



## مطالعه تحلیلی اثر ساختگاه بر روی جنبش های نیرومند زمین در گستره شهر زاهدان

سهیل قره<sup>۱</sup>، سید محمود فاطمی عقدا<sup>۲</sup>، احمد ادیب<sup>۳</sup>، مریم صدقی<sup>۴</sup>

۱- عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور

۲- عضو هیات علمی دانشگاه تربیت معلم

۳- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب

۴- کارشناس ارشد ژئوفیزیک

Ghareh\_Soheil@iust.ac.ir

### خلاصه

ارزیابی پاسخ زمین یکی از مسائل مهم در ژئوتکنیک لرزه‌ای است. تحلیل‌های پاسخ زمین جهت پیش‌بینی حرکات سطح زمین و تدوین طیف پاسخ طرح به منظور تعیین تنش‌ها و کرنش‌های دینامیکی برای ارزیابی خطرات ناشی از زمین لرزه بکار می‌رود. در مقاله حاضر با استفاده از داده‌های مختلف حاصل از مطالعات زمین‌شناسی، لرزه‌زمین‌ساخت، برآورد خطر زمین‌لرزه، ژئوفیزیک و ژئوتکنیک و با کاربرد آنالیز عددی تاریخچه زمانی شتاب، به عنوان یکی از روش‌های متداول برای تبدیل حرکت سنگ بستر به حرکت زمین در افق دلخواه (در اینجا سطح زمین)، سعی شده است تا مقادیر شتاب محتمل در سطح زمین برای گستره شهر زاهدان محاسبه و به صورت نقشه ارائه گردد.

کلمات کلیدی: ژئوتکنیک، پاسخ زمین، طیف پاسخ، شتاب، زاهدان.

### مقدمه

اثرات محلی ساختگاه نقش مهمی در طراحی مقاوم در برابر زلزله ایفا می‌نمایند و بایستی برای هر حالت به صورت مجزا با آن برخورد لازم صورت پذیرد. این مساله معمولاً به وسیله تدوین یک و یا تعداد بیشتری حرکت مبنای طرح زمین انجام شود. شرایط محلی ساختگاه بر کلیه خصوصیات مهم حرکت نیرومند زمین شامل دامنه، محتوی فرکانس و مدت، اثر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارد. طبیعت اثرات محلی ساختگاه را میتوان با بهره‌گیری از روش‌های مختلف مانند تحلیل سازه تئوری پاسخ زمین، اندازه‌گیریهای حرکات واقعی سطحی و زیرسطحی در همان ساختگاه و اندازه‌گیری حرکات سطح زمین در ساختگاه‌هایی با شرایط متفاوت از ساختگاه مورد نظر تشریح نمود.

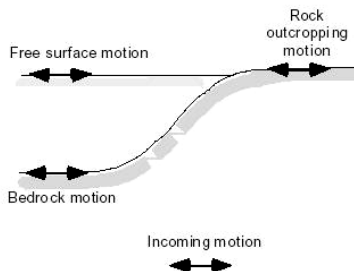
### روش های متداول در تحلیل پاسخ زمین

قبل از تشریح هر یک از مدل‌های پاسخ زمین لازم است تا چند واژه مورد استفاده تعریف شوند. حرکت در سطح توده خاک به حرکت سطح آزاد مشهور است. حرکت در پایین (پایه) یک توده خاک (یا بالای بستر سنگی)، حرکت در بستر سنگی خوانده می‌شود. به حرکت در مکانی که بستر در سطح زمین نمایان است، حرکت در رخنمون سنگی نامیده می‌شود (شکل ۱).  
به منظور تعیین اثر ساختگاه و تاثیر دادن آن در ویژگی‌های جنبش نیرومند زمین روش‌های متعددی وجود دارد. این روش‌ها به طور کلی در سه گروه مختلف قرار می‌گیرند که عبارتند از:

الف- روش‌های استاندارد      ب- روش‌های عددی      ج- روش‌های دستگاهی

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری عمران- مهندسی خاک و پی

<sup>۴</sup> باشگاه پژوهشگران جوان و پژوهشکده سوانح طبیعی



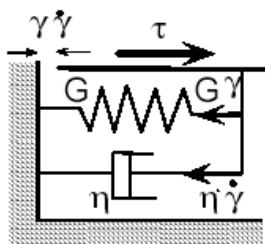
شکل ۱- انواع حرکت در سطح زمین بر پایه موقعیت و ویژگی های سنگ بستر

### روش های عددی

منظور از روش های عددی استفاده از داده های مختلف زمین شناسی، ژئوفیزیک و ژئوتکنیک برای تبدیل حرکت سنگ بستر به حرکت زمین در افق دلخواه (به عنوان مثال سطح زمین) می باشد. این روش ها خود در سه دسته رده بندی می گردند.

### الف- روش خطی

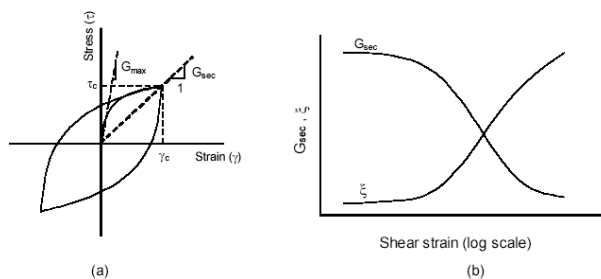
این روش ساده ترین راه برای بازسازی عکس العمل خاک در اثر رخداد زمین لرزه بوده و بر مدل ویسکوالاستیک کلوین با استفاده از تابع تبدیل استوار می باشد. معمولا تاریخچه زمانی حرکت بستر سنگی به صورت سری فوریه درآمده و پس از ضرب در تابع تبدیل، سری فوریه حرکت سطحی زمین را بدست می دهد. با بهره گیری از تبدیل معکوس فوریه، حرکت سطح زمین را می توان در حوزه زمان ارائه کرد.



شکل ۲- مدل شماتیک ویسکوالاستیک کلوین

### ب- روش خطی معادل

در روش خطی، مدول برشی و ضریب میرایی برای هر لایه خاک ثابت در نظر گرفته می شود. در صورتی که در طبیعت مقادیر پارامترهای مذکور، متناسب با تراز کرنش تولید شده در هر لایه می باشد. در روش خطی معادل استفاده از منحنی های تغییرات مدول برشی و ضریب میرایی نسبت به کرنش برشی (شکل ۳)، در هر لایه مجزا کاربرد داشته و از این رو نتایج مناسب تری، مطابق با طبیعت را به دست می دهد.



شکل ۳- مدل خطی معادل (a) منحنی تغییرات کرنش نسبت به تنش (b) تغییرات مدول برشی و میرایی با دامنه کرنش برشی.

### ج- روش غیر خطی

اگرچه روش خطی معادل برای بسیاری از مسایل نتایج منطقی بدست می دهد، اما یک روش تقریبی برای رفتار غیر خطی پاسخ لرزه ای زمین است. تحلیل پاسخ غیر خطی واقعی توده خاک از انتگرال گیری مستقیم عددی در حوزه زمان بدست می آید. در حال حاضر کاربرد مدل های تنش - کرنش سیکلی به منظور تحلیل پاسخ غیر خطی یک بعدی کاربرد گسترده ای دارد.



### مدل سازی نهشته‌های گستره مورد مطالعه

یکی از روش‌های متداول به منظور تبدیل حرکت سنگ بستر به جنبش در سطح زمین، کاربرد روش‌های عددی است. در این روش‌ها ابتدا با استفاده از داده‌های مختلف زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و ژئوتکنیک وضعیت لایه‌های زمین در نقاط مورد نظر مدل می‌گردد. سپس با کاربرد تاریخچه‌های زمانی شتاب متناسب و با استفاده از یکی از روش‌های عددی متداول، مقادیر شتاب در سطح زمین محاسبه می‌گردد. در این مطالعات به منظور محاسبه ضریب بزرگنمایی آبرفت و شتاب در سطح زمین از روش خطی معادل بهره گرفته شده است.

مدل سازی پروفیل قائم خاک با در دست داشتن اطلاعات حاصل از بررسی‌های ژئوتکنیکی و لرزه‌نگاری درون‌چاهی و با کاربرد منحنی‌های استاندارد تغییرات مدول برشی و میرایی با مقادیر کرنش برشی، برای خاک‌های مختلف، صورت گرفته است. ورودی‌های مورد استفاده در این مدل سازی عبارتند از:

- ویژگی‌های پروفیل قائم خاک از سنگ بستر لرزه‌ای تا سطح زمین.
- ضخامت هر لایه.
- نوع خاک و پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک در اعماق مختلف.
- وزن مخصوص هر یک از لایه‌ها.
- سرعت موج برشی در هر لایه.
- ژرفای سفره آب زیرزمینی در گمانه (در صورت رسیدن به سطح آب زیرزمینی).

### روش مورد استفاده برای تحلیل اثر ساختگاه زمین در گستره شهر زاهدان

هدف از این مطالعات برآورد مقادیر شتاب در سطح زمین با توجه به شرایط ساختگاهی است. به این منظور در بخش‌های قبلی این مطالعات ابتدا با انجام مطالعات لرزه‌زمین‌ساختی کاربردی و شناسایی سرشتی‌های لرزه‌خیزی و لرزه زمین‌ساختی پهنه پیرامون شهر زاهدان، سرچشمه‌های لرزه‌زای گستره مذکور مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. سپس با گردآوری فهرست زمین‌لرزه‌ها و کاربرد مدل‌های مناسب کاهیدگی شتاب جنبش نیرومند زمین با استفاده از روش‌های احتمالاتی مقادیر شتاب‌های افقی و قائم جنبش نیرومند زمین برای سنگ بستر لرزه‌ای در پهنه شهر زاهدان محاسبه و به صورت نقشه خم‌های هم‌بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین ارائه گردید. از آنجا که پارامترهای حرکت زمین به تنهایی نمی‌توانند اثرات لرزش زمین را با دقت کافی تشریح نمایند. برای تحلیل مسائل غیرخطی مانند پاسخ غیرالاستیک سازه یا تغییر شکل ماندگار یک شیب ناپایدار، تاریخچه‌زمانی حرکت لازم است. بر این اساس پس از تهیه تاریخچه‌های زمانی شتاب با کاربرد نتایج حاصل از مطالعات برآورد خطر زمین‌لرزه، ژئوتکنیک و ژئوفیزیک، پروفیل خاک مدل‌سازی شد. سرانجام با ترکیب داده‌های موجود و آنالیز عددی، مقادیر شتاب افقی برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله، در سطح زمین محاسبه و به صورت نقشه هم‌شتاب ارائه گردیده است. مراحل انجام کار در بخش‌های زیر معرفی شده است.

### تاریخچه‌های زمانی شتاب

تاریخچه‌های زمانی یا شتابنگاشت‌ها در تدوین طرح حرکات زمین برای ساختگاه خاص، مورد نیاز می‌باشند. شرایط محلی و ناحیه‌ای زمین‌شناسی و زمین‌ساخت ساختگاه موردنظر ممکن است تا اندازه‌ای شبیه ساختگاه‌هایی باشد که قبلاً شتابنگاشت آنها اندازه‌گیری شده و بتوان از آن مستقیماً استفاده نمود. مهم‌ترین مبانی در تعیین این حرکات، تطابق با پارامترهای هدف و واقعی بودن آن‌ها یعنی تطابق خصوصیاتشان با زلزله واقعی می‌باشد. البته این امر آن‌گونه که در ظاهر نشان می‌دهد ساده نیست زیرا بسیاری از حرکات که در حوزه‌ی زمان منطقی می‌باشند ممکن است در حوزه فرکانس منطقی به نظر نرسند و یا برعکس. بسیاری از تاریخچه‌های زمانی شتاب که معقول به نظر می‌رسند، بعد از انترگرال‌گیری، تاریخچه زمانی سرعت و یا تغییر مکان غیرمنطقی تولید می‌نمایند. تشخیص کیفیت یک حرکت مصنوعی زمین به وسیله چشم بسیار مشکل است. بنابراین لازم است که شتاب‌نگاشت‌های تهیه شده در حوزه فرکانس کنترل شوند.

### تحلیل ژئوتکنیک لرزه ای گمانه های حفر شده

در تحلیل لرزه ای خواص ژئوتکنیکی این گمانه‌ها، تحلیل در یک بعد (عمق) و به روش خطی معادل که شرح آن در بخش قبل آمد، انجام می‌شود. پیش از شروع تحلیل، لازم است نگاشت مناسبی از جنبش زمین، که در ایستگاه مستقر روی بستر سنگی ثبت شده باشد، انتخاب شود. با توجه به محدودیتهایی از قبیل ضخامت زیاد رسوبات در شهر و محدوده آن، و دور بودن ایستگاه‌های که روی سنگ بنا شده اند نسبت به محل مورد مطالعه، و نیز سطح زلزله خیزی منطقه، تعداد معدودی شتابنگاشت که در نزدیک ترین ایستگاه مستقر بر روی سنگ، دیهوک، ثبت شده اند، مورد بررسی قرار گرفته اند. همچنین زمینلرزه سال ۱۹۷۹ طیس به عنوان زمینلرزه مبنا نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. حاصل تحلیل ژئوتکنیک لرزه ای گمانه‌ها، طیف پاسخ زمین در سطح، فرکانس تشدید دامنه موج لرزه ای، ضریب تشدید، و مقدار شتاب بر حسب عمق می‌باشد. در تهیه مدل‌های توصیف کننده لایه بندی درون گمانه‌ها، به داده های قابل دسترس از گمانه‌هایی که در مناطق مختلف و به منظورهای مختلف حفر شده بود، توجه شده است. در ادامه شرح تحلیل یکی از گمانه های حفر شده آورده شده است و در نهایت با استفاده از کلیه اطلاعات به دست آمده از تحلیل های مشابه این گمانه برای ۵



گمانه حفر شده بعدی نقشه های هم دامنه هم فرکانس و هم شتاب بر روی سطح زمین به دست آمده است. سنگ بستر لرزه ای در این گمانه ها با توجه به سرعت درون لایه ای موج برشی که سرعتی معادل ۷۵۰ متر بر ثانیه یا بیشتر می باشد، انتخاب شده است.

### گمانه میدان امام رضا(ع)

این گمانه در محلی به مختصات  $x=289337$  و  $y=3263263$  حفر و نمونه برداری شده است. نمونه های اخذ شده از این گمانه مورد آزمایش های مختلفی نظیر تعیین سرعت موج برشی، تعیین وزن مخصوص مواد سازنده لایه ها و... قرار گرفته اند. جدول ۱، مقدار شتاب زمین را در سنگ بستر برای دوره بازگشت های مختلف نشان می دهد.

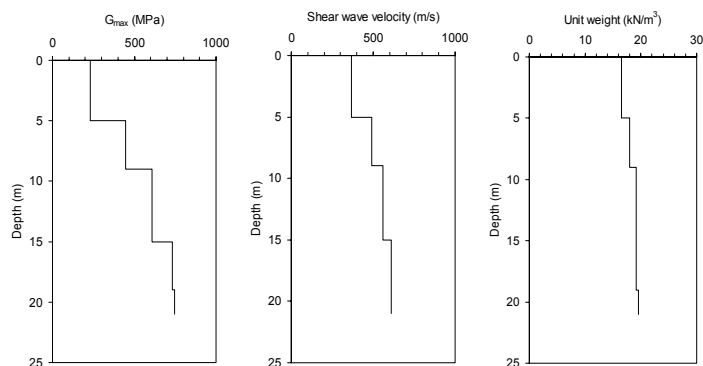
جدول ۱- بیشینه شتاب جنبش زمین در سنگ بستر لرزه ای گمانه امام رضا(ع) برای دوره بازگشتهای مختلف

دوره بازگشت بر حسب سال	۷۵	۴۷۵	۲۴۷۵
مقدار شتاب بر حسب g	۰/۱۰	۰/۲۲	۰/۳۵

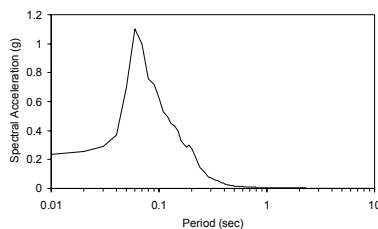
همه پروفیل ها با سه شتابنگاشت ثبت شده در نزدیک ترین ایستگاه مستقر روی سنگ، دیهوک، تحلیل شده اند. در مورد تمام گمانه ها، نتایج حاصل از اعمال شتابنگاشت زمین لرزه طیس برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال در جدول شماره ۲ آورده شده اند.

جدول شماره ۲- ضریب و فرکانس تشدید در محل گمانه های حفر شده (X و Y موقعیت گمانه بر حسب UTM است).

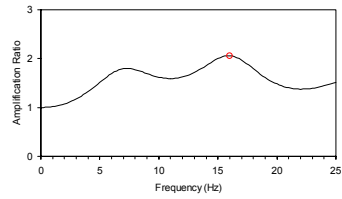
نام چاه	X	Y	ضریب تشدید	فرکانس تشدید
میدان امام رضا(ع)	۲۸۹۳۳۷	۳۲۶۳۲۶۳	۱/۹۲۴	۱۶/۵۳
شهرک جوشکاران	۲۸۹۴۴۵	۳۲۶۸۱۵۵	۱/۷۱۶	۷/۴
دانشگاه آزاد	۲۹۱۸۳۸	۳۲۶۰۱۱۹	۱/۷۳۱	۱۹/۹۱
میدان امام علی(ع)	۲۹۲۸۴۰	۳۲۶۴۰۵۳	۲/۶۹	۱۳/۵
پشت فرودگاه	۲۹۶۳۱۶	۳۲۶۴۲۶۵	۱/۴۱۹	۷/۶



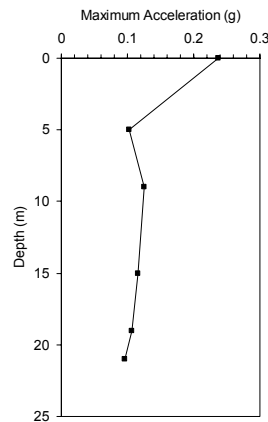
شکل ۴- پروفیل عمقی ضریب برشی بیشینه، سرعت موج برشی و وزن مخصوص در گمانه امام رضا(ع)



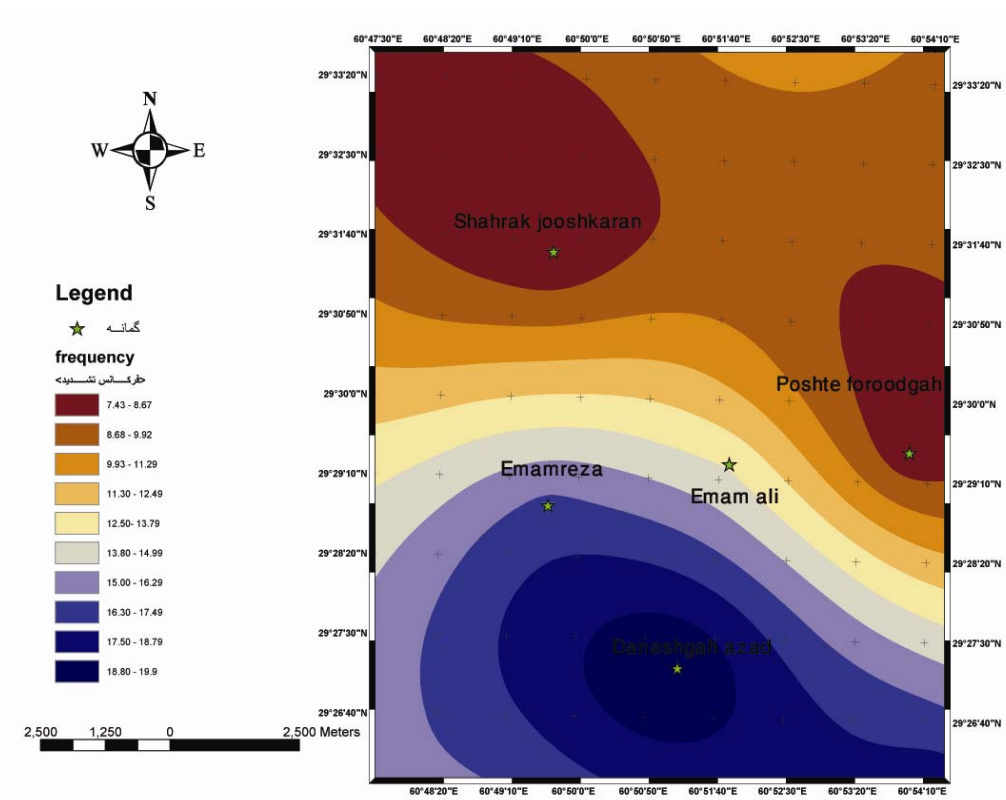
شکل ۵- نمودار شتاب طیفی در سطح زمین بر حسب دوره تناوب، حاصل اعمال شتابنگاشت طیس



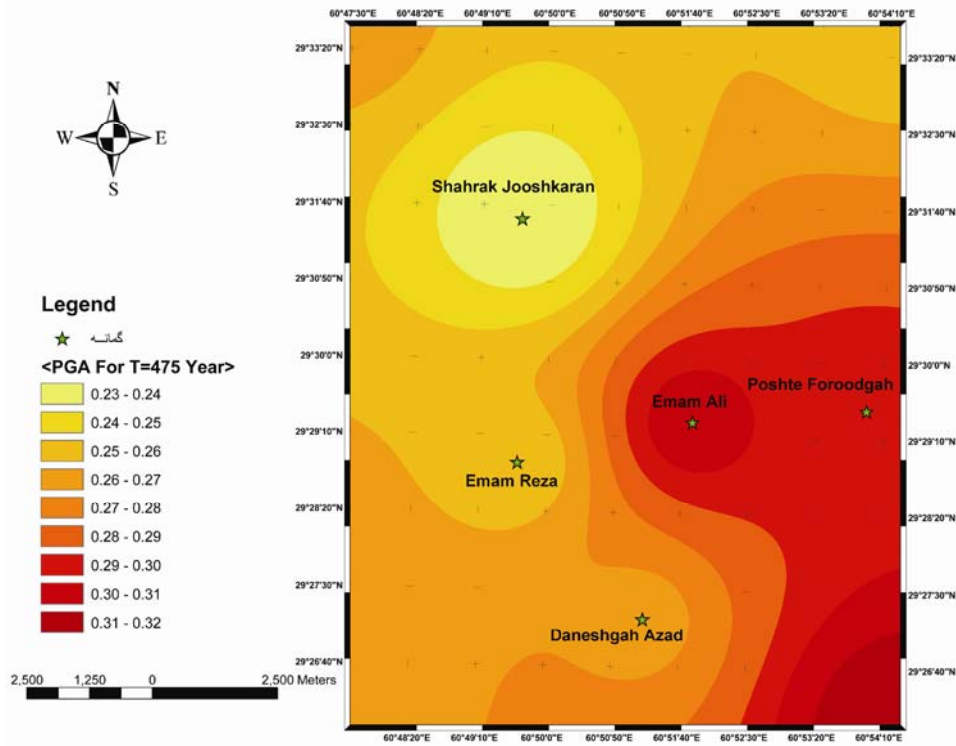
شکل ۶- نمودار ضریب تشدید دامنه موج برشی بر حسب فرکانس



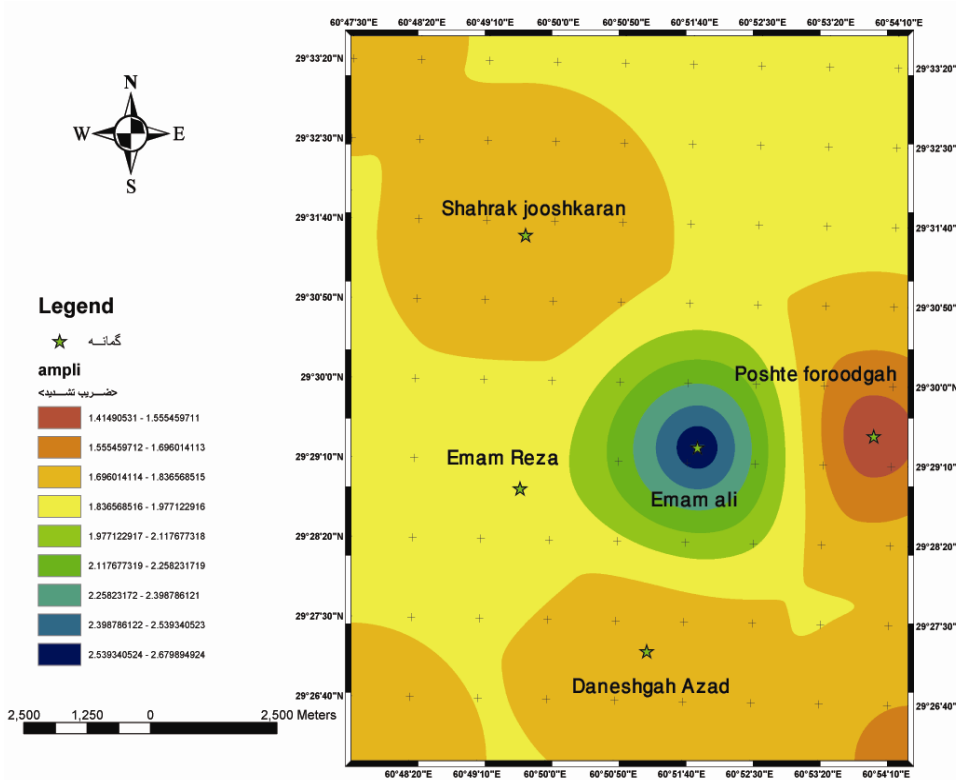
شکل ۷- مقدار بیشینه شتاب جنبش زمین در اعماق مختلف برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل ۸- نقشه هم فرکانس تشدید در گستره شهر زاهدان (برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال)



شکل ۹- نقشه هم شتاب در گستره شهر زاهدان



شکل ۱۰- نقشه هم دامنه در گستره شهر زاهدان



### نتیجه گیری

شهر زاهدان به طور کامل بر روی رسوبات آبرفتی کواترنر واقع شده است و به طور کلی می توان گفت که بیشترین مقدار خاک تا اعماق حفاری شده در کل محدوده شهر ماسه شنی می باشد. به علاوه در محدوده های از جنوب شرقی و شمال غربی شهر، لایه های شن با ضخامتی بیشتر از عمق حفاری موجود می باشد. با استفاده از مدل سازی پروفیل قائم خاک و مقادیر به دست آمده از محاسبه شتاب به روش احتمالاتی، مقادیر شتاب در سطح زمین و در گستره شهر زاهدان برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال محاسبه و به صورت نقشه هم شتاب برای سطح زمین ارائه شده است. بیشترین مقدار شتاب بر روی سطح زمین در محدوده گمانه امام علی و پشت فرودگاه بین ۰/۲۵ تا ۰/۳ به دست آمده است زیرا حداکثر ضخامت رسوبات در این ناحیه و در نیمه جنوبی شهر تعیین شده است. لازم به ذکر است بیشترین ضریب تشدید در گمانه امام علی با مقدار ۲/۶۹ در فرکانس ۱۳/۵ هرتز روی داده است و این منطقه جزء مناطق با ریسک بالا تعیین شده است. لذا شایسته است که به منظور احداث مجتمع های مسکونی، اداری و تجاری و طرح های عمرانی در گستره شهر زاهدان و برای تحلیل لایه های خاک، تحقیقات ویژه ای نظیر حفر گمانه به تعداد بیشتر، مطالعات ژئوتکنیک گسترده و انجام آزمایش های مربوط بر روی خاک منطقه انجام شود.

### مراجع

1. Aki, K. (1988) Local site effects on strong ground motion. *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II - Recent Advances in Ground Motion Evaluation*, June 27-30, Park City, Utah.
2. Bard, P.Y. (1998) Microtremor measurements. A tool for site effect estimation? *Proceeding of the Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Japan, **3**, 1251-1279.
3. Bard, P.Y., A.M. Duval, B. Lebrun, C. Lachet, J. Riepl and D. Hatzfeld, (1997) Reliability of the H/V technique for site effects measurement: an experimental assessment. *Seventh International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, July 19-24, Istanbul, Turkey.
4. Bonnefoy-Claudet S., C. Cornou, J. Kristek, M. Ohrnberger, M. Wathelet, P.Y. Bard, D. Fäh, P. Moczo, F. Cotton, (2004) Simulation of seismic ambient vibrations: I. H/V and array techniques on canonical models. *13th world conference in Earthquake Engineering*, Vancouver.
5. Duval, A.-M., P.-Y. Bard, J.-P. Mèneroud and S. Vidal, (1994) Usefulness of microtremor measurements for site effect studies. *Proceedings of the Tenth European Conference on Earthquake Engineering*, Vienna, Austria, Balkema, Duma Ed., I, 521-528.
6. Duval, A.M., P.Y. Bard, J.P. Mèneroud and S. Vidal, (1995) Mapping site effects with microtremors. *Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation*, October 17-19, Nice, France, Ouest Editions Nantes, II, 1522-1529.
7. Field, E.H. and K. Jacob, (1993) The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise. *Geophysical Res. Lett*, 20-24, 2925-2928.
8. Horike, M. (1996) Geophysical exploration using microtremor measurements. *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, Mexico, Elsevier Science Ltd.
9. Hough, S.E., E.H. Field and K. H. Jacob, (1991) Using microtremors to assess site-specific earthquake hazard. *Proceedings of the Fourth International Conference on Seismic Zonation*, August 25-29, Stanford, California, E.E.R.I. (editor), Oakland CA, **3**, 585-592.