

احتمال وقوع زلزله بر حسب بزرگا در تهران



حسین اخلاقی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله

akhlaghi_civilengineer@yahoo.com

چکیده

کلانشهر تهران به عنوان مرکز سیاسی، اقتصادی و اجتماعی ایران و به عنوان یکی از بزرگترین و پر جمعیت ترین کلانشهرهای دنیا با وسعت ۷۰۰ کیلومتر مربع و با جمعیتی در حدود ۱۰ میلیون نفر در روز و ۷ میلیون نفر در شب به علت قرار گرفتن در اطراف چین خوردگیها و گسلهای فعال و لرزه خیز از اهمیت ویژه ای از نظر زلزله و آسیب پذیری در برابر آن برخوردار است که وجود زمینلرزه های تاریخی و مشاهدات صحرایی گواه این مطلب میباشد. داده های آماری نشان میدهد که زلزله بزرگی در تهران خصوصا در یک قرن اخیر رخ نداده، که عدم رخداد زلزله ای بزرگ در امتداد گسلهای تهران، نشان از احتمال وقوع زمینلرزه (خطر زمینلرزه) با شدت بالایی در آینده نزدیک خواهد بود.

در این مقاله با توجه به وضعیت گسلها و زمینلرزه های گزارش شده تاریخی و ثبت شده دستگاهی رخ داده در تهران و اطراف آن، محدوده مطالعاتی تا شعاع ۲۰۰ کیلومتر انتخاب شده و سپس با استفاده از روابط احتمالاتی جهت تحلیل خطر زمینلرزه ای، نظیر برنامه کامپیوتری کیجکو ۲۰۰۰، ضریب لرزه خیزی، دوره بازگشت بزرگای زمینلرزه ای و در نهایت احتمال وقوع با خطر زمینلرزه ای شهر تهران بدست آمده است.

کلید واژه ها: احتمال دوره بازگشت زمینلرزه، ضریب لرزه خیزی، تهران

Abstract

This paper presents a probability of return period of earthquake in Tehran, the capital of Iran. Tehran is a densely populated metropolitan in which more than 10 million people live in day and 7 million people live at night. Many destructive earthquake happened in Iran in the last Centuries. It comes from historical references that at least 6 times, Tehran has been destroyed by catastrophic earthquakes. The oldest one happened in the 4th century BC.

A collected catalogue, containing both historical and instrumental events and covering the period from the 4th century BC to Jun 2005 is that used. The earthquake catalogue in a radius at 200 km has been gathered and processed, assuming that the earthquakes follow a poisson distribution. The seismic parameters, recurrence intervals, and the probability of the occurrence of earthquakes were calculated using the kijko method [2000]. This method was employed considering uncertainty in magnitude and incomplete earthquake catalogue.

Keywords : Probability of return period of earthquake; seismicity parameters; Tehran.

۱- مقدمه

کلانشهر تهران با وسعت ۷۰۰ کیلومتر مربع و با جمعیتی در حدود ۱۰ میلیون نفر در روز و ۷ میلیون نفر در شب و به عنوان مرکز سیاسی، اقتصادی و اجتماعی ایران به علت قرار گرفتن در اطراف چین خوردگیها و گسلهای فعال و لرزه خیز و با توجه به بافتهای فرسوده و تراکم جمعیتی آن از اهمیت ویژه ای از نظر زلزله و آسیب پذیری در برابر آن برخوردار است که وجود زمینلرزه های تاریخی و مشاهدات صحرایی گواه این مطلب میباشد. داده های آماری نشان میدهد که زلزله بزرگی در تهران خصوصاً در یک قرن اخیر رخ نداده، که عدم رخداد زلزله ای بزرگ در امتداد گسلهای تهران، نشان از احتمال وقوع زمینلرزه (خطر زمینلرزه) با شدت بالایی در آینده نزدیک خواهد بود.

تحقیقاتی در رابطه با بدست آوردن ضریب لرزه خیزی گستره تهران توسط محققین انجام گرفته که از جمله آنها میتوان به تحقیقات توکلی و غفوری آشتیانی [۱] که برای گستره تهران از داده های لرزه ای مربوط به دوره زمانی ۱۹۲۷ - ۱۹۹۵ استفاده شده است. همچنین در تحقیقات قدرتی امیری و همکاران [۲] جهت بدست آوردن ضریب لرزه خیزی گستره تهران از داده های لرزه ای مربوط به دوره زمانی تاریخی و دستگاهی تا سال ۲۰۰۰ میلادی استفاده شده است. در تمامی تحقیقات صورت گرفته، دوره بازگشت زلزله برای تهران بر حسب بزرگا و در دوره های زمانی مختلف بدست نیامده است. در این مقاله وضعیت گسلها و زمینلرزه های گزارش شده تاریخی و ثبت شده دستگاهی (تا نیمه اول سال ۲۰۰۵ میلادی) رخ داده در تهران و اطراف آن مشخص میشود که با توجه به اهمیت شهر تهران این بررسی تا شعاع ۲۰۰ کیلومتری انجام شده است سپس پس از مستقل کردن زمینلرزه ها از بعد زمانی و مکانی (حذف پس لرزه و پیش لرزه) توزیع فراوانی زمینلرزه ها را بدست آورده و با استفاده از روابط احتمالاتی جهت تحلیل خطر زمینلرزه ای، نظیر برنامه کامپیوتری کیجکو ۲۰۰۰، ضریب لرزه خیزی و احتمال دوره بازگشت و همچنین احتمال رویداد سالانه زمینلرزه ها با بزرگای متفاوت بدست آمده است.

۲- لرزه خیزی ایران

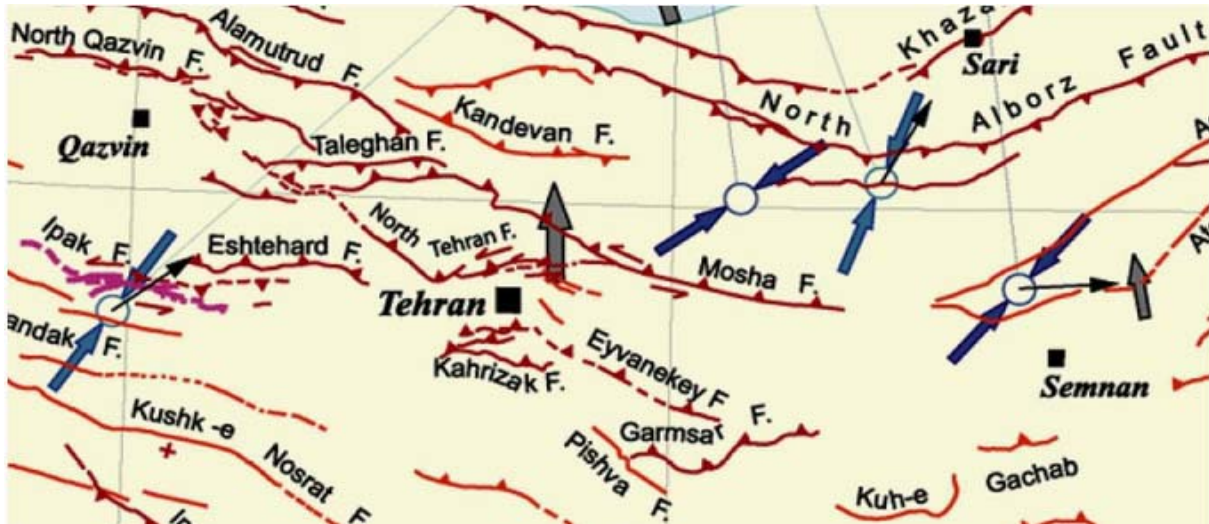
با توجه به قرار گرفتن سرزمین ایران در کمربند لرزه ای آلپ- هیمالیا که تقریباً ۱۵٪ زمینلرزه های جهان در این منطقه اتفاق می افتد، فشاری که از طرف صفحه عربستان به سرزمین ایران وارد میشود و وقوع زمینلرزه های بزرگ و میزان خسارات زیاد جانی و مالی ناشی از آنها، ایران را باید منطقه ای با پتانسیل لرزه خیزی بالایی دانست (جدول ۱).

جدول ۱: برخی از زمینلرزه های مخرب رویداده در سده اخیر در ایران [۱ و ۳ و ۴]

| شماره | تاریخ | منطقه | میزان خسارت | بزرگی |
|-------|-------|-------------------|-----------------------------------|-------|
| ۱ | ۱۲۸۸ | سیلاخور | ۸۰۰۰ نفر کشته، ۶۴ روستا تخریب | ۷/۴ |
| ۲ | ۱۳۰۹ | سلماس | ۲۵۱۴ نفر کشته، ۶۰ روستا تخریب | ۷/۴ |
| ۳ | ۱۳۳۹ | لار | ۴۰۰ نفر کشته، ۷۵٪ شهر تخریب | ۶/۷ |
| ۴ | ۱۳۴۱ | بوئین زهرا | ۱۰۰۰۰ نفر کشته، خسارات مخرب | ۷/۲ |
| ۵ | ۱۳۴۷ | دشت بیاض | ۱۰۵۰۰ نفر کشته، ۶۱ روستا تخریب | ۷/۴ |
| ۶ | ۱۳۵۱ | قیر | ۴۰۰۰ نفر کشته، خسارات بالا | ۶/۹ |
| ۷ | ۱۳۵۶ | خورگو | ۱۲۸ نفر کشته، خسارات اقتصادی بالا | ۷/۰ |
| ۸ | ۱۳۵۷ | طیس | ۱۹۶۰۰ نفر کشته، ۱۶ روستا تخریب | ۷/۷ |
| ۹ | ۱۳۵۸ | قائن | ۱۳۰ نفر کشته، خسارات مخرب | ۷/۱ |
| ۱۰ | ۱۳۶۰ | سیرج | ۱۳۰۰ نفر کشته، ۸۵٪ شهر تخریب | ۷/۱ |
| ۱۱ | ۱۳۶۹ | رود بار - منجیل | ۳۵۰۰۰ کشته، خسارات مخرب | ۷/۴ |
| ۱۲ | ۱۳۷۶ | بیرجد | بیش از ۱۵۰۰ نفر کشته | ۷/۳ |
| ۱۳ | ۱۳۸۱ | آوج | خسارات مخرب در شهر و روستاها | ۶/۶ |
| ۱۴ | ۱۳۸۲ | بم | ۴۱۰۰۰ نفر کشته، خسارات مخرب | ۶/۵ |
| ۱۵ | ۱۳۸۳ | فیروز آباد - کجور | بیش از ۲۰۰۰۰ لغزش زمین و ریزش کوه | ۶/۳ |
| ۱۶ | ۱۳۸۳ | زرنند | ۶۱۲ نفر کشته، ۱۰ روستا تخریب | ۶/۴ |

۳- لرزه خیزی تهران

کلانشهر تهران در موقعیت جغرافیایی $۵۱^{\circ} / ۱۳'$ تا $۵۱^{\circ} / ۳۶'$ طول خاوری و $۳۵^{\circ} / ۳۳'$ تا $۳۵^{\circ} / ۴۹'$ عرض شمالی در کوهپایه جنوبی البرز مرکزی که متشکل از یکسری چین خوردگیها و گسلها میباشد قرار گرفته است (شکل ۱) که طبق تقسیمات پهنه بندی خطر نسبی زلزله در ایران، تهران در منطقه با خطر نسبی بسیار زیاد میباشد [۵].



شکل ۱: نقشه گسلهای گستره مطالعاتی تهران [۶]

در محدوده مطالعاتی شهر تهران بیش از ۳۶ گسل اصلی و فرعی شناسایی شده که با توجه به ۳ عامل سابقه لرزه خیزی گسل، نزدیکی به حریم شهر تهران و طول گسل، در نهایت مطالعات لرزه خیزی بر روی ۱۳ گسل انجام شده است (جدول ۲).

جدول ۲: مشخصات گسلهای فعال گستره تهران [۶ و ۷]

| بزرگای Ms | طول گسل (کیلومتر) | | سوابق لرزه ای | سازوکار گسل | گسل | شماره |
|-----------|-------------------|------|---------------|---------------------------|------------|-------|
| | مؤثر | کلی | | | | |
| ۷/۷ | ۱۴۰ | ۴۰۰ | ۹ مرتبه | فشاری و معکوس | مشاء | ۱ |
| ۶/۹ | ۳۷/۵ | ۷۵ | ۳ مرتبه | فشاری - امتداد لغز چپ گرد | شمال تهران | ۲ |
| ۶/۰ | ۶/۵ | ۱۳ | ندارد | فشاری و معکوس | نیاوران | ۳ |
| ۶/۱ | ۸/۵ | ۱۷ | ۳ مرتبه | فشاری و معکوس | شمال ری | ۴ |
| ۶/۲ | ۹/۲۵ | ۱۸/۵ | ۳ مرتبه | فشاری و معکوس | جنوب ری | ۵ |
| ۶/۶ | ۲۰ | ۴۰ | ۳ مرتبه | فشاری و معکوس | کهریزک | ۶ |
| ۶/۹ | ۳۵ | ۷۰ | ۳ مرتبه | فشاری و معکوس | گرمسار | ۷ |
| ۶/۵ | ۱۷ | ۳۴ | ۱ مرتبه | - | پیشوا | ۸ |
| ۶/۲ | ۸/۷۵ | ۱۷/۵ | ۱ مرتبه | فشاری و معکوس | پارچین | ۹ |
| ۶/۸ | ۳۰/۷۵ | ۶۱/۵ | ۱ مرتبه | فشاری و معکوس | اشتهارد | ۱۰ |
| ۶/۸ | ۳۰ | ۶۰ | ۲ مرتبه | فشاری و معکوس | طالقان | ۱۱ |
| ۶/۷ | ۲۶ | ۵۲ | ۳ مرتبه | فشاری و معکوس | ایوانکی | ۱۲ |
| ۶/۰ | ۶/۵ | ۱۳ | ندارد | امتداد لغز راست گرد | تلوپایین | ۱۳ |

در ضمن رابطه بیشینه بزرگای حاصل از طول مؤثر (طول گسیختگی) گسل، در بخش ۳ آمده است. همچنین تعداد ۲۲ زمینلرزه گزارش شده تاریخی و بیش از ۳۳۰ زمینلرزه ثبت شده دستگاهی با بزرگای بیش از ۴ ریشتر تا خرداد ۱۳۸۴ در محدوده مطالعاتی تهران جمع آوری شده که از خصوصیات منطقه البرز مرکزی طبق داده های زمینلرزه ای،

دارای آهنگ لرزه خیزی کم ولی با شدت زیاد میباشد [۲].
 بعضی از زمینلرزه های گزارش شده تاریخی و ثبت شده دستگاهی رخ داده در محدوده مطالعاتی تهران همراه با گسلهای مسبب آن، که در کلانشهر تهران اثر مخربی ایجاد کرده و یا قابل احساس بودند در جدول ۲ آمده است .

جدول ۳: برخی از زمینلرزه های تاریخی و دستگاهی رخ داده در گستره تهران [۷و۴]

| تاریخ | بزرگی | منطقه | گسله مسبب |
|------------------------|-------|----------------------|-----------------------|
| ۴۰۰ سال پیش از میلاد | ۷/۶ | ری - ایوانکی | پارچین و ری و کهربیزک |
| بهار ۱۲۲ خورشیدی | ۷/۲ | شرق شهر ری | گرمسار |
| ۲۳۴ خورشیدی | ۷/۱ | شهر ری | ری و کهربیزک |
| زمستان ۲۴۲ خورشیدی | ۵/۳ | کرج | شمال تهران |
| زمستان ۳۲۷ خورشیدی | ۷/۷ | ری - طالقان - شمیران | مشاء و شمال تهران |
| زمستان ۴۹۸ خورشیدی | ۶/۵ | بوئین زهرا | ایپک |
| بهار ۵۵۶ خورشیدی | ۷/۲ | ری - کرج - قزوین | شمال تهران |
| بهار ۹۸۷ خورشیدی | ۷/۶ | معلم کلايه | الموت |
| ۱۰۴۴ خورشیدی | ۶/۵ | دماوند | مشاء |
| ۱۲۰۴ خورشیدی | ۶/۷ | هراز | شمال البرز |
| بهار ۱۲۰۹ خورشیدی | ۷/۱ | دماوند - شمیران | مشاء |
| تایستان ۱۲۴۸ خورشیدی | ۶/۴ | دشت کویر | - |
| پاییز ۱۲۵۵ خورشیدی | ۵/۷ | بوئین زهرا | ایپک |
| ۱۰ شهریور ۱۳۴۱ خورشیدی | ۷/۲ | بوئین زهرا | ایپک |
| ۹ تیر ۱۳۵۲ خورشیدی | ۵/۰ | ورامین - ایوانکی | مشاء |
| خرداد ۱۳۶۹ خورشیدی | ۷/۴ | رودبار - منجیل | رودبار |
| ۱۴ آبان ۱۳۷۶ خورشیدی | ۴/۷ | ورامین | - |
| ۸ خرداد ۱۳۸۳ خورشیدی | ۶/۳ | فیروز آباد - کجور | شمال البرز |

۴- رابطه بین بیشینه بزرگای و طول گسیختگی گسل

در رابطه با بیشینه بزرگای زمینلرزه و طول گسل مسبب، توابع گوناگونی وجود دارد . در این مقاله از رابطه ای که برای بیشینه بزرگای زمینلرزه حاصل از طول مؤثر گسلهای ایران بدست آمده است (۱) استفاده شده است :

$$M = 1.259 + 1.24 \text{ Log}(L) \quad (1)$$

که L طول گسیختگی گسل بر حسب درصدی از طول کل گسل میباشد که در ایران طول گسیختگی معمولاً بین ۳۰ تا ۵۰ درصد طول گسل میباشد [۸].

۵- پارامترهای لرزه خیزی تهران

با توجه به اطلاعات لرزه ای جمع آوری شده از شعاع ۲۰۰ کیلومتری تهران و اصلاح داده های لرزه ای (حذف پس لرزه ها و پیش لرزه ها) و به کارگیری روشهای آماری مناسب، میتوان به لرزه خیزی و زمان دوره بازگشت وقوع زلزله در شهر تهران پی برد.

۵-۱- داده های زمینلرزه

بعد از اینکه اطلاعات زمینلرزه های تاریخی (تا سال ۱۹۰۰ میلادی) از منابع گوناگون جمع آوری و مقایسه شد [۹]، جهت بدست آوردن اطلاعات مربوط به رخداد زمینلرزه های دستگاهی (۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵) گستره تهران از منابع معتبر بین المللی که در پیوست کاتالوگ زمینلرزه آمده است، استفاده شده است .

در کل تعداد ۲۲ زمینلرزه تاریخی و بیش از ۳۳۰ زمینلرزه دستگاهی با بزرگای بیش از ۴ ریشتر تا سال ۱۳۸۴ ثبت شده

است که از این تعداد، ۷۰ مورد آن مربوط به زمینلرزه های قبل از سال ۱۹۶۴ میلادی میباشد که با دستگاههای آنالوگ ثبت شده اند. با توسعه شبکه لرزه نگاری در سال ۱۹۶۴ و قابلیت بالای دستگاه های دیجیتالی، میزان دقت و تعداد زمینلرزه های ثبت شده بیشتر شده است.

از جمله نواقص داده های زمینلرزه ای، مربوط به دو دوره تاریخی سال ۴۰۰ قبل از میلاد تا سال ۱۲۲ خورشیدی و سال ۵۵۶ تا سال ۹۸۷ خورشیدی (جدول ۲) و یک دوره دستگاهی از سال ۱۹۰۱ تا سال ۱۹۲۷ میلادی میباشد. بعد از جمع آوری داده های لرزه ای، آنها را بر اساس مقیاس بزرگی زلزله Ms رده بندی میکنیم، بدین صورت که بزرگی با مقیاس (mb و MI) را به مقیاس امواج سطحی (Ms) تبدیل میکنیم [۲]. سپس میبایستی زلزله های اصلی را از پس لرزه ها و پیش لرزه ها به نحوی جدا کرد تا فرایند احتمالاتی توزیع پوآسونی زلزله ها حفظ شوند که برای حذف پس لرزه ها و پیش لرزه ها از روش پنجره زمانی و مکانی استفاده شده است [۱۰].

۲-۵- بزرگی و فراوانی زمینلرزه ها

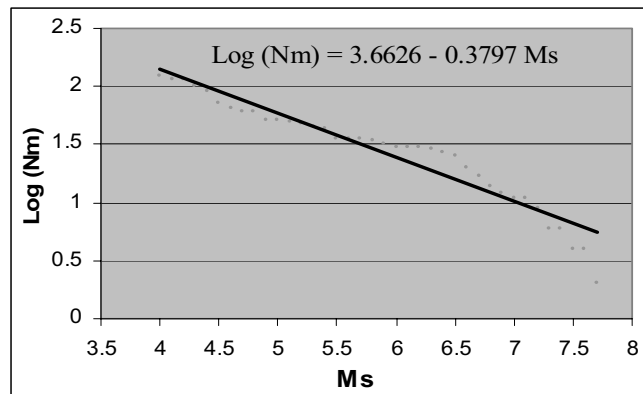
روشهای آماری مختلفی جهت تخمین لرزه خیزی وجود دارد که یکی از مهمترین آنها روش حداقل مربعات گوتنبرگ - ریشتر میباشد (۲). این روش رابطه ای خطی بین فراوانی و بزرگی ایجاد میکند (شکل ۲ و جدول ۳).

$$\text{Log } N(m) = a - b M \quad (2)$$

در این در معادله، $N(m)$ تعداد متوسط زمینلرزه ها با بزرگی M یا بیشتر در یک دوره زمانی مشخص، b ضریب لرزه خیزی (تغییر نسبت فراوانی زمینلرزه های بزرگتر و کوچکتر) و a تعداد رویدادهای بزرگتر از M_{\min} میباشد [۱۱].

جدول ۴: مقادیر بدست آمده آماری زلزله ها

| بزرگی گروهی M > | فراوانی تجمعی N (m) |
|--------------------|------------------------|
| ۴/۰ | ۱۲۵ |
| ۴/۵ | ۷۲ |
| ۵/۰ | ۵۱ |
| ۵/۵ | ۳۶ |
| ۶/۰ | ۳۰ |
| ۶/۵ | ۲۵ |
| ۷/۰ | ۱۱ |
| ۷/۵ | ۴ |



شکل ۲: رابطه خطی بین فراوانی و بزرگی

۳-۵- روش تخمین احتمال بیشینه، کیجکو ۲۰۰۰

در این روش دوره زمانی زمینلرزه ها را میتوان متغیر در نظر گرفت. بدین صورت که کاتالوگ زمینلرزه، به سه دوره زمانی تاریخی (قبل از ۱۹۰۰)، دستگاهی نوع اول (۱۹۰۰-۱۹۶۴) و دستگاهی نوع دوم (۱۹۶۴ به بعد) تفکیک میشود.

از خصوصیات این روش میتوان موارد زیر را نام برد [۱۲]:

۱. استفاده از توزیع نمایی دو کراندار گوتنبرگ - ریشتر برای زمینلرزه های ثبت شده دستگاهی
 ۲. استفاده از توزیع بزرگترین مقادیر برای لیستهایی که فقط شامل رویدادهای بزرگ هستند (زمینلرزه های تاریخی)
 ۳. استفاده همزمان از لیست زمینلرزه ای تاریخی و دستگاهی جهت برآورد پارامترهای لرزه خیزی
 ۴. احتساب عدم ثبت زمینلرزه ها در یک بازه زمانی خاص
 ۵. احتساب خطای بزرگی زمینلرزه ها با توزیع نرمال
- بخاطر دوره زمانی کوتاه زمینلرزه های ثبت شده دستگاهی (۱۹۲۷-۲۰۰۵) و وجود زمینلرزه های دوره تاریخی با بزرگی بالا،

از روش ترکیب هر دو دوره زمانی، جهت برآورد ضریب لرزه خیزی منطقه استفاده شده است (جدول ۴).

جدول ۵: نتایج خروجی برنامه کامپیوتری کیجکو ۲۰۰۰ برای شهر تهران

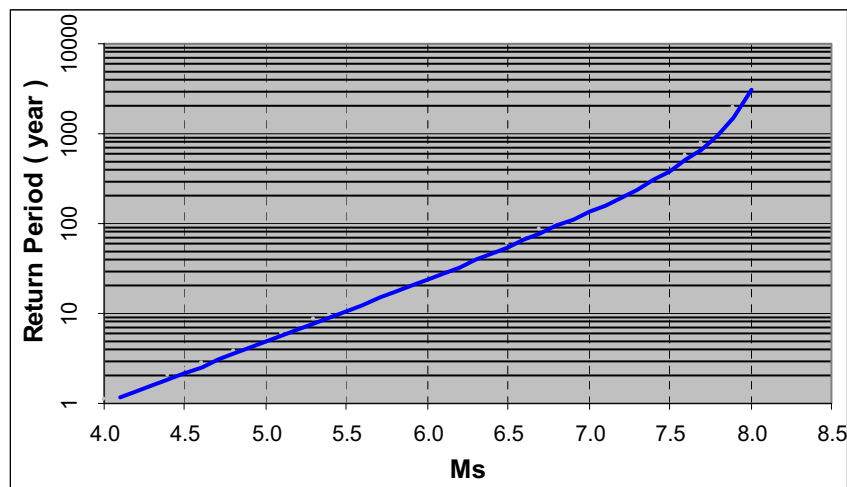
| Catalogue | Parameter | Value | Data Contribution to the Parameters (%) | | |
|--------------------------------|-----------|-------|---|------------|------------|
| | | | Period # 1 | Period # 2 | Period # 3 |
| Historical & 20th Century Data | b | 0.68 | 55.1 | 19.7 | 25.2 |
| | Lambda | 0.93 | 17.6 | 20.9 | 61.5 |

۶- احتمال وقوع زلزله بر حسب بزرگای در تهران

نتایج خروجی برنامه کامپیوتری کیجکو ۲۰۰۰، جهت بدست آوردن احتمال رویداد زمینلرزه، در بازه زمانی ۵۰، ۳۰، ۱۰ و ۷۵ ساله میباشد (جدول ۵).

جدول ۶: احتمال وقوع زلزله و دوره بازگشت آن بر حسب بزرگای در تهران

| بزرگای زلزله (Ms) | احتمال وقوع زلزله (بر حسب درصد) | | | | دوره بازگشت زلزله |
|-------------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| | در ۱ سال | در ۳۰ سال | در ۵۰ سال | در ۷۵ سال | |
| ۴/۰ | ۹۲ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱/۱ |
| ۴/۵ | ۴۲ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۲/۴ |
| ۵/۰ | ۱۹ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۵/۲ |
| ۵/۵ | ۸/۶ | ۹۲/۵ | ۹۸/۷ | ۱۰۰ | ۱۱/۶ |
| ۶/۰ | ۳/۹ | ۶۸/۶ | ۸۵/۵ | ۹۴/۵ | ۲۵/۹ |
| ۶/۵ | ۱/۷ | ۳۹/۵ | ۵۶/۸ | ۷۱/۶ | ۵۹/۶ |
| ۶/۸ | ۰/۹۹ | ۲۵/۷ | ۳۹/۱ | ۵۲/۴ | ۱۰۱ |
| ۷/۰ | ۰/۶۸ | ۱۸/۵ | ۲۹ | ۴۰ | ۱۴۶ |
| ۷/۳ | ۰/۳۷ | ۱۰/۵ | ۱۷ | ۲۴/۲ | ۲۷۰ |
| ۷/۵ | ۰/۲۳ | ۶/۷ | ۱۰/۸ | ۱۵/۸ | ۴۳۶ |
| ۷/۸ | ۰/۰۸۷ | ۲/۵۷ | ۴/۲ | ۶/۳ | ۱۱۵۲ |
| ۸/۰ | ۰/۰۲۳ | ۰/۷ | ۱/۱ | ۱/۷ | ۴۳۷۹ |



شکل ۳: نمودار دوره بازگشت زلزله بر حسب بزرگای در تهران

۷- دوره بازگشت زلزله

برای رابطه بین دوره بازگشت و احتمال وقوع زلزله، از تابع توزیع احتمالاتی نمایی استفاده میشود [۱۳].

$$P(n>1, t) = 1 - e^{-t/T} \quad (3)$$

که t برابر عمر مفید سازه یا زمان وقوع و T برابر دوره بازگشت زلزله بزرگتر یا مساوی M از آمار گذشته میباشد. بنابراین این احتمال وقوع زلزله نمی تواند صفر درصد شود.

$$P(n>1, t) = 1 - e^{-t/T} = 0 \longrightarrow t/T = 0 \longrightarrow T = \infty$$

لذا در آیین نامه ها یک حداقل احتمال رخداد زلزله را در نظر می گیرند که در آیین نامه ۲۸۰۰، زلزله طراحی DBE، برابر با ۱۰٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال و معادل دوره بازگشت ۴۷۵ سال میباشد [۱۴]، که برای شهر تهران زلزله ای با بزرگای ۷/۵

$$10\% = 1 - e^{-50/T} \longrightarrow T = 475$$

ریشتر می باشد (جدول ۵ و شکل ۳).

۸- نتیجه گیری

اهم نتایج عبارتند از:

- با توجه به ناکافی بودن زمینلرزه های ثبت شده دستگامی از لحاظ تعداد، دوره زمانی کوتاه و بزرگای آنها و همچنین بزرگای قابل توجه زمینلرزه های گزارش شده تاریخی (پیوست)، جهت بدست آوردن ضریب لرزه خیزی شهر تهران، از درصد مشارکت بیشتری (حدود ۵۵٪) برای زمینلرزه های تاریخی استفاده شده است (جدول ۴).
- بی هنجاری در سرشتی لرزه ای منطقه میتواند نشانه ای از در پیش بودن زمینلرزه ای قوی باشد که این بی هنجاریها میتوانند بصورت وقفه های لرزه ای، تغییر در مقدار ضریب لرزه خیزی منطقه و غیره باشند از آن جمله میتوان به تغییرات زیاد ضریب لرزه خیزی منطقه پیش از زمین لرزه ۱۹۷۶ تانگ شان چین با بزرگی ۷/۳ اشاره کرد [۱۱] بنابراین لازم میگردد که به طور مرتب و با شرایط یکسان، هر ساله تحقیقاتی بر روی ضریب لرزه خیزی مناطق با خطر نسبی لرزه ای بالا انجام گردد.

۹- پیوست

زمینلرزه های رخ داده در گستره مطالعاتی تهران

| NO | DATE | ORIGIN | LAT-N | LONG-E | DEPTH | mb | Ms | ML | REF. | REMARK |
|----|------------|----------|-------|--------|-------|-----|-----|----|--------|---------|
| 1 | 400 th BC | | 35.50 | 51.80 | | | 7.6 | | AMB | |
| 2 | 743 | | 35.30 | 52.20 | | | 7.2 | | AMB | |
| 3 | 855 | | 35.60 | 51.50 | | | 7.1 | | AMB | |
| 4 | 864/01 | | 35.70 | 51.00 | | | 5.3 | | AMB | |
| 5 | 958/02/23 | | 36.00 | 51.10 | | | 7.7 | | AMB | |
| 6 | 1119/12/10 | 18:00:00 | 35.70 | 49.90 | | | 6.5 | | AMB | |
| 7 | 1127 | | 36.30 | 53.60 | | | 6.8 | | AMB | |
| 8 | 1177/05 | | 35.70 | 50.70 | | | 7.2 | | AMB | |
| 9 | 1301 | | 36.10 | 53.20 | | | 6.7 | | AMB | |
| 10 | 1485/08/15 | 18:00:00 | 36.70 | 50.50 | | | 7.2 | | AMB | |
| 11 | 1495 | | 34.50 | 50.00 | | | 5.9 | | AMB | |
| 12 | 1608/04/20 | 12:00:00 | 36.40 | 50.50 | | | 7.6 | | AMB | |
| 13 | 1665 | | 35.70 | 52.10 | | | 6.5 | | AMB | |
| 14 | 1678/02/03 | 06:00:00 | 37.20 | 50.00 | | | 6.5 | | AMB | |
| 15 | 1687 | | 36.30 | 52.60 | | | 6.5 | | AMB | |
| 16 | 1755/06/07 | | 34.00 | 51.40 | | | 5.9 | | AMB | |
| 17 | 1778/12/15 | | 34.00 | 51.30 | | | 6.2 | | AMB | |
| 18 | 1809 | 12:00:00 | 36.30 | 52.50 | | | 6.5 | | AMB | |
| 19 | 1825 | | 36.10 | 52.60 | | | 6.7 | | AMB | |
| 20 | 1830/03/27 | 12:00:00 | 35.70 | 52.50 | | | 7.1 | | AMB | |
| 21 | 1868/08/01 | 20:00:00 | 34.90 | 52.50 | | | 6.4 | | AMB | |
| 22 | 1876/10/20 | 15:00:00 | 35.80 | 49.80 | | | 5.7 | | AMB | |
| 23 | 1901/05/20 | 12:29:00 | 36.39 | 50.48 | | | 5.4 | | AMB | |
| 24 | 1927/07/22 | 3:54:54 | 34.70 | 54.00 | | 6.5 | | | ISS | RESHM |
| 25 | 1929/07/15 | 7:44:07 | 33.70 | 49.40 | | 6.5 | | | ISS | LONDEH |
| 26 | 1930/10/02 | 15:33:12 | 35.78 | 51.96 | 33 | 5.5 | | | BER, M | MOBARAK |
| 27 | 1935/04/11 | 23:14:49 | 36.30 | 53.50 | | 6.7 | | | ISS | |
| 28 | 1935/04/13 | 2:29:07 | 34.80 | 52.20 | | 5.0 | | | ISS | |
| 29 | 1937/04/07 | 18:30:59 | 34.80 | 52.10 | | 5.5 | | | ISS | |
| 30 | 1940/09/25 | 19:31:20 | 36.40 | 52.10 | | 5.5 | | | ISS | |
| 31 | 1945/05/11 | 20:17:28 | 34.80 | 52.10 | | 4.7 | | | ISS | GARMSAR |
| 32 | 1948/06/17 | 14:08:22 | 36.50 | 49.00 | | 5.2 | | | ISS | |
| 33 | 1951/04/22 | 6:32:41 | 34.80 | 52.10 | | 5.0 | | | ISS | |
| 34 | 1951/11/13 | 14: 1:47 | 36.10 | 52.50 | | 4.5 | | | ISS | |

زمینلرزه های رخ داده در گستره مطالعاتی تهران (ادامه)

| NO | DATE | ORIGIN | LAT-N | LONG-E | DEPTH | mb | Ms | ML | REF. | REMARK |
|-----|------------|----------|-------|--------|-------|-----|-----|-----|-------|-----------------|
| 35 | 1952/07/18 | 0:43:51 | 37.50 | 50.10 | | 4.7 | | | ISS | |
| 36 | 1954/09/02 | 22:47:00 | 35.30 | 52.00 | | 4.5 | | | CCP | |
| 37 | 1956/04/12 | 22:34:46 | 37.30 | 50.20 | | 5.5 | | | ISS | |
| 38 | 1957/03/16 | 0:43:42 | 34.90 | 52.90 | | 5.5 | | | ISS | |
| 39 | 1957/05/06 | 15: 6:51 | 36.46 | 51.51 | | 5.5 | | | ISS | |
| 40 | 1957/07/02 | 0:42:22 | 37.00 | 52.50 | | 7.4 | | | BCIS | SANGCHAL |
| 41 | 1957/07/02 | 1:16:54 | 36.00 | 53.00 | | 4.5 | | | BCIS | |
| 42 | 1958/10/06 | 9:30:00 | 36.50 | 54.00 | | | | 5.2 | CCP | |
| 43 | 1959/03/08 | 14:48:50 | 36.00 | 53.00 | | 5.0 | | | NEIC | |
| 44 | 1959/05/01 | 8:24:03 | 36.45 | 51.23 | 44 | 5.7 | | | ISS | |
| 45 | 1960/06/23 | 3:37:42 | 37.00 | 49.50 | | | | 6.5 | FS | |
| 46 | 1962/09/01 | 19:20:40 | 35.58 | 49.88 | 29 | 7.2 | | | ISS | BUIIN-ZAHRA |
| 47 | 1962/09/29 | 19:23:22 | 36.00 | 53.30 | | 4.5 | | | MOS | |
| 48 | 1963/12/21 | 4:50:39 | 33.80 | 51.50 | 51 | 4.5 | | | NEIC | |
| 49 | 1964/02/08 | 6:28:27 | 37.10 | 51.04 | 40 | 4.6 | | | ISC | |
| 50 | 1966/10/03 | 17:05:08 | 35.80 | 53.44 | 14 | 4.9 | | | ISC | |
| 51 | 1966/11/08 | 3:14:12 | 36.10 | 50.74 | 41 | 4.8 | | | ISC | |
| 52 | 1967/08/25 | 12:26:50 | 35.58 | 49.33 | 55 | 4.7 | | | ISC | |
| 53 | 1967/11/10 | 2:50:52 | 36.00 | 53.89 | 5 | 4.9 | | | ISC | |
| 54 | 1968/04/26 | 2:58:22 | 35.10 | 50.20 | 21 | 5.3 | | | NEIC | |
| 55 | 1968/07/29 | 16:03:43 | 36.72 | 53.85 | 14 | 4.8 | | | ISC | |
| 56 | 1968/08/02 | 3:59:27 | 36.85 | 49.33 | 36 | 4.7 | | | ISC | |
| 57 | 1968/12/12 | 18:54:47 | 35.80 | 53.49 | 27 | 4.9 | | | ISC | |
| 58 | 1970/06/27 | 07:57:53 | 35.20 | 50.70 | 14 | 4.9 | | | NEIC | MAMUNIYEH |
| 59 | 1971/04/30 | 09:06:16 | 34.60 | 50.30 | 42 | 4.7 | | | NEIC | |
| 60 | 1971/08/09 | 2:54:36 | 36.20 | 52.70 | 27 | 5.2 | | | NEIC | BABUL-KENA |
| 61 | 1972/01/30 | 09:06:17 | 34.68 | 50.33 | 38 | 4.7 | | | ISC | |
| 62 | 1972/08/08 | 00:44:55 | 36.30 | 52.60 | 47 | 4.7 | | | NEIC | |
| 63 | 1973/02/15 | 15:13:09 | 36.90 | 53.30 | | 4.5 | | | ISC | |
| 64 | 1973/09/17 | 04:06:03 | 36.59 | 51.19 | 40 | 4.7 | | | ISC | |
| 65 | 1974/11/05 | 20:02:22 | 36.29 | 53.01 | 40 | 4.6 | | | ISC | |
| 66 | 1975/04/11 | 14:26:44 | 35.50 | 50.20 | 50 | 4.7 | | | ISC | |
| 67 | 1975/11/06 | 4:09:31 | 35.89 | 53.03 | 30 | 4.7 | | | NEIS | |
| 68 | 1977/04/06 | 13:37:00 | 34.00 | 50.00 | | | | 6.2 | HFSI | |
| 69 | 1977/05/25 | 11:01:45 | 34.89 | 52.06 | 26 | 5.4 | 4.3 | | NEIC | |
| 70 | 1978/05/26 | 13:42:51 | 37.00 | 50.00 | | 6.3 | | | HFSI | |
| 71 | 1978/11/03 | 18:52:59 | 37.00 | 51.00 | | 5 | | | HFS | |
| 72 | 1978/11/04 | 15:21:41 | 34.00 | 51.00 | | 6.6 | | | HFS | |
| 73 | 1979/03/18 | 05:19:51 | 36.49 | 52.64 | 33 | 4.5 | | | NEIC | |
| 74 | 1979/03/25 | 02:32:22 | 34.92 | 52.51 | 48 | 4.6 | 3.9 | | ISC | |
| 75 | 1980/07/22 | 05:17:10 | 37.19 | 50.20 | 62 | 5.4 | | | NEIC | |
| 76 | 1980/12/19 | 1:16:56 | 34.59 | 50.65 | 33 | 5.6 | 5.8 | | NEIC | |
| 77 | 1982/07/05 | 15:54:24 | 34.63 | 51.02 | 33 | 4.4 | | | NEIC | |
| 78 | 1982/10/25 | 16:54:51 | 35.21 | 52.36 | 33 | 4.6 | 5.4 | | NEIC | |
| 79 | 1983/03/26 | 4: 7:19 | 35.96 | 52.23 | 33 | 5.4 | 4.7 | | NEIC | |
| 80 | 1983/12/20 | 22:21:05 | 36.80 | 50.79 | 42 | 4.8 | | | NEIC | |
| 81 | 1985/02/11 | 09:26:46 | 34.56 | 50.68 | 51 | 4.7 | | | USCGS | |
| 82 | 1985/07/08 | 17:02:36 | 36.11 | 53.78 | 33 | 4.7 | | | USCGS | |
| 83 | 1985/10/14 | 15:28:31 | 35.63 | 52.70 | 10 | 4.7 | 4.3 | | ISC | |
| 84 | 1986/03/26 | 15:18:09 | 35.86 | 53.69 | 33 | 4.6 | | | NEIC | |
| 85 | 1987/11/25 | 2:09:38 | 35.70 | 53.07 | 33 | 4.4 | | | ISC | |
| 86 | 1988/01/14 | 11:29:20 | 36.01 | 50.60 | 33 | 4.6 | | | NEIC | |
| 87 | 1988/03/01 | 1:02:02 | 34.49 | 50.82 | 15 | 4.5 | | | ISC | QOM |
| 88 | 1988/08/22 | 21:23:34 | 35.28 | 52.35 | 18 | 5.0 | 4.7 | | NEIC | GARMSAR |
| 89 | 1988/10/26 | 14:49:24 | 35.34 | 52.35 | 33 | 4.7 | | | NEIC | GARMSAR |
| 90 | 1988/12/03 | 18:40:54 | 34.50 | 53.09 | 33 | 4.7 | | | NEIC | GARMSAR |
| 91 | 1989/02/15 | 10:10:08 | 37.29 | 50.30 | 53 | 4.6 | | | NEIC | |
| 92 | 1990/01/20 | 1:27:00 | 35.89 | 53.00 | 25 | 5.5 | 5.8 | | ISC | FIRUZ-KOH & THE |
| 93 | 1990/06/20 | 2:10:01 | 36.99 | 49.35 | 10 | 6.2 | 7.4 | | ISC | MANGIL & RUDBAR |
| 94 | 1991/01/22 | 12:04:25 | 35.44 | 52.32 | 33 | 4.5 | | | ISC | |
| 95 | 1991/08/23 | 22:14:21 | 35.99 | 53.27 | 42 | 5 | 4.5 | | ISC | SEM NAN |
| 96 | 1991/09/08 | 4:20:34 | 35.47 | 53.35 | 54 | 4.4 | | | ISC | SEM NAN |
| 97 | 1992/09/22 | 14:05:55 | 36.30 | 52.65 | 33 | 5 | 4.5 | | NEIC | FIRUZ-KOH |
| 98 | 1993/03/08 | 19:13:24 | 36.50 | 51.02 | 7 | 4.4 | | | ISC | |
| 99 | 1993/06/09 | 17:33:37 | 34.76 | 53.28 | 30 | 5 | | | NEIC | |
| 100 | 1993/06/30 | 23:05:38 | 35.22 | 53.56 | 8 | 4.6 | 4.3 | | ISC | |
| 101 | 1993/08/19 | 10:04:34 | 35.21 | 52.15 | 60 | 4.6 | | | ISC | |
| 102 | 1993/10/18 | 01:28:24 | 36.55 | 53.77 | 33 | 4.5 | | | ISC | |
| 103 | 1994/11/21 | 18:55:16 | 35.90 | 51.88 | 33 | 4.5 | | | NEIC | |
| 104 | 1995/04/26 | 11:46:12 | 37.05 | 49.53 | 33 | 4.8 | | | NEIC | |
| 105 | 1995/06/26 | 21:12:56 | 36.56 | 51.20 | 33 | | 4.2 | | NEIC | |
| 106 | 1995/10/15 | 06:56:34 | 37.06 | 49.48 | 33 | 4.9 | | | NEIC | |
| 107 | 1996/08/25 | 17:08:2 | 35.96 | 52.95 | 33 | 4.4 | | | NEIC | |
| 108 | 1997/06/07 | 20:29:48 | 36.41 | 50.28 | 33 | 4.4 | | | NEIC | |
| 109 | 1997/08/19 | 01:00:0 | 35.30 | 53.80 | 33 | 4.6 | | | IIIES | |
| 110 | 1997/08/26 | 00:44:50 | 36.54 | 53.07 | 33 | 4.5 | | | NEIC | |
| 111 | 1997/11/05 | 22:43:00 | 35.00 | 51.80 | 33 | 4.7 | | | IIIES | |
| 112 | 1998/01/09 | 06:13:8 | 36.47 | 52.17 | 33 | 4.8 | | | NEIC | |
| 113 | 1998/04/04 | 02:46:33 | 36.65 | 49.43 | 33 | 4.5 | | | NEIC | |
| 114 | 1998/06/29 | 03:38:29 | 37.20 | 49.90 | 33 | 4.7 | | | IIIES | |
| 115 | 1998/12/03 | 13:13:47 | 36.20 | 50.90 | 33 | 4.5 | | | IIIES | |
| 116 | 1998/12/19 | 04:54:00 | 36.98 | 50.95 | 33 | 4.4 | | | NEIC | |

زمینلرزه های رخ داده در گستره مطالعاتی تهران (ادامه)

| NO | DATE | ORIGIN | LAT-N | LONG-E | DEPTH | mb | Ms | ML | REF. | REMARK |
|-----|------------|----------|-------|--------|-------|-----|-----|----|-------|---------|
| 117 | 1998/12/26 | 23:11:30 | 34.70 | 50.40 | 33 | 4.8 | | | IIIES | |
| 118 | 1999/03/13 | 04:30:15 | 35.38 | 53.46 | 33 | 4.5 | | | NEIC | |
| 119 | 1999/03/17 | 23:45:59 | 36.80 | 49.50 | 33 | 4.5 | | | IIIES | |
| 120 | 1999/05/21 | 19:40:28 | 34.80 | 53.10 | 33 | 4.4 | | | IIIES | |
| 121 | 2002/02/14 | 20:06:19 | 36.93 | 49.40 | 49 | 4.5 | | | NEIC | |
| 122 | 2002/04/08 | 18:30:59 | 36.42 | 52.03 | 46 | 4.8 | | | NEIC | |
| 123 | 2002/04/19 | 13:46:49 | 36.60 | 49.80 | 33 | 5.1 | | | IDC | |
| 124 | 2002/06/22 | 02:58:22 | 35.62 | 49.05 | 10 | 6.5 | | | NEIC | |
| 125 | 2004/05/28 | 12:38:46 | 36.37 | 51.64 | 28 | | 6.3 | | IIIES | BALADEH |

Table notification :

AMB : Ambraseys, N. N., Melville, c. p.
 BCIS : Bureau Central International de Seismologie, Strasbourg, France
 BER, M : Berberian, Geological and Mining Survey of Iran
 CCP (BAN) : Atlas USSR Earthquake
 FS (BAN) : Fisher
 HFS : Hagfors, Sweden
 HFSI : Hagfors, Sweden
 IIIES : International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Iran
 ISC : International Seismological Center, UK
 ISS : International Seismological Summary, UK
 MOS : Moscow, USSR
 NEIC : National Earthquake Information Center, Golden, Co. , USA
 NEIS : National Earthquake Information Service, Colorado, USA
 USCGS : United States Coast and Geodetic Survey
 USGS : United States Geological Survey

۹- مراجع

- [۱] Tavakoli, B. and Ghafory-Ashtiani, M. (1999) "Seismic hazard assessment of Iran," *Annali Di Geofisica* 42. The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) 1992-1999, 1013-1021.
- [۲] Ghodrati Amiri, G., Motamed, R. and Rabet Es-haghi, H. (2003) " Seismic Hazard Assessment of Metropolitan Tehran, Iran ," *Journal of Earthquake Eng* , 7(3) , 347-372 .
- [۳] حسینی هاشمی، بهرخ، حمزه لو، حسین. و داوودی، محمد. (۱۳۸۳). " گزارش مقدماتی گروه شناسایی پژوهشگاه، زلزله ۴ اسفند ۱۳۸۳ داهوئیه- زرنند"، تهران: پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله .
- [۴] زارع، مهدی. (۱۳۸۳) "جنبه های زلزله شناسی و زلزله شناسی مهندسی زمینلرزه ۸/۳/۸ فیروزآباد (کجور) با بزرگای Mw=6.2"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال هفتم، شماره سوم و چهارم، ۴۵-۵۹ .
- [۵] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (آذر ۱۳۷۸). " آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (ویرایش دوم)"، تهران: مؤلف .
- [۶] پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. (۱۳۸۳). گسلهای فعال ایران . سایت اینترنتی : <http://www.iiies.ac.ir/Seismology/ActiveFault.pdf> .
- [۷] غفوری آشتیانی، محسن. (۱۳۸۰). " کاهش خطر پذیری لرزه ای شهر تهران"، تهران: کمیته فرعی- تخصصی مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه های زمین .
- [۸] Nowroozi, A. (1985) "Empirical relations between magnitude and fault parameters for earthquakes in Iran," *BSSA* 75 (5) , 1327-1338 .
- [۹] Ambraseys, N. N. and Melville, C. P. (1982) "A History of Persian earthquakes ," (Cambridge University Press, Cambridge, Britain).

- [۱۰] Gardner, J. K. and Knopoff, L. (1974) " Is the sequence of earthquake in southern California, with Aftershocks removed, Poissonian ? , " BSSA **64** (5), 1363-1367.
- [۱۱] توکلی ، بهروز . (۱۳۷۲). " مبانی خطر زمین لرزه ای " ، تهران : پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله .
- [۱۲] Kijko, A. (2000) "Statistical estimation of maximum regional earthquake magnitude m_{max} , " Workshop of Seismicity Modeling in Seismic Hazard Mapping , Poljce , Slovenia , May 22-24 .
- [۱۳] Benjamin, Jack R. and Conrell, Allin. (1970) "Probability, statistics and Decision for Civil Engineers," NewYork , McGraw-Hill .
- [۱۴] پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله . (۱۳۸۱). " دستور العمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود " ، تهران : مؤلف .