

برآورد رابطه بزرگای زمین‌لرزه با استفاده از مدت دوام امواج کدا در پهنه زاگرس و جنوب غربی ایران مرکزی

سمانه اسدی^۱، حبیب رحیمی^{۲*}، مهدی رضاپور^۳ و روح‌الله امیری فرد^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

۲. استادیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

۳. دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

۴. دانشجوی دکتری، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

(دریافت: ۹۴/۱۰/۲۰، پذیرش نهایی: ۹۵/۷/۲۷)

چکیده

در این مطالعه رابطه بزرگای زمین‌لرزه با استفاده از مدت دوام امواج کدا برای پهنه زاگرس و جنوب غربی ایران مرکزی برآورد شده است. بزرگای مدت دوام امواج کدا روشی برای برآورد سریع و قابل اطمینان از اندازه زلزله است و با توجه به به‌کارگیری محتوای زمانی شکل موج‌ها به جای محتوای دامنه آن‌ها، روشی قابل اعتمادتر و سریع‌تر خواهد بود. برای برآورد بزرگا در روش‌های معمول مانند بزرگای محلی یا امواج حجمی، در اغلب موارد خواندن صحیح دامنه با توجه به تأثیرات دستگاهی، تأثیرات مسیر روی دامنه و ... دشوار بوده و با خطای زیادی همراه است. در مطالعه حاضر از ۳۸۹۰ نگاشت با بزرگی بین ۲ تا ۵ و با فاصله‌های رومرکزی کمتر از ۲۰۰ کیلومتر استفاده شده است. در این مطالعه از داده‌های ایستگاه‌های باند پهن شبکه لرزه‌ای در بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ استفاده شده است. در این بررسی مدت دوام، به‌عنوان زمان سپری شده از اولین رسید موج P تا لحظه‌ای که دامنه موج کدا به سطح نویز کاهش پیدا کند، در نظر گرفته می‌شود. برای به‌دست‌آوردن نقطه انتهایی سیگنال، دامنه سیگنال با دامنه نویز قبل از رخداد مقایسه شد و زمان انتهایی پنجره محاسبه گردید. بعد از محاسبه پارامتر مدت دوام و داشتن فاصله و بزرگای محلی، با استفاده از رگرسیون سه‌بعدی رابطه مطلوب محاسبه شد. در ادامه به منظور سنجش صحت تخمین بزرگی، ضرایب تصحیح ایستگاهی برآورد شد و برای ایستگاه‌های مختلف با زمین‌شناسی و تأثیرات ساختگاه آن‌ها مقایسه شد.

واژه‌های کلیدی: امواج کدا، برآورد رابطه بزرگا، بزرگی، مدت دوام.

۱. مقدمه

گوتنبرگ رابطه بزرگی و انرژی موج لرزه‌ای را معرفی کرد. از بین مقیاس‌های مختلف لرزه‌ای بزرگی مدت دوام M_D در بسیاری از شبکه‌های لرزه‌ای پذیرفته شده است، زیرا برآوردی سریع و قابل اطمینان از اندازه زلزله فراهم می‌کند که بر پایه اندازه‌گیری مدت دوام است. مزیت آن به روش‌های دیگر این است که در اغلب موارد، خواندن صحیح دامنه دشوار است اما در این روش با این مشکل مواجه نمی‌شویم (کلمبلی و همکاران، ۲۰۱۴). از مزایای دیگر می‌توان به نیازنداشتن به تصحیح دستگاهی اشاره کرد. با توجه به کالیبره نبودن بیشتر دستگاه‌های لرزه‌نگاری

تخمین دقیق بزرگی زمین‌لرزه در مشاهدات زلزله‌شناسی امری لازم و ضروری است. به طور کلی بزرگی موج درونی و بزرگی موج سطحی معمولاً برای هر زلزله گزارش می‌شود. یک کاتالوگ لرزه‌ای که مقادیر دقیق بزرگی در آن آمده باشد کمک شایانی به برآوردهای تحلیل خطر و افزایش دقت محاسبات در تحقیقات زلزله‌شناسی می‌کند. مقیاس‌های مختلف بزرگی، بر اساس سنجش دامنه سیگنال یا بر اساس مدت دوام کلی سیگنال به دست می‌آیند. ریشتر مقیاس بزرگی بر پایه سنجش دامنه را، اولین بار از لرزه‌نگار ووداندرسون منتشر کرد. این مقیاس اصلاح شد و بعداً

۲. داده‌ها

در این مطالعه از ایستگاه‌های باند پهن شبکه لرزه‌ای که تحت مدیریت پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی قرار دارد، استفاده شده است. به منظور تخمین رابطه بزرگی در پهنة زاگرس از ۳۸۹۰ نگاشت مربوط به زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی‌های بین ۲ تا ۵ با فاصله‌های رومرکزی کمتر از ۲۰۰ کیلومتر استفاده شده است که در سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ ثبت شده‌اند. همچنین از حدود ۱۰ ایستگاه در این تحقیق استفاده شد که در جدول ۱ اسامی این ایستگاه‌ها آمده است. موقعیت زمین‌لرزه‌های استفاده شده در این تحقیق در محدوده عرض جغرافیایی ۲۳/۵۹ تا ۳۷ درجه و طول جغرافیایی ۴۳/۳۷ تا ۶۱/۶۳ درجه قرار دارد. امواج کدا در اثر پراکندگی امواج مستقیم برشی تولید می‌شوند. در واقع این امر باعث می‌شود که امواج کدا در همه جهات تولید شود. بنابراین امواج کدا روی هر سه مؤلفه لرزه‌نگاشت به خوبی ثبت می‌شوند (ساتو و فهلر، ۱۹۹۸). برای تخمین بزرگی معمولاً از نگاشت‌های ثبت‌شده روی مؤلفه عمودی لرزه‌نگار کوتاه دوره استفاده می‌شود. از دلایل انتخاب رنج بزرگی و فاصله اشاره شده در بالا می‌توان به این نکته اشاره کرد که برای هدف مورد نظر ما که تخمین رابطه بزرگای مدت دوام است، زمین‌لرزه کوچک‌تر از ۶ را که در فاصله کمتر از ۲۰۰ کیلومتر رخ می‌دهد، می‌توان به صورت چشمه نقطه‌ای در نظر گرفت اما برای زمین‌لرزه‌های بزرگ باید چشمه را مدل‌سازی کرد.

در ایران، کار روی زمان و مدت دوام سیگنال، در مقایسه با دامنه، عدم قطعیت کمتری دارد. در واقع از دلایل اجرای برآورد بزرگای کدا در منطقه زاگرس می‌توان به لرزه‌خیزی زیاد منطقه و رنج بزرگی ۲ تا ۵ اشاره کرد؛ معمولاً رنج بزرگی مدت دوام مورد استفاده کمتر از ۶ است. همچنین در دسترس بودن داده با توجه به پوشش مناسب ایستگاهی ما را بر آن می‌دارد تا انواع مختلف بزرگی در منطقه زاگرس را به دست آوریم.

بیس‌تریگسانی (۱۹۵۸) روشی جدید را برای تخمین بزرگی با استفاده از مدت دوام امواج سطحی پیشنهاد کرد. چند سال بعد سول وو (۱۹۶۵) پیشنهاد کرد که از مدت دوام کل به جای مدت دوام امواج سطحی استفاده شود. برای اولین بار لی و همکاران (۱۹۷۲) از مدت دوام کدا برای تخمین بزرگی زلزله‌های محلی کالیفرنیا استفاده کردند و روابط موجود بین بزرگی و مدت دوام را نشان دادند. امواج کدا به امواجی گفته می‌شود که بعد از موج‌های اصلی و در ادامه آن‌ها دیده می‌شوند و مهم‌ترین علت ظهور آن پراکنش است. امواج کدا در مقایسه با امواج مستقیم، کمتر تحت تأثیر مسیر قرار می‌گیرد (اکی و چوئ، ۱۹۷۵)؛ به‌خصوص در فواصل محلی. بنابراین امواج کدا می‌تواند تفسیر بهتری از پارامترهای منبع داشته باشد. با توجه به مشکل کلیپ‌کردن امواج مستقیم، استفاده از امواج کدا می‌تواند روش خوبی برای تخمین بزرگی باشد.

جدول ۱. مختصات ایستگاه‌ها و تصحیحات ایستگاهی برای فاصله کمتر از ۲۰۰ کیلومتر

Station Code	Latitude(degree)	Longitude(degree)	Station Correction
AHRM	28.864	51.295	-0.085
ASAO	34.548	50.025	0.018
BNDS	27.399	56.171	0.247
GHIR	28.286	52.987	-0.181
GHVR	34.48	51.295	-0.049
KHMZ	33.739	49.959	-0.367
KRBR	29.982	56.761	-0.131
NASN	32.799	52.808	-0.466
SHGR	32.108	48.801	-0.483
SNGE	35.093	47.347	-0.219

از دیگر دلایل آن می توان به این نکته اشاره کرد که زمین لرزه های بزرگ، پس لرزه نیز به دنبال خواهند داشت که روی رکورد موج اصلی تأثیر می گذارد و نمی توان مدت دوام امواج را به درستی محاسبه کرد. در شکل ۳ مسیر موج های عبوری بین محل وقوع و ایستگاه رسم شده است.

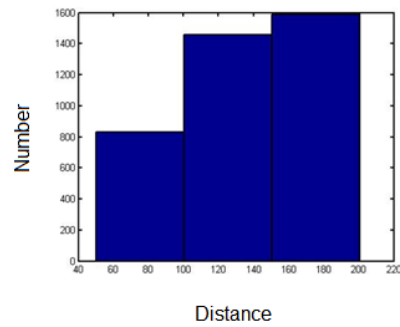
۳. روش تحقیق

هدف از این مطالعه تخمین رابطه بزرگای برای منطقه زاگرس با استفاده از مدت دوام امواج کدا است. فرمول کلی بزرگای مدت دوام توسط هرمان (۱۹۷۵) و ریل و تنگ (۱۹۷۳) به صورت رابطه (۱) تعریف شده است:

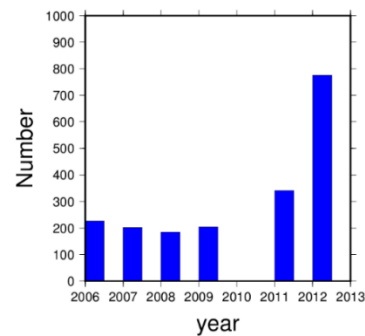
$$M_D = a + b \cdot \log \tau + c \cdot R + S_C \quad (1)$$

که در این رابطه τ مدت دوام سیگنال بر حسب ثانیه، R فاصله رومرکز بر حسب کیلومتر و S_C ضریب تصحیح ایستگاهی است. ضرایب a ، b ، و c ضرایبی هستند که از طریق رگرسیون گیری به دست می آیند.

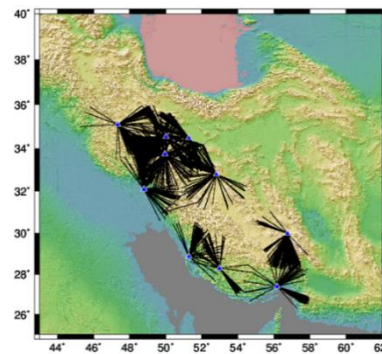
مدت دوام رخداد (τ) از مؤلفه عمودی رکوردهای سرعت سنج ارزیابی می شود (ریل و تنگ، ۱۹۷۳). این پارامتر به صورت زمان سپری شده از اولین رسید موج P (شکل ۸) تا لحظه ای که دامنه موج کدا به سطح نویز کاهش پیدا کند، در نظر گرفته می شود. به منظور تخمین بزرگای مدت دوام بر اساس ارزیابی SNR، پنجره زمانی متحرکی در امتداد رکورد ایجاد کرده ایم (واسلو و کانتور، ۲۰۱۰). در ابتدا داده ها به منظور حذف مقدار میانگین و جهت خطی پردازش شدند. از فیلتر باند پهن باترورث با محدوده فرکانس ۱-۲۰ هرتز برای کاهش نویز استفاده شد (شکل ۵، قسمت a). در مرحله بعد تبدیل هیلبرت از داده ها گرفته می شود. تبدیل هیلبرت برای به دست آوردن پوش کدا استفاده شده است (شکل ۵، قسمت b).



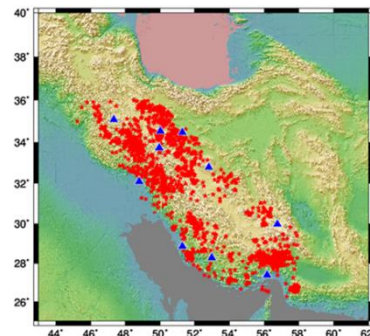
شکل ۱. تعداد زمین لرزه های مورد بررسی بر حسب فاصله.



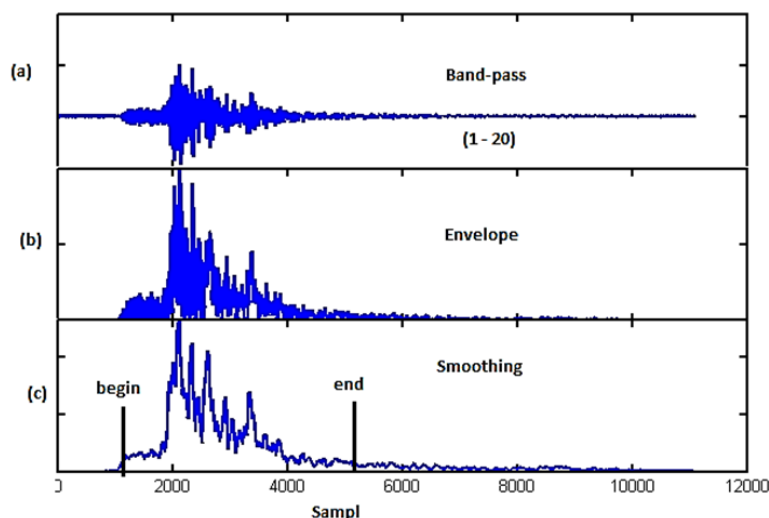
شکل ۲. تعداد زمین لرزه های مورد بررسی به تفکیک سال.



شکل ۳. پوشش مسیر پرتوها با فاصله رومرکزی کمتر از ۲۰۰ کیلومتر.



شکل ۴. توزیع ایستگاه های لرزه نگاری (مثلث آبی) و رومرکز زلزله ها (دایره های قرمز).



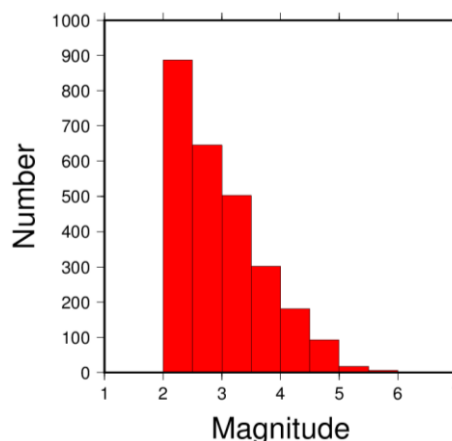
شکل ۵. طرحی از روش اتوماتیکی اندازه‌گیری مدت دوام سیگنال مربوط به زمین‌لرزه ثبت‌شده در ایستگاه BNDS در تاریخ ۲۰۱۳/۰۵/۱۱. مؤلفه عمودی رگورد سرعت‌سنج انتخاب شد و تأثیرات روند و میانگین حذف شد و یک فیلتر باترورث ۱ تا ۲۰ روی آن اعمال شد؛ (b) محاسبه پوش سیگنال؛ (c) شروع و پایان سیگنال مشخص می‌شود.

به عبارتی برای ضریب C در معادله (۱) در مناطقی مانند ایتالیا، جنوب کالیفرنیا و هند، مقداری جزئی و ناچیز به دست آمده است و این ضریب را در آن مناطق صفر در نظر گرفته‌اند (کلمبلی و همکاران ۲۰۱۴؛ ویدال و مونگویا ۲۰۰۵؛ کاستلو و همکاران، ۲۰۰۷؛ دلپزو و همکاران، ۲۰۰۳؛ اکی و چوئت، ۱۹۷۵). اما در منطقه زاگرس این ضریب غیر صفر به دست آمد که در واقع می‌توان این امر را به زمین‌شناسی منطقه نسبت داد.

برای محاسبه بزرگی مدت دوام رابطه (۱) را در نظر می‌گیریم و فرض می‌کنیم $M_L = M_D$ و بعد از آن پارامترهای مدت دوام و فاصله را جایگذاری کرده و با گرفتن یک رگرسیون از درجه سه بین پارامترهای لگاریتم مدت دوام، فاصله رومرکزی و بزرگی محلی، ضرایب a ، b و c را به دست می‌آوریم. شکل ۷ ترسیم سه‌بعدی از داده‌های لگاریتم مدت دوام، فاصله و بزرگی را برای فاصله کمتر از ۲۰۰ کیلومتر نشان می‌دهد. حاصل رگرسیون رابطه (۲) را نتیجه می‌دهد:

$$M_D = -17.4 (\pm 2.75) + 10.32 (\pm 1.59) \quad (2)$$

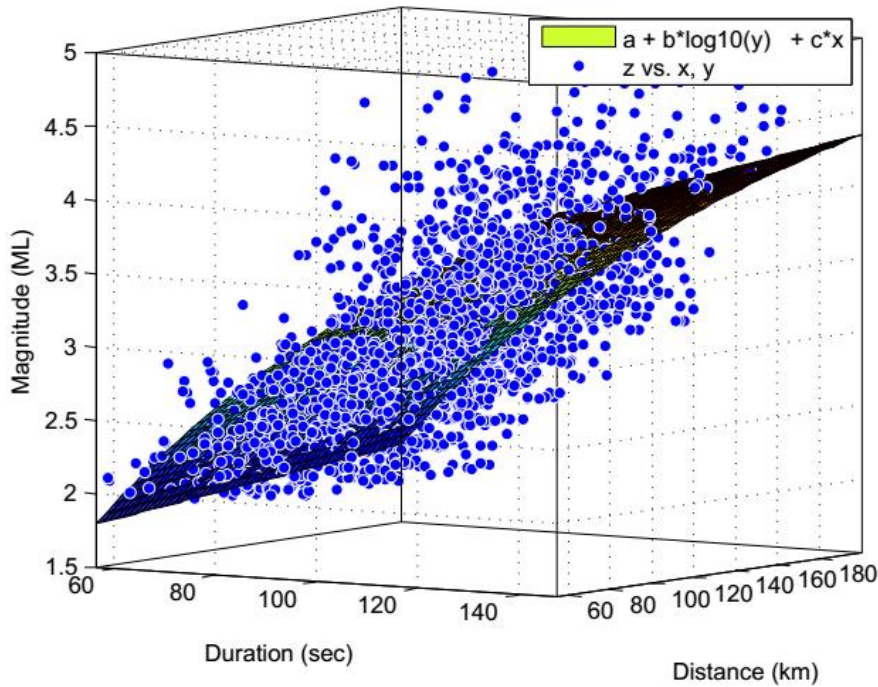
$$\times \log_{10} \tau - 0.0031 (\pm 0.0011) \times R$$



شکل ۶. نمودار فراوانی زمین‌لرزه بر اساس بزرگی.

انتهای سیگنال جایی در نظر گرفته می‌شود که دامنه سیگنال با دامنه نویز قبل از رخداد مقایسه شود و شرایط $\frac{A_{\text{sign}} - A_{\text{noise}}}{A_{\text{noise}}} < 0.05$ برقرار باشد که در آن میانگین دامنه در طول پنجره و A_{noise} دامنه نویز قبل از پیک موج p است (شکل ۵، قسمت C).

مدت دوام امواج کدا به نوع ایستگاه و سطح نویز ایستگاه وابسته است. در رابطه (۱) پارامتری که به فاصله وابسته است برای فاصله‌های رومرکزی کوتاه ($R < 150$)، یک ارتباط ضعیف با بزرگی مدت دوام را فراهم می‌کند؛

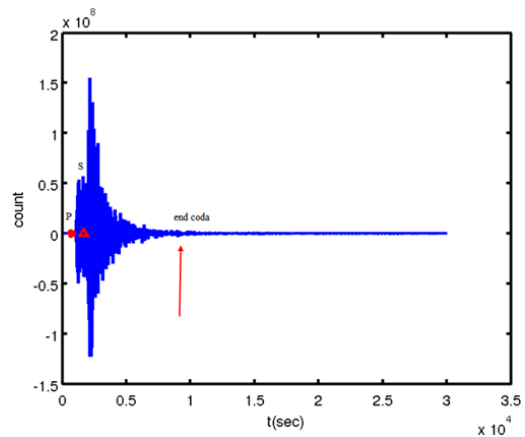


شکل ۷. نمودار سه بعدی ML بر حسب فاصله و مدت دوام.

۴. ضریب تصحیح ایستگاهی

به منظور افزایش صحت تخمین بزرگی، ضریب تصحیح S_C اندازه گیری شد. تصحیحات ایستگاهی با مقایسه مقادیر بزرگی پیش بینی شده و مشاهده شده، به دست آمد. اگر شرایط نصب دستگاه یکسان باشد، برای یک رویداد مشخص، ایستگاه با تصحیح منفی بیشتر از ایستگاه با تصحیح مثبت، امواج را تقویت می کند. تصحیحات ایستگاهی به شرایط زمین محل نصب ایستگاه بستگی دارد (ریشتر، ۱۹۵۸). در واقع یک ایستگاه با تصحیح مثبت در مقایسه با ایستگاهی با تصحیح منفی برای یک رویداد قبل از اعمال تصحیح، حرکت زمین کوچک تری را نشان می دهد. مقدار تصحیح ایستگاهی در این تحقیق برای فاصله رومرکزی کمتر از ۲۰۰ کیلومتر از ۰/۲۴۷ تا -۰/۰۴۹ تغییر می کند که این نشان می دهد شرایط زمین شناسی ایستگاهها روی امواج زلزله مؤثر است. تصحیحات ایستگاهی برای منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

خطای جذر میانگین مربعات حاصل از رگرسیون که با $rmse$ نشان داده می شود، برابر است با ۰/۲۵. $rmse$ ضریب دیگر بررسی شده، ضریب تعیین R^2 می باشد که برابر با ۰/۹۶ $rsquare$ است. این مقدار از ضریب تعیین یعنی ۹۶ درصد، عدد می باشد و نشان می دهد که پارامترهای مدت دوام و فاصله همبستگی خوبی با بزرگی محلی دارند.



شکل ۸. تعیین زمان رسید موج P و پنجره کدا که به زمین لرزه تاریخ ۲۰۰۷/۶/۳ ثبت شده در ایستگاه ASAO مربوط است.

جایگزین می‌کنیم. مقادیر تصحیح ایستگاهی در شکل ۹ به همراه توپوگرافی منطقه ترسیم شده است.

۵. رابطه بین بزرگی‌های M_D و M_L

به منظور صحت رابطه بزرگای به دست آمده از طریق مدت دوام کدا، مقایسه‌ای با بزرگی محلی (M_L) که برای هر رخداد در بولتن شبکه لرزه‌ای ثبت شده است، صورت می‌گیرد. با گرفتن رگرسیون به روش حداقل مربعات بین این دو بزرگی، رابطه (۵) برای فاصله کمتر از ۲۰۰ کیلومتر به دست آمد:

$$M_D = (1.032) \times M_L - 0.05818 \quad (5)$$

پایگاه داده به دسته‌هایی با عرض ۰/۵ در محدوده فاصله بزرگی ۲-۵ دسته‌بندی شد و برای هر یک از دسته‌های بزرگی، میانگین بزرگی M_D محاسبه شد که در شکل ۱۰ با مربع‌های قرمز نشان داده شده است و خطی از آن برازش دادیم که با رنگ قرمز مشخص شده است.

رابطه (۳) برای نام رخداد و نام مکان ثبت کننده تعریف شده است:

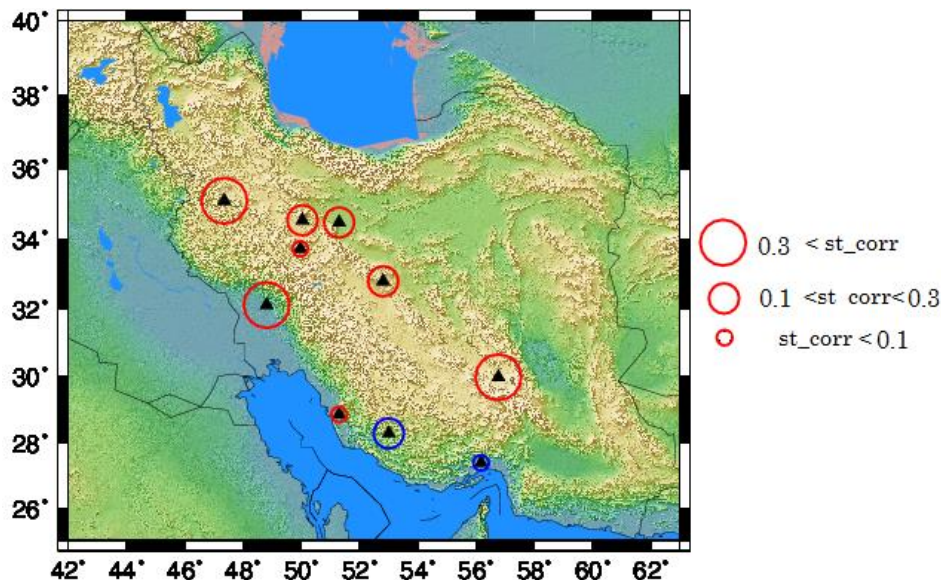
$$S_{Cj} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_j} (M_{D,i} - M_{D,ij}) \quad (3)$$

که در آن N_j برابر است با تعداد رخدادهایی که در نام ایستگاه ثبت شده است؛ $M_{D,i}$ بزرگی محلی برای نام زلزله و $M_{D,ij}$ بزرگی مدت دوامی است که برای نام رخداد در نام ایستگاه تخمین زده شد.

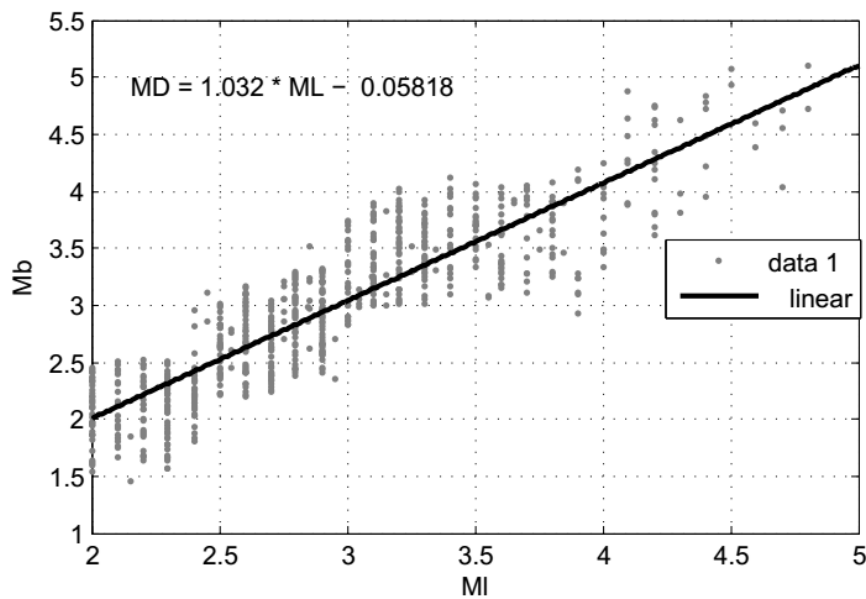
رابطه (۲) به صورت زیر تعمیم داده شده است:

$$M_{D,ij}^* = -17.4 + 10.32 \times \log_{10} \tau - 0.0032 \times R + S_{Cj} \quad (4)$$

که شامل ضرایب تصحیح ایستگاهی است. زمانی که زلزله در یک مجموعه از ایستگاه ثبت می‌شود، هر ایستگاه یک تخمین مستقل برای بزرگی مدت دوام با استفاده از معادله بالا به دست می‌آورد. سرانجام برای هر رخداد، بزرگی مدت دوام به عنوان مقادیر میانگین از بین همه $M_{D,ij}^*$ به دست می‌آید. در واقع بعد از به دست آوردن ضرایب تصحیح ایستگاهی مربوط به هر ایستگاه پارامتر S_{Cj} را



شکل ۹. تصحیح ایستگاهی در ایستگاه‌های منطقه؛ دایره‌های آبی و قرمز به ترتیب نشان‌دهنده تصحیح ایستگاهی منفی و مثبت هستند.



شکل ۱۰. مقایسه بزرگی M_L و M_D محاسبه شده در تحقیق برای فاصله کمتر از ۲۰۰ کیلومتر.

۶. نتیجه گیری

می دهد.

در نهایت به منظور اثبات صحت رابطه به دست آمده، مقایسه ای بین دو بزرگی M_L و M_D انجام گرفت و با رگرسیون گیری خطی بین آن‌ها رابطه زیر به دست آمد:

$$M_D = (1.032) \times M_L - 0.05818 \quad (۶)$$

همانطور که از رابطه (۶) دیده می شود، هم خوانی خوب و قابل قبولی بین بزرگای محاسبه شده در این تحقیق و بزرگای محلی برای فاصله کمتر از ۲۰۰ کیلومتر برقرار است.

مراجع

- Aki, K. and CHouet, R., 1975, Origin of coda waves: source, attenuation and scattering effects. *J. Geophys. Res.*, 80, 3322-3342.
- Bisztriciany, E., 1958, A new method for determination of the magnitude of earthquakes, *Geofiz. Kozlemen*, 7, 69-96.
- Castello, B., Olivieri, M. and Selvaggi, G., 2007, Local and duration magnitude determination for the Italian earthquake catalogue. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 97, 128-139.
- Colombli, S., Emolo, A. and Zollo, A., 2014, A duration magnitude scale for the Irpinia seismic network, southern Italy, *Seismological Research Letters*, 85.

در این مطالعه روشی برای تعیین مدت دوام رکورد های زمین لرزه پیشنهاد شد و از این مدت دوام محاسبه شده برای برآورد رابطه بزرگای M_D در زاگرس که در واقع هدف اصلی این مطالعه است، استفاده شد. بعد از به دست آوردن مدت دوام و رگرسیون گیری سه بعدی بین پارامترهای فاصله رومرکزی، مدت دوام و بزرگای محلی، ضرایب رابطه را به دست آورده و در نهایت ضریب تصحیح ایستگاهی را محاسبه کرده و به رابطه اضافه می کنیم که به رابطه (۴) می رسیم.

ضریب تصحیح ایستگاهی برای ایستگاه های مختلف، مقادیر متفاوتی دارد که در جدول ۱ نشان داده شد. مهم ترین عامل در تفاوت ضریب تصحیح ایستگاهی، زمین شناسی منطقه ای است که ایستگاه روی آن قرار گرفته است. مثلا جنس زمین در ایستگاه بندرعباس رسوبی است که باعث تقویت امواج گشته و مدت دوام بیشتر شده است که باعث می شود بزرگی بیشتری نتیجه دهد. تفاوت در پاسخ این ایستگاه ها، تأثیر درخور توجه توپوگرافی و ویژگی های زمین شناسی در ایستگاه را بر روی سیگنال های لرزه ای نشان

- Del Pezzo, E., Bianco, F. and Saccorotti, G., 2003, Duration magnitude uncertainty due to seismic noise: inferences on the temporal pattern of G-R b-value at Mt. Vesuvius, Italy, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 93, 1847-1853.
- Eaton, J. P., 1992, Determination of amplitude and duration magnitudes and site residuals from short-period seismographs in northern California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 533-579.
- Hara, T., 2007, Measurement of the duration of high-frequency energy radiation and its application to determination of the magnitudes of large shallow earthquakes. *Earth Planets Space*. 59, 227-231.
- Hermann, R., 1975, The use of duration as a measure of seismic moment and magnitude. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 65, 899-913.
- Lee, W. H. K., Bennet, R. and Meagher, K., 1972, A method of estimating magnitude of local earthquakes from signal duration. *US Geol. Surv. Open-File Rep*, 28.
- Michaelson, C. A., 1990, Coda duration magnitudes in central California: an empirical approach. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 1190-1204.
- Real, C. R. and Teng, T. L., 1973, Local Richter magnitude and total signal duration in southern California. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 3, 1809-1827.
- Richter, C. F., 1958, *Elementary seismology*, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 758.
- Sato, H. and Fehler, M. C., 1998, *Seismic wave propagation and scattering in the heterogenous earth*, Springer, New York.
- Sole'vev, S. L., 1965, Seismicity of Sakalin, *Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo Univ.*, 43, 95-102.
- Vassallo, M. and Cantore, L., 2010, Analisi del rumore sismico, in *Metodi e Tecnologie per l'Early-warning Sismico*, G. Iannaccone and A. Zollo (Editors), *Doppiavoce*, 85-115.
- Vidal, A. and Munguía, L., 2005, A new coda-duration magnitude scale for northern Baja California, Mexico. *Geoffsc. Int.*, 44, 11-22.

Estimation of earthquake magnitudes using coda wave duration in Zagros zone and southwest in central Iran

Asadi, S.¹, Rahimi, H.^{2*}, Rezapour, M.³ and Amirifard, R.⁴

1. M.Sc. Student, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

2. Assistant Professor of Seismology, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

3. Associate Professor of Seismology, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

4. Ph.D. Student, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, University of Tehran, Iran

(Received: 10 Jan 2016, Accepted: 18 Oct 2016)

Summary

Amplitude and duration of seismic signals depend on recording distance, propagation path of the wave through different media and geology at the recording site. In addition, amplitude of recorded signals varies according to the P- and S-wave radiation patterns. Influence of these factors on seismic signals has been considered for magnitude computation in many seismic regions (e.g., Michaelson, 1990 and Eaton, 1992). Estimation of earthquake magnitude is a routine task in all seismological observatories. Several magnitude scales are available, based on amplitude measurement of different seismic phases, and/or on total signal duration. Among them, the duration magnitude (M_D) is adopted in many regional networks because it provides a rapid and reliable estimate of the earthquake size through a fairly simple procedure based on the measure of the duration of recorded seismograms. Bisztrican (1958) first demonstrated the existence of a relationship between magnitude and duration, and several authors (e.g., Sole'nev, 1965; Vidal and Munguía, 2005; Hara, 2007; Colombli et. al., 2014 and among many others) later discussed the use of duration of the recorded seismograms to measure the event size. proposed a duration magnitude procedure for the rapid determination of the moment magnitude, based on the P-wave recordings at teleseismic distances, which can be applied for tsunami early warning. In this study, the relationship for estimation of earthquake magnitude was derived using the duration of the coda-waves of recorded signals in the Zagros area. Determination of duration magnitude (M_D) is fast and reliable while in other methods it is difficult to read the correct amplitude. Another advantage in this method is that there no need to correct signals for instrumental effect. In this study more than 3890 records with magnitude in the range of 2 to 5 with epicentral distances less than 200 km were used. The mentioned data is recorded in IIEES seismic network in the period between 2006 and 2013. Locations of earthquakes were in the range of 23.59 to 37 degree latitude and 43.37 to 61.63 longitude. The aim of this study was to determine the relationship between the magnitudes of the duration using the following equation:

$$M_D = a + b \cdot \log_{10} \tau + c \cdot R + S_c$$

In which R is the hypocentral distance, τ is the signal duration, S_c stands for the station correction, and coefficients of a , b , and c must be determined by analysis of regression. Duration was considered as the time elapsed since the first P-wave arrival to the moment when the noise level is reduced to the coda wave amplitude. By comparing the signal amplitude of the noise before the event, the signal end was determined, and our conditions were $\frac{A_{sign} - A_{noise}}{A_{noise}} < 0.05$, in which A_{sign}

and A_{noise} represent the signal average amplitude in the coda window and noise amplitude before the P picking, respectively. After obtaining the duration parameter with the given distance and local magnitude, a three-dimensional regression of them, the coefficients a , b and c were obtained. In this research, we obtained the following equation for event less distances than 200 kilometers: $M_D = -17.4 + 10.32 \times \log_{10} \tau - 0.0032 \times R$

In order to increase the accuracy of estimation of magnitude, a correction factor was estimated. After calculating the station correction factor, the final relation is made up as follow:

$$M_{D,ij}^* = -17.4 + 10.32 \times \log_{10} \tau - 0.0032 \times R + S_{c_j}$$

Finally, for each occurrence, magnitude duration was obtained as the mean values for all $M_{D,ij}^*$.

Keywords: Duration, Coda wave, Magnitude estimation, Estimation relationship magnitude.