تعیین بزرگای گشتاوری Mw با استفاده از طیف‌های میدان نزدیک رکوردهای جنبش نیرومند

سارا گودرزی[۱]، محمد شکری کاوه[۲]، رامین موقری[۳]، سید رضا منصوری[۴]

[۱]دانشجوی دکتری زلزله‌شناسی، موسسه ژئوفیزیک- دانشگاه تهران،

sara.guodarzi@ut.ac.ir

[۲]دانشجو دکتری زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله،

mohammad.shokrikaveh@stu.iiees.ac.ir

[۳]دکتری زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله،

r.movaghari@iiees.ac.ir

[۴] استادیار، گروه ژئوفیزیک، دانشگاه خلیج‌فارس بوشهر،

s.r.mansouri@pgu.ac.ir

چکیده

گشتاور لرزه‌ای و بزرگای گشتاوری Mw متناظر، به طور کلاسیک از طیف امواج درونی دور به دست می‌آیند. رکوردهای میدان نزدیک معمولاً برای این منظور مورداستفاده قرار نمی‌گیرند، به‌ویژه در مورد زلزله‌های بزرگ، زیرا انواع مختلف امواج به طور هم‌زمان می‌رسند و از تعریف یک رابطه ساده بین گشتاور لرزه‌ای و طیف جلوگیری می‌کنند. در این مطالعه یک روش سریع برای تعیین Mw از طیف جابه‌جایی رکوردهای میدان نزدیک ارائه شده است. دامنه طیفی در فرکانس پایین به‌دست‌آمده از رکوردهای واقعی با رکوردهای مصنوعی محاسبه شده با استفاده از مدل‌های گسیختگی سینماتیک مقیاس‌بندی شده با Mw مقایسه می‌شود. رکوردهای مصنوعی برای جهت‌گیری‌های مختلف گسل و فواصل کانونی از ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتر محاسبه و میانگین‌گیری می‌شوند. مقادیر طیفی مصنوعی به عنوان تابعی از بزرگای گشتاوری، فاصله کانونی و فیلترکردن فقط یک‌بار محاسبه و ذخیره می‌شوند. دامنه‌های طیفی رکوردهای واقعی به‌سادگی در جداول داده‌های مصنوعی درون‌یابی می‌شوند که امکان تعیین سریع Mw را فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بزرگی گشتاوری، سطح طیفی، نگاشت مصنوعی، حوزه نزدیک.

Determination of Moment Magnitude Mw using Near-Field Spectra of Strong-Motion Records.

Sara Goudarzi[1], Mohammad Shokri-Kaveh[2], Ramin Movaghari[3], reza mansouri[4]

[1] Ph.D. Student, Department of Earth physics, Institute of Geophysics, University of Tehran,E-mail: sara.guodarzi@ut.ac.ir

[2] Ph.D. Stu, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), E-mail: mohammad.shokrikaveh@stu.iiees.ac.ir

[3] Ph. D in Seismology, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), E-mail: r.movaghari@iiees.ac.ir

[4] Assistant Professor, Department of Geophysics, Persian Gulf University, Bushehr, Email: s.r.mansouri@pgu.ac.ir

Abstract

Seismic moment and the corresponding moment magnitude Mw are classically obtained from the spectrum of far-field body waves. Near-field seismograms are generally not used for that purpose, exclusively in the case of large earthquakes because different types of waves arrive concurrently, averting the definition of a simple relation between the seismic moment and the spectrum. here presented a method to determine Mw from the displacement spectra of near-field records. The spectral amplitude at low frequency obtained from the real seismograms is compared to that of synthetic seismograms computed using kinematic rupture models scaled with Mw. Synthetic records are computed and averaged for various fault orientations and for epicentral distances

ranging from 10 to 100 km. The synthetic spectral values as a function of moment magnitude, epicentral distance, and filtering are computed only once and stored. The spectral amplitudes of the real records are simply interpolated in the tables of synthetic data, providing that fast determination of Mw.

Keywords: Moment magnitude, Spectral level, Synthetic seismogram, Near-field

۱ مقدمه

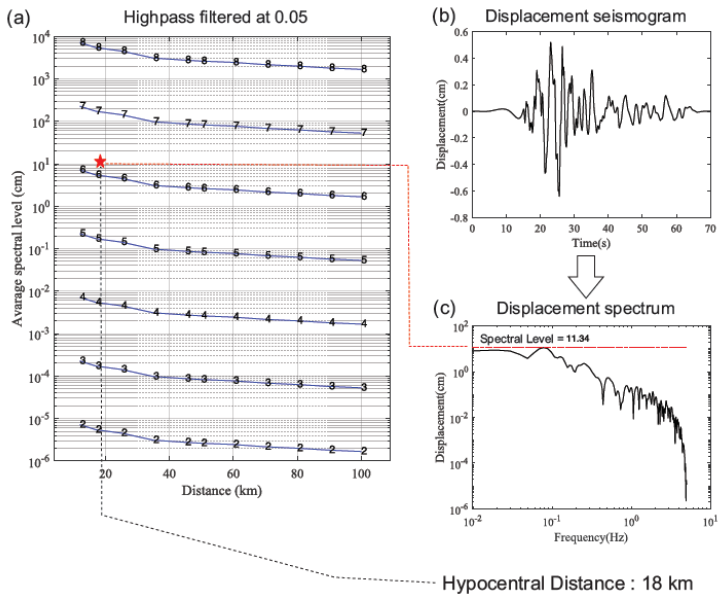
بزرگی گشتاوری به‌عنوان نمایش لگاریتمی گشتاور لرزه‌ای، بزرگی است که به بهترین شکل اندازه زمین‌لرزه را مشخص می‌کند (کاناموری، ۱۹۷۷)، اگرچه برخی از خواص زلزله ممکن است با بزرگی‌های دیگر مانند بزرگای انرژی Me برای قدرت لرزش بهتر توصیف شوند. به طور کلاسیک از طیف جابجایی میدان دور امواج درونی (P یا S)، در فاصله‌ای که چشمه را می‌توان با یک چشمه نقطه‌ای تقریب زد، به دست می‌آید. در چنین شرایطی گشتاور لرزه‌ای را می‌توان به‌صورت تحلیلی با دامنه طیفی مرتبط کرد (برون، ۱۹۷۰، ۱۹۷۱). لرزه‌نگارشت‌های میدان نزدیک به‌دست‌آمده از شتاب‌سنج‌های نزدیک چشمه، اولین داده‌های موجود برای هشدارهای سریع لرزه‌ای را ارائه می‌دهند. مطالعات متعددی امکان به دست آوردن بزرگی را از قسمت اولیه موج P مورد بررسی قرار داده‌اند که امکان هشدار اولیه لرزه‌ای را قبل از وقوع جنبش مخرب زمین فراهم می‌کند. این مطالعات روابط خطی را بین بزرگی و برخی از خواص چند ثانیه اول موج P، مانند دوره غالب (آلن و کاناموری، ۲۰۰۳؛ وو و کاناموری، ۲۰۰۸) یا حداکثر جابجایی زمین در یک محدوده فرکانسی مشخص را نشان داده‌اند (وو و ژائو، ۲۰۰۶؛ زولو و همکاران، ۲۰۰۶). رابطه بین طیف لرزه‌نگاشت‌های میدان نزدیک و گشتاور لرزه‌ای، به‌ویژه در مورد زلزله‌های بزرگ، ساده نیست. لرزه‌نگاشت‌های نزدیک چشمه ناشی از تداخل‌های پیچیده امواج دور، میانی و میدان نزدیک است که تحت‌تأثیر ویژگی ابعاد محدود فرایند گسیختگی قرار دارند. امواج درهم‌آمیخته، الگوهای تابش مختلف و عوامل انبساط هندسی ($1/r$ برای میدان دور و $1/r^2$ برای میدان نزدیک و میانی، آکی و ریچاردز، ۱۹۸۰؛ وو و بن-مهاهم، ۱۹۸۵)، و همچنین سرعت‌های موج متفاوت (P و S) را ترکیب می‌کنند، و این مانع از تعریف یک رابطه تحلیلی ساده بین طیف و گشتاور لرزه‌ای می‌شود. انواع گوناگون امواجی که از گسیختگی ساطع می‌شوند، با تأثیر بسیار قوی‌تر امواج میدان نزدیک و میانی در هم آمیخته می‌شوند، که باعث ایجاد یک سیگنال دوره طولانی می‌شود که در آن امواج P و S قابل تشخیص نیستند. در چنین حالتی، گشتاور لرزه‌ای را می‌توان با مدل‌سازی لرزه‌نگاشت با استفاده از روش وارونگی لغزش به دست آورد (به عنوان مثال، دلویس و همکاران، ۲۰۰۹a). با این حال، زمان محاسبات به یک نگرانی تبدیل می‌شود و معمولاً برای تنظیم پارامترهای مدل قبل از وارونگی لغزش، تخمین بزرگی گشتاور مورد نیاز است. در این پژوهش برای داده‌های رکوردهای جرکت قوی ایران با الهام از روش MWSYNTH ارائه شده توسط دلویس و همکاران ۲۰۰۹b، که در آن طیف‌های جابجایی مشاهده‌شده با طیف‌های مصنوعی محاسبه‌شده برای انواع مدل‌های چشمه در حوزه میدان نزدیک مقایسه می‌شوند و پیش محاسبه لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی و ساخت جداول با سطح طیفی تنها یک‌بار انجام می‌شود. پردازش رکوردهای واقعی و تعیین Mw با درون‌یابی در جداول مقادیر مصنوعی می‌تواند به عنوان یک روش خودکار برخط اجرا شود.

۲ روش تحقیق

هدف ما تعیین سریع بزرگای گشتاوری زمین‌لرزه‌ها بعد از وقوع و قبل از انجام هرگونه وارونگی چشمه یا مکانیسم کانونی است. تنها پیش‌نیاز، مکان کانونی و تشخیص اولین ورود P در هر ایستگاه است. مکانیسم کانونی از طریق الگوی تابش بر طیف جابجایی تأثیر می‌گذارد. اگر این مکانیسم از مکانیسم واقعی دور باشد، استفاده از یک مکانیسم کانونی خاص برای تولید لرزه‌نگاشت مصنوعی می‌تواند منجر به سوگیری‌های قوی شود. برای غلبه بر این مشکل، اثرات مکانیسم‌های کانونی مختلف را میانگین می‌گیریم. لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی برای شش مکانیسم کانونی مختلف تولید می‌شوند (strike, dip, rake=0/90/90, 90/90/0, 0/45/90, 90/45/90, 135/45/90)، مربوط به گسلش شیب‌لغز و امتدادلغز، برای ایستگاهی که در ۱۰-۱۰۰ کیلومتری رومرکز در آزیموت منفرد N70°E که به طور دلخواه انتخاب شده

است. طیف لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی جابجایی برای پنجره‌های با طول مختلف و فرکانس‌های بالاگذر مختلف محاسبه و در جداول برای استفاده بعدی ذخیره می‌شوند. ما سطح طیفی را به‌عنوان حداکثر مقدار طیف جابجایی در فرکانس پایین، مربوط به طیف مسطح تعریف می‌کنیم. مقادیر ذخیره شده در جداول، سطوح طیفی به طور میانگین در سه مؤلفه (شمال - جنوب، شرق - غرب و عمودی) لرزه‌نگاشت‌ها و بر روی شش مکانیسم کانونی مختلف هستند.

در این مطالعه بزرگی گشتاور Mw برای پنجره‌ی زمانی ۷۰ ثانیه و فرکانس بالاگذر ۰.۰۵ محاسبه شده است. برای هر ایستگاه، جدول از پیش ذخیره شده داده‌های مصنوعی مربوط به همان پنجره زمانی و فرکانس بالاگذر مورداستفاده برای پردازش لرزه‌نگاشت‌های مشاهده شده را انتخاب می‌کنیم. هر جدول حاوی میانگین سطوح طیف مصنوعی به‌عنوان تابعی از بزرگا برای فواصل کانونی مختلف از پیش تعیین شده است. برای هر ایستگاه، بزرگی گشتاوری مربوط به سطح طیفی مشاهده شده و فاصله واقعی کانون با درونیابی در مقادیر جدول پیدا می‌شود. ما این روش را بر روی یک رکورد جنبش نیرومند از یک زلزله مرجع (زلزله اهر - ورزقان) با بزرگای ۶.۱Mw که در ایستگاه اهر ثبت شده است اعمال کردیم. شکل۱ فرایند را برای رکورد ثبت شده در این ایستگاه نشان می‌دهد. درونیابی برای فاصله خطی و برای سطح طیفی لگاریتمی است. رکورد جنبش نیرومند زلزله مرجع از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی تهیه شده است.



شکل۱. طرحی که اصل تعیین بزرگی گشتاور را نشان می‌دهد. (a) نمایش گرافیک جدولی از مقادیر از پیش محاسبه شده سطح طیفی متوسط به عنوان تابعی از بزرگی و فاصله کانونی، برای لرزه‌نگاشت‌های جابجایی مصنوعی بالا گذر فیلتر شده در ۰.۰۵ هرتز. برچسب‌های روی منحنی‌ها بزرگی گشتاوری را نشان می‌دهند. (b) لرزه‌نگاشت جابجایی و فیلتر بالاگذر در ۰.۰۵ هرتز برای حذف اثر خطی روی جابجایی. (c) طیف جابجایی به دست آمده از تبدیل فوریع سریع از (b). بزرگی گشتاوری مربوط به سطح طیفی (۱۱.۳۴ سانتی متر) و فاصله کانونی (۱۸ کیلومتر) با درون یابی در جدول به دست می‌آید، همانطور که توسط خط چین‌ها نشان داده شده است. نقطه نشان دهنده بزرگی گشتاوری محاسبه شده از این رکورد با ستاره قرمز در (a) نشان داده شده است. در این پژوهش، سطوح طیفی سه مولفه یک ایستگاه جنبش نیرومند به طور میانگین محاسبه می‌شود. در این شکل فقط مولفه قائم ایستگاه اهر برای سادگی نشان داده شده است، در حالی که در واقعیت ما مقادیر را از سه مولفه میانگین می‌گیریم. با این مولفه بزرگی به دست آمده Mw6.1 است.

۳ نتیجه‌گیری

هدف ما در این مطالعه بدست آوردن تخمینی قابل اطمینان از بزرگی گشتاوری Mw در مقیاس زمانی یک تا دو دقیقه پس از زمان منشأ زلزله با استفاده از رکوردهای جنبش نیرومند بود. ازاین‌رو در این مطالعه روش MWSYNTH بر روی داده‌های جنبش نیرومند شبکه شتابنگاری کشور برای برآورد بزرگی گشتاوری اعمال شده است. نتایج حاصل از Mw محاسبه‌شده از این روش در مقایسه با Mw زلزله مرجع بسیار خوب برآورد شده است. نتایج ارزیابی روش با تغییر

پارامترهای مدل مورداستفاده برای محاسبه داده‌های مصنوعی نشان داد که Mw نسبت به پارامترهای مدل بسیار حساس نیست، بیشترین حساسیت مربوط به مدل سرعتی پوسته می‌باشد.

منابع

Aki, K., and P. G. Richards., 1980. Quantitative Seismology, Vol. 1, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 512 pp.

Allen, R. M., and H. Kanamori., 2003. The potential for earthquake early warning southern California, Science 300, 786–789.

Brune, J. N., 1970. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves of earthquakes, J. Geophys. Res. 75, no. 26, 4997–5009.

Brune, J. N., 1971. Correction, J. Geophys. Res. 76, no. 20, 5002.

Delouis, B., Charlety, J. and Vallée, M., 2009b. A method for rapid determination of moment magnitude M W for moderate to large earthquakes from the near-field spectra of strong-motion records (MWSYNTH). Bulletin of the Seismological Society of America, 99(3), pp.1827-1840.

Delouis, B., M. Pardo, D. Legrand, and T. Monfret ., 2009a. The Mw 7.7 Tocopilla earthquake of 14 November 2007 at the southern edge of the northern Chile seismic Gap: Rupture in the deep part of the coupled plate interface, Bull. Seismol. Soc. Am. 99, 87–94.

Kanamori, H., 1977. The energy release in great earthquakes, J. Geophys. Res. 82, 2981–2987.

Wu, R. S., and A. Ben-Mehahem., 1985. The elastodynamic near field, Geophys. J. R. Astr. Soc. 81, 609–621.

Wu, Y.-M., and H. Kanamori., 2008. Development of an earthquake early warning system using real-time strong-motion signals, Sensors 8, 1–9.

Wu, Y.-M., and L. Zhao., 2006. Magnitude estimation using the first three seconds P-wave amplitude in earthquake early warning, Geophys. Res. Lett. L16312, doi 10.1029/2006GL026871.

Zollo, A., M. Lancieri, and S. Nielsen., 2006. Earthquake magnitude estimation from peak amplitudes of very early seismic signals on strongmotion records, Geophys. Res. Lett. 33, L23312, doi 10.1029/ 2006GL027795.