

شبیه‌سازی جنبش نیرومند زمین در زلزله ۲۰ دسامبر ۲۰۱۰ ریگان

فاطمه شریفی دماوند^{۱*} و محمدرضا قیطانچی^۲

۱- کارشناس ارشد ژئوفیزیک-زلزله‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استاد ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

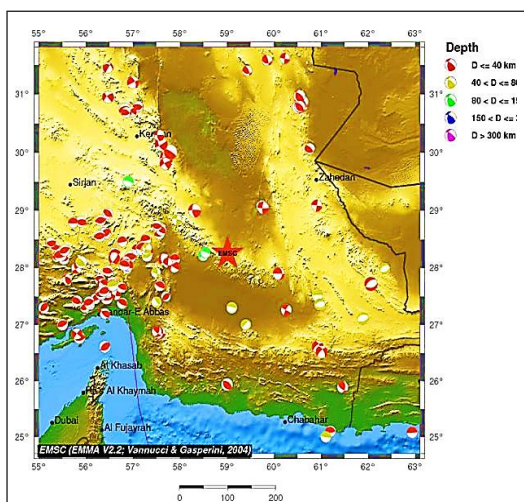
دریافت: بهمن ۱۳۹۳، پذیرش: اسفند ۱۳۹۳

چکیده: در این پژوهش، عامل‌های گسل مسبب زمین‌لرزه‌ی ۲۰ دسامبر ۲۰۱۰ ریگان با بزرگی $M_w = 6.5$ که به وسیله‌ی ۲۳ ایستگاه شتاب‌نگاری SSA-2 ثبت شده است، با شبیه‌سازی جنبش نیرومند زمین به روش کاتوره‌ای گسل محدود تعیین می‌شود. با توجه به توزیع پس‌لرزه‌ها و رابطه‌ی خود تشابهی، صفحه‌ی گسل مسبب به صورت 12×6 المان تقسیم شد. نتیجه‌ها شبیه‌سازی شده در هر دو حوزه‌ی فرکانس و زمان با گزارش‌های ثبت شده، مقایسه شد. طول گسل در راستای امتداد حدود ۲۴ کیلومتر و عرض گسل در راستای شیب ۱۲ کیلومتر مشخص شد. محل کانون در المان (۵ و ۷) تعیین شد. برای گسل مسبب این زمین‌لرزه، مقدار امتداد ۳۶ درجه و شیب ۸۸ درجه برآورد شد که نشان می‌دهد نوع گسل امتداد لغز است. عمق کانون زلزله به تقریب ۱۷ کیلومتر است. گسیختگی در المان (۵ و ۷) از شمال شرقی به جنوب غربی منتشر شده است. هم‌خوانی خوبی بین طیف فوریه‌ی شبیه‌سازی شده و داده‌های ثبت شده وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لرزه ریگان، شبیه‌سازی جنبش نیرومند زمین، روش کاتوره‌ای گسل محدود

شکل (۱) سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های مهم جنوب خاوری

ایران را نشان می‌دهد.



شکل ۱- سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های مهم منطقه جنوب خاوری ایران [اقتباس از سایت www.emsc-csem.or]

مقدمه

کشور کهن ایران در طی سالیان دراز زلزله‌های بسیاری خود دیده است. مطالعات زیادی در مورد لرزه‌خیزی ایران صورت گرفته است [میرزایی و همکاران ۱۹۹۸]. نقاط مشترک این پژوهش‌ها، تقسیم فلات ایران به ایالت‌های لرزه زمین‌ساختی متفاوت است. ایالت لرزه زمین‌ساختی پهنه‌ای است که تحت رژیم‌های ژئودینامیکی کنونی دارای جایگاه تکتونیکی همانند و الگوی لرزه‌خیزی یکسان باشد [لی و همکاران ۱۹۹۵]. با استفاده از تقسیم‌بندی میرزایی و همکاران [۱۹۹۸]، فلات ایران به ۵ ناحیه لرزه‌خیزی البرز-آذربایجان، کپه داغ، زاگرس، ایران مرکزی-خاور ایران و مکران تقسیم‌بندی شده است. در طی چند دهه اخیر زمین‌لرزه‌های مخرب و بزرگ بسیاری در سامانه‌های گسلی امتداد لغز راست‌گرد در طول حاشیه غربی دشت لوت و شرق ایران به وقوع پیوسته است.

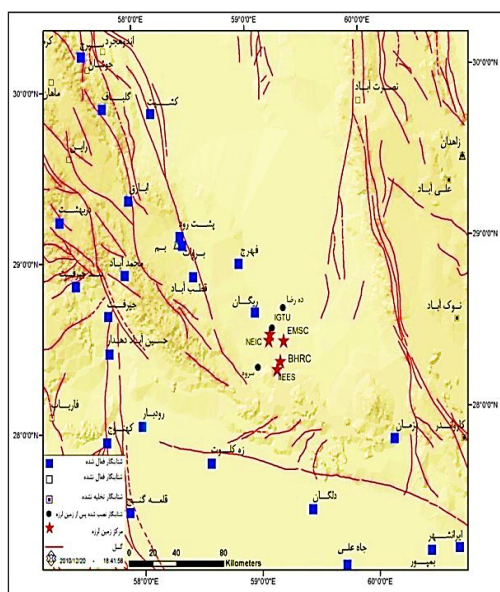
*عهده‌دار مکاتبات: mshss75@yahoo.com

بزرگی $M_w = 6.5$ شهرستان ریگان و آبادی‌های پیرامون آن را لرزاند.

رو مرکز این رویداد توسط مرکز لرزه‌نگاری کشور وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در جنوب‌شرقی شهرستان ریگان در شرق استان کرمان اعلام شد.

از جمله دلایل شمار اندک تلفات جانی را می‌توان جای‌گیری موقعیت رومکان زمین‌لرزه در گستره تنگ جمعیتی از یک‌سو و نبود اهالی در زمان رخداد زمین‌لرزه داخل بناهای سنگی از سوی دیگر دانست. پیشینه شتاب ثبت شده از این زمین‌لرزه برای مؤلفه عرضی برابر با ۱۲۴ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه در ایستگاه ریگان و برای مؤلفه طولی برابر با ۷۵ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه در ایستگاه قلعه گنج بوده است. عمق کانونی این زمین‌لرزه به‌طور میانگین ۱۷ کیلومتر در نظر گرفته شده است.

در شکل (۴) موقعیت ایستگاه‌های شتاب‌نگاری نسبت به رو مرکز زمین‌لرزه مشخص شده است.



شکل ۴- موقعیت ایستگاه‌های شتاب‌نگاری را نسبت به رو مرکز زمین‌لرزه نشان می‌دهد.

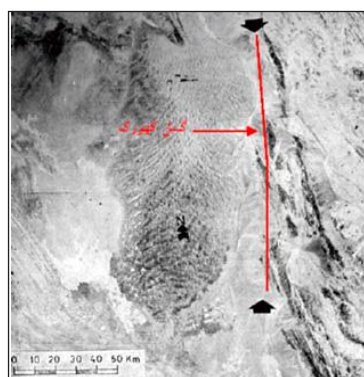
روش‌های شبیه‌سازی جنبش نیرومند زمین

در روش تابع تجربی‌گری نباید پس‌لرزه‌ها موجود باشند. از طرفی اگر پس‌لرزه‌ها یا به عبارتی اتفاقات کوچک^(۱) تحت تأثیر اثر جهت‌پذیری^(۲)

بررسی‌های انجام شده مشخص کرده است که بیشترین زلزله‌ها در شرق ایران دارای عمق ۸ تا ۱۰ کیلومتر هستند [واکر و همکاران ۲۰۰۳]. مطالعات ثقل سنجی توسط دهقانی و ماکریس [۱۹۸۴]، نشان می‌دهد که ضخامت پوسته در نوار سهند-سیرجان که بخش جنوب‌غربی ایران مرکزی را تشکیل می‌دهد حدود ۵۰ تا ۵۵ کیلومتر است، اما در محل‌های دیگر ضخامت پوسته از ۳۶ تا ۵۰ کیلومتر متغیر است. یکی از عناصر اصلی در برآورد خطر زمین‌لرزه تشخیص چشمه‌های لرزه‌زا و شناسایی گسل‌های فعال است. از گسل‌های مهم این منطقه می‌توان به گسل گوک، کوهبنان، بجم، لکرکوه، کهورک اشاره کرد. در شکل‌های (۲) و (۳) تصویر گسل‌های کوهبنان و کهورک مشاهده می‌شود.



شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای از گسل کوهبنان



شکل ۳- تصویری از گسل کهورک

زمین‌لرزه ۲۰ دسامبر ۲۰۱۰ ریگان در ساعت ۱۸:۴۱:۵۸ به وقت UTC، دوشنبه ۲۹ آذر ۱۳۸۹ ساعت ۲۲:۱۱:۵۸ به وقت محلی با

1. Small Event 2. Directivity

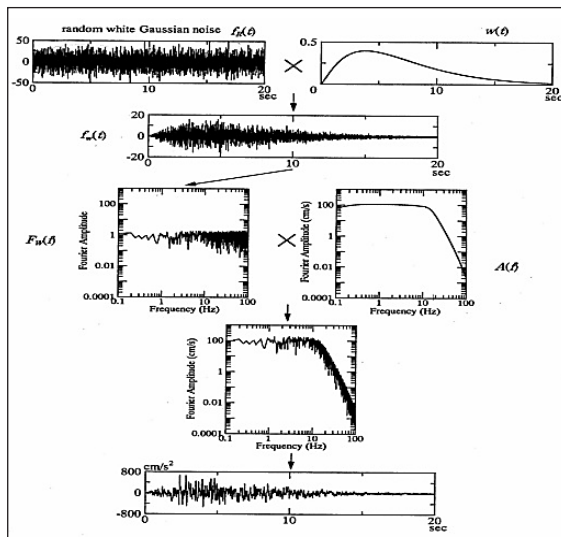
شبیه‌سازی به روش کاتوره‌ای گسل محدود

طیف دامنه تبدیل فوریه‌ی جابه‌جایی زمین که در روش شبیه‌سازی کاتوره‌ای بور استفاده می‌شود، برحسب چندین تابع معرفی می‌شود. این طیف می‌تواند مطابق با رابطه (۱) به صورت حاصل ضرب تعدادی از توابع در حوزه فرکانس باشد.

$$A(f) = S(f) \cdot G \cdot A_n(f) \cdot P(f) \cdot V(f) \quad (1)$$

در رابطه بالا $S(f)$ تابع چشمه، G تابع میرایی هندسی، $A_n(f)$ تابع میرایی غیرالاستیک تمام مسیر، $P(f)$ تابع میرایی پوسته بالایی و $V(f)$ تابع تشدید ساخت‌گاه است [بور، ۲۰۰۳].

معضدیان و اتکینسون [۲۰۰۵]، روشی را برای شبیه‌سازی نگاهت‌های نزدیک گسل که دارای اثرات پالس مناسبی است، به صورت برنامه اکسیم^(۶) ارائه دادند. برنامه اکسیم و هم‌چنین نسخه قبلی آن فینسیم^(۷)، پس از محاسبه طیف فوریه شتاب خرد گسل، مطابق شکل (۵) یک نوفه گوسی با متوسط صفر را در نظر می‌گیرد و بر آن یک پنجره زمانی اعمال می‌کند. سپس از این نوفه، طیف فوریه می‌گیرد و نوفه را به حوزه فرکانس می‌برد و در طیف فوریه شتاب خرد گسل که اثرات چشمه، مسیر و تشدید ساخت‌گاه در آن لحاظ شده است، ضرب می‌کند و حاصل آن را معکوس فوریه می‌گیرد و به حوزه زمان می‌برد. این تاریخچه‌های زمانی^(۸) با در نظر گرفتن تأخیرهای زمانی‌شان با یکدیگر جمع می‌شوند تا تاریخچه زمانی شتاب را بسازند.



شکل ۵- مراحل عملیات برنامه اکسیم

- | | | | | | |
|-----------------|-----------------|-------------------|----------------------|----------|----------|
| 1. First Motion | 2. Teleseismic | 3. Ricker Wavelet | 4. Envelope Waveform | 5. Boore | 6. Exsim |
| 7. Finsim | 8. Time History | | | | |

در مقایسه با زمین‌لرزه هدف قرار گرفته باشد، بر اثر این پدیده، جنبش نیرومند زمین شبیه‌سازی شده، زیاد یا کم تخمین زده می‌شود. در روش نیمه تجربی تابع گرین فرایند گسیختگی چشمه با استفاده از یک مدل جنبشی بر اساس مطالعات اولین تکانه^(۱)، مدل‌سازی دور لرزه^(۲) و توزیع پس‌لرزه‌ها در نظر گرفته می‌شود. جنبه انتشار موج با استفاده از تابع تئوری گرین که با تولید پرتو محاسبه شده، مدل‌سازی می‌شود. از موجک ریکر^(۳) و پوش موج‌نقش‌ها^(۴) نیز به‌جای اتفاق کوچک برای شبیه‌سازی جنبش حرکات نیرومند زمین استفاده می‌شود [میدوریکاوا، ۱۹۹۳] و [ختری ۱۹۹۸] و [حمزه لو ۲۰۰۰]. در روش مدل ترکیبی، جنبش نیرومند زمین با استفاده از ویژگی‌های فرایند چشمه زمین‌لرزه و تئوری انتشار امواج، شبیه‌سازی می‌شود. اتفاقات کوچک دارای افت تنش یکسان هستند. تعداد کل اتفاقات کوچک به‌صورتی در نظر گرفته می‌شود تا با گشتاور لرزه‌ای زمین‌لرزه اصلی منطبق شود [یو و همکاران ۱۹۹۵]. سازوکار زمین‌لرزه، افت تنش، مدل سرعت و مدل ضریب کیفیت (Q) برای این روش موردنیاز است. در روش شبکه‌های عصبی، شبکه‌های عصبی، نقشه‌برداری معکوس را از طیف پاسخ به‌شتاب‌نگاشت فرا می‌گیرد. هدف اصلی در استفاده از شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده تمرین یادگیری شبکه‌های عصبی در ارتباط دادن طیف پاسخ به‌شتاب‌نگاشت مترادف آن است و در این راستا قابلیت تولید شتاب‌نگاشت را از طیف پاسخ فراهم می‌کند [قابوسی و همکاران، ۱۹۹۸]. پیوند روش‌های کاتوره‌ای و تابع نیمه تجربی گرین، کاتوره‌ای و تابع نیمه تجربی گرین و المان‌های تفاضلی و هم‌چنین پیوند دو روش تجربی تابع گرین مثال‌هایی از روش پیوندی هستند [حمزه لو و همکاران، ۲۰۰۰]. در مناطقی که رکورد زمین‌لرزه وجود ندارد می‌توان از روش کاتوره‌ای بور^(۵) اقدام به شبیه‌سازی زمین‌لرزه نمود. مبنای این روش این است که در ابتدا بر یک سری زمانی مربوط به نوفه سفید با میانگین صفر، تابع شکلی اعمال می‌شود و آن را از حالت ایستا خارج می‌کند، سپس از این نوفه تبدیل فوریه گرفته می‌شود و طیف دامنه این سری زمانی با یک طیف دلخواه که می‌تواند نوسان با باند محدود در رکورد را معرفی کند، جایگزین می‌شود ولی طیف فاز بدون تغییر باقی می‌ماند با انتقال نتیجه‌ها به حوزه زمان، سری زمانی به دست می‌آید که طیف دامنه‌اش دقیقاً بر طیف مشخصی منطبق است.

روش پژوهش

در این مطالعه شتاب‌نگاشت‌ها با استفاده از نرم‌افزار ساین موسیگنال^(۱) بر اساس روش بور [۲۰۰۱]، تصحیح خط مبنا شده‌اند. بیشتر شتاب‌نگاشت‌ها با برازش چندجمله‌ای درجه یک بهتر تصحیح می‌شود البته چون همزمان فیلتر نیز اعمال می‌شود در بیشتر موارد حذف فرکانس‌های پایین، کار تصحیح خط مبنا را انجام می‌دهد. در پردازشی که روی این شتاب‌نگاشت‌ها انجام گرفت از فیلترهای دیجیتالی باترورث میان‌گذر با فرکانس قطع ۰٫۲ و ۰٫۲۵ هرتز برای حذف اغتشاشات فرکانس پایین و بالا استفاده شده است. ابعاد گسل با استفاده از روابط ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴)، محاسبه شده است. بر اساس این روابط، طول گسل در راستای امتداد ۲۴ کیلومتر و عرض گسل در راستای شیب ۱۲ کیلومتر به‌دست آمده است. صفحه گسل به ۱۲ المان در راستای طول و ۶ المان در راستای عرض، تقسیم شده است.

در این مطالعه، مختصات کانون زمین‌لرزه المان (۵ و ۷) به‌دست آمد و محل رومرکز زلزله در مختصات جغرافیایی N ۲۸٫۱۲ و E ۵۸٫۸۷ قرار گرفت که با نتیجه‌های به‌دست آمده از منابع متفاوت همخوانی خوبی دارد.

نقطه شروع گسیختگی در المان (۵ و ۷) نشان‌دهنده انتشار گسیختگی از شمال‌شرق به سمت جنوب‌غرب است. علاوه بر اطلاعات مربوط به طول و پهنای گسل و نیز موقعیت زمین‌لرزه نیازمند مقادیر مربوط به امتداد و شیب گسل به‌عنوان ورودی برنامه شبه‌سازی به روش کاتوره‌ای گسل محدود هستیم.

در این پژوهش برای گسل مسبب زمین‌لرزه، نتیجه‌های گزارش شده با منابع متفاوت مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت بهترین مقدار برای امتداد، ۳۶ درجه و برای شیب، ۸۸ درجه برآورد شد. با مقایسه‌ی رکوردهای مشاهده‌ای و شبه‌سازی شده، مقدار به‌دست آمده برای امتداد و شیب گسل، همخوانی خوبی با رکوردهای واقعی دارد و این یافته‌ها نشان می‌دهد که به‌احتمال، امتداد گسل کهورک مسبب این زمین‌لرزه بوده است.

با توجه به این که مقدار توزیع لغزش و اسپریتی‌ها بر روی گسل مسبب زمین‌لرزه ریگان در دسترس نبود از قابلیت برنامه اکسیم برای تولید مقدار لغزش به‌صورت تصادفی و بر مبنای توزیع نرمال استفاده شد. پارامترهای ورودی برنامه در این پژوهش مطابق جدول (۱) است.

جدول ۱- پارامترهای ورودی برنامه اکسیم

مشخصات صفحه گسل	stike: 36° dip: 88° depth of fault: 7km
طول گسل	۲۴ (Km)
عرض گسل	۱۲ (km)
فاکتور کیفیت	۹۹۰۰۰۵۸
سرعت موج برشی β	۳٫۲ (km/s)
چگالی ρ	۲٫۸ (g/cm ^۳)
پارامتر افت استرس $\Delta\sigma$	۶۳ (bar)
پارامتر افت طیفی	۰٫۰۷۳

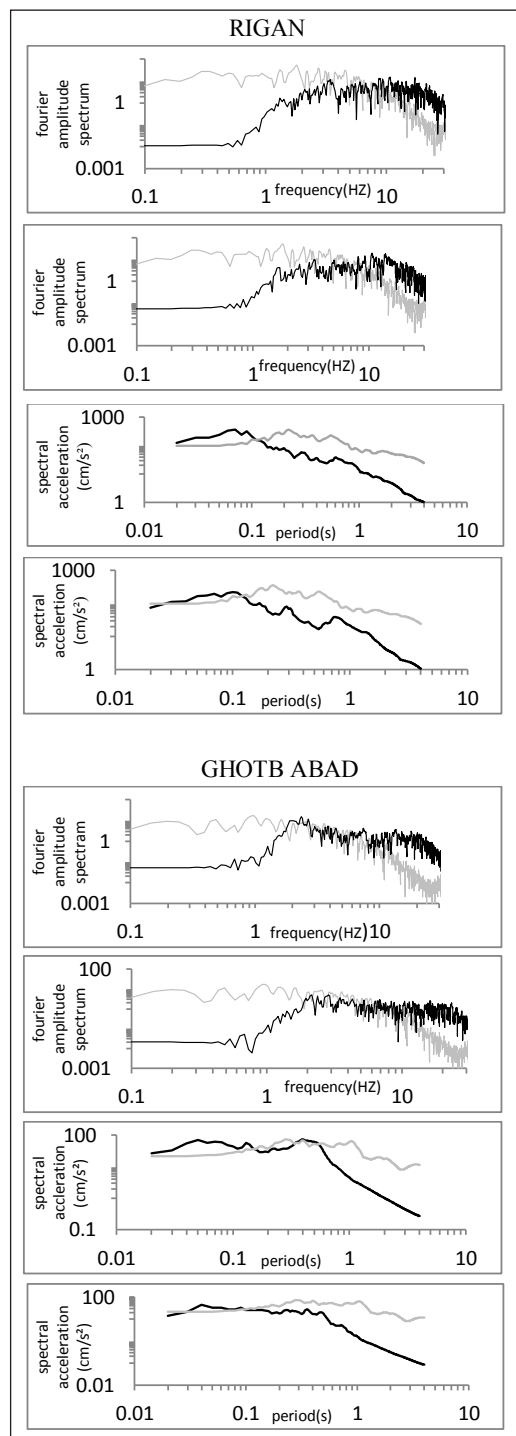
جدول ۲- نتیجه‌های به‌دست آمده از این مطالعه به همراه نتیجه‌های گزارش شده توسط منابع متفاوت

St	lat	long	depth	Mag
IGTU	۲۸٫۵۳	۵۹٫۱۳	۱۳	Mn=۶٫۵
USGS	۲۸٫۴۴	۵۹٫۱۰	۱۲	Mw=۶٫۷
IIEES	۲۸٫۳۶	۵۹٫۳۳	۱۵	Ml=۶٫۴
BHRC	۲۸٫۳۲	۵۹٫۱۹	۵	Mw=۶٫۵
HRVD	۲۸٫۱۰	۵۹٫۱۱	۱۵	Mw=۶٫۵
THIS STUDY	۲۸٫۱۲	۵۸٫۸۷	۱۷	Mw=۶٫۵

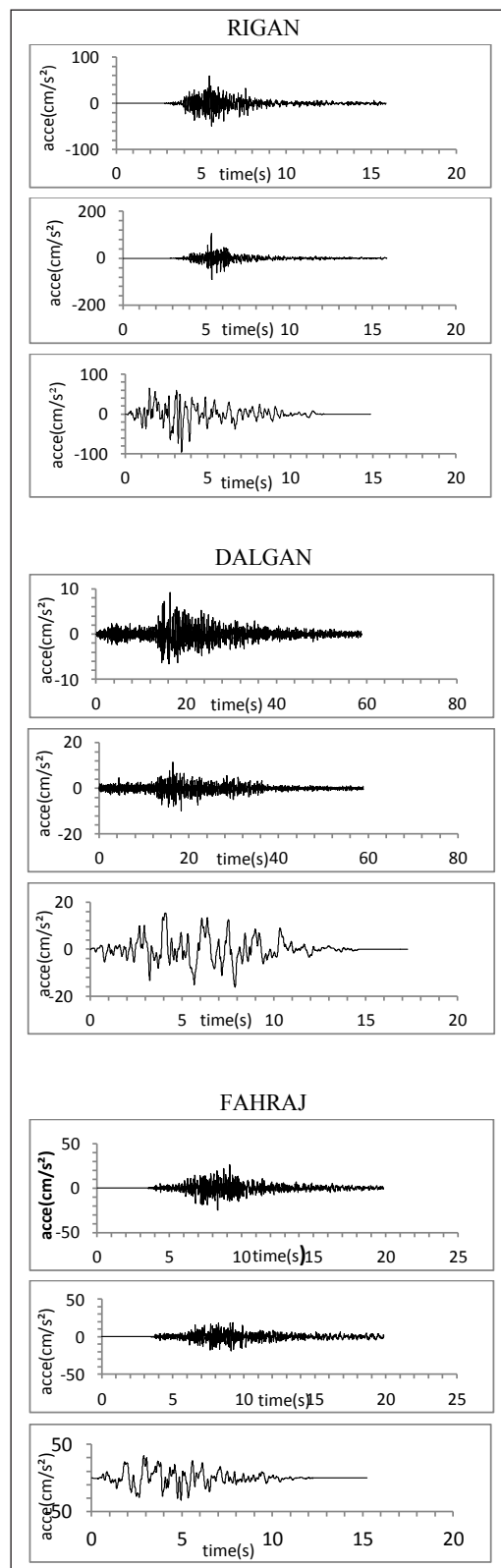
در شکل (۶) تاریخچه زمانی شتاب در دو مؤلفه افقی و شبه‌سازی شده، ثبت شده در ایستگاه‌های ریگان، دلگان و فهرج (به ترتیب مؤلفه $L\cdot T$ و شبه‌سازی شده) و در شکل (۷) و (۸) طیف فوریه و طیف پاسخ شبه‌سازی شده و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های ریگان، قطب‌آباد، فهرج و زه کلوت نمایش داده شده است. در این مطالعه نگاشت‌های شبه‌سازی شده تا حد خوبی به نگاشت‌های اصلی نزدیک هستند. طیف دامنه فوریه شبه‌سازی شده و مشاهده‌ای در اکثر ایستگاه‌ها همبستگی خوبی در دامنه و شکل در بازه فرکانسی ۱ تا ۲۰ هرتز دارند به‌طوری‌که این همبستگی در فرکانس‌های بالاتر یعنی حدود ۳ تا ۲۰ هرتز بیشتر می‌شود. بهترین نتیجه‌های شبه‌سازی شده مربوط به ایستگاه‌هایی است که در فاصله‌های کمتر از ۱۰۰ کیلومتری رومرکز زمین‌لرزه بوده‌اند. این ایستگاه‌ها عبارت‌اند از: ریگان در فاصله ۴۱ کیلومتری، قطب‌آباد در فاصله ۹۳ کیلومتری، دلگان در فاصله ۹۶ کیلومتری، فهرج در فاصله ۷۶ کیلومتری و زه کلوت در فاصله ۸۳ کیلومتری از رومرکز.

1. Seismosignal

2. Directivity

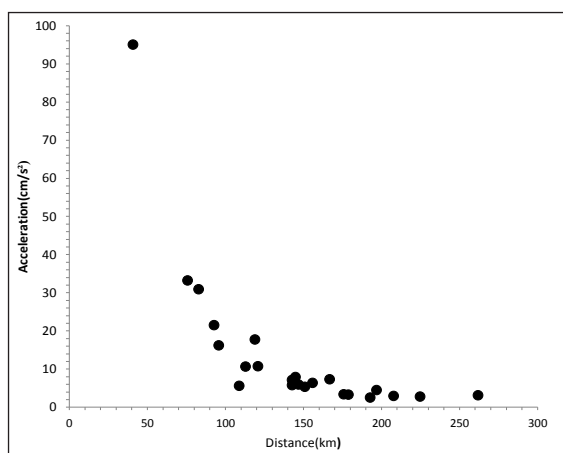


شکل ۷- طیف فوریه و پاسخ شبیه‌سازی شده (خاکستری) و مشاهده‌ای (سیاه) در ایستگاه‌های ریگان و قطب آباد



شکل ۸- تاریخچه زمانی نداشت ستاب مولفه‌های افقی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های ریگان، دلگان و فهرج

می‌دهد که با دور شدن از رو مرکز زلزله، شتاب کاهش یافته است.



شکل ۹- تغییرات شتاب شبیه‌سازی شده به روش کاتوره‌ای گسل محدود در ۲۳ ایستگاه ثبت‌کننده زمین‌لرزه ریگان برحسب فاصله از رومرکز

نتیجه‌گیری

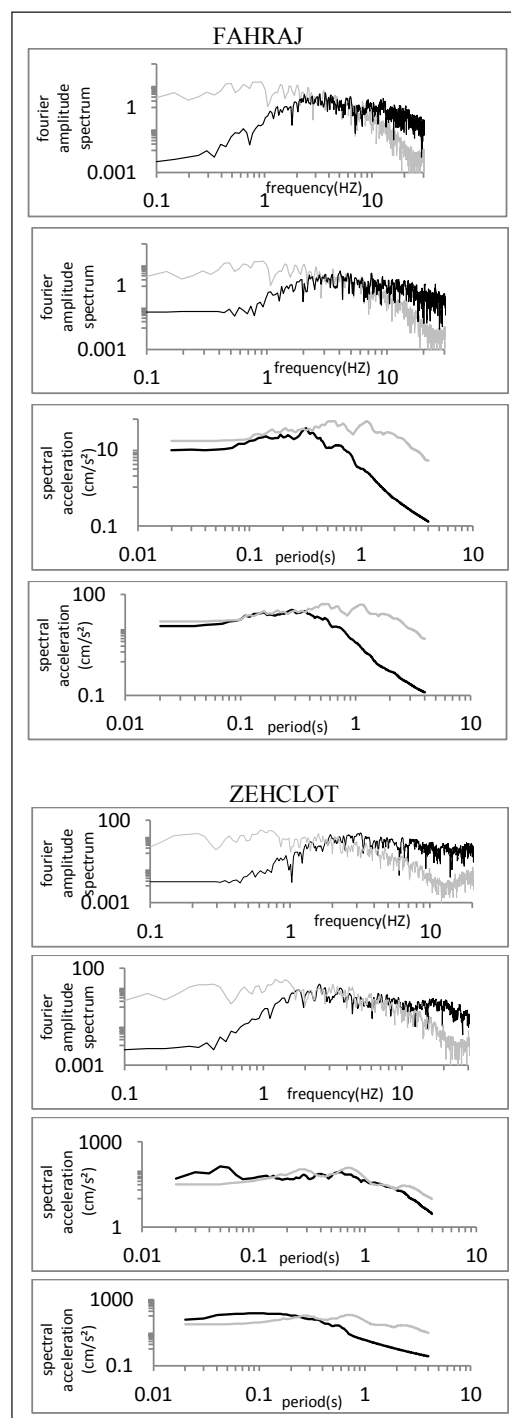
در این پژوهش، جنبش نیرومند زمین، برای زمین‌لرزه ۲۰ دسامبر ۲۰۱۰ ریگان به روش کاتوره‌ای گسل محدود شبیه‌سازی شد و پارامترهای گسل مسبب این زمین‌لرزه تعیین شد. نتیجه‌های به‌دست آمده عبارت است از: رومرکز زمین‌لرزه در مختصات جغرافیایی ۲۸،۱۲ درجه عرض شمالی و ۵۸،۸۷ درجه طول شرقی و عمق کانون آن در حدود ۱۷ کیلومتر به‌دست آمده است که رومرکز آن بیشترین همخوانی را با نتیجه‌های گزارش شده به‌وسیله دانشگاه هاروارد (HRVD) و عمق کانونی آن نیز بهترین همخوانی را با نتیجه‌های گزارش شده پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIEES) دارد.

نقطه شروع گسیختگی، خرد گسل (۵ و ۷) است که یک انتشار یک‌طرفه از شمال شرق به جنوب غرب است.

صفحه گسل با امتداد ۳۶ درجه و شیب ۸۸ درجه برآورد شد که این نتیجه‌ها هم همخوانی خوبی با HRVD دارد. به نظر می‌رسد امتداد گسل کهورک مسبب این زمین‌لرزه بوده است.

پژوهش‌ها نشان می‌دهد ضریب کیفیت و ضریب جذب برای زمین‌لرزه ریگان بیانگر لرزه‌خیزی بالای منطقه بوده و در گستره‌ی مناطق فعال دنیا قرار دارد.

بررسی‌های انجام شده توسط محققان بر روی زلزله ریگان



شکل ۸- طیف فوریه و پاسخ شبیه‌سازی شده (خاکستری) و مشاهده‌ای (سیاه) در ایستگاه‌های فهرج و زه کلوت

شکل (۹) نمودار شتاب شبیه‌سازی شده به روش کاتوره‌ای گسل محدود برحسب فاصله از رومرکز در زمین‌لرزه ریگان نشان

جدول ۳- شتاب مشاهده‌ای تصحیح شده برای مؤلفه‌های افقی و عمودی و مقادیرهای شتاب شبیه‌سازی شده

st- code	Record No.	Distance (km)	L(cm/s ²) obs	T(cm/s ²) obs	V(cm/s ²) obs	pga(cm/s ²) sim
حسین آباد	۵۱۲۸	۱۴۳	۱۸	۱۶	۶	۶
محمدآباد	۵۱۲۹	۱۴۳	۱۴	۱۰	۱۱	۷
ریگان	۵۱۳۰	۴۱	۶۳	۱۰۵	۴۲	۹۵
براوات	۵۱۳۱	۱۱۳	۳۹	۴۹	۲۶	۱۱
جیرفت	۵۱۳۲	۱۴۷	۱۸	۳۶	۱۶	۶
قطب‌آباد	۵۱۳۳	۹۳	۲۴	۱۴	۱۳	۲۱
دلگان	۵۱۳۴	۹۶	۱۱	۱۲	۱۰	۱۶
فهرج	۵۱۳۵	۷۶	۲۶	۱۹	۲۵	۳۳
رودبار	۵۱۳۶	۱۲۱	۵۸	۴۶	۳۷	۱۱
بزمان	۵۱۳۷	۱۰۹	۱۰	۱۲	۱۰	۵
دربهشت	۵۱۳۸	۲۰۸	۱۵	۱۵	۹	۳
قلع کنج	۵۱۳۹	۱۵۶	۵۴	۳۲	۲۲	۶
کهنوج	۵۱۴۰	۱۵۱	۱۳	۱۲	۶	۵
گلباف	۵۱۴۱	۲۲۵	۸	۹	۳	۳
کشیت	۵۱۴۲	۱۹۷	۱۱	۵	۴	۴
زه کلوت	۵۱۴۳	۸۳	۵۸	۳۲	۱۶	۳۱
پشت رود	۵۱۴۴	۱۱۹	۵۹	۴۴	۲۰	۱۸
سدجیرفت ۳	۵۱۴۵	۱۷۹	۱۲	۱۱	۶	۳
ابارق	۵۱۴۶	۱۶۷	۱۷	۱۵	۷	۷
بمپور	۵۱۴۷	۱۷۶	۱۲	۱۱	۳	۳
ایران شهر	۵۱۴۸	۱۹۳	۶	۸	۳	۲
سیرج	۵۱۴۹	۲۶۲	۸	۸	۲	۳
چاه علی	۵۱۸۱	۱۴۵	۴	۱۲	۴	۸

شکل در بازه فرکانسی ۱ تا ۲۰ هرتز دارند به طوری که این همبستگی در فرکانس‌های بالاتر یعنی حدود ۳ تا ۲۰ هرتز بیشتر است. افت استرس که مهم‌ترین عامل مؤثر بر روی فرکانس‌های بالای طیف است، ۶۳ بار به دست آمده است.

نشان‌دهنده افزایش k با فاصله کانونی است. افزایش سریع‌تر k در یک پهنه به معنای افت تنش بیشتر و کاهش سریع‌تر است. طیف دامنه فوریه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در تمام ایستگاه‌های با فاصله رومرکز کمتر از ۱۰۰ کیلومتر همبستگی خوبی در دامنه و

مراجع

- [1] Boore, D. M., (2001), "Effects of baseline corrections on displacements and response spectra for several recordings of the 1999 Chi - Chi, Taiwan, earthquake", Bull. Seismol. Soc. Am., 92, (4), 1199- 1211.

- [2] Boore, D., (2003), "Prediction of ground motion using the stochastic method", Pure Apple Geophysic 2003; 160: 635- 676.
- [3] Dehghani, G. A. and Makris, J., (1984), "The gravity field and crustal structure of Iran", N. Jb. Geol. Palaeont. Abh., 168, 215- 229.
- [4] Ghaboussi, J. and Chu-Chieh J., (1998), "New Method of Generating Spectrum Compatible Accelerograms Using Neural Networks", Earthquake Engng. Struct. Dyn., 27, pp. 377-396.
- [5] Hamzeloo, H., (2000), "Seismic Modelling of Fault Rupture for Four Iranian Earthquakes", Ph. D. Theses, University of Roorkee, India.
- [6] Hamzehloo, H., Sinvhal, A., Kamalian, N. and Sinvhal, H., (2000), "A Quantitative Comparison Between Observed and Simulated Strong Ground Motion for the 1978 Tabas (Ms 7.7), Iran, Earthquake", Third Meeting of Asian Seismological Commission, Tehran, IR. Iran.
- [7] Khattri, K. N., (1998), "Simulation of earthquake Strong ground motion for seismic hazard estimation", National Seminar on recent advances in seismology, Abstract, Deptt. of Mathematic, M. D. university, Rohtak, J. 15-16.
- [8] Lee, V. W., Trifunac, M. D., Todorovska, M. I. and Novikova, E. I., (1995), "Empirical equations describing attenuation of the peaks of strong ground motion, in terms of magnitude, distance, path effects and site conditions". Report No. 95-02, Department of Civil Engineering, University of Southern California, Los Angeles, California, 1995.
- [9] Midorikawa, S., (1993), "Semi Empirical Estimation of Peak Ground Acceleration from Large Earthquakes", Tectonophysics, 218. pp. 287-295.
- [10] Mirzaei, N., Mengtan, G. and Yuntai, C., "seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: Major seismo tectonic provinces", J Earthquake pred Res 1998; 7: 465-495.
- [11] Motazedian, D. and Atkinson, G. M.,)2005(, Stochastic Finite-Fault Modeling Based on a Dynamic Corner Frequency: Bull. Seismol. Soc. Am. 95. 995-1010
- [12] Walker, R., Jackson, J. and Baker, C., (2003), "Surface expression of thrust faulting in eastern Iran: source parameters and surface deformation of the 1978 Tabas and 1968 Ferdows earthquake sequences", Geophy. J. Int., 152, 749-765.
- [13] Wells, D. and Coppersmith, K., (1994), "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement", Bull. Seismol. Soc. Am. 84, 974-1002. 9.
- [14] Yu, G., Khattri, K. N., Anderson, J. G., Brune, J. N., and Zeng, Y., (1995), "Strong Ground Motion From the Uttarkashi Himalaya, India, Earthquake: Comparison of Observations With Synthetics Using the Composite Source Mode", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 85, No. 1, pp. 31-50.



Strong Ground Motion Simulation for Rigan Earthquake December 20, 2010

F. Sharifi-Damavand^{1,*} and M.R. Gheitanchi²

1. MSc in Geophysics-Seismology, Faculty of Basic Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Prof. of Geophysics, Institute of Geophysics, Tehran University, Tehran, Iran

Received: January 2015, Accepted: February 2015

Abstract: In this research, we identify the source parameters of the December 20, 2010 Rigan earthquake with magnitude $M_w = 6.5$ was recorded by 23 digital SSA-2 accelerographs, using ground motion simulation based on stochastic finite fault model.

The fault plane was divided into 12×6 elements, it is based on the concept of self-similarity and revised scaling relations. The simulated results compared with recorded ones on both frequency and time domain. We estimated the causative rupture length and the down dip causative rupture width from the best defined aftershock zone and depth distribution of these aftershocks as 24 and 12 km, respectively. The focal point were determined at (7,5) element. The estimated strike and dip of the causative fault respectively are 36 and 88 which demonstrate strike-slip fault. The focal depth is approximately 17 km.

Rupture is propagated at (7,5) element, from Northeast to Southwest. A quite satisfactory agreement is between the simulated amplitude Fourier spectra and the recorded data.

Keywords: Rigan earthquake, Strong ground motion simulation, Stochastic finite fault

*Corresponding author Email: mshss75@yahoo.com