



## Investigation of seismicity in District 8, region 1 of Tehran Municipality

H.Haghi<sup>1</sup>, R.Rasti ardakani<sup>2</sup> & A.Mortazavi<sup>3</sup>

1. M.Sc in Natural Disaster Management, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Structure and Earthquake, Faculty of Civil Engineering, Water and Environment, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3. Assistant Professor, Department of Structure and Earthquake, Faculty of Civil Engineering, Water and Environment, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

### Abstract

**Background and objective:** In this research, seismic hazard maps of district 8, region 1 of Tehran Municipality with central coordinates of 51.459839 (longitude) and 35.793794 (latitude) has been estimated and analyzed.

**Method:** This research is a sort of practical study using analytical estimation. In fact, the main issue of this work is to evaluate and find a relationship between what is current status and what should be the status using a case study. As a first step, data collections based on the existing evidence and documents has been done and then, as the second step using literature review and documents and analyzing the obtained data, the results were determined.

**Results:** The seismic catalog of the study area (within a radius of 150 km from the center of the study site) was collected according to the seismic data bases. Consequently, seismic genetic sources were determined using the map of active faults in Iran and the history of the occurred earthquakes. In the follow, using Zmap software, seismic parameters of the region and seismic sources (B-value and Rate) were determined.

**Conclusion:** The modeling of the study area in EZ-FRISK application software showed that according to the obtained results, the maximum of peak ground acceleration (without considering any factors of safety) in this area for a return period of 475, 975 and 2475 years was respectively predicted as 0.38g, 0.51g and 0.71g.

**Keyword:** Peak ground acceleration, Probabilistic seismic hazard assessment, Tehran municipality

► **Citation (APA 6th ed.):** Haghi H, Rasti ardakani R, Mortazavi A. (2022, Winter). Investigation of seismicity in District 8, region 1 of Tehran Municipality. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 11(4),337-347.

## تحلیل خطر لرزه‌ای ناحیه ۸ منطقه ۱ شهرداری تهران

حامد حقی<sup>۱</sup>، رضا راستی اردکانی<sup>۲</sup> و علی اصغر مرتضوی<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد مهندسی سوانح طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران haghihamed@yahoo.com

۲- استادیار گروه سازه و زلزله دانشکده عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران r\_rasti@yahoo.com

۳- استادیار گروه سازه و زلزله دانشکده عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران mraa1350@gmail.com

### چکیده

**زمینه و هدف:** در این پژوهش به تحلیل، برآورد و تهیه نقشه‌های خطر لرزه‌ای ناحیه ۸ از منطقه ۱ شهرداری تهران با مختصات مرکزی، ۵۱،۴۵۹۸۳۹ (طول جغرافیایی) و ۳۵،۷۹۳۷۹۴ (عرض جغرافیایی) پرداخته خواهد شد.

**روش:** این تحقیق از لحاظ ماهیت از نوع کاربردی می‌باشد. این تحقیق، با روش تحقیق ارزیابی تحلیلی اجرا شده است و مسأله عمده موضوع ارزیابی، یافتن رابطه‌ای بین آنچه هست و آنچه باید باشد و سپس ارزیابی وضعیت فعلی به روش مطالعه موردی، می‌باشد. درگام اول، گردآوری اطلاعات برپایه مستندات موجود و در گام دوم با مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی و نهایتاً تحلیل آن‌ها نتایج مشخص گردید.

**یافته‌ها:** کاتالوگ لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه (شعاع ۱۵۰ کیلومتر از مرکز سایت) با توجه به داده‌های ثبت شده در پایگاه‌های لرزه‌نگاری گردآوری گردید. سپس با استفاده از نقشه‌گسل‌های فعال ایران و در نظر گرفتن زلزله‌های رخ داده، چشمه‌های لرزه‌زا، تعیین گردیدند. در ادامه با بهره‌گیری از نرم افزار Zmap پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه و چشمه‌های لرزه‌زا (B-value و Rate) مشخص شدند.

**نتیجه‌گیری:** با مدل‌سازی منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار کاربردی EZ-FRISK، در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده، بیشینه شتاب مورد انتظار (بدون در نظر گرفتن هرگونه ضریب اطمینان)، در این ناحیه برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال برابر با ۰/۳۸ g، برای دوره بازگشت ۹۷۵ سال برابر با ۰/۵۱ g و برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال برابر با ۰/۷۱ g قابل پیش‌بینی خواهد بود.

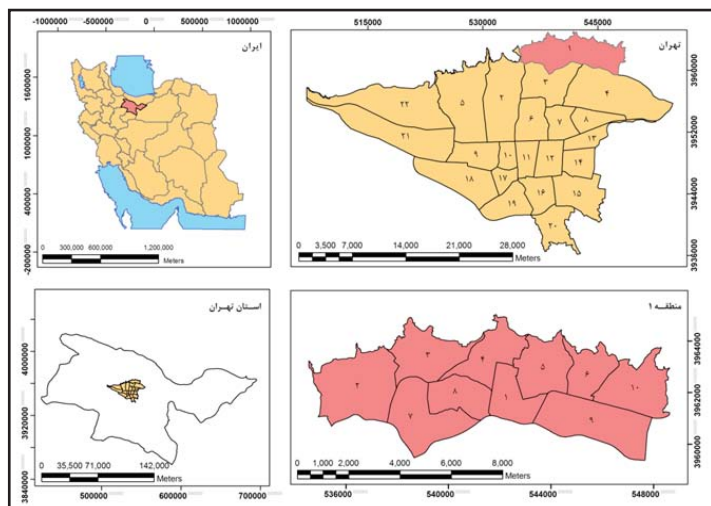
**کلیدواژه‌ها:** بیشینه شتاب جنبش زمین، تحلیل خطر لرزه‌ای، شهرداری تهران

◀ **استاد فارسی (شبهه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** حقی، حامد؛ راستی اردکانی، رضا؛ مرتضوی، علی اصغر. (زمستان، ۱۴۰۰). تحلیل خطر لرزه‌ای ناحیه ۸ منطقه ۱ شهرداری تهران. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. ۱۱ (۴)، ۳۳۷-۳۴۷.

## مقدمه

هم‌مرز با محدوده ۲۵ ساله شهرداری تهران شده است و بر این اساس مساحتی را در حدود ۴۸۱۶ هکتار دارا می‌باشد. این منطقه، شمالی‌ترین منطقه تهران به‌شمار می‌رود، به‌طوری‌که مرز شمالی آن بر مرز شمال تهران (خطوط ارتفاعی ۱۸۰۰ متر) منطبق است. این منطقه از غرب توسط رود-دره درکه با منطقه ۲، از جنوب توسط بزرگراه‌های چمران، مدرس، صدر با منطقه ۳ و از جنوب شرقی توسط بزرگراه ارتش و بخشی از بزرگراه شهید بابایی با منطقه ۴ شهرداری تهران هم‌مرز است (نهاد برنامه‌ریزی و توسعه شهری شهرداری تهران، ۱۳۸۹)

کاربری عمده منطقه یک مسکونی است و حضور کاربری‌های فرمانطقه‌ای و فراشهری به‌ویژه کاربری‌های بین‌المللی دیپلماتیک و گردشگری در منطقه از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد (نهاد برنامه‌ریزی و توسعه شهری شهرداری تهران، ۱۳۸۹).



شکل ۱. موقعیت جغرافیای منطقه یک (منبع: یاسر معرب، ۱۳۹۵)

## روش

شهرداری ناحیه هشت دارای دو محله چیدر و حکمت می‌باشد. این ناحیه از شمال به خیابان دزاشیب-خیابان لواسانی و خیابان کامرانیه غربی، از جنوب به خیابان قیطره و خیابان شهید خراسانی، از شرق به خیابان پاشا ظهری-کامرانیه و از غرب به خیابان دکتر شریعتی محدود می‌باشد.

برای بررسی لرزه‌خیزی ناحیه ابتدا زمین لرزه‌های مهمی -که در گذشته در پیرامون آن روی داده‌اند-، مورد بررسی قرار گرفته

زلزله را می‌توان با توجه به ایجاد بیشترین تخریب در کمترین زمان مؤثر و همچنین پایین‌ترین امکان پیش‌بینی شرایط به عنوان مهم‌ترین بلایای طبیعی از نظر مهندسی سازه و مدیریت بحران دانست. با وجود اینکه محققان متعددی درصدد پیش‌بینی زمان و محل وقوع زلزله برآمده و پژوهش‌های بسیاری انجام داده‌اند، لیکن تا به امروز روشی مشخص برای پیش‌بینی زلزله مورد تأیید قرار نگرفته است (وانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵). این در حالی است که حتی اگر پیش‌بینی زلزله میسر باشد نیز توجیه اقتصادی و علمی قبول تخریب ابنیه در توجه به اصول مهندسی لرزه‌ای سازه‌ها<sup>۲</sup> غیرمنطقی به نظر می‌رسد و از این رو بدیهی است بهترین و مؤثرترین راه برای مقابله با زلزله، ساخت و ساز ایمن می‌باشد.

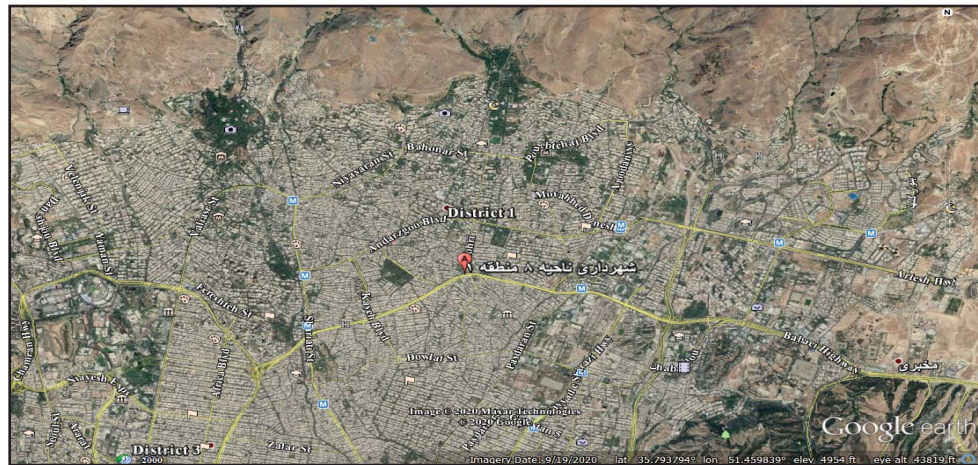
یکی از اولین گام‌های ضروری در ساخت‌وساز ایمن لرزه‌ای، چه به‌صورت مقاوم‌سازی<sup>۳</sup> و چه به‌صورت به‌سازی<sup>۴</sup> یا بازسازی<sup>۵</sup> و نوسازی<sup>۶</sup>، تخمین قدرت زلزله‌ها می‌باشد. این کار، تحت عنوان برآورد خطر زمین‌لرزه<sup>۷</sup>، بیشینه مقدار جنبش زمین -که انتظار می‌رود در منطقه مورد نظر و در زمان مشخص (معروف به دوره بازگشت برابر با معکوس احتمال وقوع سالانه (کمپل و تن هاوز<sup>۸</sup>، ۲۰۰۲) به وقوع بپیوندد- را تخمین می‌زند.

یکی دیگر از عوامل مؤثر در ایمن‌سازی لرزه‌ای سازه‌ها نیز تفاوت محلی در پاسخ به زلزله است که با ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای<sup>۹</sup> لحاظ می‌گردد و در این خصوص عوامل متعددی از قبیل ویژگی‌های ژئوتکنیک (مانند تأثیر خاک نرم در تشدید امواج لرزه‌ای) و توپوگرافی (مانند تشدید امواج لرزه‌ای) در ارتفاع منطقه مؤثر می‌باشند.

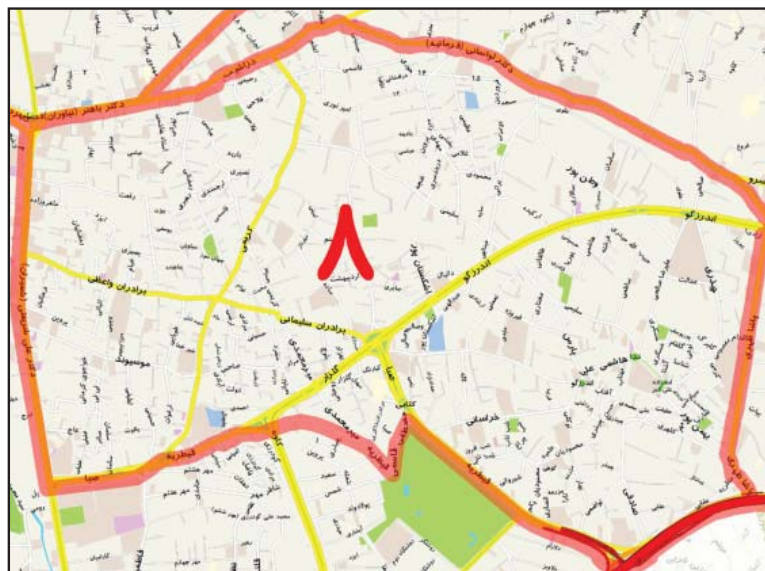
منطقه یک شهرداری تهران با توجه به مرز شمالی مصوب شورای شهر تهران مساحتی معادل ۴۵۷۴/۲۴ هکتار می‌باشد. اما در عمل به دلیل رشد ساخت و ساز در منطقه، محدوده آن،

1. Wang, 2015
2. Structural Earthquake Engineering
3. Earthquake Resistant Design
4. Retrofit
5. Restoration
6. Rehabilitation
7. Earthquake Risk Estimation
8. Campbell, Thenhaus, 2002
9. Seismic Microzonation

و پیشینه شتاب ناشی از آن برآورده شده است. سپس با بررسی نقشه‌های هم شتاب تهیه شده است، خطر نسبی زمین‌لرزه در بخش‌های مختلف محدوده مورد مطالعه (ناحیه ۸ منطقه ۱) به دست می‌آید. در تحلیل خطر لرزه‌ای جهت بررسی دقیق لرزه‌خیزی منطقه، مطالعه گسل‌های فعال و تعیین چشمه‌های لرزه‌زا، منطقه‌ای به شعاع ۱۵۰ الی ۲۰۰ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود و به مطالعه موارد ذکر شده می‌پردازیم، که با توجه به مختصات مرکز ناحیه ۸ از منطقه ۱ (۵۱,۴۵۹۸۳۹، ۳۵,۷۹۳۷۹۴)، محدوده مورد مطالعه به شعاع ۱۵۰ کیلومتر تعیین می‌گردد.



شکل ۲. منطقه مورد مطالعه - ناحیه ۸ از منطقه ۱ شهرداری تهران (منبع: Google Earthe)



شکل ۳. منطقه مورد مطالعه - ناحیه ۸ از منطقه ۱ شهرداری تهران (منبع: مرزبندی نواحی واحد GIS شهرداری منطقه ۱ تهران - ۱۳۹۶/۰۸)

### یافته‌ها

اطلاعات لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ای به شعاع ۱۵۰ کیلومتر برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۳ ریشتر در بازه سال‌های ۸۵۸-۱۹۰۰ میلادی (برای زلزله‌های تاریخی) گردآوری شده از دو مرجع تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران (امبرسیس و ملوی<sup>۱</sup>، ۱۹۸۲) و کاتالوگ زمین‌لرزه‌های ایران (بربریان<sup>۲</sup>، ۱۹۹۴) و سال‌های ۱۹۰۰-۲۰۲۰ میلادی (برای زلزله‌های دستگاهی) از پایگاه‌های ثبت داده‌های لرزه‌ای همانند سازمان زمین‌شناسی آمریکا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و مرکز تحقیقات

2. Berberian,,1994

1. Ambraseys & Melviie, 1982



راه، مسکن و شهرسازی تهیه شده است.

برای یکسان‌سازی بزرگ‌های ثبت‌شده و یک‌دست شدن داده‌های لرزه‌ای، از بزرگای  $M_w$  استفاده شده است. بدین منظور از روابط زیر برای تبدیل بزرگ‌های مختلف به  $M_w$  استفاده شده است. (کریمی پیرداری، زارع، معماریان، کیجکو، ۲۰۱۳)

$$M_w = 0.85 \times M_b + 1.03$$

$$M_w = 0.67 \times M_n + 1.73$$

$$M_l = 3.73 \times \ln M_w - 0.51$$

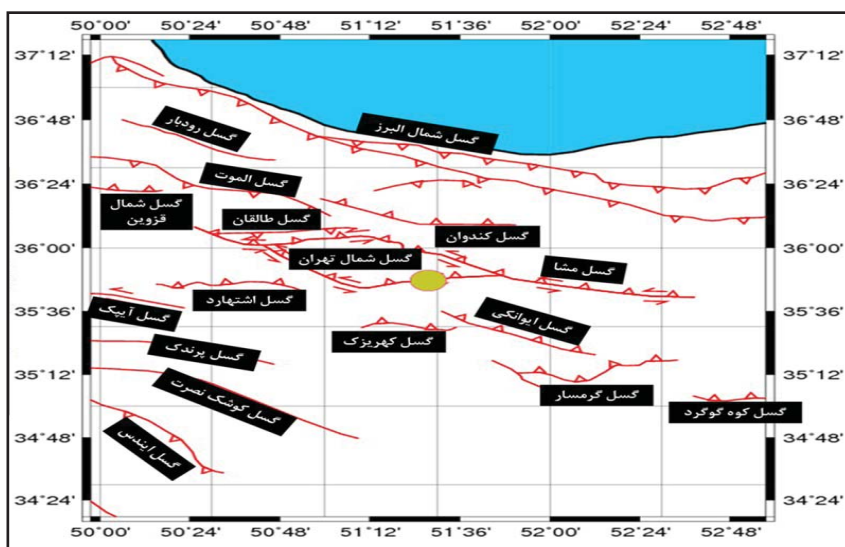
$$M_w = 0.66 \times M_s + 2.11$$

$$M_w = 0.93 \times M_s + 0.45$$

در این روابط،  $M_w$  بزرگی گشتاور زلزله،  $mb$  بزرگی موج

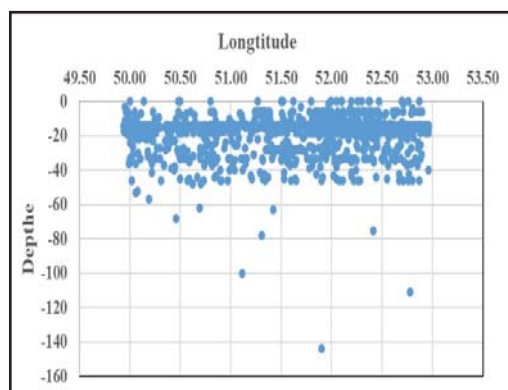
حجمی،  $M_l$  بزرگی محلی،  $M_n$  بزرگی Nuttli یا همان  $mb_{lg}$  و  $M_s$  بزرگی امواج سطحی می‌باشد و رابطه (۱) در محدوده  $3.5 \leq M_b \leq 6.2$ ، رابطه (۲) در محدوده  $3 \leq M_n \leq 6.3$ ، رابطه (۳) در محدوده  $2.5 \leq M_l \leq 4.5$ ، رابطه (۴) در محدوده زلزله‌های ضعیف تا متوسط  $2 \leq M_s \leq 8.2$  و رابطه (۵) در محدوده زلزله‌های متوسط تا بزرگ  $2 \leq M_s \leq 8.2$  صادق می‌باشد.

در تحلیل خطر لرزه‌ای جهت بررسی دقیق لرزه‌خیزی منطقه، مطالعه گسل‌های فعال و تعیین چشمه‌های لرزه‌زا، منطقه‌ای به شعاع ۱۵۰ الی ۲۰۰ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود و به مطالعه موارد ذکر شده می‌پردازیم، که با توجه به مختصات مرکز شهر که در بالا به آن اشاره شد، محدوده مورد مطالعه به شعاع ۱۵۰ کیلومتر تعیین گردید.



شکل ۴. گسل‌های منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارنده)

۹۸۳ رخداد). در شکل ۶، نمودار پراکنندگی زلزله‌های رخ داده در بزرگ‌های مختلف نمایش داده شده است (۱۹۰۰ میلادی الی ۲۰۲۰).

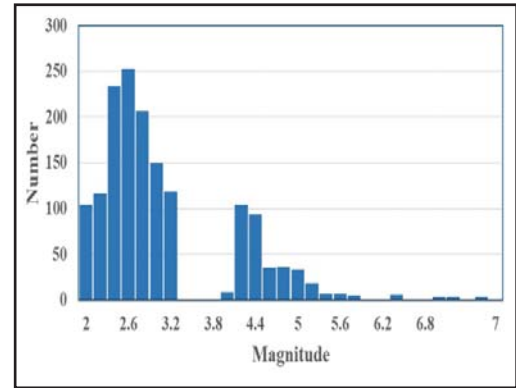


شکل ۵. نمودار عمق زلزله‌های رخ داده

جهت آشنایی هرچه بهتر با لرزه‌خیزی منطقه، تحلیل آماری داده‌های لرزه‌ای جمع‌آوری و یکسان‌سازی شده، به صورت فراوانی و توزیع زمین‌لرزه‌های منطقه با معیار بزرگی، زمان وقوع و عمق رخدادها برای زلزله‌های ثبت شده دستگاهی با استفاده از نرم‌افزار Zmap (که یکی از نرم‌افزارهای تحلیل گرافیکی و آماری داده‌های زمین‌لرزه می‌باشد)، انجام گرفته است.

در شکل ۵، نمودار عمق زلزله‌های رخ داده در طول جغرافیایی نمایش داده شده است. با توجه به نمودار و کاتالوگ زلزله‌های منطقه، بیشتر زلزله‌ها، در عمق بین ۱۴ تا ۱۸ کیلومتر رخ داده است (تعداد

در تحلیل خطر لرزه‌ای چه به روش تعیینی و چه به روش احتمالاتی، تعیین نوع و مکان چشمه‌های لرزه‌ای و در نتیجه، تعیین توان لرزه‌زایی (Mmax) از اهمیت بالایی برخوردار است. در ادامه پس از تعیین نوع و مکان چشمه‌های لرزه‌ای، ابتدا با روابط تجربی ارائه شده توسط محققینی مانند: آمبرسیز، کوپراسمیت و ... طول این چشمه‌ها بررسی شده است و در نهایت، توان لرزه‌زایی (Mmax) این چشمه‌ها مشخص خواهد شد. سپس پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه (Rate و B-value) برای همه چشمه‌های لرزه‌ای معین خواهد گردید.



شکل ۶. تعداد زلزله‌های رخ داده در بزرگسای مختلف

جدول ۱. زلزله‌های تاریخی ایران که در پژوهش حاضر استفاده شده است.

ردیف	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سال	ماه	روز	بزرگی	عمق (m)	فاصله از سایت (km)
۱	۵۱.۸	۲۵.۵	۴۰۰	۰	۰	۷.۶	۲۳	۴
۲	۵۲.۲	۲۵.۳	۷۴۲	۰	۰	۷.۲	۲۳	۹
۳	۵۱.۵	۲۵.۶	۸۵۵	۰	۰	۷.۱	۲۳	۲
۴	۵۱	۲۵.۷	۸۶۴	۴	۱	۵.۳	۲۳	۵
۵	۵۱.۱	۳۶	۹۵۸	۲	۲۳	۷.۷	۲۳	۴
۶	۵۰.۷	۲۵.۷	۱۱۷۷	۵	۰	۷.۲	۲۳	۸
۷	۵۰.۵	۲۶.۷	۱۴۸۵	۸	۱۵	۷.۲	۲۳	۱۳
۸	۵۰	۲۴.۵	۱۴۹۵	۰	۰	۵.۹	۲۳	۲۰
۹	۵۰.۵	۲۶.۴	۱۶۰۸	۴	۲۰	۷.۶	۲۳	۱۱
۱۰	۵۲.۱	۲۵.۷	۱۶۶۵	۰	۰	۶.۵	۲۳	۶
۱۱	۵۰	۲۷.۲	۱۶۷۸	۲	۲	۶.۵	۲۳	۲۰
۱۲	۵۲.۶	۲۶.۳	۱۶۸۷	۰	۰	۶.۵	۲۳	۱۲
۱۳	۵۰.۳	۲۶.۴	۱۸۰۸	۱۲	۱۶	۵.۹	۲۳	۱۳
۱۴	۵۲.۵	۲۶.۳	۱۸۰۹	۰	۰	۶.۵	۲۳	۱۲
۱۵	۵۲.۶	۲۶.۱	۱۸۲۵	۰	۰	۶.۷	۲۳	۱۲
۱۶	۵۲.۵	۲۵.۷	۱۸۳۰	۳	۲۷	۷.۱	۲۳	۱۰
۱۷	۵۲.۵	۲۴.۹	۱۸۶۸	۸	۱	۶.۴	۲۳	۱۴

جدول ۲. برخی از زلزله‌های دستگاهی که در پژوهش حاضر استفاده شده است. (بزرگی بزرگتر از ۶ ریشتر)

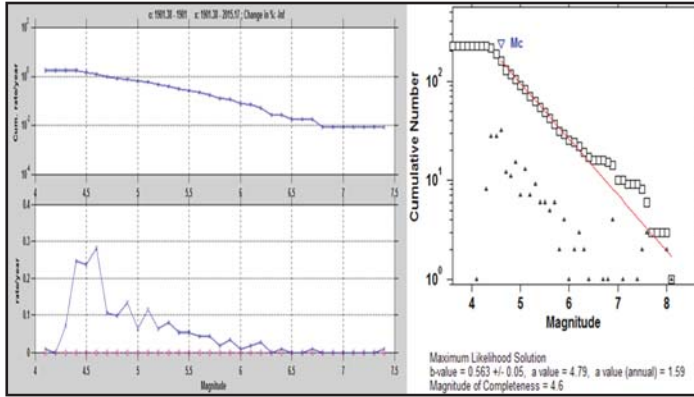
زلزله‌های دستگاهی								
ردیف	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سال	ماه	روز	بزرگی	عمق (km)	فاصله از سایت (km)
۱	۵۰.۴۸	۲۶.۳۹	۱۹۰۱	۵	۲۰	۶.۱	۰	۱۱
۲	۵۱.۹۹	۳۵.۷۶	۱۹۳۰	۱۰	۲	۶	۰	۵
۳	۵۲.۸	۳۶	۱۹۳۵	۴	۱۲	۶.۱	۱۷	۱۴
۴	۵۲.۱	۲۴.۸	۱۹۳۷	۴	۷	۶.۲	۰	۱۲
۵	۵۲.۸۷	۲۴.۹۱	۱۹۵۷	۳	۱۶	۶.۲	۴۶	۱۷
۶	۵۲.۴۷	۲۶.۰۷	۱۹۵۷	۷	۲	۷.۴	۰	۱۰
۷	۵۰.۰۶	۳۵.۶۲	۱۹۶۲	۱۰	۱۳	۶.۳	۱۵	۱۴
۸	۵۰.۶۴۶	۲۴.۴۷۴	۱۹۸۰	۱۲	۱۹	۶.۴	۱۲	۱۶
۹	۵۱.۵۶۶	۲۶.۲۵۹	۲۰۰۴	۵	۲۸	۶.۷	۲۷	۵

چشمه، عارضه‌ای نقطه‌ای، خطی و یا ناحیه‌ای می‌باشد که زلزله یا زلزله‌های متعددی را می‌توان با آن مرتبط دانست. به عبارت دیگر، زمین‌لرزه‌ها در اثر فعالیت چشمه‌های لرزه‌ای رخ می‌دهند. به‌طور کلی چشمه لرزه‌ای از نظر زمین‌شناسی با واژه شناخته شده گسل مرتبط می‌گردد، لیکن این دو واژه، تفاوت‌های متعددی دارند. به‌عنوان نمونه، یک چشمه می‌تواند شامل چندین گسل باشد. برای انجام تحلیل خطر لرزه‌ای، چشمه‌های لرزه‌ای به سه شکل چشمه نقطه‌ای، چشمه خطی و چشمه ناحیه‌ای (سطحی) در نظر گرفته می‌شوند و در صورت کمبود اطلاعات روی گسل‌ها و عدم ارتباط قطعی رخدادهای لرزه‌ای با گسل مسبب، غالباً چشمه‌های لرزه‌ای به شکل سطحی مدل می‌شوند.

یک پهنه گسلی هم‌کنش، به صورت یک چشمه پهنه‌ای و یک چشمه پهنه‌ای با در نظر گرفتن عمق پهنه لرزه‌زا یک چشمه حجمی شناخته می‌شود، که به دلیل عدم شناخت دقیق عمق کانونی زمین لرزه‌ها در بسیاری از مناطق، نمی‌توان این نوع چشمه را در برآورد خطر زمین‌لرزه مورد استفاده قرار داد. توان‌مندی این چشمه‌ها به ترتیب بر حسب بزرگی زمین‌لرزه‌های روی داده، سطح تخریب ابعاد گسله، میانگین شکستگی، وسعت و نوع ساختار آن تخمین زده می‌شود.

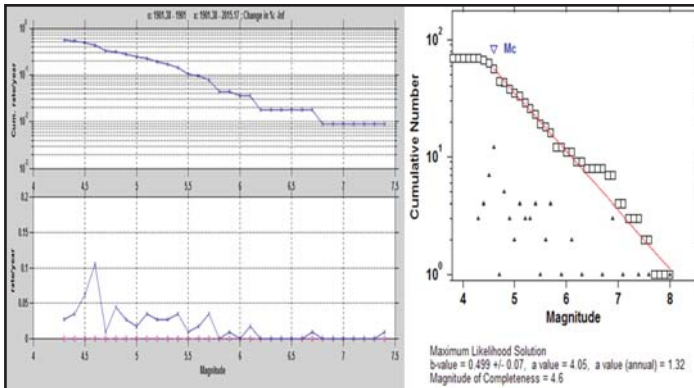
در مواردی که رخدادهای زمین‌لرزه‌ای در یک منطقه را نتوان به طور مشخص به یک گسل خواص نسبت داد، در این حالت چشمه لرزه‌ای به صورت ساخت متمرکز تعیین می‌گردد. که عبارت است از؛ ناحیه‌ای متمرکز از گسل‌های فعال شناخته شده یا شناخته نشده که محل رخداد زمین‌لرزه می‌باشند (شوارتز و کوپراسمیت، ۱۹۸۴). پهنه‌هایی با لرزه‌خیزی متمرکز در فضا، اغلب به عنوان پهنه‌های





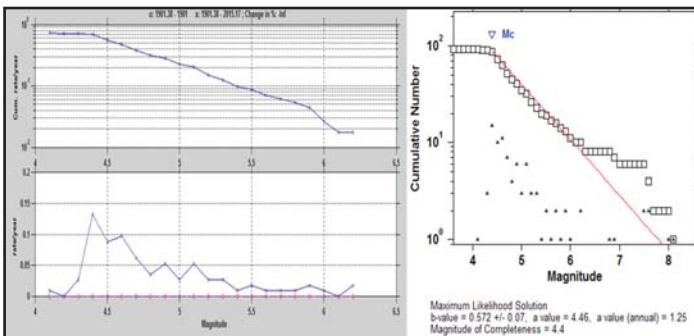
شکل ۱۱. الف: نمودار Rate تجمعی منطقه مورد مطالعه ب: نمودار شیب خط گوتنبرگ و ریشتر

بر اساس شکل (۱۲) (الف) نمودار Rate تجمعی منطقه مورد مطالعه، Rate این منطقه برابر با ۰٫۵۶ به دست می‌آید و با توجه به شکل (۱۲) (ب) ذیل b-value برابر با ۰٫۴۹ به دست می‌آید.



شکل ۱۲. الف: نمودار Rate تجمعی چشمه ۱ ب: نمودار شیب خط گوتنبرگ و ریشتر چشمه شماره ۱

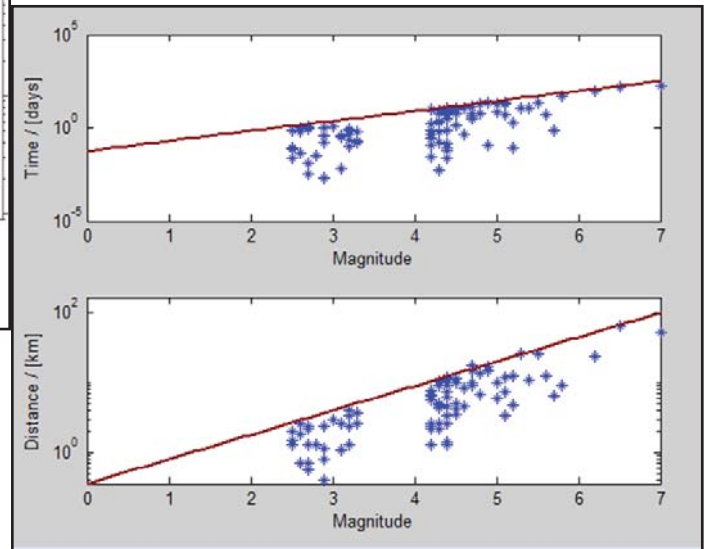
بر اساس شکل (۱۳) (الف) نمودار Rate تجمعی منطقه مورد مطالعه، Rate این منطقه برابر با ۰٫۷۲ به دست می‌آید و با توجه به شکل (۱۳) (ب) ذیل b-value برابر با ۰٫۵۷ به دست می‌آید.



شکل ۱۳. الف: نمودار Rate تجمعی چشمه ۲ ب: نمودار شیب خط گوتنبرگ و ریشتر چشمه شماره ۲

Rate و b-value دو پارامتر مهم لرزه‌خیزی یک منطقه هستند. Rate مشخص‌کننده آهنگ سالانه رخداد زلزله‌ها برای یک منطقه می‌باشد، یعنی هر چه تعداد زلزله‌ها بیشتر باشد، Rate آن منطقه بیشتر است و b-value مشخص‌کننده خطرناک بودن یک منطقه از نظر رخدادهای بزرگ لرزه‌ای است، یعنی اگر در گذشته زلزله‌هایی با بزرگای قابل توجه در منطقه رخ داده باشد، در آینده نیز زلزله‌های بزرگ‌تری رخ خواهند داد.

با توجه به خاصیت پواسونی بودن رخدادها (غیر وابسته بودن رخدادها) در روش احتمالاتی تحلیل خطر لرزه‌ای باید پس‌لرزه‌های رخ داده را از کاتالوگ لرزه‌ای خود حذف کرد. بدین منظور از روش Uhrhammer (اورهامر، ۱۹۸۶) استفاده شده است، که از ۳۰۷ رخداد لرزه‌ای با بزرگی بیشتر از ۴ ریشتر، تعداد ۲۲۵ زلزله باقی ماند (۹۲ رخداد به عنوان پس یا پیش‌لرزه از کاتالوگ حذف گردیدند).



شکل ۱۰. زلزله‌های حذف شده از کاتالوگ (با در نظر گرفتن محدودیت مکانی و زمانی در رخدادها)

بر اساس شکل (۱۱) (الف) نمودار Rate تجمعی منطقه مورد مطالعه، Rate این منطقه برابر با ۱٫۸۱ به دست می‌آید و با توجه به شکل (۱۱) (ب) ذیل b-value برابر با ۰٫۵۶ به دست می‌آید.



رابطه کمبل<sup>۱</sup> و بزرگ‌نیا (۲۰۰۳) بر اساس آزمون و مقایسه با برخی از روابط دیگر توسط مجریان این پروژه برای زمین لرزه کجور بود. رابطه کمبل و بزرگ‌نیا (۲۰۰۳) متکی بر داده‌های پایه گسترده‌ای از مناطق لرزه‌خیز و فعال تکتونیکی است، که از زمین‌لرزه‌های کم ژرفا برخوردار می‌باشند. مدل یاد شده پوشش مناسبی را از ترکیب‌های گوناگون بزرگ (۴,۴ Mw - ۷,۷) و فاصله (تا ۶۰ کیلومتر که می‌توان بدون مشکل خاصی تا ۱۰۰ کیلومتر را نیز مورد استفاده قرار داد) ارائه می‌دهد. شکل ریاضی مدل کاهیدگی به صورت زیر است (کمبل و بزرگ‌نیا، ۲۰۰۳):

$$h Y = c_1 + f_1(M_W) + c_4 h \sqrt{f_2(M_W, r_{seis}, S)} + f_3(F) + f_4(S) + f_5(HW, F, M_W, r_{seis}) + \varepsilon$$

$$f_1(M_W) = c_2 M_W + c_3 (8.5 - M_W)^2$$

$$f_2(M_W, r_{seis}, S) = r_{seis}^2 + g(S)^2 (\exp[c_8 M_W + c_9 (8.5 - M_W)^2])^2$$

$$g(S) = c_5 + c_6 \delta_{VFS} + S_R + c_7 S_R$$

$$f_3(F) = c_0 F_R + c_1 F_H$$

$$f_4(S) = c_2 S_{VFS} + c_3 S_R + c_4 S_R$$

$$f_5(HW, F, M_W, r_{seis}) = HW f_3(F) f_W(M_W) f_W(r_{seis})$$

که در آن:

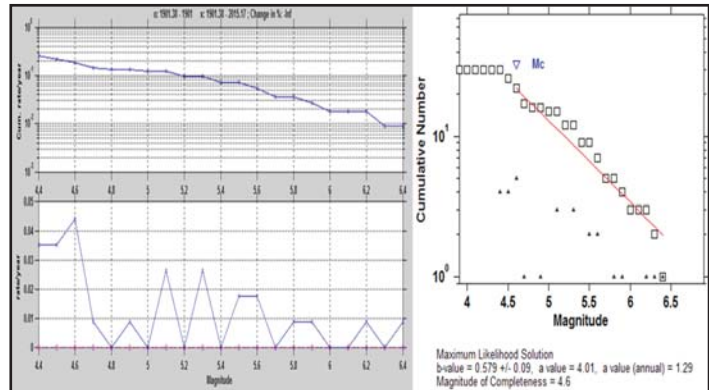
$$HW = \begin{cases} S_{VFS} + S_R & 0 \text{ for } r_{\beta} \geq 5km \\ + S_R & (5r_{\beta} / 5) \text{ otherwise } \ddot{a} > 0 \end{cases}$$

$$f_W(M_W) = \begin{cases} 0 & \text{for } M_W < 5.5 \\ M_W & \text{for } 5.5 \leq M_W \leq 6.5 \\ 1 & \text{for } M_W > 6.5 \end{cases}$$

$$f_W(r_{seis}) = \begin{cases} c_5 (r_{seis} / 8) & \text{for } r_{seis} < 8km \\ c_5 & \text{for } r_{seis} \geq 8km \end{cases}$$

که در رابطه بالا  $\gamma$  پارامتر مورد محاسبه هست که می‌تواند شتاب افقی تصحیح شده و نشده و همچنین شتاب قائم تصحیح شده و نشده باشد. سایر ضرایب نیز، به شرح زیر، می‌باشند:

بر اساس شکل (۱۴) الف) نمودار Rate تجمعی منطقه مورد مطالعه، Rate این منطقه برابر با ۰,۲۶ به دست می‌آید و با توجه به شکل (۱۴) ب) ذیل b-value برابر با ۰,۵۸ به دست می‌آید.



شکل ۱۴- الف: نمودار Rate تجمعی چشمه شماره ۳ ب: نمودار شیب خط گوتنبرگ و ریشتر چشمه شماره ۳

خلاصه پارامترهای لرزه‌خیزی به دست آمده از چشمه‌ها و منطقه، در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۲. پارامترهای لرزه‌خیزی

شرح	کل منطقه	چشمه شماره ۱	چشمه شماره ۲	چشمه شماره ۳	چشمه زمینه
Rate	۱,۸۱	۰,۵۶	۰,۷۲	۰,۲۶	۰,۲۷
B value	۰,۵۶	۰,۴۹	۰,۵۷	۰,۵۸	۰,۵۶
Beta	۱,۲۹	۱,۱۳	۱,۳۱	۱,۳۴	۱,۲۹
M c	۴,۶	۴,۶	۴,۴	۴,۶	۴,۶
M max	۷,۷	۸	۷,۸	۷,۷	۷,۷

یکی از عناصر کلیدی در برآورد احتمالی خطر در یک ساختگاه، روابط کاهندگی انتخابی است. بر اساس یافته‌های تحقیقاتی، انتخاب روابط کاهندگی، بیشترین عدم قطعیت نهایی در برآورد خطر در ساختگاه را رقم می‌زند. بنابراین برخورد مناسب با این عدم قطعیت که جنس آن از نوع عدم قطعیت ذاتی است، کاملاً ضروری است. در این پژوهش از روابط کاهندگی ذیل استفاده شده است:

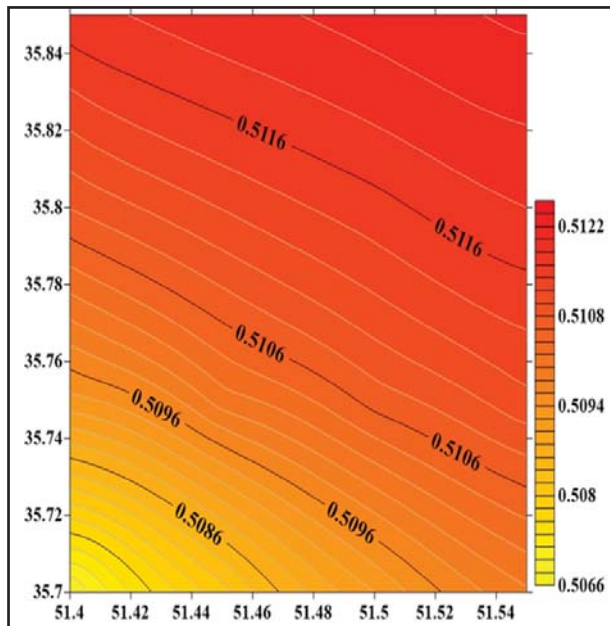
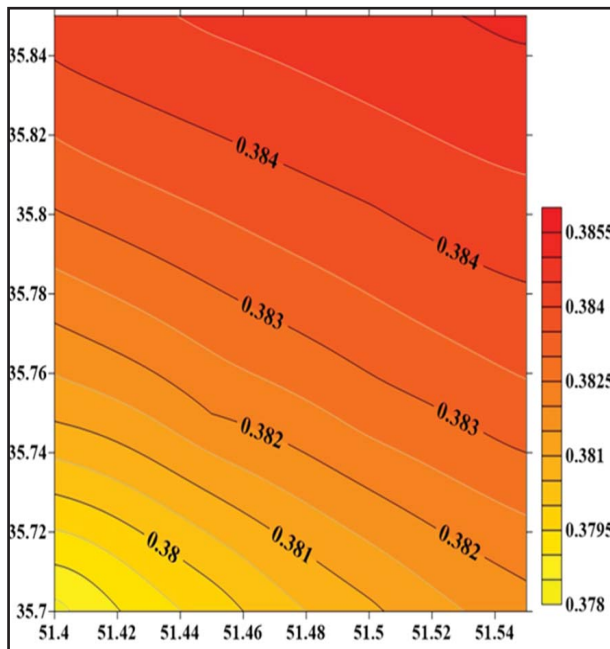
Abra-silva (1997) Rock USGS 2002

Boore-Joyner-Fumal (1997) USGS 2002

Campbell-Bozorgnia (2003) Rock USGS 2002



مستقیم استفاده می‌کند و کلیه سطح چشمه لرزه‌ای را به صورت شبکه‌بندی در محاسبات در نظر می‌گیرد. نتایج حاصل در اشکال ۱۵ و ۱۶ آمده است. با توجه به نتایج به دست آمده، در دوره بازگشت ۴۷۵ سال میزان شتاب مورد انتظار برابر با  $g_{0.38}$  می‌باشد.



شکل ۱۵. نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای برای دوره بازگشت الف: ۴۷۵ سال، ب: ۹۷۵ سال

### ضرایب رابطه کاهندگی بزرگ‌نیا

دسته بندی نوع خاک در رابطه کاهندگی بزرگ‌نیا از قرار زیر می‌باشد:

مؤلفه افقی شتاب تصحیح شده	$c_1=-2.896$	$c_2=0.812$	$c_3=0$	$c_4=-1.318$	$c_5=0.187$	$c_6=-0.029$
	$c_7=-0.064$	$c_8=0.616$	$c_9=0$	$c_{10}=0$	$c_{11}=0.179$	$c_{12}=0.307$
	$c_{13}=0$	$c_{14}=-0.062$	$c_{15}=-0.195$	$c_{17}=-0.320$	$\sigma=0.509$	
مؤلفه افقی شتاب تصحیح شده	$c_1=-4.033$	$c_2=0.812$	$c_3=0.036$	$c_4=-1.061$	$c_5=0.041$	$c_6=-0.005$
	$c_7=-0.018$	$c_8=0.766$	$c_9=0.034$	$c_{10}=0$	$c_{11}=0.343$	$c_{12}=0.351$
	$c_{13}=0$	$c_{14}=-0.123$	$c_{15}=-0.138$	$c_{16}=-0.289$	$\sigma=0.465$	
مؤلفه قائم شتاب تصحیح نشده	$c_1=-2.807$	$c_2=0.756$	$c_3=0$	$c_4=-1.391$	$c_5=0.191$	$c_6=0.044$
	$c_7=-0.014$	$c_8=0.544$	$c_9=0$	$c_{10}=0$	$c_{11}=0.091$	$c_{12}=0.223$
	$c_{13}=0$	$c_{14}=-0.096$	$c_{15}=-0.212$	$c_{16}=-0.199$	$\sigma=0.548$	
مؤلفه قائم شتاب تصحیح شده	$c_1=-3.108$	$c_2=0.756$	$c_3=0$	$c_4=-1.287$	$c_5=0.142$	$c_6=-0.046$
	$c_7=-0.040$	$c_8=0.587$	$c_9=0$	$c_{10}=0$	$c_{11}=0.253$	$c_{12}=0.173$
	$c_{13}=0$	$c_{14}=-0.135$	$c_{15}=-0.138$	$c_{19}=-0.256$	$\sigma=0.520$	

### ضرایب تأثیر سرعت موج برشی

دسته بندی مکانیزم گسلش در رابطه کاهندگی بزرگ‌نیا، به شرح زیر می‌باشد:

Holocene Soil (HS)	رسوبات	$V_{S30}=290$ m/s	$S_{HS}=1$	$S_{PS}=0$	$S_{SR}=0$	$S_{HR}=0$
Pleistocene Soil (PS)	رسوبات قدیمی تر	$V_{S30}=370$ m/s	$S_{HS}=0$	$S_{PS}=0$	$S_{SR}=1$	$S_{HR}=0$
Soft Rock (SR)	سنگ نرم	$V_{S30}=420$ m/s	$S_{HS}=0$	$S_{PS}=0$	$S_{SR}=1$	$S_{HR}=0$
Hard Rock (HR)	سنگ سخت	$V_{S30}=800$ m/s	$S_{HS}=0$	$S_{PS}=0$	$S_{SR}=0$	$S_{HR}=1$

### دسته‌بندی مکانیزم گسلش در رابطه کاهندگی بزرگ‌نیا

ضرایب به کار رفته در این رابطه را داگلاس (۲۰۰۴) شرح داده است.

گسل امتداد لغز	$F_{TH}=0$	$F_{SS}=1$	$F_{RV}=0$
گسل معکوس	$F_{TH}=0$	$F_{SS}=0$	$F_{RV}=1$
گسل نرمال	$F_{TH}=1$	$F_{SS}=0$	$F_{RV}=0$

برای محاسبه شتاب در سنگ بستر، از نرم‌افزار EZ-FRISK استفاده شده است. در برخی مطالعات از نرم‌افزارهای قابل دسترس برای عموم استفاده شده است، که همگی پیش از سال ۲۰۰۰ میلادی کد نویسی شده‌اند. این درحالی است که یکی از نقاط قوت این تحقیق، استفاده از یک نرم‌افزار جدید صنعتی می‌باشد که در سال ۲۰۰۹ کد نویسی شده است و نقاط ضعف نرم‌افزارهای قبلی را پوشش می‌دهد. به‌عنوان نمونه، پارامترهایی مانند عمق سائزموژنیک را در نظر گرفته است، از روابط کاهندگی به صورت

از زلزله بسیار مهم و ضروری است-، آن را مورد استفاده قرار داد. در شهرهای ساخته شده، ریز پهنه بندی جهت تهیه نقشه های مدیریت بحران نقش اساسی ایفا می نماید و در تعیین محل ساختمان های مدیریت بحران، اسکان موقت و... کاربرد اساسی دارد.

از کاربردهای دیگر ریز پهنه بندی، تنظیم اولویت در بهسازی بافت های فرسوده شهری با توجه به خطر پذیری هر منطقه است. با توجه به زلزله های احتمالی، بهسازی می بایست از مناطقی که خطر وقوع زلزله بیشتر باشد، شروع گردد.

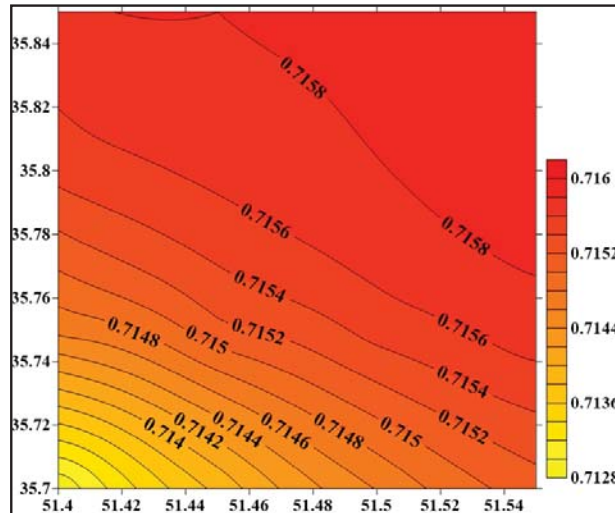
همانطور که گفته شد در این پژوهش برای محاسبه شتاب زمین در سنگ بستر از نرم افزار EZ-FRIS استفاده شده است و اطلاعاتی که برای استفاده از نرم افزار لازم می باشند:

۱. موقعیت و مکانیزم چشمه های منطقه
۲. عمق سائزموژنیک
۳. نرخ رخداد زلزله ها
۴. شیب خط گوتنبرگ - ریشر
۵. Mmax و Mmin چشمه ها
۶. موقعیت سایت
۷. احتمال رخداد در دوره های بازگشت مختلف
۸. روابط کاهندگی

لازم به ذکر است که در این تحقیق احتمال رخداد، ۲٪، ۵٪ و ۱۰٪ در ۵۰ سال در نظر گرفته شده است که معادل دوره های بازگشت ۲۴۷۵ سال، ۹۷۵ سال و ۴۷۵ سال می باشد، که با توجه به اطلاعات به دست آمده از منطقه مورد مطالعه، تحلیل خطر لرزه ای به روش احتمالاتی برای منطقه مورد نظر انجام گرفت (شکل ۱۰ و ۱۱). بیشینه شتاب مورد انتظار در مرکز سایت، برای دوره های بازگشت ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال به ترتیب برابر با ۰/۳۸، ۰/۵۱ و ۰/۷۱ g به دست آمد.

با توجه به وجود عدم قطعیت در ثبت مکان و بزرگی زلزله های رخ داده، همچنین عدم قطعیت در تعیین موقعیت دقیق و طول گسل ها (چشمه های لرزه ای)، در نظر گرفتن ضرایب اطمینان جهت تعیین دقیق مقدار شتاب مورد انتظار ضروری به نظر می رسد.

با توجه به نتایج مطالعات و خروجی نرم افزار EZ-FRIS، چشمه شماره دو ( $S_2$ ) خطرناک ترین چشمه برای این سایت می باشد.



شکل ۱۰. نقشه پهنه بندی خطر لرزه ای برای دوره بازگشت سال ۲۴۷۵

### نتیجه گیری

پس از رویداد هر زلزله ای، متخصصان موضوع و مسئولان هر کشور با فکر تکمیل کردن اطلاعات و به روز کردن آئین نامه های طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، تمام تلاش خود را به کار می گیرند. مهم ترین پارامتری که پس از هر زلزله مشخص می گردد، لرزه خیزی آن منطقه می باشد، که در تعیین نیروهای ناشی از زلزله برای طراحی ساختمان ها از پارامترهای تاثیرگذار به شمار می رود. علمی که توانایی تعیین این عامل مهم را دارا می باشد، با عنوان «تحلیل خطر زلزله» شناخته می شود. به کمک این علم، برای هر منطقه با توجه به داده های لرزه خیزی، گسل های فعال منطقه و روابط کاهندگی، پارامترهای مختلف جنبش زمین تعیین می گردد. بدیهی است آئین نامه های طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، تنها حداقل هایی را برای طراحی ارائه می نمایند و برای یک کشور در هر منطقه بصورت جزئی، شتاب مبنای طرح ارائه نمی گردد.

به تهیه شتاب مبنای طرح برای یک منطقه با وسعت محدود «ریز پهنه بندی» گفته می شود. از مهم ترین کاربردهای ریز پهنه بندی، تدوین برنامه ریزی های کلان شهرها می باشد. زیرا با تهیه ریز پهنه بندی، مناطق با احتمال خطر کم تر برای زلزله های احتمالی منطقه مشخص می گردند و می توان در برنامه ریزی شهری برای شهرهای در حال ساخت و یا توسعه در تعیین ساختگاه ساختمان های حساس و مهم (مانند: فرمانداری، بیمارستان، هلال احمر، مراکز امدادی و...) - که خدمت رسانی آنها در حین و پس



Berberian, M., «Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran», Vol. 1: Historical Hazards in Iran Prior to 1900, A UNESCO/IIIES Publication during UN/IDNDR, IIIES

Karimiparidari, S., Zare, M., Memarian, H., Kijko, A., (2013), «Iranian Earthquakes, A Uniform Catalog with Moment Magnitudes», *Journal of Seismology*, 17 (3), 897-911

Gutenberg, B., Richter, C.F., «Seismicity of the Earth and Associated Phenomena», Princeton University Press: Princeton - New York, 1954, pp 1-310.

Uhrhammer, R.A., (1986), «Characteristics of Northern and Central California Seismicity», *Earthquake Notes*, 57, 1-21.

Kijko, A. & Sellevoll, M. A., 1992, «Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part II. Incorporation of Magnitude Heterogeneity», *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 82 (1): 120-134.

Risk Engineering Inc., (2011) «EZ-FRISK 7.52», Fugro's Risk Engineering Group., Lakewood, CO.

Wyss, M., Wiemer, S., Zuniga, R., (2001) "Zmap - A Tool for Analyses of Seismicity Patterns Version 6.0", ETH Zurich, Zurich, Switzerland.

## منابع

امور نظام فنی، (۱۳۹۲)، "راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله نشریه ۶۲۶"، سازمان برنامه و بودجه (معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور)، تهران

معرب، یاسر (۱۳۹۵) ارزیابی تاب آوری کاربری اراضی شهری بر پایه رویکرد توسعه پایدار (نمونه موردی: منطقه یک شهرداری تهران)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

نهاد برنامه ریزی و توسعه شهری شهرداری تهران (۱۳۸۹) مطالعات و ساماندهی باغ‌ها و اراضی مزروعی تهران، مهندسین مشاور بافت شهر

Wang, Z., (2015), «Predicting or Forecasting Earthquakes and the Resulting Ground-Motion Hazards: A Dilemma for Earth Scientists», *Seismological Research Letters*, 86 (1), 1-5.

Campbell, K. W., Thenhaus, P. C., (2002), «Seismic Hazard Analysis», *Earthquake Engineering Handbook*; Ed. Chen W. F., Scawthorn C.: CRC Press, Chapter 8.

Ambraseys, N.N. & Melville, C.P., (1982) – a history of Persian earthquakes. Cambridge University press