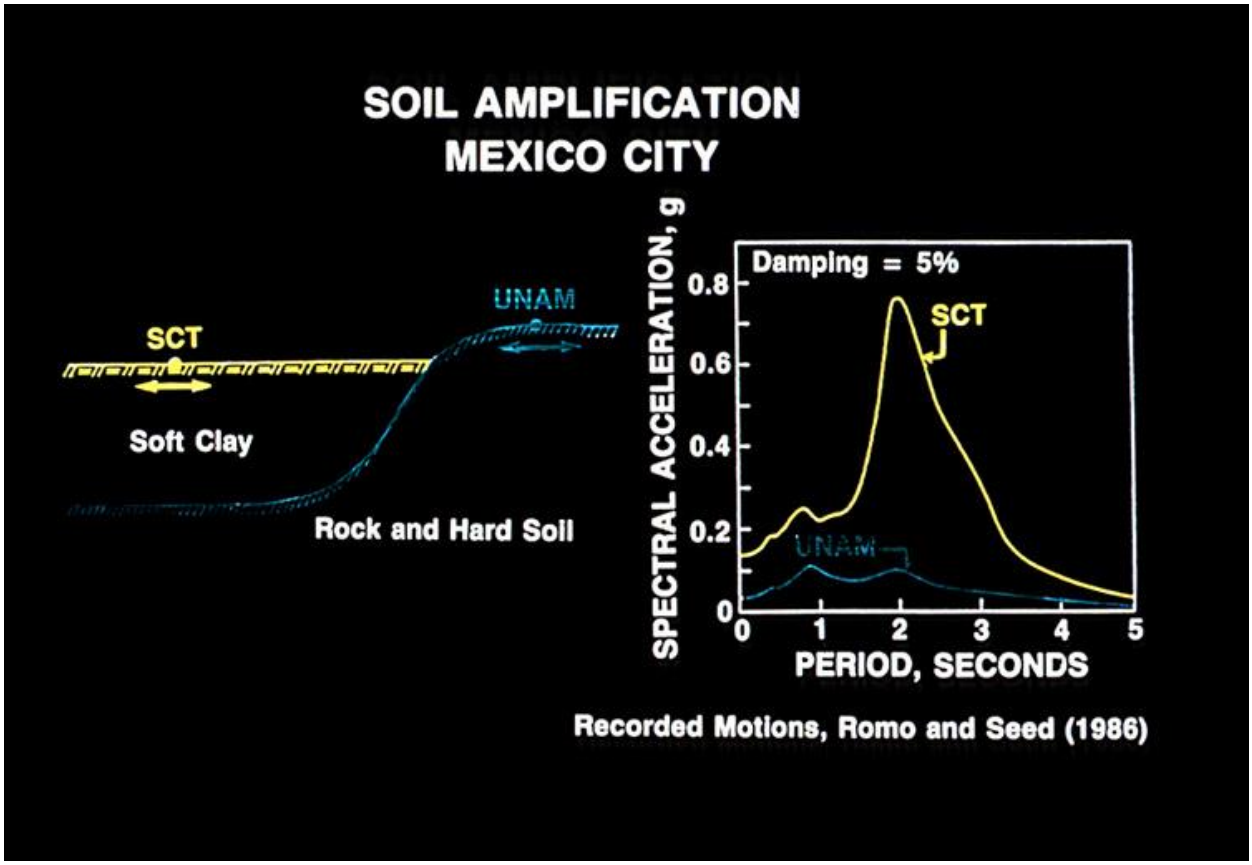
شکل ۷۰- همبستگی بین G/Gmax و شاخص خمیری PI برای خاک های تحکیم عادی یافته و پیش تحکیم یافته

تاثیرات فاکتور های مختلف روی G/Gmax، G و D توسط ووستیک و دوبری در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج جدول از شمار زیادی از مطالعات انجام گرفته در ادبیات فنی جمع آوری شده هستند (سید و ادریس ۱۹۷۰ ، هاردین ۱۹۷۸ ، ایشیهارا ۱۹۸۶ ، کیم و نواک ۱۹۸۱ ، کوکوشا و همکاران (۱۹۸۲) در مقاله شان ، ووستیک و دوبری (۱۹۹۱) نمودار های نشان داده شده فوق را برای استفاده ی عملی و ارزیابی مقدماتی از پاسخ چرخه ای نشست خاک ریز دانه بندی شده ی اشباع پیشنهاد کردند . نکته ی قابل توجه اینکه نمودار های فوق باید با احتیاط بکار برده شوند چون که پراکندگی داده ها در حول منحنی نشان داده می شود. همچنین قابل توجه است که خاکهای با ساختار حساس (مانند رس روان) ممکن است منحنی های G/Gmax و D خیلی متفاوت تری از آنهایی که در شکل فوق نشان داده شده است داشته باشند . بنابراین پیشنهاد می شود که نمودار ها نباید برای مثال برای خاکهای حساس بکار برده شوند.

فصل ۵: جمع‌بندی و پیشنهادها و مراجع

۵-۱- پاسخ سوال ۱۰

زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی در دسته زلزله های مخرب قرار می گیرد. این زلزله در شهری که بر بستر رس نرم ساخته شده است رخ داد. برداشت سطح زمین و برداشت بستر سنگی نسبت بزرگنمایی حدود ۷ را نشان می داد و اگر سازه ای برای این بزرگنمایی طراحی نشده باشد بسیار آسیب خواهد دید.



شکل ۷۱- ضریب بزرگنمایی زلزله ی مکزیکوسیتی

شرایط توپوگرافی و ساختگاه (مثلا شیب دار بودن محل ساخت) می تواند نیروی زلزله را چندین برابر کند و این اثر بحرانی می شود زمانی که در طراحی لحاظ نشده باشد. این مورد در آئین نامه EuroCode-8 و آئین نامه فرانسه در نظر گرفته شده است. توپوگرافی سطحی می تواند ۱,۴ تا ۱,۶ نیروی محاسبه شده زلزله در پای شیب را افزایش دهد یعنی اگر برش پایه سازه ای معادل ۱۰۰ تن باشد با افزایش ۱,۵ برابری برش پایه در بالای یک شیب به مقدار ۱۵۰ تن می رسد که در صورت طراحی نشدن برای این برش شاهد خرابی خواهیم بود.

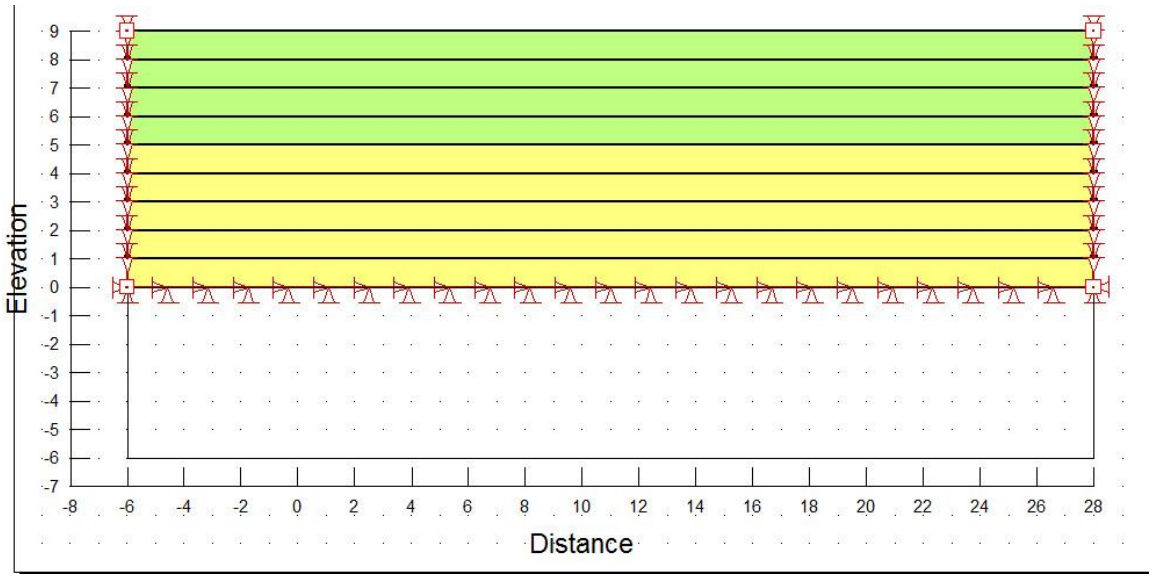


شکل ۷۲- اثر ساختگاه و شیبدار بودن آن در خسارت های وارد شده

در هر حال بزرگنمایی یک زلزله از عمق تا سطح زمین وابسته به شرایط مصالح در روی سنگ بستر است. خصوصیت خمیری مصالح، سرعت موج برشی و ویژگی های دیگر باعث تغییر مقدار بزرگ نمایی می شود، اما در هر صورت باید اثر بزرگنمایی را در تحلیل ها لحاظ کنیم.

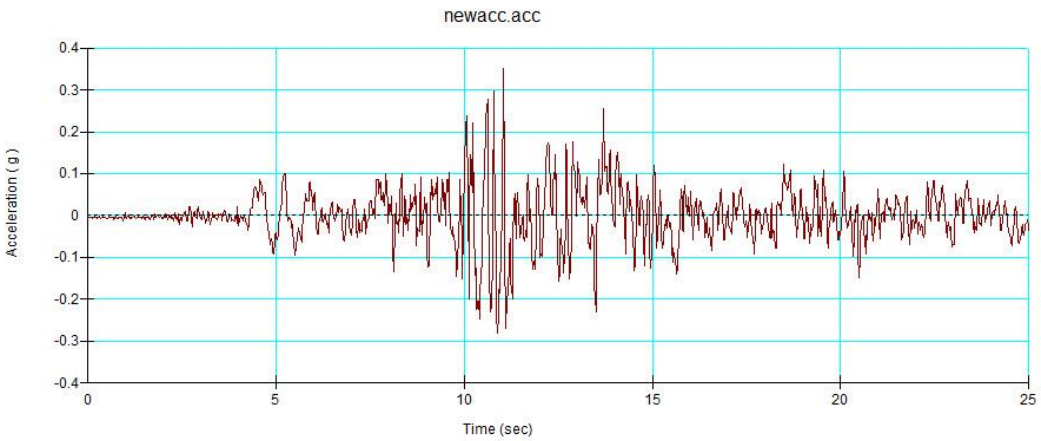
۵-۲- مقایسه نتایج با نتایج نرم افزار Quake/W

برای ارائه ی یک مقایسه بین دو نرم افزار تنها حالت بحرانی تحت شتابنگاشت زلزه طبس را بررسی می کنیم. در ابتدا باید پروفیل بحرانی خاک را در نرم افزار مدل کنیم.



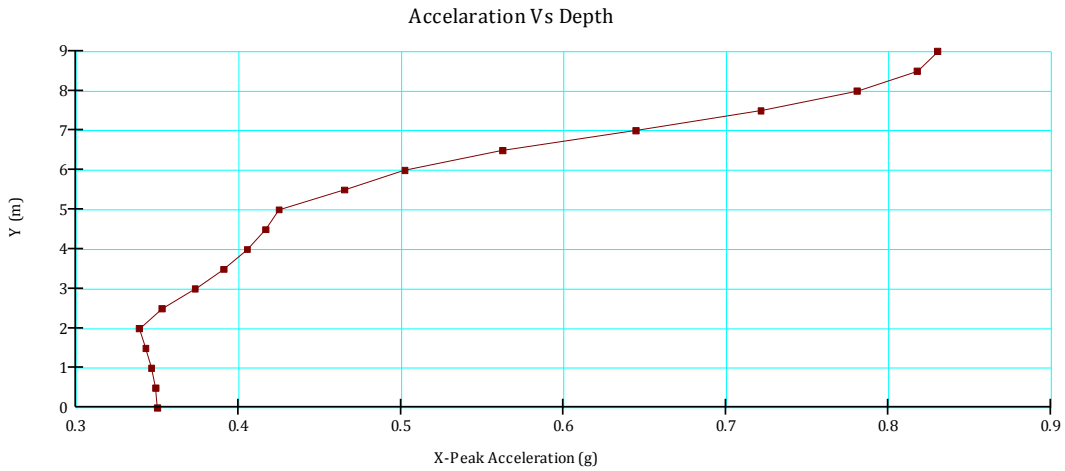
شکل ۷۳- مدل پروفیل خاک در Quake/W

همانطور که در بالا نشـان داده شـده اسـت، شرایط مرزی نیز اعمال شده است و در مرحله ی بعد می توان شـتابنگاشـت را وارد نرم افزار نمود. شـکل شتابنگاشت مورد مطالعه در شکل زیر نشان داده شده است.



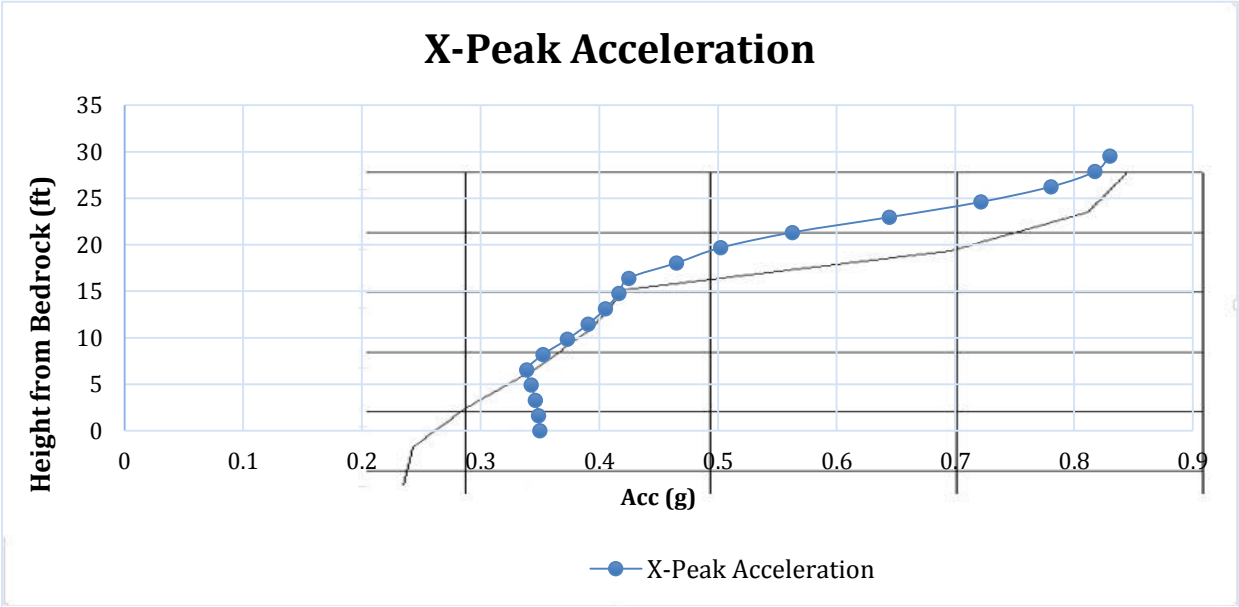
شکل ۷۴- شتابنگاشت در نرم افزار Quake/W

در شکل زیر بیشینه ی شتاب در عمق نشان داده شده است.



شکل ۷۵- بزرگنمایی شتاب از عمق تا سطح پروفیل بحرانی

مقایسه نتایج ProShake و Quake/W در نمودار زیر نشان داده شده است :



شکل ۷۶- مقایسه نتایج مشکی ProShake و آبی Quake/W

با توجه به نتایج ارائه شـده، مشـاهده می شـود که نتایج ProShake و Quake/W با توجه به اختلاف اسـاسـی بین تئوری و فرمولاسـیون این دو نرم افزار بطور قابل ملاحظه ای به یکدیگر نزدیک و گاهی مواقع یکسـان می باشند. در موارد اختلاف نیر به طور قطع نمی توان گفت نتیجه کدامیک درست می باشد. یکی از را ههای بررسی تحلیل های عددی از قبیل حرکت پاسخ زمین مقایسه توسط نرم افزار ها مختلف می باشـد. نتایج نزدیک و بعضـا مشابه بیانگر روابط صحیحی است که در هر دو نرم افزار وجود دارد.

مراجع

Idriss, I.M. and Sun, J.I. *SHAKE91 : A computer program for coduntiong equivalent linear seismic responce analyses of horizontally layered soil deposits User's Guide.* Davis: University of California, 1992.

Ksramer, S.L .*Geotehcnical Earthquake Engineering* .Prentice-Hall, Inc,, 1996.

PEER Strong Motion Database .۲۰۰۰ .http://peer.berkeley.edu/smcat./

ProShake manual .Redmond, Washington: EduPro Civil Systems, Inc., 2005.

Tabas Earthquake ۲۶ .December 2014 .

http://en.wikipedia.org/wiki/1978_Tabas_earthquake.

Vucetic, Mladen و ,Ricardo Dobry" .Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response ".

Journal of Geotechnical Engineering,ASCE.۱۹۹۱ ,

بازیار, محمد حسن, و زینب قناد. *دینامیک خاک*. تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران, ۱۳۹۳.

دانشنامه ی طبس گلشن. ۲۰۰۹. http://www.tabasenc.ir/.