پیش‌بینی پارامترهای جنبش نیرومند زمین زلزله تاریخی ۱۲ فروردین سال ۵۲۹ (ه.ش)، Mw=۶/۱ کرمانشاه

علی سنقری[۱]، احمد سدیدخوی[۲] و مهرداد پاکزاد[۳]

[۱]کارشناس ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، AliSonghori@ut.ac.ir
[۲]استادیار، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، asadid@ut.ac.ir
[۳]استادیار، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، pakzad@ut.ac.ir

چکیده

زاگرس ازنظر لرزه‌خیزی بسیار فعال و زلزله‌خیزترین منطقه ایران است. در منطقه سرپل‌ذهاب یک زلزله بزرگ در تاریخ ۱۲ فروردین سال ۵۲۹ (ه.ش)، Mw ۶/۱ رخ‌داده‌است. وجود اطلاعات از زمین‌لرزه‌های پیشین که حسگری برای ثبت آن‌ها وجود نداشته برای شناسایی خطر زمین‌لرزه، تکمیل کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها، شناخت هرچه بهتر پهنه زاگرس و آمادگی هرچه بهتر در برابر این پدیده طبیعی حائز اهمیت است؛ در این پژوهش شبیه‌سازی زلزله تاریخی مذکور با استفاده از یکی از پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۷/۳ سرپل‌ذهاب، به روش تابع تجربی گرین انجام‌شده است، برای این پژوهش از داده‌های شبکه موقت پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله استفاده شد. نتایج بدست آمده شبیه‌سازی نشان می‌دهند که شباهت قابل قبولی بین شکل‌موج و طیف دامنه فوریه شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده برای پسلرزه موردنظر در ایستگاه‌ها وجود دارد و خطای بدست آمده مقدار قابل قبولی را نشان می‌دهد که با استفاده از آن بهترین تخمین ممکن برای بدست آوردن پارامترهای جنبش زمین برای زلزله تاریخی مذکور بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: جنبش نیرومند زمین، تابع تجربی گرین، سرپل‌ذهاب.

The Strong Ground Motion Parameters Estimation of 1th April 1150 Mw 6.1 Kermanshah Historic Earthquake

Ali Songhori[1], Ahmad Sadidkhouy[2], Mehrdad Pakzad[3]

[1]Postgraduate of Geophysics, University of Tehran, Iran, Alisonghori@ut.ac.ir
[2]Assistant professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran, asadid@ut.ac.ir
[3]Assistant professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran, Pakzad@ut.ac.ir

Abstract

Zagros is very active in terms of seismicity and the most seismic region of Iran. A large earthquake occurred in Sarpolzahab region on 1th April 1150 Mw 6.1. The information from previous earthquakes is important for where there is no sensor. Also, this information is import to identify the risk of earthquakes, complete the earthquake catalog, better understand the Zagros area and be better prepared for this natural phenomenon; In this research, the simulation of the mentioned historic earthquake using one of the 7.3 magnitude seismic aftershocks has been conducted by empirical green's function method. For this research, the data collected from the temporary network of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. The simulation results show that there is an acceptable similarity between the waveform and the simulated and observed Fourier amplitude spectrum for the desired aftershock at the stations. Also, the error shows an acceptable value for the estimation of strong motion parameters of the historic earthquake.

Keywords: Strong Motion, Empirical Green's Function, Sarpolzahab.

۱ مقدمه

کمربند رانده چین‌خورده زاگرس به‌عنوان قسمتی از کمربند کوهزایی آلپ– هیمالیا، یکی از جوان‌ترین و فعال‌ترین زون‌های برخوردی زمین است. این زون فعال مرز شمال شرقی صفحه عربستان را تشکیل می‌دهد. زاگرس ازنظر

لرزه‌خیزی بسیار فعال و زلزله‌خیزترین منطقه ایران است. منطقه موردمطالعه در پژوهش حاضر منطقه کرمانشاه می‌باشد. کرمانشاه منطقه‌ای است که سابقه لرزه‌خیزی با بزرگای بالای ۷ را نیز داراست، می‌توان با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی، اطلاعاتی همچون شناخت توانایی لرزه‌خیزی منطقه، میزان خسارت ناشی از وقوع زمین‌لرزه، کسب اطلاعات لازم برای تحلیل خطر و در نهایت افزایش ضریب ایمنی سازه‌ها و جلوگیری از ساخت‌وساز در حریم گسل مسبب زلزله و ... را بدست آورد. شبیه‌سازی نقش مهمی را در تخمین پارامترهای جنبش نیرومند زمین ایفا می‌کند، از جمله این پارامترها، طول و عرض گسل، راستا و شیب گسل، ابعاد المان‌ها، سرعت امواج برشی، سرعت گسیختگی و نقطه شروع گسیختگی بوده که برای شبیه‌سازی موردنیاز می‌باشند. ممکن است در برخی مناطق داده‌های مناسب در اختیار نباشند و یا دارای پراکندگی بسیار زیادی باشند، ازاین‌رو شبیه‌سازی زمین‌لرزه‌ها می‌تواند نقش قابل‌توجهی در طراحی، ساخت و مقاوم‌سازی هرچه بهتر سازه‌ها و در نتیجه کاهش تلفات و خسارات، داشته باشد. از طرفی به دلیل ماهیت پیچیده حرکات زمین در اثر زمین‌لرزه و دخالت پارامترهای متعددی در آن، ارائه راهکاری واحد که قادر باشد همه خصوصیات جنبش زمین را دربر بگیرد، امری بعید و دور از تصور به نظر می‌رسد. در راستای اهداف ذکر شده، باید سه بخش گسلش و چشمه زمین‌لرزه، تأثیر مسیر انتشار و پیچیدگی‌های زمین‌شناختی بر انتشار، میرایی و پراکندگی زلزله و تأثیر ساختگاهی در تشدید دامنه یا تضعیف آن تا حدی آشکار گردند؛ در نهایت با استفاده از این نتایج می‌توان برآوردی از زلزله‌های احتمالی در ساختگاه موردمطالعه بدست آورد (سنقری و همکاران، ۲۰۱۹). از دلایل و اهمیت‌های مهم انتخاب این دو زمین‌لرزه برای شبیه‌سازی می‌توان به موارد متعددی از قبیل: ۱- نبود گیرنده لرزه‌نگاری برای ثبت این زمین‌لرزه در آن زمان ۲- نبود اطلاعات تاریخی صحیح از چگونگی تاریخچه زمانی و طیف‌های فرکانسی ۳- تکمیل کاتالوگ لرزه‌خیزی ۴- مطالعه دقیق‌تر پارامترهای دخیل در میزان خسارات وارده به مناطق زلزله‌خیز کرمانشاه ۵- از بین بردن پراکندگی داده‌ها و بهبود خطای کاتالوگ زمین‌لرزه‌های تاریخی با ساخت داده‌های مناسب زلزله‌های پیشین ۶- مطالعه هرچه بهتر پارامترهای گسیختگی و بررسی صحت آن‌ها، اشاره کرد؛ لازم به ذکر است در این مقاله فقط اطلاعات مربوط به شکل‌موج و طیف محتوای فرکانسی برای یک ایستگاه، یعنی ایستگاه PALA در زمین‌لرزه مرجع آورده شده است. (در اینجا منظور از زمین‌لرزه مرجع، پس‌لرزه ۱۵ آذر سال ۱۳۹۶، Mw = ۴/۷ که به علت نزدیک بودن محل وقوع زمین‌لرزه‌ها و یکسان بودن گسل مسبب دو زمین‌لرزه، صفحه اصلی گسل مسبب، لرزه‌زمین‌ساخت، رژیم ژئودینامیکی، توپوگرافی و سایر پارامترها، انتخاب شده است).

۲ روش تحقیق

روش شبیه‌سازی در این مطالعه بر پایه روش ارائه شده توسط هاچینگز (۱۹۹۲) است که در آن از یک مدل گسیختگی چشمه برای توصیف چشمه و توابع گرین تجربی برای از بین بردن اثر کاهندگی مسیر و اثر ساختگاه بهره گرفته شده است؛ همچنین از تابع لغزش کاستروف (۱۹۷۹) برای محاسبه لغزش در یک نقطه برای این مطالعه استفاده شده است که تابع لغزش مورد استفاده تقریباً شبیه به یک رمپ است. سرعت گسیختگی ۰/۸ سرعت موج S (کیلومتر بر ثانیه) و سرعت التیام برابر ۰/۹۵ سرعت گسیختگی انتخاب شده‌اند. مکان رومرکز زمین‌لرزه شبیه‌سازی شده به همراه صفحه گسل، به وسیله فواصل از لبه‌های گسل تعیین می‌شود (کاستروف، ۱۹۷۹؛ هاچینگز، ۱۹۹۲).

به منظور شبیه‌سازی جنبش نیرومند زمین، ابتدا پارامترهای اولیه برای شبیه‌سازی به روش تابع تجربی گرین در نظر گرفته شده است. سپس، نگاشت‌های پس‌لرزه‌ها را تصحیح دستگاهی کرده و اقدام به اعمال فیلتر در محدوده فرکانسی مناسب ۱ تا ۲۰ هرتز و توابع گرین را با یکدیگر همامیخت نموده و شکل موج نهایی شبیه‌سازی شده ساخته می‌شود، سپس با مشخص شدن پارامترهای نهایی با روش تابع تجربی گرین، نگاشت‌های شبیه‌سازی شده با نگاشت‌های مشاهده شده، مورد مقایسه قرار می‌گیرد، در نهایت با شبیه‌سازی پس‌لرزه ۱۵ آذر سال ۱۳۹۶، Mw=۴/۷، با استفاده از پارامترهای ورودی این زمین‌لرزه که به علت نزدیک بودن محل وقوع زمین‌لرزه‌ها و یکسان بودن گسل مسبب دو زمین‌لرزه، صفحه اصلی گسل مسبب، لرزه‌زمین‌ساخت، رژیم ژئودینامیکی، توپوگرافی و سایر پارامترها، انتخاب شده‌اند، شکل موج و طیف

فرکانسی زمین‌لرزه تاریخی ۱۲ فروردین سال ۵۲۹ (ه.ش)، Mw=۶/۱ شبیه‌سازی شدند. این روند بر روی همه ایستگاه‌های موجود که داده پس‌لرزه ۱۵ آذر سال ۱۳۹۶، Mw=۴/۷ را ثبت کرده بودند، اجرا گردید.
در جدول ۱ و ۲ به ترتیب مختصات ایستگاه موردمطالعه در منطقه و سازوکار کانونی و بزرگای نسبت داده شده به زمین‌لرزه مرجع سال ۱۳۹۶ (ه.ش) سرپل‌ذهاب با استفاده از نرم‌افزار ایزولا آورده شده است.

جدول ۱. مختصات ایستگاه نصب شده موردمطالعه در منطقه

Station code	Latitude(◦)	Longitude(◦)	Elevation(m)
PALA	28.67	59.25	542

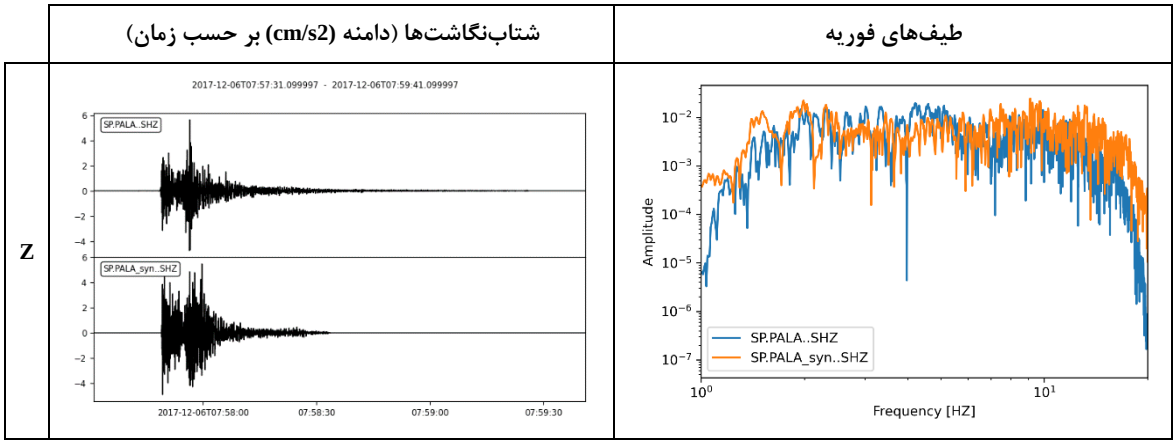
جدول ۲. سازوکار کانونی و بزرگای نسبت داده شده به زمین‌لرزه مرجع سال ۱۳۹۶ (ه.ش) سرپل‌ذهاب بدست آمده در این پژوهش

Source Parameter			Magnitude	
Strike °	Dip °	Rake °	Mw	MO*10^{23}(N.m)
152	55	88	4.7	1.04
335	35	93		

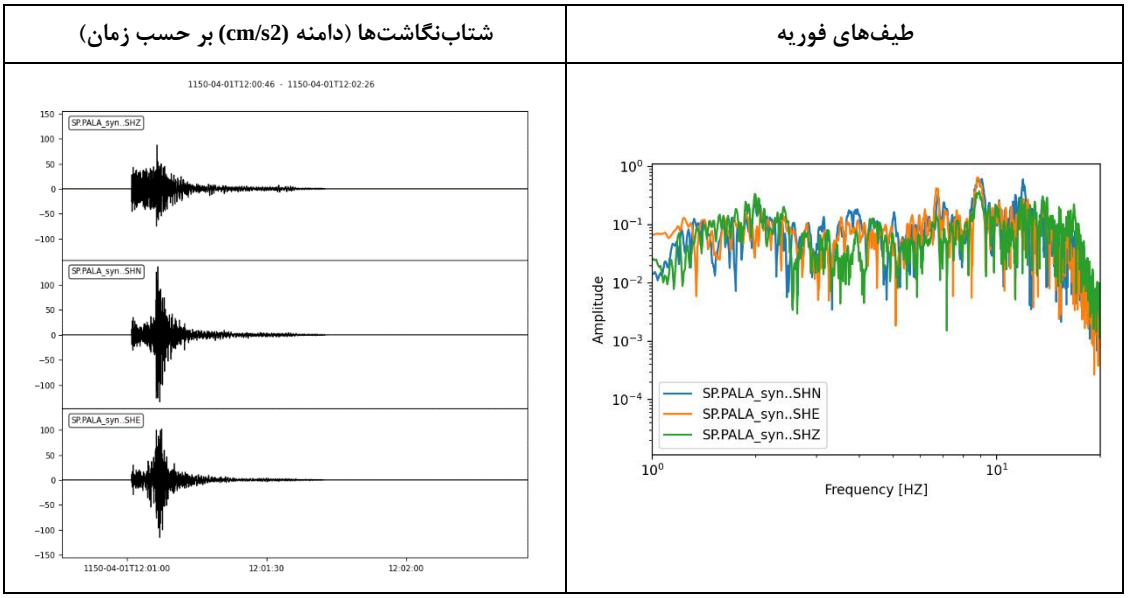
در نهایت در شکل ۱ نتایج شبیه‌سازی زمین‌لرزه مرجع سال ۱۳۹۶ (ه.ش) سرپل‌ذهاب به صورت شکل‌موج و محتوای فرکانسی و همینطور در شکل ۲ نتایج شبیه‌سازی برای زمین‌لرزه تاریخی ۱۲ فروردین سال ۵۲۹ (ه.ش)، Mw=۶/۱ در ایستگاه PALA آورده شده است.

۳ نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش این بود که آیا می‌توان با استفاده از داده‌های زمین‌لرزه‌های حال حاضر و اطلاعات زمین‌شناسی و لرزه‌زمین‌ساختی منطقه، شکل‌موج و محتوای فرکانسی زمین‌لرزه‌هایی که در طول تاریخ در منطقه کرمانشاه رخ داده‌اند را شبیه‌سازی کرد یا خیر؟ همانطور که می‌دانیم وجود چنین اطلاعات ارزشمندی از زمین‌لرزه‌های پیشین که گیرنده‌ای برای ثبت آن‌ها وجود نداشته برای شناسایی خطر زمین‌لرزه و آمادگی هرچه بهتر در برابر این پدیده طبیعی حائز اهمیت است؛ در این پژوهش برخی از پارامترهای جنبش نیرومند زمین از قبیل تاریخچه زمانی نگاشت، محتوای فرکانسی نگاشت‌ها، مدت دوام مؤثر زمین‌لرزه‌های موردبررسی، زمان رسید موج P و موج S و همچنین طیف پاسخ زمین به همراه بیشینه شتاب زمین به هنگام رخداد زلزله شبیه‌سازی شد. با اینکه می‌دانیم وجود خطا در کار اتفاقی غیر قابل جلوگیری است ولی با توجه به اینکه این روش روشی نوین در زلزله‌شناسی است، می‌توان گفت که این پژوهش در این امر به موفقیت دست یافته است.
تمامی نگاشت‌های شبیه‌سازی شده با نگاشت‌های مشاهده‌ای از هم‌پوشانی بسیار خوبی برخوردار بوده و توانستند بیشینه دامنه موج S و مدت دوام مناسبی را با دقت زیادی برای زمین‌لرزه مرجع سال ۱۳۹۶ (ه.ش) با بزرگای ۴/۷ سرپل‌ذهاب نشان دهند که مطابق آن برای زمین‌لرزه‌های تاریخی سرپل‌ذهاب نیز شکل موج و طیف دامنه فوریه نیز بدست آمد.



شکل ۱. مقایسه شتاب‌نگاشت مؤلفه قائم مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در ستون چپ و مقایسه طیف دامنه فوریه، مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در ستون راست برای زمین‌لرزه مرجع سال ۱۳۹۶ (ه.ش) سرپل‌ذهاب با بزرگای ۴/۷ در ایستگاه **PALA**.



شکل ۲. شتاب‌نگاشت مؤلفه قائم، شمالی- جنوبی و شرقی- غربی شبیه‌سازی‌شده در ستون چپ و مقایسه طیف دامنه فوریه، شبیه‌سازی‌شده مؤلفه‌ها در ستون راست زلزله تاریخی سال ۵۲۹ (ه.ش)، **Mw**=۶/۱ در ایستگاه **PALA**.

منابع

Hutchings, L., 1992, Modeling earthquake ground motion with an earthquake simulation program (EMPSYN) that utilizes empirical Green's functions.

Kostrov, B.V., 1964, Selfsimilar problems of propagation of shear cracks. Journal of Applied Mathematics and Mechanics. 28, (5), 1077-1087.

Songhori, A., Sadidkhouy, A., Pakzad, M., Eshaghi. A. 2019, Simulation of Kermanshah, Ezgeleh Earthquake on 12 Nov. 2017 With Mw=7.3 Using Empirical Green's Function Method: 2nd Conference on Civil engineering, Architecture & Urban Planning of the Islamic Countries.28.