

Estimation of Optimal Parameters and Relations for Efficient Design of an Earthquake Early Warning System in Tehran

Mohamadreza Ghayamghamian
Professor, Risk Management Research Center
mrgh@iiees.ac.ir

Anooshirvan Ansari, Mohammad Sassani

Rapid magnitude estimation relations for earthquake early warning systems in the Alborz region have been developed based on the initial first seconds of the P -wave arrival. For this purpose, a total of 717 accelerograms recorded by the Building and Housing Research Center in the Alborz region with the magnitude (M_w) range of 4.8–6.5 in the period between 1995 and 2013 were employed. Average ground motion period (τ_c) and peak displacement (P_d) in different time windows from the P -wave arrival were calculated, and their relation with magnitude was examined. Four earthquakes that were excluded from the analysis process were used to validate the results, and the estimated magnitudes were found to be in good agreement with the observed ones. The results show that using the proposed relations for the Alborz region, earthquake magnitude could be estimated with acceptable accuracy even after 1 s of the P -wave arrival.

In this research, the possibility on the application of the earthquake early warning system in Tehran city as a part of the Alborz region was examined. An attempt was made to introduce new scaling relations by employing the data not only in the Tehran area but also in the whole Alborz region with magnitudes up to 7.4. To this end, the acceleration data recorded by Building and Housing Research Center (BHRC) in the Alborz region are used here. These data are collected among 81 stations with magnitudes in the range of 4.8 to 6.5 and distances in the range of 18 to 90 km in a period between 1995 and 2013, Figure (1).

In order to provide an efficient algorithm, the τ_c and P_d parameters are used to estimate earthquake magnitude for the time windows of one, two, three, and four seconds after P -wave arrival. The scaling relation among τ_c and P_d parameters with the magnitude are developed for all the time windows. It is shown that the introduced relation of the parameters for one-second time window provide reasonable (standard error of ± 0.36) earthquake magnitude estimation only after one second of P -wave arrival. The developed relations for different time windows showed a slight difference, suggesting that a single relation could

تعیین پارامترها و روابط بهینه برای طراحی کارآمد یک سیستم هشدار سریع زلزله در شهر تهران

محمد رضا قائم‌مقامیان
استاد پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران
mrgh@iiees.ac.ir

انوشیروان انصاری، محمد ساسانی

در این تحقیق، با استفاده از ثانیه‌های ابتدایی موج P ، روابطی جهت تخمین سریع بزرگای زلزله در منطقه لرزه‌زمین‌ساختی البرز ارائه شده است. بدین منظور از ۷۱۷ شتابنگاشت ثبت شده توسط دستگاه‌ها مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی برای زلزله‌های با بزرگای گشتاوری ۴/۸–۶/۵ در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۳ استفاده شده است. پارامترهای پریود میانگین (τ_c) و بیشینه جابه‌جایی موج (P_d) در بازه‌های زمانی مختلف (یک تا چهار ثانیه) پس از دریافت موج P ، محاسبه شده و رابطه این پارامترها با بزرگای گشتاوری زلزله مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. چهار زلزله نیز از لیست تحلیل‌ها خارج شده و از اطلاعات رکوردهای آن برای صحت‌سنجی نتایج استفاده شده است. نکته حائز اهمیت آن است که صحت‌سنجی نتایج حاکی از دقت بالای روابط بوده به نحوی که با کمترین خطا بزرگای زلزله‌های مورد نظر تخمین زده شده است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از روابط توسعه یافته در این تحقیق تخمین مناسبی از بزرگای زلزله در ناحیه لرزه‌زمین‌ساختی البرز را برای استفاده در سامانه هشدار سریع زلزله ارائه می‌دهد.

ناحیه لرزه‌زمین‌ساختی البرز که بخش شمال و شمال غرب ایران را در برمی‌گیرد تاکنون زلزله‌های مخربی را تجربه کرده است، شکل (۱). شهر تهران نیز در این ناحیه قرار داشته که این نکته اهمیت مطالعات هشدار سریع در این ناحیه را چندین برابر می‌کند. به منظور انجام این مطالعات مؤلفه قائم شتابنگاشت‌های ثبت شده در ۸۱ ایستگاه در این منطقه از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۳ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

به منظور تخمین بزرگای زلزله با کمترین خطا و در کمترین زمان ممکن، روابط پارامترهای اشاره شده (پریود میانگین و بیشینه جابه‌جایی موج P) با بزرگای زلزله در بازه‌های زمانی ۱، ۲، ۳ و ۴ ثانیه استخراج شد و برای هر کدام از روابط دقت تخمین بزرگای زلزله نیز ارزیابی گردید. در انتها با بررسی تمامی روابط، مشخص گردید رابطه استخراجی برای پنجره زمانی یک ثانیه از دقت قابل قبولی جهت تخمین بزرگای زلزله برخوردار می‌باشد. همچنین روابط استخراجی برای بازه‌های زمانی مختلف، اختلاف اندکی با هم داشتند که در نتیجه جهت جلوگیری از محاسبات زمانبر و تکراری می‌توان در بازه‌های مختلف زمانی از یک رابطه واحد استفاده نمود. از آنجا که در اغلب مطالعات مروط به هشدار سریع زلزله از پنجره زمانی ۳ ثانیه در استخراج روابط استفاده می‌گردد، کاهش دو ثانیه‌ای این زمان می‌تواند دامنه منطقه مورد هشدار را گسترش دهد به نحوی که جمعیت بیشتری از اعلام هشدار زلزله مطلع گردند.

به منظور ارزیابی صحت تخمین روابط پیشنهادی، چهار زلزله که در قسمت آنالیز روابط کنار گذاشته شده بودند در مرحله صحت‌سنجی مورد ارزیابی قرار گرفته و بزرگای آنها با روابط استخراجی تخمین زده شد که

be used for different time windows. The current studies in the field of EEWS generally estimate these parameters in the 3-second time window. A two-second reduction in computing time leads to a decrease in earthquake losses in a wide range of target areas. In areas where cities are located near active faults (such as Tehran), this reduction in time can be considered as an important achievement in effective performance of the earthquake early warning system. This change in the time of calculations has a direct impact on the casualties caused by the earthquake.

$$M_W = 0.41M_{W(\tau_c)} + 0.32M_{W(P_d)} + 0.27M_{W(\tau_c \times P_d)}$$

$$\text{Time-window} = 2s$$

The above relation is examined by comparison between observed and estimated magnitudes for four different earthquakes, which are excluded from the employed data in derivation of proposed relations, Table (1).

The good agreement between observed and estimated magnitudes provides more confirmation to the results and is used to validate the accuracy of the proposed relations for earthquake early warning system in Tehran.

In another part of this study, a new method is proposed for rapid estimation of earthquake magnitudes in the near-fault zone. In this method, by rapid estimating the friction parameter, the slip-weakening distance D_c , and using the near fault records, the magnitude of the earthquake is determined. In this part of the study, the near record of faults related to 14 major global earthquakes was studied and four of them were used in the validation phase. The results of this section of the analysis are presented in Table (2).

As it can be seen in the table, this method is very accurate for the near fault zone and provides the good estimate of earthquake magnitude in near-fault area.

Keywords: Earthquake early warning, Near fault zone, Friction behavior of fault, Slip-weakening distance

نتایج آن در جدول زیر ارائه شده است.

همان طور که در جدول (1) مشاهده می‌گردد روابط استخراجی تخمین با دقت بالایی از بزرگای زلزله را ارائه داده‌اند که این امر استفاده از این روابط برای سامانه هشدار سریع زلزله در ناحیه لرزه‌زمین‌ساختی البرز را تأیید می‌کند.

در بخشی دیگر از این تحقیق، برای ناحیه نزدیک گسل با استفاده از اصول مکانیک سنگ و فرآیند گسلش رابطه تخمین بزرگای زلزله در ثانیه‌های ابتدایی رخداد زلزله ارائه گردیده است. معادله رفتاری استفاده شده در این روش قانون اصطکاکی ضعیف‌شدگی با لغزش می‌باشد. به منظور تخمین بزرگای محاسبه دو پارامتر انرژی اولیه آزاد شده و فاصله ضعیف‌شدگی استفاده گردید. برای محاسبه انرژی اولیه آزاد شده، پارامترهایی مانند ابعاد گسل، مدول برشی سنگ، فاصله ضعیف‌شدگی (D_c) و لغزش میانگین روی سطح گسل مورد نیاز است. این پارامترها حتی در زمان پس از وقوع زلزله نیز در کارهای تحقیقاتی همچون شبیه‌سازی سینماتیکی و دینامیکی گسل، به راحتی قابل تعیین نبوده و دقت تخمین آنها نیز مورد اطمینان نمی‌باشد. لذا در مرحله بعد سعی شد با توجه به اینکه پارامتر فاصله ضعیف‌شدگی تأثیر مستقیم در انرژی اولیه آزاد شده در گسل دارد، از این پارامتر برای تخمین مستقیم بزرگای زلزله استفاده گردد. لازم به ذکر است در تعیین این پارامتر، تنها راستای گسل، مورد نیاز است که برای گسل‌های فعال، با توجه به سابقه لرزه‌خیزی آنها این پارامتر قابل تعیین می‌باشد. در نتیجه، استفاده مستقیم از پارامتر فاصله ضعیف‌شدگی جهت تخمین بزرگای زلزله با هدف کاربرد در سامانه هشدار سریع زلزله، منطقی بوده، سرعت و دقت سامانه پیشنهادی نیز با این روش بالا می‌رود.

از آنجا که در این روش از نداشت ایستگاه‌های نزدیک گسل استفاده شده است، بلافاصله پس از وقوع زلزله تخمین پارامتر فاصله ضعیف‌شدگی آغاز شده و برای محاسبه این پارامتر پنجره زمانی ثابتی منظور نمی‌گردد و هرگاه معیارهای مورد نیاز برآورده شود می‌توان این پارامتر را محاسبه نمود. این مسأله باعث بالا رفتن سرعت اعلام هشدار شده، زمان فراهم شده برای اقدام و واکنش اضطراری را افزایش می‌دهد.

در این بخش، از تحقیقات رکورد نزدیک گسل مربوط به چهارده زلزله بزرگ دنیا مورد مطالعه قرار گرفته که چهار عدد از این زلزله‌ها نیز در مرحله صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج این بخش از تحلیل‌ها در جدول (2) ارائه شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، استفاده از این روش برای حوزه نزدیک گسل از دقت بالایی برخوردار بوده و تخمین مناسبی از بزرگای زلزله ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: هشدار به هنگام زلزله، حوزه نزدیک گسل، رفتار اصطکاکی گسل، پارامتر فاصله ضعیف‌شدگی

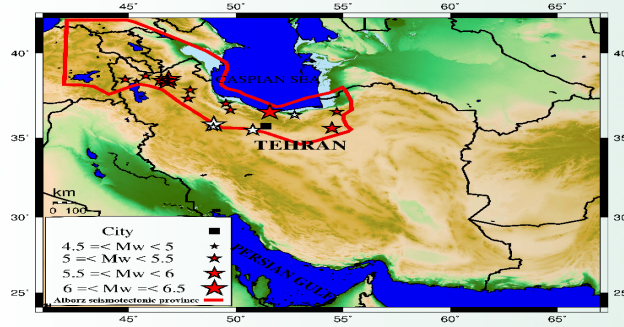


Figure 1: Distribution of events in Alborz area (solid stars) and events that are used for verification analysis (white stars)

Table 1: Estimated and observed magnitude for earthquakes that were excluded from the analysis

Event date (yyyy/mm/dd)	Estimated magnitude			M_w reported	Percentage Error (%)
	M_w τ_c	M_w P_d	M_w final		
2002/06/22	6.2	6.2	6.2	6.5	4.6
2002/09/02	5.1	5.5	5.3	5.2	1.9
2007/06/18	6.1	5.3	5.7	5.5	3.6
2012/01/11	5	5.1	5	5	0.0

Table 2: Estimated magnitudes based on Dc method versus observed magnitude for earthquakes that were excluded from the analysis

Event name	Reported Magnitude	Estimated Magnitude
	M_w	M_w
Landers (1992)	7.3	7.6
Tottori (2000)	6.6	6.8
Denali (2002)	7.9	8.2
Bam (2003)	6.5	6.8