

تعیین سریع بزرگی زمین‌لرزه در شبکه لرزه نگاری دانشگاه فردوسی مشهد

سید محمد صادق جعفری^۱، حسین صادقی^۲، سید کیوان حسینی^۳

^۱ کارشناس ارشد زئوفیزیک-زلزله شناسی، مرکز تحقیقات زمین‌لرزه شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، sms.jafari.eg@gmail.com

^۲ دانشساز، مرکز تحقیقات زمین‌لرزه شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، sadeghi@um.ac.ir

^۳ استادیار، مرکز تحقیقات زمین‌لرزه شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، k-hosseini@um.ac.ir

چکیده

تعیین سریع بزرگی در کاهش خسارات و تلفات زمین‌لرزه بسیار اهمیت دارد. این مطالعه با استفاده از دوره تناوب غالب موج P در داده‌های شبکه لرزه نگاری باند پهن دانشگاه فردوسی مشهد (FUMSN) انجام شده است. تعیین دوره تناوب غالب موج P مستلزم روشی است که بتواند مدت زمان آشفتگی حاصل از نوافه زمینه در ابتدای دریافت موج P را مشخص کند. برای این کار ما دو روش را به نام "تفاضل" و "لبه" معرفی می‌کنیم. پس از تعیین زمان آشفتگی، بیشترین مقدار دوره تناوب محاسبه شده، دوره تناوب غالب خواهد بود. برآنش رابطه‌ای به دوره تناوب غالب محاسبه شده و بزرگی زلزله‌های ثبت شده نشان می‌دهد که با انتخاب یک پنجره زمانی کمتر از ۱۰ ثانیه (بسته به روش و نرخ نمونه برداری) از آغاز زمان رسید موج P، بزرگی زمین‌لرزه با خطای ۰/۶ تعیین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لرزه، بزرگی، موج P، دوره تناوب غالب، نوافه، تفاضل، لبه

Rapid Determination of Earthquake Magnitude in FUM Seismic Network

Seyyed-Mohammad-Sadegh Ja'fari¹, Hossein Sadeghi², Sayyed Keivan Hosseini³

¹ M.Sc. in Geophysics-Seismology, Earthquake Research Center, Ferdowsi University of Mashhad,
sms.jafari.eg@gmail.com

² Associate Prof. Earthquake Research Center, Ferdowsi University of Mashhad, sadeghi@um.ac.ir

³ Assistant Prof. Earthquake Research Center, Ferdowsi University of Mashhad, k-hosseini@um.ac.ir

Abstract

Rapid determination of earthquake magnitude is very important in decreasing damages and casualties of the earthquake. This study is done by applying the predominant period of P wave on broadband data of Ferdowsi University of Mashhad Seismic Network (FUMSN). Determination of predominant period of P wave needs a method that can detect the transient time of first P wave onset. To do this, we introduce methods called "Diff" and "edge." After detecting transient time, the maximum calculated period is predominant period. Fitting a relation between predominant period and magnitude of recorded earthquakes shows that in the time window, less than 10 seconds (depends on approach and sampling rate), after the P wave trigger, the magnitude will be determined with a standard deviation of 0.6.

Keywords: Earthquake, magnitude, P wave, predominant period, transient, difference, edge

۱ مقدمه

مطالعات مشاهداتی بر روی ارتباط بین مشخصات بخش‌های آغازین موج زلزله، با دو هدف کلی انجام می‌گیرد. یکی درک و فهم فیزیک گسیختگی زلزله و دیگری مطالعه ارتباط بین اولین سیگنال‌های ثبت شده در لرزه‌نگارها و بزرگی رخداد برای تخمین سریع بزرگی است که می‌تواند در سامانه‌های هشدار سریع نیز استفاده شود (Ben-Zion و Lewis، ۲۰۰۸). این سامانه‌ها در بسیاری از کشورهای دنیا با روش‌های متفاوت و با بررسی خصوصیات مختلف امواج لرزه‌ای در حال اجرا و یا

آزمایش است و با توجه به اینکه موج P سریع‌تر از سایر امواج حرکت می‌کند، عمدۀ مطالعات بر روی این موج انجام شده است. به عنوان مثال می‌توان به کشورهای ژاپن، تایوان، مکزیک، ایالات متحده، رومانی، ترکیه، چین، سوئیس، ایتالیا و ایران اشاره کرد. چهار روش متداول نرم‌افزاری به عنوان روش‌های هشدار سریع زلزله عبارتند از (Allen و همکاران، ۲۰۰۹؛ ElarmS؛ PreSEIS و Presto، Virtual Seismologist از میان این روش‌ها، با پردازش موج لرزه‌ای، زمان رسید موج P، P_d (بیشترین جابجایی موج P)، τ_p^{\max} (پریود غالب موج P) و نسبت سیگنال به نویز را به دست می‌آورد. بیشترین جابجایی، هر ثانیه تعیین می‌شود. این پارامترها به صورت دائم به یک برنامه بررسی رخداد منتقل می‌شوند که بین رسید موج و زلزله، همبستگی ایجاد می‌نماید، محل زلزله را بر اساس زمان رسید، تعیین می‌نماید، با استفاده از P_d و τ_p^{\max} ، بزرگی را تخمین می‌زند و توزیع لرزش زمین را با استفاده از روابط کاهیدگی و تصحیحات مکانی، پیش‌بینی می‌نماید. سیستم در هر ثانیه به روز می‌شود و یک نقشه هشدار برای لرزش زمین پیش‌بینی شده، فراهم می‌نماید (Allen و همکاران، ۲۰۰۹). در این مطالعه برای تعیین بزرگی از روش دوره تناوب (پریود) غالب موج P استفاده شد.

۲ روش تحقیق و داده‌ها

برای تعیین بزرگی با استفاده از روش پریود غالب موج P مراحل زیر بر روی داده‌های ثبت شده در شبکه لرزه نگاری باند پهن دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. ابتدا بر روی داده‌ها فیلتر Butterworth میانگذر ۱/۰ تا ۱۰ هرتز اعمال می‌شود تا نویزهای فرکانس بالا حذف شوند و نسبت سیگنال به نویز بیشتر شود (Lockman و Allen، ۲۰۰۷). مرتبه این فیلتر ۸ می‌باشد که معادل وجود ۴ قطب است. پس از آن یک پنجره زمانی ۱۰ ثانیه‌ای از زمان آغاز موج P انتخاب شده و سپس با استفاده از روابط ۱ تا ۳، پریود غالب محاسبه می‌شود (Lockman و Allen، ۲۰۰۷).

$$T_i^P = 2\pi\sqrt{X_i / D_i} \quad (1)$$

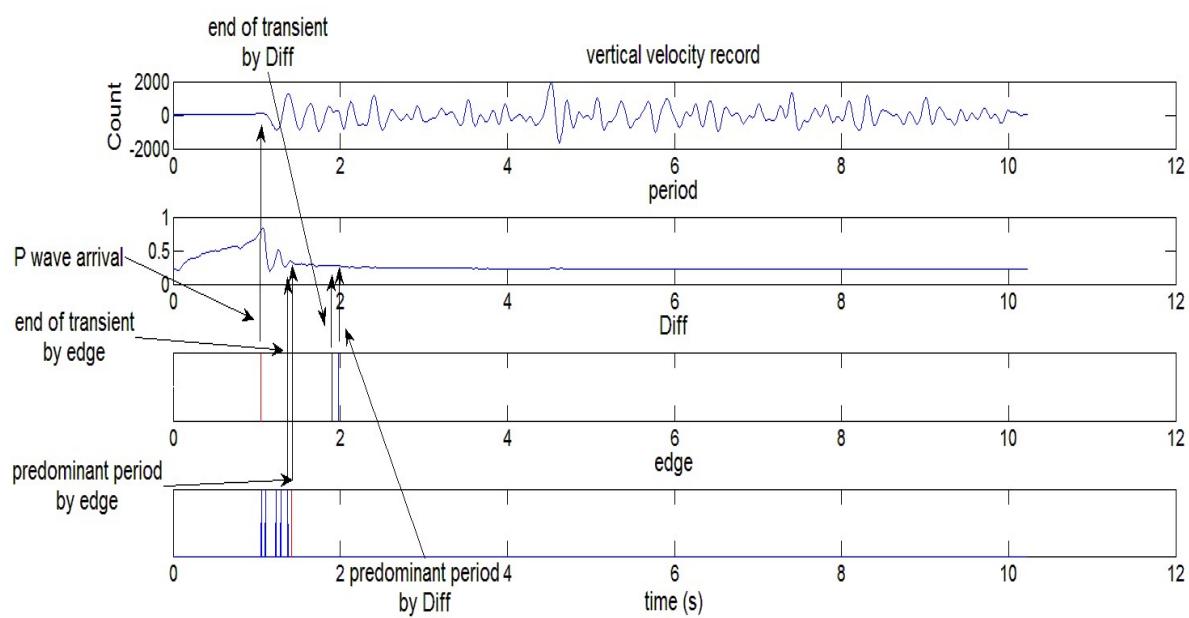
$$X_i = \alpha X_{i-1} + x_i^2 \quad (2)$$

$$D_i = \alpha D_{i-1} + (dx / dt)_i^2 \quad (3)$$

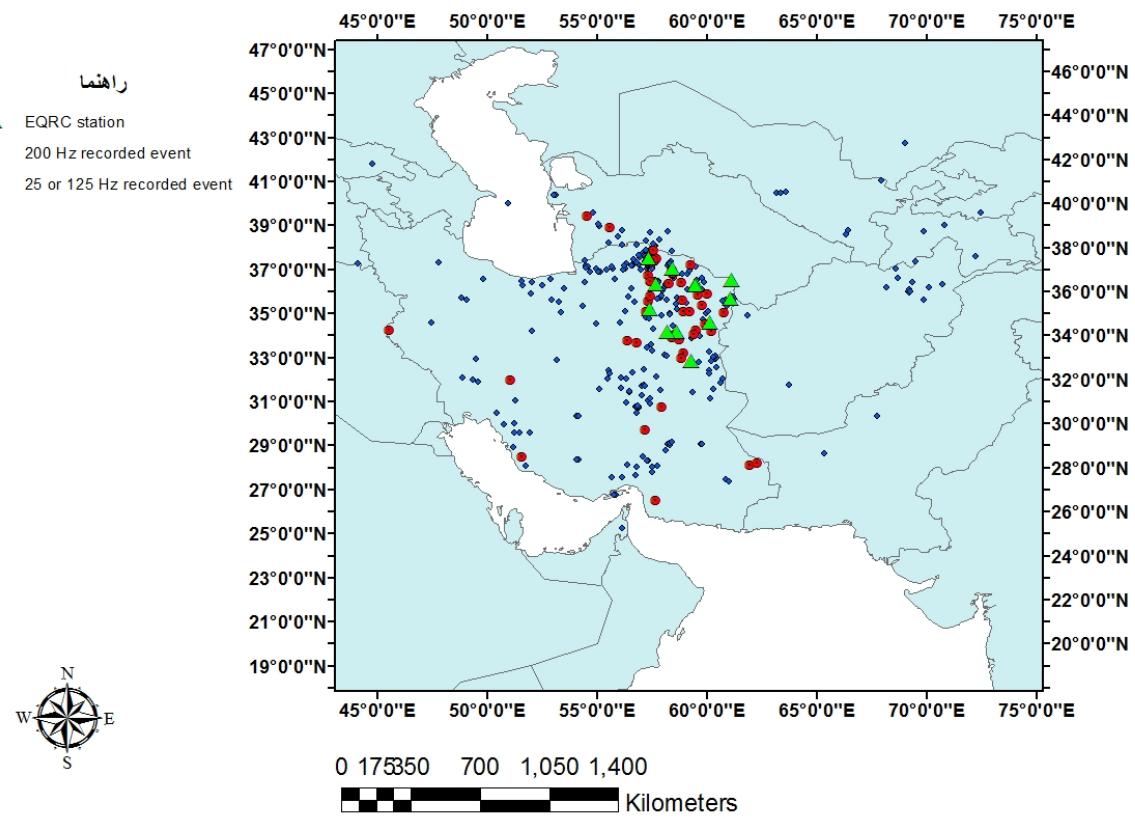
T_i^P پریود غالب برای نمونه i و x_i سرعت زمین و X_i مجدور سرعت هموار شده و D_i مجدور مشتق سرعت هموار شده و ضریب هموار کننده است.

اما از این پارامتر مستقیماً نمی‌توان استفاده کرد چرا که در ابتدای پریود محاسبه شده مقداری آشفتگی و ناپایداری دارد (Lockman و Allen، ۲۰۰۷). برای یافتن مدت زمان آشفتگی و رسیدن به زمان آرامش دو روش بکار گرفته شد. روش اول که آنرا "تفاضل" (Diff) می‌نامیم اساس آن گرفتن تفاضل از داده‌ها است و با این کار تغییرات تشخیص داده شده و زمان کاهش تغییرات به عنوان زمان آرامش در نظر گرفته می‌شود. روش دیگر روش "لبه" (edge) است که برای اجرای آن از تابعی با همین نام (Gonzalez و Woods، ۲۰۰۱) در نرم‌افزار Matlab بهره جستیم. وظیفه این تابع لبه‌ابی (محل تغییرات) در تصاویر و پردازش تصویر است که اساس آن نیز مشتق‌گیری از داده‌ها به وسیله یک پنجره مشتق‌گیر متحرک است و تغییرات در یک سری از داده‌ها را مشخص می‌نماید.

رابطه بین پریود غالب با بزرگی از این دو طریق محاسبه شد، به صورتی که از لحظه از بین رفتن آشفتگی بیشترین مقدار پریود محاسبه شده در یک پنجره زمانی ۴ ثانیه‌ای (Lockman و Allen، ۲۰۰۷) پریود غالب نامیده می‌شود (شکل ۱). شکل ۲ موقعیت زمین لرزه‌های مورد استفاده و همچنین ایستگاه‌های شبکه لرزه نگاری باند پهن دانشگاه فردوسی مشهد را نشان می‌دهد.



شکل ۱. تعیین پریود غالب به وسیله دو روش Diff و edge



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌ها و زمین‌لرزه‌های مورد استفاده

۳ نتیجه‌گیری

در جدول ۱ زمان لازم برای رفع آشفتگی و رسیدن به آرامش با توجه به دو روش معرفی شده و همچنین نرخ نمونه برداری فهرست شده است.

جدول ۱. نتایج به دست آمده برای تعیین زمان لازم برای رسیدن به آرامش

زمان لازم برای رسیدن به آرامش (ثانیه)	نرخ نمونه برداری	روش
۰/۴۸ ± ۰/۴۷	25 Hz	Diff
۰/۳۲ ± ۰/۴۱	125 Hz	
۱/۱۱ ± ۰/۹۶	200 Hz	
۱/۱۱ ± ۰/۵۸	میانگین ایستگاههای 200 Hz	
۳/۸۶ ± ۳/۲۳	25 Hz	edge
۴/۳۶ ± ۳/۵۳	125 Hz	
۲/۱۸ ± ۲/۸۲	200 Hz	
۲/۱۹ ± ۱/۹۶	میانگین ایستگاههای 200 Hz	

بطور کلی روابط برازش شده بین بزرگی و پریود غالب محاسبه شده از روش Diff همبستگی بهتر و خطای کمتری را از روش edge نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاصل از اعمال روش Diff بر داده‌هایی با نرخ نمونه برداری ۲۰۰ هرتز و به صورت میانگین در ایستگاههای ثبت شده زمین لرزه دقت بالاتری را نشان می‌دهند. این رابطه بصورت زیر بدست می‌آید.

$$M = -0.02 \left(\tau_P^{max} \right)^2 + 0.66 \tau_P^{max} + 3.45 \pm 0.6 \quad (4)$$

منابع

- Allen, R. Gasparini, P. Kamigaichi, O. Bose, M. 2009. The Status of Earthquake Early Warning around the World: An Introductory Overview. Seismological Research Letters, **80**, 5, 682 - 693.
- Gonzalez, R. Woods, R. 2001. Digital Image Processing. Prentice Hall. **10**, 572 – 578.
- Lewis, M. Y, Ben-Zion. 2008. Examination of scaling between earthquake magnitude and proposed early signals in P waveforms from very near source stations in a South African gold mine. Journal of Geophysical Research, **113**.
- Lockman, A. Allen, R. 2007. Magnitude-Period Scaling Relations for Japan and the Pacific Northwest: Implications for Earthquake Early Warning. Bulletin of the Seismological Society of America, **97**, 1B, 140–150.
- MATLAB and Statistics Toolbox Release 2012b, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States.