کالیبراسیون بزرگای محلی برای ایران

مهدی ماهری پیرو[۱]، احمد میرهاشمی[۲]، عبدالرضا قدس[۳] ، مجید عباسی[۴]

[۱] دانشجوی دکتری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، maheri@iasbs.ac.ir
[۲] دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان
[۳] دانشیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان
[۴] استادیار، دانشکده مهندسی، گروه نقشه برداری، دانشگاه زنجان

چکیده

در این مطالعه با استفاده از ۴۸۰۱۶ بیشینه دامنه‌ی رکوردهای مصنوعی لرزه‌نگاشت وود-اندرسون استخراج شده از شکل‌موج‌های ۲۶۵۰ زلزله‌ی ثبت شده توسط شبکه‌های دائمی کشور و شبکه‌های موقت دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم‌پایه زنجان، رابطه‌ی کاهندگی بزرگای محلی برای ایران به صورت زیر محاسبه شده است:

$$-\log A_0 = (1.556 \pm 0.06)\log\left(\frac{R}{100}\right) + (0.001637 \pm 0.0009)\,(R\ -100) + 3$$

که در این رابطه R فاصله کانونی برحسب کیلومتر و A_0 بیشینه دامنه‌ی جابجایی موج برشی برحسب میلی‌متر است. برای محاسبه این رابطه از دامنه‌های ثبت شده در فواصل کانونی بین ۱۰ تا ۸۰۰ کیلومتر استفاده شده است. داده‌ها از زلزله‌های دوباره مکان‌یابی شده با دقت بهتر از ۵ کیلومتر جمع‌آوری شده‌اند. این دقت بالا در مکان‌یابی زلزله‌ها و وجود خوانش‌های با فاصله نزدیک کانونی امکان محاسبه پارامتر پخش هندسی با دقت بالا را میسر ساخت. مقدار این پارامتر بیشتر از رابطه هاتون-بور است که پخش فوق کروی امواج برشی در فواصل کانونی نزدیکتر از ۱۰۰ کیلومتر را نشان می‌دهد. مقدار کاهندگی ذاتی برای فواصل بیشتر از ۲۰۰ کیلومتر کمتر از رابطه هاتون-بور بدست آمده است.

واژه‌های کلیدی: بزرگای محلی، منحنی کاهندگی، پخش هندسی، کاهندگی ذاتی، تصحیح ایستگاهی، فلات ایران.

Local Magnitude Calibration in Iran

Mehdi Maheri Peyrov [1], Ahmad Mirhashemi [2], Abdolreza Ghods [3], Madjid Abbasi [4]

[1] *PhD student, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS)*
[2] *MSc graduated, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS)*
[3] *Associated professor, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS)*
[4] *Assistant professor, University of Zanjan*

Abstract

Using 48016 synthetic maximum Wood-Anderson amplitudes read from waveforms of 2650 events recorded by Iranian permanent national networks and temporary seismic networks belong to Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, the empirical attenuation curve for local magnitude of Iran has been calculated as follow,

$$-\log A_0 = (1.556 \pm 0.06)\log\left(\frac{R}{100}\right) + (0.001637 \pm 0.0009)\,(R\ -100) + 3$$

where R is hypocentral distance in km and A_0 is maximum displacement amplitude of shear wave in millimeter. This formula is valid for hypocentral distances between 10 and 800 km. We have used the relocated earthquakes with location uncertainties of 5 km or less. The high accuracy of events location and the near-station records enabled us to estimate the geometrical spreading with higher accuracy. The calculated attenuation curve shows a larger geometrical spreading for hypocentral distances closer than 100 km, representing a super-spherical geometrical spreading, and a smaller value for intrinsic attenuation for distances farther than 200 km once compared with the currently used M_L relationship of Hutton and Boore (1987).

Keywords: Local magnitude, attenuation curve, geometrical spreading, intrinsic attenuation, station correction, Iranian Plateau.

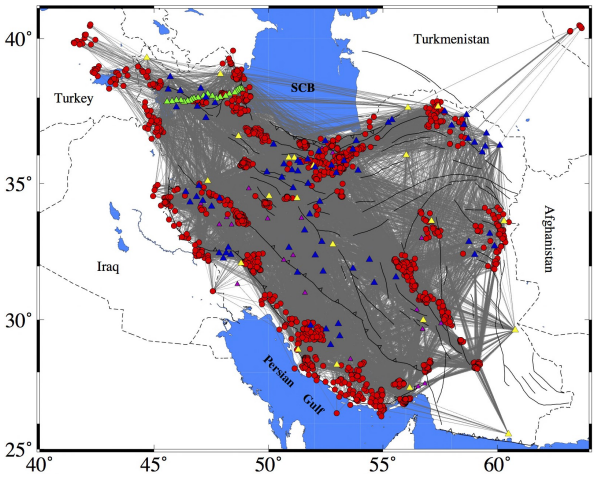
۱ مقدمه

برآورد بزرگای زمین‌لرزه نقش اساسی در تعیین سازوکار لرزه‌خیزی و تحلیل خطر زلزله در فلات ایران دارد. بهترین روش محاسبه‌ی بزرگای یک زلزله به روش گشتاوری (Mw) است که در مطالعات تحلیل خطر زلزله بسیار کاربردی است. با توجه به اینکه محاسبه‌ی بزرگای گشتاوری وقت‌گیر است و همچنین به دلیل اینکه بیشتر زلزله‌هایی که در ایران رخ می‌دهند بزرگایی

کمتر از ۶ دارند، می‌توان بزرگای محلی را محاسبه کرد و سپس با استفاده از روابط تجربی آن را به بزرگای گشتاوری تبدیل کرد. در این حالت با محاسبه‌ی دقیق پارامترهای کاهندگی و کاهش خطای محاسبه‌ی بزرگای محلی، بزرگای گشتاوری با دقت قابل قبولی قابل تخمین است.

کاتالوگ‌های لرزه‌ای تهیه شده توسط دو مرکز بین‌المللی لرزه‌نگاری (ISC) و مرکز اطلاعات زلزله آمریکا (NEIC)، اغلب در کارهای مهندسی زلزله و تحلیل خطر لرزه‌ای در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. بزرگای گزارش شده در این کاتالوگ‌ها mb و M_S است. عدم استفاده از یک بزرگای واحد و کالیبره شده توسط دو شبکه لرزه‌نگاری دائم کشوری، شبکه ملی لرزه‌نگاری وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و شبکه‌ی لرزه‌نگاری باند پهن پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، باعث ایجاد مشکلات و سردرگمی در استفاده از کاتالوگ‌های تولید شده در ایران جهت تحقیقات زلزله‌شناسی و همچنین کارهای تحلیل خطر شده است. کاتالوگ مرکز لرزه‌نگاری کشوری ایران وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، بزرگای زلزله‌های ایران را بر حسب مقیاس ناتلی، M_N، گزارش می‌کند. شبکه‌ی لرزه‌نگاری کشوری ایران در حال حاضر از رابطه‌ی بزرگای ناتلی که توسط رضاپور برای شبکه تبریز کالیبره شده را استفاده می‌کند و در محاسبات خود تصحیحات ایستگاهی را اعمال نمی‌کند. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله برای تعیین بزرگا در ایران از رابطه‌ی هاتون و بور (۱۹۸۷) که برای کالیفرنیای جنوبی محاسبه شده است، استفاده می‌کند و در محاسبات خود تصحیحات ایستگاهی را اعمال نمی‌کند.

رابطه‌ی بزرگای محلی (M_L) توسط عسکری و همکاران (۲۰۰۹) برای البرز مرکزی، شهبازی (۲۰۱۰) و رضاپور و رضایی (۲۰۱۱) برای شمال غرب ایران کالیبره شده است. همچنین M_L توسط شجاع طاهری و همکاران (۲۰۰۷) برای کل ایران با استفاده از داده‌های دستگاه‌های شتاب‌نگاری به دست آمده است. رابطه‌ی شجاع طاهری محدود به فواصل کمتر از ۲۰۰ کیلومتر و زلزله‌هایی با بزرگای بیشتر از ۴/۵ است و مخصوص استفاده در شبکه شتاب‌نگاری است. بنابراین همه رابطه‌های بزرگای موجود یا برای منطقه خاصی از ایران هستند و یا مخصوص استفاده در شبکه‌ی لرزه‌نگاری خاصی هستند. با توجه به اهمیت یکپارچه‌سازی کاتالوگ‌های لرزه‌ای ایران و سهولت استفاده از بزرگای M_L در تمام شبکه‌های لرزه‌نگاری ایران، محاسبه‌ی یک رابطه‌ی بزرگای محلی به همراه تصحیحات ایستگاهی برای ایستگاه‌های لرزه‌نگاری بسیار ضروری است.



شکل ۱) منطقه‌ی مورد مطالعه و پوشش پرتوی حاصل از داده‌های انتخابی. خطوط ممتد سیاه گسل‌های فعال، دایره‌ها رومرکز زلزله‌ها و مثلث‌های سبز، زرد و آبی به ترتیب ایستگاه‌های زلزله‌نگاری شبکه‌های موقت دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم‌پایه زنجان، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی مهندسی زلزله و مرکز لرزه‌نگاری کشوری وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران را نشان می‌دهند. خطوط خاکستری پرتوهای بین جفت ایستگاه و زلزله‌ها هستند.

۲ روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شکل موج‌های ۲۶۵۰ زلزله است که توسط دو مرکز اصلی لرزه‌نگاری کشوری، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و همچنین شبکه‌ی لرزه‌نگاری موقت تالش

متعلق به دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم‌پایه زنجان ثبت شده‌اند. رویدادهای استفاده شده در این تحقیق با استفاده از روش HDC (مانند: قدس و همکاران، ۲۰۱۵) تحت مکان‌یابی مجدد قرار گرفته‌اند و دارای دقت مکانی مطلق رومرکزی کمتر از ۵ کیلومتر هستند. خوشه‌های لرزه‌ای انتخابی پراکندگی مکانی خوبی در فلات ایران دارند که همگی در اعماق کمتر از ۲۵ کیلومتر رخ داده‌اند. تعداد ۲۶۵۰ رویداد انتخابی در قالب ۴۵ خوشه لرزه‌ای هستند که در محدوده زمانی ۱۹۹۶ الی ۲۰۱۳ رخ داده‌اند. شکل (۱) پوشش پرتوی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد که نشانگر یک پوشش مناسب در بیشتر مناطق ایران است.

چارلز ریشتر (۱۹۳۵) برای اولین بار مقیاس بزرگا را برای مقایسه نسبی انرژی زلزله‌ها در جنوب کالیفرنیا معرفی کرد. رابطه‌ی ریشتر با استفاده از بیشینه دامنه‌های ثبت شده روی مولفه‌های افقی لرزه‌نگاشت پیچشی وود- اندرسون با دوره طبیعی ۰/۸ ثانیه، فاکتور کاهندگی ۰/۸ و بزرگنمایی ۲۰۸۰ (اورهامر و کلینز، ۱۹۹۰) بدست آمد. رابطه‌ی ریشتر برای بزرگای محلی به صورت زیر تعریف می‌شود،

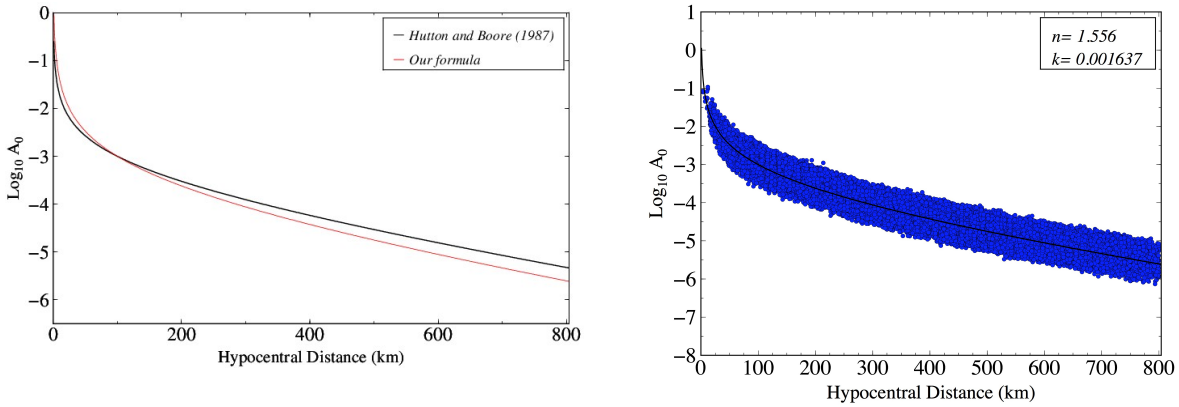
$$M_L = \log A - \log A_0(\Delta) + S \qquad (۱)$$

که در این رابطه A بیشینه دامنه خوانده شده (بر حسب میلی‌متر) بر روی لرزه‌نگاشت وود-اندرسون در فاصله کانونی Δ (بر حسب کیلومتر) است.

در رابطه‌ی (۱) منحنی تجربی کاهندگی شامل پارامترهای n و k است و بستگی به پخش هندسی و میرایی ناشی از غیرالاستیک بودن زمین و پراکنش پرتوها در طول مسیر بین کانون و ایستگاه دارد. برای بدست آوردن این پارامترها یک منحنی پارامتری (معادله ۲) بر دامنه‌های مشاهده شده برازش می‌شود:

$$\log A_{ij} = M_i - n \log\left(\frac{R_{ij}}{100}\right) - k\,(R_{ij} - 100) \qquad (۲)$$

که در آن A_{ij} دامنه‌ی ثبت شده از زلزله‌ی i اُم در ایستگاه jاُم ، R_{ij} فاصله‌ی کانونی بین هر جفت ایستگاه و زلزله ، n ضریب پخش هندسی ($A \propto \frac{1}{R^n}$) و k ثابت کاهندگی ($A \propto e^{-kR}$) است. معادله‌ی (2) یک معادله‌ی کاملاً خطی برای بزرگا و پارامترهای کاهندگی است بنابراین مجهولات با استفاده از فرآیند وارون‌سازی مستقیم و به روش کمترین مربعات بدست می‌آیند.



(ب) (الف)

شکل ۲) الف) منحنی کاهندگی به دست آمده از این مطالعه. ب) مقایسه منحنی کاهندگی محاسبه شده با رابطه بزرگای هاتون و بور (۱۹۸۷).

۳ نتیجه‌گیری

بعد از فرآیند وارون‌سازی برای محاسبه‌ی بزرگا و پارامترهای کاهندگی، دامنه‌ی تصحیح شده با استفاده از رابطه‌ی بدست آمده برای $\log A_0$ محاسبه شد (شکل۲-الف). رابطه‌ی کاهندگی محاسبه شده به صورت زیر است:

$$-\log A_0 = (1.556 \pm 0.06)\log\left(\frac{R}{100}\right) + (0.001637 \pm 0.0009)(R - 100) + 3 \quad (۵)$$

در رابطه‌ی کاهندگی بدست آمده از این مطالعه، مقدار پارامتر پخش هندسی بیشتر از رابطه‌ی هاتون و بور (۱۹۸۷) بدست آمده است که نشان‌دهنده پخش فوق‌کروی موج برشی در فواصل کوتاه است. همچنین ضریب غیرالاستیک بدست آمده در این مطالعه کمتر از رابطه هاتون و بور است. با توجه به شکل (۲-ب) مشخص است که در فواصل کمتر از ۱۰۰ کیلومتر منحنی کاهندگی هاتون و بور افت کمتر دامنه و در نتیجه بزرگای بیشتری نسبت به رابطه‌ی بدست آمده در این مطالعه پیشنهاد می‌کند. همچنین برای فواصل بیشتر از ۲۰۰ کیلومتر، منحنی کاهندگی هاتون و بور افت بیشتر و در نتیجه بزرگای کمتری را نسبت به رابطه بدست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد. بنابراین به طور کلی استفاده از رابطه‌ی هاتون و بور در ایران برای زلزله‌هایی که در فواصل کمتر از ۱۰۰ کیلومتر رخ می‌دهند منجر به تخمین بیشتر بزرگا و برای زلزله‌هایی که اکثر دامنه‌های آنها در فواصل بیش از ۲۰۰ کیلومتر ثبت شده‌اند، منجر به محاسبه‌ی بزرگایی کمتر نسبت به آنچه رابطه‌ی بزرگای محلی ما ارائه می‌دهد، می‌گردد. با توجه به شکل (۲-ب)، به دلیل تطابق رابطه‌ی کاهندگی این مطالعه با رابطه‌ی هاتون و بور در فاصله‌ی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتری، فقط برای زلزله‌هایی که بیشترین خوانش دامنه را در فاصله‌ی ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتری دارند می‌توان از این رابطه استفاده کرد و در فواصل دیگر رابطه‌ی هاتون و بور بزرگایی بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی ارایه خواهد کرد.

منابع

Askari, R., Ghods A., and Sobuti F. (2009) Calibration of an M_L Scale in the Alborz Region. Northern Iran, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **99**, 268–27.

Ghods, A., Shabanian, E., Bergman, E., Faridi, M., Donner, S., Mortezanejad, G., Aziz Zanjany, A. (2015) The Varzaghan–Ahar, Iran, Earthquake Doublet (Mw 6.4, 6.2): implications for the geodynamics of northwest Iran. *Geophys. J. Int*, **203** (1), 522-540.

Hutton, L. K., and Boore, D.M. (1987) The ML scale in southern California. *Bull. Seismol. Soc. Am.* **77**, 2074–2094.

Jordan T. H. and Sverdrup K.A. (1981) Teleseismic location techniques and their application to earthquake clusters in the south-central Pacific. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **71**, 1105-1130.

Rezapour,M., Rezaei R. (2011) Empirical Distance Attenuation and the Local Magnitude Scale for Northwest Iran. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **101**, 3020–3031.

Richter, C. F. (1935) An instrumental earthquake magnitude scale. *Bull. Seismol. Soc. Am.* ***25**, 1–32.*

Shahbazi, S. (2010) Local magnitude calibration of NW Iran. MSc thesis, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), in Farsi.

Shoja-Taheri, J., Naserieh S., and Ghofrani H. (2007) M_L and M_W Scales in the Iranian Plateau Based on the Strong-Motion Records. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **97**, 661-669.

Uhrhammer, R. A., and Collins, E. R. (1990) Synthesis of Wood-Anderson seismograms from broadband digital records. *Bull Seismol. Soc. Am.*, **80**, 702–716.