مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره دهم، شماره بیست و هفتم، بهار ۱۴۰۰
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۳
تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲
صفحات: ۱۹۶ - ۱۷۷

مقاله (علمی پژوهشی)

بررسی پارامترهای لرزه خیزی ، محاسبه گشتاور لرزه ای و زمین شناسی پهنه کپه‌داغ در شمال شرق ایران

هادی علی نیا[۱]، محمد مهدی خطیب*[۲]

۱. دانشجوی دکتری زمین شناسی گرایش تکتونیک دانشگاه بیرجند
۲*. عضو هیت علمی گروه زمین شناسی دانشگاه بیرجند

چکیده

زون کپه داغ، شمالی ترین زون تغییر شکل ناشی از همگرایی صفحه ی عربستان و اوراسیا است که پهنه ی زمین ساختی فعالی را با روند شمال غربی- جنوب شرقی تشکیل می دهد. از آنجا که ساخت و سازهای قدیمی موجود در شهر بجنورد که یکی از شهرهای پر جمعیت این پهنه، طول عمری بیش از ۵۰ سال دارند و برخی بناها نیز از ارزش و اهمیت تاریخی و مذهبی برخوردارند و نیز با توجه به وجود زلزله های بزرگ در پیشینه لرزه خیزی آن، ضرورت انجام پژوهش حاضر را آشکار می سازد. هدف از انجام این پژوهش، تهیه نقشه های پهنه بندی عمقی لایه لرزه زا، پهنه بندی خطر زمین لرزه و برآورد نرخ گشتاور لرزه ای و زمین شناسی به منظور تامین اطلاعات پایه جهت شناخت و برنامه ریزی کلان منطقه مورد مطالعه و به دست آوردن اطلاعاتی روشن از وضعیت خطر پذیری لرزه ای است. با توجه به نقشه پهنه بندی عمقی لایه لرزه زا، سوی تمرکز کم عمق بودن لایه لرزه زا با راستای گسل های معکوس پهنه کپه داغ حدودا زاویه ۴۵ درجه می سازد. در قسمت غربی این پهنه، گسلش معکوس و امتداد لغزی مشهود نمی باشد ولی لرزه خیزی وجود دارد که می تواند در آینده پیامد ایجاد یک زون برشی جدید در این ناحیه باشد. با بررسی پارامترهای لرزه خیزی، بیشینه شتاب افقی میانگین وارد بر شهر بجنورد حاصل گسل قرلق با توان لرزه زایی ۶/۴ ریشتر7338/0 g محاسبه شد؛ این در صورتی است که گسل در فاصله۲/۳۴ کیلومتری شهر بجنورد فعالیت نماید. در نهایت با توجه به PGA برآورد شده، نقشه پهنه بندی خطر لرزه خیزی در نرم افزار ArcGIS با استفاده از ابزار تحلیل گر زمین آماری ترسیم گردید. در گستره مورد مطالعه میانگین نرخ گشتاور زمین شناسی "(E+17 Nm/yr۴۸۱۵۱/۳)" و گشتاور لرزه ای ("E"×"14 Nm/yr۱۵۹۷/۱") برآورد گردید.

واژگان کلیدی: گشتاور زمین شناسی، گشتاور لرزه ای، لایه لرزه زا ، پارامترهای لرزه خیزی، پهنه کپه داغ.

*- محمد مهدی خطیب (نویسنده مسئول) Email: mkhatib@birjand.ac.ir

مقدمه

کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در منطقه همگرایی صفحه عربستان در جنوب و صفحه اوراسیا در شمال، از نظر تکتونیکی یک منطقه بدون ثبات محسوب می شود از این رو تنش ناشی از تداوم حرکت صفحه های در برگیرنده فلات ایران، دلیل عمده فعالیت های لرزه ای در اغلب نقاط کشور، با خصوصیات خاص مربوط به زمین ساخت هر منطقه می باشد. در دهه های گذشته، مطالعات زیادی بروی زمین ساخت شمال خاور ایران انجام شده است که از آن جمله، می توان به کارهای مکنزی (۱۹۷۲، ۱۹۷۸)، چالنکو (۱۹۷۵)، افشار حرب (۱۹۷۹)، مکنزی و جکسون (۱۹۸۳،۱۹۸۶) ، لایبریس و مانبی (۱۹۹۹)، علوی (۱۹۹۱ و ۱۹۹۲)، لایبریس و همکاران (۱۹۹۸)، جکسون و همکاران (۲۰۰۲)، هالینگورث و همکاران (۲۰۰۶ ، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹)، میسون و همکاران (۲۰۰۷)، رمضانی و همکاران (۲۰۰۸)، شبانیان و همکاران (a،b،c ۲۰۰۹ ،۲۰۱۰) ، طالبیان (۱۳۹۱) و حسن زاده و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد. به عقیده مکنزی (۱۹۷۲و۱۹۷۸)، زون لرزه خیزی کپه داغ ادامه جنوب شرقی نوار لرزه خیزی قفقاز – خزر است. جدا از زمین لرزه های شناخته شده و گسلش های کواترنر آبرفت های پلکانی موجود در امتداد رودخانه ها به ویژه رودخانه ی کشف رود معرف فعالیت های جوان پهنه ی کپه داغ می باشد. چالنکو(۱۹۷۵)، با توجه به اطلاعات دستگاهی زمین لرزه های رخ داده پهنه گسل بخاردن – قوچان را معرفی نموده است. لایبریس و مانبی (۱۹۹۹)، با استفاده از مقاطع زمین شناسی در طول ۵ میلیون سال گذشته ، کوتاه شدگی معادل ۷۵ کیلومتر در جهت شمال-جنوب برای بخش غربی کپه داغ به دست آورده اند که با توجه به این مقدار، می توان گفت نرخ کوتاه شدگی در کپه داغ، معادل ۱۶ میلی متر در سال است و این امر سبب ایجاد اشکال ریخت زمین ساختی در منطقه شده است. جکسون و همکاران(۲۰۰۲)، این طور بیان می کنند که گسل های امتداد لغز در کپه داغ دارای روند شمال غربی-جنوب شرقی و مایل بروی ارتفاعات هستند و تا زمانی که فرایندهای تغییر شکل دهنده، موازی با امتداد منطقه شود، به صورت پادساعتگرد حول یک محور قائم می چرخند. براساس مدلی که هالینگورث و همکاران(۲۰۰۶)، برای شمال شرق ایران ارائه داده اند، حرکت شمالی-جنوبی ایران- اوراسیا توسط حرکات امتداد لغز روی گسل کپه داغ، سیستم گسلی شاهرود و همچنین کوتاه شدگی ها توسط راندگی های قائم جایگزین می شود. زون گسلی بخاردن-قوچان این حرکت شمالی جنوبی و کشش شرقی-غربی را به صورت چرخش پادساعتگرد یکسری از بلوک ها، جبران می کند. بنابراین، بخش غربی کپه داغ در حال خارج شدن به سمت غرب است. بلندترین ارتفاع در شرق زون گسلی بخاردن- قوچان دیده می شود که کوتاه شدگی آن فقط به صورت گسلش راندگی است. به سمت غرب زون کپه داغ، این ارتفاعات از بین می رود زیرا در آنجا گسلش امتدادلغز ، نقش مهمتری را در جبران کوتاه شدگی شمالی جنوبی، ایفا می کند. شبانیان و همکاران (۲۰۰۹)، دگریختی شمال شرق ایران(کپه داغ و بینالود) را پیامد گسلش میان بلوک های یکپارچه[1] دانسته اند، نه دگریختی پیوسته بر پایه الگوهای جنبش شناختی، آن گونه که در سه دهه گذشته پنداشت می شد. آن ها همچنین بر این باورند که سازوکار زمین ساختی شمال شرق ایران یک سامانه راستالغز ساده (سامانه گسلی قوچان) است. آن ها کوتاه شدگی انباشتی[2] این سامانه گسلی را ۴۰-۳۵ کیلومتر برآورد کرده اند. طالبیان(۱۳۹۱)، با مقایسه گشتاور لرزه ای ، ژئودتیک و

[1] - Rigid Block Faulting
[2] - Cumulative Shortening

زمین شناسی در البرز شرقی و کپه داغ به این نتیجه رسید که مقایسه گشتاور لرزه ای در این زون ها با میزان تجمعی سالانه آن، همخوانی نسبتا خوبی دارد و از این رو می توان با اطمینان بیشتر از داده های زمین شناسی و ژئودتیک در برآورد خطر زمین لرزه در این بخش از کشور استفاده نمود. حسن زاده و همکاران (۱۳۹۴)، با بررسی لرزه زمین ساخت کپه داغ مرکزی برپایه پارامترهای لرزه خیزی و بعد فرکتال، با نگرش ویژه به زون گسلی بخاردن-قوچان به این نتیجه رسید که استفاده از پارامترهای لرزه خیزی a-value و b-value و بعد فرکتال و تهیه نقشه توزیع محلی تنش بر اساس این پارامترها، اطلاعات ارزشمندی درباره سازوکار گسل ها و تغییرات سیستم های گسلی در طول زمان، ارائه می نماید. بررسی زمین لرزه های تاریخی (آمبرسیز و ملویل،۱۹۸۲) و زمین لرزه های ثبت شده در چند صدسال اخیر توسط دستگاه های لرزه نگار[1](IIEES)، می تواند شاهدی بر تحلیل های زمین شناختی متخصصان باشد. انتظار برای وقوع زلزله و تحلیل رخداد پس از وقوع زمین لرزه از حیث بزرگی، سازوکار و غیره، در جائی که ارتباط تنگاتنگی بین نوع، موقعیت و سایر ویژگی های شناخته شده ی گسل های شناسایی شده منطقه و محل زمین لرزه ها در آن وجود دارد، نمی تواند منطقی باشد. پهنه بندی خطر زمین لرزه به روش های تجربی آماری، قطعی و احتمالی کمک شایانی در جهت آگاهی از استعداد لرزه خیزی منطقه، ارائه الگوی مناسب ساخت و ساز و گسترش شهری به دست می دهد. هدف از مطالعه کنونی، انجام پهنه بندی خطر لرزه خیزی به منظور تامین اطلاعات پایه جهت شناخت و برنامه ریزی کلان منطقه مورد مطالعه و به دست آوردن اطلاعاتی روشن از وضعیت خطر پذیری لرزه ای منطقه جهت ارائه پیشنهادات کاربردی است . از این رو با به کارگیری روش قطعی در برآورد خطر شهر بجنورد که از جمله شهر پرجمعیت این پهنه می باشد، پتانسیل لرزه خیزی منطقه با تاکید بر ویژگی های زمین شناسی، تکتونیک و گسل های منطقه مورد بررسی قرار گرفته است.

داده ها و روش ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه رسوبی کپه داغ از زمان تریاس تا نئوژن بر روی پوسته قاره ای ایران- توران تکامل یافته و همگرایی صفحه‌های ایران و توران، نهشته های این حوضه را دگرشکل کرده است. ایالت زمین ساختی کپه داغ یک کمربند چین خورده پویا با راستای میانگین N60W و درازای ۷۰۰ کیلومتر می باشد (لایبریس و مانبی،۱۹۹۹). گستره مورد مطالعه بخشی از این ایالت است که در شمال شرقی ایران بین طول جغرافیایی °۵۴ تا °۶۱ شرقی و عرض ° ۳۶ تا ′۳۸°۵۰ شمالی واقع گردیده است. این نوار چین خورده از سوی غرب به وسیله دریای خزر و از سوی شرق و جنوب شرقی به رشته کوههای پامیر از سمت جنوب به خط مفصلی پالئوتتیس از شمال به یک گسل امتداد لغز راست رو با مولفه شیبی معکوس بنام گسل عشق آباد محدود می شود از نگاه ریخت شناسی، کپه داغ منطقه کوهستانی است که فاز آلپ پایانی در شکل گیری سیمای امروزی آن نقش اساسی داشته اند. ریخت شناسی منطقه، جوان است و توپوگرافی ناحیه، رابطه ای مستقیم با ساختارهای زمین شناسی دارد. با توجه به نوسانات ارتفاع در نقاط مختلف، آب و هوای این منطقه معتدل تا سردسیر می باشد.(شکل۱)

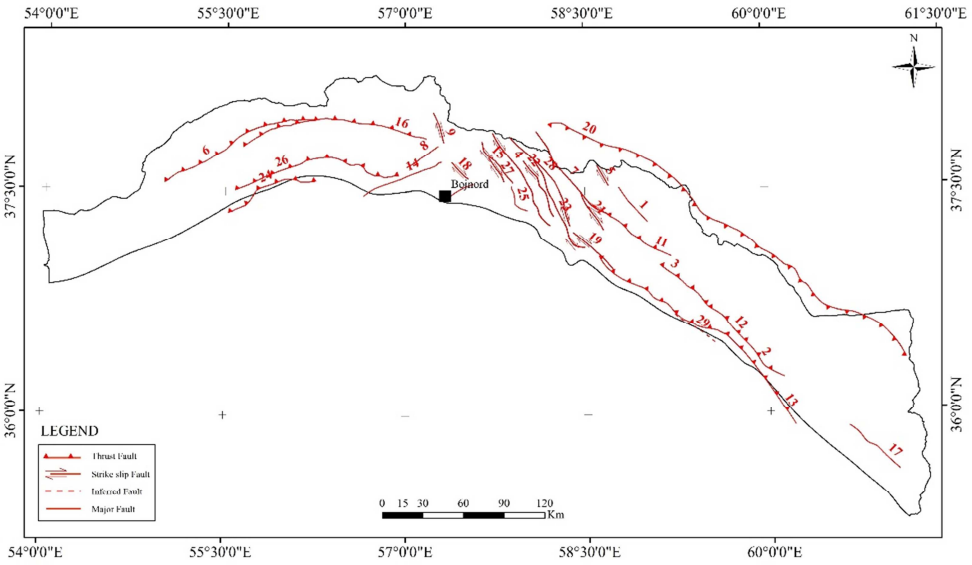
[1] – International Institute of Earthquake Engineering and Seismology



شکل۱: موقعیت پهنه کپه داغ در شمال شرقی ایران *(هالینگورث، ۲۰۰۶)*

روش کار

در این پژوهش به منظور بررسی پارامترهای لرزه خیزی، ابتدا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، موقعیت گسل های فعال (گسلی در نظر گرفته شده که واحد های کواترنر را قطع کرده باشد) موجود در گستره مورد مطالعه با استفاده از منابع موجود (نقشه های زمین شناسی و تصاویر ماهواره ای Landsat ETM^{+}) تعیین و رقومی شد(شکل۲و جدول۱).



شکل۲: نقشه گسل های فعال اقتباس شده از نقشه های زمین شناسی و تصاویر ماهواره ای

جدول۱: اسامی گسل‌های فعال گستره مورد مطالعه، L(طول گسل)وR (نزدیکترین فاصله گسل تا شهر بجنورد)،همراه با سازوکار گسل‌ها

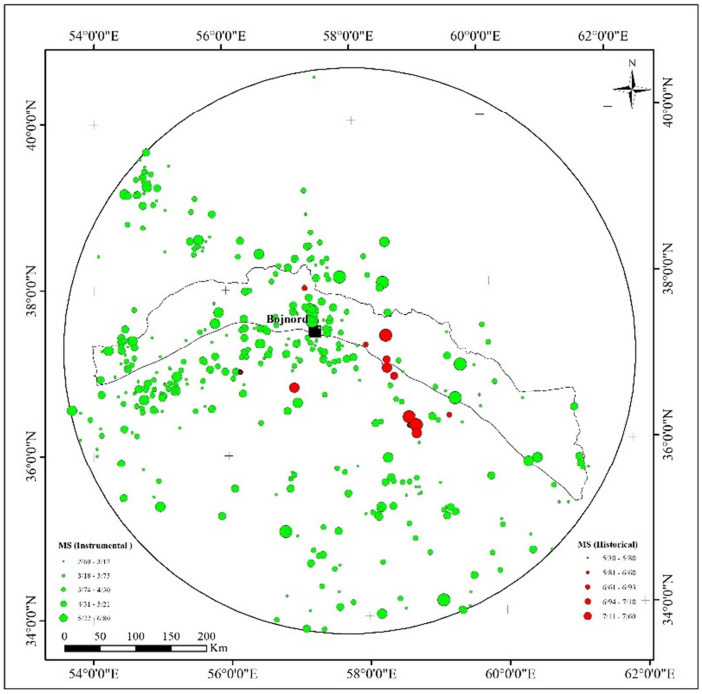
No.	Name	Type	L(Km)	R(Km)	No.	Name	Type	L(Km)	R(Km)
۱	Aghdash.F	Major	۳۳/۰۴	۱۲۸/۱۹	۱۶	Moraveh Tapeh.F	Thrust	۱۴۰/۶۸	۴۴/۷۸
۲	Ahmad Abad.F	Thrust	۴۰/۶۰	۲۴۵/۸۰	۱۷	Natu .F	Major	۴۹/۴۳	۳۴۳/۷۱
۳	Amrudak .F	Thrust	۴۷/۸۷	۱۶۷/۵۸	۱۸	Naveh.F	Strike Slip Right Lateral	۱۷/۵۵	۲۰/۳۵
۴	Baghan .F	Strike Slip Right Lateral	۸۲/۳۰	۵۴/۶۰	۱۹	Navokh.F	Strike Slip Right Lateral	۴۲/۰۳	۹۸/۰۵
۵	Bardar .F	Strike Slip Right Lateral	۱۷/۳۰	۱۱۴/۱۰	۲۰	North Kopeh Dagh. F	Thrust	۳۲۶/۴۸	۹۲/۷۵
۶	Bashtapeh .F	Thrust	۱۲۲/۵۷	۱۱۱/۴۹	۲۱	Paktel .F	Strike Slip Right Lateral	۳۳/۱۰	۹۹/۸۴
۷	Dorbadam.F	Strike Slip Right Lateral	۸۳/۶۹	۸۲/۲۹	۲۲	Qarhcheh .F	Strike Slip Right Lateral	۴۷/۷۶	۶۳/۱۴
۸	Ghasr.F	Major	۲۸/۱۶	۳۳/۳۰	۲۳	Quchan .F	Strike Slip Right Lateral	۷۹/۸۵	۷۰/۶۱
۹	Ghazei.F	Strike Slip Right Lateral	۲۳/۶۰	۳۹/۸۱	۲۴	Savar-e Bala.F	Thrust	۷۱/۴۱	۹۷/۴۷
۱۰	Ghorlogh .F	Major	۲۲/۶۸	۲/۳۶	۲۵	Shirvan .F	Major	۲۴/۰۸	۴۹/۱۶
۱۱	Kamas .F	Thrust	۵۵/۸۵	۱۲۱/۳۶	۲۶	Takal Kuh .F	Thrust	۱۲۹/۱۴	۳۷/۵۰
۱۲	Kardeh.F	Thrust	۳۶/۰۵	۲۱۲/۱۲	۲۷	Tukur .F	Strike Slip Right Lateral	۲۱/۷۱	۴۲/۳۵
۱۳	Kashafrud .F	Thrust	۱۹۷/۳۷	۱۲۲/۹۳	۲۸	Turanlo .F	Strike Slip Right Lateral	۸۱/۹۳	۶۴/۵۵
۱۴	Kikanlu .F	Major	۶۳/۲۱	۲۳/۴۷	۲۹	Tus. F	Inferred	۳۹/۲۱	۱۸۸/۶۹
۱۵	Lujli .F	Strike Slip Right Lateral	۳۹/۶۳	۴۳/۴۲					

در ادامه اطلاعاتی در مورد زمین لرزه های تاریخی روی داده در منطقه جمع آوری گردید (آمبرسیزوملویل، ۱۹۸۲- ترجمه ابوالحسن رده، ۱۳۷۰)(بربریان،۱۹۹۴). شواهد تاریخی نشان می دهد که این گستره لرزه خیز بوده و هیچگاه از خطر لرزه خیزی در امان نبوده است.(جدول۲ و شکل۳)

جدول۲: کاتالوگ زلزله های تاریخی در گستره مورد مطالعه

Year	Month	Day	Lat	Lon	Ms	Year	Month	Day	Lat	Lon	Ms
1052	6	2	36/20	58/80	7	1687	4	1	36/4	59/3	6/6
1145			36/3	58/7	5/3	1810			38	57/2	6/5
1209			36/4	58/7	7/6	1833			37/3	58/1	6/2
1251			36/3	58/8	7/6	1851	6	1	36/9	58/5	6/9
1270	10	7	36/2	58/8	7	1871	12	23	37/4	58/4	7/43
1389	2	5	36/3	58/8	7/3	1883	4	28	37	56/2	5/8
1405	11	23	36/3	58/8	7/3	1893	11	15	37	58/4	7/1
1595	5	11	36/8	57	7	1895	1	14	37/1	58/4	6/93
1673	7	30	36/4	59/3	6/5						

در مرحله بعد فهرست کاملی از زمین لرزه های دستگاهی منطقه (از سال ۱۹۰۰م تا ۲۰۲۰م) به مرکز شهر بجنورد تا شعاع ۳۸۰ کیلومتری (حداقل شعاعی که پهنه کپه داغ را در برگیرد) از سایت پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله استخراج شد(IIEES). فهرست تهیه شده شامل زمان رویداد زلزله، طول و عرض جغرافیایی مرکز سطحی زلزله، عمق کانونی، بزرگای زلزله و مرجع گزارش کننده می باشد. در این بازه زمانی ۴۳۲ رویداد زمین لرزه ثبت شده بود که از این تعداد ، براساس حذف کردن پس لرزه ها و پیش لرزه ها تعداد ۴۰۲ زلزله باقی ماند که در محاسبات مورد استفاده قرار گرفتند با توجه به پلات نمودن موقعیت کانون زمین لرزه ها در گستره مورد مطالعه در نگاه اول متوجه می شویم که زمین لرزه ها بیشتر در مرز جنوبی و مرز شمالی کپه داغ متمرکزند و بخش های جنوب شرقی و شرق کپه داغ چندان لرزه زا نیست. (شکل۳).



شکل۳: موقعیت کانون های زمین لرزه تاریخی و دستگاهی درپهنه کپه داغ

یافته های تحقیق

الف- بررسی عمق کانونی زلزله ها

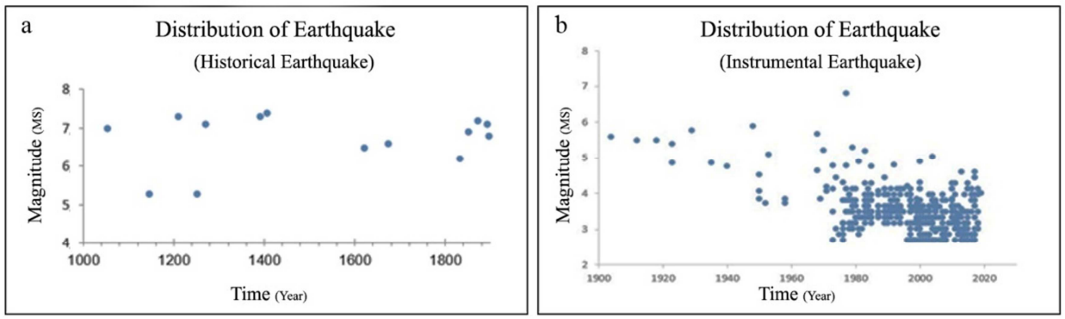
عمق کانونی زلزله نشان دهنده عمق لرزه‌خیزی یک ناحیه می‌باشد که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در جدول(۳) توزیع آماری عمق کانونی زمین لرزه‌های گستره طرح نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود فراوانی عمق ۲۰ تا ۳۳ کیلومتر کاملا مشهود می‌باشد که بیانگر آن است در پهنه کپه داغ زمین‌لرزه‌ها بیشتر از نوع کم عمق است.

جدول۳: توزیع آماری عمق کانونی زمین لرزه‌های کپه داغ

عمق	تعداد	درصد موجود در کاتالوگ نهایی
$H \leq ۱۰$	۱۲۶	۳۱/۳۴
$۱۰ < H \leq ۲۰$	۵۶	۱۳/۹۳
$۲۰ < H \leq ۳۳$	۱۹۱	۴۷/۵۱
$H > ۳۳$	۲۹	۷/۲۱

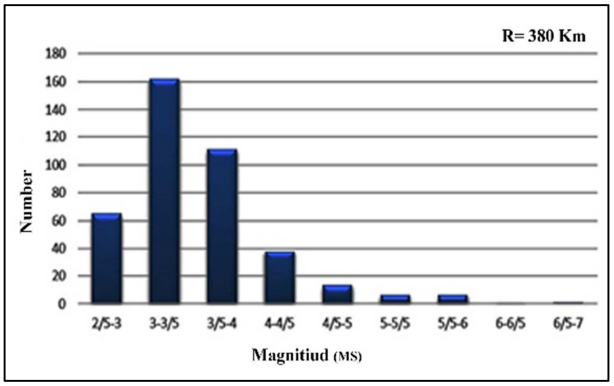
ب-ویژگی های لرزه خیزی گستره مورد مطالعه

متداولترین شیوه بررسی لرزه‌خیزی یک ناحیه، مطالعه آماری فراوانی رویداد زمین لرزه‌ها نسبت به بزرگا و همچنین مشاهده پراکندگی بزرگای زمین لرزه‌ها در حوزه زمان می‌باشد. پراکندگی بزرگای زمین لرزه‌های محدوده مطالعاتی در حوزه زمان در شکل۴ و پراکندگی رابطه بزرگا- فراوانی زمین لرزه‌ها در شکل۵ نشان داده شده است.



شکل a۴: پراکندگی زمانی زمین لرزه های تاریخی در گستره مورد مطالعه(شعاع۳۸۰کیلومتر)

شکل۴b: پراکندگی زمانی زمین لرزه های دستگاهی در گستره مورد مطالعه (شعاع۳۸۰کیلومتر)



شکل۵: رابطه بزرگا- فراوانی زمین لرزه های رویداده در گستره شعاعی منطقه

پ-برآورد فرمول لرزه خیزی گستره مورد مطالعه

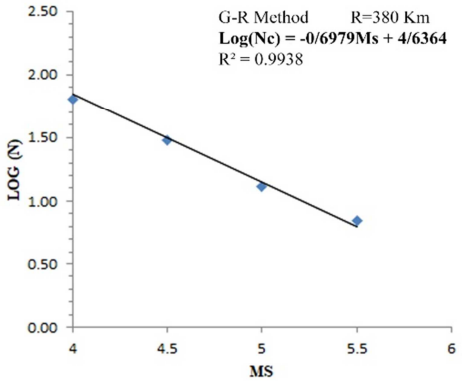
از آنجایی که در برآورد پارامترهای لرزه خیزی و تحلیل خطر زمین لرزه، معادلات بکار رفته با یک نوع بزرگا که اغلب Ms می باشد برآورد می گردد. بدین منظور کلیه داده های لرزه ای از طریق فرمول های تجربی به Ms تبدیل گردید.

-روش کلاسیک گوتنبرگ_ ریشتر

در این روش وضعیت لرزه‌خیزی گستره طرح به صورت ریاضی معنی‌دار شده و رابطه بزرگا- فراوانی رویداد زمین لرزه‌ها تعریف می‌شود که ضرایب ثابت آن نشانگر وضعیت لرزه‌خیزی ناحیه یا چشمه مورد نظر خواهد بود. در این پژوهش زمین‌لرزه‌های با بزرگی $Ms \geq 3$ ، یک دوره ۱۲۰ ساله از سال ۱۹۰۰ تا سال ۲۰۲۰ برای پهنه کپه داغ مشخص شده است. سپس با محاسبه Log N و ترسیم آن برحسب Ms، پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه یعنی a و b به دست آمده است(شکل۶).

$$Log(Nc) = -0/6979Ms + 4/6364 \quad (۱)$$

با توجه به فرمول لرزه‌خیزی حاصل شده، در این منطقه مقادیر پارامترهای لرزه‌ای برابر a=۱/۸۰۶۱۸ و b=۰/۶۹۷۶ می‌باشد. ضرایب a و b پارامترهای لرزه‌خیزی هستند، به نحوی که a را به ویژگی‌های زمین‌ساختی ناحیه مرتبط می‌دانند و b شیب خط در نمودار LogN است.



شکل۶: بزرگی MS در برابر LogN به منظور محاسبه فرمول لرزه‌خیزی گوتنبرگ- ریشتر

-تعیین دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها

متوسط فاصله زمانی بین یک رویداد مشخص و رویدادی بزرگتر یا معادل آن را دوره بازگشت (T) می‌نامند که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (نوروزی و همکاران، ۱۹۸۶):

$$T = 1/N \quad (۲)$$

با توجه به اینکه $LogN=a-b\ M_S$، لذا میانگین دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها به صورت زیر خواهد بود(جدول۴):

$$T = 10^{-a+bM} \quad (۳)$$

جدول ۴: برآورد دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های با بزرگی مختلف

MS	Log N	N	T=1/N	MS	Log N	N	T=1/N
۳	-۰/۲۸۷	۰/۵۱۷	۱/۹۳۵	۵/۶	-۲/۱۰۰	۰/۰۰۸	۱۲۶/۰۰۳
۳/۲	-۰/۴۲۶	۰/۳۷۵	۲/۶۸۸	۵/۸	-۲/۲۴۰	۰/۰۰۶	۱۷۳/۷۴۰
۳/۴	-۰/۵۶۶	۰/۲۷۲	۳/۶۷۸	۶	-۲/۳۷۹	۰/۰۰۴	۲۳۹/۵۶۳
۳/۶	-۰/۷۰۵	۰/۱۹۷	۵/۰۷۲	۶/۲	-۲/۵۱۹	۰/۰۰۳	۳۳۰/۳۲۴
۳/۸	-۰/۸۴۵	۰/۱۴۳	۶/۹۹۴	۶/۴	-۲/۶۵۸	۰/۰۰۲	۴۵۵/۴۷۰
۴	-۰/۹۸۴	۰/۱۰۴	۹/۶۴۳	۶/۶	-۲/۷۹۸	۰/۰۰۲	۶۲۸/۰۲۹
۴/۲	-۱/۱۲۴	۰/۰۷۵	۱۳/۲۹۷	۶/۸	-۲/۹۳۸	۰/۰۰۱	۸۶۵/۹۶۴
۴/۴	-۱/۲۶۳	۰/۰۵۵	۱۸/۳۳۴	۷	-۳/۰۷۷	۰/۰۰۱	۱۱۹۴/۰۴۳
۴/۶	-۱/۴۰۳	۰/۰۴۰	۲۵/۲۸۰	۷/۲	-۳/۲۱۷	۰/۰۰۱	۱۶۴۶/۴۱۸
۴/۸	-۱/۵۴۲	۰/۰۲۹	۳۴/۸۵۸	۷/۴	-۳/۳۵۶	۰	۲۲۷۰/۱۷۸
۵	-۱/۶۸۲	۰/۰۲۱	۴۸/۰۶۴	۷/۶	-۳/۴۹۶	۰	۳۱۳۰/۲۵۷
۵/۲	-۱/۸۲۱	۰/۰۱۵	۶۶/۲۷۴	۷/۸	-۳/۶۳۵	۰	۴۳۱۶/۱۸۴
۵/۴	-۱/۹۶۱	۰/۰۱۱	۹۱/۳۸۲	۸	-۳/۷۷۵	۰	۵۹۵۱/۴۱۲

ت-برآورد پارامترهای حرکتی زمین با استفاده از روابط تجربی

میزان شتاب حرکت افقی زمین معمولاً در دو مرز با احتمال خطر ۱۰ و ۶۴ درصد انتخاب می‌شوند. محاسبه این پارامترها از طریق رابطه زیر بدست می آید (پور کرمانی ،۱۳۷۶):

$$R_P = 1 - \exp(-T \times 10^{(a-bMs)}) \quad (٤)$$

که در آن a-bMs پارامتر لرزه‌خیزی منطقه مطالعاتی است. لذا فرمول محاسبه DBE به شرح زیر است:

$$0/64 = 1 - \exp(-T \times 10^{(a-bMs)}) \quad (۵)$$

و برای محاسبه MCE نیز از رابطه زیر استفاده شده است.

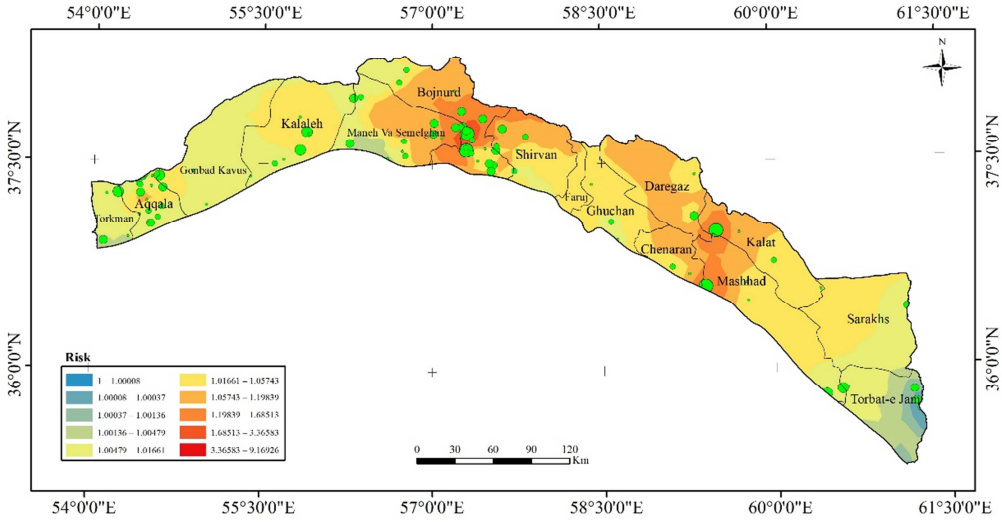
$$0/1 = 1 - \exp(-T \times 10^{(a-bMs)}) \quad (۶)$$

برای منطقه مورد مطالعه برآورد DBE و MCE برای عمر مفید ۱۰ تا ۱۰۰ ساله محاسبه گردید که در جدول ۵ آورده شده است.

جدول۵: برآورد DBE و MCE برای عمر مفید ۱۰ تا ۱۰۰ ساله.

عمرمفید سازه(T)	DBE(R=64%)	MCE(R=10%)	عمرمفید سازه(T)	DBE(R=64%)	MCE(R=10%)
۱۰	۴/۰۱	۵/۴۲	۶۰	۵/۱۲	۶/۵۴
۲۰	۴/۴۴	۵/۸۶	۷۰	۵/۲۲	۶/۶۴
۳۰	۴/۶۹	۶/۱۱	۸۰	۵/۳	۶/۷۲
۴۰	۴/۸۷	۶/۲۹	۹۰	۵/۳۸	۶/۷۹
۵۰	۵/۰۱	۶/۴۳	۱۰۰	۵/۴۴	۶/۸۶

با توجه به بزرگای زمین لرزه های ثبت شده، نقشه ریسک زمین لرزه برای عمرمفید۱۰۰ سال با استفاده از پارامترهای لرزه خیزی ترسیم گردید(شکل۷).



شکل۷: نقشه ریسک زمین لرزه برای عمرمفید۱۰۰سال به همراه کانون های زمین لرزه

ث-برآورد بیشینه بزرگای منتسب به گسله ها

با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در این پژوهش از ۹ رابطه تجربی توچر(T) ، هاستر(H)، پرس(P)، نوروزی(N)، نوروزی و مهاجر اشجعی(N&M)، زارع(Z)، بونیلا و همکاران(B) ،کاپراسمیت Co(۱۹۹۴) ، سلمونز(۱۹۸۲)Se به منظور برآورد توان لرزه‌زایی گسله های منطقه استفاده شده است. جدول۶ نتایج محاسبات را نشان می دهد.

جدول ۶: بیشینه بزرگای گسله های موجود در گستره طرح. در این جدول Type:سازو کار گسل (M: اصلی، T:معکوس، S.S.R:امتداد لغز راست گرد، In:احتمالی)، L:طول گسل، To:توچر ،P:پرس، H:هاستر، N:نوروزی، Z:زارع، N&M:نوروزی و مهاجراشجعی، B:بونیلا و همکاران، Co:کاپراسمیت، Se:سلمونز

Name	Type	L (Km)	To	P	H	N	N (1985)	Z	N&M (1978)	B	Co (1994)		Se (1982)		MS (Av)
											S.S	T	S.S	T	
Aghdash.F	M	۳۳/۰۴	۷/۲۲	۸/۱۸	۷/۶۲	2/44	۶/۹۰	۶/۷۵	۶/۹۰	۷/۰۵					۶/۶۳
Ahmad Abad.F	T	۴۰/۶۰	۷/۳۱	۸/۳۲	۷/۷۵	2/57	۷/۰۰	۶/۹۳	۷/۰۰	۷/۱۶		۶/۹۶		۷/۲۸	۶/۸۳
Amrudak .F	T	۴۷/۸۷	۷/۳۸	۸/۴۴	۷/۸۶	2/68	۷/۱۰	۷/۰۸	۷/۱۰	۷/۲۵		۷/۰۵		۷/۳۷	۶/۹۳
Baghan.F	S.S.R	۸۲/۳۰	۷/۶۲	۸/۸۱	۸/۲۱	3/02	۷/۴۰	۷/۵۷	۷/۳۰	۷/۵۴	۷/۳۱		۷/۱		۷/۱۹
Bardar .F	S.S.R	۱۷/۳۰	۶/۹۴	۷/۷۳	۷/۲۰	2/02	۶/۵۰	۶/۱۷	۶/۶۰	۶/۷۰	۶/۵۵		۶/۳		۶/۲۸
Bashtapeh .F	T	۱۲/۵۷	۷/۷۹	۹/۰۹	۸/۴۷	3/28	۷/۶۰	۷/۹۳	۷/۵۰	۷/۷۵		۷/۵۵		۷/۸۳	۷/۴۸
Dorbadam.F	S.S.R	۸۳/۶۹	۷/۶۲	۸/۸۳	۸/۲۲	3/04	۷/۴۰	۷/۵۸	۷/۳۰	۷/۵۵	۷/۳۱		۷/۱		۷/۲۰
Ghasr.F	M	۲۸/۱۶	۷/۱۵	۸/۰۷	۷/۵۱	2/33	۶/۸۰	۶/۶۰	۶/۸۰	۶/۹۶					۶/۵۳

Ghazei.F	S.S.R	۲۳/۶۰	۷/۰۷	۷/۹۵	۷/۴۰	2/22	۶/۷۰	۶/۴۴	۶/۸۰	۶/۸۷	۶/۷۰		۶/۵		۶/۴۷
Ghorlogh .F	M	۲۲/۶۸	۷/۰۶	۷/۹۲	۷/۳۷	2/19	۶/۷۰	۶/۴۱	۶/۸۰	۶/۸۵					۶/۴۱
Kamas .F	T	۵۵/۸۵	۷/۴۵	۸/۵۵	۷/۹۶	2/77	۷/۲۰	۷/۲۲	۷/۱۰	۷/۳۳		۷/۱۳		۷/۴۴	۷/۰۲
Kardeh.F	T	۳۶/۰۵	۷/۲۶	۸/۲۴	۷/۶۸	2/49	۶/۹۰	۶/۸۳	۷/۰۰	۷/۱۰		۶/۹۰		۷/۲۳	۶/۷۶
Kashafrud .F	T	۱۹/۳۷	۸/۰۰	۹/۴۲	۸/۷۸	3/59	۷/۸۰	۸/۳۶	۷/۷۰	۸/۰۱		۷/۸۰		۸/۰۷	۷/۷۵
Kikanlu .F	M	۶۳/۲۱	۷/۵۰	۸/۶۳	۸/۰۴	2/85	۷/۲۰	۷/۳۳	۷/۲۰	۷/۴۰					۷/۰۲
Lujli .F	S.S.R	۳۹/۶۳	۷/۳۰	۸/۳۱	۷/۷۴	2/55	۷/۰۰	۶/۹۱	۷/۰۰	۷/۱۵	۶/۹۵		۶/۷		۶/۷۷
Moraveh Tapeh.F	T	۱۴/۶۸	۷/۸۵	۹/۱۹	۸/۵۶	3/37	۷/۷۰	۸/۰۵	۷/۵۰	۷/۸۳		۷/۶۲		۷/۹۰	۷/۵۶
Natu .F	M	۴۹/۴۳	۷/۳۹	۸/۴۶	۷/۸۸	2/70	۷/۱۰	۷/۱۱	۷/۱۰	۷/۲۷					۶/۸۸
Naveh.F	S.S.R	۱۷/۵۵	۶/۹۴	۷/۷۴	۷/۲۱	2/03	۶/۵۰	۶/۱۸	۶/۶۰	۶/۷۱	۶/۵۵		۶/۳		۶/۲۸
Navokh.F	S.S.R	۴۲/۰۳	۷/۳۲	۸/۳۵	۷/۷۸	2/59	۷/۰۰	۶/۹۶	۷/۰۰	۷/۱۸	۶/۹۸		۶/۸		۶/۸۰
North Kopeh Dagh. .F	T	۳۲/۴۸	۸/۲۱	۹/۷۷	۹/۱۱	3/91	۸/۱۰	۸/۸۱	۷/۹۰	۸/۳۸		۸/۰۷		۸/۳۲	۸/۰۵
Paktel .F	S.S.R	۳۳/۱۰	۷/۲۲	۸/۱۸	۷/۶۲	2/44	۶/۹۰	۶/۷۵	۶/۹۰	۷/۰۵	۶/۸۶		۶/۶		۶/۶۶
Qarhcheh .F	S.S.R	۴۷/۷۶	۷/۳۸	۸/۴۴	۷/۸۶	2/67	۷/۱۰	۷/۰۸	۷/۱۰	۷/۲۵	۷/۰۴		۶/۸		۶/۸۸
Quchan .F	S.S.R	۷۹/۸۵	۷/۶۰	۸/۷۹	۸/۱۹	3/00	۷/۴۰	۷/۵۴	۷/۳۰	۷/۵۲	۷/۲۹		۷/۱		۷/۱۸
Savar-e Bala.F	T	۷۱/۴۱	۷/۵۵	۸/۷۲	۸/۱۲	2/93	۷/۳۰	۷/۴۴	۷/۳۰	۷/۴۶		۷/۲۶		۷/۵۶	۷/۱۷
Shirvan .F	M	۲۴/۰۸	۷/۰۸	۷/۹۶	۷/۴۱	2/23	۶/۷۰	۶/۴۶	۶/۸۰	۶/۸۸					۶/۴۴
Takal Kuh .F	T	۱۲/۱۴	۷/۸۱	۹/۱۳	۸/۵۱	3/31	۷/۶۰	۷/۹۷	۷/۵۰	۷/۷۸		۷/۵۸		۷/۸۶	۷/۵۰
Tukur .F	S.S.R	۲۱/۷۱	۷/۰۴	۷/۸۹	۷/۳۴	2/17	۶/۷۰	۶/۳۷	۶/۷۰	۶/۸۲	۶/۶۶		۶/۴		۶/۴۲
Turanlo .F	S.S.R	۸۱/۹۳	۷/۶۱	۸/۸۱	۸/۲۱	3/02	۷/۴۰	۷/۵۷	۷/۳۰	۷/۵۴	۷/۳۰		۷/۱		۷/۱۹
Tus.F	In	۳۹/۲۱	۷/۲۹	۸/۳۰	۷/۷۳	2/55	۷/۰۰	۶/۹۰	۷/۰۰	۷/۱۴					۶/۷۴

ج- برآورد شتاب افقی در کانون

برای محاسبه شتاب در محل کانون، از فرمول های تجربی زیر استفاده می شود:

- تریفاناک و برادی (۱۹۷۵)

$$Log\ ah = 0/3I_0 - 0/014 \quad (۷)$$

$$Log\ av = 0/3I_0 - 0/18 \quad (۸)$$

- مورفی و برادی (۱۹۷۵)

$$Log\ ah = 0/25I_0 - 0/25 \quad (۹)$$

که در این روابطah شتاب افقی در کانون و av شتاب قائم در کانون می باشد.

برای برآورد سرعت افقی و قائم بر حسب سانتی متر بر ثانیه در کانون از فرمول تریفوناک و برادی (۱۹۷۵) استفاده می شود:

$$Log\ Vh = 0/63 + 0/25I_0 \quad (۱۰)$$

$$Log\ V\mathrm{v} = -1/1 + 0/28I_0 \quad (۱۱)$$

در این روابطVh سرعت افقی در کانون و Vv سرعت قائم در کانون می باشد.

حداکثر جابجاشدگی افقی(Dh) و قائم(Dv) بر حسب سانتی متر در کانون نیز با فرمول‌های تریفاناک و برادی(۱۹۷۵) قابل محاسبه است.

$$Log\ Dh = -0/53 + 0/19I_0 \quad (۱۲)$$

$$Log\ D\mathrm{v} = -1/13 + 0/24I_0 \quad (۱۳)$$

پارامترهای حرکتی زمین با استفاده از روابط تجربی بالا محاسبه و نتایج آن در جدول۷ آمده است.

جدول۷: برآورد پارامترها ی حرکتی زمین با استفاده از روابط تجربی. در این جدول I0: شدت زمین لرزه در محل کانون زمین لرزه (مرکالی)، T&B: تریفاناک و برادی (۱۹۷۵) ، M&B: مورفی و برادی (۱۹۷۵)، ah: شتاب افقی،av:شتاب قائم، Vh:سرعت افقی،Vv:سرعت قائم،Dh:جابجایی افقی،Dv: جابجایی قائم

Name	I_0	ah (cm/s²)			av (cm/s²)	Vh (cm/s)	Vh (cm/s)	Dh (cm)	Dv (cm)
		M&B	T&B	Av	T&B	T&B	T&B	T&B	T&B
Aghdash.F	۹	۲۳۷	۳۲۳	۲۸۰	۲۳۴	۵۶۹	۱۹	۱۲	۱۸
Ahmad Abad.F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Amrudak .F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Baghan .F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Bardar .F	۸	۱۷۸	۲۲۹	۲۰۳/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
Bashtapeh .F	۱۰	۵۶۲	۹۱۰	۷۳۶	۶۶۱	۱۳۴۹	۵۰	۲۳	۴۷
Dorbadam.F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Ghasr.F	۹	۲۳۷	۳۲۳	۲۸۰	۲۳۴	۵۶۹	۱۹	۱۲	۱۸
Ghazei.F	۸	۱۷۸	۲۲۹	۲۰۳/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
Ghorlogh .F	۸	۱۷۸	۲۲۹	۲۰۳/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
Kamas .F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Kardeh.F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Kashafrud .F	۱۰	۵۶۲	۹۱۰	۷۳۶	۶۶۱	۱۳۴۹	۵۰	۲۳	۴۷
Kikanlu .F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Lujli .F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Moraveh Tapeh.F	۱۰	۵۶۲	۹۱۰	۷۳۶	۶۶۱	۱۳۴۹	۵۰	۲۳	۴۷
Natu .F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Naveh.F	۸	۱۷۸	۲۲۹	۲۰۳/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
Navokh.F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
North Kopeh Dagh. F	۱۱	۱۰۰۰	۱۸۱۶	۱۴۰۸	۱۳۱۸	۲۳۹۹	۹۵	۳۶	۸۹
Paktel .F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Qarhcheh .F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Quchan .F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Savar-e Bala.F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Shirvan .F	۸	۱۷۸	۲۲۹	۲۰۳/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
Takal Kuh .F	۱۰	۵۶۲	۹۱۰	۷۳۶	۶۶۱	۱۳۴۹	۵۰	۲۳	۴۷
Tukur .F	۸	۱۷۸	۲۲۹	۲۰۳/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
Turanlo .F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
Tus. F	۹	۳۱۶	۴۵۶	۳۸۶	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵

چ-برآورد بیشینه شتاب گرانش افقی زمین (PGA)

برای محاسبه بیشینه شتاب گرانش افقی زمین از رابطه های ذیل استفاده شده است و نتایج حاصل از برآورد فرمول‌ها در جدول۸ ارائه گردیده است.

- دستور آزمایشی استوا (۱۹۷۰) (نقل از پورکرمانی و همکار، ۱۳۷۶): با استفاده از زمین لرزه های رویداده در کشورهای گوناگون.

$$Y = 1/08\exp(0/5Ms)/(R+25) \times 1/32 \quad (۱۴)$$

که در آن M بزرگی زمین لرزه و R فاصله کانونی بر حسب کیلومتر است

- دانووان (۱۹۷۳) بر پایه بررسی ۶۷۰ شتاب نگاشت که ۱۰۰ مورد آن مربوط به زمین لرزه های ژاپن و۲۱۰ مورد آن از شتاب نگاشت های کالیفرنیا بودند، دستور آزمایشی زیر را بدست آوره است:

$$Y = 1/1\exp(0/5M)/(R+25) \times 1/32 \quad (۱۵)$$

که در آن M بزرگی زمین لرزه و R فاصله کانونی به کیلومتر است دستور بالا برای بزرگی Mb به صورت زیر درآمده است:

$$Y = 0/42\exp(0/665Mb)/(R+25) \times 1/32 \quad (۱۶)$$

دستور نخست برای زمین لرزه های کالیفرنیا به این شرح است:

$$Y = 1/320\exp(0/58Mb)/(R+25) \times 1/52 \quad (۱۷)$$

- دستور میرایی کمپبل (۱۹۸۱) دستور جهانی برای زمین لرزه های کم ژرف با بزرگی میان ۵ الی ۷/۷ و فاصله های کمتر از ۵۰ کیلومتر میان سرچشمه زمین لرزه و جایگاه ساختگاه و برای زمانی که پی بر روی سنگ و یا رسوبات آبرفتی ستبر تر از ۱۰کیلومتر قرار دارد به صورت زیر است:

$$Y = 0/0159\exp(0/868M) \times [R + 0/0606\exp(0/7M)] - 1/09 \quad (۱۸)$$

که در آن M = ML برای M < ۶ (ML بزرگی محلی) و M = Ms برای M > ۶

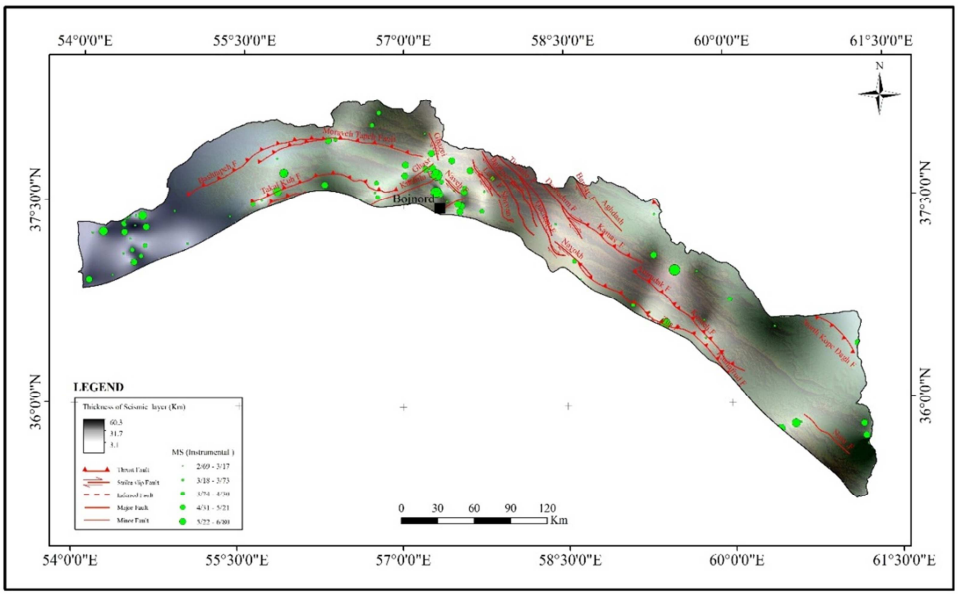
جدول۸: بیشینه شتاب محتمل در محدوده مورد مطالعه که در این جدول L :طول گسل، R:نزدیکترین فاصله گسل تاخاستگاه(بجنورد)
Es، استوا (۱۹۷۰)،D: دانوان ،C: کمپبل (۱۹۸۱)

Name	L(Km)	R(Km)	Ms(Av)	PGA			PGA_{Av}
				Esteva(1970)	Danovan(1973)	Campbell(1981)	
				Cm/s2	gal	g	
Aghdash.F	۳۳/۰۴	۱۲۸/۱۹	۶/۶	۰/۰۲۲۲	۰/۰۹۸۰	۰/۰۲۴۰	۰/۰۴۸۱
Ahmad Abad.F	۴۰/۶۰	۲۴۵/۸۰	۶/۸	۰/۰۰۶۹	۰/۰۴۲۷	۰/۰۱۴۳	۰/۰۲۱۳
Amrudak .F	۴۷/۸۷	۱۶۷/۵۸	۶/۹	۰/۰۱۳۵	۰/۰۶۴۲	۰/۰۲۳۳	۰/۰۳۳۷
Baghan .F	۸۲/۳۰	۵۴/۶۰	۷/۲	۰/۰۷۶۵	۰/۱۸۵۵	۰/۰۸۸۰	۰/۱۱۶۷
Bardar .F	۱۷/۳۰	۱۱۴/۱۰	۶/۳	۰/۰۲۸۲	۰/۱۲۸۴	۰/۰۲۰۲	۰/۰۵۸۹
Bashtapeh .F	۱۲۲/۵۷	۱۱۱/۴۹	۷/۵	۰/۰۲۵۱	۰/۰۸۱۱	۰/۰۵۵۳	۰/۰۵۳۹
Dorbadam.F	۸۳/۶۹	۸۲/۲۹	۷/۲	۰/۰۴۲۱	۰/۱۲۴۷	۰/۰۵۹۸	۰/۰۷۵۵
Ghasr.F	۲۸/۱۶	۳۳/۳۰	۶/۵	۰/۱۵۵۴	۰/۳۶۵۴	۰/۰۸۴۴	۰/۲۰۱۷
Ghazei.F	۲۳/۶۰	۳۹/۸۱	۶/۵	۰/۱۲۶۸	۰/۳۲۵۸	۰/۰۶۸۰	۰/۱۷۳۶
Ghorlogh .F	۲۲/۶۸	۲/۳۶	۶/۴	۰/۷۱۶۴	۱/۰۳۹۴	۰/۴۴۵۵	۰/۷۳۳۸
Kamas .F	۵۵/۸۵	۱۲۱/۳۶	۷/۰	۰/۰۲۳۲	۰/۰۸۹۲	۰/۰۳۴۹	۰/۰۴۹۱
Kardeh.F	۳۶/۰۵	۲۱۲/۱۲	۶/۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۵۲۲	۰/۰۱۵۸	۰/۰۲۵۷
Kashafrud .F	۱۹۷/۳۷	۱۲۲/۹۳	۷/۸	۰/۰۲۰۶	۰/۰۶۵۴	۰/۰۶۲۴	۰/۰۴۹۵
Kikanlu .F	۶۳/۲۱	۲۳/۴۷	۷/۰	۰/۲۱۱۰	۰/۳۸۲۸	۰/۱۶۲۵	۰/۲۵۲۱
Lujli .F	۳۹/۶۳	۴۳/۴۲	۶/۸	۰/۱۰۹۴	۰/۲۶۸۷	۰/۰۷۹۰	۰/۱۵۲۴
Moraveh Tapeh.F	۱۴۰/۶۸	۴۴/۷۸	۷/۶	۰/۰۹۵۰	۰/۱۹۰۷	۰/۱۳۷۳	۰/۱۴۱۰
Natu .F	۴۹/۴۳	۳۴۳/۷۱	۶/۹	۰/۰۰۳۷	۰/۰۲۷۹	۰/۰۱۰۴	۰/۰۱۴۰
Naveh.F	۱۷/۵۵	۲۰/۳۵	۶/۳	۰/۲۶۵۲	۰/۵۶۲۰	۰/۱۰۹۸	۰/۳۱۲۳
Navokh.F	۴۲/۰۳	۹۸/۰۵	۶/۸	۰/۰۳۳۷	۰/۱۲۲۴	۰/۰۳۶۳	۰/۰۶۴۱
North Kopeh Dagh. F	۳۲۶/۴۸	۹۲/۷۵	۸/۰	۰/۰۳۱۳	۰/۰۷۸۴	۰/۱۰۲۶	۰/۰۷۰۸
Paktel .F	۳۳/۱۰	۹۹/۸۴	۶/۷	۰/۰۳۳۳	۰/۱۲۶۸	۰/۰۳۱۹	۰/۰۶۴۰
Qarhcheh .F	۴۷/۷۶	۶۳/۱۴	۶/۹	۰/۰۶۵۰	۰/۱۸۴۰	۰/۰۶۰۱	۰/۱۰۳۰
Quchan .F	۷۹/۸۵	۷۰/۶۱	۷/۲	۰/۰۵۳۱	۰/۱۴۶۵	۰/۰۶۸۲	۰/۰۸۹۳
Savar-e Bala.F	۷۱/۴۱	۹۷/۴۷	۷/۲	۰/۰۳۲۴	۰/۱۰۶۲	۰/۰۴۹۲	۰/۰۶۲۶
Shirvan .F	۲۴/۰۸	۴۹/۱۶	۶/۴	۰/۰۹۷۲	۰/۲۷۵۵	۰/۰۵۴۴	۰/۱۴۲۳
Takal Kuh .F	۱۲۹/۱۴	۳۷/۵۰	۷/۵	۰/۱۱۹۲	۰/۲۲۵۲	۰/۱۵۳۸	۰/۱۶۶۱
Tukur .F	۲۱/۷۱	۴۲/۳۵	۶/۴	۰/۱۱۸۲	۰/۳۱۶۱	۰/۰۶۱۶	۰/۱۶۵۳
Turanlo .F	۸۱/۹۳	۶۴/۵۵	۷/۲	۰/۰۶۰۵	۰/۱۵۸۹	۰/۰۷۵۱	۰/۰۹۸۱
Tus. F	۳۹/۲۱	۱۸۸/۶۹	۶/۷	۰/۰۱۱۳	۰/۰۶۰۵	۰/۰۱۷۶	۰/۰۲۹۸

نتایج و بحث

-پهنه بندی عمقی لایه لرزه زا

با توجه با کسر نمودن عمق کانونی زمین لرزه ها رخ داده در گستره مورد مطالعه از ارتفاع سطح زمین، نقشه پهنه بندی عمقی لایه لرزه زا نیز ترسیم گردید(شکل۸).که در این نقشه طیف رنگی سفید نمایانگر کم عمق بودن سطح لایه لرزه زا است. این امر بیانگر راستای تمرکز پتانسیل های لرزشی در این جهات می باشد. بنابراین اثر قسمت های سفید رنگ نشان دهنده زون های برشی آینده است و در آینده اثر پتانسیل لرزشی گسل های معکوس بصورت زون های برشی نمایان می شوند و مناطق منطبق بر این زون ها با توجه به پدید آمدن گسل های جدید جزئی از مناطق بسیار پر خطر محسوب خواهند شد. در محدوده گسل های تورانلو تا لوجی که زون برشی شکل گرفته و طیف رنگی سیاه دارد. لایه لرزه زا بدلیل تحرکات گسل های عمیق لرزه ای عمق بیشتری دارند. در نتیجه لایه لرزه زا قبل از تشکیل زون برشی کم عمق بوده و در اثر تحرکات گسل های امتداد لغز عمق این لایه افزایش یافته است در قسمت غربی این پهنه، گسلش معکوس و امتداد لغزی مشهود نمی باشد ولی لرزه خیزی وجود دارد که می تواند در آینده پیامد ایجاد یک زون برشی جدید در این ناحیه باشد.

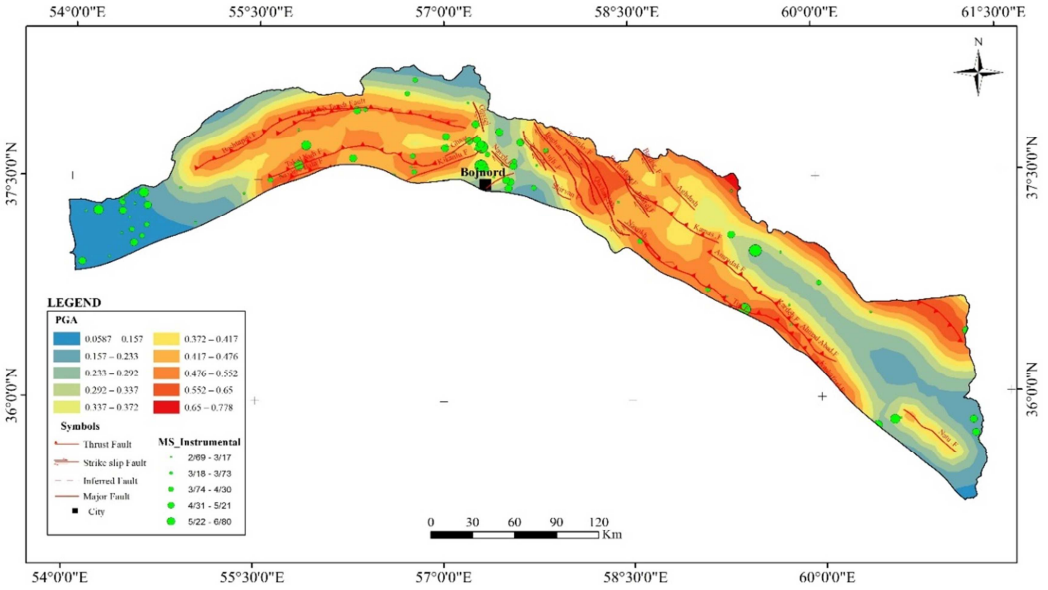


شکل۸: نقشه پهنه بندی عمقی لایه لرزا در کپه داغ

-پهنه بندی خطر زمین لرزه در گستره مورد مطالعه

برای تهیه نقشه خطر لرزه خیزی ، ابتدا بانک داده های شتاب گرانش افقی PGA برای شبکه ای از نقاط (۱۵۶۵) در گستره مورد مطالعه در نظر گرفته شد. به این منظور در نرم افزار ArcGIS با استفاده ازاکستنشن جانبی X-Toolsطول گسل ها محاسبه گردید و با کمک نرم افزار Arc view با استفاده از ابزار Demography analysis فاصله

هر گسل تا مرکز هر شبکه بدست آمد و بیشینه شتاب گرانش زمین با توجه به توان لرزه‌زایی و طول گسل محاسبه و بزرگترین شتاب به عنوان مبنای پهنه‌بندی در نظر گرفته شد. نقاطی که در شبکه طراحی شده و دارای PGA مشخص بودند درون یابی[1] شدند و برای کل گستره مورد مطالعه مقادیر PGA برآورد گردید.(شکل۹)



شکل۹: نقشه پهنه بندی خطرزمین لرزه کپه داغ

- برآورد نرخ گشتاور لرزه ای

یکی از روش های بر آورد نرخ گشتاور، استفاده از داده های لرزه ای زمین لرزه ها و کاتالوگ زمین لرزه های تاریخی است. با استفاده از روابط تجربی می توان نرخ گشتاور را در منطقه تعین کرد. گشتاور لرزه ای با توجه به روابط موجود بین گشتاور لرزه ای و انواع بزرگا (Mw,Ms,Mb,Ml) تعیین می شود (وارد، ۱۹۹۸) که رابطه ذیل در این پژوهش استفاده شده است (کاناموری و همکاران، ۱۹۷۹).

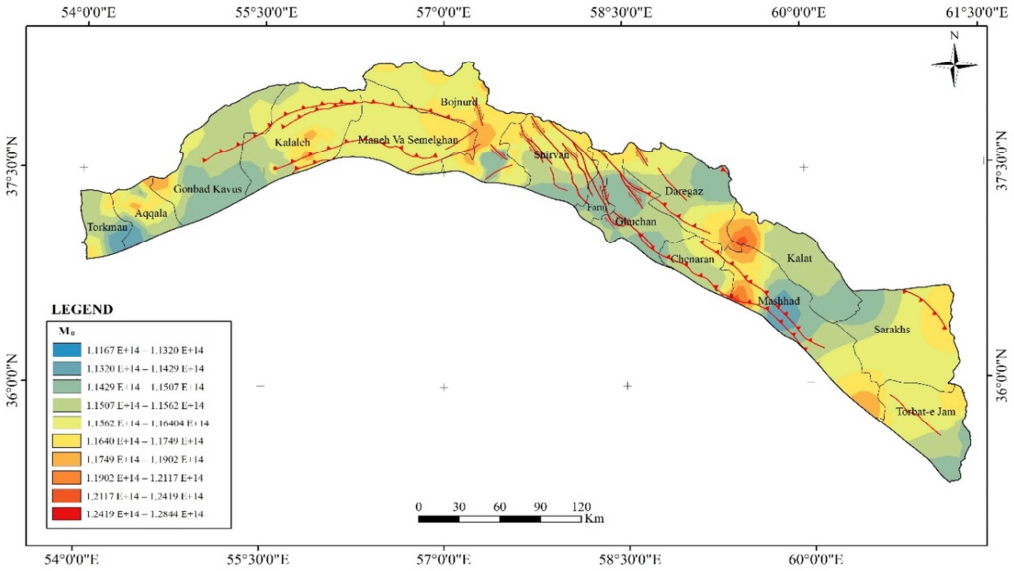
$$Log(M0/Nm) = 9/05 + 1/5Ms \qquad (۱۹)$$

نقشه گشتاور تجمعی لرزه ای برای زمین لرزه های دستگاهی در پهنه کپه داغ ترسیم گردید(شکل۱۰) و مقادیر نرخ گشتاور لرزه ای Nm/Y ۱۵۹۷/۱E × ۱۰[۱۴] از روش میانگین گیری زمین لرزه های موجود در کاتالوگ بدست می آید (وارد، ۱۹۹۸) (جدول۹).

[1] – interpolation

جدول ۹: میانگین گشتاور لرزه ای در پهنه کپه داغ

نرخ گشتاور لرزه ای بر حسب میانگین MS	Log(M_0/Nm)	برحسب میانگین	MS
۱/۱۵۹۷E+ ۱۴	۱۴/۳۸۷۰۰		



شکل۱۰: نقشه گشتاور تجمعی لرزه ای برای زمین لرزه های دستگاهی(۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰)

-برآورد نرخ گشتاور زمین شناسی

برای بدست آوردن نرخ گشتاور زمین شناسی به داده های همچون طول گسل، شیب گسل، نرخ لغزش و ستبرای لایه لرزه زا منطقه نیازمندیم. اگر ستبرای لایه لرزه زا در منطقه ثابت باشد، نرخ گشتاور لرزه ای در منطقه از فرمول زیر بدست می آید(وارد، ۱۹۹۸).

$$\bar{M} = \mu \sum (L\imath H s S\imath)/Cos\delta\imath) \qquad (۲۰)$$

μ: ضریب برشی، L_I : طول گسل ، S_I : نرخ لغزش گسل،δı: شیب گسل، Hs: ستبرای لایه لرزه ای منطقه و ضریب برشی برای سنگ های موجود در پوسته ای زمین $۳ \times ۱۰^{۱۰}\ Nm^{-۲}$ یا برابر $۳ \times ۱۰^{۱۱}\ dyn/cm^{-۲}$ است.

به منظور محاسبه گشتاور زمین شناسی از گسل های مراوه تپه، تکل کوه، شمال کپه داغ، باغان گرماب، شیروان، ناوه، کشف رود، امرودک، نتو و طوس استفاده شده است.ضخامت منطقه لرزه زا، با توجه به عمق کانونی زمین لرزه های دستگاهی تعیین می شود که در این تحقیق میانگین عمق کانونی زمین لرزه ها ۲۳ کیلومتر بدست آمده است (جدول۱۰).

جدول ۱۰: بررسی گشتاور زمین شناسی برخی از گسل های کپه داغ

Name	Type	L (Km)	L(m)	Dip	|Cos Dip|	Horizontal Slip Rate(mm/y)	Slip on fault (mm/y)	Slip on fault (m/y)	M-
Amrudak .F	Thrust	۴۷/۸۷	۴۷۸۶۵/۰۱	۹۰	۰/۴۵	۱/۴	۱/۴	۰/۰۰۱۴	۱/۰۳۱۹۲E+۱۷
Baghan .F	Strike Slip Right Lateral	۸۲/۳۰	۸۲۳۰۳/۸۹	۹۰	۰/۴۵	۴	۴	۰/۰۰۴	۵/۰۶۹۶۷E+۱۷
Kashafrud .F	Thrust	۱۹۷/۳۷	۱۹۷۳۷۰/۱۴	۸۰	۰/۱۱	۱	۱	۰/۰۰۱	۱/۲۳۳۷۱E+۱۸
Moraveh Tapeh.F	Thrust	۴۱۰/۶۸	۱۴۰۶۸۰/۲۴	۴۵	۰/۵۳	۱	۱/۴	۰/۰۰۱۴	۲/۵۸۶۹۳E+۱۷
Natu .F	Major	۴۹/۴۳	۴۹۴۳۲/۷۶	۹۰	۰/۴۵	۱	۱	۰/۰۰۱	۷/۶۱۲۲۸E+۱۶
Naveh.F	Strike Slip Right Lateral	۱۷/۵۵	۱۷۵۴۸/۱۳	۹۰	۰/۴۵	۱	۱	۰/۰۰۱	۲/۷۰۲۲۸E+۱۶
North Kopeh Dagh. F	Thrust	۳۲۶/۴۸	۳۲۶۴۸۲/۵۷	۴۵	۰/۵۳	۱	۱/۴	۰/۰۰۱۴	۶/۰۰۳۶E+۱۷
Shirvan .F	Major	۲۴/۰۸	۲۴۰۷۹/۷۹	۹۰	۰/۴۵	۲	۲	۰/۰۰۲	۷/۴۱۶۲۲E+۱۶
Takal Kuh .F	Thrust	۱۲۹/۱۴	۱۲۹۱۳۸/۷۹	۴۵	۰/۵۳	۱/۵	۲/۱	۰/۰۰۲۱	۳/۵۶۲۰۵E+۱۷
Tus. F	Inferred	۳۹/۲۱	۳۹۲۰۸/۵۵	۸۰	۰/۱۱	۱	۱	۰/۰۰۱	۲/۴۵۰۸۲E+۱۷
میانگین گشتاور زمین شناسی									۳/۴۸۱۵۱E+۱۷

نتیجه گیری

براساس یافته های حاصل از این پژوهش، دوره بازگشت زمین لرزه ها در پهنه کپه داغ طولانی است و رخداد زمین لرزه های شدید در آن دور از ذهن نیست. با توجه به نقشه پهنه بندی عمقی لایه لرزه زا، سوی تمرکز کم عمق بودن لایه لرزه زا به نحوی است که با راستای گسل های معکوس پهنه کپه داغ حدودا زاویه ۴۵ درجه می سازد بطوری که زون برشی ناوه و لوجی با زون برش منطبق شده است. در قسمت غربی پهنه کپه داغ، گسلش معکوس و امتداد لغزی مشهود نمی باشد ولی لرزه خیزی وجود دارد که می تواند در آینده پیامد ایجاد یک زون برشی جدید در این ناحیه باشد.

رابطه گوتنبرگ- ریشتر با استفاده از داده های بولتن جهانیUSGS برای گستره مورد مطالعه در یک دوره۱۲۰ سال بصورت ذیل محاسبه شد.

$$Log(Nc) = -0/6979Ms + 4/6364$$

که در آن مقدار a برابر با ۱/۸۰۶۱۸ و مقدار b برابر ۰/۶۹۷۹می باشد و برطبق آن دوره بازگشت زمین لرزه ای با بزرگی شش ، حدود ۲۳۹ سال است.

بر اساس نقشه پهنه بندی خطر زمین لرزه، بخش شمالی شهر بجنورد، لطف آباد، درگز، باجگیران، چاپشلو، آشخانه، قاضی، مراوه تپه و جنوب راز به دلیل نزدیک بودن به گسل های جنبا بیشترین خطرلرزه خیزی را دارا می باشند و رعایت ضوابط مهندسی در ساخت سازه ها ضروری است. بیشینه شتاب افقی وارد بر شهر بجنورد g ۰/۷۳۳۸ شتاب ثقل زمین، از گسل قرلق با توان لرزه زایی ۶/۴ ریشتر است، این در صورتی است که گسل در فاصله۲/۳۴ کیلومتری شهر بجنورد فعالیت کند.

ضریب D.B.E که زمین لرزه مبنای طرح و سازه ها می باشد، در ۲۰ سال آینده، زمین لرزه ای با بزرگی۴/۴۴ ، در ۵۰ سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی۵/۰۱، در ۸۰ سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی ۵/۳ و در ۱۰۰سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی۵/۴۴ ، با احتمال وقوع ۶۴ درصد را مطرح می سازد.

ضریب M.C.E که بیشینه زمین لرزه باورکردنی است ، در ۲۰ سال آینده، زمین لرزه ای با بزرگی۵/۸۶ ، در ۵۰ سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی۶/۴۳ ، در ۸۰ سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی ۶/۷۲ و در ۱۰۰سال آینده زمین لرزه ای با بزرگی۶/۸۶ ، با احتمال وقوع ۱۰ درصد را برآورد می نماید.

براساس نقشه گشتاور تجمعی لرزه ای، بیشترین مقادیر گشتاور لرزه ای به ترتیب در حدفاصل گسل های کیکانلو، ناوه ، غزی و قصر برابر 1/284431E+14Nm/yr، سپس در فرادیواره گسل کشف رود برابر 1/24179E+14Nm/yr، نهایتا در فرادیواره گسل امرودک و در امتداد گسل کماس برابر 1/238046E+14Nm/yr می باشد. گسل های دیگر حتی با نرخ لغزش بالا مانند گسل باغان و شیروان سهم کمتری در گشتاور لرزه ای دارند. میانگین گشتاور لرزه ای در این پهنه1/1597E+14Nm/yr برآورد گردید

در پهنه کپه داغ با توجه به مطالعات صورت گرفته بیشترین نرخ گشتاور زمین شناسی به ترتیب مرتبط با گسل کشف رود برابر 6/0036E+17Nm/yr و گسل باغان برابر 5/06967E+17Nm/yr است. گسل های دیگر سهم کمتری در گشتاور زمین شناسی دارند. میانگین گشتاور زمین شناسی در این پهنه۴۸۱۵۱/۳E+۱۷ Nm/yr برآورد گردید.

منابع

آمبرسز، نیکلاس.، ملویل، چارلز.، (۱۳۷۰)، ترجمه ابوالحسن رده، موسسه انتشارات آگاه.

حسن زاده، بهرام.، رحیمی، بهنام.، میرزایی، نوربخش.،(۱۳۹۴)، بررسی لرزه زمین ساخت کپه داغ مرکزی برپایه پارامترهای لرزه خیزی و بعد فرکتال، با نگرش ویژه به زون گسلی بخاردن-قوچان، مجله زمین ساخت، دوره۱، شماره۱

طالبیان، مرتضی.، (۱۳۹۱)، مقایسه گشتاور لرزه ای ، ژئودتیک و زمین شناسی در البرز خاوری و کپه داغ، مجله علوم زمین، شماره ۸۶، صفحه۱۸۳تا۱۹۲ .

Berberian, M., (1994) , Natural Hazards and the first earthquake catalogue of Iran, Vol. 1: Historical Hazards in Iran Prior to 1900, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, 603 p. in English & 66 p. in Persian.

Campbell, K.W., (1981) , Near source attenuation of peak horizontal acceleration, Bull. Seism. Soc. Am. 71, pp. 2039-2070.

Donovan,N.,(1973) , Earthquake hazards for building practices for disaster mitigation,building Science Series 46,Nat. Bur. of Standards,U.S. Dept. of Commerce, Washington.D.C,pp.82-110.

Esteva,L.,(1970), Seismic risk and design criteria for nuclear power plants, R.J.Jansen(ed),MT Press, Cambridge, Mass. p 142-182.

Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Gheitanchi, M., Bolourch, M., (2006) ,Strike-slip faulting, rotation, and along-strike elongation in the Kopeh-Dagh Mountains, NE Iran. UGeophys. J. Int.U 166, pp. 1161–1177.

International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), http://www.iiees.ac.ir

Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. , Berberian, M., (2002), Active tectonics of the South caspian Basin, Geophys. J. Int. 148 , pp. 214-245.

Lyberis, N., and Manby, G., (1999) , Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the post-Miocene, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 83, pp. 1135–1160.

McKenzie, D. P .,(1972) ,Active tectonics of the Mediterranean region, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 30, pp. 109-185.

McKenzie, D .,(1978) , Some remarks on the development of sedimentary basins, Earth and Planetary Science Letters, 40, pp. 25-32.

Mohajer-Ashjai, A. & Nowroozi, A.A., (1987), Observed and probable intensity zoning of Iran, Tectonophysics, Vol.49, pp. 21-30.

Nowroozi, A.A., (1985), Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquake in Iran, Bull Seis. Soc. Am., Vol. 75 (5) , pp.1327-1338.

Nowroozi, A.A, Ahmadi, G.,(1986), Analysis of earthquake risk in Iran based on seismotectonic provinces, Tectonophysic, volume: 122.

Shabanian, E., Bellier, O., Abbassi, M. R., Siame, L., Arnaud, N. & Cocheme´, J. J., (۲۰۰۹), New tectonic configuration in NE Iran: Active strikeslip Faulting between the Kopeh Dagh And Binalud mountains, Tectonics, 28: TC5002.

Slemmons, D.b., (1982), Determination of design earthquake magnitude for micrizonation. Proc. 3rd Int. Earthquake Micro. Conf., VI , pp. 119-130.

Tchalenko, J. S., (1975), Seismicity and structure of the Kopet Dagh (Iran,U.S.S.R.), Royal Society, London, PTRMAD v. 278, n. 1275, pp. 1-28 .

Trifunac, M.D, and Brady, A.G., (1975), On the correlation of seismic intensity scales with peaks an recorded strong motion, Bull. Seism. Soc. Am., 65, pp. 139-173

Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., (1994),New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement, Bull. Seism. Soc. AM., Vol. 84, No. 4, pp.974-1002.

Research Article

Investigation of seismic parameters, calculation of Seismic moment and Geologic moment Kopeh-Dagh zone in Northeast of Iran

Hadi Alinia[1], Mohammad Mahdi Khatib[2*]

1. PhD student of Geology, Faculty of Geological Sciences, Birjand University, Iran.
2*. Professor of Geology, Faculty of Geological Sciences, Birjand University, Iran

Received: 03-03-2020 Final Revised: 19-08-2020 Accepted: 03-10-2020

Abstract

The Kopeh-Dagh zone is the northern deformation zone due to the convergence of the Arabian and Eurasian plates Which forms an active area with a northwest-southeast trend. Since old construction in the Bojnourd city, which is one of the most populous cities in this area, have over 50 years, and some of the historical and religious buildings have their importance, and due to the presence of large earthquakes in the background seismicity of the zone, the necessity of the study is obvious. The aim of this study is to provide the seismiogenic layer maps, seismic hazard zoning map and Estimate of rate geologic moment and seismic moment In order to provide basic information for recognition and large-scale planning of the study area and to obtain clear information about the seismic hazard situation. According to the deep seismic map of the seismiogenic layer, To focus the depth of the seismiogenic layer along the reverse faults of the Kopeh-Dagh zone creates an angle of about 45 degrees. In the western part of this zone, reverse faulting and strike-slip faulting are not evident, , but there are seismicity. That could in the future be the result of a new shear zone in the area. By investigation of seismic parameters, Maximum average horizontal acceleration on the Bojnourd city resulted from Qhorlogh fault with seismic potential of 6.4 Richter 0.7338 g; This is when the fault is located about 2.34 km from Bojnourd city. Finally, according to the estimated PGA, the seismic hazard zoning map using Geostatistical Analyst tool in ArcGis software was plotted. In the study area, geologic moment average rate "(3/48151E+17 Nm/yr) " and seismic moment average rate ("1/1597E"×"14" Nm/Y)were estimated.

Keywords: Geologic moment, Seismic moment, seismiogenic layer, Seismic Parameters, Kopeh-Dagh Zone.

* Corresponding Author Email: mkhatib@birjand.ac.ir

References

References (in Persian)

Ambersz, Nicholas, Melville, Charles., (1991), Translated by Abolhassan Reddeh, Agah Publishing Institute. [In Persian]

Hasanzadeh, Bahram., Rahimi, Behnam., Mirzaei, Noorbakhsh., (2015), Seismotectonic investigation of the Central Kopeh Dagh range using Seismicity parameters and fractal dimension by specific attention to Bakharden–Quchan fault zone, Tectonics Journal, , Vol.1, No. 1. [In Persian]

Talebian, Morteza, (2012), Comparison of seismic, geodetic and geologic moment rates in Eastern Alborz and Kopeh Dagh, Scientific Quarterly Journal, Geosciences, Vol.22, No.86. , pp.183-192. [In Persian]

References (in English)

Berberian, M., (1994) , Natural Hazards and the first earthquake catalogue of Iran, Vol. 1: Historical Hazards in Iran Prior to 1900, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, 603 p. in English & 66 p. in Persian.

Campbell, K.W., (1981) , Near source attenuation of peak horizontal acceleration, Bull. Seism. Soc. Am. 71, pp. 2039-2070.

Donovan,N.,(1973) , Earthquake hazards for building practices for disaster mitigation,building Science Series 46,Nat. Bur. of Standards,U.S. Dept. of Commerce, Washington.D.C, pp.82-110.

Esteva,L.,(1970), Seismic risk and design criteria for nuclear power plants, R.J.Jansen(ed),MT Press, Cambridge, Mass. p 142-182.

Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Gheitanchi, M., Bolourch, M., (2006) ,Strike-slip faulting, rotation, and along-strike elongation in the Kopeh-Dagh Mountains, NE Iran. UGeophys. J. Int.U 166, pp. 1161–1177.

International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), http://www.iiees.ac.ir

Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. , Berberian, M., (2002) , Active tectonics of the South caspian Basin, Geophys. J. Int. 148 , pp. 214-245.

Lyberis, N., and Manby, G., (1999) , Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the post-Miocene, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 83, pp. 1135–1160.

McKenzie, D. P .,(1972) ,Active tectonics of the Mediterranean region, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 30, pp. 109-185.

McKenzie, D .,(1978) , Some remarks on the development of sedimentary basins, Earth and Planetary Science Letters, 40, pp. 25-32.

Mohajer-Ashjai, A. & Nowroozi, A.A., (1987), Observed and probable intensity zoning of Iran, Tectonophysics, Vol.49, pp. 21-30.

Nowroozi, A.A., (1985), Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquake in Iran, Bull Seis. Soc. Am., Vol. 75 (5) , pp.1327-1338.

Nowroozi, A.A, Ahmadi, G.,(1986), Analysis of earthquake risk in Iran based on seismotectonic provinces, Tectonophysic, volume: 122.

Shabanian, E., Bellier, O., Abbassi, M. R., Siame, L., Arnaud, N. & Cocheme´, J. J.,(2009), New tectonic configuration in NE Iran: Active strikeslip Faulting between the Kopeh Dagh And Binalud mountains, Tectonics, 28: TC5002.

Slemmons, D.b., (1982), Determination of design earthquake magnitude for micrizonation. Proc. 3rd Int. Earthquake Micro. Conf., VI , pp. 119-130.

Tchalenko, J. S., (1975), Seismicity and structure of the Kopet Dagh (Iran,U.S.S.R.), Royal Society, London, PTRMAD v. 278, n. 1275, pp. 1-28 .

Trifunac, M.D, and Brady, A.G., (1975), On the correlation of seismic intensity scales with peaks an recorded strong motion, Bull. Seism. Soc. Am., 65, pp. 139-173.

Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., (1994), New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement, Bull. Seism. Soc. AM., Vol. 84, No. 4, pp.974-1002.