

## تخمین بزرگی زلزله و فاصله روی مرکزی بر اساس موج P به روش تک ایستگاه در منطقه قشم

الهام بهاری<sup>۱\*</sup>، مجید معهود<sup>۲</sup>، عباس غلامزاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>-دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه هرمزگان، [elhambahari95@yahoo.com](mailto:elhambahari95@yahoo.com)

<sup>۲</sup>-استادیار، مرکز پیش بینی زلزله، پژوهشکده بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، [m.mahood@iiees.ac.ir](mailto:m.mahood@iiees.ac.ir)

<sup>۳</sup>-استادیار گروه ژئوفیزیک، دانشگاه هرمزگان، [Abbas.gholam@hormozgan.ac.ir](mailto:Abbas.gholam@hormozgan.ac.ir)

### چکیده

روش  $B-\Delta$  برای تخمین سریع بزرگی و فاصله روی مرکزی زلزله با استفاده از اطلاعات یک ایستگاه براساس ثانیه های ابتدایی موج P (ثانیه ۳) برای کاربرد درسیستمهای هشدار سریع زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. با برازش تابع ساده ای به صورت  $y(t) = bt * e^{(-At)}$  به بخش ابتدایی پوش نگاشت لرزه‌ای، ضرایب  $A$  و  $B$  توسط کمترین مربعات بدست می‌آیند. نتایج نشان می‌دهند که  $\log B$  و  $\log \Delta$  رابطه معکوس نشان داده و  $\Delta$  فاصله روی مرکزی می‌باشد. با استفاده از ۲۶ نگاشت مولفه قائم شتابنگاشت‌های زلزله قشم که دارای بزرگیهای ۵/۳ و ۵/۵ در فاصله کمتر از ۱۶ و ۴۳ کیلومتر ثبت شده است (ایستگاه سوزا و تنبان). مقادیر ضریب  $B$  محاسبه شده اند و رابطه  $\log \Delta = -0.2 \log B + 1.75 \pm 0.5$  برای منطقه بدست آمده است. برای برآورد بزرگی زلزله رابطه  $M_{est} = 0.92 \log P_{max} - 1.22 \log B + 5.43 \pm 0.5$  بر اساس بزرگترین دامنه مشاهده شده در ثانیه های ابتدایی موج P و فاصله روی مرکزی حاصل شده است. بزرگترین مزیت این روش سرعت و سادگی محاسبات آن می باشد.

واژه‌های کلیدی: سیستم هشدار سریع زلزله، روش  $B-\Delta$ ، تک ایستگاه، زلزله قشم

## Estimation of Magnitude and Epicentral Distance from a Single Seismic Record according to P wave at the Qeshm Region

Elham Bahari<sup>1</sup>

Master student of Geophysics, Hormozgan University<sup>1</sup>

### Abstract

The  $B-\Delta$  method is examined to estimate an earthquake's magnitude and epicentral distance from a single station in a short amount of P-wave data (3 s) for application in earthquake early warning systems. Fitting a simple function with the form of  $y(t) = bt * e^{(-At)}$  to the initial part of the waveform envelope, coefficients  $A$  and  $B$  are determined through the least-squares method.  $\log B$  is inversely proportional to  $\log \Delta$ , where  $\Delta$  is the epicentral distance.  $B$  values are calculated on the basis of 26 vertical-component accelerograms of Qeshm earthquake with magnitude range  $M_w = 5.3-5.5$  and epicentral distances less than 43 and 16 km (Soza and Tonban station). By using this relation, we could estimate the epicentral distance by  $\log \Delta = -0.73 \log B + 2.6$ . Earthquake magnitude estimated by empirical magnitude-amplitude relation that includes the epicentral distance as a parameter, is  $M_{est} = 1.81 \log P_{max} - 1.66 \log B + 5.42$ . The greatest advantage of this method is its easiness and quickness.

**Keywords:** Earthquake Early Warning Systems,  $B-\Delta$  method, Single Station, Qeshm Earthquake

### ۱ مقدمه

یکی از پارامترهای تکتونیکی مهم در بحث زلزله شناسی بزرگی و موقعیت زلزله است. این پارامتر یک مساله مهم از بیان خصوصیات زلزله های محتمل در آینده است. یک تعریف مهم که بزرگی زلزله برای ما ارائه می کند بیان میزان انرژی آزاد شده که مرتبط با میزان گسیختگی و لغزش گسل است. یکی از اهداف مهم برای به دست آوردن میزان بزرگی و مکان زلزله که یکی از اهداف مهم در این نوشته است به کاهش خسارت ناشی از زلزله کمک به سزایی می کند. یکی از روش های تخمین سریع بزرگی و فاصله روی مرکزی با استفاده از اطلاعات تک ایستگاه و مدت زمان کوتاهی پس از ثبت امواج p توسط اوداکا و

همکاران (۲۰۰۳) ارائه شده است. روش ذکر شده به روش  $B-\Delta$  معروف است و سیستم هشدار سریع زلزله شینکانسن ژاپن از این روش برای تخمین بزرگی و فاصله استفاده می‌کند (نودا و همکاران، ۲۰۱۲). در این تحقیق بر اساس زلزله های منطقه جزیره قشم استان هرمزگان و مرکز استان هرمزگان، بندرعباس جنوب ایران بزرگی و فاصله به روش تخمین سریع تک ایستگاه برآورد شده است.

## ۲ روش تحقیق

شکل پوش نگاشتهای لرزه ای با توجه به بزرگی زلزله، عمق کانونی و فاصله رومرکزی متفاوت می باشد. با نمایش جنبش زمین در مقیاس لگاریتمی این تفاوت ها بهتر نشان داده می شود (اوداکا و همکاران، ۲۰۰۳). در این نوع شکلها، سطح نوپز محیط که با دامنه کم قبل از شروع موج  $p$  موجود است و فاز های بعدی که دارای دامنه های بزرگتری هستند به راحتی قابل تشخیص بوده و خصوصیات متفاوت بخشهای مختلف نگاشت قابل فهم می باشد (شکل ۱). نتایج تحقیقات نشان می دهند که شکل پوشهای بخش ابتدایی نگاشتهای مختلف براساس بزرگی و فاصله رومرکزی متفاوت است. با استفاده از تابع زیر می توان تفاوتهای نگاشتهای مختلف را از نظر کمی بررسی کرد:

$$y(t) = bt * e^{-At}$$

که  $y(t)$  پوش نگاشت مشاهده شده و  $t$  از زمان رسیدن موج  $p$  در نظر گرفته می شود. ضرایب  $A$  و  $B$  با برازش تابع بالا به قدر مطلق و ماکزیمم دامنه های  $y(t)$  که می تواند هر  $1/0$  ثانیه از بخش ۳ ثانیه ابتدایی موج  $p$  در نظر گرفته شود. به دست می آیند. ضریب  $B$  از شیب برازش تابع به بخش ابتدایی موج  $P$  به دست آمده و ضریب  $A$  متاثر از تغییرات دامنه در طول زمان می باشد. برازش تابع بالا همانند اعمال فیلتر پایین گذر هموارسازی می کند و نویزهای فرکانس بالا تاثیری در نتایج به دست آمده نخواهند داشت (اوداکا و همکاران، ۲۰۰۳، نودا و همکاران، ۲۰۱۲) در شکل ۱ الف)، مولفه عمودی شتابنگاشت ثبت شده یکی از پس لرزه های زلزله قشم- سوزا با بزرگی  $5/5$  در فاصله  $30$  کیلومتری و نیز شروع موج  $p$  مشخص شده است. در شکل پایین لگاریتم قدرمطلق دامنه پنجره زمانی سه ثانیه انتخاب شده است به همراه منحنی برازش شده با رابطه  $bt * \exp(-At)$  به نمایش در آمده است در شکل ۱ ب) مولفه عمودی شتابنگاشت ثبت شده یکی از پس لرزه های زلزله قشم- تنبان با بزرگی  $5/3$  در فاصله  $16$  کیلومتری و نیز شروع موج  $p$  مشخص شده است. در شکل پایین لگاریتم قدرمطلق دامنه پنجره زمانی سه ثانیه انتخاب شده است به همراه منحنی برازش شده با رابطه  $y(t) = bt * e^{-At}$  به نمایش داده شده است. باید توجه داشت که انتخاب نادرست زمان شروع موج  $p$  برآورد نادرست ضرایب  $A$  و  $B$  را به دنبال دارد.

در این پژوهش از ۲۶ نگاشت مولفه قائم شتابنگاشتهای ثبت شده از دو زلزله با بزرگیهای  $5/5$  و  $5/3$  و پس لرزه های زلزله قشم که توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (BHRC) ثبت شده، استفاده شده است. شکل (۲) رابطه خطی بین  $\log B$  ضریب  $B$  شیب بخش ابتدایی پوش امواج ( $P$ ) و  $\log \Delta$  (فاصله رومرکزی) نمایش داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود ضریب  $B$  رابطه معکوس با فاصله رومرکزی دارد و با افزایش فاصله  $B$  کاهش می یابد. لازم به ذکر است که این رابطه خطی مستقل از بزرگی زلزله می باشد و به کمک ضریب  $B$  می توان فاصله رومرکزی زلزله را تخمین زد (اوداکا و همکاران ۲۰۰۳) در این مقاله رابطه زیر را برای فاصله رومرکزی به دست آمده است:

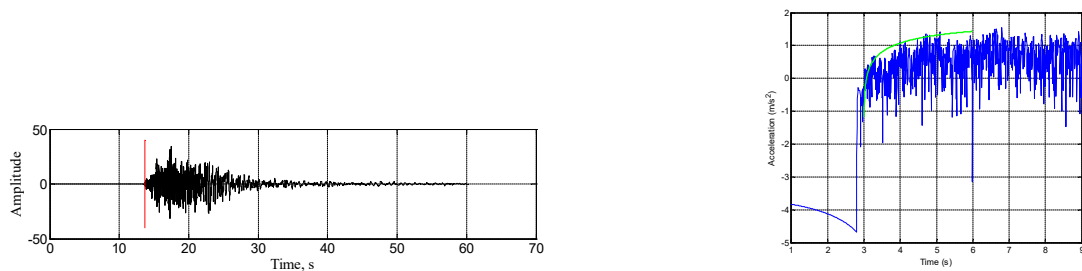
$$\log \Delta = -0.2 \log B + 1.75 \pm 0.5$$

ضریب  $B$  که با شیب پوش بخش ابتدایی موج  $P$  در ارتباط است، مستقل از بزرگی می باشد و نسبت به فاصله رومرکزی متغیر است. برای محاسبه رابطه تخمین بزرگی از  $P_{max}$  بیشترین دامنه موج  $p$  در بخش ابتدایی این موج استفاده می شود. و در این مقاله رابطه تخمین بزرگی به صورت زیر حاصل شده است:

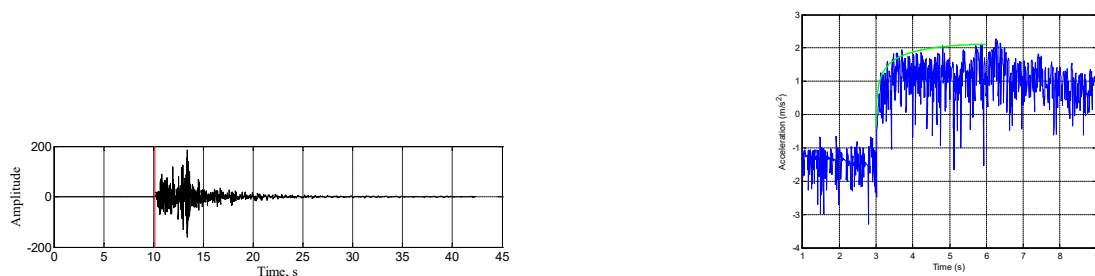
$$M_{est} = 0.92 \log P_{max} - 1.22 \log B + 5.43 \pm 0.5$$

با توجه به خصوصیات تکتونیکی و فعالیت لرزه خیزی مناطق مختلف، روابط تجربی مختلفی به دست خواهد آمد. در شکل (۳) مقایسه روابط به دست آمده در این مقاله، با روابط تهران (حیدری، ۲۰۱۶) و ژاپن (اوداکا و همکاران، ۲۰۰۳) و اهر و رزقان (معهود، ۱۳۹۵) نیز نمایش داده شده است. اوداکا و همکاران (۲۰۰۳) پنجره های زمانی ۲ یا ۳ ثانیه را برای تخمین بزرگی و فاصله مناسب تشخیص دادند. نودا و همکاران (۲۰۱۲) برای بهبود نتایج در ژاپن، روش موجود را برای پنجره های متغیر زمانی به جای پنجره های ثابت مرسوم بررسی نمودند. بررسیهای انجام شده نشان می دهد که تخمین بزرگیهای زلزله

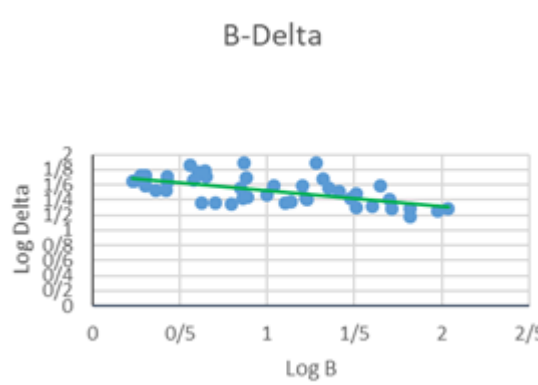
های بزرگ (مثلا با بزرگی ۸) صحیح و به هنگام در بازه زمانی کوتاهی پس از امواج P بسیار مشکل می باشد، زیرا مدت زمان شکست و گسیختگی برای زلزله های بزرگ طولانی تر بوده و به پنجره زمانی بیشتر از ۲ یا ۳ ثانیه نیاز می باشد. برای غلبه بر این بر این مشکل می توان به روش تکرار برای پنجره های زمانی ۲ و ۳ و غیره، اقدام به محاسبه بزرگی نمود و فقط به یک پنجره ثابت اکتفا ننمود. هنگامیکه دامنه امواج P با زمان در حال افزایش باشد، بزرگی زلزله نیز به طبع آن می تواند افزایش یابد باید توجه که در سیستم های هشدار سریع هدف تخمین بزرگی زلزله های بزرگ می باشد در صورت مشاهده زلزله بزرگ و اعلام هشدار مقدار واقعی بزرگی زلزله آنچنان مهم نمی باشد و مساله مهم اعلام هشدار می باشد.



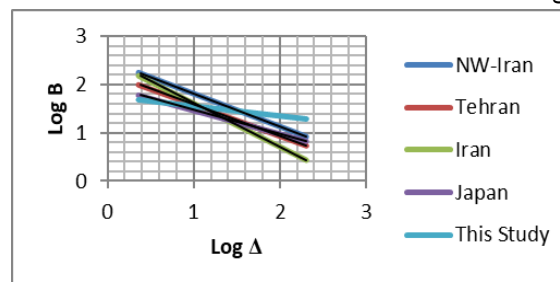
شکل ۱ الف - نگاشت ثبت شده از زلزله در ایستگاه سوزا قشم با بزرگی ۵.۵ در فاصله ۳۰ کیلومتری، با بزرگی ۵.۴ و در فاصله ۳۳ کیلومتری تخمین زده شده است.



شکل ۱ ب- نگاشت ثبت شده از زلزله در ایستگاه تنبان قشم با بزرگی ۵.۳ در فاصله ۱۶ کیلومتری، با بزرگی ۵.۰ و در فاصله ۲۲ کیلومتری تخمین زده شده است.



شکل ۲- رابطه خطی بین ضریب B (شیب بخش ابتدایی پوش امواج P) و فاصله رومرکزی  $\Delta$  برای زمین لرزه های با بزرگی مختلف. شکل ارتباط خطی خوبی بین این دو مقادیر را نشان می دهد.



شکل ۳- مقایسه روابط مختلف با مطالعه انجام شده (حیدری ۲۰۱۶) و ژاپن (اوداکا . همکاران ۲۰۰۳) و شمال غرب ایران (معهود ۲۰۱۷).

## نتیجه گیری:

در این تحقیق از روش کاربردی  $B-\Delta$  برای تخمین سریع بزرگی و فاصله روی مرکزی زلزله قشم استفاده شده است. فاصله روی مرکزی با استفاده از برازش تابع  $y(t) = bt * e^{(-At)}$  به پوش شتابنگاشت مولفه قائم برای پنجره زمانی ۳ ثانیه ابتدایی موج p تخمین زده شد و برای فاصله روی مرکزی رابطه  $\log \Delta = -0.2 \log B + 1.75 \pm 0.5$  حاصل شده است. ضریب B که با شیب پوش بخش ابتدایی موج p در ارتباط است، مستقل از بزرگی می باشد و نسبت به فاصله رو مرکزی متغیر است. برای محاسبه رابطه تخمین بزرگی از  $P_{max}$  بیشترین دامنه موج p در بخش ابتدایی این موج استفاده می شود. در این مقاله رابطه تخمین بزرگی به صورت در این مقاله رابطه تخمین بزرگی به صورت  $M_{est} = 0.92 \log P_{max} - 1.22 \log B +$  ( ) صورت گرفته است. حاصل شده است.  $5.43 \pm 0.5$

## منابع:

- Heidari, R. 2016. Quick Estimation of the Magnitude and Epicentral Distance Using P Wave for Earthquakes in Iran, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **106**.
- Mahod, M. 2017. Estimation of Magnitude and Epicentral Distance from a Single Seismic Record. *geophysic congress of Iran 2017*. Page, 4.
- Noda, S., S. Yamamoto, and S. Sato, 2012. New method for estimation earthquake parameters for earthquake warning system, *Q. Rep. Railway Tech. Res. Inst.* **53**, no. 2.
- Odaka, T., K. Ashiya, S. Tsukada, S. Sato, K. Ohtake, and D. Nozaka, 2003. A new method of quickly estimating epicentral distance and magnitude from a single seismic record, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **93**, 526–532