

چکیده

در روش $B-\Delta$ با تخمین بزرگا و فاصله رومرکزی زلزله در هر ایستگاه قبل از رسیدن امواج مخرب زلزله به ایستگاه، می‌توان در صورتی که مقادیر تخمین زده شده از یک حد آستانه مشخص بزرگ‌تر باشد اعلام هشدار نمود. با بررسی اطلاعات ایستگاه بر اساس ثانیه‌های ابتدایی موج P (۳ ثانیه) و با برازش تابع ساده‌ای به بخش ابتدایی پوش‌نگاشت لرزه‌ای، ضرایب مناسب توسط روش برازش کمترین مربعات به دست می‌آیند. از این‌رو برای تخمین بزرگا و فاصله رومرکزی بر اساس ثانیه‌های ابتدایی موج P و برآوردی از بزرگای زمین‌لرزه در حال وقوع پیش از رسیدن جنبش‌های مخرب (موج S)، به روابط تجربی نیاز است که با تهیه نگاشت زمین‌لرزه‌های قبلی در هر منطقه و پردازش آنها به دست می‌آیند. با توجه به تعداد کم زلزله‌های ثبت شده در تهران، وقوع زلزله ۲۵ مهرماه ۱۳۸۸ شهری فرصتی برای بررسی خصوصیات ژئوفیزیکی منطقه ایجاد شده است. این زلزله به لحاظ تعداد ایستگاه‌های ثبت‌کننده و فاصله رومرکزی کم از شهر تهران از اهمیت فراوانی برخوردار است و نیز به‌عنوان گواهی بر فعالیت لرزه‌خیزی گسل‌های جنوبی شهر تهران محسوب می‌شود. همچنین زمین‌لرزه نیرومند ۸ خرداد ۱۳۸۳ کجور-فیروزآباد که در حد فاصل بلده و مرزن‌آباد به وقوع پیوست (بخش شمالی تهران)، دارای ۱۴۷ شتاب‌نگاشت برای مطالعه می‌باشد. با استفاده از ۷۶ نگاشت مؤلفه‌ی قائم شتاب‌نگاشت‌های زلزله‌های مذکور، برای تخمین فاصله رومرکزی رابطه‌ی $\log \Delta = -0.21 \log B + 1.74 \pm 0.43$ برای منطقه‌ی مورد مطالعه به دست آمده است. برای تخمین بزرگا از P_{max} ، بیشترین دامنه موج P در بخش ابتدایی، استفاده می‌شود. در این مطالعه رابطه تخمین بزرگا به صورت $M_{est} = 1.83 \log P_{max} - 1.4 \log B + 5.5 \pm 0.49$ حاصل شده است. روابط به دست آمده می‌توانند به‌عنوان روابطی قابل اطمینان و مناسب در سامانه هشدار سریع منطقه البرز به کار گرفته شوند.

واژگان کلیدی: سیستم هشدار سریع زلزله، روش $B-\Delta$ ، منطقه البرز، ایران.

تخمین سریع بزرگا و فاصله رومرکزی زلزله برای منطقه البرز با استفاده از روش $B-\Delta$

مهسا کاظمی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، مؤسسه آموزش عالی آل‌طه، تهران، ایران

مجید معهود (نویسنده مسئول)

استادیار، پژوهشکده زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، m.mahood@iiees.ac.ir

حمید زعفرانی

دانشیار، پژوهشکده زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

۱- مقدمه

زلزله‌های آینده می‌تواند در کاهش خسارات ناشی از آن مؤثر باشد. در این میان، منطقه البرز بر روی یک پهنه ناپایدار قرار دارد و به دلیل وجود گسل‌های فراوان، مستعد زمین‌لرزه می‌باشد. از این‌رو اهمیت مطالعه خصوصیات لرزه‌ای در این ناحیه را چند برابر کرده و لزوم راه‌اندازی سامانه هشدار سریع زلزله برای این منطقه احساس شده است. در حال حاضر کشورهای

در میان پدیده‌های طبیعی، زمین‌لرزه به جهت میزان صدمات جانی و مالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بزرگا و موقعیت زلزله‌ها از مهم‌ترین پارامترهای این فعالیت تکتونیکی هستند. این پارامترها بیان‌گر خصوصیات زلزله‌های محتمل آینده می‌باشند. بزرگا بیانگر میزان انرژی آزاد شده است و با مساحت گسیختگی و میزان لغزش گسل در ارتباط است. برآوردی از بزرگا و مکان

خواهد بود در فاصله‌ای بین چند ثانیه تا چند ده ثانیه شریان‌های حیاتی آسیب‌پذیر که می‌توانند در صورت رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ خسارات زیادی را ایجاد کنند، از مدار خارج کند. در کشورهای ژاپن، آمریکا، تایوان، ترکیه و مکزیک سامانه هشدار سریع در مراحل استفاده و تکمیل نهایی هستند. سامانه هشدار سریع زلزله در شینکانسن ژاپن از روش $B-\Delta$ برای تخمین بزرگ‌ا و فاصله استفاده می‌کند [۱]. سامانه هشدار سریع زلزله برای تهران وابسته به مدیریت بحران شهرداری (TDDMMO)^۴ که در مراحل آخر آزمایش‌ها می‌باشد نیز بر اساس این روش برنامه‌ریزی شده است [۲]. در این مطالعه بر اساس زلزله‌های منطقه البرز، بزرگ‌ا و فاصله به روش تخمین سریع تک‌ایستگاه برآورد شده‌اند.

۲- روش تحقیق

اودا کا و همکاران [۳] روشی را برای تخمین سریع بزرگ‌ا و فاصله‌ی رومرکزی با استفاده از اطلاعات تک‌ایستگاه و مدت زمان کوتاهی پس از ثبت امواج P معرفی کردند. این روش به نام $B-\Delta$ معروف است. در خصوص الگوریتم محاسبات می‌توان بیان کرد که شکل پوش‌نگاشت‌های لرزه‌ای با توجه به بزرگ‌ای زلزله، عمق کانونی و فاصله رومرکزی متفاوت است. با نمایش جنبش زمین در مقیاس لگاریتمی این تفاوت‌ها بهتر نشان داده می‌شود [۳].

دامنه شروع حرکت اولیه موج P معمولاً در مقایسه با حداکثر دامنه‌های بعد از P و امواج S بسیار کوچک است. هنگامی که دامنه‌ها بر روی یک مقیاس خطی رسم شوند، بسیاری از آنها اغلب قابل تفکیک نیستند. به‌منظور اجتناب از این مشکل، حرکت زمین بر روی یک مقیاس لگاریتمی نمایش داده می‌شود. با استفاده از نگاشت ثبت شده و مقادیر قدر مطلق و تخمین پوش‌نگاشت در مقیاس لگاریتمی با برازش رابطه (۱) به پوش‌نگاشت می‌توان ضرایب مورد نیاز را برآورد نمود:

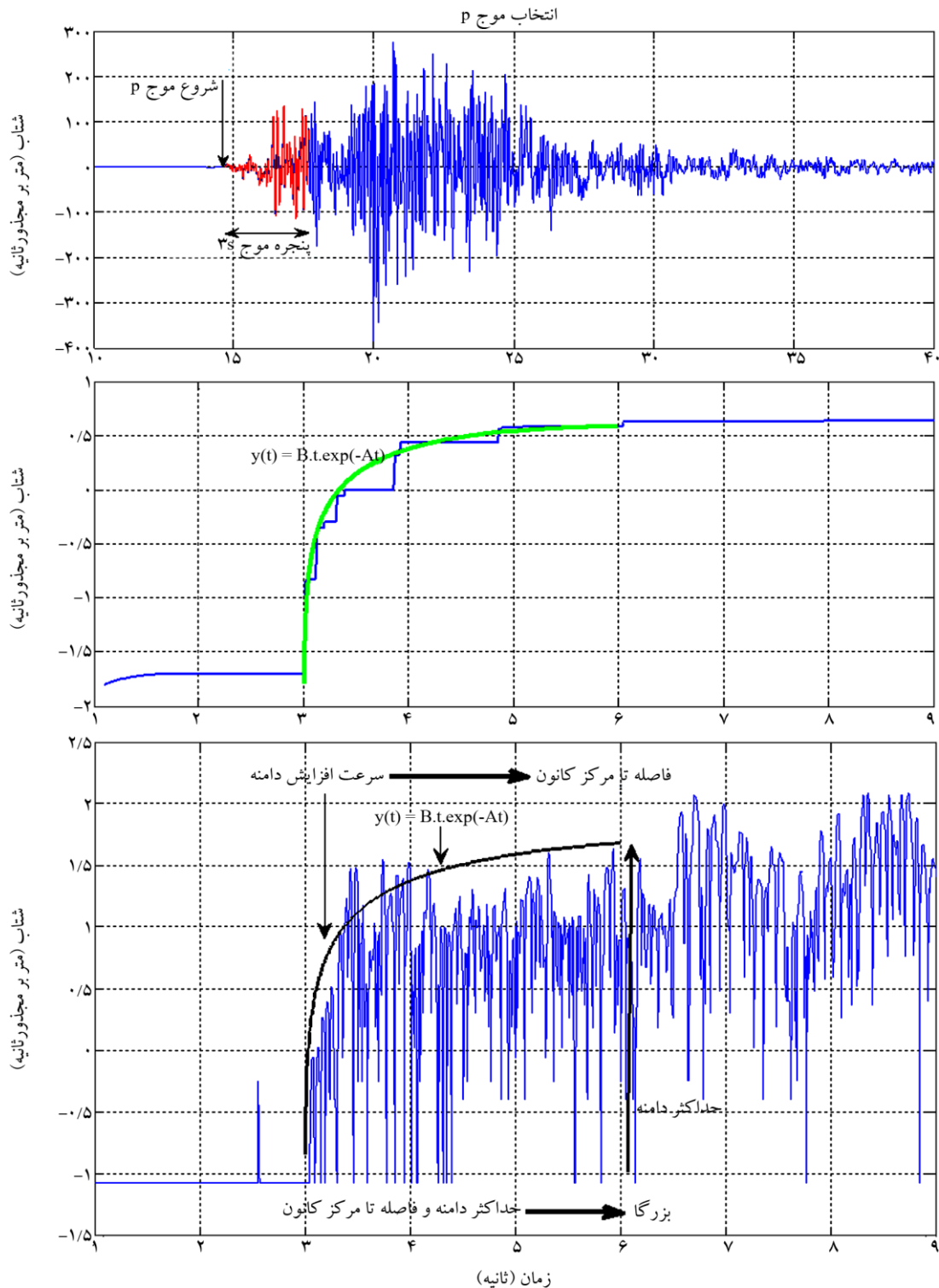
$$y(t) = B.t.exp(-At) \quad (1)$$

که $y(t)$ پوش‌نگاشت مشاهده شده و t از زمان رسیدن موج P در نظر گرفته می‌شود. باید توجه داشت که انتخاب نادرست زمان شروع موج P، برآورد نادرست ضرایب A و B را به دنبال دارد.

توسعه یافته‌ی لرزه‌خیز دنیا در حال تجهیز به این سامانه می‌باشند. مطابق با تعریف استراتژی بین‌المللی کاهش خطرپذیری سازمان ملل، هشدار سریع عبارت است از فراهم کردن به موقع و مؤثر اطلاعات از طریق نهادهای مشخص که به افراد در معرض مخاطره کمک می‌کند از خطر اجتناب کنند یا آن را کاهش دهند و برای واکنش مؤثر به آن آماده باشند. سامانه‌های هشدار سریع زلزله (EEWS)^۱ بر اساس تشخیص شروع موج P، برآورد پارامترهای زلزله رخ داده و تصمیم‌گیری برای اعلام هشدار پایه‌ریزی شده‌اند. این سامانه‌ها توانایی ارائه برآوردی از قدرت زلزله رخ داده و اعلام هشدار تا زمان رسیدن امواج مخرب ثانویه را دارند. در واقع سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه ترکیبی از ایستگاه‌ها، شبکه‌های ارتباطی و نرم‌افزارهایی است که به تجزیه و تحلیل سریع نگاشت‌های یک زمین‌لرزه در حال وقوع و صدور پیام هشدار قبل از رسیدن جنبش‌های نیرومند زمین به ساختگاه‌های مورد نظر می‌پردازد و به‌عنوان ابزاری کاربردی و قابل اطمینان برای کم کردن تلفات و خسارات ناشی از زمین‌لرزه‌های بزرگ شناخته شده است.

این روش بر اساس اختلاف سرعت دو نوع موج اولیه^۲ و ثانویه^۳ ناشی از زلزله طراحی شده است. موج P، به دلیل انتشار طولی سریع‌تر به سایت می‌رسد و در واقع نخستین موجی است که در زمین‌لرزه ثبت می‌گردد که معمولاً عامل تخریب جدی نیست. در مقابل امواج S و سطحی که سرعت پایین‌تری نسبت به امواج P دارند و پس از موج P ثبت می‌شوند؛ شامل جنبش‌های برشی و مخرب می‌باشند. اختلاف زمانی مناسب بین موج P و S فرصت محاسبه‌ی بزرگ‌ا و مکان زمین‌لرزه را برای یک سامانه پردازشگر فراهم می‌کند. در ادامه مراکز هشدار از طریق امواج رادیویی که با سرعتی بسیار بیشتر از امواج زلزله حرکت می‌کنند، از وقوع زلزله مطلع و این موضوع به مراکز مختلف اطلاع داده می‌شود. به این ترتیب سناریوهای از پیش تدوین شده، هشدار خطر مربوطه را صادر می‌کنند. هرچقدر فاصله بین رسیدن امواج اولیه و ثانویه زمین‌لرزه تا ایستگاه شتاب‌نگاری بیشتر باشد، زمان هشدار برای شهر هدف زمین‌لرزه بیشتر خواهد بود به طوری که سامانه هشدار پیش‌هنگام قادر

در این مطالعه از ۷۶ شتاب‌نگاشت مؤلفه قائم زلزله‌های همراه سال ۱۳۸۸ پاکدشت-ری واقع در استان تهران و خردادماه سال ۱۳۸۳ کجور-فیروزآباد استان مازندران استفاده شده است. ضرایب A و B با برازش تابع بالا به قدر مطلق و ماکزیمم دامنه‌های $y(t)$ که می‌تواند هر 0.1 ثانیه از بخش ۳ ثانیه ابتدایی موج P در نظر گرفته شود، به دست می‌آیند (شکل ۱). ضریب B از



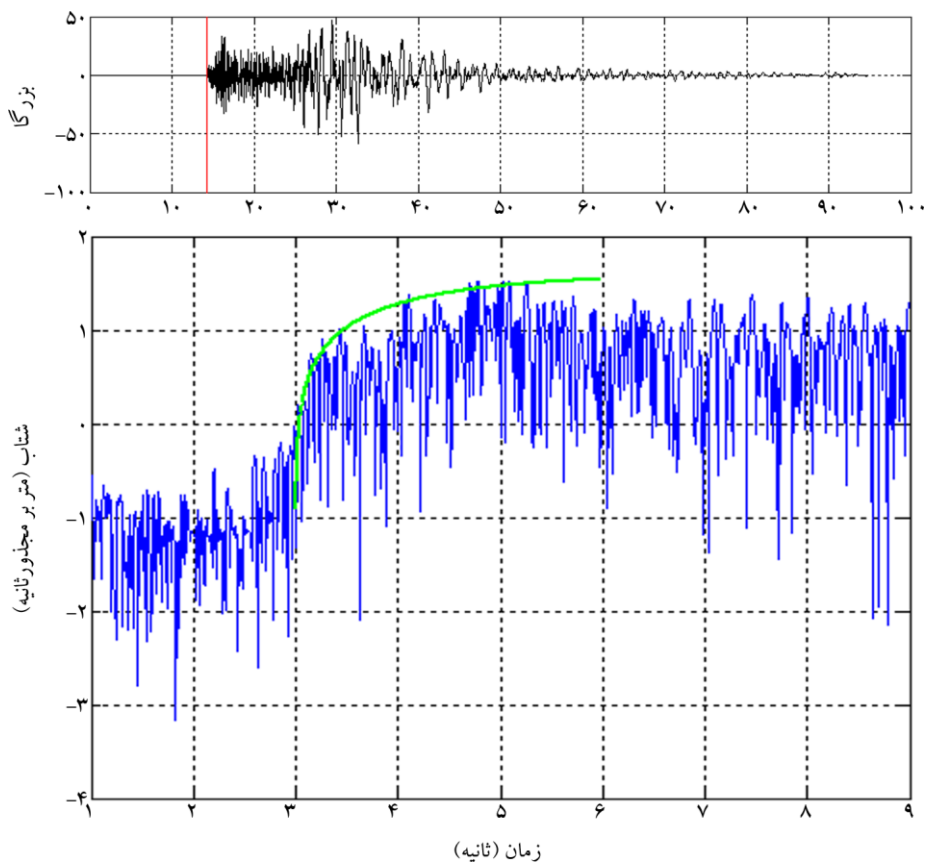
شکل (۱): شتاب‌نگاشت اصلی به همراه پنجره ۳ ثانیه‌ای ابتدای موج P نمایش داده شده است. در این شکل پوش‌نگاشت و برازش تابع مربوطه $y(t)$ نحوه محاسبه ضرایب A و B را نمایش می‌دهد. همچنین در نمودار پایین منحنی لگاریتمی پوش‌نگاشت و برازش تابع و نحوه قرانت دامنه ماکزیمم برای تخمین بزرگای زلزله نمایش داده شده است.

شروع موج P مشخص شده است. در شکل پایین هم لگاریتم قدر مطلق دامنه پنجره زمانی ۳ ثانیه انتخاب شده به همراه منحنی برآزش شده با رابطه $B.t.exp(-At)$ به نمایش در آمده است که مشخصات این زلزله با بزرگای $6/3$ در فاصله ۵۴ کیلومتری تخمین زده شده است. با در نظر گرفتن سرعت امواج P و S به ترتیب برابر $V_p = 6/5$ و $V_s = 3/5$ (کیلومتر بر ثانیه)، برای ایستگاه گرمابدر در فاصله ۳۳ کیلومتری، $5/1$ ثانیه زمان برای رسیدن امواج P لازم است. اگر زمان محاسبات را ۴ ثانیه در نظر بگیریم، زمان مورد نیاز اعلام هشدار $9/1$ ثانیه می باشد که در این مدت امواج S مسافت $31/8$ کیلومتر را طی می نمایند. در واقع شعاع $31/8$ کیلومتری شعاع ناحیه کور بوده که فرصت اعلام هشدار در این ناحیه وجود نخواهد داشت. ناحیه کور ناحیه ای است که در مدت زمان پردازش اطلاعات و تخمین پارامترهای زلزله شناسی امواج مخرب آن ناحیه را پوشش داده و فرصت اعلام هشدار وجود نخواهد داشت.

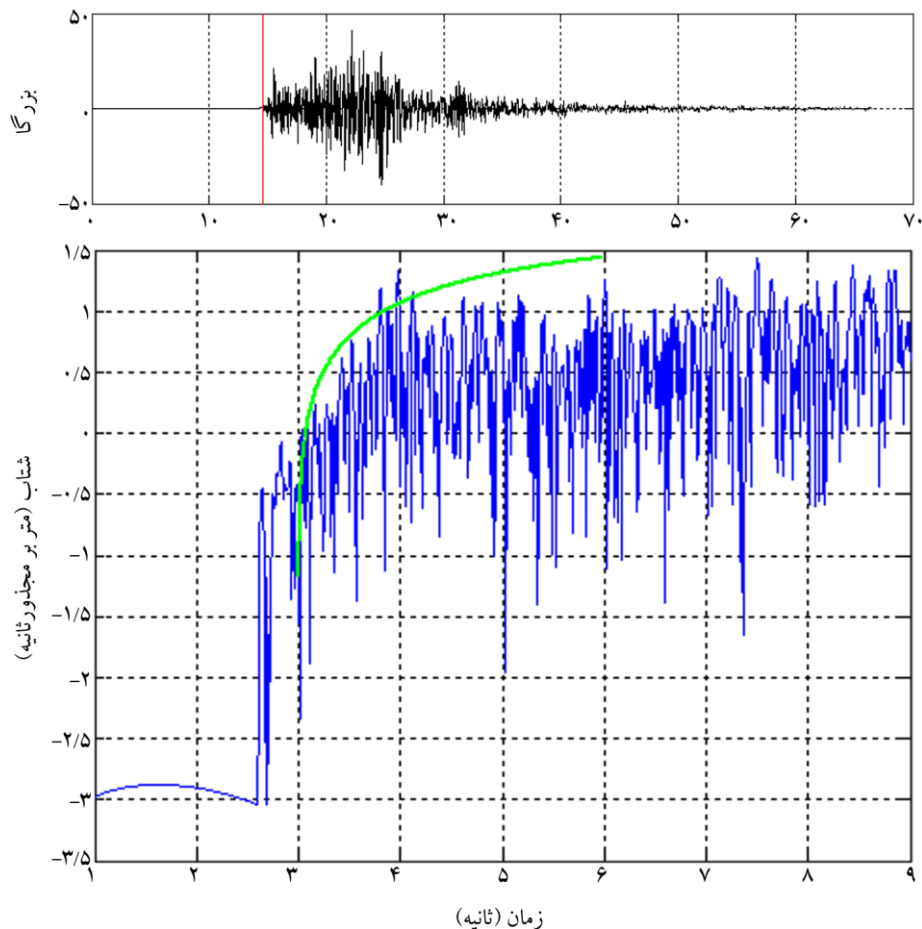
شیب برآزش تابع به بخش ابتدایی موج P به دست آمده و ضریب A متأثر از تغییرات دامنه در طول زمان می باشد. برآزش تابع بالا همانند اعمال فیلتر پایین گذر هموارسازی می کند و نویزهای فرکانس بالا تأثیری در نتایج به دست آمده نخواهند داشت [۱، ۳].

در شکل (۲)، مؤلفه عمودی شتاب نگاشت ثبت شده در ایستگاه طالقان ۱ با بزرگای $6/2$ در فاصله ۷۷ کیلومتری به همراه شروع موج P مشخص شده است. قسمت ابتدایی دارای دامنه کم هر لرزه نگاشت نشان دهنده ی نویز است و با شروع موج P شیب به شدت افزایش می یابد و با نویز زمینه قابل تشخیص می باشد. در شکل پایین هم لگاریتم قدر مطلق دامنه پنجره زمانی ۳ ثانیه انتخاب شده به همراه منحنی برآزش شده با رابطه $B.t.exp(-At)$ به نمایش در آمده است که این زلزله با بزرگای $6/3$ در فاصله ۵۰ کیلومتری تخمین زده شده است.

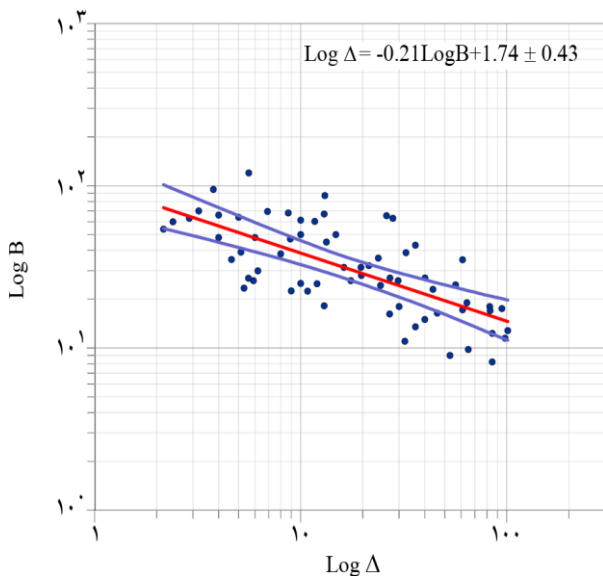
در شکل (۳)، مؤلفه عمودی شتاب نگاشت ثبت شده در ایستگاه گرمابدر با بزرگای $6/2$ در فاصله ۳۳ کیلومتری و نیز



شکل (۲): نکاشت ثبت شده در ایستگاه طالقان ۱ با بزرگای $6/2$ در فاصله ۷۷ کیلومتری که مشخصات این زلزله با بزرگای $6/3$ در فاصله ۵۰ کیلومتری تخمین زده شده است.



شکل (۳): نگاشت ثبت شده در ایستگاه گرمابدر با بزرگای $6/2$ در فاصله 33 کیلومتری که مشخصات این زلزله با بزرگای $6/3$ در فاصله 54 کیلومتری تخمین زده شده است.



شکل (۴): رابطه خطی بین ضریب B (شیب بخش ابتدایی پوش امواج P) و فاصله رومرکزی Δ برای زمین لرزه‌های با بزرگای مختلف به همراه 95 درصد فاصله اطمینان.

در شکل (۴)، رابطه خطی بین $\log B$ (ضریب B شیب بخش ابتدایی پوش امواج P) و $\log \Delta$ (فاصله رومرکزی) نمایش داده شده است که ضریب B رابطه معکوس با فاصله رومرکزی دارد و با افزایش فاصله رومرکزی، ضریب B کاهش می‌یابد. با استفاده از پردازش مؤلفه قائم شتاب‌نگاشت‌ها، مقادیر ضریب B محاسبه و در نتیجه مقادیر فاصله رومرکزی برای منطقه مورد نظر از روی نمودار لگاریتمی $B-\Delta$ به دست می‌آیند. لازم به ذکر است که این رابطه خطی مستقل از بزرگای زلزله بوده و به کمک ضریب B می‌توان فاصله رومرکزی زلزله را تخمین زد [۳]. اوداگا و همکاران [۳] پنجره‌های زمانی 2 یا 3 ثانیه را برای تخمین بزرگا و فاصله مناسب تشخیص دادند. نودا و همکاران [۱] برای بهبود نتایج در ژاپن، روش موجود را برای پنجره‌های متغیر زمانی به جای پنجره‌های ثابت مرسوم بررسی نمودند.

جدول (۱): مقایسه روابط مختلف برای مطالعه حاضر، شمال غرب ایران، کل ایران و ژاپن.

$\log \Delta = -0.69 \log B + 2.50$	شمال غرب ایران
$\log \Delta = -0.91 \log B + 2.52$	ایران
$\log \Delta = -0.49 \log B + 1.97$	ژاپن
$\log \Delta = -0.21 \log B + 1.74$	تحقیق حاضر

و روابط آذربایجان [۴]، کل ایران [۲]، ژاپن [۳]، نشان داده شده است. رابطه به دست آمده در این مطالعه با توجه به ۷۶ شتاب‌نگاشت حاصل از دو زلزله، با روابط موجود همخوانی دارد.

۳- نتیجه گیری

در این مطالعه از روش کاربردی $B-\Delta$ ، روابط تجربی برای تخمین سریع بزرگ‌ها و فاصله‌ی رومرکزی زلزله بر اساس زلزله‌های ثبت شده در منطقه‌ی البرز به دست آمده است. این روش می‌تواند به‌عنوان روشی ساده و سریع در بخش‌های لرزه‌خیز کشور برای سامانه‌های هشدار سریع زلزله مورد ارزیابی قرار گیرد.

فاصله‌ی رومرکزی با استفاده از برآزش تابع $y(t) = B.t.\exp(-At)$ به پوش شتاب‌نگاشت مؤلفه‌ی قائم برای پنجره زمانی ۳ ثانیه ابتدایی موج P تخمین زده شده و برای فاصله رومرکزی رابطه $\log \Delta = -0.21 \log B + 1.74 \pm 0.43$ حاصل شده است.

ضریب B که با شیب پوش بخش ابتدایی موج P در ارتباط است، مستقل از بزرگ‌ها می‌باشد و نسبت به فاصله رومرکزی متغیر است. برای محاسبه رابطه تخمین بزرگ‌ها از P_{\max} ، بیشترین دامنه موج P در بخش ابتدایی این موج استفاده می‌شود.

در این مقاله رابطه تخمین بزرگ‌ها به صورت $M_{est} = 1.83 \log P_{\max} - 1.4 \log B + 5.5 \pm 0.49$ حاصل شده است. دقت روابط به دست آمده در این پژوهش با استفاده از نگاشت‌های واقعی زمین‌لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه (نگاشت‌های مربوط به زمین‌لرزه پاکدشت-ری در منطقه

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که تخمین بزرگ‌های زلزله‌های بزرگ (مثلاً با بزرگ‌های ۸) در بازه زمانی کوتاهی پس از امواج P بسیار مشکل می‌باشد، زیرا مدت زمان شکست و گسیختگی برای زلزله‌های بزرگ طولانی‌تر بوده و به پنجره زمانی بیشتر از ۲ یا ۳ ثانیه نیاز می‌باشد. برای غلبه بر این مشکل می‌توان به روش تکرار برای پنجره‌های زمانی ۲ و ۳ و ... اقدام به محاسبه بزرگ‌ها نمود و فقط به یک پنجره ثابت اکتفا نمود [۱].

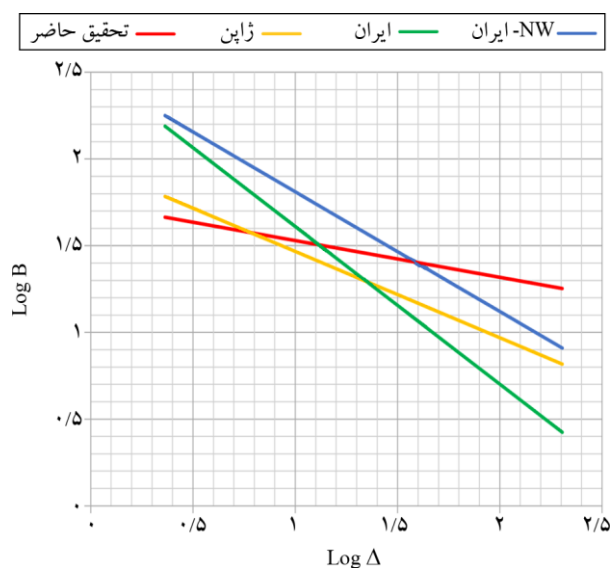
در این مقاله رابطه (۲) برای تخمین فاصله رومرکزی به دست آمده است.

$$\log \Delta = -0.21 \log B + 1.74 \pm 0.43 \quad (2)$$

برای محاسبه رابطه تخمین بزرگ‌ها از P_{\max} ، بیشترین دامنه موج P در بخش ابتدایی این موج استفاده می‌شود و رابطه تخمین بزرگ‌ها در این مطالعه به صورت رابطه (۳) حاصل شده است.

$$M_{est} = 1.83 \log P_{\max} - 1.4 \log B + 5.5 \pm 0.49 \quad (3)$$

با توجه به خصوصیات تکتونیکی و فعالیت لرزه‌خیزی مناطق مختلف، روابط تجربی مختلفی به دست خواهد آمد که به سبب اختلاف خصوصیات لرزه‌ای مناطق مختلف می‌باشد. بزرگ‌ترین مزیت این روش دقت و سرعت آن است. در شکل (۵) و جدول (۱)، مقایسه رابطه‌های به دست آمده در این مطالعه



شکل (۵): مقایسه روابط مختلف برای مطالعه حاضر، کل ایران [۲] و ژاپن [۳]، شمال غرب ایران [۴].

جنوب شرقی تهران و زمین لرزه کجور- فیروزآباد در استان مازندران) مورد ارزیابی قرار گرفت که حاکی از قابل اعتماد بودن استفاده از آنها در سامانه هشدار سریع برای منطقه مورد نظر است. امید است که با اجرایی شدن سامانه هشدار سریع بهینه برای شهر تهران و منطقه البرز از خسارات و تلفات ناشی از زمین لرزه‌های مخرب محتمل آینده در این مناطق کاسته شود.

مراجع

1. Noda, S., Yamamoto, S., and Sato, S. (2012) New method for estimation earthquake parameters for earthquake early warning system. *Q. Rep. Railway Tech. Res. Inst.*, **53**(2), 102-106.
2. Heidari, R. (2016) Quick estimation of the magnitude and epicentral distance using P wave for earthquakes in Iran. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **106**, 29-39.
3. Odaka, T., Ashiya, K., Tsukada, S., Sato, S., Ohtake, K. and Nozaka, D. (2003) A new method of quickly estimating epicentral distance and magnitude from a single seismic record. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **93**, 526-532.
4. Mahood, M., Mokhtari, M., and Zafarani, H. (2016) Prediction of magnitude and epicentral distance from a single seismic record: a case study of the Ahar-Varzaghan Earthquake. *International Journal of Geohazards and Environment*, **2**(4), 208-213.

واژه‌نامه

Earthquake Early Warning Systems (EWS)	۱- سامانه‌های هشدار سریع زلزله
Primary Wave (P-Wave)	۲- موج اولیه
S-Wave	۳- موج ثانویه
Tehran Disaster Mitigation and Management Organization (TDMMO)	۴- مدیریت بحران شهرداری تهران

Magnitude and Epicentral Distance Estimation from a Single Seismic Record in the Alborz Region

Mahsa Kazemi¹, Majid Mahood^{2*}, and Hamid Zafarani³

1. M.Sc. Graduate, Ale-Taha Institute of Higher Education, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Seismology Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran, *Corresponding Author, email: m.mahood@iiees.ac.ir

3. Associate Professor, Seismology Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran

Rapid estimation of the epicentral distance and magnitude is of fundamental importance for real time earthquake detection and earthquake early warning systems (EEWS). Earthquake magnitude and P-wave amplitude are important parameters for EEWS, yet their dependence on source mechanism, focal depth and epicentral distance (Δ) has not been fully studied. We examined a method to estimate an earthquake's magnitude and epicentral distance using the initial part of P-wave data (within 3 s) for application in EEWS. The B- Δ method is used to estimate the epicentral distance from a single station data in a short time. In order to quantitatively evaluate the difference in observed seismic waveforms, we used a simple function with the form of $y(t) = B.t.exp(-At)$ and determined A and B in terms of the least-squares method by fitting this function to the initial part of the waveform envelope. $\log B$ is inversely proportional to $\log \Delta$, where Δ is the epicentral distance. This relation holds true regardless of earthquake magnitude. By using this relation, we can roughly estimate the epicentral distance nearly immediately after the P-wave arrival. Then, we can readily estimate the magnitude from the maximum amplitude observed within a given short time interval after the P-wave arrival by using an empirical magnitude–amplitude relation that includes the epicentral distance as a parameter. B values are calculated on the basis of 76 vertical-component accelerograms of the Alborz region in a magnitude range M_w 4.5–6.2 and epicentral distances less than 100 km. By using this method, we could estimate the epicentral distance and earthquake magnitude by specific relations for this region. We showed the amplitude of the large earthquake increases gradually with time, whereas that of the small earthquake decreases soon after P-wave arrival, which is consistent with the observation by other researchers.

This method, as a whole, works well for estimating an earthquake magnitude from a B value and the maximum amplitude observed within a quite short time (e.g., 3 sec) from the P-wave arrival. However, some improvements may be required for near earthquakes and for ill-natured earthquakes for which the fault rupture process is rather complicated, such as the Mosha fault with different segments. One measure that we can take to cope with this difficulty is to estimate the magnitude repeatedly with time as the amplitude increases. The term $\log B$ may be replaced with other functions such as $\log(\log B)$. In order to determine the best functional formula for this term, we need further investigations with more earthquake data covering a larger range of magnitudes, depths, and distances. The other parameter A, may be useful for distinguishing shallow and deep earthquakes and large and small earthquakes. This can be an option for future studies.

This method can apply as a new stand-alone seismographic system that detects an earthquake and issues a warning immediately after the arrival of P-wave. The greatest advantage of this method is its accuracy and rapidness.

Keywords: Earthquake Early Warning Systems, B- Δ Method, Alborz, Iran.