# تخمین سریع بزرگا و فاصله رومرکزی زلزله به روش تک ایستگاه B−Δ شمال غرب ایران

آرزو هادی[۱]، مجیدمعهود[۲]، مهدی زارع[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، arezoo.hadi.najafabadi@iiees.ac.ir
[۲]استادیار مرکز پیش بینی زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، m.mahood@iiees.ac.ir
[۳]استاد، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، mzare@iiees.ac.ir

## چکیده

یکی از روش‌های کاربردی در تخمین سریع بزرگا و فاصله رومرکزی زلزله روش $B-\Delta$ می‌باشد که براساس اطلاعات یک ایستگاه شتابنگاری با استفاده از ثانیه‌های ابتدایی موج P مورد بررسی قرار می‌گیرد. این روش درسیستم‌های هشدار سریع زلزله به کارگرفته می‌شود. تعیین خودکار زمان رسید موج P با برنامه متلب از ابتکارات این مطالعه می‌باشد. با برازش تابعی ساده به شکل $y(t)=Bt.e^{-At}$ به بخش ابتدایی پوش نگاشت لرزه‌ای، ضرایب A وB توسط کمترین مربعات بدست می‌آیند. نتایج نشان می‌دهند $logB$ و $log\Delta$ رابطه معکوس دارند که Δ فاصله رومرکزی می‌باشد. با بررسی و پردازش ۲۷۳ نگاشت مولفه قائم شتابنگاشت‌های زلزله اهر- ورزقان، ۳۸ نگاشت که دارای بازه بزرگی $M_w=4.5\text{-}6.2$ و درفاصله کمتر از ۹۰ کیلومتر ثبت شده مورد تحلیل قرار گرفت و رابطه $log\Delta=-0.35logB+2.05$ برای این منطقه بدست آمده است. برای برآورد بزرگی زلزله رابطه $M_{est}=1.83log\ P_{max}-1.52logB+5.33\pm0.4$ براساس بیشترین دامنه مشاهده شده در ثانیه‌های ابتدایی موج P بدست آمده است.

**واژه‌های کلیدی:** سیستم هشدار سریع زلزله، روش B−Δ، تک ایستگاه.

# Quick estimation of Magnitude and Epicentral Distance from a Single Seismic Record B−Δ for North-West of Iran

Arezoo Hadi [1] , Majid Mahood [2] , Mehdi Zare [3]

[1]M.Sc, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), arezoo.hadi.najafabadi@iiees.ac.ir
[2] Assistant Professor, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, m.mahood@iiees.ac.ir
[3] Professor, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), mzare@iiees.ac.ir

## Abstract

One of the practical methods of quick estimating magnitude and epicentral distance for an earthquake is B−Δ method that is considered according to a single seismic record by using initial seconds of P-wave. This method is used in Earthquake Early Warning Systems (EEWS). The innovation of this study is determining picking P-wave arrival time automatically by using MATLAB software. By fitting a simple function as $y(t)=Bt.e^{-At}$ to the initial seconds of the seismic waveform envelope, coefficients $A$ and $B$ are obtained by the least-squares method. The results of this study show that $logB$ has inversed relation to $log\Delta$ where Δ is the epicentral distance. By analyzing 273 vertical component accelerograms of Ahar-Varzaghan, 38 recorded data with magnitude $M_w=4.5\text{-}6.2$ and epicentral distance less than 90 km are processed and the relation $log\Delta=-0.35logB+2.05$ is earned for this region and for estimating of earthquake magnitude $M_{est}=1.83log\ P_{max}-1.52logB+5.33$ is obtained according to highest recorded amplitude initial seconds of P-wave.

**Keywords:** Earthquake Early Warning Systems, B−Δ method, Single Station

## ۱ مقدمه

موضوع ضروری برای تشخیص به‌هنگام زمین‌لرزه و سیستم‌های هشدار، تخمین بزرگا و فاصله رومرکزی زمین‌لرزه در مدت زمان بسیار کوتاه، چند ثانیه پس از ورود موج P می‌باشد. موقعیت و بزرگای زلزله ازمهمترین پارامترهای این فعالیت تکتونیکی می-

باشند زیرا این پارامترها بیانگر خصوصیات زلزله‌های محتمل آینده است. بزرگی بیانگر میزان انرژی آزاد شده می‌باشد و با مساحت گسیختگی و میزان لغزش گسل در ارتباط است. برآوردی از بزرگی و مکان زلزله‌های آینده می‌تواند در کاهش خسارات ناشی از آن مؤثر باشد. اوداکا و همکاران (۲۰۰۳) روشی را برای تخمین سریع بزرگی و فاصله‌ی رومرکزی با استفاده از اطلاعات تک ایستگاه و مدت زمان کوتاهی پس از ثبت امواج P معرفی کردند. این روش به نام B−Δ معروف است و سامانه‌ی هشدار سریع زلزله در شینکاسن ژاپن از این روش برای تخمین فاصله‌ی رومرکزی استفاده می‌کند (نودا و همکاران، ۲۰۰۳). سامانه هشدار سریع زلزله برای تهران وابسته به مدیریت بحران شهرداری که درمراحل آخر آزمایش می‌باشد نیز، براساس روش B−Δ برنامه‌ریزی شده است (حیدری و همکاران، ۲۰۱۶).

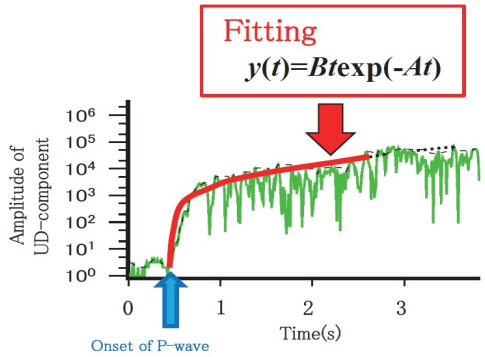
در این مطالعه، براساس زلزله‌های منطقه‌ی اهر ورزقان، شمال‌غرب ایران، فاصله‌ی رومرکزی به روش B−Δ برآورد شده است. وقوع دو زلزله بزرگ در مرداد ۱۳۹۱ در این منطقه و تعداد قابل توجه شتابنگاشت‌های ثبت شده در این دو زلزله و پس‌لرزه‌های آنها، فرصت بسیار ارزشمندی جهت بررسی و مطالعه خصوصیات جنبش نیرومند زمین از دیدگاه زلزله‌شناسی مهندسی در این منطقه فراهم کرده است. اهمیت این مسأله در آن است که علیرغم سابقه لرزه‌خیزی تاریخی بسیار بالای این منطقه، جز زلزله ۱۳۷۴ گلستان اردبیل، با بزرگای ۶/۱ $M_w$ زلزله‌ی مهم دیگری در دوره‌ی نصب ایستگاه‌های شتابنگاری رخ نداده است ( معهود و امیری، ۲۰۱۷).

این روش به‌صورت کلی، برای تخمین بزرگی زلزله از یک مقدار متناسب با شیب ابتدایی پوش موج P و حداکثر دامنه مشاهده شده در مدت زمان بسیار کوتاهی (۳ثانیه) پس از ورود موجP، مناسب خواهد بود .با این حال، مطالعات بیشتر برای زلزله‌های نزدیک و دارای نویز مورد نیاز است (اوداکا و همکاران، ۲۰۰۳).

از دستاورد مهم این مطالعه، تعیین خودکار زمان رسید موج P می‌باشد که علاوه بر کاهش خطا نسبت به روش چشمی، سرعت تشخیص شروع موج P و پردازش را افزایش می‌دهد. باید توجه داشت که در سیستم‌های هشدارسریع، هدف تخمین بزرگی زلزله‌های بزرگ می‌باشد و در صورت مشاهده زلزله‌ی بزرگ و اعلام هشدار، مقدار واقعی بزرگی زلزله آنچنان مهم نمی‌باشد و مسأله‌ی مهم اعلام هشدار سریع و به‌هنگام می‌باشد (معهود و همکاران، ۲۰۱۶).

## ۲ روش تحقیق

در روش تک ایستگاهی B−Δ که مبنای آن توسط اوداکا و همکاران (۲۰۰۳) پیشنهاد شده است، از پوش مولفه قائم شتابنگاشت جهت تخمین فاصله رومرکزی زلزله استفاده می گردد. بدین منظور یک تابع به فرم $y(t)=Bt.e^{-At}$ تعریف شده که ضرایب A و B در آن از طریق روش حداقل مربعات و با همپوشانی این تابع بر روی پوش لگاریتمی مولفه قائم شتاب در ۳ ثانیه ابتدایی دریافت موج P، تعیین می‌گردند. بدین ترتیب خواص شکل کلی موج را می‌توان با دو پارامتر مذکور تعیین نمود.




**شکل ۱.** تخمین فاصله ی رومرکزی زمین لرزه با روشB-Δ (نودا و همکاران،۲۰۱۲)

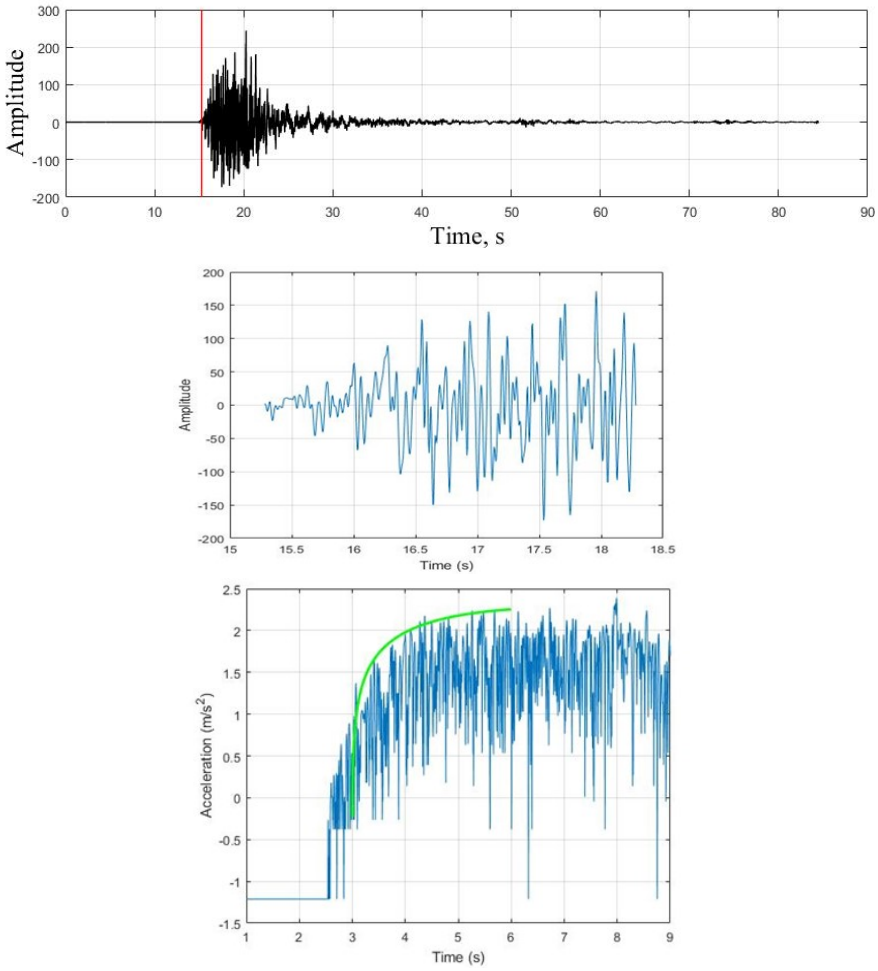
پارامتر A بیانگر مدت زمان افزایش دامنه موج و B که مستقل از بزرگای زلزله است، نشان دهنده شیب ابتدایی پوش می‌باشد. شکل پوش نگاشت‌های لرزه‌ای با توجه به بزرگی زلزله، عمق کانونی و فاصله رومرکزی متفاوت می‌باشد. نمونه‌ای از این پوش

در شکل (۱) نشان داده شده است. دراین مقاله از ۳۸ شتابنگاشت مولفه قائم زلزله و پس لرزه‌های زلزله اهر-ورزقان که توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ثبت شده و دارای بزرگی‌های $M_w$=4.5-6.2 می‌باشند، استفاده شده است. در شکل (۲)، رابطه خطی بین $logB$ (ضریب B شیب بخش ابتدایی پوش امواج P) و $log\Delta$ (فاصله رومرکزی) نشان داده شده است. همانطور که در شکل می‌بینیم ضریب B با فاصله رومرکزی رابطه معکوس دارد و با افزایش فاصله B کاهش می‌یابد (شکل ۳). در این مقاله رابطه زیر برای فاصله رومرکزی بدست آمده است:

$$Log\Delta = -0.35logB+2.05\pm0.4$$

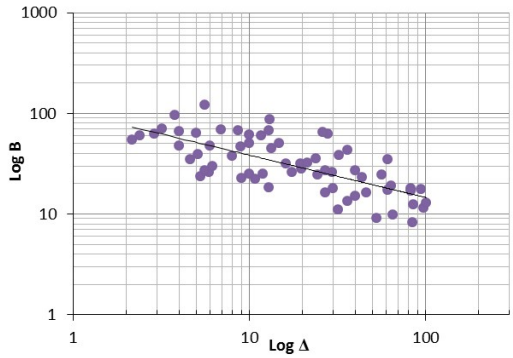
برای محاسبه رابطه تخمین بزرگی از $P_{max}$ بیشترین دامنه موج P که شروع موج به صورت خودکار انتخاب می‌گردد، در بخش ابتدایی این موج استفاده می‌شود و رابطه تخمین بزرگی به صورت زیر حاصل شده است:

$$M_{est}=1.83logPmax-1.52logB+5.33\pm0.26$$

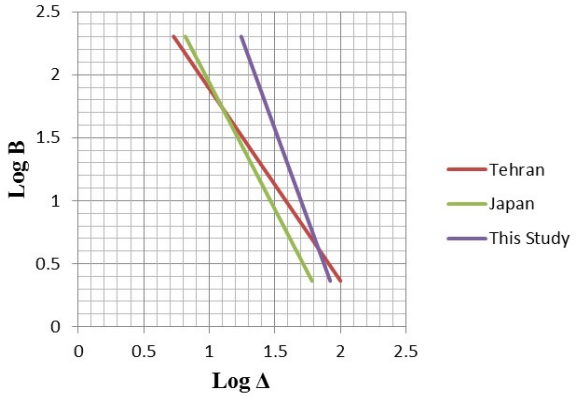



**شکل ۲.** مولفه عمودی شتابگاشت ثبت شده از زلزله ای با بزرگی۶/۱ که شروع موج P مشخص شده است.در شکل بعد لگاریتم قدرمطلق دامنه پنجره زمانی ۳ثانیه انتخاب شده به همراه منحنی برازش شده با رابطه $y(t)=Bt.e^{-At}$ به نمایش درآمده است.

در شکل ۴. مقایسه ی رابطه به دست آمده در این مطالعه و تهران( حیدری،۲۰۱۶) ، ژاپن( اوداکا و همکاران ،۲۰۰۳)، به نمایش گذاشته شده است. علت تفاوت در شیب نمودار به دست آمده در این مطالعه با نمودارهای دیگر مربوط به تفاوت در خصوصیات تکتونیکی و لرزه‌خیزی مناطق مختلف است. بدیهی است که محدودیت‌های این مطالعه استفاده از داده‌های حاصل از تنها دو زلزله اصلی بزرگ و پس‌لرزه‌های آنها می‌باشد و برای‌کسب دقت بالا می‌توان از داده‌های زلزله‌های مختلف ایران استفاده نمود.




**شکل ۳.** رابطه ی خطی بین ضریب B (شیب بخش ابتدایی پوش امواج P) و فاصله رومرکزی Δ




**شکل ۴.** مقایسه ی رابطه به دست آمده در این مطالعه و تهران( حیدری،۲۰۱۶) ، ژاپن( اوداکا و همکاران ،۲۰۰۳)

## ۳ نتیجه‌گیری

در این مطالعه از روش B−Δ برای تخمین سریع بزرگا و فاصله رومرکزی زلزله در شمال غرب ایران استفاده شده است که تعیین این دو پارامتر برای سیستم‌های هشدار سریع حائز اهمیت می‌باشد. با استفاده ازپوش شتابنگاشت مؤلفه ی قائم برای پنجره زمانی ۳ ثانیه ابتدایی موج P فاصله ی رومرکزی بصورت رابطه $log\Delta=-0.35logB+2.05$ بدست آمده است. ضریب B که با شیب پوش بخش ابتدایی موج P در ارتباط است، مستقل از بزرگی می باشد و نسبت به فاصله ی رومرکزی متغیر است. برای محاسبه رابطه تخمین بزرگی از $P_{max}$، بیشترین دامنه موج P در بخش ابتدایی، استفاده می شود. در این مطالعه رابطه تخمین بزرگی به صورت $M_{est}=1.83logP_{max}-1.52logB+5.33\pm0.4$ اصل شده است. با توجه به خصوصیات تکتونیکی و فعالیت لرزه خیزی مناطق مختلف، روابط تجربی مختلفی به دست خواهد آمد.

## منابع

Heidari, R. 2016. Quick Estimation of the Magnitude and Epicentral Distance Using P Wave for Earthquakes in Iran, Bull. Seismol. Soc. Am. 106.

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". IJGE, 2(4): 208-213.

Mahood, M. and Amiri, S., 2017. "Estimation of Quality Factor ($Q_\beta$) Using Accelerograms of Ahar-Varzaghan Earthquakes, Northwestern Iran". IJGE, 3(3): 73-84.

Noda, S., S. Yamamoto, and S. Sato, 2012. New Method for Estimation Earthquake Parameters for Earthquake Early 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.