

پیش‌نشانگرهای لرزه‌شناختی - پارامترهای لرزه‌خیزی

محمد امیری^۱، علی شاهسونند^۱، حبیب رحیمی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گرایش زلزله‌شناسی، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

mohammadamiri0023@ut.ac.ir

^۲ دانشیار، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران rahimih@ut.ac.ir

چکیده

پیش‌بینی زلزله به صورت تعیین زمان، بزرگی و مکان وقوع زلزله در آینده تعریف می‌شود. به پدیده‌های بی‌هنجاری که قبل از رخداد زلزله نمایان می‌شوند، پیش‌نشانگرهای زلزله می‌گویند. پیش‌نشانگرهای زلزله اغلب براساس محدوده‌ی زمانی پدیدار شدن آن‌ها قبل از رخداد زلزله در دسته‌بندی پیش‌بینی‌های بلندمدت، میان‌مدت، کوتاه‌مدت و آنی تقسیم‌بندی می‌شوند. یکی از روش‌های پیش‌نشانگرهای لرزه‌شناختی، پارامترهای لرزه‌خیزی نام دارند که به صورت پیش‌بینی آماری نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند، به فراوانی زمین‌لرزه‌ها در سال وابسته بوده و با قانون گوتنبرگ - ریشتر بیان می‌شوند. داده‌های کار با این روش، داده‌نامه (کاتالوگ) های لرزه‌ای هستند که به راحتی و به صورت رایگان در دسترس قرار دارند. واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، پیش‌نشانگر، زلزله، میان‌مدت، پارامترهای لرزه‌خیزی

Seismic Precursors – Seismic Parameters

Mohammad Amiri¹; Ali Shahsavand¹; Habib Rahimi²

¹ M.Sc. student in Geophysics, majoring in Seismology, Institute of Geophysics, University of Tehran

² Associate Professor of Seismology, Institute of Geophysics, University of Tehran

Abstract

Earthquake prediction is defined as determining the time, magnitude and location of an earthquake in the future. Anomalous phenomena that appear before an earthquake occurs and they are called earthquake predictors. Earthquake predictors are often divided into long-term, intermediate-term, short-term and Immediate based on the time which they occur before an earthquake. One of the methods of seismic prediction is called seismicity parameters, which are also included in the statistical forecasting and depend on the frequency of earthquakes per year and expressed by Gutenberg-Richter law. The data working with this method are seismic catalogs which are easily available and free.

Keywords: (Prediction, precursor, earthquake, intermediate – term, seismicity Parameters)

۱ مقدمه

پیش‌بینی زمین‌لرزه تعیین‌کننده‌ی احتمال وقوع زمین‌لرزه در گستره‌ی مکانی، زمانی و بزرگایی با دقت کافی جهت ارزیابی آن می‌باشد که می‌بایست با تعداد کافی از موفقیت‌ها و شکست‌ها و همراه با ثبت دقیق، تجزیه و تحلیل شوند تا به توان سطح اعتماد و پیش‌بینی را تعیین نمود. میزان موفقیت‌ها باید به حدی باشند که پژوهشگران را متقاعد سازد که پیش‌بینی انجام شده یک حدس اتفاقی نبوده است، دقت و برآورد بزرگ، زمان و مکان موردنظر اعلام شده برای هشدار بایستی با نیازهای جامعه مناسب باشد تا مسئولین را قادر سازد برای یک زمین‌لرزه قریب‌الوقوع اقدامات لازم را به عمل بیاورند (امیری و همکاران، ۱۴۰۰).

پژوهشگران متعددی پیش‌بینی زلزله را از نظر مقیاس مکانی و زمانی تقسیم‌بندی نموده‌اند ولی در جدول زیر پیش‌بینی مقیاس مکانی و زمانی زلزله از دیدگاه کیلیس - بروک و سلوویف (۲۰۰۳) آورده شده است:

جدول ۱. تقسیم‌بندی پیش‌بینی زمین‌لرزه از نظر مقیاس مکانی و زمانی (کیلیس - بروک و سلوویف، ۲۰۰۳)

مقیاس مکانی (ضریب طول چشمه لرزه‌زا)	مقیاس زمان (برحسب سال)
محدوده بزرگ (۱۰۰)	بلندمدت (۱۰)
محدوده متوسط (۵-۱۰)	میان مدت (۱)
محدوده باریک (۲-۳)	کوتاه مدت (۰/۱ - ۰/۰۱)
دقیق	آنی (۰/۰۰۱)

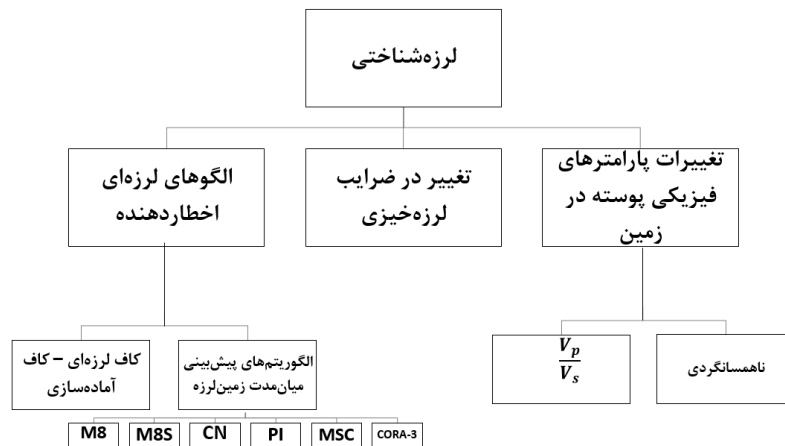
در این مقاله، پیش‌شناسانگرهای لرزه‌شناختی - پارامترهای لرزه‌خیزی مورد بحث قرار می‌گیرند که در دسته‌بندی پیش‌بینی‌های میان‌مدت قرار دارند.

پیش‌بینی میان‌مدت با بازه‌ی زمانی چندماه تا چندسال با دقت مکانی ۵ تا ۱۰ برابر طول گسل لرزه‌زا در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تغییرات لرزه‌ای، اندازه‌گیری‌های ژئودزی و دورکاوی و انتقال و تنش چکانش لرزه‌ای از مهم‌ترین روش‌های پیش‌بینی میان‌مدت هستند. تغییرات لرزه‌ای شامل الگوهای لرزه‌ای مخاطاردهنده قبل از وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ هستند که به علت توسعه شبکه‌های لرزه‌نگاری و روند رو به رشد تکمیل بانک داده‌های لرزه‌ای از مهم‌ترین موضوعات روز پیش‌بینی زمین‌لرزه می‌باشند. فعالیت لرزه‌ای بی‌هنجار (فعالیت‌های خوشه‌ای)، نبود لرزه‌ای بی‌هنجار (کاهش فعالیت لرزه‌ای در نزدیکی کانون زمین‌لرزه و افزایش فعالیت چندسال قبل از وقوع زمین‌لرزه)، پارامترهای لرزه‌خیزی یا همان تغییرات ضرایب لرزه‌خیزی و استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی میان‌مدت زمین‌لرزه، مثال‌هایی از الگوهای لرزه‌ای مشاهده شده قبل از وقوع برخی زمین‌لرزه‌های بزرگ هستند. قابل ذکر است الگوهای لرزه‌ای به صورت منفرد یا گروهی ظاهر می‌شوند. از دیگر روش‌های پیش‌بینی میان‌مدت زمین‌لرزه به مطالعه انتقال و چکانش تنش لرزه‌ای بر روی گسل‌های مجاور یک گسل لرزه‌زا بعد از وقوع یک زمین‌لرزه بزرگ می‌توان اشاره کرد که نتایج این روش با تلفیق مطالعات GPS و InSAR قابل بررسی هستند. (امیری و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۱. روش‌های پیش‌بینی میان‌مدت زمین‌لرزه (امیری و همکاران، ۱۴۰۰).

روش لرزه‌شناختی، روش مورد بحث در این مقاله‌ست و مبتنی بر پیش‌شناسانگر و الگوریتم‌هایی مطابق با شکل زیر می‌باشد:



شکل ۲. پیش‌نشانگرهای روش لرزه‌شناختی (امیری و همکاران، ۱۴۰۰).

همان‌طور که در شکل بالا می‌بینیم تغییر در ضرایب لرزه‌خیزی یا همان پارامترهای لرزه‌خیزی یکی از پیش‌نشانگرهای لرزه‌شناختی است و چندین پارامتر را در بر می‌گیرد که در این مقاله به دو پارامتر از آن، a -value و b -value می‌پردازیم. ناگفته نماند این پارامترها توسط بسته‌ی نرم‌افزاری (پکیج) متن‌باز ZMAP (ویمر، ۲۰۰۱) که در محیط متلب کدنویسی شده و به صورت رایگان در دسترس زلزله‌شناس‌هاست، قابل محاسبه هستند.

۲ روش تحقیق

در طبیعت، زلزله‌های کوچک نسبت به زلزله‌های بزرگ رایج‌تر هستند. این وضعیت در زلزله‌شناسی با به کارگیری رابطه فراوانی به صورت کمی درآمده‌است. در این رابطه که توسط گوتنبرگ - ریشتر (۱۹۴۴) تعریف شده است، N تعداد بزرگی زلزله‌ها، با بزرگی بزرگ‌تر و مساوی M است، a و b نیز ضرایب ثابت رابطه بر اساس داده‌های لرزه‌ای منطقه می‌باشند:

$$\text{Log}_{10} N = a - bM \quad (1)$$

در رابطه‌ی (۱) مقدار a (a -value)، عرض از مبدا نمودار و نیز نشان‌دهنده‌ی تعداد کل زلزله‌ها است. در واقع پارامتر a سطح فعالیت لرزه‌خیزی را در منطقه‌ی مطالعاتی نشان می‌دهد. مقدار b (b -value) همان شیب خط در رابطه‌ی تجربی بالاست، نشان‌دهنده‌ی رابطه فراوانی رخداد زمین‌لرزه‌ها با افزایش و یا کاهش بزرگای آن‌ها در منطقه‌ی مطالعاتی است و همین‌طور نسبت تعداد زلزله‌های کوچک به تعداد زلزله‌های بزرگ را نشان می‌دهد. پارامتر b مرتبط با ساختار زمین‌ساختی و وابسته به استرس تجمع یافته شده در منطقه‌ی مطالعاتی است. مقادیر بالای b اغلب در مناطقی است که تجمع استرس، روند کاهشی دارد (ویمر و ویس، ۲۰۰۲). مجموعه داده‌های لرزه‌خیزی جهانی نشان‌دهنده‌ی $b \sim 1$ برای سراسر جهان است ولی این مقدار برای سیستم‌های گسلی مختلف متفاوت است و به همین دلیل مقدار عددی b معمولاً از ۰/۷ تا ۱/۳ در نظر گرفته می‌شود (گوپتا، ۲۰۱۱). معمولاً برای محیط‌های آتشفشانی، مقدار b بسیار بالاتر از گسل‌های زمین‌ساختی است و گاهی تا $b=3$ نیز می‌رسد (مکنات، ۲۰۰۵).

عوامل موثر در مقدار b -value (العیسی و ایتون ۲۰۱۳): افزایش یا کاهش تنش مؤثر، تغییرات در ناهمگنی پوسته، فعالیت‌های زمین‌گرمایی و آتشفشانی زیرسطحی، ویژگی‌های زمین‌ساختی و سازوکارهای کانونی، سنگ‌شناسی منطقه، عمق زمین‌لرزه و برخی ویژگی‌های دیگر از جمله کیفیت داده‌های لرزه‌خیزی، انواع بزرگا و روش‌های محاسبه‌ی b .

برای محاسبه‌ی مقدار b از روش رگرسیون حداقل مربعات خطی (Linear Least Squares Regression) و تخمین حداکثر احتمال (Maximum Likelihood) استفاده می‌کنند. روش رگرسیون حداقل مربعات به دلیل تاثیرپذیری از زلزله‌های بزرگ نیازمند تفسیرهای آماری دقیق است ولی روش تخمین حداکثر احتمال به دلیل ارائه‌ی نتایج

غیرجانبدارانه و تاثیر ناچیز زلزله‌های بزرگ بر آن، روش موردعلاقه‌ی زلزله‌شناس‌ها برای محاسبه‌ی مقدار b می‌باشد (ویمر و ویس، ۱۹۹۷).

در این مقاله نیز به روش تخمین حداکثر احتمال می‌پردازیم. در این روش مقدار b به صورت زیر محاسبه می‌گردد (آکی، ۱۹۶۵):

$$b = \frac{1}{\bar{M} - M_{min}} \log e \quad (2)$$

در رابطه‌ی (۲) میانگین بزرگ، M_{min} کم‌ترین بزرگای موجود در داده‌نامه‌ی منطقه‌ی مطالعه‌ی e نیز عدد نپر می‌باشد.

میزان خطای b محاسبه شده از طریق رابطه‌ی ۲ به صورت زیر محاسبه می‌گردد (شی و بولت، ۱۹۸۲):

$$\delta b = 2.3b^2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

در رابطه‌ی (۳) M_i بزرگای زلزله‌ی i ام، \bar{M} میانگین بزرگا و n نیز تعداد کل زلزله‌های موجود در داده‌نامه‌ی منطقه‌ی مطالعه‌ی می‌باشد.

۳ نتیجه‌گیری

b -value می‌تواند به عنوان شاخصی از وضعیت تنش در منطقه مورد استفاده قرار گیرد. اغلب مقدار کم ضریب لرزه‌خیزی b با مقدار تنش بالا در منطقه هم‌خوانی داشته و در نتیجه به‌عنوان یکی از پیشنهانشانگرهای وقوع زلزله مطرح می‌شود.

منابع

- امیری، م.، کرمخانی، آ.، رحیمی، ح.، ۱۴۰۰، بررسی روش‌های پیش‌بینی میان‌مدت زمین‌لرزه با تمرکز بر پیشنهانشانگرهای لرزه‌شناختی، چهلمین همایش (گردهمایی) ملی علوم زمین، ۲-۳ اسفند ۱۴۰۰، ص ۱۰-۱.
- Aki, K., (1965), Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits, Bulletin Earthquake Research, 43, 237-239.
- El-Isa, Z. H. and David W. Eaton., (2014), Spatiotemporal variations in the b -value of earthquake magnitude-frequency distributions: Classification and causes. Tectonophysics 615, 1-11.
- Gupta, H.K., (2011), Encyclopedia of solid earth geophysics. Springer Science Business Media B.V.
- Gutenberg, R. and Richter, C. F., (1944), Frequency of earthquakes in California, Bull. Seismol. Soc. Am., 34, 185-188.
- Keilis-Borok, V.I., and Soloviev, A.A., (2003), Nonlinear dynamics of the lithosphere and earthquake prediction. Springer-verlag, Berlin, 166-172.
- McNutt, S.R., (2005), Volcanic seismology. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 331, 461-491.
- Shi, Y., Bolt, B.A. (1982), The standard error of the magnitude-frequency b -value, Bull. Seismol. Soc. Am., 72, 1677-1687.
- Wiemer, S., (2001), A software package to analyze seismicity: ZMAP: Seism. Res. Lett., 72, 373-382.
- Wiemer, S., Wyss, M., (1997), Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: An improved technique to calculate recurrence times, Journal of Geophysics Research, 102, 15,115-15,128.
- Wiemer S., Wyss, M., (2002), Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes. Adv Geophys 45:259-302.