

بررسی پیش‌لرزه‌ها به منظور مطالعه لرزه‌خیزی در منطقه دورود- بروجرد

پریسا مبین، کارشناس ارشد تکتونیک پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
محمد مختاری، استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

۱- چکیده

خارج از یک گروه رخ می‌دهند را زمینه نامگذاری کرده‌اند [۲]. منطقه دورود و دشت سیلاخور در تقسیم‌بندی زاگرس از دیدگاه لرزه‌خیزی در پهنه لرزه‌خیز صحنه- کنگاور قرار می‌گیرد. این پهنه در محل به هم پیوستن زاگرس رورانده و پهنه سنندج- سیرجان و در بخش شمال باختری زاگرس قرار دارد که تا ایران مرکزی ادامه می‌یابد. در این پهنه زمین- لرزه‌ها بزرگ و ویرانگر بوده‌اند [۳]. اغلب زمین‌لرزه‌های زاگرس در پوسته بالایی و عمق کمتر از ۲۰ کیلومتر رخ می‌دهند [۴]. منطقه دورود- بروجرد یک حوضه فراکش (*Pull-Apart Basin*) است که در اثر کشش در طول گسل اصلی زاگرس ایجاد شده است [۵].

گسل اصلی زاگرس و گسل دورود از جمله مهمترین گسل‌های منطقه می‌باشند، شکل (۱). قطعه گسلی دورود با راستای حدود $N315$ و درازای بالغ بر ۱۰۰ کیلومتر، جنوبی‌ترین قطعه پهنه گسل اصلی جوان زاگرس محسوب می‌گردد. گسل دورود در شمال باختری شهر دورود، حد جنوبی دره سیلاخور را در نهشته‌های کواترنری پسین رودخانه آبدیز تشکیل می‌دهد. ساز و کار گسل دورود راستالغز راستگرد همراه با یک مؤلفه نرمال کوچک می‌باشد، به طوری که بخش جنوب باختری آن نسبت به بخش شمال خاوری به سمت بالا حرکت کرده است.

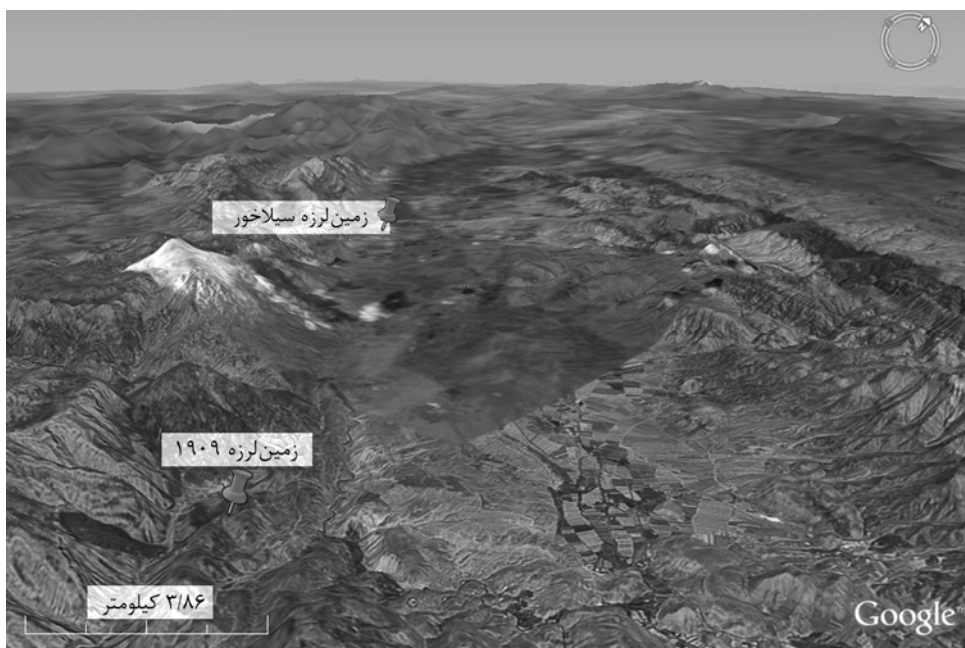
گسل دورود گسلی فعال و لرزه‌زا است [۶]. از جمله زمین‌لرزه‌های بزرگی که در اثر فعالیت گسل دورود بوقوع پیوسته است، می‌توان به زمین‌لرزه سال ۱۹۰۹ میلادی (۱۲۸۷ ه.ش) دره سیلاخور اشاره کرد. این زمین‌لرزه با بزرگای $7/4$ در مقیاس ریشتر و گسلی به طول ۴۵ کیلومتر همراه بوده است و قریب به ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰ کشته بر جای نهاده است، شکل (۱) [۳].

هدف این مطالعه، بررسی پیش‌لرزه‌ها در منطقه دورود- بروجرد جهت امکان‌سنجی کاربرد پیش‌لرزه‌ها در منطقه دورود به عنوان یکی از پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه می‌باشد. در راستای این مطالعه کاتالوگ زمین‌لرزه‌های پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (*IIEES*) در دو بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۰۴ و ۲۰۰۴-۲۰۰۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از اعمال حد آستانه بزرگا و حذف زمین‌لرزه‌های وابسته، هر یک از زمین‌لرزه‌های اصلی باقیمانده در کاتالوگ، به تنهایی جهت یافتن پیش‌لرزه در یک پنجره زمانی- مکانی مشخص بررسی شدند. در بازه زمانی ۲۰۰۴-۲۰۰۶ تعداد ۶ زمین‌لرزه دارای بزرگایی بیشتر از ۴ بوده‌اند و سه مورد از این زمین‌لرزه‌ها دارای پیش‌لرزه بوده‌اند که در فاصله مکانی ۱۰-۱۳ کیلومتری و زمانی ۱-۵ روز قبل از شوک اصلی بوقوع پیوسته که دو مورد آنها در اثر فعالیت گسل دورود رخ داده است. در بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۰۴، تنها یک زمین‌لرزه دارای پیش‌لرزه بوده است. احتمال دارد که به دلیل ناکافی بودن تعداد ایستگاههای لرزه‌نگاری تمامی زمین‌لرزه‌ها در این بازه زمانی ثبت نشده باشند.

کلیدواژه‌ها: پیش‌لرزه، حد آستانه بزرگا، منطقه دورود- بروجرد

۲- مقدمه

بزرگترین زمین‌لرزه در یک گروه از زمین‌لرزه‌ها، شوک اصلی نام دارد. زمین‌لرزه‌های قبل از شوک اصلی، پیش‌لرزه و زمین‌لرزه‌های بعد از شوک اصلی را پس‌لرزه می‌نامند. زمین‌لرزه‌های کوچک با بزرگای مشابه، فوج زمین‌لرزه (*Swarm*) نامیده شده‌اند [۱]. زمین‌لرزه‌های بزرگتر با بزرگای مشابه، لرزه‌های چندتایی (*Multiplets*) و زمین‌لرزه‌هایی را که



شکل (۱): موقعیت زمین‌لرزه سال ۱۹۰۹ و زمین‌لرزه سال ۲۰۰۶ دشت سیلاخور. تصویر با استفاده از نرم‌افزار google earth تهیه شده است.

اصلی و در فاصله ۳۰ کیلومتری از آن رخ داده‌اند. بسیاری از این پیش‌لرزه‌ها در فاصله زمانی کمتر از ۲۴ ساعت از شوک اصلی رخ داده‌اند و به طور کلی ۶ مورد از هر ۸ زمین‌لرزه رخ داده با بزرگای بیشتر از ۶/۰ ریشتر دارای پیش‌لرزه‌ای با مشخصات مذکور بوده است [۱۱]. مطالعه فعالیت لرزه‌ای در جنوب کالیفرنیا در محدوده سالهای ۱۹۳۲ تا ۱۹۸۳، نشان می‌دهد که ۶ درصد زمین‌لرزه‌های با بزرگای بیشتر یا مساوی با ۳ ریشتر با زمین‌لرزه‌های بزرگتر از خود در فاصله زمانی ۵ روز و مسافت ۱۰ کیلومتر دنبال شده‌اند و در این مورد نیز اکثر زمین‌لرزه‌های اصلی در فاصله زمانی ۲۴ ساعت از پیش‌لرزه پیشنهادی رخ داده‌اند [۱۲]. مطالعه ویژگی‌های پیش‌لرزه‌ها در ایتالیا در بازه زمانی ۱۹۷۵-۱۹۹۱ نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های متوسط گرایش قابل توجهی به دنبال شدن توسط زمین‌لرزه بزرگتر از خود در فاصله و زمان کوتاه دارند. پیش‌لرزه‌ها در فاصله ۲ روز و شعاع ۳۰ کیلومتری از شوک اصلی رخ داده‌اند و در این بازه زمانی ۶ مورد از ۲۳ زمین‌لرزه با بزرگای بیشتر از ۴/۰ ریشتر دارای پیش‌لرزه بوده‌اند [۱۳].

در این مطالعه، زمین‌لرزه‌ای با بزرگای محلی $ML = 6/1$ و رومرکز به مختصات $48/91$ درجه طول شرقی و $33/65$ درجه طول شمالی که در تاریخ یازدهم فروردین سال ۱۳۸۵ (۳۱ مارس ۲۰۰۶) در جنوب بروجرد، دشت سیلاخور،

در این مطالعه پس از مروری بر تاریخچه کاربرد پیش‌لرزه به عنوان پیش‌نشانگر لرزه‌ای، داده‌ها و روش کار مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

پیش‌لرزه‌ها یکی از پدیده‌های هشداردهنده قبل از وقوع زمین‌لرزه می‌باشند. مطالعات جهانی در ارتباط با فعالیت پیش‌لرزه‌ها نشان می‌دهد که از سال ۱۹۵۰، از زمانی که شبکه لرزه‌نگاری جهانی به اندازه کافی ادراک‌پذیر شده است، ۶۰-۷۰ درصد کل زمین‌لرزه‌های با بزرگای بیشتر از ۷ با پیش‌لرزه همراه بوده‌اند [۷]. رخداد پیش‌لرزه‌ها در مواردی نظیر زمین‌لرزه هایچنگ چین در سال ۱۹۷۵ با بزرگای ۷/۵ ریشتر [۸] منجر به پیش‌بینی موفق‌تری گردیده است.

زمانی که فعالیت لرزه‌ای شروع می‌شود، ممکن است این فعالیت، یک توالی پیش‌لرزه‌ای قبل از یک زمین‌لرزه بزرگتر، یک فوج زمین‌لرزه و یا یک توالی ساده‌ای از شوک اصلی پس‌لرزه باشد. لازم به ذکر است که مطالعات پیشین هیچ ارتباطی بین بزرگای شوک اصلی و بزرگای پیش‌لرزه و همچنین بین بزرگای شوک اصلی و تعداد پیش‌لرزه‌های آن را نشان نداده‌اند. به این معنا که بزرگای شوک اصلی تأثیری بر بزرگای پیش‌لرزه‌ها و تعداد آنها نخواهد داشت [۲، ۷، ۹] و در نتیجه زمین‌لرزه‌ها اعم از بزرگ یا کوچک به یک اندازه قابل پیش‌بینی هستند [۱۰].

پیش‌لرزه‌ها در نیوزیلند ۳۰ روز قبل از رخداد شوک

مکانی تعیین محل شده‌اند [۱۸]. در مجموعه رویدادهایی با بزرگای کمتر از مقدار M_C ، تعدادی از داده‌ها به سه دلیل ذیل از دست می‌رود و یا به عبارت دیگر، تعیین محل نمی‌شوند:

(۱) داده‌ها از نظر بزرگای به حدی کوچک هستند که

ایستگاه لرزه‌نگاری قادر به ثبت آنها نمی‌باشد؛

(۲) اپراتور شبکه، زمین‌لرزه‌های با بزرگای پایین‌تر از حد آستانه مشخصی را مورد توجه قرار نمی‌دهد؛

(۳) در مورد یک توالی پس‌لرزه، که در این مورد نیز به دلیل کوچک بودن بیش از اندازه زمین‌لرزه‌ها در بین زمین‌لرزه‌های بزرگتر توالی پس‌لرزه‌ای، تعدادی ثبت نشده‌اند [۱۹].

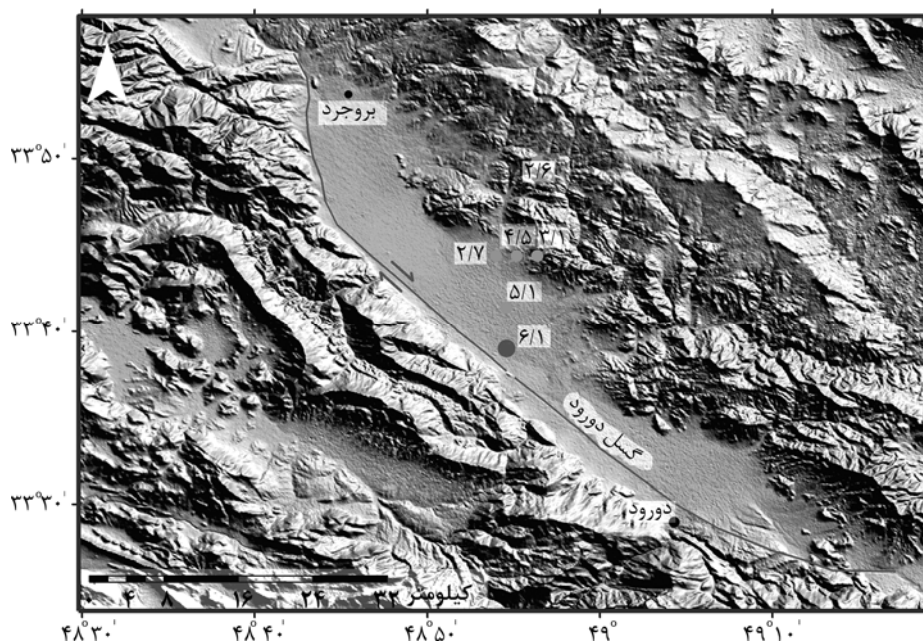
جهت انجام محاسبات، از کاتالوگ موجود در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله استفاده شده است. کاتالوگ مورد استفاده در دو بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۰۴ و ۲۰۰۴ تا نوامبر ۲۰۰۶ بررسی گردید. بزرگای مورد استفاده برای تمامی زمین‌لرزه‌ها، بزرگای محلی (M_L) است. حد آستانه بزرگا (M_C) برای مجموع زمین‌لرزه‌ها در این دو بازه زمانی با استفاده از نمودار بزرگا- فراوانی محاسبه گردید، شکل (۳). این حد آستانه نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شود که ارتباط خطی بین $\log(N)$ و بزرگا (M) شروع به قطع شدن می‌کند. در این جا N معرف تعداد زمین‌لرزه‌ها است.

روی داده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. این زمین‌لرزه با دو پیش‌لرزه با بزرگای محلی $4/6$ و $5/1$ ریشتر که به ترتیب در ساعات ۱۹:۴۷ و ۲۳:۰۶ روز دهم فروردین رخ داده‌اند، همراه بوده است، شکل (۲).

۳- داده‌ها و روش کار

کاتالوگ زمین‌لرزه‌های یکی از مهمترین تولیدات لرزه‌شناسی است که اطلاعات پایه‌ای مفیدی را در مطالعات لرزه زمین‌ساختی، لرزه‌خیزی، فیزیک درون زمین و برآورد خطر زمین‌لرزه در اختیار ما قرار می‌دهد. از این رو قبل از انجام هر گونه تحلیل علمی، سنجش کیفیت (*Quality*)، ثبات (*Consistency*) و همگنی (*Homogeneity*) داده‌های کاتالوگ از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. حتی بهترین کاتالوگ‌های زمین‌لرزه‌ها نیز در فضا و زمان ناهمگن می‌باشند و این به دلیل محدودیت‌های شبکه دریافت سیگنال‌ها و تغییر احتمالی در اثر دخالت اپراتور شبکه می‌باشد [۱۴-۱۷].

تعیین حد آستانه بزرگا (*Magnitude Cut-Off Threshold*) و یا به عبارتی دیگر بزرگای کامل شده (*Magnitude of Completeness*) که با M_C نشان داده می‌شود، یک راه ویژه در کنترل کیفیت کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها است. M_C معرف کمترین مقدار بزرگا است که بعد از آن ۱۰٪ زمین‌لرزه‌ها در پنجره زمانی-



شکل (۲): موقعیت زمین‌لرزه اصلی (دایره بزرگ) و پیش‌لرزه‌های مرتبط با آن (دایره‌های کوچک).

پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها از کاتالوگ می‌باشد. کاتالوگ بعد از *Decluster* شدن، تنها زمین‌لرزه‌های اصلی را در بر خواهد داشت. برای *Declustering* از الگوریتم‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد. در این مطالعه، از روش گاردنر و نوپوف [۲۱] برای بدست آوردن پس‌لرزه‌ها در کاتالوگ استفاده شده است. در این روش برای هر زمین‌لرزه یک پنجره زمانی- مکانی وابسته به بزرگا در نظر گرفته می‌شود، جدول (۱). زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای کمتر از شوک اصلی که در داخل پنجره زمانی- مکانی قرار می‌گیرند، پس‌لرزه فرض شده و از کاتالوگ حذف می‌گردند. به طور مثال زمین‌لرزه‌ای با بزرگای محلی ۶ ریشتر طبق این الگو دارای پنجره زمانی ۵۱۰ روز و پنجره مکانی ۷۹/۴ کیلومتر می‌باشد. به این معنا که هر زمین‌لرزه‌ای با بزرگای کمتر از ۶ ریشتر، که در فاصله زمانی ۵۱۰ روز و مسافت ۷۹/۴ کیلومتری از شوک اصلی رخ داده باشد، پس‌لرزه در نظر گرفته خواهد شد.

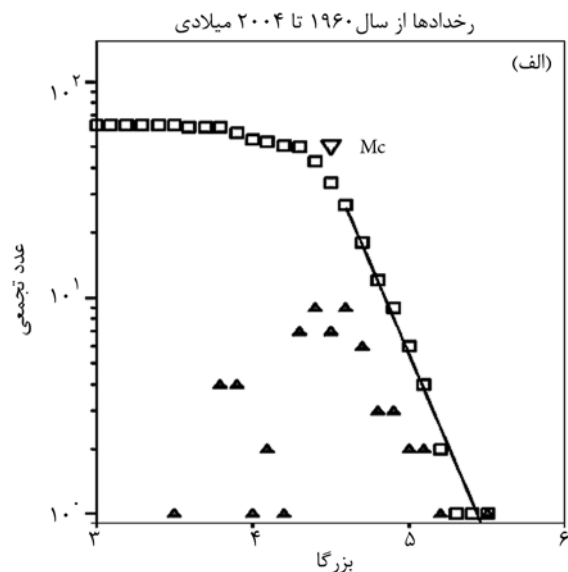
جدول (۱): پنجره فاصله و زمان استفاده شده برای حذف پس‌لرزه‌ها از کاتالوگ [۲۱].

بزرگا (M_L)	فاصله (Km)	زمان (Days)
۳/۵	۳۱	۲۲
۴/۰	۳۵/۵	۴۲
۴/۵	۴۴/۵	۸۳
۵/۰	۵۲/۵	۱۵۵
۵/۵	۶۳	۲۹۰
۶/۰	۷۹/۴	۵۱۰
۶/۵	۱۰۰	۷۹۰
۷/۰	۱۲۵/۹	۱۷۳۷
۷/۵	۱۵۱/۴	۳۹۸۱

نتیجه فرآیند (*Declustering*)، دستیابی به زمین‌لرزه‌های اصلی است. محدوده‌ای که پیرامون شوک اصلی برای جستجوی پیش‌لرزه‌ها در نظر گرفته می‌شود، از اهمیت خاصی برخوردار است. محدوده انتخابی باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا کلیه پیش‌لرزه‌ها را در برگیرد.

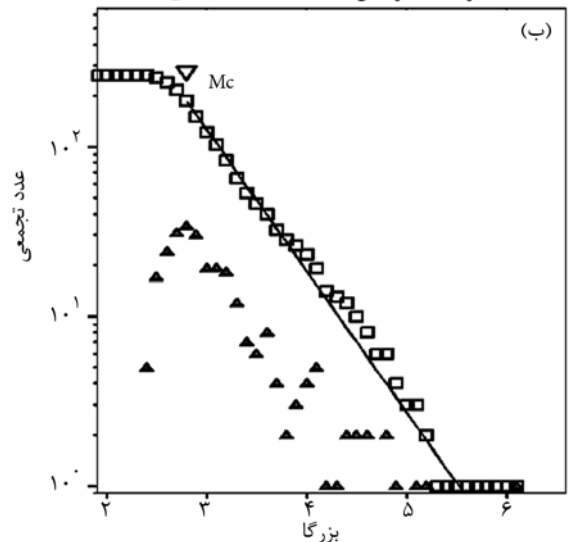
جستجوی زمین‌لرزه‌ها از رومرکز زمین‌لرزه دشت سیلاخور به شعاع ۱۰۰ کیلومتر صورت گرفته است. این شعاع با توجه به موقعیت رومرکز زمین‌لرزه اصلی نسبت به ایستگاههای لرزه‌نگاری اطراف صورت گرفته است، شکل (۴).

کاتالوگی که در برگزیده رخدادهایی با بزرگای بیشتر از مقدار حد آستانه است را می‌توان یک کاتالوگ کامل در نظر گرفت [۱۹]. بزرگای محلی $M_L = 4/5 \pm 0/1$ ریشتر برای بازه ۱۹۶۰-۲۰۰۴ میلادی و بزرگای محلی $M_L = 2/9 \pm 0/08$ ریشتر برای داده‌های ۲۰۰۴ میلادی به بعد بدست آورده شده است. کلیه محاسبات با استفاده از نرم‌افزار *Zmap* صورت گرفته است [۲۰]. برای بررسی پیش‌لرزه‌ها، ابتدا کاتالوگ *Decluster* گردید که به معنای جداسازی رخدادهای وابسته اعم از



رخدادها از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۴ میلادی

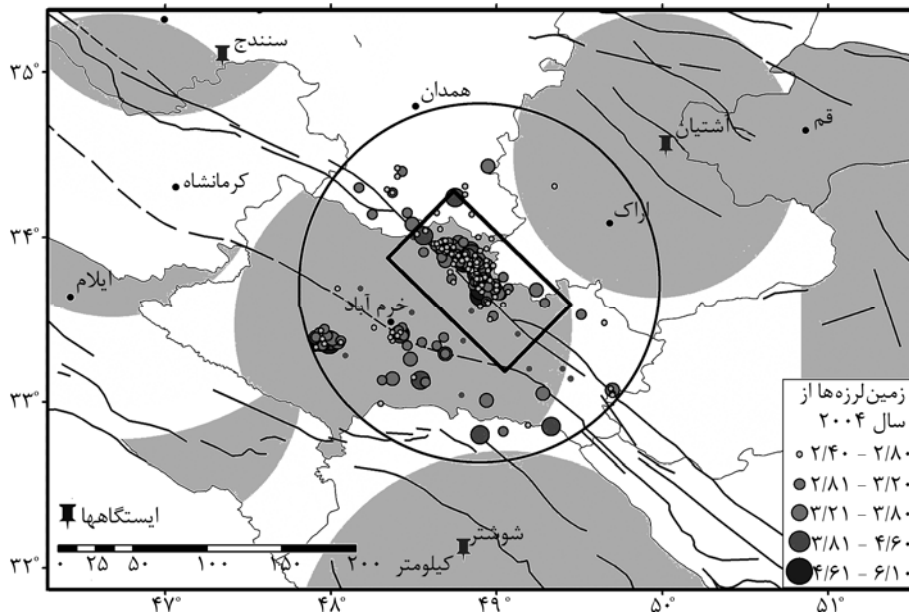
بزرگای کامل شده ($M_c = 4/5 \pm 0/01$)



رخدادها از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ میلادی

بزرگای کامل شده ($M_c = 2/8 \pm 0/08$)

شکل (۳): حد آستانه بزرگای محاسبه شده برای (الف) دو بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۰۴ (ب) و ۲۰۰۴-۲۰۰۶ میلادی. نشانگر مربع معرف داده‌های تجمعی و نشانگر مثلث معرف داده‌های غیر تجمعی می‌باشند.



شکل (۴): دایره بیرونی، محدوده جستجوی زمین‌لرزه‌های اصلی (شعاع ۱۰۰ کیلومتر از رومرکز زمین‌لرزه دشت سیلاخور) و مستطیل داخلی، زمین‌لرزه‌هایی که گسل مسبب آنها، گسل دورود معرفی شده و موقعیت آنها نسبت به ایستگاههای لرزه‌نگاری شوشتر، آشتیان و سنندج را نشان می‌دهند.

۱۰ روز از شوک اصلی رخ داده‌اند [۲۲]. در کالیفرنیا اغلب پیش‌لرزه‌ها در فاصله زمانی کمتر از دو روز از شوک اصلی و پنجره مکانی ۱۰ کیلومتر رخ داده‌اند [۲]. در این مطالعه، زمان ۵ روز پیشنهاد شده توسط جونز [۱۲] و پنجره مکانی ۳۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. انتخاب پنجره مکانی ۳۰ کیلومتر به دلیل خطای تعیین محل زمین‌لرزه‌ها در کاتالوگ *IIEES* می‌باشد.

۴- بحث

محاسبه مقدار عددی Mc در دو بازه زمانی سالهای ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۴ و از سال ۲۰۰۴ میلادی به بعد اختلاف قابل توجهی را نشان می‌دهد، Mc در بازه اول ۴/۵ ریشتر و در بازه دوم ۲/۸ ریشتر است. این تفاوت را می‌توان ناشی از افزایش قابل‌توجه در تعداد زمین‌لرزه‌های ثبت شده توسط ایستگاهها در این منطقه بویژه از سال ۲۰۰۴ میلادی به بعد در نظر گرفت. لازم به ذکر است که تعداد ایستگاههای لرزه‌نگاری *INSN* با تجهیزات بهتر در این دوره زمانی افزایش یافته است. باید توجه داشت که تخمین مقدار عددی Mc زمانی از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد که از تعداد داده‌های بیشتری استفاده شود. اگر S را تعداد داده‌ها در نظر بگیریم، مقدار $S \geq 200$ به عنوان حداقل مقدار داده لازم جهت تعیین Mc پیشنهاد می‌گردد [۱۹]. کاتالوگ مورد بررسی در بازه زمانی

بررسی بیش از ۹۰۰ زمین‌لرزه در جهان با بزرگای بیشتر از ۲/۲ ریشتر نشان داده است که پیش‌لرزه‌ها عموماً در شعاع ۱۰ کیلومتری از رومرکز شوک اصلی رخ می‌دهند [۲]. این فاصله در مطالعه پیش‌لرزه‌های چین به طور میانگین، ۵۰ کیلومتر برآورد شده است [۲۲]. به طور کلی بررسی در یک ناحیه ثابت ممکن است سبب حذف تعدادی از پیش‌لرزه‌ها گردد، بویژه زمانی که لغزش اصلی در یک زمین‌لرزه بزرگ در فواصل متعددی از کانون زمین‌لرزه رخ می‌دهد. برای کاهش این خطا می‌توان پیش‌لرزه‌ها را در یک چارچوب به مرکزیت رومرکز شوک اصلی و طولی برابر با طول گسل مسبب شوک اصلی جستجو کرد [۲].

در این مرحله هر کدام از زمین‌لرزه‌های اصلی به تنهایی مورد بررسی قرار گرفت تا مشخص گردد که چه تعداد از آنها با پیش‌لرزه همراه بوده‌اند. در این بخش تنها زمین‌لرزه‌های با بزرگای $ML > 4$ ریشتر بررسی گردید. پس از حذف پس‌لرزه‌ها برای هر زمین‌لرزه باقی مانده در کاتالوگ، یک پنجره زمانی- مکانی برای یافتن پیش‌لرزه در نظر گرفته می‌شود. در رابطه با فاصله زمانی میان رخداد پیش‌لرزه و شوک اصلی، نظریات متفاوت است. بررسی پیش‌لرزه‌های چین، میانگین فاصله زمانی ۳۰ روز را بین وقوع پیش‌لرزه‌ها و زمین‌لرزه‌های اصلی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است بیشترین پیش‌لرزه‌های مشاهده شده در چین در فاصله زمانی کمتر از

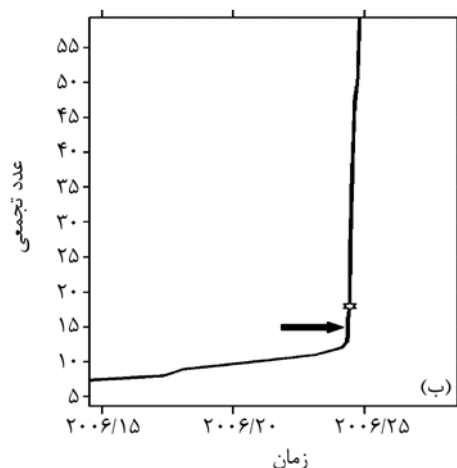
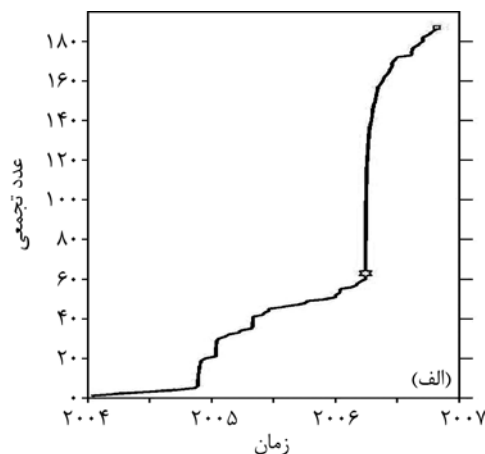
مورد از آنها دارای پیش‌لرزه $M_L \geq 3/5$ است که در فاصله مکانی ۱۰-۱۳ کیلومتری و زمان ۱-۵ روز قبل از شوک اصلی روی داده‌اند. در جدول (۲) زمین‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها به ترتیب با رنگ مشکی و مشکی پر رنگ از یکدیگر تفکیک شده‌اند. لازم به ذکر است دو مورد از این زمین‌لرزه‌ها در اثر فعالیت گسل دورود با ساز و کار راست‌الغز رخ داده‌اند، شکل (۶).

جدول (۲): این جدول سه شوک اصلی که دارای پیش‌لرزه (مشکی پر رنگ) بوده‌اند را نشان می‌دهد.

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سال	ماه	روز	بزرگا	عمق	ساعت	دقیقه
۴۹/۲۸	۳۳/۰۵	۲۰۰۴	۱	۱۲	۳/۴	۳۳	۶	۵۶
۴۸/۹	۳۲/۸	۲۰۰۴	۳	۱۹	۴/۶	۳۳	۲۲	۵۷
۴۹/۰۴	۳۳/۷۶	۲۰۰۴	۶	۲۲	۲/۹	۱۶	۱۱	۴۸
۴۸/۴۸	۳۳/۲۶	۲۰۰۴	۹	۱۵	۳/۸	۱۰	۱۲	۵۷
۴۷/۹۸	۳۳/۴۰	۲۰۰۴	۱۱	۱۱	۲/۹۰	۱۸	۲۲	۵۷
۴۷/۹۱	۳۳/۳۹	۲۰۰۴	۱۱	۲۱	۳/۶۰	۱۰	۳	۱۱
۴۷/۹۴	۳۳/۳۶	۲۰۰۴	۱۱	۲۱	۴/۱۰	۱۰	۳	۲۸
۴۷/۹۴	۳۳/۳۷	۲۰۰۴	۱۱	۲۲	۳/۲۰	۱۰	۳	۳۶
۴۷/۹۹	۳۳/۳۶	۲۰۰۴	۱۱	۲۲	۴/۸	۱۴	۷	۳۱
۴۸/۲۵	۳۴/۱۴	۲۰۰۴	۱۱	۳۰	۲/۹	۱۵	۹	۳
۴۹/۰۴	۳۲/۸۲	۲۰۰۴	۱۲	۱	۲/۹	۱۴	۷	۲۹
۴۸/۵۵	۳۳/۳۶	۲۰۰۵	۱	۲۰	۲/۹	۳۳	۲	۸
۴۸/۱۷	۳۴/۳	۲۰۰۵	۲	۱۵	۲/۹	۱۴	۱۱	۳۸
۴۸/۴۶	۳۴/۱۵	۲۰۰۵	۲	۱۹	۳	۱۴	۲۰	۴۲
۴۸/۶۹	۳۳/۲۹	۲۰۰۵	۳	۲۵	۳/۷	۱۴	۲۰	۳۶
۴۸/۷۲	۳۳/۹۱	۲۰۰۵	۵	۱	۳/۶۰	۱۵	۱۹	۵۹
۴۸/۷۲	۳۳/۹۵	۲۰۰۵	۵	۱	۲/۷۰	۱۴	۲۰	۳۵
۴۸/۷۰	۳۳/۹۴	۲۰۰۵	۵	۱	۳/۰۰	۱۴	۰	۳۴
۴۸/۸۱	۳۳/۸۶	۲۰۰۵	۵	۳	۴/۸	۱۴	۱۱	۵۱
۴۸/۴۳	۳۴/۴	۲۰۰۵	۶	۱	۳/۱	۱۵	۲۰	۳۸
۴۸/۵۴	۳۳/۱۳	۲۰۰۵	۶	۱۸	۴/۵	۱۴	۱۴	۱
۴۹/۵۱	۳۳/۵۳	۲۰۰۵	۱۰	۴	۳	۱۴	۷	۱۰
۴۸/۴۶	۳۳/۳۴	۲۰۰۵	۱۲	۳	۳	۱۵	۲	۴۸
۴۸/۶۸	۳۳/۹۳	۲۰۰۶	۱	۱	۳/۳	۱۴	۶	۳۸
۴۹/۳۳	۳۲/۸۵	۲۰۰۶	۱	۱۲	۴/۳	۱۵	۰	۵۲
۴۸/۵۷	۳۳/۱۲	۲۰۰۶	۱	۱۵	۳/۲	۱۷	۲	۴۷
۴۸/۹۵	۳۴/۴۳	۲۰۰۶	۳	۸	۳/۵	۱۴	۵	۱۱
۴۸/۹۴	۳۳/۸۳	۲۰۰۶	۳	۲۶	۲/۶۰	۶	۸	۱۰
۴۸/۹۲	۳۳/۷۴	۲۰۰۶	۳	۳۰	۴/۵۰	۱۴	۱۹	۴۷
۴۸/۹۰	۳۳/۷۴	۲۰۰۶	۳	۳۰	۲/۷۰	۱۴	۲۲	۴۷
۴۸/۹۱	۳۳/۶۹	۲۰۰۶	۳	۳۰	۵/۱۰	۱۵	۲۳	۶
۴۸/۹۴	۳۳/۷۴	۲۰۰۶	۳	۳۰	۳/۱۰	۱۴	۱	۳۰
۴۸/۹۱	۳۳/۶۵	۲۰۰۶	۳	۳۱	۶/۱	۱۴	۴	۴۷
۴۸/۸	۳۳/۸۹	۲۰۰۶	۳	۳۱	۵/۲	۱۷	۱۵	۲۴
۴۸/۳۱	۳۳/۱۳	۲۰۰۶	۸	۱۹	۳/۲	۱۴	۲۳	۵۲
۴۹/۷	۳۳/۰۷	۲۰۰۶	۱۲	۱۷	۳/۳	۱۴	۱۵	۳۹

۲۰۰۴-۲۰۰۶ میلادی حاوی ۲۶۲ زمین‌لرزه و در بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۰۴ میلادی دارای ۶۴ زمین‌لرزه می‌باشد. از اینرو مقدار M_c در بازه اخیر از دقت لازم برخوردار نیست.

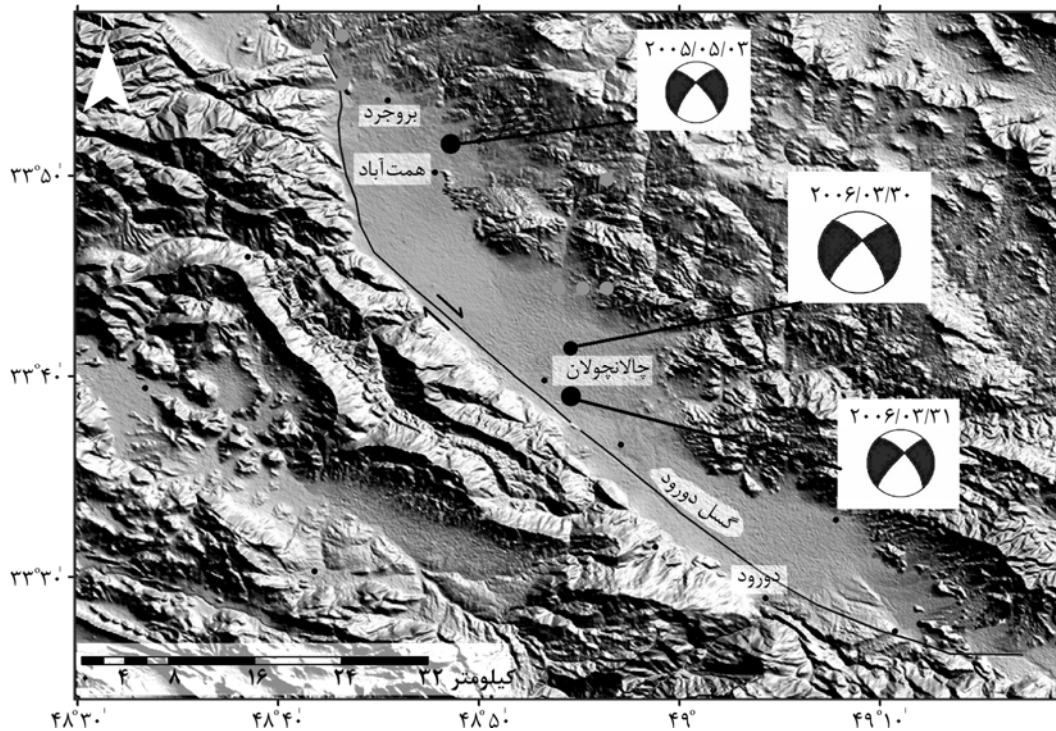
با نگاهی بر منحنی تجمعی زمین‌لرزه‌ها می‌توان استنباط نمود که قبل از رخداد شوک اصلی دشت سیلاخور، نرخ زمینه (*Background rate*) تقریباً با گذشت زمان یکنواخت شده و به دنبال آن، پیش‌لرزه و شوک اصلی رخ داده است، شکل (۵).



شکل (۵): (الف) نمودار تجمعی زمین‌لرزه‌ها از سال ۲۰۰۴ میلادی (ب) نمودار تجمعی زمین‌لرزه‌ها در فاصله زمانی ۳ ماه قبل از زمین‌لرزه دشت سیلاخور (نمایشگر ستاره). نرخ زمینه قبل از رخداد زمین‌لرزه، نسبت به زمان ثابت شده است. محل فلش، افزایش ناگهانی تعداد تجمعی زمین‌لرزه‌ها قبل از شوک اصلی را نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

برنامه حذف پس‌لرزه‌ها نسبت قابل توجهی از زمین‌لرزه‌ها را از کاتالوگ حذف کرده و از تعداد ۲۶۲ زمین‌لرزه بازه زمانی ۲۰۰۴-۲۰۰۶، ۲۴ شوک اصلی باقی می‌ماند که از این تعداد، شش مورد دارای بزرگایی بیشتر از ۴ ریشتر بوده‌اند. سه



شکل (۶): دو زمین‌لرزه‌ای که در ارتباط با جنبش گسل دورود رخ داده‌اند و با پیش‌لرزه‌هایی (دایره‌های کوچک) همراه بوده‌اند. حل صفحه کانونی با استفاده از اطلاعات وب سایت هاروارد صورت گرفته است [۲۳].

۷- مراجع

1. Evison, F.F. and Rhoades, D.A. (2004). Demarcation and scaling of long-term seismogenesis, *Pur. Appl. Geophys.*, **161**, Doi 10/1007/s00024-003-2435-8.
2. Felzer, K.R., Abercrombie, R.E., and Ekstrom, G. (2004). A common origin of aftershocks, foreshocks, and multiplets, *Bull. Seismo. Soc. Am.*, **94**(1), 88-98.
3. آقانباتی، سیدعلی (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، کتاب، ۵۸۶ صفحه.
4. Engdahl, E.R., Jackson, J.A., Myers, S.C., Bergman, E.A., and Priestley, K. (2006) Relocation and assessment of seismicity in the Iran region, *Geophys. J. Int.*, **167**, 761-778.
5. Talebian, M., and Jackson, J. (2002). Offset on the main recent fault of NW Iran and implications for the late cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone, *Geophys. J. Int.*, **150**, 422-439.
6. Berberian, M. (1995). Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics,

در بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۰۴، بعد از *Declustering* و اعمال حد آستانه ۴/۵ ریشتر برای بزرگا، تنها یک زمین‌لرزه در سال ۱۹۶۶ میلادی با بزرگای ۴/۷ در مقیاس امواج محلی دارای یک پیش‌لرزه بوده است. فرض ما بر این است که به دلیل ناکافی بودن تعداد ایستگاههای لرزه‌نگاری احتمال دارد که تمامی زمین‌لرزه‌ها ثبت نشده باشند.

این مطالعه نشان می‌دهد که رخداد پیش‌لرزه‌ها از ویژگیهای زمین‌لرزه‌های منطقه دشت سیلاخور می‌باشد. از اینرو با توجه به فعال بودن منطقه از نظر لرزه‌ای، تجهیز و تقویت ایستگاههای لرزه‌نگاری به منظور ایجاد شبکه‌ای متراکم و فرابینی تغییرات نرخ لرزه‌ای در این منطقه در راستای بررسی پیش‌نشانگرهای لرزه‌ای، می‌تواند مناسب باشد. اندازه‌گیری تغییرات نرخ لرزه‌ای در مناطق با فعالیت لرزه‌ای بالا می‌تواند گامی در راه رسیدن به تغییرات تنش و یا تغییرات فشار منغذی باشد [۲۴-۲۵].

۶- سپاسگزاری

انجام این مطالعه بدون راهنمایی آقای دکتر فرزاد یمینی‌فرد امکان‌پذیر نبوده است که بدینوسیله از همکاری و همفکری ارزنده ایشان قدردانی می‌گردد.

- diction algorithm, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **84**, 1551-1559.
17. Zuniga, F.R. and Wiemer, S. (1991). Seismicity patterns: are there always related to natural causes?, *Pure Appl. Geophys.*, **155**, 713-726.
 18. Wiemer, S. and Wyss, M. (2000). Minimum magnitude of complete reporting in earthquake catalogs: example from Alaska, the western United States, and Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**, 859-869.
 19. Woessner, J. and Wiemer, S. (2005). Assessing the quality of earthquake catalogues: estimating the magnitude of completeness and its uncertainty, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **95**, 684-698.
 20. Wiemer, S.A. (2001). Software package to analyze seismicity: ZMAP, *Seism. Res. Lett.*, **27**, 3405-3408.
 21. Gardner, J. and Knopoff, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershock removed, Poissonian?, *Bull. of the Seismological Society of America*, **64**, 1363-1446.
 22. Wang L.-Y., Chen, P.-Y., and Wu, Zh.-L. (2004). Characteristics of foreshock and its identification, *ACTA Seismologica Sinica*, **18**(2), 180-188.
 23. www.seismology.harvard.edu/CMTSEARCH.HTML/Accessed 2008.
 24. Dieterich, J. (1994). A constitutive law for rate of earthquake production and its application to earthquake clustering, *Journal Geophys. Res.*, **99**(2), 601-2, 618.
 25. Dieterich, J.H. and Okubo, P.G. (1996). An unusual pattern of seismic pattern of seismic quiescence at Kalapana, Hawaii, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 447-450.
 - Tectonophysics*, **241**, 193-224.
 7. Jones, L.M. and Molnar, P. (1979). Some characteristics of foreshocks and their possible relationship to earthquake prediction and premonitory slip on fault, *J. Geophys. Res.*, **84**, 3596-3608.
 8. Raleigh, C.B. et al (1977). Prediction of the Haicheng earthquake, *Eos* **58**, 236-272.
 9. Reasenber, P.A. (1999). Foreshocks occurrence before large earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **104**, 4755-4768.
 10. Helmstetter, A., Sornette, D., and Grasso, J.-R. (2003). Mainshocks are aftershocks of conditional goreshocks: how do foreshock statistical properties emerge from aftershocks law, *J. Geophys. Res.*, **108**(B1), doi: 10.1029/2002JB001991.
 11. Smith, E. (1981). Foreshocks of shallow New-Zealand earthquakes, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, **24**, 579-584.
 12. Jones, L.M. (1985). Foreshock and time-dependent earthquake hazard assessment in Southern California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **75**, 1669-1679.
 13. Console, R., Murru, M., and Alessandrini, B. (1993). Foreshock statistics and their possible relationship to earthquake prediction in Italian region, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **83**, 1248-1263.
 14. Habermann, R.E. (1987). Man-made changes of seismicity rates, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **77**, 141-159.
 15. Habermann, R.E. (1991). Seismicity rate variations and systematic changes in magnitudes in teleseismic catalogs, *Tectonophysics*, **193**, 277-289.
 16. Habermann, R.E. and Creamer, F. (1994). Catalog errors and the M_8 earthquake pre-