

بررسی خطر زمین لرزه در منطقه قائنات، استان خراسان

نوشته: دکتر شایسته مهربیان* و گودرز حمیدی*

Earthquake risk assessment in Qaenat area (Khorasan Province)

By: Dr. Sh.Mehrabian* and G.Hamidi*

چکیده:

در این بررسی کاتالوگ زمینلرزه‌های منطقه قائنات خراسان واقع در خاور ایران با بکارگیری منابع مختلفی که در ارتباط با داده‌های زمینلرزه‌های ایران وجود دارد، تهیه گردید، سپس با اعمال مراحل حذف پس‌لرزه‌های، اصول انتخاب منطقه، حد بالا و پائین بزرگی و صحت کاتالوگهای گذشته، بر طبق مشخصات لرزه‌خیزی برای محدوده‌های معینی با استفاده از داده‌های زمینلرزه‌های سالهای (۱۹۷۴-۱۹۹۸) برای بزرگیهای مساوی ۳ و بالاتر و همچنین زمینلرزه‌های مربوط به سالهای (۱۹۰۰-۱۹۹۸) برای بزرگیهای بالا، منحنیهای رابطه گوتنبرگ - ریشتر تعیین گردید. بر پایه نتایج بدست آمده، میزان وقوع سالیانه رویدادهای با هر بزرگی را می‌توان از رابطه G-R برآورد نمود و نتایج دو مرحله کم و بیش مشابه بنظر می‌رسد. بنابراین جهت تخمین زمان وقوع مجدد زمینلرزه‌های با بزرگی بالا، می‌توان از روابط بدست آمده در مرحله اول استفاده نمود، مشروط به اینکه انتخاب منطقه با دقت و رعایت اصول سیستم لرزه‌خیزی انجام گرفته و مدت زمان بکار برده شده به اندازه کافی طولانی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مطالعات لرزه‌خیزی، کاتالوگ زمینلرزه‌ها، برآورد میزان وقوع مجدد رویدادها

Abstract

In this study the earthquakes catalogue for Qa'enat region in eastern Iran by using available references which concerning the earthquake data in Iran is provided. The procedures of, aftershocks deletion, the principle of region selection, the upper and lower limit magnitude and verification of the historical catalogue are applied. For some representative regions the Gutenberg- Richter relation curves according to their seismicity characteristics, by using the earthquake data greater than or equal to magnitude 3.0 (1974-1988) and higher magnitudes (1900-1998) are obtained. According to these results the annual occurrence rate of events of each magnitude can be inferred from the G-R relation and it seems that both results are almost the same. Therefore using the obtained relations at the first stage as the proper region is selected with respect to the seismicity system and the duration of time can make estimation of the recurrence period of large earthquakes.

Key words: seismicity, earthquakes catalogue, annual occurrence rate of events.



مقدمه

ایران می باشد، تقسیم گردیده است. بنابه گزارشهای موجود، در انتهای کرناسه یا ائوسن، بلوک های لوت و افغان بهم پیوسته و رشته کوههای خاور ایران (زون فلیش) با امتداد شمالی - جنوبی را بوجود آورده اند. زون فلیش توسط چین خوردگیهای شدید و خطی و گسلهای طولی در کرناسه (پالئوسن-ائوسن) و ساختارهای پیچیده در مجموعه های آمیزه رنگین، نمایان شده است (Stocklin et al. 1972). بلوک لوت در واقع قسمتی از سرزمین ایران است که بین زون فلیش از خاور و بلوک طیس از باختر واقع شده و دارای امتداد شمالی - جنوبی به طول حدود ۹۰۰ کیلومتر می باشد. حرکات زمین ساختی تریاس میانی موجب چین خوردگی و دگرگونی سنگهای این نواحی گردیده است. گسل بشاگرد مرز بین نواحی جنوبی بلوک لوت و مکران در جنوب می باشد و گسلهای نهندان و نایند نیز مرزهای جدایی بلوک لوت از ناحیه فلیش خاور ایران و بلوک طیس را تشکیل می دهند (رنیسی، ۱۳۷۷).

گستره خاور قانن - بیرجند که در مجاورت مرز ایران و افغانستان واقع است، از نظر ساختاری شامل دو ناحیه کراتونی در قسمت شمال خاوری که به نام "بلوک آهنگران" شناخته شده و ناحیه ای که در جنوب باختری واقع بوده و ادامه زون رشته کوههای خاور ایران است، می باشد. این دو ناحیه توسط یک سیستم گسلی پیچیده با امتداد شمال باختری - جنوب خاوری از یکدیگر جدا می گردند. بلوک آهنگران ادامه زون کراتونی مربوط به قبل از مزوزوئیک در افغانستان می باشد.

به طور کلی بلوکهای ذکر شده توسط شماری گسله به زیر بلوکهایی به این شرح تقسیم شده اند: فرونشست شمال خاوری شاس کوه - آهنگران، پره هندوستان و ناحیه جنوب باختری. زیر بلوک فرونشست شمال خاوری در شرق کوههای شاس کوه - آهنگران واقع شده و بطور عمده شامل نهشته های کواترنری و ماسه بادی است. این زیر بلوک توسط گسل آبیژ از زیر بلوک شاس کوه - آهنگران جدا می گردد. گسل آبیژ در زمین لرزه سال ۱۹۷۹ کربزان از خود فعالیت نشان داده است. زیر بلوک شاس کوه - آهنگران بطور عمده شامل نهشته های آهکی نوده ای کرناسه پائینی است که از کربزان تا گزبیک ادامه دارد و در ناحیه اردکول علاوه بر آن، نهشته های ائوسن نیز وجود دارد. زیر بلوک پره - هندوستان توسط گسل اسفدن از زیر بلوک شاس کوه - آهنگران جدا شده و تا گسل افسن ادامه دارد. در این زیر بلوک فرونشست اسفدن (کواترنری) که شامل سنگ آهک، کنگلومرا، ماسه سنگ و توف همراه سیلهایی از میکرو دبوریت است جای دارد. زیر بلوک ناحیه جنوب باختری به طور عمده شامل سنگهای دگرگونی همراه مجموعه های افیولیتی و سنگهای آتشفشانی

بخش خاوری ایران مرکزی بعنوان قسمتی از کمربند آلپ - هیمالیا با وجود تاریخچه زمین ساختی پیچیده، گسل های فعال و زمین لرزه های ویرانگر، یکی از نواحی لرزه خیز فلات ایران محسوب می گردد. روایت نوشته های تاریخی، گزارشها و اطلاعات مربوط به زمین لرزه های قبل از سال ۱۹۰۰ میلادی و همچنین قرن بیستم نشان دهنده روند کلی لرزه خیزی و فعالیت لرزه ای منطقه می باشند. برای شناسایی بیشتر و تعبیر و تفسیر شرایط لرزه زمین ساختی حاکم بر منطقه، جمع آوری کلیه اطلاعات موجود، تحلیل و مقابله آنها با یکدیگر از دیدگاههای مختلف ضروری است. نظر به اینکه تمام داده های موجود در مورد زمین لرزه ها از تعداد کمی (چنددهه) اطلاعات نه چندان کامل تشکیل گردیده است، از این رو بدلیل کمبود اطلاعات و خطاهای مربوط به تعیین پارامترهای مشخصه زمین لرزه ها، ناگزیر به اعتماد به مدل های آماری البته به گونه ای موجه می باشیم. با این وجود برآورد زمان وقوع و بزرگی زمین لرزه ها نیاز به آگاهی کامل از کم و کیف و عملکرد تنشهای موجب تغییر شکلها، بالا و پائین رفتنها و حرکات نسبی منطقه دارد.

یکی از متداولترین راههای بررسی و تعیین خطر زمین لرزه و آهنگ زلزله خیزی در یک منطقه، یکارگیری روابط آماری بر مبنای نحوه وقوع رویدادها می باشد که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است، بطوریکه پس از تهیه کانالوگ مشتمل بر اطلاعات مربوط به زمین لرزه های منطقه با یکارگیری منابع مختلف و اعمال برخی اصول کلی از جمله حذف پس لرزه ها، اصول انتخاب منطقه، انتخاب حد بالا و پائین بزرگی و بررسی کانالوگ موجود برای گستره های مشخص با توجه به سیستم لرزه خیزی حاکم، برآورد میزان وقوع سالیانه رویدادهایی با بزرگیهای مختلف انجام گرفته و نتایج حاصل در جداول و شکل های گوناگون ارائه گردیده است.

۲- ویژگیهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه قاننات خراسان در خاور ایران جای دارد و از شمال و شمال باختری به تربت حیدریه و گناباد، از باختر به فردوس، از جنوب به بیرجند و از خاور به مرز ایران و افغانستان محدود می گردد. بر پایه تقسیمات زمین ساختی Stocklin (1968)، منطقه مورد مطالعه در زون خاوری و جنوب خاوری ایران که شامل نواحی فلیش خاور ایران، بلوک لوت و مکران می باشد، قرار گرفته است. قسمت خاوری ایران بطور کلی به دو بخش باختری (بلوک لوت) و چین خورده خاوری که معروف به کوههای شرقی

الگومیوسن است.

ریسک زمینلرزه به گمان از کار Wiener (1956) بر مبنای برون یابی کردن (extrapolation) خطی سریهای زمانی گرفته شده اند.

در این مدل سریهای زمانی، در سمت چپ، داده های ورودی نامیده شده و در سمت راست، سریهای زمانی پیش بینی شده وجود دارند که در مورد زمینلرزه ها، سریهای ورودی یک قرآبند نقطه ای بوده و جعبه سیاه (black box) یک مدل ریاضی است که می تواند مولد یک سری خروجی باشد. در این روش بطور کلی هر چه داده های ورودی بیشتر باشند، پارامترهای کمتری برای تعریف مدل مورد نیاز است و بالعکس و اصول عدم اطمینان و تصادفی بودن، معیارهایی از کمبود اطلاعات می باشند. مثال روشنی از ارزیابی ریسک زمینلرزه، سازه هایی مانند نیروگاههای اتمی، سدها، بیمارستانها و... می باشند که در طراحی آنها پارامترهای لرزه ای برای محاسبه MCE, OBE, DBE, SSE در نظر گرفته می شوند. البته باید توجه داشت که هر یک از محاسبات مربوطه با عدم اطمینان هایی نیز همراه می باشد.

یکی از روشهای متداول در بررسی امنیت لرزه ای، برون یابی کردن بزرگیها برای دوره های برگشت طولانی بر مبنای مقدار b در رابطه $\log N = a - bM$ می باشد. در این رابطه که معروف به رابطه Gutenberg, Richter (1954) یا G-R می باشد، N تعداد زمینلرزه های با بزرگی M یا بیشتر در واحد زمان، a و b مقادیر ثابت بوده و بیانگر لرزه خیزی منطقه می باشند.

۴-۱- دوره های زمینلرزه

سریهای زمانی ژئوفیزیکی شامل زمینلرزه ها، ریزش باران، سیلها، نوسات آبهای زیرزمینی و... می باشند که خطی و ثابت نبوده و به طور عموم روندی غیر دوره ای و نوسانی را نشان می دهند. در بسیاری موارد از دوره های ریزش باران، سیلها، خشکسالی ها صحبت می شود ولی زلزله شناسان اغلب وجود دوره های زمینلرزه ای را انکار می کنند و آنچه که تعبیر می گردد این است که یک طیف خطی مسلط بر طیف سریهای زمانی زمینلرزه ها نیست. چون وقوع زمینلرزه ها منظم نبوده ولی در دوره های زمانی مشخصی تجمع دارند یعنی طول مدت زمانی که توسط فواصل طولانی جدا شده است، می توان صحبت از دوره های زمینلرزه (وقوع مجدد) نمود. چنین دوره هایی در مناطق لرزه خیز جهان مانند کالیفرنیا، چین، مکزیک، ایتالیا، ایران و بسیاری از مناطق دیگر قابل مشاهده می باشند (Lomnitz, 1994).

۳- کاتالوگ زمینلرزه ها

۳-۱- تهیه کاتالوگ زمینلرزه ها

ارزیابی خطر زمینلرزه در هر منطقه بستگی به رویدادهای ثبت شده به عنوان داده های پایه ای، در آن منطقه دارد، از این رو تهیه یک کاتالوگ شامل بر اطلاعات مربوط به زمینلرزه های تاریخی و دستگاهی، اولین و اساسی ترین گام در این گونه بررسی ها می باشد. چنین کاتالوگی جهت مطالعات لرزه خیزی و به منظور یافتن قوانینی در ارتباط با وقوع زمینلرزه ها به کار گرفته خواهد شد. در این بررسی به منظور تهیه یک کاتالوگ یکتواخت برای منطقه مورد مطالعه که از دیدگاههای کمی و کیفی به نسبت مناسب باشد، از منابع مختلفی که در ارتباط با داده های زمینلرزه های تاریخی و دستگاهی ایران وجود دارند استفاده شده است. منابعی که در ارتباط با زمینلرزه های دستگاهی مورد استفاده قرار گرفتند عبارتند از:

- گزارش انبارش مشخصات زلزله های ایران، توسط موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (۱۳۶۹)
 - مجموعه اطلاعات پایه زلزله های ایران، توسط معین فر و همکاران (۱۳۷۲)
 - کاتالوگهای USGS, ISS, ISC
 - تاریخ زلزله های ایران توسط Ambraseys and Melville (1982)
- توزیع سطحی زمینلرزه های این کاتالوگ در شکل های ۱ و ۲ آورده شده است.

۴- خطر زمینلرزه

در بررسیهای مربوط به توزیع زمانی زمینلرزه ها، مفهوم اثر تونل شدگی (Tunneling effect) که اولین بار توسط Darwin (1860) پیشنهاد شد بایستی مورد توجه قرار گیرد. در این راستا وقوع زمینلرزه های بزرگ بعنوان رویدادی مستقل قلمداد نمی گردد و چنانچه Lomnitz - Adler (1989) خاطر نشان کرده است، همواره یک زمان مرده بعد از وقوع یک زمینلرزه بزرگ وجود دارد که در آن احتمال رویداد زمینلرزه بزرگ دیگری کم و بیش صفر می باشد. نظر به اینکه ریسک زمینلرزه بصورت حاصلضرب مخاطره زمینلرزه در خسارت قابل انتظار برای هر بزرگی و جمع بندی برای همه بزرگیها، منظور می گردد، مدلهای ساختاری اساسی برای پیش بینی



در این راستا بیان و انجام موارد زیر الزامی است.

۵-۱- رابطه بین m_b, M_s

در حال حاضر رایج ترین پارامتر سنجش قدرت زمینلرزه، بزرگی آن می باشد. نظر به وجود مقیاسهای مختلف بزرگی (M_w, M_s, m_b, M_L) و محدودیتهایی از قبیل اشباع شدگی، یکنواختی بزرگی ها جهت مطالعات خاص لازم می باشد. در بین مقیاسهای موجود واضح است که صحیح ترین مقیاس جهت کاربرد در بسیاری از مطالعات لرزه خیزی، بزرگی گشتاوری (M_w) می باشد (Kasahara 1985, Kanamori 1977) ولی چون تاکنون (M_w) فقط برای تعداد کمی از زمینلرزه ها تعیین گردیده است، بدلیل همخوانی M_s و M_w برای بسیاری از زمینلرزه ها (Kanamori, 1979) استفاده قرار می گیرد. از آنجا که برای بیشتر زمینلرزه های موجود در کاتالوگ فقط m_b تعیین شده بود، رابطه تجربی بین m_b, M_s برای منطقه مورد مطالعه به صورت زیر تعیین گردید:

$$M_s = 1.52m_b - 2.81$$

و نمودار مربوطه در شکل ۳ آورده شده است.

۵-۲- روش تحلیل

۵-۲-۱- حذف پس لرزه ها

نظر به اینکه بک زلزله بزرگ می تواند تعداد زیادی پس لرزه ایجاد نماید و مقادیر a, b محاسبه شده در رابطه $G-R$ در این حالت با آنچه که در حالت نرمال در منطقه تعیین می گردد تفاوت دارند. لذا روشی که توسط Keilis-Borok and Knopoff (1980), Xiufang and Liping, (1991) پیشنهاد گردید، برای تمایز بین لرزه های اصلی و پس لرزه ها در کاتالوگ موجود، مورد استفاده قرار گرفت. در این روش چنانچه دو زمینلرزه با شاخصهای I, j ($j > I$) در نظر گرفته و داشته باشیم:

$$t_j - t_i \leq T(M_i)$$

$$\Delta_{ij} \leq R(M_i)$$

$$M_j \leq M_i$$

$$h_j - h_i \leq H(M_i)$$

مبنای عملکردهای خطی جهت برآورد خط زمینلرزه، بک فرآیند استوکاستیک است که معروف به فرآیند پواسون بوده و به طور معمول روش تصادفی خوانده می شود. مدل‌های خاص جهت پیش بینی فرآیندهای غیرخطی از سال ۱۹۳۰ شروع به توسعه نمود. پیشگامانی همچون Hurst تنها علاقمند به بسط فرآیندهای ساده برای پیش بینی تکامل تدریجی سیستمهای ژئوفیزیکی غیرخطی بودند. از نتایج بدست آمده توسط Hurst (1994) چنین برداشت می شود که زمینلرزه پدیده ای مستقل بوده و دوره های زمینلرزه وجود ندارند. نکته قابل توجه این است که بزرگی لرزه ای بعنوان بک متغیر در مکان اول، در این محاسبات بکار برده نشده زیرا بزرگی بک متغیر فیزیکی نیست و بزرگی مطرح شده توسط ریشتر بعنوان بک شاخص تقسیم بندی که بر مبنای لگاریتم دامنه ثبت شده توسط بک لرزه نگار استاندارد، پایه گذاری شده بود، استفاده می گردد و لگاریتمها قابل جمع کردن نیستند، یعنی بعنوان مثال سه زمینلرزه با بزرگیهای ۷ نمی توانند جمع شده و یک زمینلرزه با بزرگی ۲۱ را بدهند. بنابراین بکارگیری متغیرهای جمع شدنی صحیح مانند گشتاور زمینلرزه با انرژی و همچنین دقت در تعیین وسعت منطقه مورد نظر از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشند.

۵-۲- روش محاسبات

متداولترین رابطه آماری موجود بین تعداد و بزرگی زمینلرزه ها، رابطه لگاریتمی خطی گونبرگ - ریشتر می باشد ($\log N = a - bM$). مقادیر a, b در این رابطه ممکن است با زمان تغییر نمایند اما وقتی داده های بکار برده شده، رکوردهایی برای زمان خیلی طولانی تر از دوره وقوع مجدد زمینلرزه با بزرگی خاصی باشند، این دو مقدار بعنوان نتیجه معدل گیری، ثابت می مانند. بنابراین تعداد سالانه زمینلرزه های با هر بزرگی را می توان از رابطه $G-R$ بدست آورد.

بساد نظر گرفتن مفاهیم زمینلرزه سرشتی (Characteristic earthquake) که توسط Seih (1981) پیشنهاد گردید و سپس توسط Schwartz (1984) توسعه یافت و سیستم لرزه خیزی بک گستره (Jie, et al., 1997)، چنانچه فعالیت بک سیستم لرزه خیزی کلی مورد نظر باشد، امکان دارد که حتی با بکارگیری داده های خرد لرزه ای بتوان رابطه $G-R$ را برای همه بزرگیها و برآورد دوره وقوع مجدد زمینلرزه های بزرگ بدست آورد. از اینرو در این مطالعه رابطه $G-R$ برای حالتی مختلف تعیین و نتایج حاصل مورد بررسی قرار می گیرد که

فواصل زمانی برای وقتی که زمین لرزه ها با یک بزرگی آستانه معین افزایش می یابند امکان پذیر است و لازمه چنین بررسی وجود بزرگی های یکنواخت در مجموعه داده های کاتالوگ می باشد.

در این مطالعه با توجه به اینکه برای حدود ۷۵ درصد زمین لرزه های کاتالوگ، m_b تعیین گردیده بود، این بزرگی به عنوان مرجع انتخاب گردید و از طرفی چون برخی محاسبات آماری از قبیل زمان وقوع مجدد ماکزیمم زمین لرزه قابل قبول، مستقیماً از روی m_b قابل برآورد کردن نمی باشند (برای نمونه نگاه کنید به Wyss and Habermann, 1982) با استفاده از رابطه بین M_s و m_b بزرگیهای M_s نیز تعیین گردید و محاسبات یکبار با استفاده از m_b و بار دیگر با استفاده از M_s انجام گرفت.

ابتدا گستره محصور بین $31/5^\circ - 35/5^\circ$ عرض شمالی و $61^\circ - 57^\circ$ طول خاوری انتخاب و نمودار تعداد زلزله ها نسبت به زمان در طول مدت ۲۰۰ سال آخر برای دسته های مختلف بزرگی با اختلاف یک واحد تهیه شد (شکل های ۴، ۵، ۶، ۷) که در آنها تاثیر شبکه های جهانی و منطقه ای (حدود سال ۱۹۵۵) بطور وضوح قابل ملاحظه می باشد. برای بزرگیهای پائین، افزایش تعداد در طول دهه های اخیر را می توان به دلیل عملکرد شبکه ها و ایستگاههای زلزله شناسی جدید دانست.

شکل های ۴ و ۵ نمودارهای مربوط به بزرگی m_b را در دو حالت: همه زمین لرزه ها و زمین لرزه های بدون پس لرزه برای دسته های مختلف بزرگی ۳.۰-۳.۹، ۴.۰-۴.۹، ۵.۰-۵.۹، ۶.۰-۶.۹ نشان می دهند. در شکل های ۶ و ۷ نیز نمودارهای مربوط به بزرگی M_s با توضیحات مشابه موارد شکل های ۴ و ۵ برای دسته های مختلف بزرگی ۳.۰-۳.۹، ۴.۰-۴.۹، ۵.۰-۵.۹، ۶.۰-۶.۹ و ۷.۰ \geq رسم گردیده اند.

با توجه به شکل های ۴ (همه زمین لرزه ها) و ۵ (بدون پس لرزه ها)، به نظر می رسد که زمین لرزه های با بزرگی $3.0 \leq m_b < 4.0$ برای گروه اول از حدود سال ۱۹۷۸ و در مورد گروه دوم از حدود سال ۱۹۹۷ به بعد نسبتاً کامل گزارش شده اند و برای سایر دسته های بزرگی $5.0 > m_b \geq 4.0$ ، $6.0 > m_b \geq 5.0$ ، $7.0 > m_b \geq 6.0$ بترتیب حدود سالهای ۱۹۷۲، ۱۹۵۵، ۱۹۰۰ را می توان در نظر گرفت.

از شکل های ۶ و ۷ چنین استنباط می گردد که برای دسته: $4.0 < M_s \leq 3.0$ از حدود سال ۱۹۷۸، دسته $5.0 < M_s \leq 4.0$ حدود سال ۱۹۶۸، دسته $6.0 < M_s \leq 5.0$ حدود سال ۱۹۴۶ و دسته $7.0 < M_s \leq 6.0$ با یکبارگیری داده های موجود نمی توان سال مشخصی را ارائه نمود.

که در اینجا $H(M_i)$ ، $R(M_i)$ ، $T(M_i)$ نوعی تجربی می باشند، در اینصورت زمین لرزه M از زمین لرزه اصلی و زمین لرزه m را پس لرزه گویند. با اعمال روش فوق در مورد کاتالوگ مورد مطالعه، زمین لرزه ها به دو گروه لرزه های اصلی و پس لرزه ها تقسیم گردیدند و به این ترتیب پس لرزه ها تعیین و حذف شدند و لیستی مجزا بدون پس لرزه ها نیز تهیه گردید.

۵-۲-۲- اصول انتخاب منطقه

مهمترین مسئله در انتخاب منطقه مورد مطالعه این است که ناحیه مورد نظر بایستی سیستم گسلی که بزرگترین زمین لرزه را به عنوان هسته شامل می شود، پوشاند و از دیدگاههای لرزه خیزی و گسلس نیز همه زمین لرزه ها (اصلی و پس لرزه) و همه سیستمهای گسلی که یک ساختار شکستگی را دارند، در برگیرد. در مواردیکه اطلاعات لرزه زمین ساختی کامل باشد میتوان با توجه به توزیع زمین لرزه ها و گسلها، منطقه را به مناطق کوچکتر تقسیم نموده و در صورتیکه سیستم گسلی ناشناخته و یا به طور کامل روشن نباشد این تقسیم بندی را می توان با در نظر گرفتن تمرکز لرزه خیزی و خصوصیات خرد لرزه ای انجام داد.

۵-۲-۳- حد بالا و پائین بزرگی

تعیین حد بالا و پائین بزرگی به طور معمول بستگی به انتخاب و کاربرد روش آماری مورد نظر دارد. حد بالای بزرگی در این بررسی به صورتی انتخاب شده که زمان T که توسط داده های خرد لرزه ای پوشیده شده طولانی تر از دوره وقوع مجدد بزرگترین بزرگی، T_{up} ، باشد یعنی $T \geq T_{up}$. حد پائین بزرگی نیز کمترین حد بزرگی است که شبکه ایستگاهی می تواند ثبت کند.

۵-۲-۴- تائید کاتالوگ

کاتالوگ یکبار برده شده دوره زمانی از سال ۱۷۶۳ تا ۱۹۹۸ را در بر می گیرد و آشکار است که انواع مختلف ناهماهنگیهای زمانی و مکانی در آن وجود دارد. در ارتباط با زمین لرزه های تاریخی بسیار منطقی است که برای همه بزرگی ها فرض عدم کامل بودن را بپذیریم (Melville 1982) (Ambreseys and). ارزیابی کامل بودن زمانی کاتالوگ با محاسبه

حدود ۸۵ سال آخر $6.0 \leq M_S < 6.5$

و در مورد دسته $M_S \geq 6.5$ با توجه به عدم هماهنگی داده ها در دوره های زمانی مختلف نمی توان حدود زمانی مشخصی را پیشنهاد نمود.

۳-۵- نتایج محاسبات

بر مبنای اصول یاد شده و با توجه به لرزه خیزی منطقه قائن، ابتدا برای گستره محصور بین $35/0^\circ - 31/0^\circ$ عرض شمالی و $61^\circ - 57^\circ$ طول خاوری، مقادیر a, b رابطه G-R یکبار با یکبارگیری m_b و بار دیگر با در نظر گرفتن رابطه M_S بر حسب m_b و یکبارگیری M_S بصورت زیر:

$$m_b^- \begin{cases} a=3.845, b=0.783 \\ a=2.568, b=0.577 \end{cases} \quad \text{(همه زمینلرزه ها)}$$

(حذف پس لرزه ها)

(حذف پس لرزه ها)

$$m_b^- \begin{cases} a=3.240, b=0.653 \\ a=2.176, b=0.508 \end{cases} \quad \text{(حذف پس لرزه ها)}$$

محاسبه و نتایج در شکل ۹ ارائه گردیده است. بطوریکه ملاحظه می گردد نتایج بدست آمده با یکبارگیری داده های مربوط به همه زمینلرزه ها و با حذف پس لرزه ها کم یا بیش اختلاف داشته ولی میزان وقوع سالیانه زمینلرزه های بزرگتر تقریباً مشابه می باشند. برای برآورد میزان وقوع سالیانه زمینلرزه ها، داده های مربوط به وقتی که پس لرزه ها حذف نشده اند می توانند نتایج بهتری ارائه نمایند و این بدین معنی است که حذف پس لرزه ها در این قبیل موارد تاثیر زیادی روی نتایج آماری نخواهد داشت. البته وجود زمینلرزه های بزرگ در سالهای آخر دوره که موجب تغییر لرزه خیزی منطقه می گردد نیز باید مورد توجه قرار گیرد، بویژه برای دو حالت استفاده از همه زمینلرزه ها و یا حذف پس لرزه ها که تاثیر بارزی خواهند داشت. بعبارت دیگر وقتی یک زمینلرزه بزرگ در، یا نزدیک زمانی که داده های خرد لرزه ای یکبار برده شده را می پوشاند، وجود داشته باشد، شرایط واقعی را نمی توان از روی این داده ها برآورد نمود زیرا وقتی یک زمینلرزه بزرگ روی می دهد، فعالیت پس لرزه های آن و همچنین دیگر زمینلرزه های اطراف آن بطور روشنی با حالت عادی تفاوت داشته و تاثیر قطعی بر محاسبات مربوطه خواهد داشت. البته نکته قابل توجه این است که روش حذف پس لرزه ها نیز مسائلی جهت مطالعات بیشتر و تفصیلی تر ایجاد می نماید. در مرحله بعدی بمنظور بررسی بیشتر تاثیر عوامل مختلف در یکبارگیری این روش، مناطق کوچکتر با توجه به تمرکز رومرکز زمینلرزه ها و گسلهای موجود در گستره های الف- $60/0^\circ E$ - $58/0^\circ N$ - $34/0^\circ N$ - $32/0^\circ E$ ، ب- $60/2^\circ E$ - $58/0^\circ N$ - $34/0^\circ N$ و ج- $33/0^\circ$

نتایج فوق با یکبارگیری روش stepp که بعنوان مثال توسط Ambraseys (1985) شرح داده شده است نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این روش فرض بر این است که پروسه های زمینلرزه با میزان وقوع

متوسط $n(\Delta M)$ ، که خود در یک دوره مشاهده Δt ثابت می ماند،

تغییر نمی نماید (stationary) و $n(\Delta M) = \frac{N(\Delta M)}{\Delta t}$ است که در

این رابطه N تعداد کل رویدادها در یک دسته بزرگی ΔM می باشد.

بنابراین جهت ثابت بودن انتظار می رود که واریانس n برابر $\frac{n}{\Delta t}$ بوده

(یعنی $\sigma_n^2 = \frac{n}{\Delta t}$) و انحراف استاندارد (σ_n) متناسب با $\frac{1}{\sqrt{\Delta t}}$ باشد.

جهت این بررسی، داده های مورد مطالعه (1800-1998) به دسته های

بزرگی، یا اختلاف نیم واحد (ΔM) تقسیم و مقادیر (σ_n) برای

Δt های مختلف محاسبه و رسم گردید (شکل ۸). در این شکل خط مورد

انتظار (مرجع) نیز با در نظر گرفتن $\sigma_n = \frac{1}{\sqrt{\Delta t}}$ مشخص گردیده است.

انحراف از خط مرجع معرف این است که Δt برای تعیین برآورد میزان

وقوع متوسط (n) به اندازه کافی طولانی نبوده و یا اینکه در این دوره های

زمانی، زمینلرزه ها از نظر بزرگی بطور کامل گزارش نشده اند. جهت

بررسی کامل بودن داده ها با توجه به شکل ۸ ملاحظه می گردد که برای

دسته های پائین $3.5 \leq m_b < 4.0, 3.0 \leq m_b < 3.5$ به دلیل نقص

داده هاسمی توان ۲ سال آخر را در نظر گرفت. برای دسته

$4.0 \leq m_b < 4.5$ ، $4.0 \leq m_b < 4.5$ سال آخر، در مورد دسته

$4.5 \leq m_b < 5.0$ ، حدود سال ۱۹۷۲ به بعد، دسته

$5.0 \leq m_b < 5.5$ ، ۳۰ سال آخر، دسته $5.5 \leq m_b < 6.0$ حدود

۴۴ سال آخر و بالاخر برای دسته $m_b \geq 6.0$ که دارای حل چندان قابل

قبولی نمی باشد، بیش از ۷۰ سال آخر را می توان در نظر گرفت.

در مورد M_S با توجه به شکل مربوطه، می توان نتیجه گیری را برای

دسته های مختلف بزرگی بصورت زیر بیان نمود:

حدود ۶ سال آخر $3.0 \leq M_S < 3.5$

حدود ۱۰ سال آخر $3.5 \leq M_S < 4.0$

حدود ۱۷ سال آخر $4.0 \leq M_S < 4.5$

حدود ۳۰ سال آخر $4.5 \leq M_S < 5.0$

حدود ۳۵ سال آخر $5.0 \leq M_S < 5.5$

حدود ۵۵ سال آخر $5.5 \leq M_S < 6.0$

MCE, DBE و احتمالات ذکر شده محاسبه و بصورت زیر ارائه گردیده است.

($32^{\circ}18' - 33^{\circ}18'N$, $59^{\circ}05' - 60^{\circ}05'E$) انتخاب گردید. نتایج محاسبات در جدول ۱ و شکل‌های ۱۰، ۱۱، و ۱۲ ارائه گردیده است.

جدول ۱: پارامترهای تعیین شده برای گستره‌های مختلف.

گستره مورد مطالعه	بزرگی	مقادیر a و b (همة زمینلرزه‌ها)	مقادیر a و b (حذف پس‌لرزه‌ها)
$32.5^{\circ} - 34.5^{\circ} N$	m_b	$a = 3.430, b = 0.754$	$a = 1.539, b = 0.441$
$58.5^{\circ} - 60.5^{\circ} E$	M_s	$a = 2.679, b = 0.594$	$a = 1.326, b = 0.402$
$33.5^{\circ} - 34.5^{\circ} N$	m_b	$a = 3.383, b = 0.795$	$a = 1.067, b = 0.402$
$59^{\circ} - 60.2^{\circ} E$	M_s	$a = 2.168, b = 0.533$	$a = 1.016, b = 0.371$
$32.8^{\circ} - 33.8^{\circ} N$	m_b	$a = 3.714, b = 0.921$	$a = 2.053, b = 0.649$
$59.5^{\circ} - 60.5^{\circ} E$	M_s	$a = 3.533, b = 0.906$	$a = 1.846, b = 0.604$

(حذف پس‌لرزه‌ها) $a = 2.053, b = 0.649, DBE = 5.8, MCE = 7.3$

M_b	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
10	100	99.8	94.3	74.2	47.4	26.2	13.4	6.6	3.2	1.5
15		100	98.6	86.9	61.9	36.7	19.4	9.7	4.7	2.3
25			99.9	96.6	79.9	53.3	30.3	15.7	8.1	3.8
50			100	99.9	96	78.2	51.4	28.9	14.9	7.4
75				100	99.2	89.8	66.1	40.1	21.5	10.9
100					99.8	95.2	76.4	49.5	27.6	14.2

(حذف پس‌لرزه‌ها) $a = 1.846, b = 0.604, DBE = 5.8, MCE = 7.5$

M_s	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
10	100	99.5	93.2	73.9	48.8	28.4	15.4	8	4.1	2	1
15		100	98.2	86.7	63.4	39.4	22.1	11.7	6	3.1	1.5
25			99.9	96.5	81.3	56.6	34.1	18.8	9.8	5	2.5
50			100	99.9	96.5	81.2	56.5	34	18.7	9.8	5
75				100	99.3	91.8	71.4	46.4	26.7	14.1	7.4
100					99.9	96.5	81.1	56.5	34	18.7	9.8

۶- نتیجه گیری

بمنظور بررسی خطر زمینلرزه در منطقه قان خراسان تهیه یک کانالوگ مناسب و بکرواخت شامل اطلاعات مربوط به زمینلرزه‌های تاریخی و دستگامی اولین و اساسی ترین گام بوده که با فرض ثابت بودن پدیده زمینلرزه، بکارگیری یک آزمایش کامل بسودن، نشان می دهد که برای دسته های مختلف بزرگی و زمانهای مورد انتظار، داده ها تا چه حد کامل می باشند. نتایج این بررسی برای محاسبه پارامترهای آماری جهت برآورد میزان وقوع سالیانه زمینلرزه های با بزرگی متفاوت و مطالعات زمینه ای لرزه خیزی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. بر طبق نتایج بدست آمده در صورتیکه انتخاب منطقه با رعایت اصول سیستم لرزه خیزی انجام گرفته و طول مدت زمان بکار برده شده به اندازه کافی طولانی باشد می توان از رابطه $G-R$ جهت تعیین میزان وقوع سالیانه رویدادهای با هر بزرگی استفاده نمود. از طرفی با توجه به اینکه توزیع لرزه خیزی نسبت به زمان و مکان ناهمگن است، امکان دارد که میزان فعالیت سیستم لرزه خیزی را نیز

از مقایسه مقادیر بدست آمده چنین استنباط می گردد که چنانچه انتخاب منطقه بر مبنای اصول سیستم لرزه خیزی انجام گیرد، برای مناطق کوچکتر مقادیر a, b محاسبه شده می تواند معرف صفت لرزه خیزی همان منطقه باشد و اگر داده های دو منطقه با لرزه خیزی مشابه، برای محاسبات آماری یا هم بکار برده شوند نه تنها انطباق داده های خرد لرزه ای بدتر می شود بلکه تعداد وقوع زمینلرزه های بزرگ نیز با واقعیت تفاوت خواهد داشت. بطور کلی روند تغییر مقادیر محاسبه شده a, b در بکارگیری M_s, m_b نشان دهنده مقادیر بزرگتر برای m_b می باشد و همچنین با کوچکتر شدن منطقه مورد مطالعه همانطور که انتظار می رود فاصله زمانی وقوع مجدد زمینلرزه های با بزرگی معین افزایش می یابد.

شایان ذکر است که مقادیر a, b محاسبه شده در گستره (ج) در مقایسه با گستره های دیگر به نسبت افزایش یافته و همچنین خط رسم شده در شکل ۱۲ برای حالتی که زمینلرزه ها با حذف پس‌لرزه ها منظور گردیده اند نسبت به حالتی که همه زمینلرزه ها استفاده شده اند، همخوانی بیشتری با نقاط مربوطه نشان می دهد. لذا می توان چنین استنباط نمود، وجود یک زمینلرزه بزرگ (زمینلرزه ۱۰ مه سال ۱۹۹۷) و پس‌لرزه های آن که در کانالوگ نسبتاً کامل گزارش گردیده اند، موجب این تغییر می باشند. از اینرو با توجه به مطالب عنوان شده در بالا جهت موارد کاربردی بر حسب نیاز، می توان از نتایج بدست آمده در گستره های مختلف استفاده نمود. براساس پارامترهای بدست آمده می توان با استفاده از رابطه گمبل احتمال رویداد زمینلرزه های با بزرگی متفاوت را در مدت زمانهای مشخص از جمله طول عمر مفید یک سازه (۵۰ سال) تعیین نمود.

در این مطالعه با در نظر گرفتن مقادیر a, b برای گستره (ج) مقادیر

در این بررسی نشان می دهند که انتخاب منطقه از مسائلی است که باید بیشتر مورد بحث و مطالعه قرار گیرد و از مقایسه نتایج حاصله برای گستره های مختلف می توان مناطق با میزان بالای تجمع و آزادسازی انرژی را برآورد نمود.

مقایسه مقادیر a ، b بدست آمده در حالتهای مختلف نشانگر این است که با کوچکتر شدن وسعت منطقه مورد مطالعه فاصله زمانی وقوع مجدد زمینلرزه های با بزرگی معین افزایش می یابد که این امری بدیهی است زیرا تعداد زمین لرزه ها کاهش می یابد. براساس پارامترهای بدست آمده و با توجه به رو مرکز زمینلرزه ۱۰ ماه مه سال ۱۹۹۷، مقادیر MCE ، DBE برای گستره $(6.0^{\circ}E - 59.0^{\circ}E$ و $33.8^{\circ}N - 32.8^{\circ}N)$ تعیین گردید که عبارتند از:

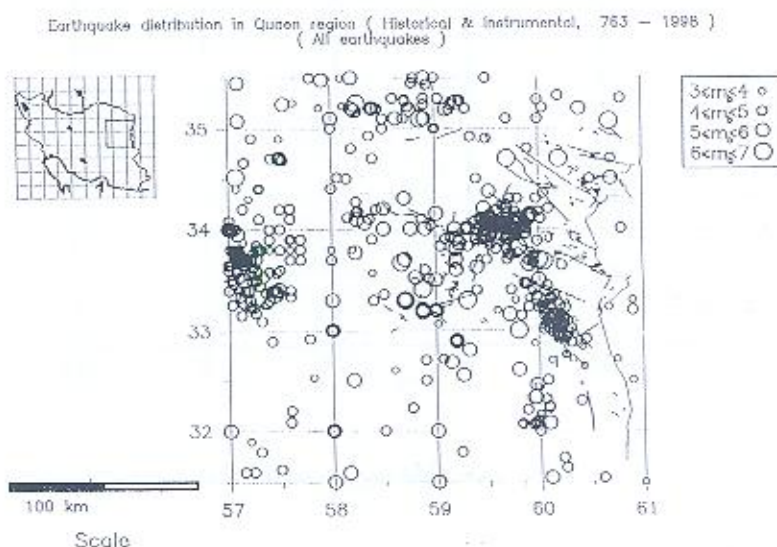
$$mb-DBE = 5.8, MCE = 7.3$$

$$Ms-DBE = 5.8, MCE = 7.5$$

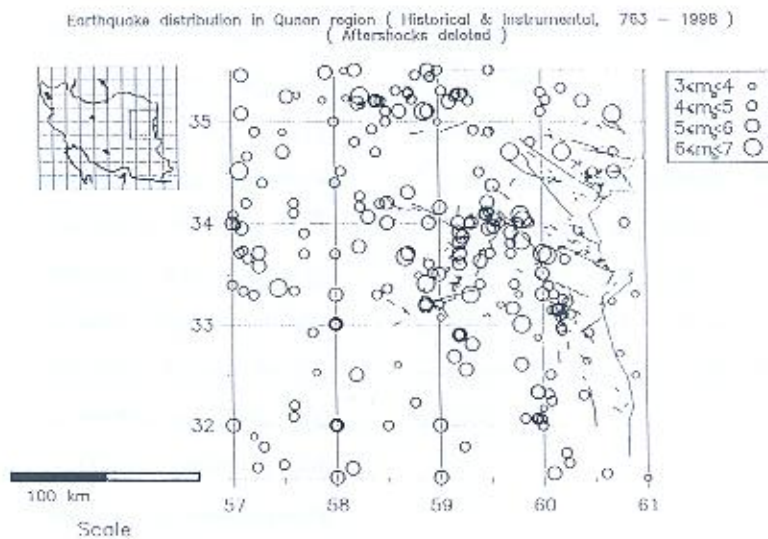
با توجه به نتایج بدست آمده در گستره های مختلف پیشنهاد می گردد در موارد کاربردی خاص، با در نظر گرفتن شرایط گستره مورد نظر از جداول مربوطه استفاده شده و مهندسیین ساختمان ملزم به رعایت آنها باشند و همچنین با توجه به سابقه لرزه خیزی منطقه و وجود گسلهای فعال برپایه نقشه های تهیه شده بوسیله سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، توصیه می گردد که جهت ایجاد سازه ها فاصله حداقل دو هزار متری رعایت گردد.

بتوان با بکارگیری داده های خرد لرزه ای برآورد نمود.

در این راستا وجود زمینلرزه های بزرگ و پس لرزه های آنها باید مورد توجه قرار گیرند، گرچه با بکارگیری روشهایی می توان پس لرزه ها را از داده های خرد لرزه ای جدا نمود ولی باز هم تعیین دوره وقوع مجدد رویداد های مختلف تحت تاثیر وجود یک زمینلرزه بزرگ قرار دارد و این بدین معنی است که نه تنها روش حذف پس لرزه ها مسائلی برای مطالعات بعدی ایجاد می کند، بلکه لرزه خیزی اطراف رو مرکز یک زمینلرزه بزرگ نیز بطور وضوح افزایش می یابد. چنانچه بتوان تاثیر وجود یک زمینلرزه بزرگ را با گسترش منطقه انتخابی ضعیف نمود، ممکن است مشکلات ناشی از عدم انتخاب صحیح منطقه بروز نماید. شایان ذکر است که روش استنباط فعالیت زمینلرزه های بزرگ از روی داده های خرد لرزه ای بعنوان مثال (Ji, et al., 1997) شیوه جدیدی است و نیاز به مطالعات دقیقتر دارد. نظر به اینکه بررسی خطر زمینلرزه گستره وسیعی است و روشهای مختلفی جهت بررسیهای آماری پیشنهاد گردیده، در اصل در بین پژوهشگران اختلاف نظرهایی در مورد اینکه آیا مدل‌های قابل پیش بینی زمانی واقعا^۲ به پدیده قابل تجدید در زمان منجر می شود یا خیر وجود دارد. بعضی مدلها از نظر فیزیکی بیشتر قابل توجه می باشند. بویژه مدل‌های غیرخطی که چگونگی وابستگی بین رویدادهای متوالی را بیان می کنند، اما با توجه به بررسیهای انجام شده فرضیه پواسون وقتی یک حد نهایی برآورد زلزله قابل اطمینان لازم است می تواند مفید باشد. نتایج بدست آمده

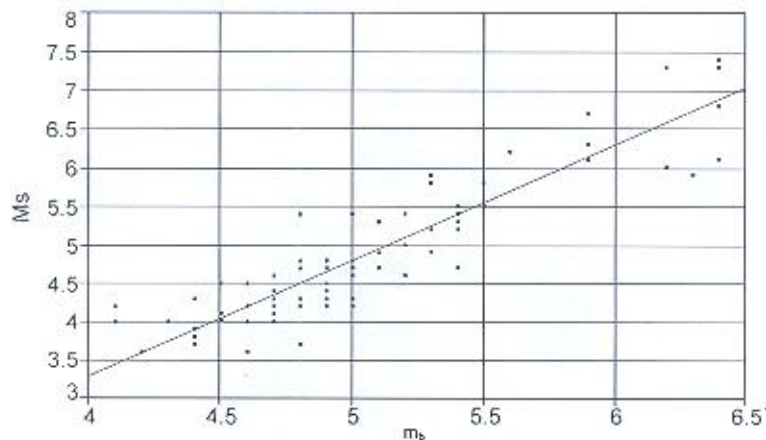


شکل ۱- توزیع سطحی زمینلرزه های منطقه (۱۹۹۸-۷۶۳)

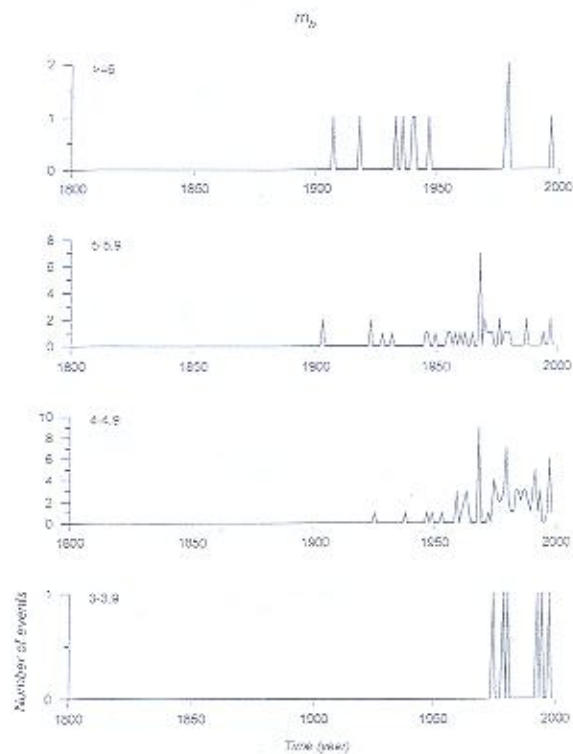


شکل ۲- توزیع سطحی زمینلرزه های منطقه (۱۹۹۸-۷۶۳)

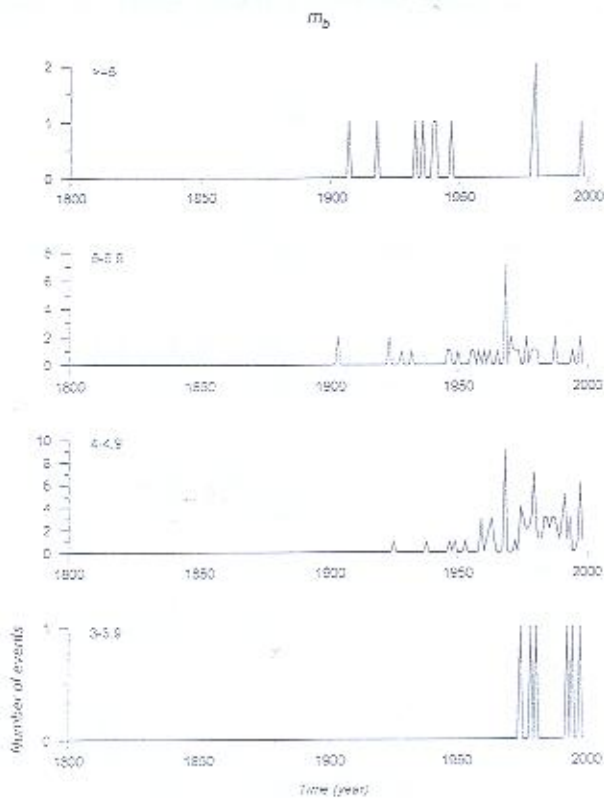
Ms - m_b relationship
 $r^2 = 0.925076193$ $DFA_{adj} r^2 = 0.821393586$ $FitStdErr = 0.232239996$ $Fstat = 452.810374$
 $Ms = a.m_b + b$
 $a = 1.5155926$ $b = -2.8105357$



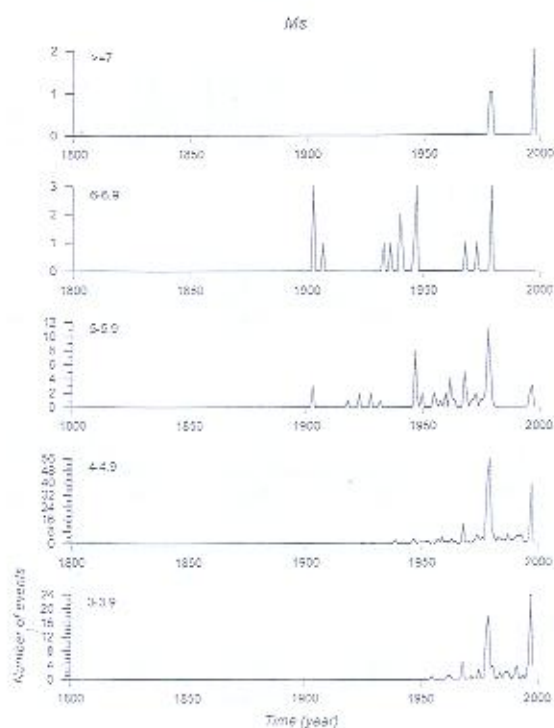
شکل ۳- نمودار رابطه Ms بر حسب m_b



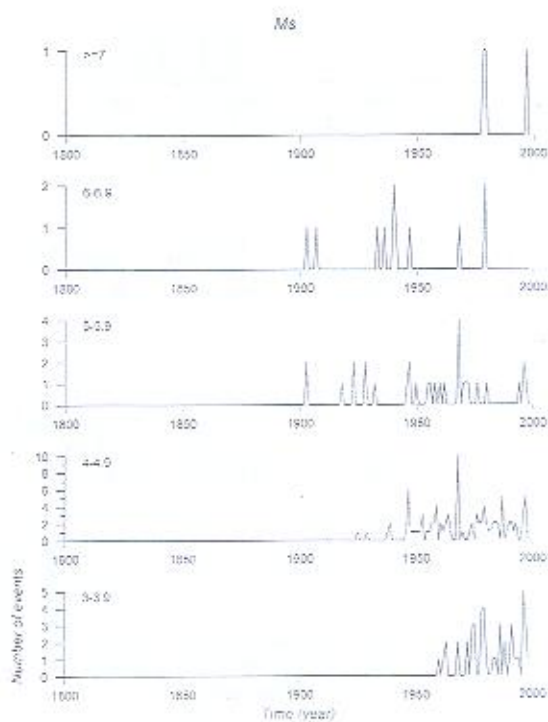
شکل ۴- نمودار تعداد- زمان مربوط به دوره ۱۹۹۸-۱۸۰۰ برای چهار دسته بزرگی (همه زلزله ها)



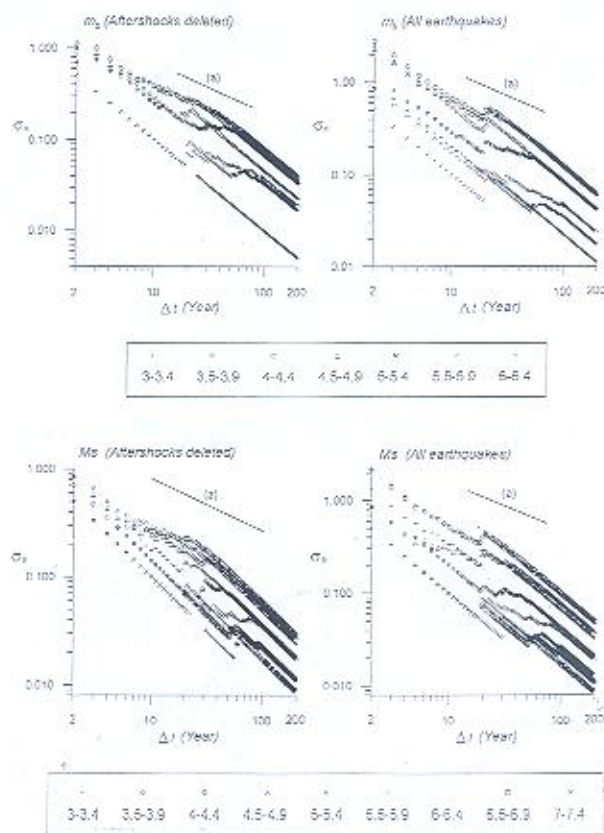
شکل ۵- نمودار تعداد- زمان مربوط به دوره ۱۹۹۸-۱۸۰۰ برای چهار دسته بزرگی (حذف بزرگترین)



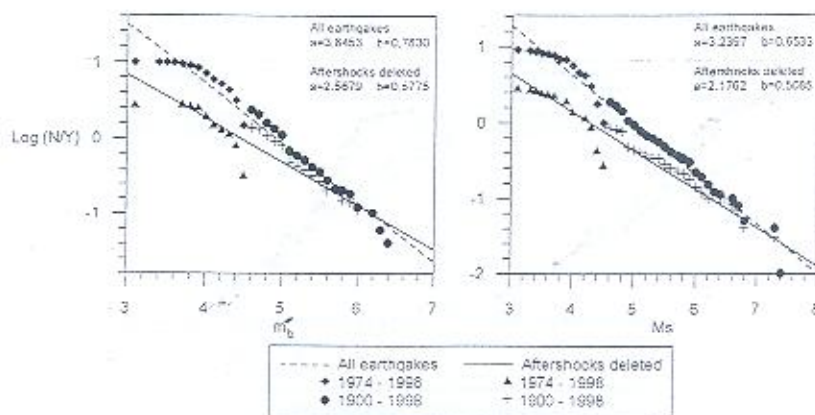
شکل ۶- نمودار تعداد- زمان مربوط به دوره ۱۹۹۸-۱۸۰۰ برای پنج دسته بزرگی (همه زلزله ها)



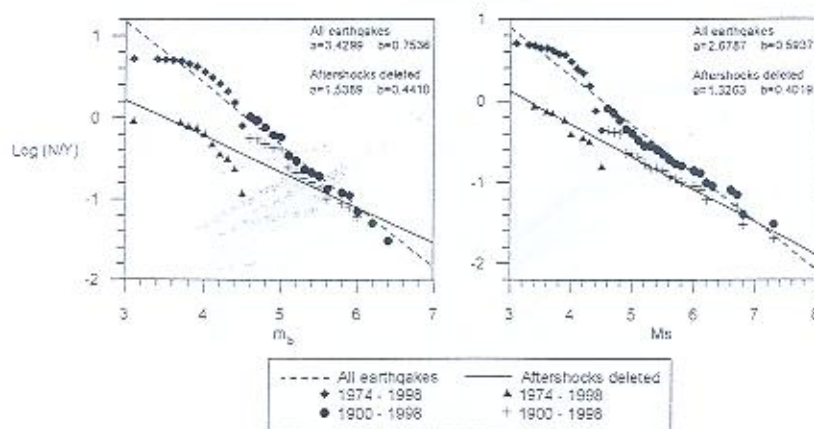
شکل ۷- نمودار تعداد- زمان مربوط به دوره ۱۹۹۸-۱۸۰۰ برای پنج دسته بزرگی (حذف پس لرزه ها)



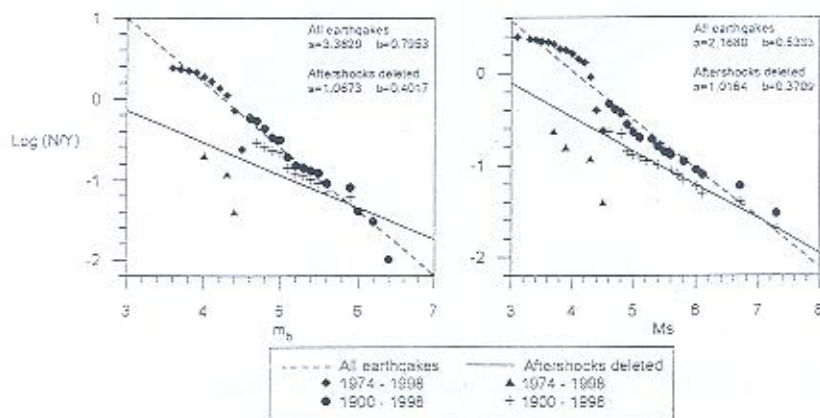
شکل ۸- نمودار انحراف استاندارد تعداد متوسط رویدادها (σ_n) برای دسته بزرگی (ΔM) نسبت به طول مدت زمان (Δt). خط (a) مشخصه نقاط مرجع می باشد.



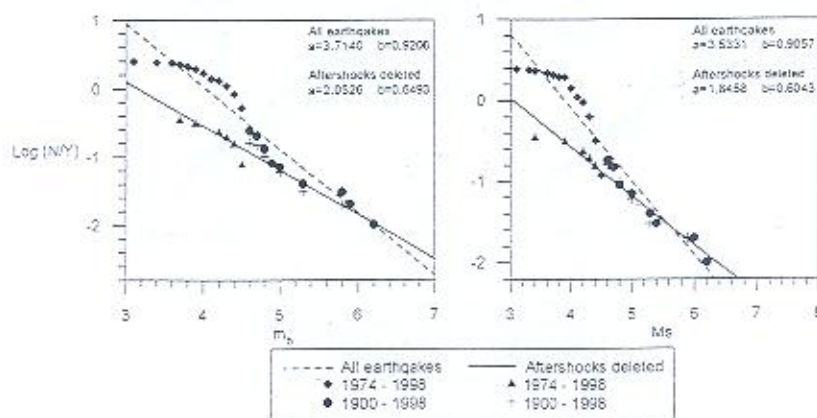
شکل ۹- نمودار رابطه G-R برای گستره $35/5^\circ - 31/5^\circ$ عرض شمالی و $61^\circ - 57^\circ$ طول خاوری



شکل ۱۰- نمودار رابطه G-R برای گستره $32/5^{\circ}$ - $34/5^{\circ}$ عرض شمالی و $60/5^{\circ}$ - $58/5^{\circ}$ طول خاوری



شکل ۱۱- نمودار رابطه G-R برای گستره $33/5^{\circ}$ - $33/5^{\circ}$ عرض شمالی و $60/2^{\circ}$ - 59° طول خاوری



شکل ۱۲- نمودار رابطه G-R برای گستره $33/8^{\circ}$ - $32/8^{\circ}$ عرض شمالی و $60/5^{\circ}$ - $59/5^{\circ}$ طول خاوری

منابع

- رنیسی، م.، ۱۳۷۷- بررسی زلزله ۲۰ اردیبهشت ۱۳۷۶ زیرکوه (قائن - بیرجند)، شرق ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران .
کمالیان، ن. و مهرابیان، ش.، ۱۳۶۹- ایتار ش مشخصات زلزله های ایران. موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران
معین فر، ع.، مهدویان، ع. و مالکی، ا.، ۱۳۷۲- مجموعه اطلاعات پایه زلزله های ایران . موسسه نمایشگاههای فرهنگی ایران.

Reference

- Ambraseys, N. N., 1985- The Seismicity of Western Scandinavia. *Earthquake Eng. Strut. Dyn.*, 13 , 361-399.
Ambraseys, N. N. and Melville, C.P., 1982- A History of Persian earthquakes. Cambridge, Cambridge Univ. press, 219.
Darwin, C., 1860- The voyage of the Beagle (London, 768 p.; re- edited by Anchor Doubleday, New York, 1962).
Gutenberg, B and Richter, C.F., 1954 - Scismicity of the Earth and associated phenomenon, 2nd edition, princeton Univ. press.
Hanks, T.C. and Kanamori, H., 1979- A moment magnitude scale. *J. Geophys. Res.*, 84, 2348-2350.
Jie, L., Yong, C., Yichong, Y. and Jianhua, N., 1997- Studies of earthquake hazard using microseismicity data in modern times. *Earthquake Research in China*, 11, 237-245.
Kanamori, H., 1977- The energy release in great earthquakes. *J. Geophys. Res.*, 82, 2981-2987.
Kasahara, K., 1985 - Earthquake mechanics. Cambridge, Cambridge Univ. press, 248.
Keilis-Borok, V.I. and Knopoff, L., 1980- Bursts of aftershock of strong earthquake. *Nature*, 283, 5744259-5744263.
Lomnitz, C., 1994- Fundamentals of earthquake prediction, John wily & Sons, INC.
Lomnitz- Adler, J., 1989- Statistical dynamics calculations of time-dependent seismicity. *Tectonophysics*, 169, 207-213.
Scih, K.E., 1981- A review of geological evidence for recurrence time of large earthquake prediction. In: Simpson, D.W. and Richards, P.G. (eds), AGU, 187-207.
Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran. A review, *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 52, 1229-1258.
Stocklin, J., Eftekhar-Nezhad, J. and Hushmand-Zadeh, 1972- A Central Lut reconnaissance, East Iran. *Geol. Surv. Iran, Rep.* 22.
Wiener, N., 1956- Nonlinear prediction and dynamics. Proc. 3rd. Berkeley symp. Stat. Probl. Univ. Calif. Berkeley, 3, 247-252.
Wyss, M. and Habermann, R.E., 1982- Conversion of m_b to M_s for estimating the recurrence time of Large earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 72, 1651-1662.
Xiufang, M. and Liping, F., 1991- The relation and its statistical examination between explosive aftershock burst and strong earthquakes. *Acta Seismologica Sinica*, 13,3, 273-280.
Young, C. and Jie, L., 1995- Earthquake risk assessment and loss estimation (Review). *Journal of Natural disaster*, 4, 3,20-29.

* موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

* Geophysics Institute, University of Tehran, Iran.