

چکیده

جمع‌آوری اطلاعات مربوط به داده‌های ثبت‌شده بر اثر زمین‌لرزه و تجزیه و تحلیل آنها می‌تواند جهت مطالعات تحلیل خطر، ریسک و یا رویکردهای مهندسی زلزله مفید واقع شود. در این مقاله، گزارشی از روند تهیه یک بانک داده‌ای منتخب از رکوردهای حرکات قوی زمین در ایران ارائه شده است. از مجموع بیش از ۱۰۰۰۰ رکورد سه مؤلفه‌ای که تماماً از رکوردهای ثبت‌شده توسط شبکه‌ی شتاب‌نگاری کشوری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۵ برداشت شده است، ۲۲۸۶ رکورد مناسب و دارای کیفیت قابل قبول انتخاب گردیدند. این رکوردها حاصل از ۴۶۱ رویداد زلزله می‌باشد که بزرگای گشتاوری آنها در محدوده‌ی ۳/۹ تا ۷/۳ قرار دارد و از هر زلزله حداقل دو رکورد در بانک داده‌های معرفی شده موجود می‌باشد. برای نخستین بار، فاصله‌ی ایستگاه ثبت‌کننده‌ی تصویر افقی سطح گسل در روی سطح زمین برای تعداد زیادی رکورد که بزرگای زلزله‌ی مربوطه عمده‌تاً بیش از ۶ بوده است، در این بانک داده با دقت زیاد گزارش شده است. شایان ذکر است که شتاب‌نگاشت‌های ثبت‌شده که به‌صورت خام در دسترس بوده‌اند با استفاده از روش پردازش مبتنی بر الگوریتم موجک نوفه‌زدایی شده‌اند. پارامترهای مختلفی همچون بیشینه شتاب، شتاب طیفی در دوره تناوب‌های مختلف (تا دوره تناوب ۴ ثانیه)، مدت‌زمان مؤثر، مدت‌زمان دوام برای هر سه مؤلفه‌ی رکورد ثبت‌شده محاسبه شده است. همچنین نوع خاک در ایستگاه ثبت‌کننده‌ی رکورد و نوع گسلش زلزله نیز گزارش شده است. همچنین یک بازبینی برای مشخصات زلزله شامل موقعیت مرکز زلزله، بزرگای، نوع گسلش و همچنین هندسه‌ی صفحه‌ی گسیختگی گسل (در صورت امکان) صورت پذیرفته است. در نهایت برخی از رکوردهایی که دارای بیشینه شتاب بیش از ۳ متر بر مجذور ثانیه و ثبت‌شده در فاصله‌ای کمتر از ۳۰ کیلومتر بوده‌اند، به‌عنوان رکوردهای خاص معرفی شده‌اند.

کلمات کلیدی: ایران، بانک داده‌ها، حرکات قوی زمین، خطر لرزه‌ای

بانک داده‌های منتخب حرکات قوی زمین برای زلزله‌های ایران

حمید زعفرانی (نویسنده مسئول)

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و

مهندسی زلزله، تهران،

h.zaferani@iiees.ac.ir

محمد رضا سقراط

دانشجوی دکتری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله،

تهران

۱- مقدمه

مربارترین زلزله‌ها حتی در سراسر جهان شناخته می‌شوند. شناخت و جمع‌آوری داده‌های ثبت‌شده‌ی ناشی از زلزله که دارای کیفیت قابل قبولی هستند و همچنین قابلیت استفاده در مطالعات لرزه‌شناسی و اهداف مهندسی را دارند، می‌تواند در کاهش آسیب وارده بر سازه‌ها مؤثر واقع شود؛ بنابراین توسعه‌ی یک بانک داده‌ها از حرکات ثبت‌شده‌ی زمین امری ضروری به نظر می‌رسد.

فلات ایران که در کمربند آلپ- هیمالیا قرار گرفته همواره زلزله‌های بزرگ و مخربی را در طول تاریخ تجربه کرده است و به‌عنوان یک ناحیه‌ی تکنونیک‌ی فعال که زلزله‌های آن عموماً در اعماق سطحی اتفاق می‌افتد، شناخته می‌شود. در میان زلزله‌های رخ داده می‌توان به رویدادهای مهمی همچون زلزله‌ی طیس (۱۹۷۸)، رودبار (۱۹۹۰)، بم (۲۰۰۳) و اهر- ورزقان (۲۰۱۲) اشاره داشت؛ که در این میان زلزله‌های رودبار و بم جزو

هدف از این مطالعه، گزارشی از روند تهیه‌ی یک بانک داده‌های قوی با اطلاعات جامع برای اهداف تحقیقاتی در حوزه مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی مهندسی می‌باشد. به‌منظور مشخص شدن ارزش این بانک داده، می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط کاله و همکاران [۱] و یا صفاری و همکاران [۲] اشاره داشت که به توسعه‌ی رابطه‌ی کاهندگی با استفاده از تنها ۵۲۸ و ۳۵۱ رکورد پرداخته‌اند. انتخاب رکورد برای توسعه‌ی روابط کاهندگی برای سنجه‌های مختلف شدت می‌تواند با استفاده از بانک داده‌های تهیه‌شده صورت پذیرد. علاوه بر معرفی سنجه‌های مختلف شدت مانند مدت‌زمان مؤثر و مدت‌زمان دوام، بر روی رکوردهایی که دارای ویژگی بیشینه شتاب بیش از ۳ متر بر ثانیه و ثبت شده در فواصل کمتر از ۳۰ کیلومتر هستند، تمرکز خواهد شد که تنها حدود ۲٪ از بانک داده‌ها را تشکیل می‌دهند.

۲- زلزله‌های مورد مطالعه

همان‌طور که قبلاً بیان شد، بانک داده‌های مورد مطالعه شامل ۲۲۸۶ رکورد سه‌مؤلفه‌ای از ۴۶۱ زلزله می‌باشد. تنها ۲۷ زلزله از ۴۶۱ رویداد بیان‌شده دارای بزرگای گشتاوری بیش از ۶ می‌باشند که در جدول (۱) برخی اطلاعات آنها شامل تاریخ و زمان وقوع، مرکز زلزله، عمق کانونی، سازوکار گسلش و بزرگای گشتاوری آورده شده است. همچنین فلات ایران بر اساس پیشنهاد میرزایی و همکاران [۳] به پنج ناحیه‌ی تکتونیکی شامل البرز- آذربایجان (ناحیه ۱)، کوپه‌داغ (ناحیه ۲)، زاگرس (ناحیه ۳)، ایران مرکزی (ناحیه ۴) و مکران (ناحیه ۵) تقسیم‌بندی شده است؛ که ناحیه‌ی تکتونیکی محل وقوع زلزله نیز در جدول مذکور نشان داده شده است. لازم به ذکر است که ۱۲ رویداد از ۲۷ رویداد حادث‌شده در ایران مرکزی رخ داده است و نواحی زاگرس، البرز- آذربایجان و کوپه‌داغ با ۷، ۶ و ۲ زلزله در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. واضح است که در بانک داده‌های مورد مطالعه، زلزله‌ای با بزرگای بیش از ۶ در ناحیه مکران تا سال ۱۳۹۲ گزارش نشده است.

شبکه‌ی شتاب‌نگاری کشور در سال ۱۳۵۲، پنج سال بعد از زلزله‌ی ویرانگر دشت بیاض تأسیس گردید. اولین رویداد ثبت‌شده در ایستگاه جهرم در استان فارس در همان سال می‌باشد که زلزله با بزرگای گشتاوری ۵/۲ رخ داده بود. تا سال ۱۳۷۱ حدود ۲۷۰ دستگاه شتاب‌نگار آنالوگ در سراسر کشور نصب گردیده بود که این دستگاه‌ها زلزله‌های مهمی همچون طبس (۱۳۵۷) و گلباف (۱۳۶۰) را به ثبت رسانیده‌اند. از سال ۱۳۷۲ نصب دستگاه‌های دیجیتال آغاز گردید و تا به امروز ادامه داشته؛ به‌طوری که زلزله‌های مهم دیگری همچون زنجیران، گرمخان بجنورد، اردکول، سرعین، بم و اهر- ورزقان توسط این دستگاه‌ها ثبت شده است. به‌طور کلی، بیش از ۱۰۰۰۰ رکورد سه مؤلفه‌ای به‌وسیله‌ی حدود ۱۱۰۰ ایستگاه مجهز به شتاب‌نگارهای آنالوگ یا دیجیتال ثبت شده است.

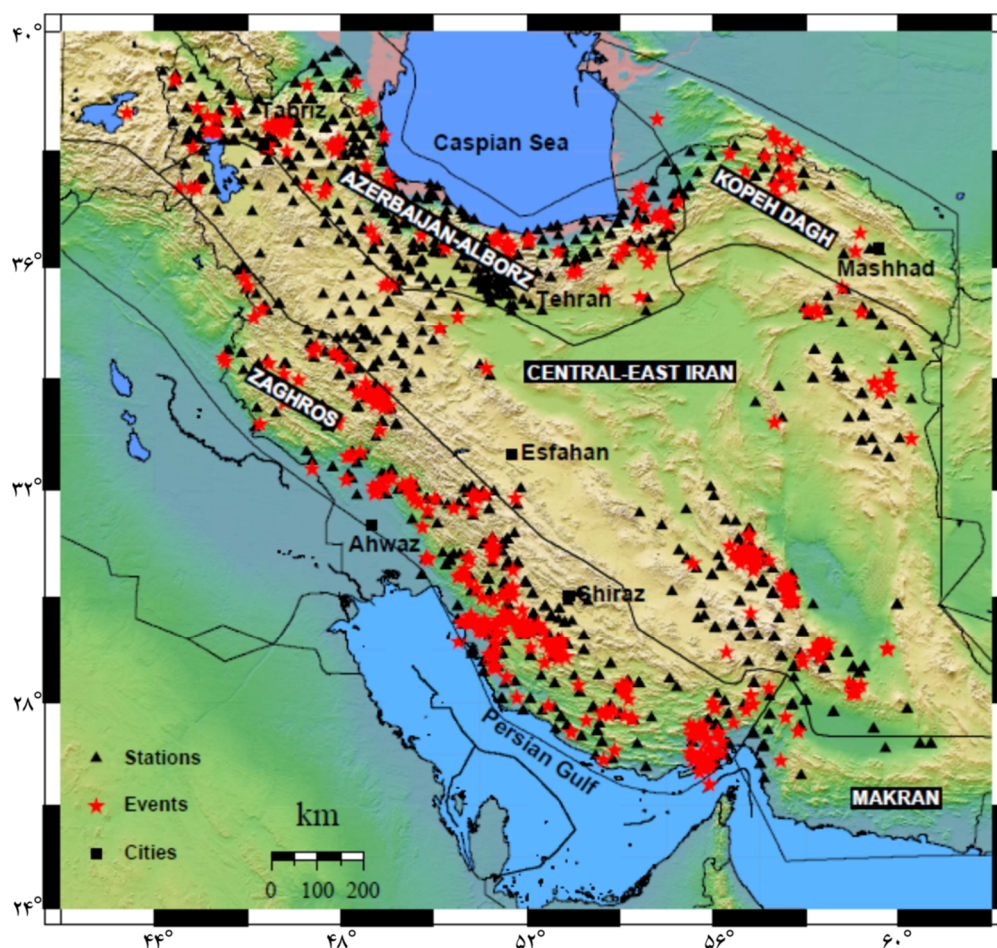
در مطالعه‌ی حاضر زلزله‌هایی انتخاب گردیدند که ضمن مشخص بودن مقدار بزرگای دارای حداقل دو رکورد ثبت‌شده باشد. بزرگای گشتاوری حداقل رویدادهای انتخاب‌شده دارای حداقل دو رکورد، برابر با ۳/۹ می‌باشد. با فرض شرایط فوق، ۳۰۴۶ رکورد حاصل از ۷۳۸ زلزله از میان تمام رکوردها و رویدادهای موجود (از بدو تأسیس شبکه‌ی شتاب‌نگاری زلزله ایران تحت نظارت مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) انتخاب شده است. با بررسی کیفیت رکوردهای انتخاب‌شده و فراداده‌ها، ۲۲۸۶ رکورد سه‌مؤلفه‌ای حاصل از ۴۶۱ زلزله در محدوده‌ی بزرگای ۳/۹ تا ۷/۳ برای مطالعات لازمه انتخاب گردید. با جستجو در بانک داده‌ها می‌توان دریافت که تعداد رکوردهای ثبت‌شده و زلزله‌ها قبل و بعد از سال ۱۳۷۳ دارای تفاوت چشمگیری است که می‌تواند به دلیل افزایش سریع ایستگاه‌های ثبت رکورد باشد. برای بیان واضح‌تر، می‌توان به زلزله‌ی کجور- بلده با بزرگای گشتاوری ۶/۲ در سال ۱۳۸۳ اشاره داشت که ۱۴۵ ایستگاه این رویداد را به ثبت رسانیدند درحالی که زلزله‌ی بزرگ‌تر رودبار- منجیل با بزرگای ۷/۳ که در سال ۱۳۶۹ رخ داده است تنها توسط ۲۳ ایستگاه ثبت شده است.

جدول (۱): مشخصات زلزله‌های با بزرگای گشتاوری بیش از ۶ در بانک داده‌های انتخابی

| ردیف | ناحیه | تاریخ وقوع | زمان وقوع | موقعیت جغرافیایی | | بزرگای گشتاوری | عمق (کیلومتر) | نوع گسلش |
|------|-------|------------|-----------|------------------|-------|----------------|---------------|-----------|
| | | | | عرض | طول | | | |
| ۱ | ۳ | ۱۹۹۷/۰۳/۲۱ | ۲۱:۱۸:۰۰ | ۵۶/۴۵ | ۲۷/۶۰ | ۶/۷ | ۱۲/۰ | معکوس |
| ۲ | ۴ | ۱۹۷۸/۹/۱۶ | ۱۵:۳۵:۵۷ | ۵۷/۳۳ | ۳۳/۲۲ | ۷/۳ | ۹/۰ | معکوس |
| ۳ | ۴ | ۱۹۷۹/۱/۱۶ | ۹:۵۰:۰۰ | ۵۹/۴۸ | ۳۳/۹۱ | ۶/۵ | ۱۱/۰ | معکوس |
| ۴ | ۴ | ۱۹۷۹/۱۱/۱۴ | ۲:۲۱:۱۸ | ۵۹/۷۳ | ۳۳/۹۶ | ۶/۶ | ۱۰/۰ | امتدادلغز |
| ۵ | ۴ | ۱۹۷۹/۱۱/۲۷ | ۱۷:۱۰:۳۳ | ۵۹/۷۹ | ۳۴/۰۸ | ۷/۱ | ۸/۰ | امتدادلغز |
| ۶ | ۴ | ۱۹۸۱/۷/۲۸ | ۱۷:۲۲:۲۳ | ۵۷/۷۷ | ۲۹/۹۸ | ۷ | ۱۸/۰ | امتدادلغز |
| ۷ | ۱ | ۱۹۹۰/۶/۲۰ | ۲۱:۰۰:۱۱ | ۴۹/۳۳ | ۳۶/۹۶ | ۷/۳ | ۱۲/۰ | امتدادلغز |
| ۸ | ۲ | ۱۹۹۷/۲/۴ | ۱۰:۳۷:۴۷ | ۵۷/۳۵ | ۳۷/۳۹ | ۶/۴ | ۸/۰ | امتدادلغز |
| ۹ | ۱ | ۱۹۹۷/۲/۲۸ | ۱۲:۵۷:۴۵ | ۴۷/۷۹ | ۳۸/۱۰ | ۶ | ۹/۰ | امتدادلغز |
| ۱۰ | ۴ | ۱۹۹۷/۵/۱۰ | ۷:۵۷:۲۹ | ۵۹/۸۳ | ۳۳/۸۶ | ۷/۲ | ۱۳/۰ | امتدادلغز |
| ۱۱ | ۴ | ۱۹۹۸/۳/۱۴ | ۱۹:۴۰:۲۷ | ۵۷/۵۹ | ۳۰/۰۸ | ۶/۶ | ۵/۰ | امتدادلغز |
| ۱۲ | ۳ | ۱۹۹۹/۳/۴ | ۵:۳۸:۲۶ | ۵۷/۲۱ | ۲۸/۲۶ | ۶/۲ | ۲۸/۰ | معکوس |
| ۱۳ | ۳ | ۱۹۹۹/۵/۶ | ۲۳:۰۰:۵۳ | ۵۱/۹۳ | ۲۹/۵۴ | ۶/۱ | ۷/۰ | امتدادلغز |
| ۱۴ | ۲ | ۲۰۰۰/۶/۱۲ | ۱۷:۱۱:۰۵ | ۵۴/۸۰ | ۳۸/۵۳ | ۷ | ۳۱/۰ | معکوس |
| ۱۵ | ۴ | ۲۰۰۲/۶/۲۲ | ۲:۵۸:۲۰ | ۴۸/۹۳ | ۳۵/۶۷ | ۶/۴ | ۱۰/۰ | معکوس |
| ۱۶ | ۴ | ۲۰۰۳/۱۲/۲۶ | ۱:۵۶:۵۲ | ۵۸/۳۷ | ۲۹/۰۵ | ۶/۵ | ۸/۰ | امتدادلغز |
| ۱۷ | ۱ | ۲۰۰۴/۵/۲۸ | ۱۲:۳۸:۴۴ | ۵۱/۵۸ | ۳۶/۲۸ | ۶/۳ | ۱۷/۰ | معکوس |
| ۱۸ | ۴ | ۲۰۰۵/۲/۲۲ | ۲:۲۵:۲۶ | ۵۶/۷۴ | ۳۰/۷۷ | ۶/۴ | ۷/۰ | معکوس |
| ۱۹ | ۳ | ۲۰۰۶/۲/۲۸ | ۷:۳۱:۰۳ | ۵۶/۵۲ | ۲۸/۱۳ | ۶ | ۱۸/۰ | معکوس |
| ۲۰ | ۳ | ۲۰۰۶/۳/۳۱ | ۱:۱۷:۰۲ | ۴۸/۹۱ | ۳۳/۶۲ | ۶/۱ | ۶/۰ | امتدادلغز |
| ۲۱ | ۳ | ۲۰۰۸/۹/۱۰ | ۱۱:۰۰:۳۸ | ۵۵/۷۲ | ۲۶/۶۵ | ۶/۱ | ۱۲/۰ | معکوس |
| ۲۲ | ۴ | ۲۰۱۰/۱۲/۲۰ | ۱۸:۴۱:۵۹ | ۵۹/۱۹ | ۲۸/۳۳ | ۶/۵ | ۵/۰ | امتدادلغز |
| ۲۳ | ۴ | ۲۰۱۱/۱/۲۷ | ۸:۳۸:۲۸ | ۵۹/۰۴ | ۲۸/۱۷ | ۶/۲ | ۹/۰ | امتدادلغز |
| ۲۴ | ۱ | ۲۰۱۱/۱۰/۲۳ | ۱۰:۴۱:۲۱ | ۴۳/۴۰ | ۳۸/۶۴ | ۷/۱ | ۱۲/۰ | معکوس |
| ۲۵ | ۱ | ۲۰۱۲/۸/۱۱ | ۱۲:۲۳:۱۵ | ۴۶/۸۰ | ۳۸/۳۱ | ۶/۴ | ۷/۰ | امتدادلغز |
| ۲۶ | ۱ | ۲۰۱۲/۸/۱۱ | ۱۲:۳۴:۳۴ | ۴۶/۸۱ | ۳۸/۳۹ | ۶/۴ | ۱۹/۲ | معکوس |
| ۲۷ | ۳ | ۲۰۱۳/۴/۹ | ۱۱:۵۲:۵۰ | ۵۱/۵۷ | ۲۸/۴۷ | ۶/۳ | ۱۱/۰ | معکوس |

ناحیه‌ی زاگرس رخ داده است به طوری که از ۵۲ رویداد با عمق بیش از ۴۰ کیلومتر در فلات ایران، ۴۲ زلزله مربوط به ناحیه‌ی زاگرس می‌باشد. پارامتر عمق دارای عدم قطعیت زیادی است، اما در اینجا برای زلزله‌های مهم که مطالعات خاصی به روش مدل‌سازی امواج حجمی^۱ موجود باشد، از آن مقادیر استفاده شده است. در مرحله‌ی بعد مقاله انگدال و همکاران [۴] مد نظر بوده است و در مرحله سوم، عمق‌های گزارش شده توسط آژانس‌های ملی یا بین‌المللی دیگر.

همچنین، بیشترین زلزله‌های این بانک داده، در ناحیه‌ی زاگرس رخ داده است که شامل ۲۴۳ رویداد (از مجموع ۴۶۱ رویداد) می‌باشد. این در حالی است که بزرگ‌ترین رویدادها (شامل چهار زلزله با بزرگای بیش از ۷) در ایران مرکزی رخ داده است. توزیع زلزله‌ها به همراه نواحی تکتونیکی در شکل (۱) به تصویر کشیده شده است. اکثر رویدادها در بانک داده‌ها از نوع زلزله‌ی سطحی بوده که دارای عمقی کمتر از ۳۰ کیلومتر می‌باشند. زلزله‌های با عمق بیش از ۴۰ کیلومتر بیشتر در



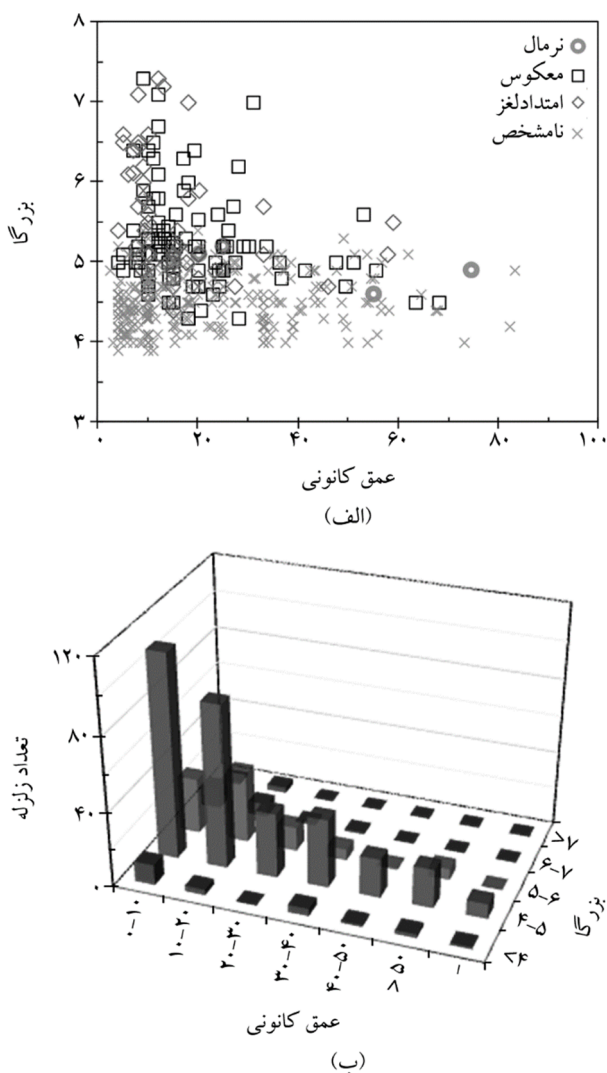
شکل (۱): موقعیت مرکز زلزله‌های مورد مطالعه به همراه نواحی تکتونیکی

زلزله بزرگای گشتاوری گزارش شده است. در این میان، شایان ذکر است که با توجه به تحقیقات صورت گرفته توسط زعفرانی و همکاران [۶-۸، ۱۹]، در تعیین بزرگای گشتاوری زلزله‌های کوچک، به روش معکوس‌سازی تعمیم‌یافته، این بزرگا برای بیش از ۲۷ زلزله کوچک تا متوسط در این بانک داده‌ها گزارش شده است.

مطابق با شکل (۲) می‌توان گفت که بیشتر داده‌ها مربوط به زلزله‌هایی با بزرگای متوسط (بین ۴ تا ۶) بوده است به طوری که ۹۰ درصد زلزله و یا ۷۰ درصد رکوردهای ثبت شده مربوط به این بازه‌ی بزرگا می‌باشند و تنها ۵ درصد رویدادها (حدود ۲۵ درصد رکوردها) متعلق به زلزله‌هایی با بزرگای بیش از ۶ هستند. همچنین، مطابق با شکل مذکور می‌توان گفت که بیشتر رویدادها (حدود ۷۵ درصد زلزله‌ها) دارای عمق کانونی کمتر از

توزیع فراوانی تعداد رویدادها و تعداد رکوردهای ثبت شده برحسب بزرگای گشتاوری، عمق و همچنین سازوکار گسلش در شکل (۲) نشان داده شده است. شایان ذکر است که برای حدود ۶۰ درصد رویدادها که ۳۰ درصد از کل رکوردها را تشکیل می‌دهد، بزرگای گشتاوری گزارش نشده است و از روابط تبدیل بزرگاهای مختلف به بزرگای گشتاوری [۵] برای بیان بزرگای واحد استفاده شده است. بزرگای گشتاوری محاسباتی با استفاده از روابط تبدیلی عموماً در محدوده‌ی ۴ تا ۵ قرار گرفته است که جزو زلزله‌های بزرگ محسوب نمی‌شوند. در بانک داده‌های معرفی شده، به ترتیب ۱۶، ۱۷۳، ۲۰۸ و ۱۴۸ زلزله دارای مقیاس‌های بزرگای محلی، بزرگای حجمی، بزرگای سطحی و بزرگای ناتلی بوده‌اند که با استفاده از روابط تبدیل به بزرگای گشتاوری تبدیل شده‌اند. همچنین، برای ۲۰۲

توزیع بزرگا و عمق زلزله به همراه نوع گسلش در شکل (۳) به تصویر کشیده شده است. همانند سایر نقاط جهان؛ در این بانک داده نیز بیشتر رویدادهای با سازوکار گسلش نامشخص مربوط به زلزله‌های کوچک‌تر از ۵ می‌باشند که اطلاعات کاملی از هندسه‌ی صفحه‌ی گسلش در دسترس نیست. همچنین می‌توان گفت که بیشتر زلزله‌های بزرگ این ناحیه، دارای عمق کانونی کمتر از ۳۰ کیلومتر بوده‌اند.

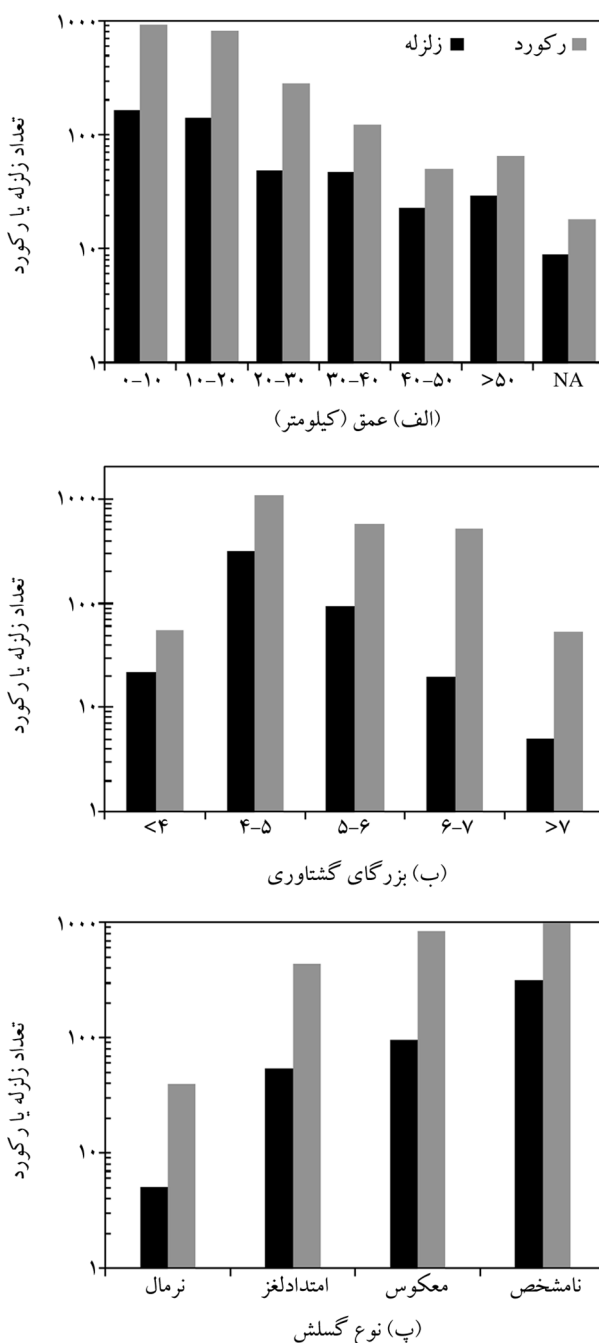


شکل (۳): (الف) توزیع بزرگا و عمق زلزله برحسب نوع گسلش و (ب) فروانی آنها

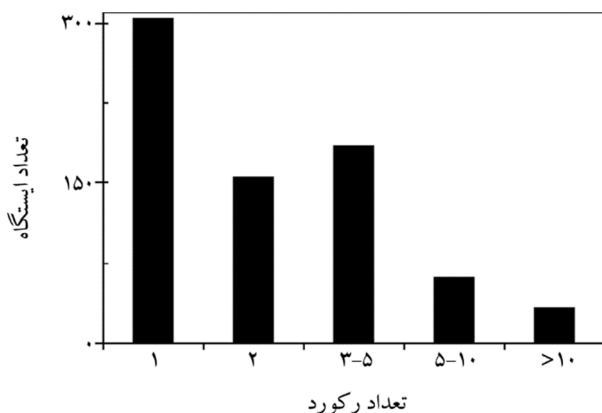
۳- ایستگاه‌های ثبت رکورد

داده‌های حرکات زمین بر روی ایستگاه‌های شبکه‌ی شتاب‌نگاری زلزله ایران که تحت نظارت مرکز تحقیقات راه،

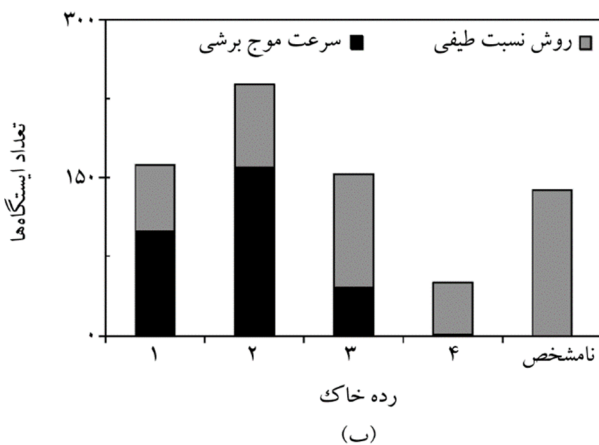
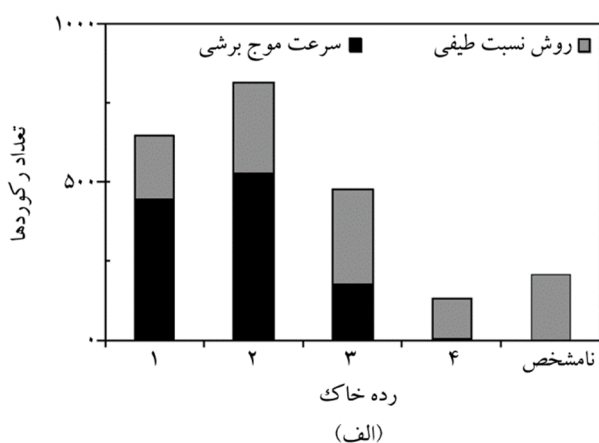
۳۰ کیلومتر هستند و عمق کانونی کمتر از ۱ درصد زلزله‌ها در بانک داده‌ها نامشخص می‌باشد. در خصوص سازوکار گسلش نیز مشخص است که بیشتر رویدادها (حدود ۶۵ درصد) دارای گسلش نامشخص می‌باشند. همچنین زلزله‌های با گسلش معکوس حدود ۲۰ درصد و گسلش امتداد لغز حدود ۱۵ درصد از بانک داده‌ها را تشکیل می‌دهند.



شکل (۲): فروانی تعداد زلزله‌ها یا رویدادها برحسب عمق کانونی، (ب) بزرگای گشتاوری و (پ) نوع گسلش



شکل (۴): فراوانی تعداد رکوردهای ثبت شده بر حسب ایستگاه



شکل (۵): (الف) توزیع تعداد رکورد و (ب) تعداد ایستگاه بر حسب رده خاک

ایستگاه‌های مورد مطالعه در خاک نوع ۲ بیشتر از سایر رده‌های خاک می‌باشد و خاک‌های رده ۱، ۳ و ۴ در رتبه‌های بعدی قرار خواهند گرفت. از لحاظ توزیع تعداد رکورد بر حسب نوع خاک نیز بیشتر رکوردها در رده خاک ۲ قرار می‌گیرند و رده‌های

مسکن و شهرسازی قرار دارد، ثبت می‌شود. این شبکه در ابتدا تنها مجهز به دستگاه‌های آنالوگ SMA-1 بود که با مرور زمان دستگاه‌های دیجیتال SSA-2 جایگزین آنها گردید و این دستگاه‌ها افزایش یافت. از ۱۱۰۰ ایستگاه ثبت شتاب این شبکه، سرعت متوسط موج برشی در عمق ۳۰ متری (V_{SS0}) تنها در ۳۰ درصد ایستگاه‌ها تا سال ۱۳۹۲ (بر اساس گزارش مرکز تحقیقات، ساختمان و مسکن) مشخص است. بر اساس آیین-نامه‌ی زلزله‌ی استاندارد ۲۸۰۰، بسته به مقدار سرعت موج برشی بر حسب متر بر ثانیه، چهار رده خاک در نظر گرفته شده است که شامل رده خاک ۱ ($750 < V_{SS0}$)، رده ۲ ($375 < V_{SS0} < 750$)، رده ۳ ($175 < V_{SS0} < 375$) و رده ۴ ($V_{SS0} > 175$) می‌باشد.

در این تحقیق، ۲۲۸۶ رکورد منتخب توسط ۷۴۳ ایستگاه ثبت شده که متوسط سرعت موج برشی در عمق ۳۰ متری برای حدود ۴۰ درصد ایستگاه‌ها (۳۰۶ از ۷۴۳ ایستگاه) مشخص می‌باشد. نوع خاک ۲۹۹ ایستگاه نیز بر اساس مطالعات زمین‌شناسی و یا با استفاده از روش‌های تجربی تعیین شده است. قاسمی و همکاران [۹] روشی را برای رده‌بندی خاک با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن و محاسبه‌ی نسبت طیف افقی به قائم پیشنهاد نمودند که در مطالعه‌ی حاضر در صورتی که سرعت موج برشی در ایستگاه مورد نظر مشخص نبوده از این روش استفاده شده است؛ بنابراین، رده‌ی خاک در ۱۳۸ ایستگاه معلوم نبوده است که بیشتر آنها (۱۲۷ از ۱۳۸ ایستگاه) یک یا دو رکورد را ثبت کرده‌اند. به عبارت دیگر، رده خاک در ۱۸ درصد ایستگاه‌ها قابل تشخیص نمی‌باشد که آنها یا ایستگاه موقت بوده‌اند و یا دارای کمتر از ۵ رکورد ثبت شده می‌باشند. ایستگاه‌های زیادی (۳۰۵ از ۷۴۳ ایستگاه) در بانک داده‌ها تنها یک رکورد را ثبت کرده‌اند. توزیع تعداد ایستگاه‌ها نسبت به رکوردهای ثبت شده در آنها در شکل (۴) نشان داده شده است. تعداد رکوردهای ثبت شده در هر ایستگاه در برخی مطالعات مانند انحراف معیار تک ایستگاهی بسیار مهم است.

شکل (۵) تعداد رکوردهای موجود در بانک داده‌ها و همچنین تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه را به تفکیک خاک (بر اساس سرعت موج برشی یا روش تجربی) نشان می‌دهد.

در حین پردازش از بانک داده‌ها حذف گردیده‌اند که در این میان می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

- رکوردهایی که امواج اولیه (بخشی از رکورد) را از دست داده‌اند.
- رکوردهایی که تنها یک مؤلفه‌ی افقی ثبت شده داشته‌اند.
- رکوردهایی که مربوط به زلزله‌هایی با بزرگای نامشخص بوده‌اند.
- رکوردهایی که شامل چند رویداد متوالی می‌باشند.
- رکوردهایی با کیفیت پایین

۵- ویژگی رکوردها

همان‌گونه که پیشتر ذکر شد، بانک داده‌های تهیه‌شده از ۲۲۸۶ شتاب‌نگاشت سه مؤلفه‌ای تشکیل شده است که بیش از ۷۵ درصد آنها مربوط به بعد از سال ۲۰۰۰ می‌باشد. توزیع بزرگا-فاصله در شکل (۶) به تفکیک نوع خاک و نوع گسلش نشان داده شده است. همچنین مقایسه‌ای بین فاصله‌ی رومرکزی و فاصله جویئر-بور نیز در شکل مذکور انجام شده است. از روی شکل می‌توان به کم بودن داده‌های ثبت شده بر روی خاک نوع ۴ اشاره کرد. همچنین می‌توان به کم بودن داده‌ها در بزرگای بیش از ۷ و یا زلزله‌های رخ داده با سازوکار گسلش نرمال نیز اشاره داشت. شایان ذکر است که در محدوده‌ی بزرگای ۶/۵ تا ۷ نیز داده‌ها محدود می‌باشند. بر اساس داده‌های ثبت شده می‌توان گفت که فروانی داده‌ها در بازه‌ی ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر بیشتر از سایر محدوده‌های فاصله می‌باشد. فاصله‌ی معرفی شده در این تحقیق فاصله‌ی رومرکزی و همچنین فاصله‌ی جویئر-بور می‌باشد اگرچه به دلیل عدم اطلاعات در خصوص صفحه‌ی گسل برای زلزله‌های کوچک، فاصله‌ی جویئر-بور فقط برای زلزله‌های بزرگ به دست آمده است. شایان ذکر است که برای زلزله‌های کوچک فاصله رومرکزی و فاصله‌ی جویئر-بور مقادیر بسیار نزدیکی به دلیل کوچک بودن صفحه‌ی گسیختگی رانست به هم دارند. آکار و همکاران [۱۳] نشان دادند که فاصله جویئر-بور کمتر از فاصله‌ی رومرکزی می‌باشد که برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ۶ و فواصل نزدیک اختلاف بین این دو پارامتر فاصله آشکارتر

خاک ۱، ۳ و ۴ در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. به بیان دیگر، ۲۸، ۳۵، ۲۰ و ۶ درصد رکوردها به ترتیب در رده‌ی خاک‌های ۱ تا ۴ قرار می‌گیرند و برای بقیه‌ی رکوردها نیز اطلاعات مورد نیاز برای تعیین نوع خاک ایستگاه ثبت‌کننده موجود نیست.

۴- پردازش رکوردها

شتاب‌نگاشت‌های دیجیتال ثبت‌شده توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی دارای گام‌های زمانی ۰/۰۰۵ ثانیه می‌باشند که به صورت خام (غیر پردازش شده) ارائه می‌گردند. شتاب‌نگاشت‌های خام، به دلیل وجود خطاهای مختلفی که در آنها وارد می‌شود؛ باید تصحیح گردند. این خطاها پس از به دست آوردن تاریخچه زمانی سرعت و جابجایی آشکارتر می‌باشند. برای رفع این مشکل، تصحیح‌های مختلفی روی شتاب‌نگاشت‌ها صورت می‌گیرد که مهم‌ترین آنها تصفیه‌ی فرکانسی از اغتشاشات (انتخاب محدوده فرکانسی مناسب) و اصلاح خط پایه است [۱۰-۱۱]. چگونگی انجام تصحیح خط مبنا و انتخاب محدوده‌ی فرکانسی مناسب به منظور حذف نوفه‌های با فرکانس‌های بالا و پایین مورد مطالعه محققین مختلفی بوده است [۱۰-۱۵]. بخش مهم فرآیند فیلترینگ انتخاب روش فیلتر، پارامترهای فیلتر و انتخاب فرکانس‌های گوشه می‌باشد. معمولاً برای یافتن فرکانس‌های گوشه از روش سنجش نسبت سیگنال به نویز استفاده می‌شود. شایان ذکر است که این روش در مواردی که رکورد ثبت شده دارای بخش اولیه نسبتاً طولانی باشد قابلیت استفاده‌ی بهتری دارد [۱۰]. تعدادی از شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده به روش مرسوم که در فوق اشاره گردیده است، قابل تصحیح نیستند؛ زیرا نسبت پایین سیگنال به نویز و غیر ایستا بودن نوفه‌ها از محدودیت‌های استفاده از روش مرسوم می‌باشد. یکی از روش‌های کارا و جدید برای تصحیح رکورد، استفاده از تبدیل موجک است. در این مطالعه، از این روش برای حذف نوفه‌ها از سیگنال استفاده شده است. با استفاده از این روش، نوفه در تمام محدوده‌ی فرکانسی مورد نظر برای اهداف مهندسی می‌تواند کاهش داده شود [۱۶]. برخی از رکوردها

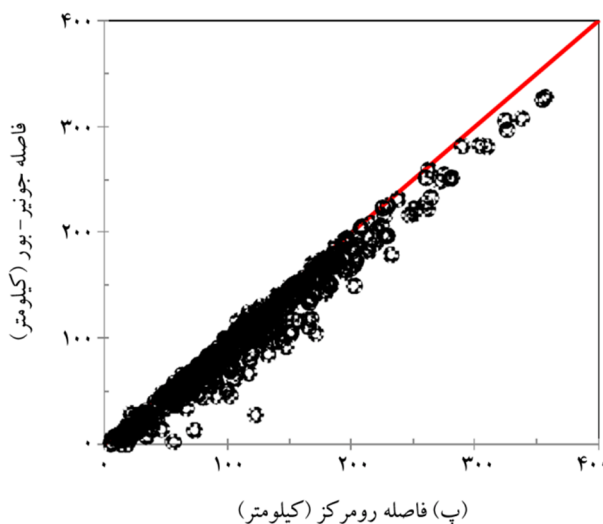
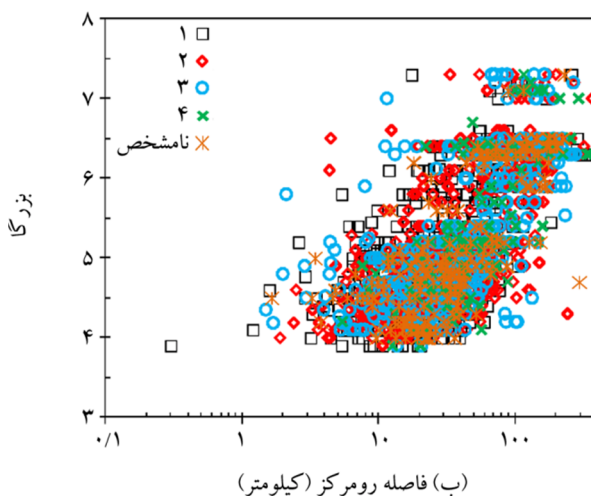
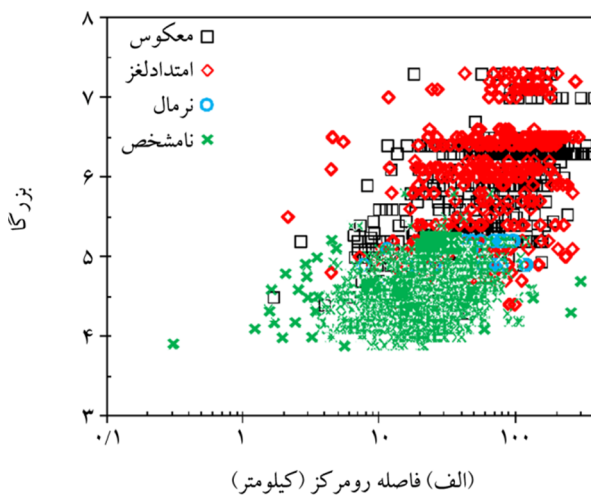
شایان ذکر است که اگرچه فاصله جویبر-بور در این مطالعه مورد محاسبه قرار گرفته است اما برای برخی از رکوردها، این فاصله توسط پروژه EMME (<http://www.emme-gem.org>) نیز قبلاً گزارش شده است؛ اما محاسبات صورت گرفته در این مقاله، به صورت مستقل و با دقت فراوان در تعیین صفحه‌ی محتمل گسل همراه بوده است، که شرح جزئیات آن در اینجا مسیر نیست.

۶- پارامترهای مختلف حرکات زمین

مقدار بیشینه شتاب و شتاب طیفی در ۳۴ دوره تناوب در محدوده‌ی ۰/۱ تا ۴ ثانیه برای مؤلفه‌های افقی و قائم در بانک داده‌های معرفی شده محاسبه گردیده است. توزیع شتاب طیفی نسبت به فاصله در محدوده‌ی بزرگ‌های مختلف در بیشینه شتاب و دوره تناوب‌های ۰/۵، ۱ و ۳ ثانیه برای مؤلفه‌ی افقی با در نظر گرفتن میانگین هندسی دو مؤلفه‌ی افقی، در شکل (۷) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، می‌توان گفت که زلزله‌های بزرگ (بزرگ‌های گشتاوری بیش از ۶) در فواصل دورتر نسبت به زلزله‌های کوچک‌تر دیرتر کاهیده می‌شوند (مقادیر دامنه در فواصل دورتری افت می‌کنند). فراوانی داده‌ها برحسب مقدار بیشینه شتاب برای مؤلفه‌ی افقی (میانگین هندسی) و مؤلفه‌ی افقی در شکل (۸) نشان داده شده است. شکل مذکور نشان می‌دهد که برای مؤلفه‌ی افقی حدود ۸۰ درصد رکوردها مقدار بیشینه شتاب کمتر از ۵۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه می‌باشد. چنین شرایطی برای مؤلفه‌ی قائم در ۹۰ درصد رکوردها صادق خواهد بود. همچنین تنها ۱/۵ درصد و ۰/۵ درصد از رکوردها به ترتیب برای مؤلفه‌های افقی و قائم دارای بیشینه شتابی بیش از ۳۰۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه خواهند بود که همگی آنها در فاصله‌ای کمتر از ۳۰ کیلومتر ثبت شده‌اند.

همچنین در این تحقیق مدت تداوم مؤثر برای تمام رکوردها و برای هر دو مؤلفه‌ی افقی و قائم محاسبه شده است. مدت تداوم مؤثر به صورت بازه‌ی زمانی که مقدار مشخصی از انرژی زلزله اتلاف می‌شود، تعریف می‌گردد. نقطه شروع زمان مؤثر، زمانی تعریف می‌شود که نسبت شدت آریاس در زمان مشخصی

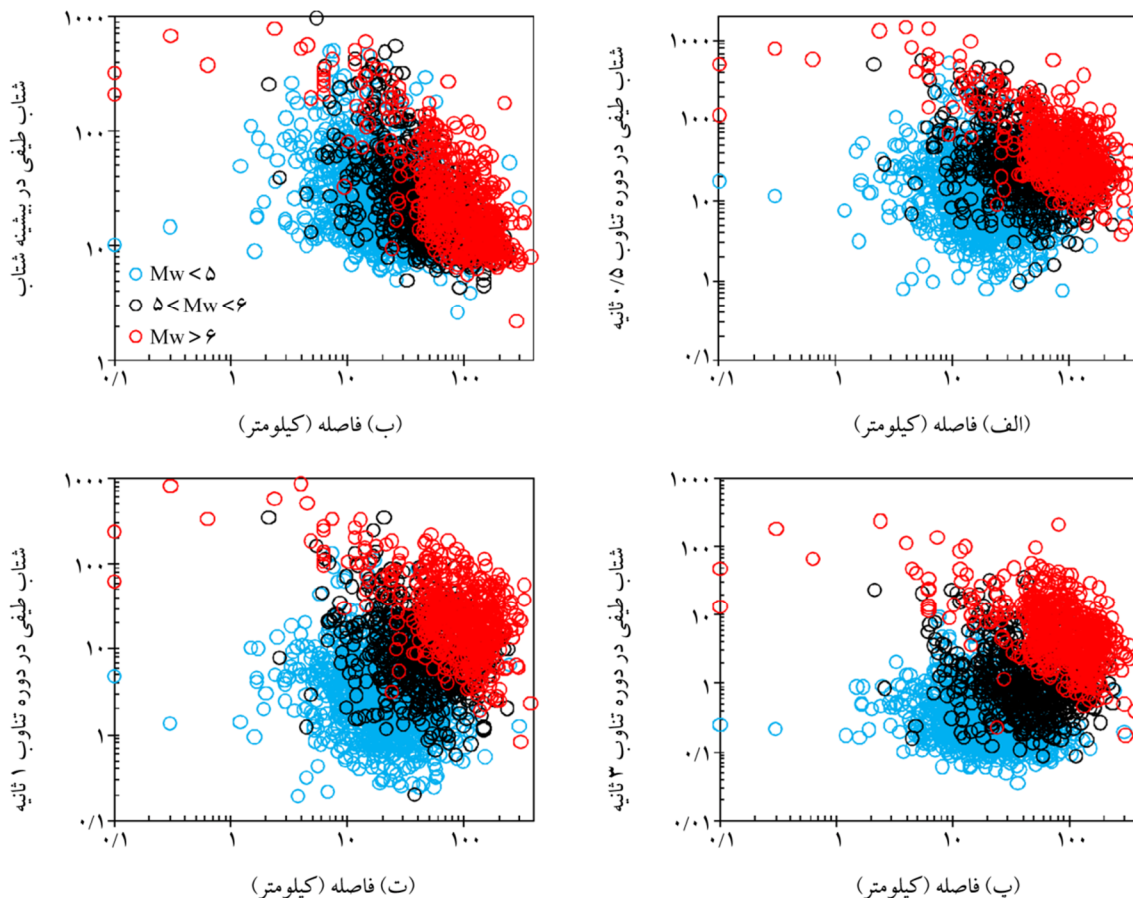
می‌شود. در مطالعه‌ی صورت گرفته نیز نشان داده شده که عموماً فاصله جویبر-بور کمتر از فاصله رومرکز می‌باشد.



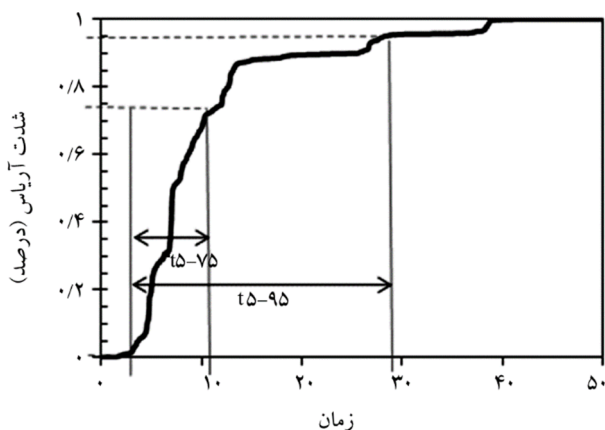
شکل (۶): توزیع بزرگ-فاصله به تفکیک (الف) نوع گسلش و خاک، (ب) مقایسه فاصله رومرکز (پ) و فاصله جویبر-بور

(۹) نمایش داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، زمان مؤثر بر اساس نسبت ۹۵ درصد (t5-95) بیشتر از ۷۵ درصد (t5-75) می‌باشد که در مثال نشان داده شده این اختلاف زمان مؤثر بیش از دو برابر می‌باشد.

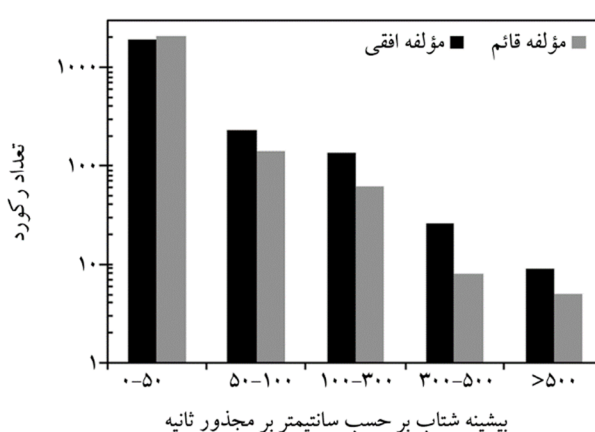
به شدت آریاس کل برابر با ۵ درصد باشد. نقطه‌ی پایان زمان مؤثر برابر با زمانی در نظر گرفته می‌شود که این نسبت انرژی برابر با ۷۵ یا ۹۵ درصد در نظر گرفته شود [۱۷]. تخمین زمان‌های مؤثر طبق تعاریف فوق به صورت شماتیک در شکل



شکل (۷): توزیع شتاب طینی در پرونده‌های مختلف بر حسب فاصله به تفکیک بزرگ‌ها برای میانگین هندسی دو مؤلفه افقی



شکل (۸): فراوانی تعداد رکوردها بر حسب بیشینه شتاب برای مؤلفه افقی و قائم

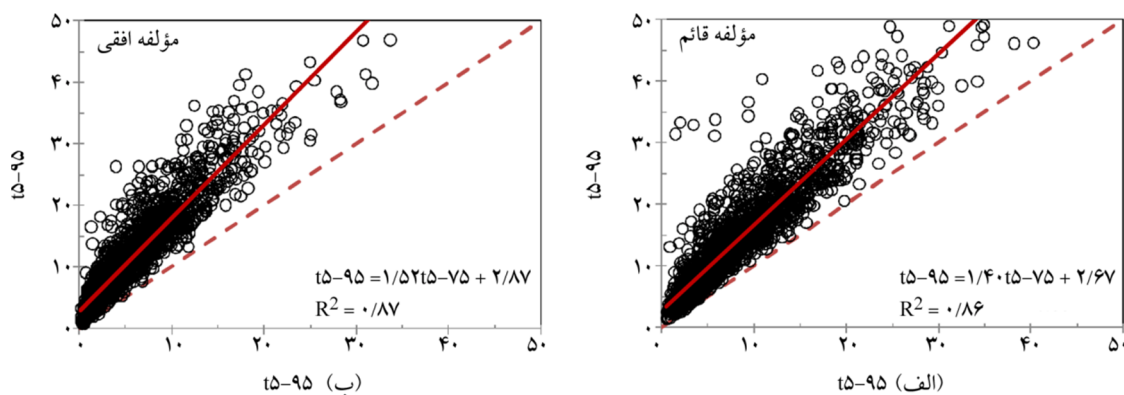


شکل (۹): نحوه‌ی محاسبه‌ی مدت تداوم مؤثر بر اساس تعاریف متفاوت برای هر رکورد

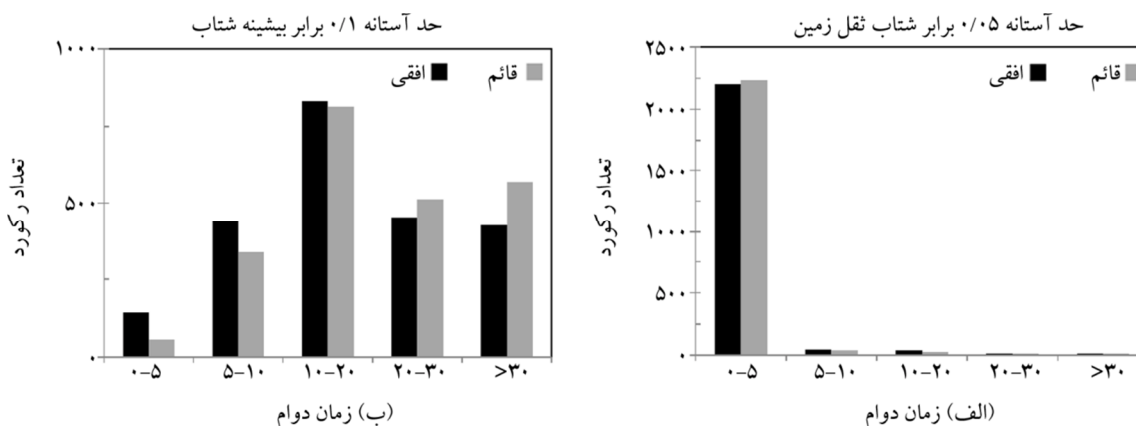
معرفی شده مورد محاسبه قرار گرفته که به عنوان مثال در ادامه زمان دوام^۲ تشریح می‌گردد. زمان دوام فاصله‌ی بین اولین و آخرین زمانی است که شتاب حرکت زمین از یک مقدار معین بیشتر می‌شود. این مقدار آستانه در مراجع مختلف، یکسان تعریف نشده است به طوری که برخی مراجع آن را درصدی از بیشینه شتاب خود رکورد در نظر می‌گیرند و در برخی مراجع آن را به عنوان درصدی از شتاب گرانشی زمین لحاظ می‌کنند. در شکل (۱۱) فراوانی تعداد رکوردها بر حسب زمان دوام برای مؤلفه‌های افقی و قائم و همچنین در نظر گرفتن تعاریف متفاوت (حد آستانه برابر با ۰/۰۵ شتاب ثقل زمین و همچنین برابر با ۰/۱ بیشینه شتاب رکورد) نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است با توجه به اینکه اکثر رکوردهای ثبت شده در ایران، دامنه‌ی شتاب پایینی دارند در صورتی که معیار را ۰/۰۵ برابر شتاب ثقل زمین در نظر بگیریم، اکثر رکوردها زمان دوامی در محدوده ۰ تا ۵ ثانیه خواهند داشت.

مقایسه‌ای بین زمان‌های مؤثر با توجه به تعاریف متفاوت بحث شده در فوق برای هر دو مؤلفه‌ی افقی و قائم در شکل (۱۰) نشان داده شده است. با توجه به شکل می‌توان گفت که همبستگی خوبی بین دو تعریف وجود دارد که ضریب تعیین (R^2) در رگرسیون مربوطه نزدیک به ۰/۹ به دست آمده است. تعریف زمان مؤثر بر اساس t5-75 بیانگر انرژی حمل شده به وسیله‌ی امواج حجمی می‌باشد در حالی که t5-95 به تقریب بیانگر انرژی حمل شده توسط کل سیگنال در نظر گرفته می‌شود [۱۸]. برای مؤلفه‌ی افقی در حدود ۴۴ درصد و ۲۶ درصد رکوردها دارای زمان مؤثر بیشتر از ۱۰ ثانیه به ترتیب بر اساس تعاریف t5-75 و t5-95 می‌باشد که می‌تواند در تحلیل تاریخچه زمانی به کار رود (در برخی از آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌ها زمان مؤثر حداقل برابر با ۱۰ ثانیه یک معیار برای انتخاب رکورد می‌باشد).

علاوه بر زمان مؤثر پارامترهای دیگر زمان نیز در بانک داده‌های



شکل (۱۰): مقایسه‌ی زمان مؤثر بر اساس تعاریف متفاوت برای مؤلفه‌های (الف) قائم و (ب) افقی (میانگین هندسی)



شکل (۱۱): فراوانی تعداد رکوردها بر حسب زمان دوام

می‌شوند که تنها ۲ درصد از بانک داده‌ها (۴۸ رکورد از مجموع ۲۲۸۶) را تشکیل می‌دهند (جدول ۲). ۳۲ رکورد از ۴۸ رکورد مذکور در اثر وقوع زلزله با عمق کمتر از ۱۰ کیلومتر به ثبت رسیده است.

در این بخش از مقاله، علاوه بر مشخصات ذکر شده در فوق بر روی رکوردهای خاصی که دارای بیشینه شتاب بیش از ۳ متر بر مجذور ثانیه و فاصله‌ی کمتر از ۳۰ کیلومتر ثبت شده است، تمرکز می‌شود. این رکوردها بدین دلیل خاص در نظر گرفته

جدول (۲): رکوردهای خاص در بانک داده‌های ایران

| ردیف | تاریخ | شماره رکورد | بزرگما Mw | سازوکار گسلش | عمق (کیلومتر) | بیشینه شتاب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه | | فاصله (کیلومتر) | رده خاک |
|------|------------|-------------|-----------|--------------|---------------|--------------------------------------|-------|-----------------|---------|
| | | | | | | قائم | افقی | | |
| ۱ | ۱۹۷۸/۹/۱۶ | ۱۰۸۲/۰۱ | ۷/۳ | معکوس | ۹ | ۱۵۱/۲ | ۳۵۷/۵ | ۰ | ۱ |
| ۲ | ۱۹۸۷/۹/۱۶ | ۱۰۸۴/۰۱ | ۷/۳ | معکوس | ۹ | ۵۵۸/۳ | ۸۲۷/۳ | ۲ | ۲ |
| ۳ | ۱۹۹۰/۶/۲۰ | ۱۳۶۲/۰۱ | ۷/۳ | امتدادلغز | ۱۲ | ۴۶۱/۹ | ۴۸۵/۳ | ۷ | ۲ |
| ۴ | ۱۹۹۴/۶/۲۰ | ۱۴۹۰/۰۲ | ۵/۸ | امتدادلغز | ۹ | ۱۵۸/۹ | ۴۶۵/۴ | ۱۲ | ۱ |
| ۵ | ۱۹۹۴/۶/۲۰ | ۱۵۰۲/۰۹ | ۵/۸ | امتدادلغز | ۹ | ۹۰۸/۰ | ۹۷۹/۶ | ۵ | ۱ |
| ۶ | ۱۹۹۶/۶/۲ | ۱۶۳۸/۰۱ | ۵ | نامشخص | ۳۹ | ۹۲/۹ | ۳۰۰/۲ | ۳ | |
| ۷ | ۱۹۹۷/۲/۲۸ | ۱۸۳۳/۰۲ | ۶ | امتدادلغز | ۹ | ۱۸۴/۶ | ۵۵۶/۵ | ۲۶ | ۲ |
| ۸ | ۱۹۹۷/۸/۲۴ | ۱۸۱۴ | ۴/۹ | نامشخص | ۲ | ۱۷۲/۸ | ۶۶۷/۴ | ۷ | ۲ |
| ۹ | ۱۹۹۸/۳/۱۴ | ۱۹۱۳/۰۱ | ۶/۶ | امتدادلغز | ۵ | ۷۱۲/۲ | ۶۳۹/۲ | ۴ | ۲ |
| ۱۰ | ۱۹۹۸/۱۱/۱۳ | ۲۰۴۹/۰۱ | ۵/۴ | معکوس | ۷ | ۱۹۳/۷ | ۳۸۳/۴ | ۲۴ | ۳ |
| ۱۱ | ۱۹۹۹/۵/۶ | ۲۱۳۱/۰۲ | ۶/۱ | امتدادلغز | ۷ | ۲۴۳/۳ | ۳۸۶/۰ | ۱۸ | ۱ |
| ۱۲ | ۱۹۹۹/۱۱/۲۶ | ۲۲۷۶/۰۲ | ۵/۳ | معکوس | ۱۰ | ۳۸۸/۳ | ۴۲۳/۴ | ۶ | ۲ |
| ۱۳ | ۲۰۰۰/۷/۲ | ۲۳۲۴/۰۲ | ۴/۱ | نامشخص | ۵۶ | ۸۷/۳ | ۵۱۸/۴ | ۲۱ | |
| ۱۴ | ۲۰۰۲/۶/۲۲ | ۲۷۴۹/۰۱ | ۶/۴ | معکوس | ۱۰ | ۲۵۵/۸ | ۴۶۹/۷ | ۱۶ | ۱ |
| ۱۵ | ۲۰۰۲/۹/۲۵ | ۲۸۷۷/۰۱ | ۵/۶ | معکوس | ۲۴ | ۱۴۱/۳ | ۳۳۴/۱ | ۱۵ | ۱ |
| ۱۶ | ۲۰۰۳/۷/۱۰ | ۳۰۴۰/۰۱ | ۵/۷ | معکوس | ۱۰ | ۱۷۶/۳ | ۳۵۳/۸ | ۲۶ | ۲ |
| ۱۷ | ۲۰۰۳/۱۲/۱۵ | ۳۱۴۹/۰۵ | ۵/۱ | معکوس | ۱۵ | ۴۳۴/۱ | ۷۲۵/۸ | ۲۱ | |
| ۱۸ | ۲۰۰۳/۱۲/۲۳ | ۳۱۵۱/۰۷ | ۵ | معکوس | ۲۳ | ۷۲۵/۴ | ۵۷۱/۹ | ۱۵ | |
| ۱۹ | ۲۰۰۳/۱۲/۲۶ | ۳۱۶۸/۰۲ | ۶/۵ | امتدادلغز | ۸ | ۹۱۷/۶ | ۷۵۹/۱ | ۰ | ۲ |
| ۲۰ | ۲۰۰۴/۳/۲ | ۳۲۳۹/۰۱ | ۵/۱ | امتدادلغز | ۱۵ | ۲۴۶/۳ | ۴۰۲/۵ | ۱۶ | ۲ |
| ۲۱ | ۲۰۰۴/۵/۲۸ | ۳۳۳۳ | ۶/۳ | معکوس | ۱۷ | ۳۸۶/۷ | ۸۵۸/۶ | ۱۴ | ۳ |
| ۲۲ | ۲۰۰۵/۲/۲۲ | ۳۶۷۱/۰۱ | ۶/۴ | معکوس | ۷ | ۲۹۳/۳ | ۳۰۲/۵ | ۱۳ | ۳ |
| ۲۳ | ۲۰۰۵/۲/۲۲ | ۳۶۹۷/۰۱ | ۶/۴ | معکوس | ۷ | ۲۴۴/۰ | ۴۷۹/۵ | ۱۴ | ۱ |
| ۲۴ | ۲۰۰۵/۱۱/۲۷ | ۳۹۱۵/۰۱ | ۵/۹ | معکوس | ۹ | ۱۱۵/۶ | ۳۱۳/۱ | ۱۱ | ۱ |
| ۲۵ | ۲۰۰۶/۳/۳۰ | ۴۰۲۷/۰۵ | ۵/۱ | امتدادلغز | ۱۰ | ۱۹۴/۹ | ۳۱۱/۵ | ۲۱ | ۲ |
| ۲۶ | ۲۰۰۶/۳/۳۱ | ۴۰۲۷/۰۸ | ۶/۱ | امتدادلغز | ۶ | ۴۹۶/۵ | ۴۱۳/۸ | ۱ | ۲ |
| ۲۷ | ۱۹۹۶/۶/۲ | ۴۰۳۵/۰۳ | ۶/۱ | امتدادلغز | ۶ | ۲۲۱/۵ | ۳۶۶/۹ | ۲۰ | ۱ |
| ۲۸ | ۲۰۰۶/۶/۲۸ | ۴۱۴۷/۱۳ | ۵/۸ | معکوس | ۱۱ | ۴۱۹/۶ | ۴۹۷/۸ | ۱۷ | ۱ |
| ۲۹ | ۲۰۰۸/۹/۱۰ | ۴۶۸۶/۰۳ | ۶/۱ | معکوس | ۱۲ | ۲۸۵/۴ | ۵۷۴/۹ | ۵ | ۱ |
| ۳۰ | ۲۰۰۸/۱۰/۲۴ | ۴۷۱۴/۰۱ | ۴/۸ | نامشخص | ۱۰ | ۱۵۵/۹ | ۴۴۳/۰ | ۱۶ | ۲ |
| ۳۱ | ۲۰۰۹/۷/۲۲ | ۴۸۸۲/۰۳ | ۵/۴ | نامشخص | ۹ | ۱۸۲/۱ | ۳۶۳/۴ | ۷ | ۱ |

اداامه جدول (۲)

| رده خاک | فاصله (کیلومتر) | بیشینه شتاب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه | | عمق (کیلومتر) | سازوکار گسلش | بزرگای Mw | شماره رکورد | تاریخ | ردیف |
|---------|-----------------|--------------------------------------|-------|---------------|--------------|-----------|-------------|------------|------|
| | | افقی | قائم | | | | | | |
| ۱ | ۲۱ | ۳۴۲/۳ | ۹۷/۰ | ۱۲ | معکوس | ۵/۸ | ۴۹۹۴/۰۱ | ۲۰۱۰/۲۰/۰۷ | ۳۲ |
| ۲ | ۳۰ | ۳۲۶/۸ | ۹۹/۰ | ۱۷ | معکوس | ۵/۹ | ۵۰۶۲ | ۲۰۱۰/۲۷/۰۹ | ۳۳ |
| ۲ | ۱۲ | ۴۱۲/۸ | ۲۳۳/۱ | ۷ | امتدادلغز | ۶/۴ | ۵۵۷۹-۱ | ۲۰۱۲/۱۱/۰۸ | ۳۴ |
| ۳ | ۶ | ۳۷۰/۶ | ۴۶۶/۱ | ۷ | امتدادلغز | ۶/۴ | ۵۵۸۸-۱ | ۲۰۱۲/۱۱/۰۸ | ۳۵ |
| ۲ | ۱۴ | ۴۱۰/۰ | ۱۹۲/۵ | ۱۹ | معکوس | ۶/۴ | ۵۵۲۰-۴ | ۲۰۱۲/۱۱/۰۸ | ۳۶ |
| ۲ | ۱۲ | ۵۱۷/۶ | ۲۰۶/۲ | ۱۹ | معکوس | ۶/۴ | ۵۵۷۹-۴ | ۲۰۱۲/۱۱/۰۸ | ۳۷ |
| ۳ | ۶ | ۳۲۳/۶ | ۲۶۲/۲ | ۱۹ | معکوس | ۶/۴ | ۵۵۸۷-۵ | ۲۰۱۲/۱۱/۰۸ | ۳۸ |
| ۳ | ۶ | ۳۳۸/۷ | ۴۲۷/۴ | ۱۹ | معکوس | ۶/۴ | ۵۵۸۸-۶ | ۲۰۱۲/۱۱/۰۸ | ۳۹ |
| ۲ | ۱۵ | ۳۶۸/۵ | ۸۸/۶ | ۷ | نامشخص | ۵ | ۵۵۸۹/۰۷ | ۲۰۱۲/۱۴/۰۸ | ۴۰ |
| ۲ | ۱۷ | ۳۴۸/۵ | ۱۰۰/۰ | ۷ | نامشخص | ۵ | ۵۵۹۷/۴۳ | ۲۰۱۲/۱۴/۰۸ | ۴۱ |
| ۲ | ۹ | ۳۳۵/۸ | ۷۴/۵ | ۷ | نامشخص | ۵ | ۵۶۱۱/۰۲ | ۲۰۱۲/۱۴/۰۸ | ۴۲ |
| ۳ | ۱۱ | ۳۲۱/۰ | ۲۴۶/۲ | ۷ | نامشخص | ۵ | ۵۶۳۷/۰۴ | ۲۰۱۲/۱۴/۰۸ | ۴۳ |
| ۲ | ۸ | ۳۶۸/۵ | ۸۸/۶ | ۴ | معکوس | ۵ | ۵۵۸۹/۰۸ | ۲۰۱۲/۱۵/۰۸ | ۴۴ |
| ۲ | ۷ | ۳۹۳/۳ | ۱۵۳/۴ | ۴ | معکوس | ۵ | ۵۵۹۷/۷۹ | ۲۰۱۲/۱۵/۰۸ | ۴۵ |
| ۲ | ۹ | ۴۰۴/۴ | ۱۶۳/۰ | ۷ | نامشخص | ۴/۲ | ۵۶۳۱/۱۹ | ۲۰۱۲/۰۵/۰۹ | ۴۶ |
| ۲ | ۸ | ۵۸۲/۵ | ۲۴۳/۲ | ۴ | نامشخص | ۴/۶ | ۵۶۳۱/۵۳ | ۲۰۱۲/۲۷/۰۹ | ۴۷ |
| ۲ | ۱۲ | ۳۱۸/۷ | ۱۷۶/۳ | ۱۰ | امتدادلغز | ۵/۶ | ۵۶۷۴/۰۵ | ۲۰۱۲/۰۷/۱۱ | ۴۸ |

۷- جمع‌بندی

شده با کیفیت قابل قبول بوده و اندازه‌ی بزرگای و موقعیت مرکز مشخص می‌باشند. تمام رکوردها که به صورت خام در دسترس بوده‌اند، به وسیله روش الگوریتم موجک نوفه‌زدایی شده‌اند. بزرگای زلزله در بانک داده‌های انتخابی در محدوده‌ی ۳/۹ تا ۷/۳ در مقیاس بزرگای گشتاوری می‌باشند. بزرگای گشتاوری برای تمام زلزله‌ها توسط مراجع رسمی ملی یا بین‌المللی و یا مطالعات موردی تعیین شده است. سایر مقیاس‌های بزرگای که برای زلزله‌های ایران گزارش شده شامل بزرگای سطحی، حجمی، ناتلی و محلی است که با استفاده از روابط تبدیل بزرگای مختلف به بزرگای گشتاوری برگردانده شده است.

برای تمام رکوردها فاصله‌ی رومرکزی (فاصله‌ی ایستگاه تا رومرکز زلزله) گزارش شده است درحالی‌که فاصله‌ی جونیور-بور تنها برای ۳۰ درصد رکوردها که عمدتاً مربوط به زلزله‌های بزرگ است، برای اولین بار مورد محاسبه قرار گرفته است. برای زلزله‌های کوچک به دلیل کمبود اطلاعات در

در این مطالعه سعی شده است تا گزارشی از روند تهیه بانک داده‌هایی از رکوردهای ثبت شده در ایران به همراه مشخصات آنها ارائه گردد. شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده در شبکه‌ی شتاب‌نگاری ایران وابسته به مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی که به صورت خام در دسترس می‌باشند، مورد استفاده قرار گرفته است. از سال ۱۳۵۲ بیش از ۱۰۰۰۰ رکورد به وسیله‌ی حدود ۱۱۰۰ ایستگاه توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی به ثبت رسیده است. در میان کل زلزله‌های رخ داده در فلات ایران، ۴۶۱ زلزله که دارای ۲۲۸۶ رکورد سه‌مؤلفه‌ای بوده‌اند، انتخاب شده است. شایان ذکر است که برخی از دلایل حذف زلزله‌ها یا رکوردها مربوط به رکوردهای با کیفیت پایین، زلزله‌های با تک رکورد و یا زلزله‌هایی که بزرگای آنها موجود نبوده است، می‌باشد؛ بنابراین، به طور ساده‌تر می‌توان گفت که زلزله‌های انتخاب شده، هر کدام دارای حداقل دو رکورد ثبت

3. Mirzaei, N., Mengtan, G., and Yuntai, C. (1998) Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces. *J. Earthq. Pred. Res.*, **7**, 465-495.
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**, 761-78.
5. Shahvar, M.P., Zare, M., Castellaro, S. (2013) A Unified Seismic Catalog for the Iranian Plateau (1900–2011). *Seismo. Res. Let.*, **84**, 233-249.
6. Zafarani, H. and Hassani, B. (2013) Site response and source spectra of S-waves in the Zagros region. *Iran J. Seismol.*, **17**, 645-666.
7. Zafarani, H., Hassani, B., and Ansari, A. (2012) Estimation of earthquake parameters in the Alborz seismic zone, Iran using generalized inversion method. *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, **42**, 197-218.
8. Zafarani, H., Rahimi, M., Noorzad, A., Hassani, B., Khazaei, B. (2015) Stochastic simulation of strong-motion records from the 2012 Ahar–Varzaghan Dual Earthquakes, Northwest of Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **105**(3), 1419-1434.
9. Ghasemi, H., Zare, M., Fukushima, Y., and Sinaeian, F. (2009b) Applying empirical methods in site classification, using response spectral ratio (H/V): A case study on Iranian strong motion network (ISMN). *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, **29**, 121-132.
10. Boore, D.M. and Bommer, J.J. (2005) Processing of strong-motion accelerograms: needs, options and consequences. *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, **25**, 93-115.
11. Boore, D.M., Stephens, C.D., and Joyner, W.B. (2002) Comments on baseline correction of digital strong-motion data: examples from the 1999 Hector Mine, California earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**, 1543-1560.
12. Boore, D.M. (2003) Analog-to-digital conversion as a source of drifts in displacements derived from digital recordings of ground acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **93**, 2017-2024.

خصوص هندسه صفحه گسل و سایر پارامترهای مورد نیاز، فاصله‌ی جویئر-بور قابل محاسبه نبوده است. در بانک داده‌های انتخابی ۷۴۳ ایستگاه، ۲۲۸۶ رکورد را ثبت کرده‌اند که سرعت موج برشی (V_{S30}) تنها در ۳۰۶ ایستگاه در دسترس بوده است (این مقادیر نیز توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی گزارش شده است). نوع خاک ۲۹۹ ایستگاه نیز بر اساس مطالعات زمین‌شناسی و یا روابط تجربی نسبت طیف افقی به قائم مورد محاسبه قرار گرفته است. بنابراین برای ۱۳۸ ایستگاه نوع خاک موجود نمی‌باشد که عمدتاً یک و یا دو رکورد ثبت شده در این ایستگاه‌ها وجود دارد.

به‌طور کلی، بانک داده‌های جمع‌آوری شده اطلاعات جامع و معتبری را در خصوص پارامترهایی همچون بزرگ‌گ، فاصله (مرکزی و جویئر-بور)، سازوکار گسلش، نوع خاک و پارامترهای طیفی ارائه می‌دهد. این بانک داده‌ها می‌تواند به‌عنوان یک مرجع برای مطالعات خطر، ریسک و اهداف مهندسی زلزله در ایران و یا خاورمیانه به کار رود.

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانیم از همکاری‌های مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی که در رابطه با تهیه رکوردهای زلزله، کمک‌های شایانی نموده است تشکر و سپاسگزاری نماییم. این پروژه با حمایت مرکز مطالعات و همکاری‌های علمی بین‌المللی انجام شده است.

مراجع

1. Kale, Ö., Akkar, S., Ansari, A., and Hamzehloo, H. (2015) A Ground-Motion Predictive Model for Iran and Turkey for Horizontal PGA, PGV, and 5% Damped Response Spectrum: Investigation of Possible Regional Effects. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **105**, 963-980.
2. Saffari, H., Kuwata, Y., Takada, S., and Mahdavian, A. (2012) Updated PGA, PGV, and spectral acceleration attenuation relations for Iran. *Earthquake Spectra*, **28**, 257-276.

13. Akkar, S., Çağnan, Z., Yenier, E., Erdoğan, Ö., Sandikkaya, M.A., and Gülkan, P. (2010) The recently compiled Turkish strong motion database: preliminary investigation for seismological parameters. *Journal of Seismology*, **14**, 457-479
14. Kamai, R., Abrahamson, N., and Graves, R. (2014) Adding fling effects to processed ground-motion time histories. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **104**.
15. Boore, D.M. and Akkar, S. (2003) Effect of causal and acausal filters on elastic and inelastic response spectra. *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, **32**, 1729-1748.
16. Ansari, A., Noorzad, A., Zafarani, H., and Vahidifard, H. (2010) Correction of highly noisy strong motion records using a modified wavelet denoising method. *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, **30**, 1168-1181.
17. Boore, D.M. and Thompson, E.M. (2014) Path durations for use in the stochastic-method simulation of ground motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **104**, 2541-2552.
18. Bommer, J.J., Stafford, P.J., and Alarcón, J.E. (2009) Empirical equations for the prediction of the significant, bracketed, and uniform duration of earthquake ground motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **99**(6), 3217-3233.
19. Hassani, B., Zafarani, H., Farjoodi, J., and Ansari, A. (2011) Estimation of site amplification, attenuation and source spectra of S-waves in the East-Central Iran. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **31**(10), 1397-1413.

اصطلاحات فنی

- Body-Wave Modeling ۱- مدلسازی امواج حجمی
- Bracketed Duration ۲- زمان دوام

A Database of the Iranian Strong Motion Records

Hamid Zafarani^{1*} and Mohammad Reza Soghrat²

1. Associate Professor of Earthquake Engineering, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Iran, *Corresponding Author, e-mail: h.zafarani@iiees.ac.ir
2. Phd. Candidate, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Iran

The Iranian plateau, located along the Alpine–Himalayan orogenic belt, is one of the tectonically active regions of shallow crustal earthquakes. Therefore, development of a strong ground-motion dataset with appropriate quality and content is an essential component/tool in local ground-motion studies and for engineering practice.

The first strong-motion instruments were installed in 1973. Since then, the number of strong-motion stations has been gradually increased. Currently, the Iranian strong-motion dataset includes more than 10000 three-component time series, which are recorded at about 1100 permanent stations.

By probing into the quality of the records and the metadata information, 2286 time series recorded on 743 stations from 461 earthquakes with a maximum moment magnitude of 7.3 are chosen. The moment magnitudes have been provided from international or local seismological agencies or from earthquake-specific literature studies in about 40 % of events. For the remaining events, the empirical magnitude conversion equations are used to obtain the more homogenous magnitude information and increase the number of events associated with moment magnitude values. The calculated moment magnitudes are mainly less than 5. The converted moment magnitudes belong to small earthquakes that are originally reported with magnitude scales of Nuttli (MN), Local (ML), body-wave (mb) and surface-wave (Ms).

The bulk of events in the dataset are shallow continental earthquakes with depths less than 30 km. About 75% of events are in this range of the mentioned focal depth. The number of earthquakes with unknown focal depth is less than 1% in the selected dataset. The events of depths ranging more than 40 km are mainly from the Zagros region. For about 66% of events, there is no information available (NA) about their faulting mechanisms. The dominant faulting mechanisms are reverse (20% of events) and strike-slip faulting (12% of events). A minority of events and accelerograms are related to the normal faulting mechanism.

Most of the unknown faulting mechanisms are attributed to events with small magnitude ($M_w \leq 5$) due to the lack of double-couple fault-plane solutions for these earthquakes. Large events have been studied to determine the faulting mechanisms due to their importance while on the small events are rarely focused.

About 743 stations have provided accelerometric data in the selected dataset. The average shear-wave velocity between 0 m and 30 m depth (V_{s30}) in more than 40% of these stations have been measured and reported by the BHRC. The site classes for about 299 stations have been proposed either by geological surveys or by empirical methods (using H/V method). Therefore, we have no information about the soil categories for only 138 stations because they are either temporary stations or stations that recorded accelerograms less than 5 times. Considering the V_{s30} criteria, the majority of the stations are belonged to site class II while the most of the stations will be in site class III if we use only the above-mentioned empirical method.

During the data processing, the records with the following features have been eliminated from the dataset: data from instruments that triggered during the S-wave train; the records with only a single horizontal component; and the records obtained from events with unknown or poor estimates of magnitude (which are attributed to the small

events). Furthermore, the records with non-standard error such as very high-frequency spikes, multi-event, and so on are excluded from the dataset.

The aim of this paper is first to present the new catalog with comprehensive metadata for engineering and research practices. The record selection for development of new GMPEs for various strong-motion parameters can be performed by using the provided catalog. In addition, the main features of the Iranian strong-motion dataset have been provided in this paper. To this end, a careful revision of the characteristics of the earthquakes such as location, magnitude, style of faulting and fault rupture plane geometry, if available, has been scientifically performed for the first time using the best available information. Finally, we concentrate on special ground-motion records including records with peak ground acceleration $PGA > 300$ cm/s/s and distances less than 30 km. These are designated as “distinct” records in the Iranian dataset because they include less than 2% of the selected dataset.

Keywords: Strong Motion; Database; Records; Iran