



تخمین قطعی معادل رفتار خاک در حوزه فرکانس در جنوب شهر یزد

احمد ادیب

گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب - ایران

dr_a_adib@yahoo.co.uk

مکیده

تحلیل حرکت زمین در جنوب شهر یزد با استفاده از داده‌های ژئوتکنیکی، پروفیل‌های لرزه‌ای درون گمانه‌ای، توان جنبش نیرومند زمین و انتخاب شتابنگاشت‌های مناسب در حوزه فرکانس انجام و برای رسیدن به تخمین غیرخطی پاسخ غیرالاستیک خاک و ارائه‌ی تخمین خطی معادل، از یک حلقه‌ی تکرار استفاده گردید. رفتار غیرخطی استرس-استرین خاک به این معناست که مدول برشی در امتداد مسیرهای مختلف تغییر می‌کند. بیشینه شتاب جنبش زمین در سنگ بستر برای دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ سال برابر با $0.219g$ در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در محل گمانه نماینده برای دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ سال، فرکانس تشدید $3/4$ و ضریب تشدید آرفت $1/4$ به دست آمد. بر اساس نتایج مدول‌های تحلیل شده، اکثر مدل‌ها تقریباً ضریب تشدید را در محدوده‌ی فرکانس ۵ هرتز نشان می‌دهد. بر اساس میانگین ضرایب و فرکانس‌های تشدید به دست آمده از تمام مدل‌ها، دامنه‌ی امواج برشی در فرکانس بین ۳ تا ۴ هرتز با ضریب $1/6$ دچار تشدید می‌شوند. سرعت موج برشی میانگین تا عمق ۳۰ متری این گمانه معادل 360 متر بر ثانیه است.

واژه‌های کلیدی: جنوب یزد، ضریب تشدید، ژئوتکنیک لرزه‌ای، اثر ساختگاه.

۱-مقدمه

al. 2001; Rix & Romero-Hudock 2001; Cramer et al. (2006, 2004) مورد استفاده قرار گرفت.

روش‌های متعددی برای تحلیل پاسخ زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rix & Romero-Hudock 2001) در روش یک‌بعدی که برای مدلسازی پاسخ زمین در این تحقیق از آن استفاده شد، فرض می‌شود که مرز لایه‌های خاک افقی بوده و پاسخ نهشته‌های خاک با موج SH ایجاد و به طور عمودی در لایه‌ها منتشر می‌شود. برای تحلیل یک-بعدی پاسخ زمین از یکی از سه روش تحلیل خطی، تحلیل خطی معادل (غیرخطی موضعی) و تحلیل غیرخطی استفاده می‌شود. در رهیافت خطی معادل، خصوصیت غیرخطی مدول برشی و میرایی برای تعیین خصوصیات خطی معادل خاک، با استفاده از یک فرآیند تکرار شونده برای یافتن مقادیر مدول میرایی سازگار با استرین‌های مؤثر در هر لایه به کار می‌رود (Ishibashi 1992).

۲- روش تحقیق

خطر اولیه‌ی حرکت زمین روی سنگ ناشی از زلزله جزء ضروری‌ترین مطالعات است. برای مثال، در نقشه‌های خطر زلزله ایالت متحده (Frankel et al. 1997, 2003) یا نقشه‌های خطر حرکت زمین

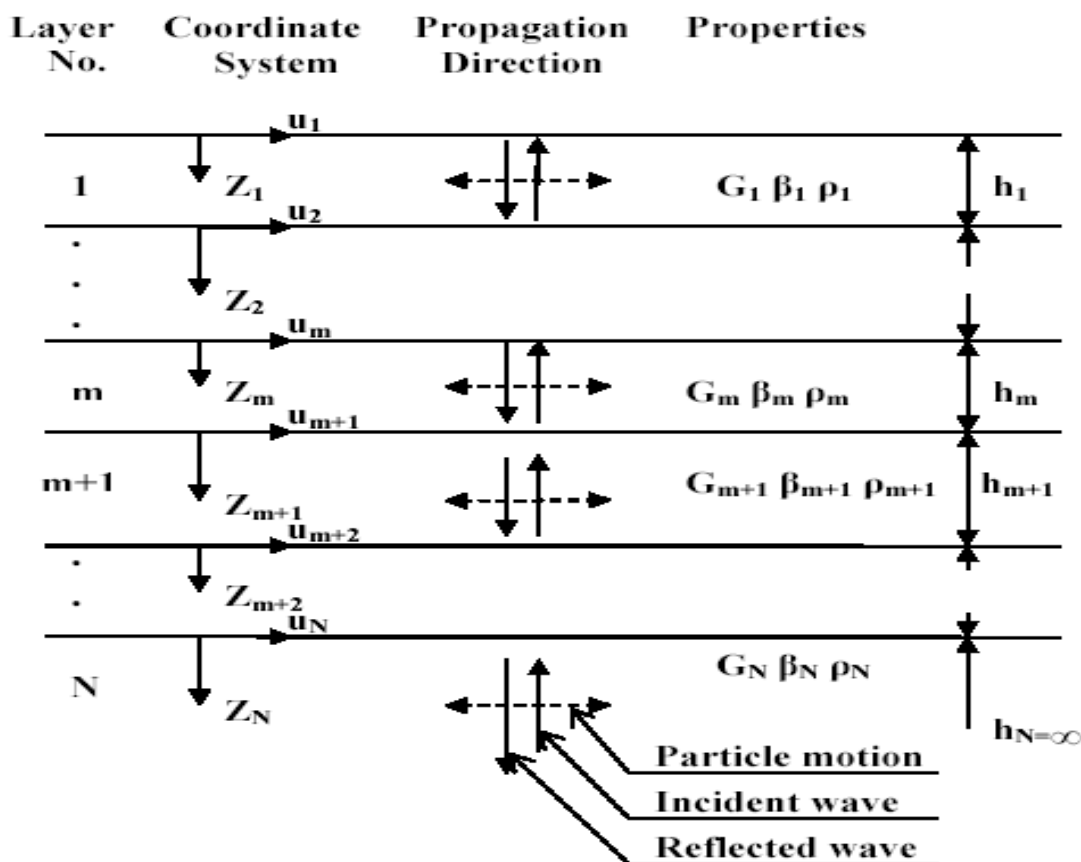
در ژئوتکنیک لرزه‌ای، ارزیابی انتشار امواج در زمین و تغییرات آن از روی سنگ کف لرزه‌ای به سطح زمین، برای تعیین تأثیر حرکت سنگ بستر روی پروفیل خاک و تولید نقشه‌ی تغییرات فرکانس، دامنه‌ی موج و ضریب تشدید بر روی سطح زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد (Dobry & Vucetic 1987). مبنای نظری تشدید خاک این است که زمین به‌عنوان یک فیلتر پایین‌گذر برای امواج و حرکات زمین عمل می‌کند، در انتشار امواج لرزه‌ای از سنگ کف تا سطح زمین، محتوای موج لرزه‌ای اعم از دامنه و فرکانس آن تغییر می‌یابد (Gomberg et al. 2003). نهشته‌های رسوبی نرم، فرکانس‌های خاصی از حرکات زمین را تقویت می‌کنند و بدین وسیله باعث می‌شوند تا ضمن تأثیر بر رفتار دینامیکی خاک، اثرات مخرب زلزله و خسارات آن بیشتر شوند (Ishibashi 1992; Seed et al. 1986; Ishibashi & Zhang 1993). پاسخ نهشته‌های رسوبی به فرکانس حرکت سنگ کف به هندسه‌ی لایه‌ی خاک بالای سنگ کف و ویژگی ژئوتکنیکی آن بستگی دارد. روش‌های مختلف برآورد مقادیر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک در حالت دینامیکی و مشخصات و نقشه‌ی تشدید، روانگرایی و خطرات زمین‌لغزش در مقیاس مختلف در مرکز ایالت متحده‌ی امریکا توسط Street et al. 1997, 2001; Bauer et al. 2001; Broughton et

مهمترین ابزار ارائه‌ی نتایج است. ارائه‌ی تخمین خطی یک‌بعدی از رفتار غیر خطی خاک در حوزه‌ی فرکانس با انجام موارد زیر به دست آمد:

- حفر گمانه و تعیین ویژگی ژئوتکنیکی خاک.
 - تدوین مدل مصنوعی از پروفیل خاک.
 - انتخاب شتابنگاشت مناسب.
 - تجزیه و تحلیل، رسم تابع پاسخ خاک در حوزه‌ی فوریه.
- نرم افزار شیک (shake) که برای اولین بار در سال ۱۹۷۲ توسط Schnabel et al. (1972) ارائه و نسخه‌ی جدید آن برای محاسبه‌ی پاسخ لرزه‌ای نهشته‌های خاک مورد استفاده قرار گرفت، به صورت یک سیستم یک بعدی تعریف می‌شود (تصویر ۱). این سیستم متشکل از N لایه‌ی نامتناهی در جهت افقی است و دارای یک نیم‌فضا به‌عنوان لایه‌ی زیرین می‌باشد. هر لایه همگن و همسانگرد می‌باشد و با ضخامت (h) ، چگالی (P) ، مدول برشی (G) و ضریب میرایی بتا (β) نشان داده می‌شود.

(Street et al. 1997) مخاطرات لرزه‌ای اولیه ترسیم می‌شوند. حرکات زمین روی سنگ بر اساس چشمه‌های لرزه‌ای و روابط میرایی حرکت زمین برای تهیه‌ی نقشه‌های اولیه‌ی خطرات لرزه‌ای به منظور کاهش خطرات لرزه‌ای تهیه شده است، برای مثال، نقشه‌های خطر لرزه‌ای ایالت متحده (Frankel et al. 1997, 2003) بر اساس کدهای ملی ساختمانی و سایر کدها (BSSC 1998, Building Seismic Safety Council) ایجاد شده‌اند. از این نقشه‌ها که بر اساس ورودی حرکت زمین تهیه شده است برای مشخص کردن خطرات لرزه‌ای ثانویه در مرکز ایالت متحده‌ی آمریکا استفاده شده است، (Street et al. 2004, 2001; Bauer et al. 2001; Broughton et al. 2001; Rix & Romero-Hudock 2001; Cramer et al. 2004, 2006)

تحلیل حرکت زمین در جنوب شهر یزد با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی، پروفیل لرزه‌ای سرعت درون گمانه‌ای در منطقه‌ی چاه ملکی به مختصات $(X=252635$ و $Y=3532206)$ ، شتابنگاشت‌های سازگار با ناحیه در حوزه‌ی فرکانس انجام گرفت. کاربرد ابزار ریاضی تبدیل فوریه و رسم کراس پلات‌های مختلف برای ارائه‌ی داده‌ها از



تصویر ۱- سیستم یک بعدی از ویژگی دینامیکی و مکانیکی خاک در یک پروفیل نماینده خاک (Schnabel et al. 1972)

بستر ترسیم و در مطالعات ریزپهنه‌بندی از آن استفاده شد (Broughton et al. 2001). با توسعه‌ی این نقشه‌ها از آن برای تیپ‌ها و مقیاس‌های مختلف نقشه‌های خطرات و طرح-ریزی سیستم بحران استفاده (Rix & Romero-Hudock 2001; Cramer et al. 2004, 2006). در بیشتر حالات مقادیر کمی که محاسبه می‌شوند باید بر اساس شرایط زمین-شناسی و اطلاعات سایت کنترل شوند. برای مثال، نقشه‌ی طبقه‌بندی خاک بر اساس زمین‌شناسی تحت‌الارضی به‌وسیله‌ی باوئر و همکاران (Bauer et al. 2001) برای محاسبه اثر ساختگاه ناشی از تشدید حرکات زمین مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱- اطلاعات ژئوتکنیکی گمانه‌ی چاه ملکی و سرعت‌های امواج لرزه‌ای درون گمانه‌ای آن (ادیب ۱۳۸۷).

Depth (m)	Soil-Classification	Gravity γ gr/cm ³	V_p (m/s)	V_s (m/s)
1	Silt & clay	1.21	415.9	160.6
2	Medium Sand	1.30	508.2	198
4	Medium Sand	1.51	665	272.5
6	Silt & clay	1.75	770	323
8	Silt & clay	1.70	806.2	336
10	Medium Sand	1.55	844.5	353
12	Medium Sand	1.55	866.3	364.3
14	Silt & clay	1.46	899.7	381.9
16	Silt & clay	1.40	937.5	402.4
20	Silt & clay	1.48	1011.4	441.8
22	Silt & clay	1.50	1043.7	459.5
24	Silt & clay	1.55	1067.6	472.6
26	Silt & clay	1.60	1093.2	488
28	Silt & clay	1.60	1116.2	501.9

۳-۱- سرعت امواج لرزه‌ای بر اساس داده‌های درون چاهی

عملیات لرزه‌شناسی درون چاهی در جنوب شهر یزد در گمانه‌ی چاه ملکی انجام و سرعت امواج لرزه‌ای P و S از سطح تا کف گمانه اندازه‌گیری شد، (جدول ۱). حداقل سرعت موج P، ۴۱۵ متربرثانیه و موج S، ۱۶۰ متر بر ثانیه در عمق یک متری و حداکثر سرعت موج P در عمق ۲۸ متری معادل ۱۱۱۵ متر بر ثانیه برای سرعت موج S در این عمق ۵۰۰ متر بر ثانیه بدست آمد. میزان ضریب پواسون در این گمانه از ۰/۳۷ تا ۰/۴۱ در تغییر بوده و از سطح به عمق کاهش یافته است. لایه معرف سنگ بستر لرزه‌ای در این گمانه (سرعت موج S ۷۵۰ متر بر

در نرم‌افزار شیک (Shake)، رفتار خاک تحت فشار دوره‌ای نامنظم با استفاده از مدول کاهیدگی (G/G_{max}) و منحنی‌های میرایی بتا برحسب استرین مدلسازی می‌شود. در قسمت دوم پنجره، داده‌های خاص مثل ضخامت لایه، مدول برشی بیشینه (G_{max}) یا سرعت موج برشی (V_s)، تخمین اولیه میرایی و وزن مخصوص خاک وارد می‌شود. بیشینه مدول برشی را می‌توان از پارامترهای تست درجا و رابطه تجربی بین G_{max} و پارامترهای تست درجا به دست آورد.

۳-۲

ویژگی خاک و سنگ که در مطالعات ریزپهنه‌بندی دیده می‌شود، بستگی به مقیاس و دقت مطالعات دارد. خصوصیات سنگ و خاک می‌تواند به‌وسیله‌ی روش‌های مختلف، برای مثال، روش‌های لرزه‌ای انعکاسی-انکساری مشخص شود (Gomberg et al. 2003). نهشته‌های آبرفتی جنوب شهر یزد رسی، سیلتی و ماسه‌بادی می‌باشد (ادیب ۱۳۸۷). برای معرفی چگونگی توزیع رسوبات در ناحیه، با توجه به اطلاعات حفاری‌های قبلی و داده‌های موجود، مقطع زمین-شناسی مناسب تهیه شد. در این مقطع با حرکت به‌سوی گمانه‌ی چاه ملکی رسوبات ریزدانه، رسی و سیلتی می‌شود. اطلاعات و نتایج حاصل از بررسی این گمانه در جدول ۱ ارائه می‌گردد.

روش (National Earthquake Hazards Reduction Program, NEHRP) با مشخص نمودن ۶ دسته خاک به‌وسیله‌ی متوسط سرعت موج برشی، عدد تست نفوذ استاندارد (SPT)، مقاومت برشی در ۳۰ متر فوقانی ستون خاک تعریف می‌شود. ۶ دسته خاک شامل سنگ سخت A، سنگ B، خاک خیلی متراکم و سنگ نرم C، خاک سفت D، خاک نرم E و خاک خاص F می‌باشند. محدوده‌ی تشدید حرکت زمین از هیچ (سنگ سخت A)، تا خیلی (خاک نرم E و F) متغیر است (Street et al. 1997). از این روش برای تهیه‌ی نقشه‌ی توان تشدید در ناحیه‌ی جکسون (Jackson Purchase Region) در کنتاکی غربی بر اساس داده‌های سرعت موج برشی استفاده شده است (Street et al. 1997, 2001) نرم افزار شیک (SHAKE-91) برای مشخص نمودن فاکتور تشدید و مشخصات پیروید سایت طراحی شده است. این نرم افزار توسط دانشمندان مختلف (Wang 2006, 2007; Wang & Ormsbee 2005; Wang & Zhou 2007) مورد استفاده قرار گرفته است.

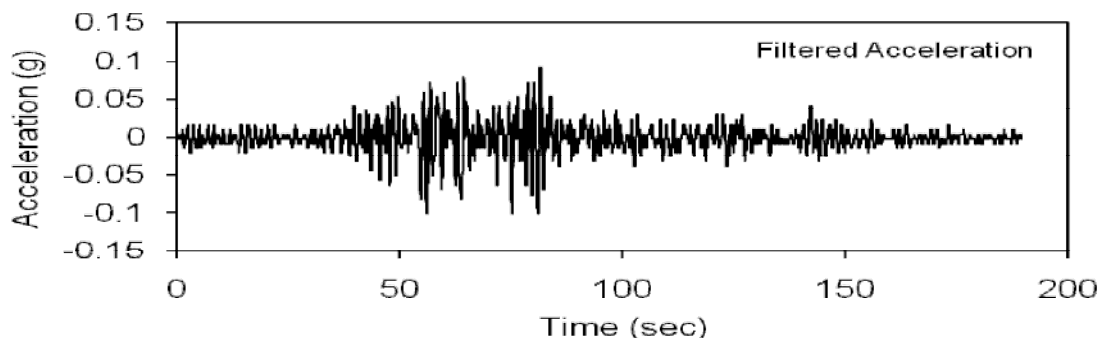
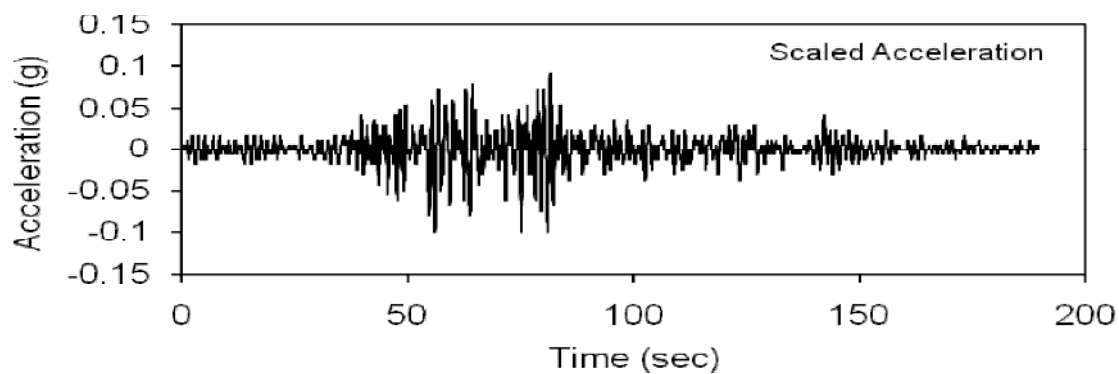
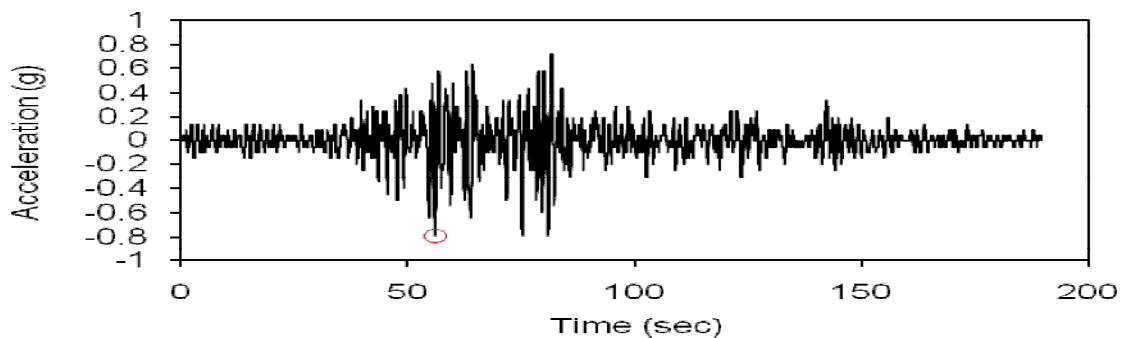
در مرکز ایالت متحده بر اساس داده‌ای اثر ساختگاه در ترکیب با حرکت زمین نقشه‌های خطر حرکات بر روی سنگ

بازگشت انتخابی و اعمال آن به ستون خاک، رفتار دینامیکی خاک در یک بعد (عمق) و به روش خطی معادل انجام شد. برای تحلیل در این تحقیق و انتخاب شتابنگاشت مناسب، زلزله‌ی مرجع ۲۲ فوریه ۲۰۰۵ زرنند (بهمن ۱۳۸۴) ثبت شده در ایستگاه مهریز مورد تحلیل قرار گرفت، این محل نزدیکترین ایستگاه به شهر یزد و از لحاظ ژئوتکنیکی وضعیت تقریباً مشابه با ناحیه‌ی مورد مطالعه دارد. طیف شتاب- زمان و تبدیل‌های متفاوت در ادامه خواهد آمد. نگاشت‌های تصحیح شده‌ی خام، به هنجار شده و فیلتر شده حاصل از این ایستگاه برای مؤلفه‌های L، V و T در تصاویر (۲ و ۳) آمده است. حاصل تحلیل، طیف پاسخ زمین در سطح، فرکانس تشدید دامنه‌ی موج لرزه‌ای، ضریب تشدید و مقدار شتاب بر حسب عمق می‌باشد.

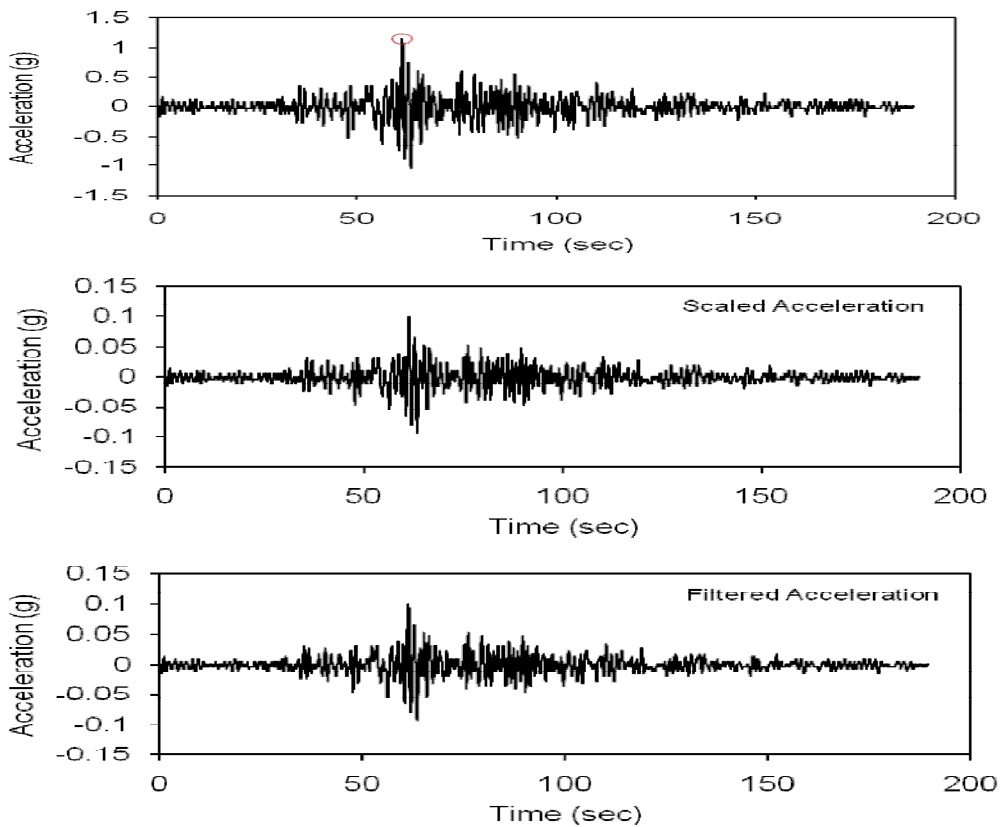
ثانیه) بر اساس نتایج حفاری ژئوتکنیکی، داده‌های لرزه‌ای درون چاهی و تحلیل خرد لرزه‌های برداشت شده به صورت آرایه‌ای در عمق ۵۰ متر تعیین گردید. به دلیل پایین بودن سرعت موج برشی در این گمانه ضرایب پواسون بالا و حدود ۰/۴۱ تا ۰/۳۷ می‌باشد (ادیب ۱۳۸۷). سرعت موج برشی میانگین تا عمق ۳۰ متری این گمانه معادل ۳۶۰ متربرثانیه است.

۳-۲- تحلیل معادل رفتار خاک

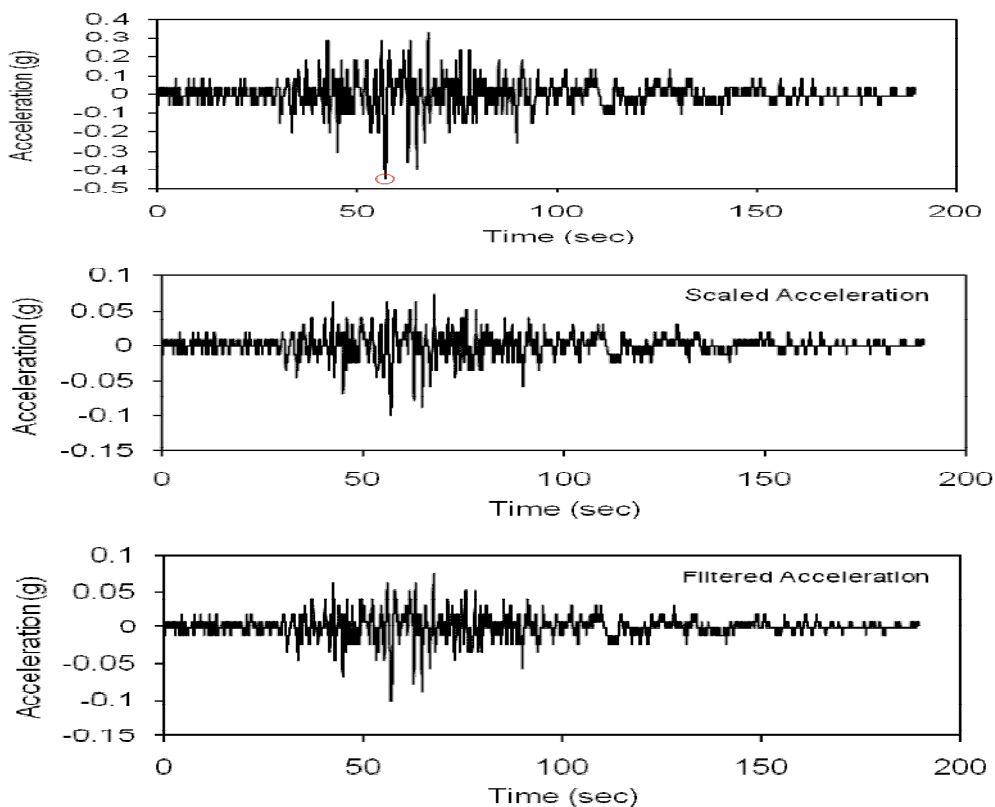
در این تحقیق به منظور مطالعه‌ی تأثیر ساختگاه بر روی امواج حاصل از زمین‌لرزه و ارائه‌ی تخمین خطی یک بعدی از رفتار غیرخطی خاک در حوزه‌ی فرکانس بعد از تعیین ویژگی ژئوتکنیکی خاک و سرعت موج برشی در مقاطع انتخابی با لحاظ نمودن شتاب زلزله در دوره‌ی



تصویر ۲- مؤلفه L لرزه نگاشت ایستگاه مهریز (بالا: لرزه نگاشت تصحیح شده خام، وسط: لرزه نگاشت تصحیح شده به هنجار شده، پایین: لرزه نگاشت تصحیح شده فیلتر شده)



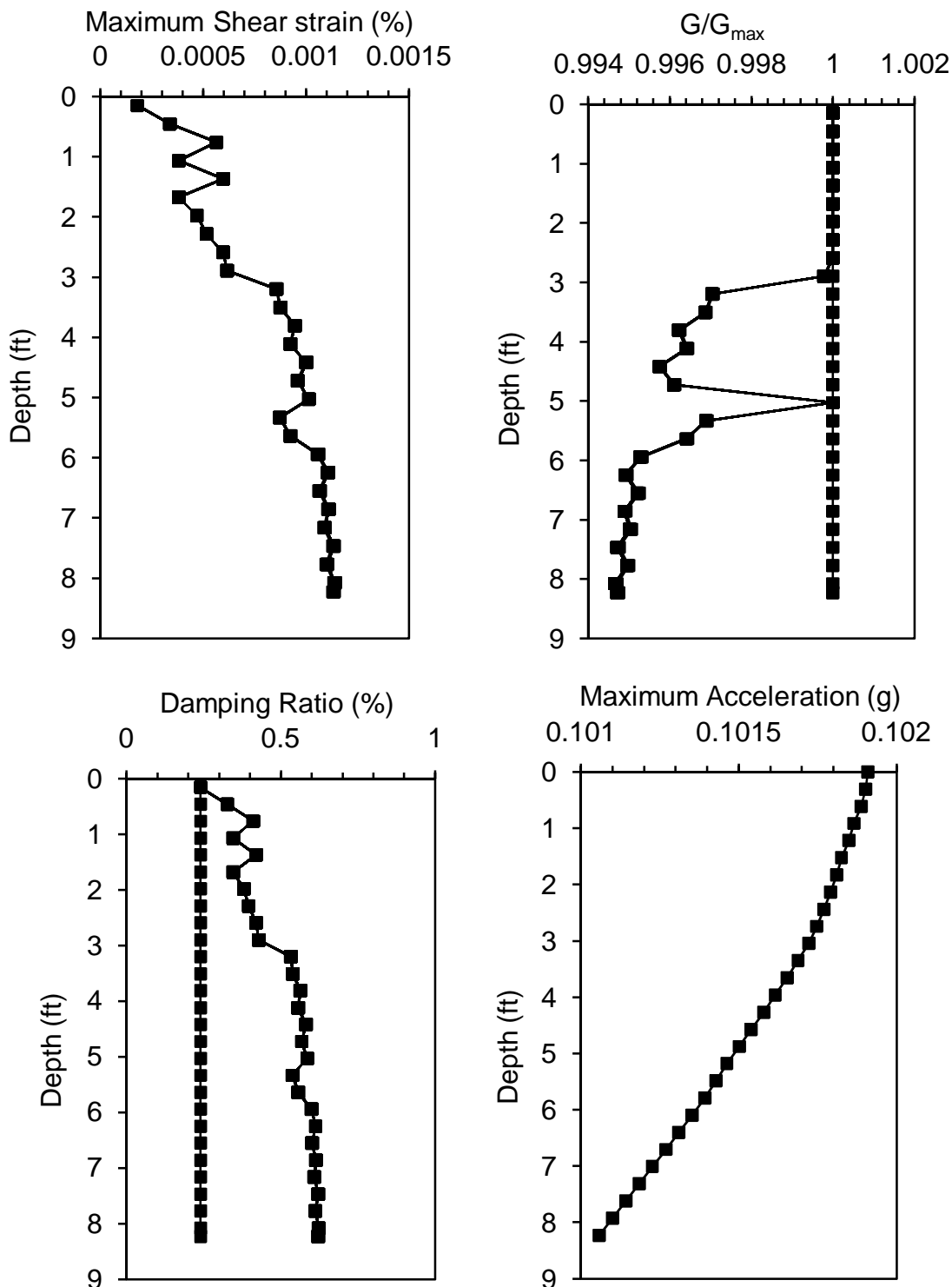
تصویر ۳- مؤلفه T لرزه نگاشت ایستگاه مهریز (بالا: لرزه نگاشت تصحیح شده خام، وسط: لرزه نگاشت تصحیح شده به هنجار شده، پایین: لرزه نگاشت تصحیح شده فیلتر شده)



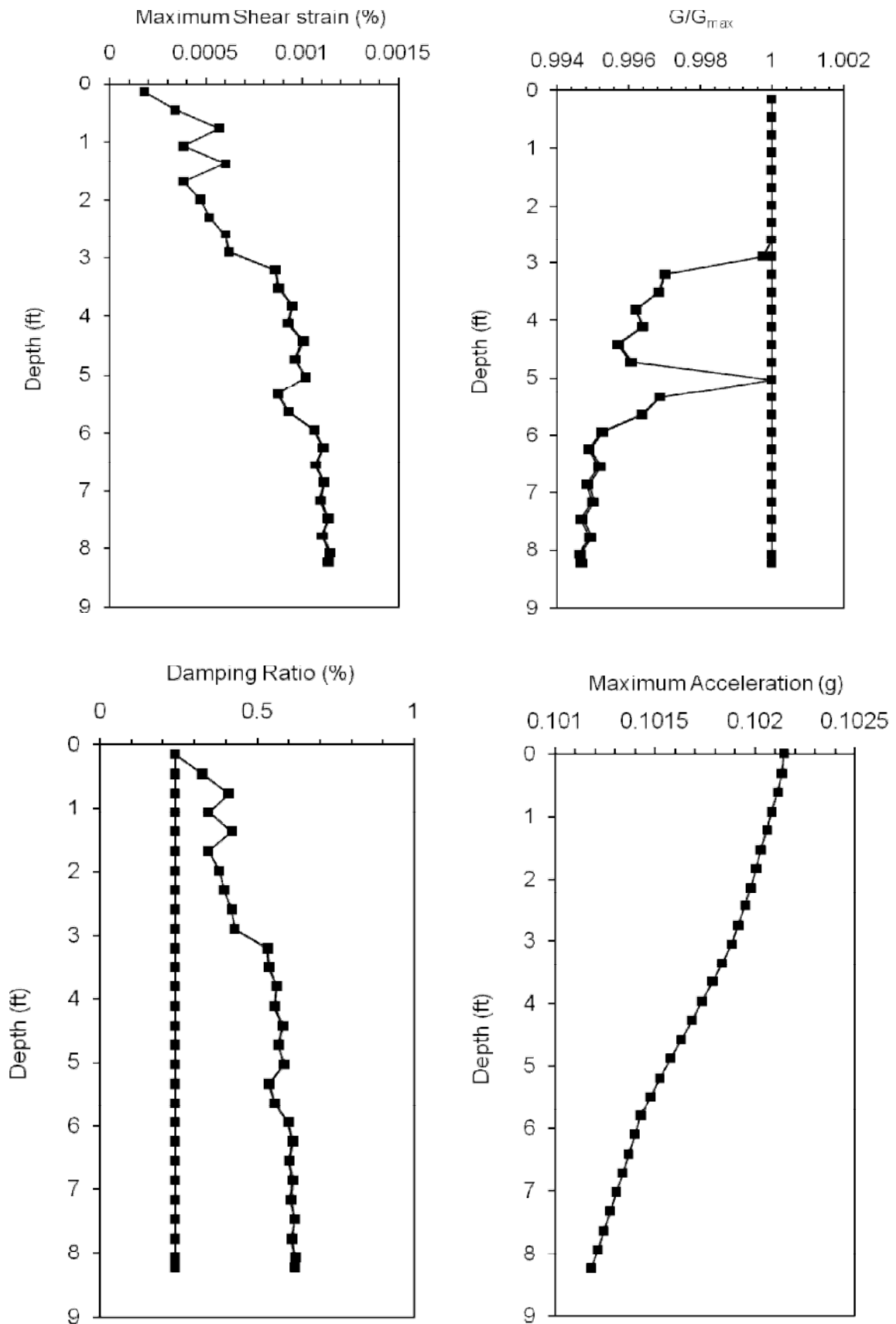
تصویر ۴- مؤلفه V لرزه نگاشت ایستگاه مهریز (بالا: لرزه نگاشت تصحیح شده خام، وسط: لرزه نگاشت تصحیح شده به هنجار شده، پایین: لرزه نگاشت تصحیح شده فیلتر شده)

برای مؤلفه‌های L ، T و V شتاب نگاشت مهریز پس از ۸ تکرار و در گام بعد نمودارهای شتاب، سرعت نسبی و جابجایی برای هر نمونه به دست آمد (تصاویر ۵، ۶، ۷ و ۸).

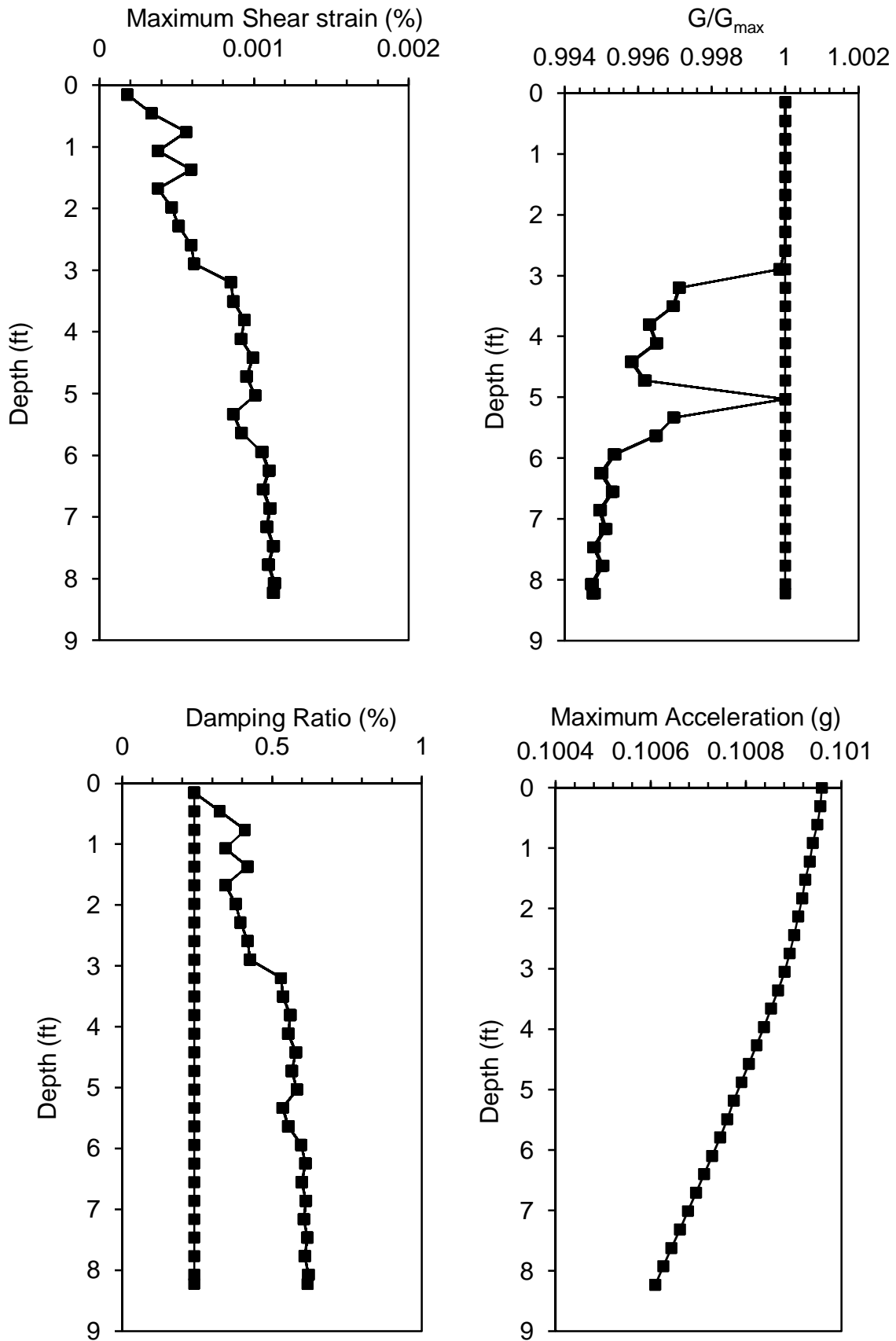
فرکانس میانگین مربعات که برای ساخت شتابنگاشت فیلتر شده استفاده می‌شود، برای مؤلفه‌های L ، T و V به ترتیب برابر $۰/۸۴۷$ ، $۰/۷۷۲$ و $۱/۰۶۳$ هرتز است. منحنی‌های بیشینه‌ی استرین برشی، نسبت G به G_{max} ، نسبت میرایی، بیشینه‌ی استرین برشی، بیشینه‌ی شتاب



تصویر ۵- منحنی‌های بیشینه‌ی استرین برشی، نسبت G به G_{max} ، نسبت میرایی، بیشینه‌ی استرین برشی و بیشینه‌ی شتاب برای مؤلفه L شتاب نگاشت مهریز



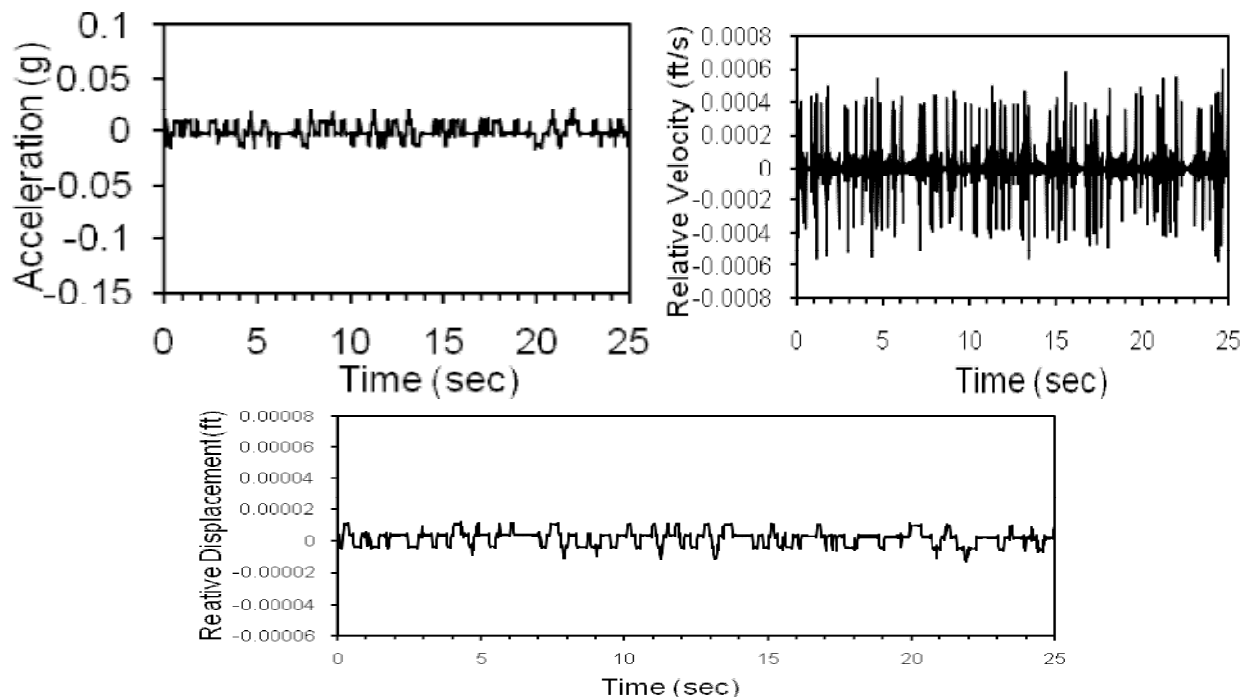
تصویر ۶- منحنی‌های بیشینه‌ی استرین برشی، نسبت G به G_{max} ، نسبت میرایی، بیشینه‌ی استرین برشی و بیشینه‌ی شتاب برای مؤلفه T شتاب نگاشت مهریز



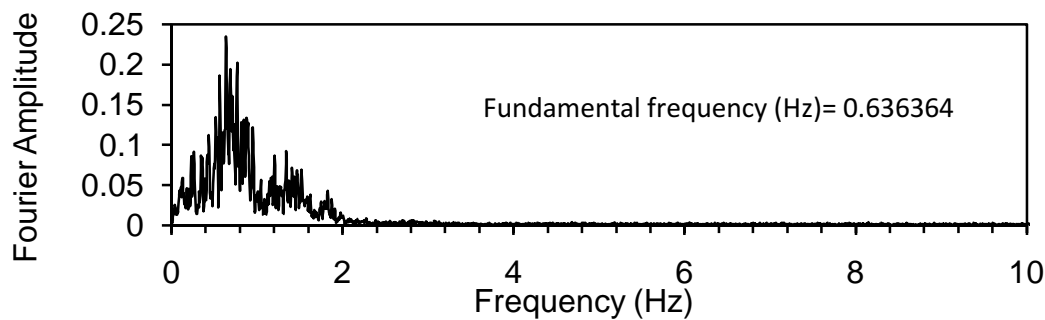
تصویر ۷- منحنی‌های بیشینه‌ی استرین برشی، نسبت G به G_{max} ، نسبت میرایی، بیشینه‌ی استرین برشی و بیشینه‌ی شتاب برای مؤلفه‌ی V شتاب نگاشت مهریز

دارای بیشترین دامنه ارائه شد. با این حال بسیاری از محققین بر این باورند که انتخاب مقیاس لگاریتمی در حوزه‌ی زمان می‌تواند با تفکیک بالاتری نسبت طیفی را برای حرکت‌های شتاب، سرعت و جابجایی نشان دهد (تصویر ۱۲).

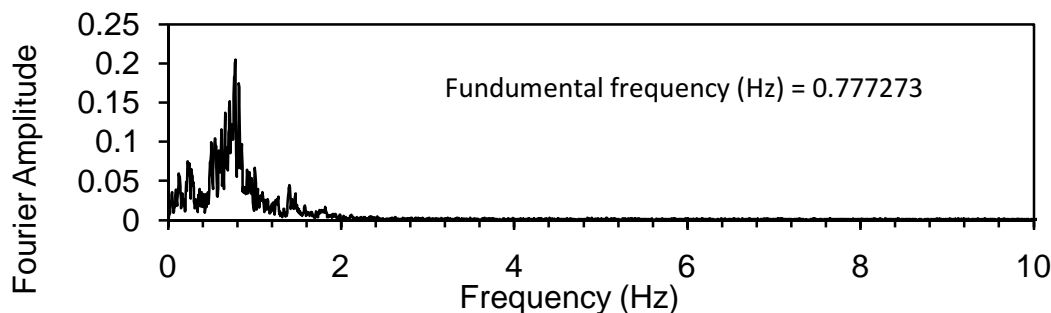
اما آنچه که می‌تواند معیار خوبی از فرکانس تشدید باشد، عبارتست از طیف دامنه در حوزه‌ی فرکانس (طیف دامنه فوریه) و یافتن مقدار (Amplitude Frequency, $A(f)$) برای هر لرزه نگاشت. بدین ترتیب در تصاویر ۹ تا ۱۱ طیف دامنه در حوزه فوریه با ذکر فرکانس



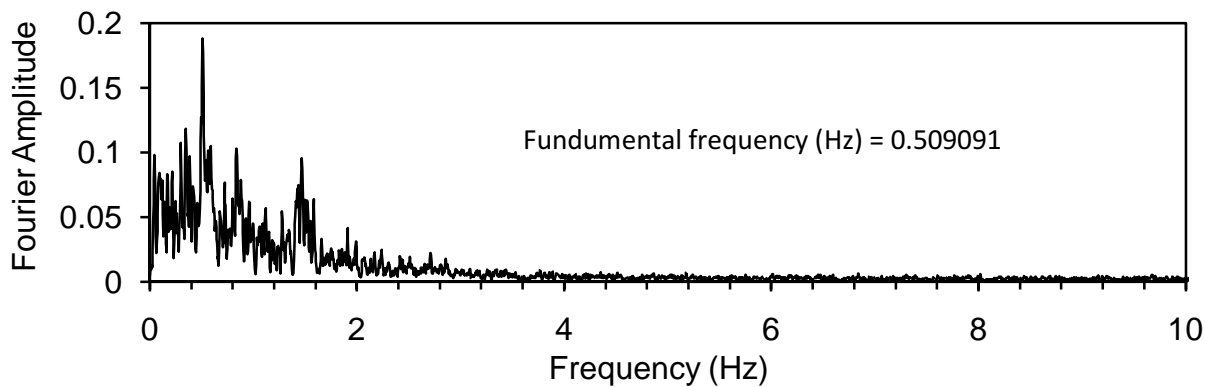
تصویر ۸- نمودارهای شتاب، سرعت نسبی و جابجایی نسبی برای مؤلفه V ایستگاه مهریز



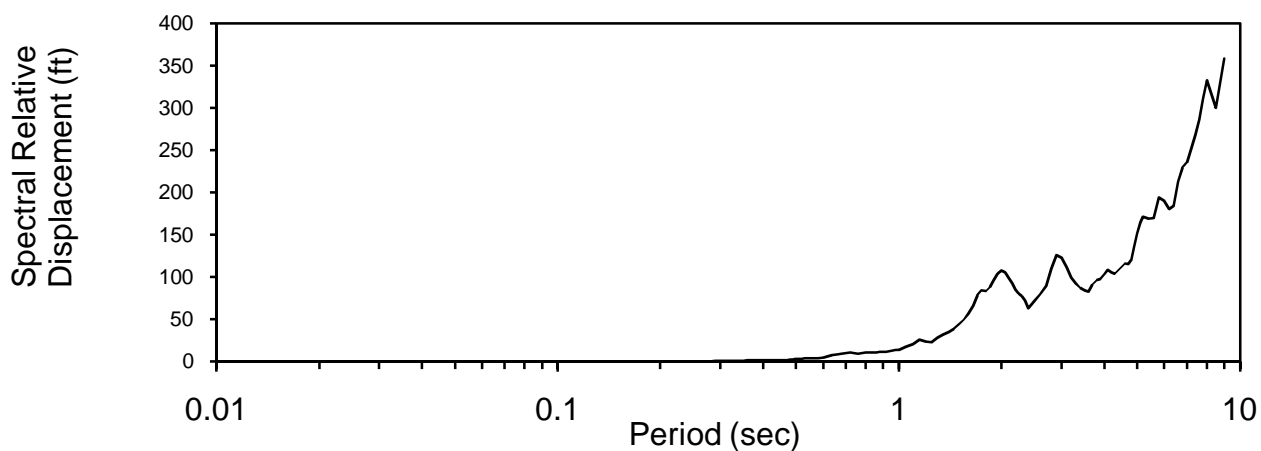
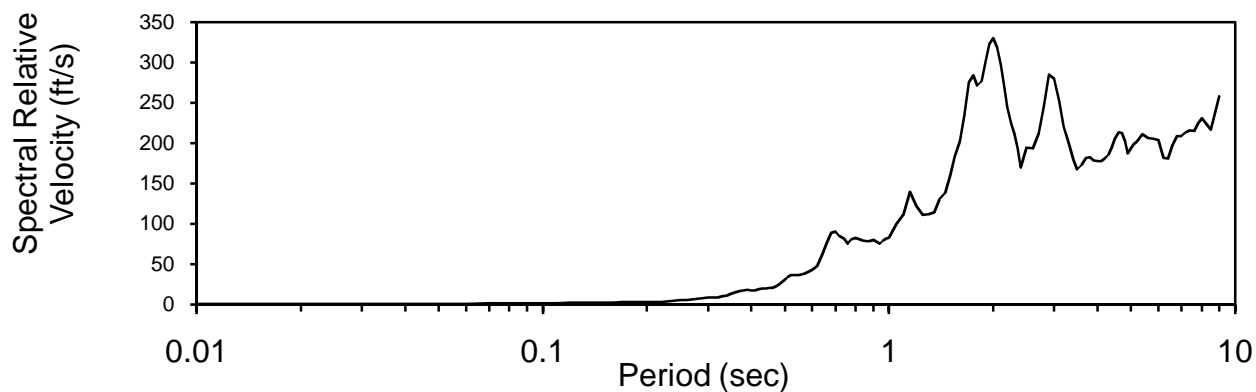
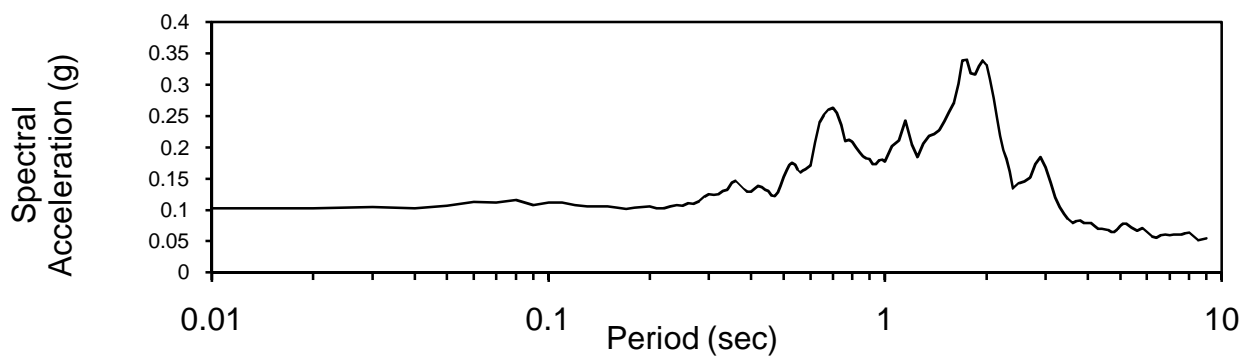
تصویر ۹- طیف فوریه برای مؤلفه I ایستگاه مهریز.



تصویر ۱۰- طیف فوریه برای مؤلفه T ایستگاه مهریز.



تصویر ۱۱- طیف فوریه برای مؤلفه V ایستگاه مهریز.



تصویر ۱۲- نسبت طیفی شتاب، سرعت و جابجایی برای مؤلفه V ایستگاه مهریز در مقیاس لگاریتمی.

جدول ۲- مقادیر زمانی برای تحلیل بیشترین شتاب، سرعت و جابجایی مؤلفه V ایستگاه مهریز.

Period (sec)	Pseudo Relative Velocity (ft/s)	Pseudo Absolute Acceleration (g)	Relative Displacement (ft)	Absolute Acceleration (g)	Relative Velocity (ft/s)	Time for Maximum Absolute Acceleration (sec)	Time for Maximum Relative Velocity (sec)	Time for Maximum Relative Displacement (sec)
0.01	0.52	0.10	0.00	0.10	0.52	0.00	0.00	0.00
0.10	5.76	0.11	0.09	0.11	1.42	57.02	90.56	57.02
0.20	10.86	0.11	0.35	0.11	2.76	57.02	76.00	57.02
0.30	19.21	0.12	0.92	0.12	8.22	57.00	73.28	57.02
0.40	26.40	0.13	1.68	0.13	17.46	64.92	68.00	64.92
0.50	39.00	0.15	3.10	0.15	30.72	57.04	42.84	57.04
0.60	52.53	0.17	5.02	0.17	42.20	63.20	63.04	63.22
0.70	94.02	0.26	10.47	0.26	90.30	65.02	46.44	65.04
0.90	83.23	0.18	11.92	0.18	79.42	63.42	63.66	63.44
1.00	90.17	0.18	14.35	0.18	82.05	65.08	65.34	65.08
1.50	185.09	0.24	44.19	0.24	160.32	57.20	57.70	57.22
2.00	338.89	0.33	107.87	0.33	330.04	58.58	59.12	58.62
2.50	181.86	0.14	72.36	0.14	194.38	54.12	54.74	54.16
3.00	257.00	0.17	122.71	0.17	279.70	59.16	58.50	59.20
3.50	151.67	0.08	84.49	0.09	167.26	77.94	58.72	78.00
4.00	161.81	0.08	103.01	0.08	177.74	96.44	57.46	96.52
4.10	166.23	0.08	108.47	0.08	177.65	96.60	57.48	96.68
4.20	157.79	0.07	105.48	0.07	180.19	96.74	57.48	96.82
4.30	152.17	0.07	104.14	0.07	185.34	58.06	57.48	58.14
4.40	155.66	0.07	109.00	0.07	194.21	58.10	57.48	58.16
4.50	157.31	0.07	112.67	0.07	205.25	58.14	57.50	58.20
4.70	154.90	0.06	115.87	0.06	212.24	136.70	57.52	136.78
4.80	157.77	0.06	120.53	0.06	201.98	94.92	57.54	95.00
5.00	191.02	0.07	152.00	0.07	192.90	95.02	96.16	95.10
5.10	203.06	0.08	164.82	0.08	199.17	95.10	96.30	95.18
5.20	207.32	0.08	171.58	0.08	201.20	95.20	94.24	95.28
5.40	196.93	0.07	169.25	0.07	210.45	95.42	94.36	95.50
5.60	191.03	0.07	170.26	0.07	205.71	112.68	94.48	112.78
5.80	210.25	0.07	194.08	0.07	204.91	113.16	94.58	113.26
6.00	199.36	0.06	190.38	0.07	203.35	119.78	115.16	119.86
6.20	182.91	0.06	180.49	0.06	181.55	120.06	90.14	120.16
6.40	181.04	0.06	184.41	0.06	180.24	120.18	90.26	120.26
6.60	202.66	0.06	212.88	0.06	196.89	120.34	56.50	120.44
6.80	212.18	0.06	229.63	0.06	208.70	120.62	115.58	120.70
7.00	211.60	0.06	235.74	0.06	208.70	120.84	115.68	120.96
7.40	227.76	0.06	268.24	0.06	215.28	125.42	123.44	125.54
7.60	236.09	0.06	285.57	0.06	214.32	125.68	123.48	125.80
7.80	250.93	0.06	311.50	0.06	224.25	125.90	127.76	126.02
8.00	261.40	0.06	332.82	0.06	230.50	126.16	124.26	126.30
8.50	222.16	0.05	300.54	0.05	216.46	126.86	65.10	127.00
9.00	250.53	0.05	358.86	0.05	257.55	67.34	65.14	67.48
9.50	278.54	0.06	421.14	0.06	282.59	67.60	65.16	67.72
10.00	304.65	0.06	484.86	0.06	311.60	67.76	65.46	67.94

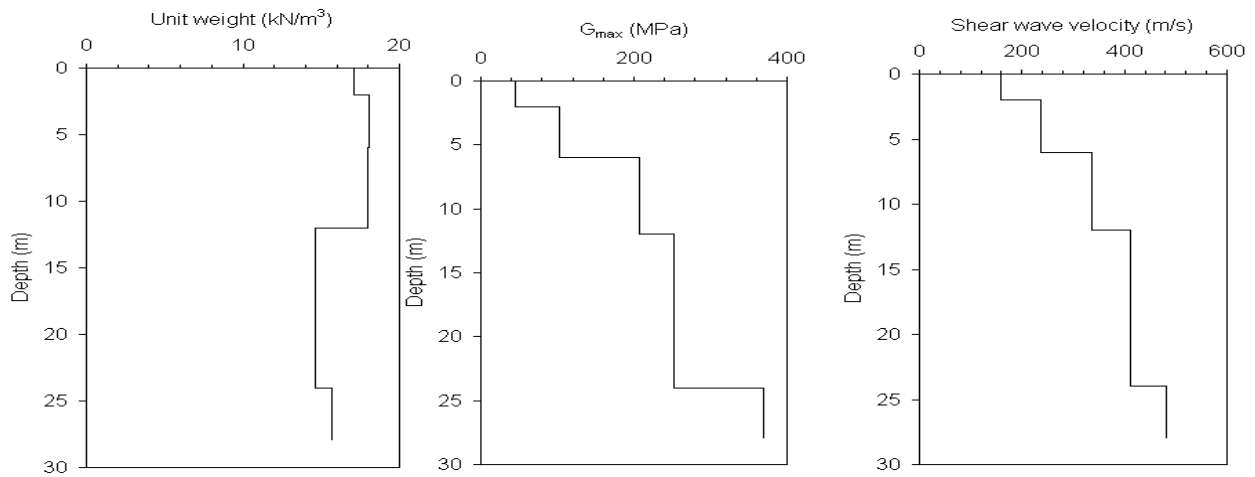
به منظور بیان یک تحلیل کمی، مقادیر مربوط به بیشینه‌ی شتاب، سرعت و جابجایی در جدول ۲ ارائه گردید. نتایج فوق‌الذکر بر مبنای گمانه‌ی چاه ملکی، حاصل شده‌اند. همان‌طور که ذکر گردید، در تحلیل معادل لایه‌های زمین به لایه‌های ریزتری تقسیم می‌شوند که در هر لایه ویژگی‌های سرعتی و الاستیکی وجود دارد. بیشینه‌ی شتاب جنبش زمین در سنگ بستر لرزه‌ای در محل گمانه برای دوره بازگشت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۷۵ سال در جدول ۴ نشان داده شده است. بدین ترتیب ورودی و خروجی نرم افزار برای مکان مورد مطالعه در جدول ۴ و تصاویر ۱۳ تا ۱۵ ارائه می‌شود.

جدول ۳- مقادیر زمانی برای تحلیل بیشترین شتاب، سرعت و جابجایی مؤلفه V ایستگاه مهریز.

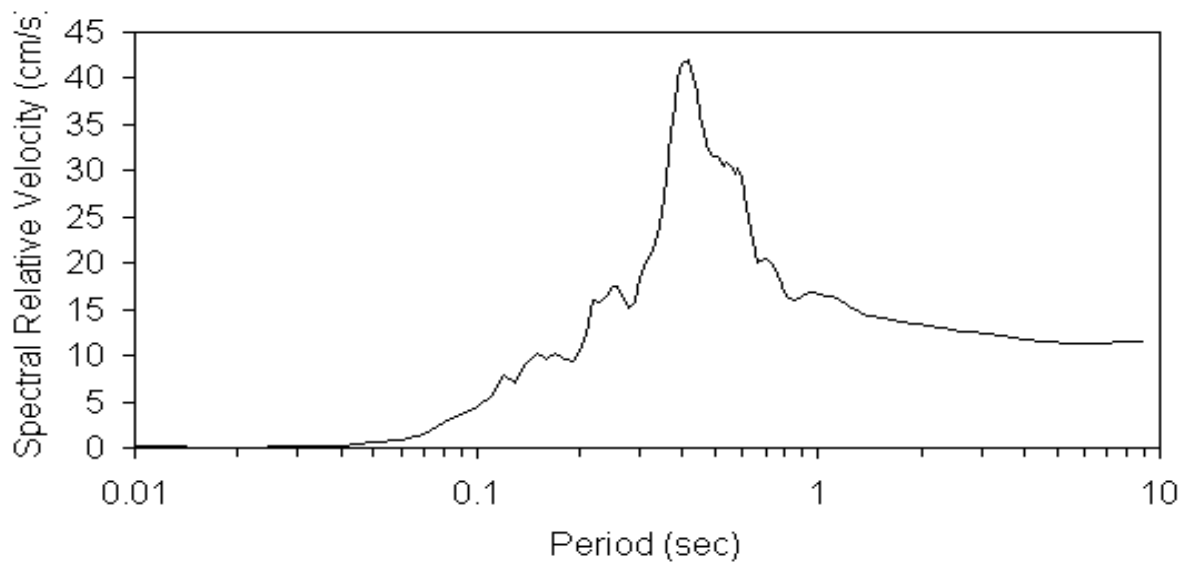
Layer Number	Soil Material Type	Thickness of layer (ft)	Maximum shear modulus G_{max} (ksf)	Total unit weight (pcf)	Shear wave velocity (ft/sec)	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
2	1	0.3	108450.20	8275.54	649.6	0.5	3608.95
4	2	0.3	238597.89	9612.36	894	1.1	8915.66
5	2	0.3	197514.81	7957.25	894	1.4	11593.27
6	2	0.3	388507.75	11140.15	1060	1.7	14503.71
7	2	0.3	388507.75	11140.15	1060	2.0	17899.23
8	2	0.3	420410.16	11140.15	1102	2.3	21294.75
9	2	0.3	420410.16	11140.15	1102	2.6	24690.27
10	2	0.3	464027.91	11140.15	1158	2.9	28085.78
11	2	0.3	371222.31	8912.12	1158	3.2	31141.75
12	2	0.3	395369.34	8912.12	1195	3.5	33858.16
13	2	0.3	395369.34	8912.12	1195	3.8	36574.58
14	2	0.3	434494.16	8912.12	1253	4.1	39290.99
15	2	0.3	428287.13	8784.80	1253	4.4	41988.00
16	2	0.3	475501.28	8784.80	1320	4.7	44665.61
17	1	0.3	475501.28	8784.80	1320	5.0	47343.22
18	2	0.3	587093.69	9866.99	1384	5.334	50185.76
19	2	0.3	587093.69	9866.99	1384	5.6388	53193.21
20	2	0.3	539947.31	8275.54	1449	5.9436	55958.14
21	2	0.3	539947.31	8275.54	1449	6.2484	58480.52
22	2	0.3	584078.25	8275.54	1508	6.5532	61002.9
23	2	0.3	584078.25	8275.54	1508	6.858	63525.29
24	2	0.3	617856.25	8275.54	1551	7.1628	66047.67
25	2	0.3	617856.25	8275.54	1551	7.4676	68570.05
26	2	0.3	658778.81	8275.54	1601	7.7724	71092.44
27	2	0.3	658778.81	8275.54	1601	8.0772	73614.82
28	2	0.3	696842.13	8275.54	1647	8.2296	74876.02

جدول ۴- مقدار بیشینه شتاب در سنگ بستر لرزه‌ای چاه ملکی برای دوره بازگشت‌های مختلف (ادیب و مهرنهاد ۱۳۷۷).

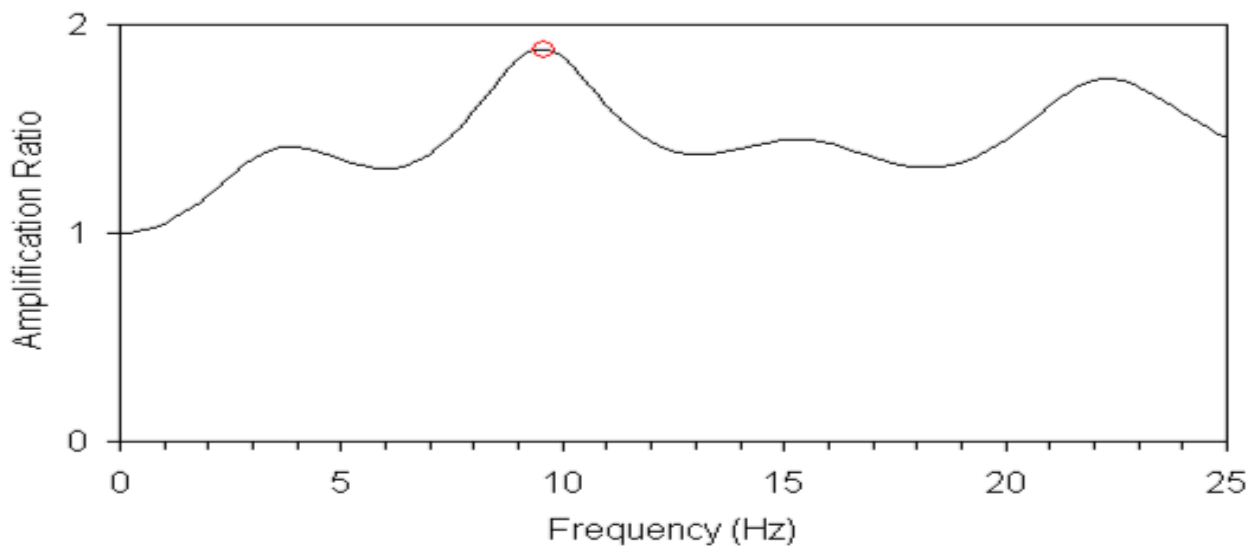
دوره‌ی بازگشت بر حسب سال	۱۰۰	۲۰۰	۴۷۶
شتاب در سنگ بستر بر حسب (g)	۰/۱۵۹	۰/۱۸۳	۰/۲۱۹



تصویر ۱۳- مدل پیشنهادی برای توصیف رفتار ژئوتکنیک لرزه‌ای در چاه ملکی



تصویر ۱۴- پاسخ مدل انتخابی به شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه، محور قائم شتاب طیفی و محور افقی پریود هارمونیک‌های سازنده موج را نشان می‌دهد.



تصویر ۱۵- نمودار ضریب تشدید دامنه موج برشی بر حسب فرکانس در چاه ملکی حاصل مدل انتخابی

موردی جنوب شهر یزد)، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب، ۱۹۷ ص.

Bauer, R. A., Kiefer, J. & Hester, N., 2001, "Soil amplification maps for estimating earthquake ground motions in the central US", *Engineering Geology*, Vol. 62: 7-17.

Broughton, A. T., Van Arsdale, R. B. & Broughton, J. H., 2001, "Liquefaction susceptibility mapping in the city of Memphis and Shelby County, Tennessee", *Engineering Geology*, Vol. 62: 207-222.

Cramer, C. H., Gomberg, J. S., Schweig, E. S., Waldron, B. A. & Tucker, K., 2004, "The Memphis, Shelby County, Tennessee", *seismic hazard maps, U.S. Geological Survey Open-File Report 04-1294*, 19p.

Cramer, C. H., Gomberg, J. S., Schweig, E. S., Waldron, B. A. & Tucker, K., 2006, "First USGS urban seismic hazard maps predict the effects of soils", *Seism. Res. Lett.*, Vol. 77: 23-29.

Dobry, R. & Vucetic, M., 1987, "Dynamic properties and seismic response of soft clay deposits", *Proceedings, International Symposium on Geotechnical Engineering of Soft Soils, Mexico City*, Vol. 2: 51-87.

Frankel, A., Mueller, C., Barnhard, T., Perkins, D., Leyendecker, E. V., Dickman, N., Hanson, S. & Hopper, M., 1997, "National Seismic Hazard Maps 1996", *U.S. Geological Survey Open-File Report 97-131*.

Frankel, A., Petersen, M., Mueller, C., Haller, K., Wheeler, R., Leyendecker, E. V., Wesson, R., Harmsen, S., Cramer, C., Perkins, D. & Rukstales, K., 2002, "Documentation for the 2002 update of the national seismic hazard maps", *U.S. Geological Survey Open-File Report 02-420*, 33p.

Gomberg, J., Waldron, B., Schweig, E., Hwang, H., Webbers, A., Van Arsdale, R., Tucker, K., Williams, R., Street, R., Mayne, P., Stephenson, W., Odum, J., Cramer, C., Updike, R., Hudson, S. & Bradley, M., 2003, "Lithology and shear velocity in Memphis, Tennessee", *Bull. Seismol. Soc. Am.* Vol. 93: 986-997.

Ishibashi, I., 1992, "Discussion to "Effect of soil plasticity on cyclic response", by M. Vucetic and R. Dobry", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 118 (5): 830-832.

Ishibashi, I. & Zhang, X., 1993, "Unified dynamic shear module and damping ratios of sand and clay", *Soils and Foundations*, Vol. 33 (1): 182-191.

Rix, G. J. & Romero-Hudock, S. 2001, "Liquefaction susceptibility mapping in Memphis/Shelby County, TN", *Research Report, USGS NEHRP Award 01-HQ-AG-0019*, 29p.

Schnabel, P. B., Lysmer, J. & Seed, H. B., 1972, "SHAKE: A computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites", *Report. No. EERC 72.12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley*, 102p.

بر اساس مقادیر بیشینه‌ی استرین برشی، نسبت G به G_{max} ، بیشینه‌ی شتاب برای مؤلفه V شتاب نگاشت مهریز بر روی گمانه‌ی حفر شده در جنوب یزد محاسبه و با توجه به مقادیر جدول ۳ می‌توان تحلیل معادل در ناحیه را انجام داد. ملاحظه می‌شود که مقدار تشدید برای مؤلفه V و همچنین برای مؤلفه‌های L و T یکسان و برابر با $1/0.35$ است. در جدول ۵ ضریب تشدید، فرکانس و پریرود طبیعی خاک در محل گمانه چاه ملکی تعیین شده است.

جدول ۵- ضریب، فرکانس و پریرود تشدید در محل گمانه چاه ملکی

فرکانس طبیعی	ضریب تشدید	پریرود طبیعی
۳/۴	۱/۴	۰/۲۹

۴- نتیجه گیری

بر اساس مدل مصنوعی و مقایسه آن با مدل‌های واقعی مقادیری مربوط به حالت دینامیکی خاک که بر اثر رخداد زلزله مبنای طرح رخ می‌دهد به دست آمد. بر این اساس شتاب جنبش زمین در سنگ بستر لرزه‌ای، فرکانس حرکت و ضریب تشدید در سطح زمین محاسبه گردید. با توجه به ویژگی خاک بیشینه‌ی شتاب جنبش نیرومند زمین در سطح زمین برای دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ سال معادل 0.256 گال به دست آمد. با توجه به این که نوع خاک محل از لحاظ آئین نامه ۲۸۰۰ نوع IIIb بوده و فرکانس طبیعی ساختگاه نیز حدود ۳ هرتز می‌باشد، پیک اول در نمودار تشدید به عنوان پیک اصلی تشدید در این محل انتخاب گردید، بر این اساس حداکثر تشدید در فرکانس طبیعی $3/4$ هرتز برابر با $1/4$ به دست می‌آید.

تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح تحقیقاتی با همین عنوان که در دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب انجام شده، استخراج گردید. نگارنده بر خود واجب می‌داند که از مساعدت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه قدردانی نماید.

مراجع

ادیب، ا.، مهرنهاد، ح.، ۱۳۷۷، "پهنه‌بندی لرزه‌ای استان یزد"، طرح تحقیقاتی از وزارت مسکن و شهرسازی، سازمان مسکن و شهرسازی استان یزد، ۴۲۰ ص.
ادیب، ا.، ۱۳۸۷، "ارائه تخمین خطی یک بعدی از رفتار غیر خطی خاک در حوزه فرکانس بر اساس داده‌های واقعی و مصنوعی (مطالعه

Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M. & Tokimatsu, K., 1986, "Module and damping factors for dynamic analyses of cohesion less soils", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 112 (11): 1016-1032*.

Street, R., Woolery, E., Wang, Z. & Harik, I. E., 1997, "Soil classifications for estimating site-dependent response spectra and seismic coefficients for building code provisions in western Kentucky", *Engineering Geology, Vol. 46: 331-347*.

Street, R., Woolery, E., Wang, Z. & Harris, J., 2001, "NEHRP soil classifications for estimating site-dependent seismic coefficients in the Upper Mississippi Embayment", *Engineering Geology, Vol. 62: 123-135*.

Street, R., Hoffman, D. & Kiefer, J., 2004, "Comment on "Survey of historical buildings predating the 1811-1812 New Madrid earthquakes and magnitude estimation based on structural fragility" (eds) Vladimir G Kochkin and Jay H Crandell", *Seism. Res. Lett. Vol. 75: 744-746*.

Wang, Z., 2006, "Understanding Seismic Hazard and Risk Assessments: An Example in the New Madrid Seismic Zone of the Central United States", *Proceedings of the 8th National Conference on Earthquake Engineering, April 18-22, 2006, San Francisco, Calif., Paper no. 416*.

Wang, Z., 2007, "Seismic hazard and risk assessment in the intraplate environment: The new Madrid seismic zone of the central United States; In: Continental Intraplate Earthquakes", *Science, Hazard and Policy Issues (eds) Stein S and Mazzotti S; Geol. Soc. Am. Spec. Paper 425: 363-373*.

Wang, Z. & Ormsbee, L. 2005, "Comparison between probabilistic seismic hazard analysis and flood frequency analysis", *EOS, Trans., AGU 86(45) 51-52*.

Wang, Z. & Zhou, M., 2007, "Comment on "Why Do Modern Probabilistic Seismic-Hazard Analyses Often Lead to Increased Hazard Estimates?" (eds) Julian J Bommer and Norman A Abrahamson", *Bull. Seismol. Soc. Am. Vol. 97: 2212-2214*.