

شبیه‌سازی پس‌لرزه ۴ دی‌ماه ۱۳۸۹ ریگان به روش تابع تجربی گرین

زهرا نقی پور^۱، علی سنقری^۲، مهرداد پاکزاد^۳، احمد سدیدخوی^۴،

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، Zahra.naghipour@ut.ac.ir

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، Alisonghori@ut.ac.ir

^۳ استادیار، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، pakzad@ut.ac.ir

^۴ استادیار، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، asadid@ut.ac.ir

چکیده

در تاریخ ۴ دی ماه ۱۳۸۹، زمین‌لرزه‌ای با بزرگای گشتاوری ۴/۴ در فاصله ۵۲ کیلومتری جنوب‌شرقی محمدآباد ریگان در استان کرمان، به وقوع پیوست. لرزه‌خیزی بالای منطقه با ۱۲ مورد زمین‌لرزه با بزرگای بالای ۵ در سده گذشته، نشان‌دهنده خطر بالای منطقه از دید زلزله‌شناسی مهندسی و جنبش نیرومند زمین است. یکی از روشهای شبیه‌سازی زمین‌لرزه‌ها، روش تابع تجربی‌گرین برای مدل‌سازی جنبش‌های نیرومند زمین با استفاده از پس‌لرزه‌های یک زمین‌لرزه بزرگ است. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های شبکه موقت لرزه‌نگاری نصب شده در منطقه، به شبیه‌سازی نگاشت‌های پس‌لرزه ذکر شده با استفاده از تابع تجربی‌گرین و نرم‌افزار EMPSYN پرداخته می‌شود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که شباهت خوبی بین شکل موج و طیف دامنه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه‌های لرزه‌نگاری وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، تابع تجربی‌گرین، پس‌لرزه ریگان.

Simulating Rigan's Aftershock On 25 Dec 2010 Using EGF Method

Zahra Naghipour¹, Ali Songhori², Mehrdad Pakzad³, Ahmad Sadidkhouy⁴

¹Msc Student, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran, Zahra.naghipour@ut.ac.ir

²Postgraduate of Geophysics, University of Tehran, Iran, Alisonghori@ut.ac.ir

³Assistant professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran, Pakzad@ut.ac.ir

⁴Assistant professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran, asadid@ut.ac.ir

Abstract

On 25 Dec 2010, an aftershock with Mw 4.4 Occurred in a distance of 52 km Southeast of Mohammadabad Rigan in Kerman province. Over the last Century, there have been 12 earthquakes with magnitudes over 5, indicating high seismicity of the region, which is important for engineering seismology and strong ground motion simulation studies. We used empirical Green's functions and the temporary seismic network data to model the aftershock waveforms in the region. The simulation of the aftershock waveforms was calculated by EMPSYN software. There are close similarities between observed and modeled waveforms and amplitude spectra in the in the station's seismological region.

Keywords: Simulation, Empirical Green's Functions, Rigan's Aftershock.

۱ مقدمه

استان کرمان در جنوب غربی بخشی از زون ساختاری زاگرس و در جنوب بخشی از زون ساختاری شمال مکران را شامل می‌شود و یکی از لرزه‌خیزترین استان‌های کشور می‌باشد. مناطقی مانند کهنوج، جیرفت، بم و منطقه

جنوب شرقی محمدآباد ریگان از لرزه خیزترین مناطق استان است. بررسی وقوع رویدادهای سه دهه اخیر شمال کرمان (سیرچ و گلباف)، بم، زرنند، جیرفت و محمدآباد ریگان نشان می‌دهد که این استان از آهنگ لرزه‌خیزی بالایی برخوردار است. زلزله‌های مهیب و ویرانگر اتفاق افتاده در این منطقه فرصت شناسایی پارامترهای مؤثر در جنبش نیرومند زمین را ایجاد نموده است. ممکن است در برخی مناطق داده‌های مناسب در اختیار نباشند و یا دارای پراکندگی بسیار زیادی باشند، از این رو شبیه‌سازی زمین‌لرزه‌ها می‌تواند نقش قابل توجهی 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 زمین لرزه 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 ساختمان مورد مطالعه بدست آورد (سنقری و همکاران، ۲۰۱۹).

۲ روش تحقیق

شبیه‌سازی به روش تابع تجربی گرین، برای اولین بار توسط هارتزل در سال ۱۹۷۸ معرفی گردید. بزرگی زمین‌لرزه، طول و عرض گسل، امتداد و شیب گسل، سرعت امواج برشی، سرعت گسیختگی و نقطه شروع گسیختگی، پارامترهای مورد نیاز شبیه‌سازی هستند (هارتزل، ۱۹۷۸). در این روش از تانسور ممان لرزه‌ای و تابع لغزش گسل برای تعیین مشخصات چشمه زمین‌لرزه و از تئوری امواج برای مدل کردن عبور امواج برشی، در نیم‌فضای همگن از چشمه تا ساختمان، استفاده می‌شود. روش تابع تجربی گرین یکی از متداول‌ترین روش‌های شبیه‌سازی تعیین می‌باشد (ایریکورا، ۱۹۸۳). در واقع تابع تجربی گرین پاسخ زمین به یک چشمه نقطه‌ای لرزه‌ای است و تابعی از ساختار سرعت امواج در زمین و موقعیت چشمه و گیرنده می‌باشد. روش تابع تجربی گرین بر این اساس بنا شده است که جنبش نیرومند زمین در یک ساختمان مشخص، از حاصل جمع حرکت‌های ناشی از شکست‌های منفرد قطعات کوچک روی صفحه گسل، با تأخیر زمانی مشخص، محاسبه می‌شود. فرض مهم موجود در این روش نقطه‌ای بودن چشمه در رویدادهای کوچک می‌باشد. دیگر اهمیت آن این است که نگاهت‌های ثبت شده در نزدیکی رومرکز زمین‌لرزه، هنگام عبور از داخل زمین، کمتر دچار تغییر می‌شوند که از این رو جهت مطالعه علمی چشمه‌های زمین‌لرزه، داده‌های مناسبی به حساب می‌آیند (هارتزل، ۱۹۷۸؛ ایریکورا، ۱۹۸۳).

به منظور شبیه‌سازی جنبش نیرومند زمین، ابتدا، پارامترهای اولیه به شرح زیر برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شد. پس از چند بار سعی و خطا بهترین برازش از مقایسه طیف دامنه تجربی و طیف دامنه شبیه‌سازی شده حاصل گردید.

بزرگی زمین‌لرزه، طول و عرض گسل، امتداد و شیب گسل، سرعت امواج برشی، سرعت گسیختگی و نقطه شروع گسیختگی پارامترهای مورد نیاز شبیه‌سازی هستند.

با توجه به اینکه بعد از رخداد زلزله ۲۹ آذر ۱۳۸۹ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله دستگاه‌های موقت خود را در منطقه نصب کردند که بتوانند پس‌لرزه‌ها را با دقت کافی به مدت یک ماه ثبت کنند، در این پژوهش از بخشی از این داده‌ها استفاده گردید. داده‌ها دارای فرمت GCF بودند که با استفاده از نرم افزار GCF2SAC به فرمت SAC تبدیل گردید. در نرم افزار SAC اثر میانگین و اثر روند را از روی نگاشت‌های حاصل حذف کرده سپس با استفاده از نرم افزار EMPYSYN توابع تجربی گرین را با یکدیگر هم‌میختم نموده و شکل موج نهایی شبیه‌سازی شده ساخته شد (هاتچینگز، ۱۹۹۲). سپس، با مشخص شدن پارامترهای نهایی سرعت نگاشت‌های شبیه‌سازی شده با سرعت نگاشت‌های مشاهده شده، مورد مقایسه گرفت. در جدول ۱ اطلاعات ایستگاه موقت نمونه مورد شبیه‌سازی، در شکل ۱ خروجی‌های بدست آمده برای ایستگاه ذکر شده و همینطور در جدول ۲ اطلاعات استفاده شده هندسه گسل در این پژوهش آورده شده است.

جدول ۱. مختصات ایستگاه نصب شده مورد مطالعه در منطقه

Station code	Latitude(°)	Longitude(°)	Elevation(m)
T6249	28.67	59.25	542

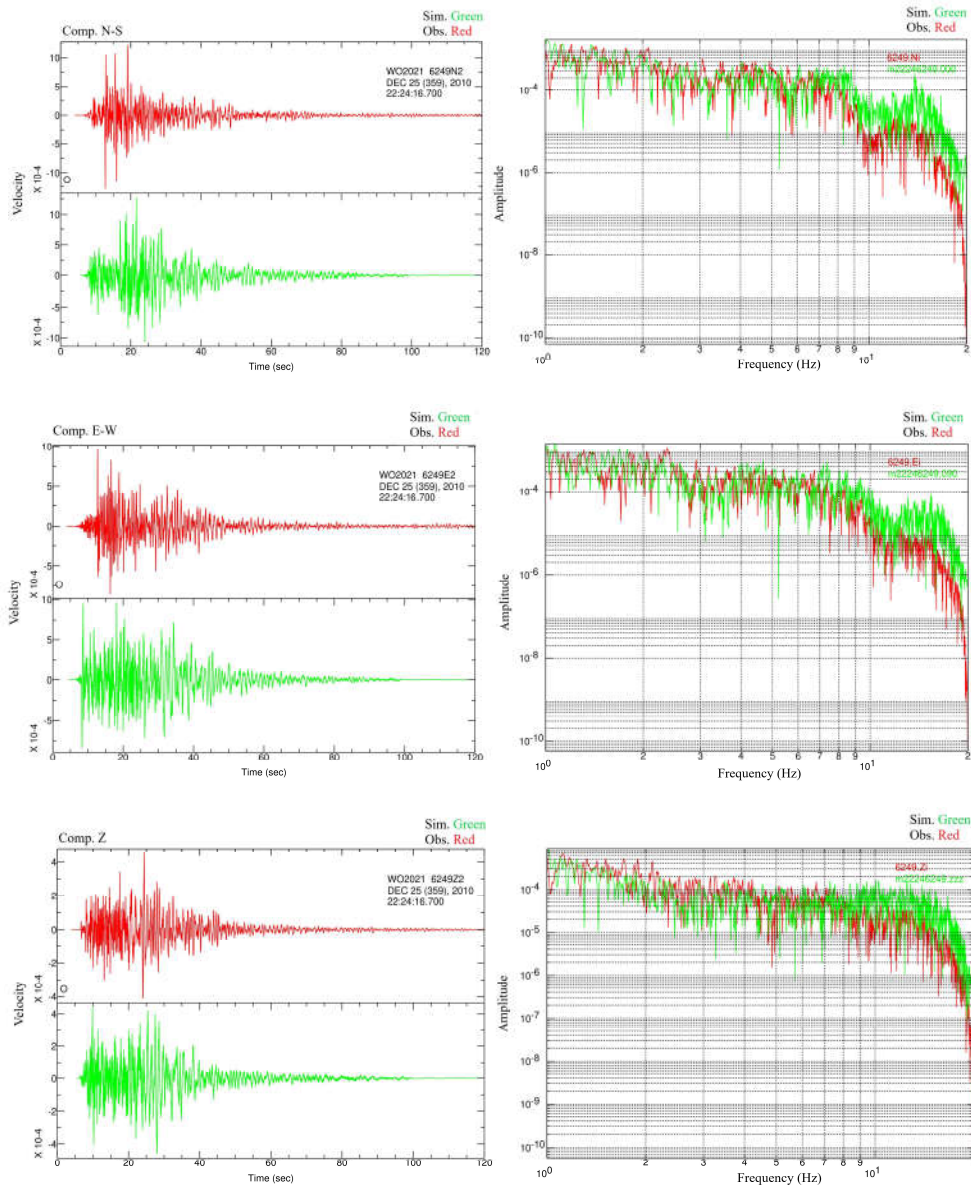
جدول ۲. اطلاعات استفاده شده هندسه گسل در این پژوهش

Strike(°)	Dip(°)	Rake(°)
324.25	53	68.53

۲ نتیجه‌گیری

با توجه به پارامترهای شبیه‌سازی شده، بیشینه سرعت در ایستگاه‌ها به روش تابع تجربی گرین برآورد و با بیشینه سرعت مشاهده شده مقایسه گردید. مشاهده شد که بیشینه سرعت شبیه‌سازی شده دارای روند یکسانی با افزایش فاصله از چشمه زمین‌لرزه در مقایسه با بیشینه سرعت مشاهده شده می‌باشد، که نشان‌دهنده انتخاب مناسب پارامترها به عنوان پارامترهای ورودی برای شبیه‌سازی تابع تجربی گرین است.

- بیشینه سرعت حاصل از این زمین‌لرزه طبق سرعت نگاشت مشاهده‌ای برای ایستگاه T6249، مولفه شمالی- جنوبی مقدار حدوداً 1.287×10^{-4} متر بر ثانیه را نشان می‌دهد که همین مقدار برای شبیه‌سازی نیز بدست آمده است.
- با مقایسه نتایج بین نگاشتهای شبیه‌سازی شده و نگاشت‌های مشاهده شده در حوزه بسامد، طیف‌های فوریه دامنه با هم همپوشانی خوبی دارند و تقریباً هر دو نگاشت در فرکانس نزدیک به هم شکسته می‌شوند و دامنه افت پیدا می‌کند.
- در تمامی شکل موج‌ها یکی از پارامترهای جنبش نیرومند زمین یعنی دوام موثر زمین‌لرزه نیز به خوبی شبیه‌سازی شده است.
- دو مورد از پارامترهای اساسی برای صحیح بودن شبیه‌سازی ماکزیمم دامنه موج S، در حوزه زمان و همپوشانی طیف دامنه در بازه فرکانسی مورد بررسی در حوزه فرکانس است، که در این مطالعه این دو مورد مشاهده می‌شود.



شکل ۱. مقایسه لرزه‌نگاشت‌ها در سمت چپ و مقایسه طیف‌های دامنه فوریه، مشاهده‌ای (قرمز) و شبیه‌سازی‌شده (سبز) در سمت راست به ترتیب از بالا به پایین، برای مؤلفه‌های شمالی-جنوبی، شرقی-غربی و قائم در ایستگاه T۶۲۴۹. واحدها به متر بر ثانیه می‌باشد.

منابع

- Hartzell, S. H. 1978, Earthquake aftershocks as Green's functions, *Geophys. Res. Lett.*, 5, (1), 1-4.
- Hutchings, L. 1992, Modeling earthquake ground motion with an earthquake simulation program (EMPSYN) that utilizes empirical Green's functions.
- Irikura, K. 1983, Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function. 151-156.
- 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.