

## بررسی لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه در ساختمان های شهر تهران به روش احتمالاتی

شهاب فهیم دانش - دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، پردیس بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

ناصر حافظی مقدس\* - استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

حسین صادقی - دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

محمد غفوری - دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

### چکیده

تهران به عنوان مرکز سیاسی و اداری کشور، تمرکز فعالیتهای اقتصادی و صنعتی، تراکم و تمرکز بالای جمعیت، تراکم و تمرکز بالای جمعیت، دسترسی به شبکه های حمل و نقل و راههای ارتباطی (مرکز تلاقی خطوط راه آهن، جاده های و هوایی)، تمرکز موسسات مالی و اعتباری و بانکی یکی از مهمترین استانهای کشور میباشد. گستره تهران که در کوهپایه جنوبی کوه های البرز مرکزی قرار گرفته یکی از لرزه خیزترین مناطق ایران محسوب می شود. فعالیت لرزه خیزی تهران و نواحی مجاور به دلیل چین خوردگی های البرز و گسل های موجود در این گستره می باشد. مطالعه حاضر، بر اساس اطلاعات موجود از چشمه ها، زلزله ها و پارامترهای لرزه خیزی مربوط به چشمه ها انجام شده است و بدیهی است که با وجود اطلاعات گسترده تر و وارد کردن داده های دقیقتر دستگاهی، شکل پهنه بندی لرزه ای تهران می تواند تغییر کند. در آخر با توجه به تعداد بسیار زیاد گسل ها در سطح تهران و سوابق تاریخی فعالیت این گسل ها به این نکته که روزی نه چندان دور تهران با زلزله عظیم مواجه خواهد شد پی می بریم.

**واژگان کلیدی:** تهران، زلزله، احتمالاتی، زمین.

### Investigation of earthquake and earthquake hazard in buildings of Tehran city in a probabilistic way

#### Abstract

Tehran as the political and administrative center of the country, the concentration of economic and industrial activities, the concentration and concentration of the population, the density and concentration of the population, access to the transportation network and communication routes (the center of the crossroads of railways, roads E & A), the focus of financial, credit and banking institutions is one of the most important provinces in the country. The area of Tehran, located in the southern foothills of the central Alborz Mountains, is considered one of the most viable areas in Iran. Seismic activity of Tehran and adjacent areas due to Alborz folding and faults in this range. The present study is based on available sources of springs, earthquakes and seismic parameters related to springs. It is evident that, with more extensive information and more precise mechanical data inputs, Tehran's seismic zoning pattern can change. slow. Finally, due to the large number of faults in Tehran and the historical records of the activity of these faults, we will find that there will be a massive earthquake in Tehran not far away.

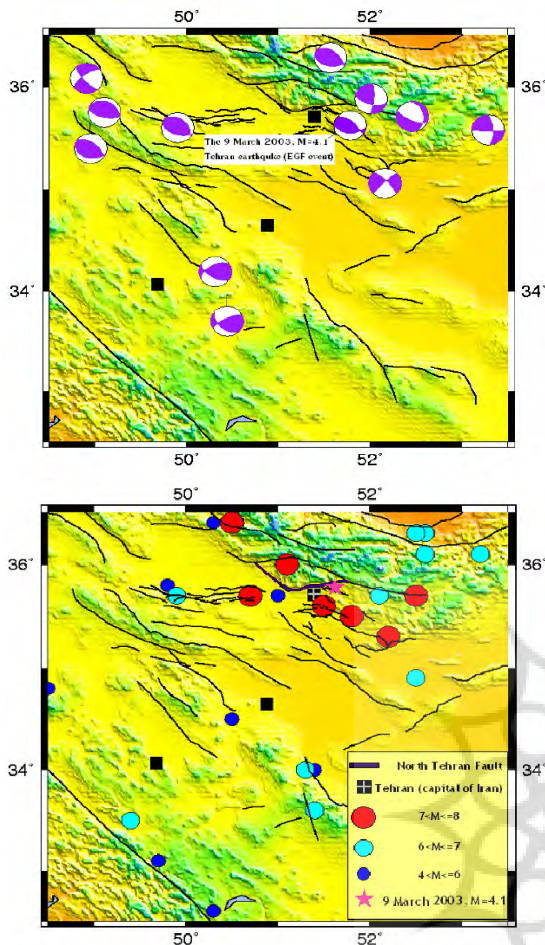
**Key words:** Tehran, earthquake, probabilistic, earth.

تهران مرکزیت سیاسی و اداری کشور، تمرکز فعالیت‌های اقتصادی و صنعتی، تراکم و تمرکز بالای جمعیت، تراکم و تمرکز بالای جمعیت، دسترسی به شبکه‌ی حمل و نقل و راه‌های ارتباطی (مرکز تلاقی خطوط راه‌آهن، جاده‌های و هوایی)، تمرکز موسسات مالی و اعتباری و بانکی یکی از مهمترین استانهای کشور میباشد (ملک‌محمودی و همکاران، ۱۳۹۱) و (پورمحمد، ۱۳۹۳). و با تکیه بر مطالعات پژوهشی دقیق و مطالعات زمینشناسی به عنوان بستر این شهر و مخاطرات و خطرهای بسیار زیادی منجمله زلزله، زمین لغزش، فرونشست و غیره همواره تهران باید مورد بررسی قرار گیرد. انجام تحقیقات دقیق در موضوعات فوق‌الذکر به لحاظ انقسام شهر تهران و وجود نواحی و مناطق مختلف از لحاظ زمینشناسی و وجود اختلافات ژئوفیزیکی و ژئومورفولوژیکی و ساختارهای زمینشناسی در شهر تهران لزوم انجام تحقیقی جامع در مورد مخاطرات زمینشناسی و زیر مجموعه‌های آن را دو چندان کرده است امبرسنز با بررسی زلزله تاریخی و نیز زلزله‌های ثبت شده قرن بیستم اظهار می‌دارد که زلزله‌های بزرگ ایران عمدتاً در این مناطق پراکنده شده اند: خطی که از آذربایجان شروع شده و از البرز گذشته و به شمال خراسان میرسد. آنگاه به سمت جنوب رفته و از شرق کویر لوت تا شمال سیستان ادامه می‌یابد. باید توجه داشت که اکثر زلزله‌های ویرانگر مانند بوئین زهرا، فردوس، دشت بیاض، طبس و منجیل در امتداد همین مناطق رخ داده است.

### موقعیت و ویژگی لرزه خیزی

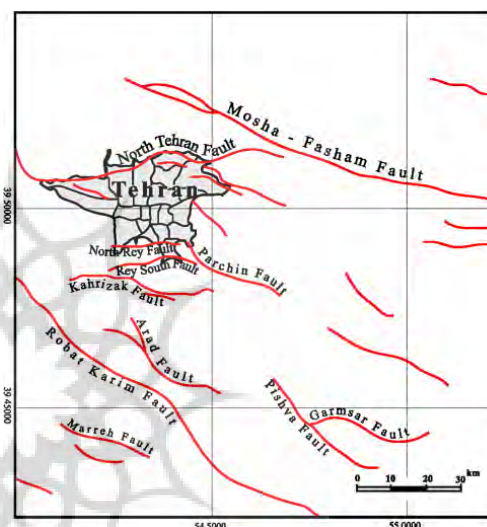
گستره تهران که در کوهپایه جنوبی کوه‌های البرز مرکزی قرار گرفته یکی از لرزه خیزترین مناطق ایران محسوب می‌شود. فعالیت لرزه خیزی تهران و نواحی مجاور به دلیل چین خوردگی‌های البرز و گسل‌های موجود در این گستره می‌باشد. این گسل‌ها چون مرز میان بلندی و دشت را تشکیل می‌دهند می‌توانند سازنده پستی بلندی‌های این منطقه باشند (آقانیاتی، ۱۳۸۸). مطالعه لرزه خیزی و برآورد خطر نیاز بسیاری به اطلاعات مربوط به زمین لرزه‌های ثبت شده در گستره

مورد نظر دارد. در تعیین پارامترهای لرزه خیزی و تخمین احتمال وقوع آنها تنها اطلاعات ثبت شده دستگاهی قرون ۲۰ و ۲۱ با توجه به کوتاه بودن این مدت (حدود ۱۰۰ سال) نمیتواند بیانگر وضعیت لرزه خیزی در زمان طولانی باشد. از طرف دیگر زمین لرزه‌های تاریخی دارای خطای زیادی بوده از این رو اطلاعات دقیق زمین لرزه‌های ثبت شده و گزارش شده توسط دستگاه‌های لرزه نگار الزامی است. در این مطالعه از نقشه ۱:۲۸۰۰۰۰ شهر تهران در ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته‌است و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد بین ۱۸۰۰ متر در شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است. تهران در بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز گسترده شده‌است. شهر تهران از نظر زمین لرزه جزء مناطق پرزیران (۸ تا ۱۰ درجه مرکالی) به‌شمار می‌آید. گسل‌هایی که در تهران و حومه تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری مرکز شهر قرار دارند، عبارتند از گسل مشاءبه طول ۹۰ کیلومتر، شمال تهران، ریهه طول ۸ کیلومتر، طالقان، ایوانکی و ایپک که بررسی رفتار آنها حایز اهمیت است. در علم زلزله‌شناسی گسل‌هایی برای بشر خطرناک شناخته می‌شوند که حداقل ۱۰ کیلومتر طول داشته و جوان (فعال) هم باشند (گسل فعال گسلی است که در ده هزار سال گذشته حداقل سبب یک زمین لرزه شده باشد). گسل شمال تهران بزرگ‌ترین گسل شهر است که در جنوب دامنه رشته‌کوه البرز و در شمال شهر تهران قرار دارد. این گسل از لشکرک و سوهانک آغاز شده تا فرحزاد و حصارک و از آن‌جا به سمت غرب امتداد یافته است. این گسل در مسیر خود، نیاوران، تجریش، زعفرانیه، الهیه و فرمانیه را در بر می‌گیرد. گسل مهم دیگر گسل ری است که با توجه به مقاوم نبودن ساختمان‌های جنوب تهران در صورت فعال شدن بسیار پرتلفات خواهد بود. این گسل از جاده خاوران شروع شده و با گذر از دولت‌آباد و حرکت بر مسیر جاده کمربندی تهران در حد نصاب کوره‌های آجرپزی چهاردانگه به پایان می‌رسد. از نظر زلزله‌شناسی تاریخی، شهر تهران زلزله‌های بزرگی مانند زلزله ۷٫۱ ریشتری دماوند در ۱۸۳۰ م،



شکل ۲. مکانیزم حرکت گسل‌های منطقه و زلزله‌های تاریخی ثبت شده در منطقه؛ ماخذ: نگارندگان.

۷,۲ ریشتری کرج در ۱۱۱۷ م. ، ۷,۷ ریشتری طالقان در ۹۵۸ م. ، ۷,۱ ریشتری ری در ۸۵۵ م. و زلزله‌های ۷ ریشتر به بالای بسیار دیگری به خود دیده است. با احتمال بالای ۷۰٪، به طور میانگین هر ۱۵۸ سال زلزله‌ای مخرب در این شهر رخ داده و با توجه به این که از آخرین زلزله مخرب که زلزله ۷,۱ ریشتری دماوند در ۱۸۳۰ م. و به احتمال زیاد مربوط به گسل مشا، حدود ۱۷۸ سال می‌گذرد، احتمال وقوع لرزه‌ای بالای ۷ ریشتر در این ناحیه بسیار بالاست.



شکل ۱. نقشه گسل‌های تهران؛ ماخذ: آرشو نگارندگان.

### کاتالوگ زمین لرزه‌ها

در تهیه کاتالوگ زمین لرزه‌های گسترده مورد مطالعه با نگرش به شبکه‌های جهانی و سایت‌های مختلف گزارش دهنده زلزله زمین لرزه‌های رخ داده در منطقه تعیین شده، استفاده شده است. این کاتالوگ شامل تمامی زمین لرزه‌های ثبت شده توسط مراجع معتبر داخلی و خارجی می‌باشد. در شکل ۲ مکانیزم حرکت گسل‌های منطقه و زلزله‌های تاریخی ثبت شده قابل مشاهده می‌باشد.

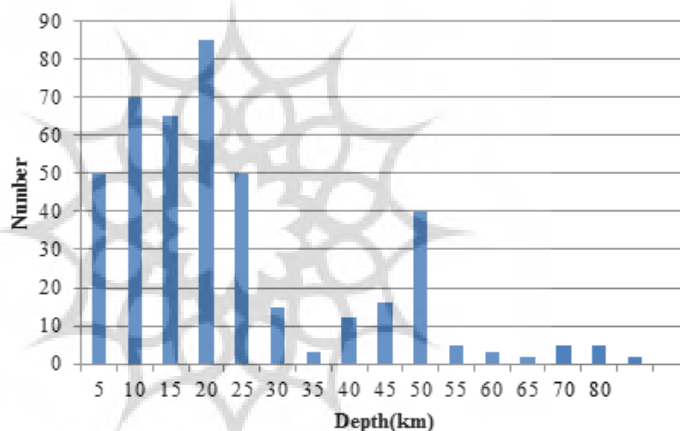
### برآورد خطر زمین لرزه در ساختگاه

پس از انتخاب یک رابطه تضعیف مناسب نوبت به انجام برآورد خطر در گستره مورد مطالعه می‌رسد. در صورتی که انجام مطالعات برآورد خطر زمین لرزه برای یک ساختگاه که موقعیت آن به صورت یک نقطه با طول و عرض جغرافیایی مشخص بیان می‌شود انجام شود. برآورد خطر زمین لرزه برای آن ساختگاه به صورت منحنی خطر لرزه‌های که نشان دهنده بیشینه شتاب جنبش زمین در مقابل احتمال وقوع سالانه بدست خواهد آمد. برای تهیه فایل ورودی این برنامه لازم است که یک رابطه تضعیف مناسب در نظر گرفته شود. مرحله دوم وارد کردن تمام مشخصات چشمه‌ها در فایل ورودی است که این مشخصات شامل طول و عرض جغرافیایی

گوشه های چشمه پهنه ای و مختصات دو راس هریک از قطعات چشمه خطی. همچنین با توجه به زمین لرزه های موجود در چشمه مورد نظر لازم است که برای هر بازه بزرگی تعداد زمین لرزه روی داده در سال محاسبه شود که با استفاده از آن ضرایب لرزه خیزی برای آن چشمه به دست می آید. برای شبکه های از نقاط به فاصله ۱/۰ درجه طول و عرض جغرافیائی مقادیر شتاب افقی مورد انتظار از رویداد زمین لرزه در چشمه های بالقوه زمین لرزه های برای ۱۰٪ احتمال افزایش در ۵۰ سال که معمولاً در نقشه های پهنه بندی خطر زمین لرزه این سطح از خطر که در طراحی سازه ها مورد استفاده قرار می گیرد و همچنین برای ۱۰٪ احتمال افزایش در ۲۵۰ سال محاسبه شده و بر اساس آن نقشه پهنه بندی خطر زمین لرزه در گستره تهران تهیه و ترسیم می شود.

### بررسی زلزله ها با توجه به پارامترهای موجود

با توجه به گزارشات بدست آمده از شبکه لرزه نگاری تهران از سال ۱۹۹۶ شروع بکار نموده و مطابق شکل ۳ فراوانی در ۴۳۰ زلزله به وقوع پیوسته بالاتر از ۴ ریشتر نسبت به عمق نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می کنید فراوانی زلزله هایی که عمقی کمتر از ۵۰ کیلومتر دارند بسیار زیاد می باشد.



شکل ۳. فراوانی زلزله های بوقوع پیوسته نسبت به عمق؛ ماخذ: یافته های تحقیق.

### تعیین چشمه های لرزه ای

برای انجام تحلیل خطر لرزه ای، چشمه های لرزه ای به سه شکل نقطه ای، خطی و سطحی مدلسازی می شوند. در این مطالعه برای گستره شهر تهران تعداد ۴ چشمه نقطه ای، ۱۳ چشمه خطی و یک چشمه زمینه در نظر گرفته شده است.

### تعیین زمین لرزه کنترلی

برای یک سایت با خطر لرزه ای نسبتاً کم، بزرگترین زمین لرزه محتمل در طول عمر مفید سازه ها به عنوان زمین لرزه کنترلی، انتخاب می گردد. در جدول زیر مشخصات چشمه ها ارائه گردیده است.

Source	X	Y	M <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	b-Value	a-Value
۱	۵۲,۲۵	۳۸,۸۸	۷,۳	۲,۵	-۰,۴۱۷	۲,۶۶۱
۲	۵۱,۳۴	۳۶,۴۸	۷,۴	۲,۶	-۰,۳۸۵	۲,۶۲۵
۳	۵۲,۱۲	۳۶,۲۸	۷,۲	۳	-۰,۳۹۳	۲,۶۲۱
۴	۵۰,۴۷	۳۶,۳۷	۶,۶			
۵	۵۰,۵۱	۳۶,۲۵	۶,۶			
۶	۵۰,۷۸	۳۵,۹۵	۶,۳			
۷	۵۰,۳۹	۳۶,۰۹	۶,۳	۲,۸		
۸	۵۱,۰۷	۳۵,۸۸	۶,۳	۲,۹		
۹	۵۱,۳۸	۳۵,۹	۷,۵	۳	-۰,۵۴۲	۲,۵۶۱
۱۰	۵۱,۰۳	۳۵,۱۷	۷,۳		-۰,۶۴۷	۳,۰۸۷
۱۱	۵۲,۲۹	۳۵,۶۶	۷,۵			
۱۲	۵۰,۴۷	۳۵,۴۷	۶,۴		-۰,۴۸۸	۲,۹۳۴
۱۳	۵۰,۴۳	۳۵,۷۶	۶,۳	۳		
۱۴	۵۲,۰۳	۳۵,۵۸	۶,۶		-۰,۳۰۵	۱,۶۹۴
۱۵	۵۲,۲۱	۳۵,۲۲	۷	۲,۴		
۱۶	۵۱,۵۶	۳۵,۷۱	۶,۱		-۰,۴۰۱	۲,۶۴۹
۱۷	۵۰,۸۲	۳۶,۱۱	۶,۴			

انتخاب مناسب‌ترین مدل از میان مدل‌های مختلف کاهیدگی جنبش نیرومند زمین، با توجه به معیارهایی چون فاصله از چشمه های لرزه زا، بزرگای زمینلرزه ها، ژرفای کانونی زمینلرزه های اصلی، نوع زمین محدوده طرح، ساز و کار چیره چشمه‌های لرزه‌زا و خطای استاندارد صورت می‌گیرد. از میان روابط معتبر موجود در نهایت سه رابطه کمپیل- بزرگ نیا (۲۰۰۳) آمبرسیزو همکاران ۲۰۰۵ و زارع و همکاران ۲۰۰۴ انتخاب گردیدند. از مزایای این روابط می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف) استفاده از داده های زمین لرزه های ایران به شرح زیر: مبرسیزو و همکاران: ۱. شتابنگاشت های زمین لرزه های طبس، منجیل، ماکو، زنجیران و آوج؛ ۲. کمپیل و بزرگنیا: شتابنگاشت های زمین لرزه های طبس و منجیل و ۳. زارع و همکاران: مجموعه داده‌های شتابنگاری ایران (با تفکیک زاگرس، ایران مرکزی و البرز)

ب) امکان محاسبه هر دو مؤلفه شتابهای افقی و قائم؛ به عنوان مقیاس بزرگا در روابط MW

ج) در نظر گرفتن مقیاس مناسب بزرگای گشتاوری

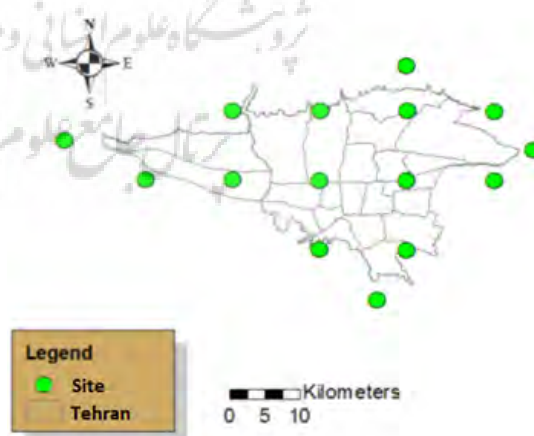
در این پژوهش از رابطه کلی (۱) کمپیل و بزرگنیا، جهت تعیین حرکات زمین استفاده شده است. که در رابطه ۱ توابع مختلفی اندازه گیری می شوند، در فاز نخست این رابطه تابع بزرگا، در فاز دوم فاصله سایت تا مرکز زلزله، فاز سوم نوع گسل، فاز چهارم تابعی از نوع توده بالا رونده، فاز پنجم تابعی از شرایط سطحی سایت و فاز ششم تابعی از نوع رسوبات و عمق آنها مورد بررسی قرار می گیرد.

(۱)

فاز اول که شامل تابعی از بزرگای زلزله می باشد از رابطه ۲ بدست می آید:

### برآورد شتاب لرزه‌ای و تحلیل خطر

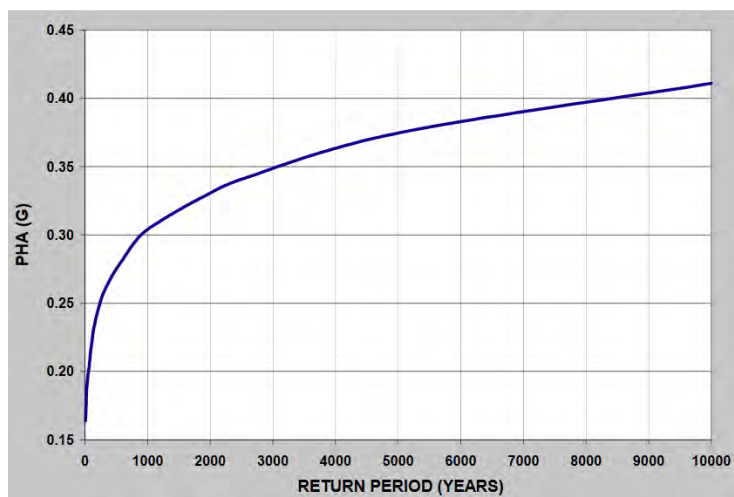
در این مرحله شتاب لرزه ای هر یک از چشمه ها را نسبت به سایت های مورد نظر که در محدوده شهر تهران انتخاب کردیم بدست می آوریم. برای اینکار ابتدا شهر تهران را با ابعاد ۱۰ کیلومتر در ۱۰ کیلومتر مشبندی کرده و فاصله مرکز هر یک از این مش‌ها را تا چشمه‌ها بدست می آوریم.



شکل ۴. مناطق ۲۲ گانه تهران و مراکز مش‌ها؛ ماخذ: نگارندگان.

(۲)

برای دوره های بازگشت متفاوت مشاهده می شود.



فاز دوم که به بررسی فاصله سایت تا مرکز زلزله می پردازد از رابطه ۳ بدست خواهد آمد.

(۳)

در فاز سوم نوع گسل بررسی می شود که در رابطه ۴ و ۵ می توان تابع مربوط به آنرا مشاهده نمود:

(۴)

(۵)

شکل ۵. میانگین بیشینه شتاب افقی و برای دوره های بازگشت متفاوت؛ ماخذ: یافته های تحقیق.

فاز چهارم به نوع توده بالا رونده و شکست ناشی از گسل می پردازد که تابع مربوط به این فاز در رابطه ۶ تا ۹ آمده است.

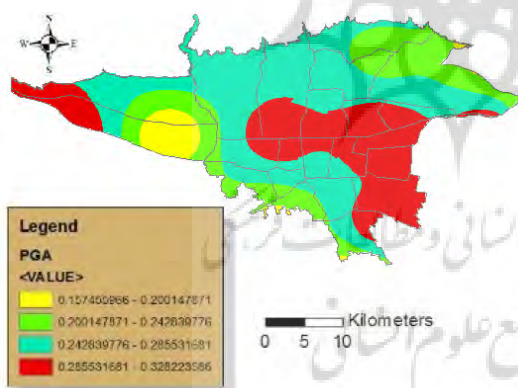
(۶)

(۷)

(۸)

(۹)

پس از بدست آوردن شتاب چشمه ها نسبت به سایت های مختلف برای تمام سایت ها شتاب میانگین بدست می آوریم و شهر تهران را نسبت به این شتاب پهنه بندی می کنیم.



در فاز پنجم شرایط سطحی از طریق سرعت موج برشی و قراردادن در رابطه ۱۰ قابل محاسبه خواهد بود.

(۱۰)

در فاز ششم تاثیرات و لایه بندی های خاک در اعماق سطحی و نوع رسوب گذاری در حوضه ها بررسی می گردد رابطه ۱۱ جهت بررسی این تاثیرات می باشد.

(۱۱)

شکل ۶ نقشه پهنه بندی خطر زلزله در شهر تهران؛ ماخذ: نگارندگان.

لازم به توضیح است در رابطه ۱، ۷ میانگین دو مولفه افقی حداکثر شتاب حداکثر زمین (g,PGA) حداکثر سرعت زمین (PGV)، و یا طیف پاسخ شتاب با میرایی ۵ درصد و همچنین میزان خطاهای مختلف می باشد. در شکل ۵ میانگین بیشینه شتاب افقی و

## نتیجه گیری و جمع بندی

## منابع و مأخذ

- مطالعه حاضر، بر اساس اطلاعات موجود از چشمه‌ها، زلزله‌ها و پارامترهای لرزه خیزی مربوط به چشمه‌ها انجام شده است و بدیهی است که با وجود اطلاعات گسترده‌تر و وارد کردن داده‌های دقیق‌تر دستگامی، شکل پهنه‌بندی لرزه‌های تهران می‌تواند تغییر کند. در سال‌های مختلف مشخص شد که در دهه‌های اخیر تعداد زلزله‌ها و همچنین b-value با بدست آوردن بزرگی آنها افزایش یافته است. در آخر با توجه به تعداد بسیار زیاد گسل‌ها در سطح تهران و سوابق تاریخی فعالیت این گسل‌ها به این نکته که روزی نه چندان دور تهران با زلزله عظیم مواجه خواهد شد پی می‌بریم.
۱. مرکز لرزه‌نگاری کشور، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران
  ۲. آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله (۱۳۸۴) مجموعه آیین نامه‌های ساختمانی ایران، شماره استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
  ۳. کمیته دائمی بازنگری آییننامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، (۱۳۸۴) آییننامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، مرکز تهران، ویرایش، (BHRC) تحقیقات ساختمان و مسکن سوم.
  4. New York City Natural Hazard Mitigation Plan) March .(2009 Section III :Natural Hazard Risk Assessment, 167-179.
  5. Snoussi, M.; Ouchani, T.; Niazi, S. (2008). Vulnerability assessment of the impact of sea-level rise and flooding on the Moroccan coast: The case of the Mediterranean eastern zone. Journal of Estuarine, Coastal and Shelf Science. 77, 206-213.
  6. Banergeet, A., 1980, Earth quakes, urban scale vulnerability and city design, some observations, school of urban and regional planning, university of southern California.
  7. Fathi, A., and Saharkhiz, N., 2014. Climate and Passive Defense Role in Shaping Sustainable Architecture, Review samples (Nosh Abad, Kashan, Iran and Derinkuyu, Turkey Hand carving Architecture). Current Trends in Technology and Science. 98-103 Pp.
  8. Hays, W.W., and Kitzmiller, C., 1988. A review of earthquake research application in the national

eration and acceleration response spectra”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.93, No.1, pp.314-331.

16. Ambraseys M M, Melville C P. 1982. A History of Persian Earthquakes [M]. London: Cambridge University Press
9. Middelmann, M.H., (Editor) 2007. Natural Hazards in Australia Identifying Risk Analysis Requirements. Geoscience Australia, Canberra. 206 Pp.
10. Natural Resource Report, 2009. Gettysburg National Military Park and Eisenhower National Historic Site Geologic Resources Inventory Report. Natural Resource Program Center. NPS/NRPC/GRD/NRR. 2009/083. P.O. Box 25287.
11. Sánchez, R., 2007, Civil Defense and Cultural Property, Francis and Taylor group, London.
12. Tyagi, A., Rhyner, J., and Migraine, J.B., 2009. Multi-hazard management perspectives on river basins Invited Session. International Disaster Reduction Conference. IDRC Davos, Switzerland, Program. 15:60 Pp.
13. Probabilistic seismic risk analysis in the Taiwan area based on PGA and spectral amplitude attenuation formulas Engineering Geology, Volume 30, Issues 3-4, June 1991, Pages 277-304
14. Berberian, M. & Yeats, R.S. (1999), “Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian plateau”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.89, No.1, pp.120-139
15. Campbell, K.W. & Bozorgnia, Y. (2003), “Updated near-source ground motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground accel-

