مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۸، زمستان ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۰۲

صفحات: ۱۴۷ - ۱۳۱

ارزیابی خطر زلزله در منطقه عسلویه بر اساس مدل جنبش زمین (NGA)

محمد آذرافزا[۱]، اکبر قاضی‌فرد[۲]*، ابراهیم اصغری کلجاهی[۳]

چکیده

زلزله‌ها را می‌توان به عنوان پرمخاطره‌ترین پدیده زمین‌شناختی معرفی کرد که خسارات زیادی را به شهرها، اماکن، تاسیسات و ... وارد می‌کنند. دانشمندان پیشرفت‌های چشم‌گیری برای پیش‌بینی زلزله داشته‌اند اما با این حال هنوز با عدم قطعیت‌های بسیاری مواجه می‌باشند. بهترین راهکار مطرح شده در این زمینه، مطالعه الگوهای منطقی و پارامترهای درگیر و تعامل متقابل بین زمین‌لرزه‌ها و سازه‌های شهری یا مقاوم‌سازی لرزه‌ای است. به منظور اجرا سازه‌های مقاوم لرزه‌ای، اولین قدم داشتن اطلاعات کافی در مورد وضعیت لرزه‌خیزی منطقه است که برآورد و تحلیل پارامترهای لرزه‌ای در ساختگاه‌ها، رویکردهای تجربی و کامپیوترمبنای زیادی ارائه گردیده که رویکردهای کامپیوترمبنا (شبیه‌سازی‌ها)، به دلیل دقت بالا و قدرت محاسباتی، امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از جدیدترین رویکردهای مطرح به لحاظ شناسایی وضعیت لرزه‌خیزی مناطق مختلف، بکارگیری مدل‌های آنالیز نسل بعدی جنبش زمین (NGA) است. این مدل با تعریف روابط میرایی ناحیه‌ای، ضرایب لرزه‌خیزی را با دقت بالایی برآورد می‌کند. این مزیت امکان توصیف ساختارهای زمین‌شناسی و سایزموتکتونیکی مناطق مختلف در تاثیر پارامترهای لرزه‌خیزی را فراهم می‌نماید. در این مطالعه مدل NGA مبتنی بر شرایط زمین‌شناسی و تکتونیکی منطقه عسلویه تهیه گردیده و پارامترهای مهندسی طراحی لرزه‌خیزی به صورت مکانی برآورد شده و نقشه‌ی پهنه‌بندی لرزه‌ای منطقه تهیه گردیده است. بر پایه نتایج حاصل از تهیه مدل NGA برای منطقه عسلویه با شعاع 100 km، پارامترهای PGA، PGV، PGD و PSA برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به ترتیب0/29 g، 2/18 cm/s، 2/24 cm و 0/19 g برآورد گردیده است. بر اساس نتایج تحقیق، منطقه مورد مطالعه به ۴ پهنه از نظر درجه خطر تقسیم شده و منطقه عسلویه در پهنه با خطر زلزله بالا قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: مخاطرات طبیعی، زمین‌لرزه، ارزیابی خطر، لرزه‌خیزی، گسل، عسلویه.

[۱]- دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اصفهان m.azarafza.geotech@gmail.com

[۲]- دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول) a.ghazifard@sci.ui.ac.ir

[۳]- دانشیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز e-asghari@tabrizu.ac.ir

مقدمه

زلزله را می‌توان خطرناکترین پدیده زمین‌شناختی دانست که موجب خسارات مالی و جانی زیادی به جوامع بشری، نظام‌های شهری، تاسیسات، سازه‌ها و ... می‌شود. به لحاظ زمین‌شناسی زلزله‌ها بر اثر آزاد شدن انرژی ذخیره شده در لایه‌های درونی زمین رخ می‌دهند. در صورتی که زمین‌لرزه‌ها در محدوده‌های شهری یا پروژه‌های عمرانی رخ دهند، مشکلات مهمی را بوجود می‌آورد. لذا همواره کوشش شده است تا اثرات حاصل از رخداد زمین‌لرزه تا حد توان کنترل گردد (پورکرمانی و آرین، ۱۳۷۷). یکی از مهمترین راه‌های کنترل تاثیرات زمین‌لرزه‌ها که به صورت گسترده در برنامه‌ریزی‌های مدیریت بحران در طراحی‌های نظام‌مند شهری بکار گرفته می‌شود، بررسی وضعیت لرزه خیزی محل و طراحی لرزه‌ای سازه‌هاست، به طوری که در حین رخداد زمین‌لرزه‌هایی در آینده، امکان مقاومت سازه در برابر آن موجود باشد (Azarafza and Ghazifard, 2016). بدین ترتیب امکان ایجاد خسارات ناشی از عدم مقاومت سازه در برابر نیروهای دینامیکی اعمالی تحت زمین‌لرزه تا حد مناسبی مهار شده و خسارت به حداقل مقدار کاهش می‌یابد. برای دست‌یابی به این مهم نیازمند لحاظ نمودن پارامترهای لرزه‌خیزی در طراحی سازه‌ها است (آذرافزا و مهرنهاد، ۱۳۹۱). این پارامترها به صورت عمده بیان کمی شرایط و ویژگی‌های زمین‌شناختی ساختگاه، تکتونیک منطقه، توان لرزه‌زایی، دوره بازگشت و امکان فعالیت مجدد سیستم گسلش آن منطقه مذکور می‌باشد (Yazdani and Kowsari, 2013).

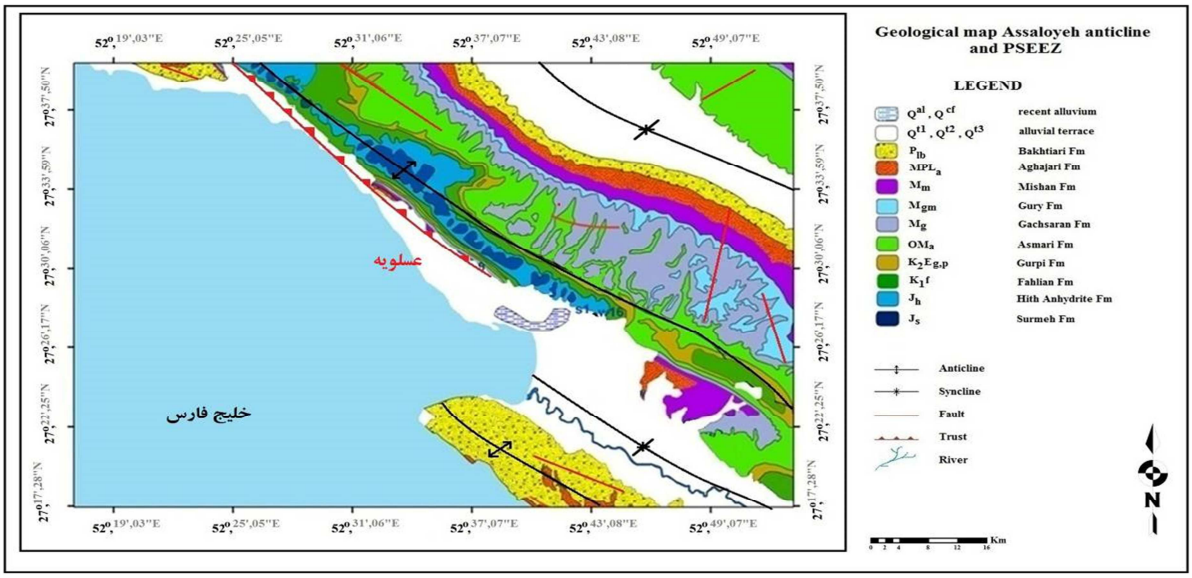
کشور ایران به دلیل قرارگیری در کمربند تکتونیکی آلپ- هیمالیا یکی فعال‌ترین مناطق لرزه‌خیز در دنیا بشمار می‌آید که بصورت گسترده شاهد رخداد زمین‌لرزه‌های فراوان با بزرگاهای مختلف در سرتاسر آن است که مسبب خسارات مالی و جانی و عواقب روانی غیرقابل جبران است (پورکرمانی و آرین، ۱۳۷۷). در جهت کاهش مخاطرات لرزه‌ای ضروری است تا مطالعات جامعی در ارتباط با شناخت سیستم زلزله، عملکرد و اثرات زلزله در سطح منطقه اقتصادی عسلویه صورت پذیرد. در این راستا شناسایی سیستم زمین‌ساختی و گسلش در منطقه، تعیین و طبقه‌بندی فعالیت گسل‌ها و پهنه‌بندی منطقه برپایه میزان وقوع زمین‌لرزه یا خطرپذیری، کمک بسیار بزرگی در کاهش خسارت در زمین‌لرزه‌های احتمالی آینده خواهد داشت (Cambazoğlu et al., 2016). با توجه به عدم امکان پیش‌بینی دقیق زمان و مکان رخداد زمین‌لرزه‌ها و مطرح بودن کشور ایران به عنوان یکی از فعال‌ترین مناطق لرزه‌ای در دنیا، همواره رخداد پنهان زمین‌لرزه یک تهدید برای شهرها و مراکز مهم بوده لذا رویکرد پیش‌بینی و مقاوم‌سازی تنها رویکرد مدیریتی بشمار می‌رود. بنابراین بیان کمی و ایجاد یک رابطه بین شرایط زمین‌شناختی و طراحی لرزه‌ای سازه‌ها کاملاً منطقی خواهد بود. از سویی مطالعات تجربی زمین‌شناختی و سایزموتکتونیک در سرتاسر دنیا نشان داده است که لرزه‌خیزی یک منطقه به صورت مستقیم به وضعیت تکتونیکی و سیستم گسلش آن منطقه بستگی داشته و با زیاد بودن گسلش در یک منطقه، میزان پتانسیل رخداد زلزله نیز در آن منطقه افزایش می‌یابد (آذرافزا و همکاران، ۱۳۹۳). در این مقاله وضعیت لرزه خیزی منطقه عسلویه بر پایه مدل جنبش زمین یا NGA[1] بررسی شده است. شایان ذکر است که در منطقه عسلویه مطالعات لرزه‌خیزی مختلفی صورت گرفته که مهمترین آن مطالعات

1- Next Generation Attenuation of Ground Motion

پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای و ژئوتکنیک لرزه‌ای منطقه عسلویه (محدوده ۹۱۰ هکتاری) است که به وسیله پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۸۰) انجام شده است. بر اساس این مطالعات متوسط بیشینه شتاب افقی برای ۵۰ درصد احتمال وقوع در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۷۵ سال)g ۰/۲۳ و برای ۱۰ درصد احتمال وقوع در ۵۰ درصد (دوره بازگشت ۴۷۵ سال) g ۰/۴۲ پیشنهاد شده است. از دیگر محققینی که در این زمینه اقدام به انجام مطالعه بر روی ویژگی‌های لرزه‌ای منطقه نموده‌اند می‌توان به سلیمانی و نورزاد (۱۳۹۱)، علی‌الهی و آدم پیرا (۱۳۹۱)، علی‌الهی و همکاران (۱۳۹۱)، آذرافزا و همکاران (۱۳۹۲)، انصاری و همکاران (۱۳۹۳-الف؛ ۱۳۹۳-ب)، رنجبران و دارابی (۱۳۹۴) و یزدانی و همکاران (۱۳۹۵) اشاره نمود. این محققین با بکارگیری فاکتورهای مختلف به برآورد اثرات و تعاملات بین زلزله ها و مخاطرات احتمالی بر سازه‌های موجود در منطقه پرداختند و اثر بر پدیده‌های مختلف مانند روانگرایی، نشست و ... را ارزیابی نمودند.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه عسلویه یا منطقه ویژه پارس جنوبی یکی از مهمترین مناطق اقتصادی ایران به شمار می‌آید. این منطقه بصورت باریکه‌ای بالغ بر ۱۴ هزار هکتار در حاشیه شمالی خلیج فارس به مختصات ۲۷ درجه و ۲۷ دقیقه و ۵۵ ثانیه تا ۲۷ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۴ ثانیه شمالی و ۵۲ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵۵ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۲۸ دقیقه و ۱۹ ثانیه شرقی واقع است. سطح بیشتر این منطقه توسط رسوبات آبرفتی پوشیده است. تنها در بخش شمالی منطقه ویژه پارس جنوبی برونزدهای سنگی مربوط به تاقدیس عسلویه مشاهده می‌شود. این تاقدیس منطقه را از بخش شمالی و شمال‌غربی محدود می‌کند. بر پایه مطالعات زمین‌شناسی انجام گرفته در منطقه، این ناحیه شامل سازندهای میشان (مارن‌های خاکستری، آهک رسی و رس‌سنگ)، آغاجاری (ماسه‌سنگ‌های قهوه‌ای تا خاکستری، گچ، مارن‌های کرم تا قرمز رنگ و سیلتستون)، بختیاری (کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سنگ آهک، مارن رسی، سیلتستون و رس‌سنگ)، آسماری (سنگ آهک قهوه‌ای تا کرم، مارن‌های کرم رنگ همراه با فسیل)، گوری (ماسه‌سنگ، سنگ آهک، مارن آهکی) و سورمه (آهک دولومیتی، دولومیت، آهک رسی) است (آقانباتی، ۱۳۸۵). نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه عسلویه در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه عسلویه

داده‌ها و روش‌شناسی

یکی از جدیدترین رویکردهای مطرح به لحاظ شناسایی سیستم لرزه‌خیزی مناطق مختلف، بکارگیری مدل‌های جنبش زمین[۱] است. این مدل‌ها بر پایه یک رویکرد تلفیقی از نقشه‌های پهنه‌بندی لرزه‌ای[۲]، تحلیل خطر لرزه‌ای قطعی[۳] (DSHA) و تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی[۴] (PSHA) برای برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی یک منطقه خاص استفاده می‌کنند (McGuire, 2004). پارامترهای لرزه‌ای چشمه‌های لرزه‌زا[۵]، بزرگی، مکانیسم گسلش و شرایط زمین-شناختی حاکم بر ساختگاه از جمله ویژگی‌های مورد نیاز در مدل‌های جنبش زمین است. کمپبل و بزرگ‌نیا (۱۹۹۴) یک رابطه جامع برای جنبش میدان نزدیک زمین یا رابطه میرایی[۶] به منظور برآورد بیشینه شتاب افقی زمین[۷] (PGA) برای واکنش زمین به زمین‌لرزه ۱۹۹۲ رخ داده در پترولیا و لندرز، کالیفرنیا ارائه نمودند. کمپبل (۱۹۹۷) با اصلاح رابطه ۱۹۹۴ خود این رابطه را برای برآورد پارامترهای بیشینه سرعت زمین[۸] (PGV)، شبه شتاب پاسخ طیفی[۹] (PSA) و مولفه قائم جنبش زمین[۱۰] بکار گرفت. این محققین در سال ۲۰۰۳ مدل جدید خود را برای حل جنبش میدان نزدیک زمین ارائه نمودند. پایگاه داده‌ای این مدل بصورت پیوسته در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲

1- Ground motion models
2- Seismic zonation maps
3- Deterministic Seismic Hazard Analysis
4- Probabilistic Seismic Hazard Analysis
5- Seismic source parameters
6- Attenuation relation
7- Peak Ground Acceleration
8- Peak Ground Velocity
9- Pseudo Acceleration Response Spectra
10- Vertical component of ground-motion

تکمیل‌تر شده و به روز گردید (Campbell and Bozorgnia, 2012). محققین دیگری مثل آبراهامسون و سیلویا (۲۰۰۸)، بور و اتکینسون (۲۰۰۸)، چائو و یانگ (۲۰۰۸) و ادریس (۲۰۰۸) مدل‌هایی به منظور حل جنبش میدان نزدیک زمین و رابطه میرایی ارائه نمودند. به منظور ارائه مدل NGA برای یک منطقه نیازمند برآورد پارامتریک ضرایب میرایی آن منطقه است. این ضرایب در جدول ۱ آورده شده است. کمپبل و بزرگ‌نیا بر پایه آخرین اصلاحیه خود طی مقاله ای در سال ۲۰۱۲ به منظور آنالیز لرزه‌ای و تهیه مدل NGA مراحل زیر را بیان نمودند:

۱- مطالعه شرایط زمین‌شناسی و تکتونیکی منطقه

۲- بررسی سایزموتکتونیک و داده‌های لرزه‌ای و شناسایی چشمه‌های لرزه‌زا

۳- ارائه مدل NGA و برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی

۴- تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله

در این مطالعه به منظور برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی و مدل جنبش میدان نزدیک منطقه عسلویه از روش درخت منطقی به صورت درخت منطقی تلفیقی از نسخه ۲۰۰۸ روش‌های محققین ذکر شده در بالا استفاده گردیده است. این پارامترها به منظور تهیه مدل NGA و نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای منطقه بکارگرفته می‌شوند.

جدول ۱: ضرایب میرایی مدنظر در مدل NGA (Campbell and Bozorgnia, 2012)

ردیف	پارامتر	توصیف
۱	PSA	شتاب طیفی در میرایی ۵ درصد (g)
۲	PGA	بیشینه شتاب افقی زمین (g)
۳	PGV	بیشینه سرعت زمین (cm/s)
۴	PGD	بیشینه جابجایی زمین (cm)
۵	M	بزرگای گشتاوری (Mw)
۶	RRUP	نزدیک‌ترین فاصله تا گسیختگی لرزه‌ای (km)
۷	RJB	نزدیک‌ترین فاصله سطحی تا لرزه‌ای (km)
۸	FRV	فاکتور ضریب گسل معکوس
۹	FNM	فاکتور ضریب گسل نرمال
۱۰	ZTOR	عمق بالاترین نقطه گسیختگی لرزه‌ای (km)
۱۱	δ	میانگین شیب صفحه گسیخته (درجه)

نتایج و بحث

الف- زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه:

مهمترین ساختارهای سنگی درزه‌دار مشاهده شده در منطقه مربوط به برونزدهای این سازندها می‌باشد که به خاطر فعالیت‌های شدید تکتونیکی بسیار چین‌خورده و گسل‌دار می‌باشند. بربریان (۱۹۹۵) معتقد است که این ساختارهای تکتونیکی و رخداد زمین‌لرزه‌های گوناگون با بزرگاهای مختلف در منطقه، حاصل نیروی فشارشی با راستای SW-NE

و تغییرشکلی با راستای NW-SE مربوط به حرکت صفحه تکتونیکی عربی به زیر صفحه ایران مرکزی و اوراسیا می‌باشد. نوگل‌سادات و الماسیان (۱۹۹۳) با تحلیل‌های سایزموتکتونیکی، ایران را به چند ایالت لرزه‌زمین‌ساختی تقسیم کردند. این تقسیم‌بندی در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، منطقه مورد بررسی در بخش جنوبی ایالت لرزه‌زمین‌ساختی فارس قرار دارد. بر پایه مطالعات سنجش از دور انجام گرفته، این منطقه تحت اثر چندین گسل اصلی بوده که جکسن و مکنزی (۱۹۸۸) این گسل‌ها را به صورت زیر معرفی می‌کند: (الف) گسل معکوس اصلی زاگرس[۱]، (ب) گسل زاگرس مرتفع[۲]، (ج) گسل جوان اصلی زاگرس[۳]، (د) گسل پیشانی کوهستان[۴] و (ه) گسل عسلویه[۵]

ب- سایزموتکتونیک و پایگاه داده لرزه‌ای و شناسایی چشمه‌های لرزه‌زا:

برای تهیه یک نقشه سایزموتکتونیک از منطقه مورد بررسی نیازمند ایجاد پایگاه داده‌ای زمین‌لرزه‌های رخ داده است که توسط یک مقیاس مناسب ریاضیاتی یکسان‌سازی شده‌اند. این پایگاه داده برای این که بتواند در تعیین خطر زلزله و برآورد ضرایب میرایی و تعریف مدل NGA بکار گرفته شود، باید با چشمه‌های لرزه‌زای شناسایی شده تلفیق گردد. پایگاه داده‌های لرزه‌ای برپایه اطلاعات موجود و ثبت شده از زمین‌لرزه‌های رخداده در محدوده مطالعاتی هر منطقه (در این بررسی شعاع ۱۰۰ km مد نظر است) حاصل شده و برای درک وضعیت لرزه‌خیزی آن بکار گرفته می‌شود. بطور کلی پایگاه داده‌های لرزه‌ای از مجموعه اطلاعات حاصل از سه گروه زیر ایجاد می‌شود:

- اطلاعات لرزه‌ای تاریخی (اطلاعات مربوط به رخداد زمین‌لرزه‌ها در کتب تاریخی، نقوش و ... مربوط به قبل از سال ۱۹۰۰ میلادی)
- اطلاعات قرن بیستم (اطلاعات مربوط به رخدادهای زمین‌لرزه‌ای مربوط به بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۳)
- اطلاعات عهدحاضر (به تمامی رخدادهای ثبت شده از ۱۹۶۳ تا کنون اطلاق می‌شود)

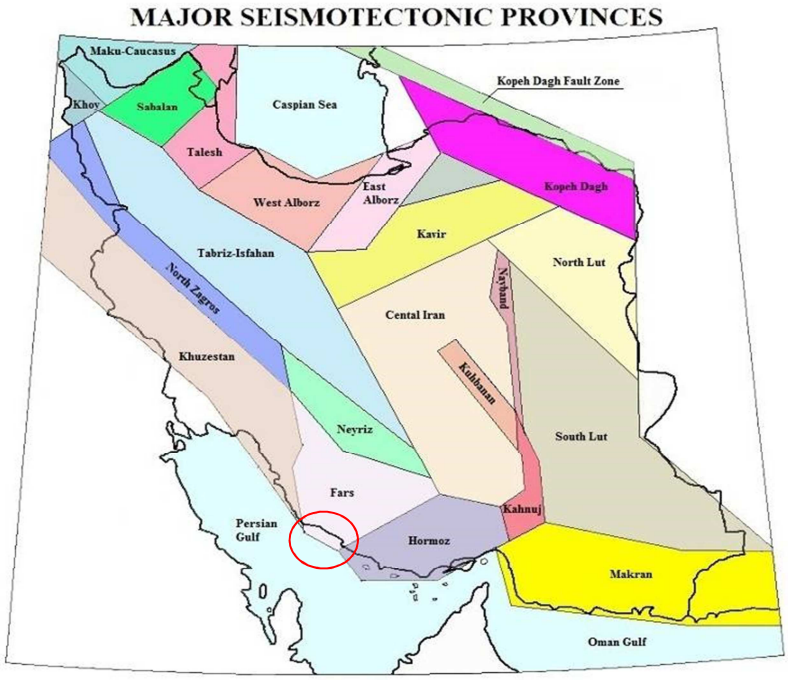
در این مطالعه به منظور ایجاد پایگاه داده‌های لرزه‌ای از هرسه گروه مذکور استفاده شده است. برای اطلاعات تاریخی مرجع مورد نظر کتب «A history of Persian Earthquakes» (Ambraseys and Melville, 1982) و « Natural hazards and the first earthquake catalogue of Iran» (Berberian, 1995) است. همچنین برای اطلاعات قرن بیستم و عهد حاضر، از داده‌های «سایت پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله» (IIEES, 2017) استفاده شده اشت. خلاصه پایگاه داده‌های لرزه‌ای ایجادی در جدول ۲ ارائه شده است.

1- Main Zagros Reverse Fault (MZRF)
2- High Zagros Fault (HZF)
3- Young Zagros Main Fault (YZMF)
4- Mountain Front Fault (MFF)
5- Assalouyeh Fault (AF)

جدول ۲: خلاصه اطلاعات لرزه‌ای منطقه عسلویه (Ambraseys and Melville, 1982; Berberian, 1995; IIEES, 2017)

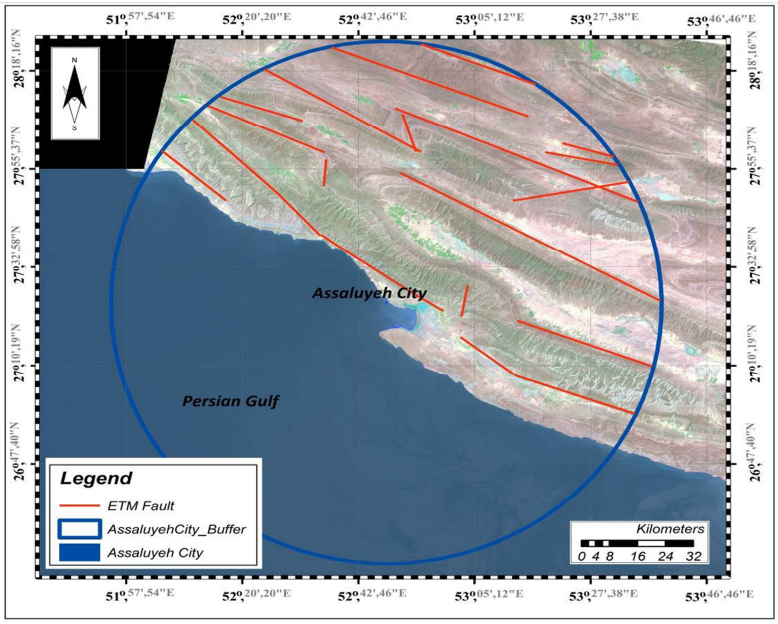
گروه‌ها	زلزله‌های تاریخی	زلزله‌های قرن ۲۰	زلزله‌های عهد حاضر	کل داده‌ها
تعداد زمین‌لرزه‌ها	۲۴	۴۹	۵۲۴	۵۹۷
انحراف معیار (S.D.)	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲۳۳

شناسایی چشمه‌های لرزه‌زا با کمک‌گیری از روش سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای منطقه ممکن است. در این راستا نیاز است تا خطواره‌های تکتونیکی از تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردد. به طور کلی دو روش «استخراج دستی» و «استخراج خودکار» برای استخراج خطواره‌های تکتونیکی از تصاویر ماهواره‌ای موجود است. در روش استخراج خودکار، کاربر باید با بکارگیری ویژگی‌هایی مانند فیلتر کردن، درون‌یابی و برون‌یابی داده‌ای و طیفی، دیتافیوژن و ... خطوط شناسایی گردد. عمده نقص این روش عدم توانایی در شناسایی فاکتورهای زمین‌شناسی و زمین‌ساختی و حدود بالا و پایین آنالیز است. در روش استخراج دستی بعد از فیلتر کردن و ترکیب رنگی، نسبت‌های طیفی و سایر عناصر تحلیل به صورت دستی کنترل و لحاظ می‌شوند (Cambazoğlu et al., 2016).



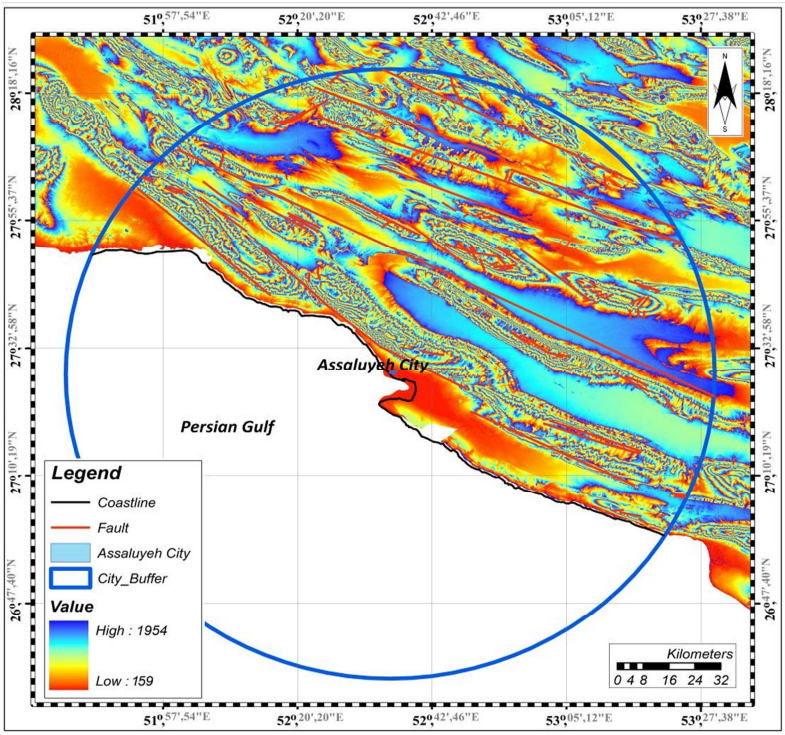
شکل ۲: ایالات لرزه‌زمین‌ساختی بزرگ ایران (*Nogol-Sadat and Almasian, 1993*)

در این مطالعه به منظور شناسایی خطواره‌های تکتونیکی از روش استخراج دستی استفاده شده است. برای تهیه نقشه‌های سایزموتکتونیک منطقه از تصاویر ماهواره‌ای ETM^{+} (شکل ۳)، داده‌های DEM[1] (شکل ۴) نقشه‌های به روز شده زمین‌شناسی و ژئوموفولوژی منطقه و همچنین با توجه به شرایط زمین‌شناسی منطقه و لحاظ نمودن گسل‌های پوشیده و پی سنگی از داده‌های ژئومغناطیس (شکل ۵) نیز برای افزایش دقت کار استفاده شده است. بکارگیری نقشه‌های ژئومغناطیس به منظور شناسایی گسل‌های پی سنگی یک رویکرد موفق بشمار می‌آید. وجود گسل‌های پی سنگی در منطقه به دلیل حرکات تکتونیکی عمق ایجاد می‌شود که مسبب فعالیت یا باز فعالیت گسل‌های آبرفتی است. معمولاً گسل‌های پی سنگی بصورت رخدادهای خطی در تصاویر ژئومغناطیسی (آنومالی‌های مغناطیسی) قابل شناسایی می‌باشند که به صورت تغییرات شدید خطی آنومالی‌ها بر روی نقشه داده‌های ژئومغناطیسی ظاهر می-گردند. اگر مناطق در محدوده برخورد صفحات تکتونیکی واقع شوند، اهمیت این گسل‌ها بسیار بیشتر از گسل‌های آبرفتی در نظر گرفته می‌شوند زیرا که عامل ایجاد زلزله‌های عمیق، فعال شدن گسل‌های دارای پتانسیل فعالیت، حرکت گسل‌های فرعی و فعال در آن منطقه می‌شوند. استفاده از ترکیب نقشه‌های مختلف در تهیه نقشه تکتونیکی منطقه سبب می‌گردد تا دید کافی و کاملی از محدوده به لحاظ چشمه‌های لرزه‌زا ایجاد کردد. این دید جامع در انتخاب و گزینش گسل‌های اصلی منطقه بسیار حائز اهمیت می‌باشد زیرا که برآورد روابط کاهیدگی برای هر منطقه بصورت مدل NGA برپایه گسل‌های اصلی منطقه می‌باشد، عامل جنش نیرومند در زمین شمرده می‌شوند. نقشه‌های تهیه شده برای منطقه عسلویه در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است.

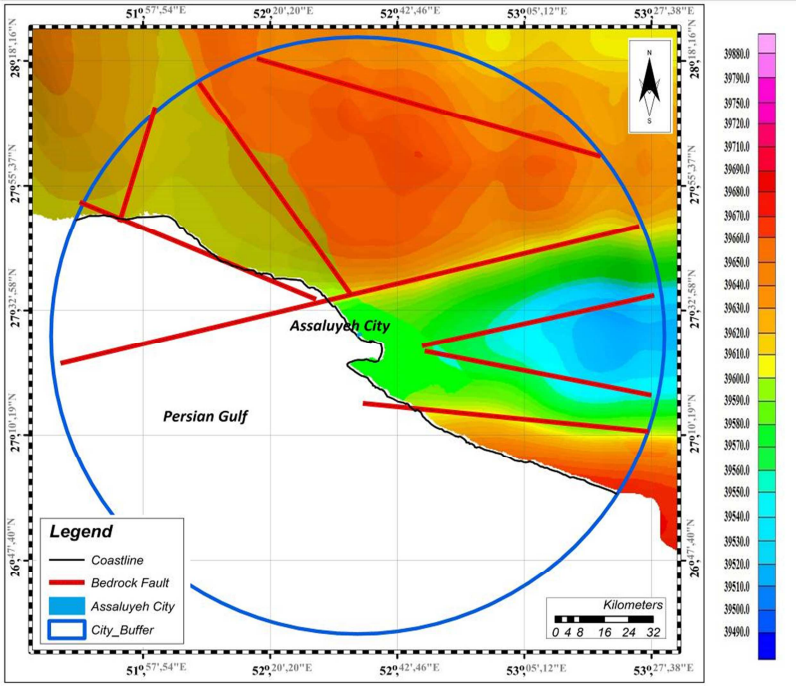


شکل ۳: استخراج خطواره‌های تکتونیکی منطقه عسلویه از تصویر ماهواره‌ای ETM^{+} (برای شعاع ۱۰۰ km)

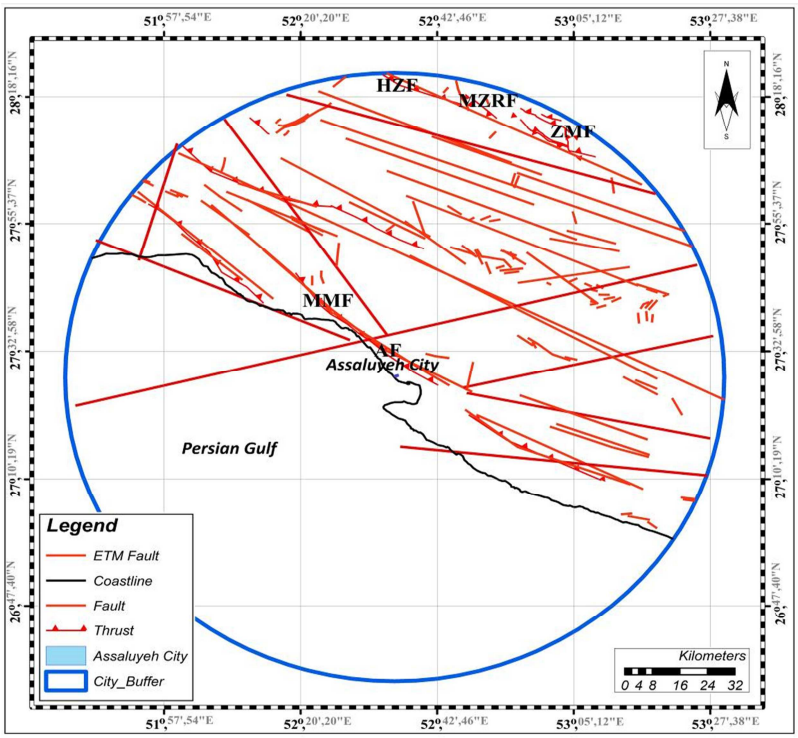
1- Digital Elevation Models



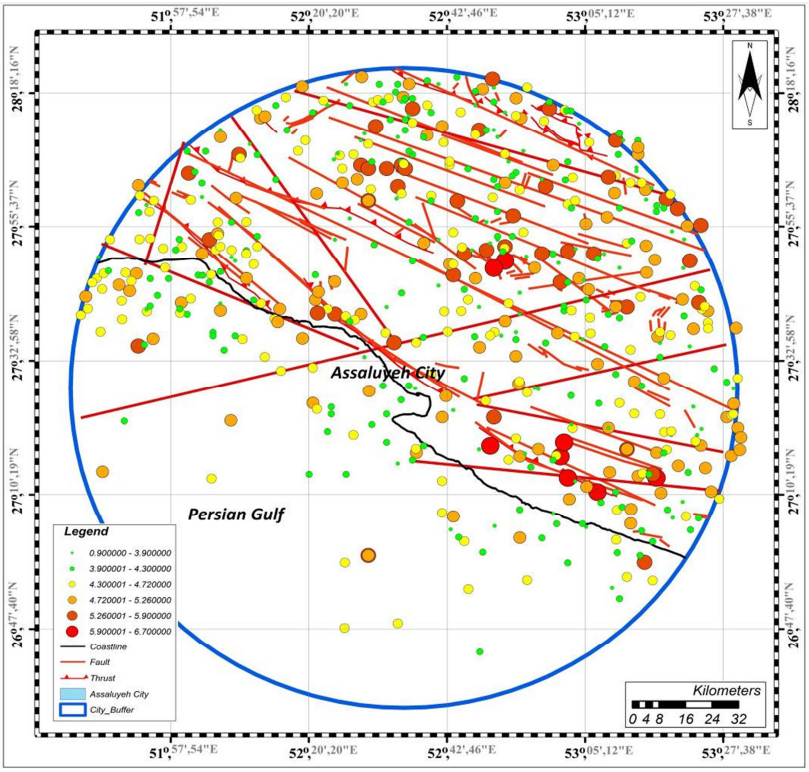
شکل ۴: استخراج خطواره‌های تکتونیکی منطقه عسلویه از داده‌های DEM (برای شعاع ۱۰۰ km)



شکل ۵: استخراج خطواره‌های تکتونیکی منطقه عسلویه از داده‌های ژئومغناطیس (برای شعاع ۱۰۰ km)



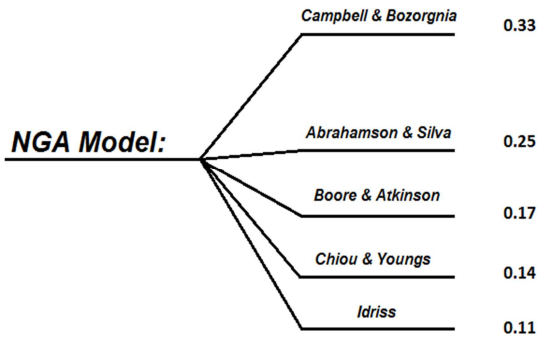
شکل ۶: نقشه تکتونیکی تهیه شده از منطقه عسلویه برای شعاع ۱۰۰ km



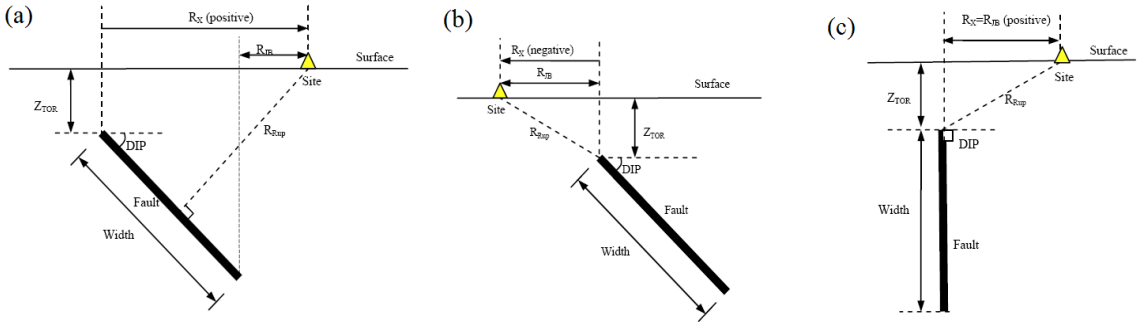
شکل ۷: نقشه سایزموتکتونیکی تهیه شده از منطقه عسلویه برای شعاع ۱۰۰ km

ج- ارائه مدل NGA و برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی:

برای ارزیابی خطر زلزله در یک منطقه نیاز به برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی آن منطقه است که با تعریف رابطه میرایی و ضرایب میرایی منطقه به کمک نقشه‌های سایزموتکتونیکی و پایگاه داده‌های لرزه‌های آن منطقه قابل دست‌یابی است. رابطه میرایی و مدل جنبش زمین (NGA) مورد استفاده در این مطالعه با استفاده از درخت منطقی نشان داده شده در شکل ۸ بر پایه توزیع وزن‌دار ضرایب پارامتریک میرایی بکار گرفته شده در مدل‌های اصلاح شده مربوط به کمبپل و بزرگ‌نیا (۲۰۱۲)، آبراهامسون و سیلویا (۲۰۰۸)، بور و اتکینسون (۲۰۰۸)، چائو و یانگ (۲۰۰۸) و ادریس (۲۰۰۸) تهیه شده است. مدل NGA یک روش موثر برای تعیین پارامترهای لرزه‌ای براساس تعریف و بسط داده‌های کلاسیک لرزه‌ای به کمک روش برون‌یابی اطلاعات است. این رویکرد با مقیاس‌بندی و موقعیت سنجی عواملی مانند بزرگا (M_W)، فاصله تا گسلش، نوع و مکانسیم گسل، وضعیت فرادیواره و فرودیواره گسل و ... اقدام به برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی می‌کند. شکل ۹ وضعیت عملکرد پارامترهای درگیر در ساختگاه برای مدل NGA را نشان می‌دهد. منطقه عسلویه به دلیل نزدیکی به زمین‌درز اصلی زاگرس دارای وضعیت ویژه‌ای به لحاظ لرزه‌خیزی است. به طوری که گسل‌های اصلی منطقه فعال بوده و در بسیاری موارد در سطح رخنمون دارند (بنابراین در ضرایب میرایی Z_{TOR} برابر صفر شده و $R_{RUP}=R_{JB}$). نتایج تحلیل لرزه‌ای و مدل NGA برای منطقه عسلویه در اشکال ۱۰ تا ۱۴ آورده شده است. همچنین در جدول ۳ پارامترهای لرزه‌ای محاسبه شده برای این منطقه نشان داده شده است.



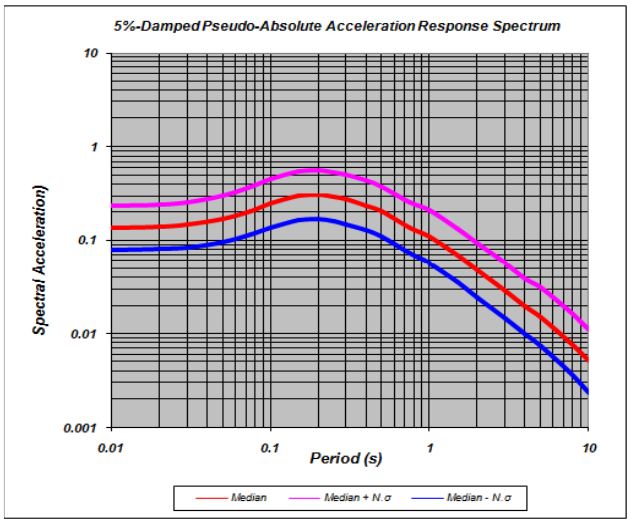
شکل ۸: درخت منطقی وزن‌دار برای تعیین مدل NGA منطقه عسلویه



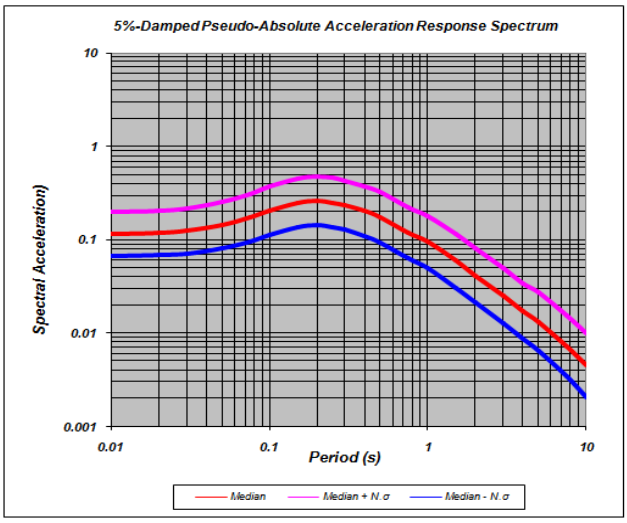
شکل ۹: تعریف هندسه گسل و فاصله از ساختگاه برای انواع و مکانیسم‌های مختلف سیستم گسلش؛ (a) گسل‌های نرمال و یا معکوس که سایت در فرادیواره است، (b) گسل‌های نرمال و یا معکوس که سایت در فرو دیواره است و (c) امتداد لغز (*Abrahamson and Silva, 2008; Boore and Atkinson, 2008; Chiou and Youngs, 2008; Idriss, 2008; Campbell and Bozorgnia, 2012*)

جدول ۳: پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه شده برای منطقه عسلویه تحت اثر سیستم گسلش منطقه

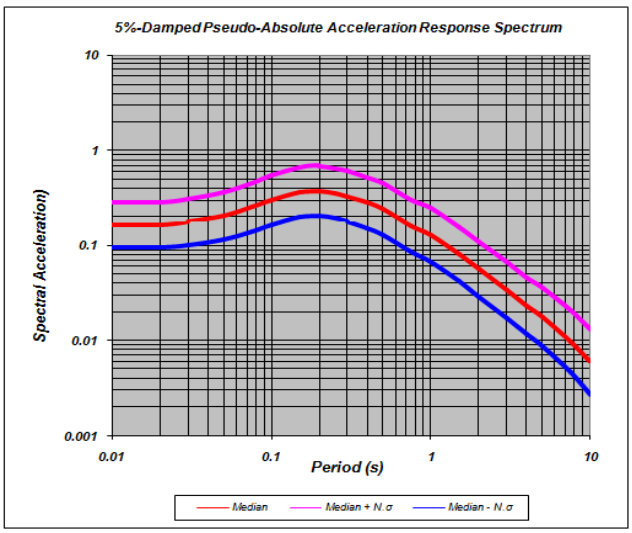
A_{1100}	5%-Damped PSA (g)	PGV (cm/sec)	PGD (cm)	PGA (g)	نام گسل
1.118 E-01	1.355 E-01	1.156 E+01	1.891 E+01	1.351 E-01	**MZRF**
9.454 E-02	1.155 E-01	9.947 E+00	1.646 E+01	1.451 E-01	**HZF**
1.349 E-01	1.635 E-01	1.384 E+01	2.236 E+01	1.630 E-01	**ZMF**
2.215 E-01	2.516 E-01	1.881 E+01	2.054 E+01	2.509 E-01	**MMF**
4.127 E-01	4.570 E-01	3.664 E+01	4.250 E+01	4.555 E-01	**AF**
1.950 E-01	2.246 E-01	1.815 E+01	2.415 E+01	2.992 E-01	**Assalouyeh**



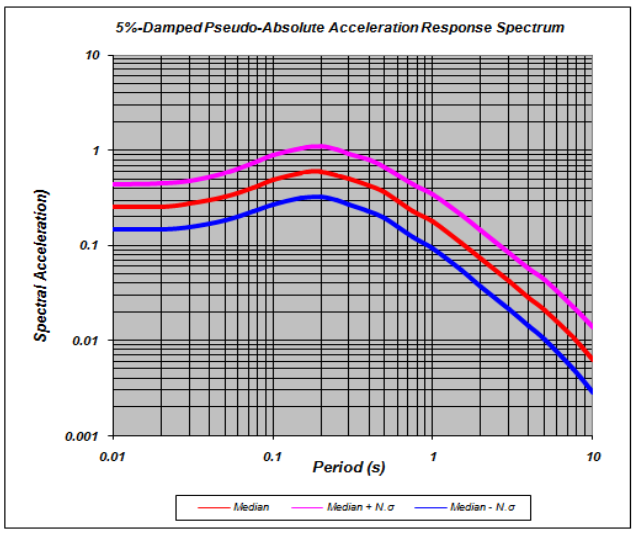
شکل ۱۰: مدل NGA برای گسل MZRF



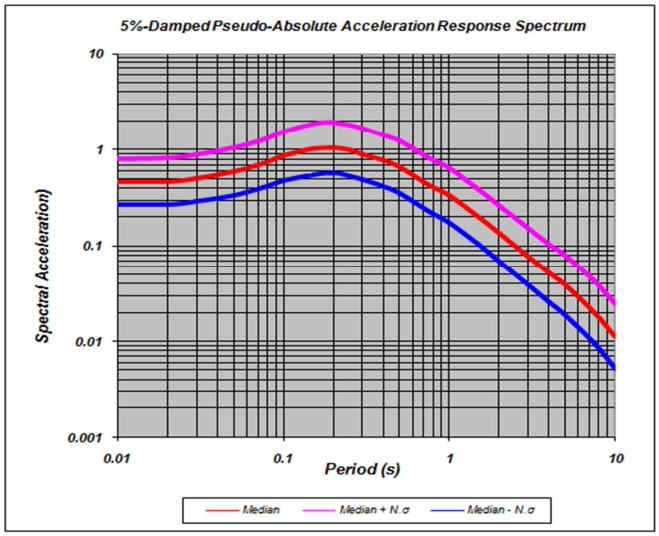
شکل ۱۱: مدل NGA برای گسل HZF



شکل ۱۲: مدل NGA برای گسل YZMF



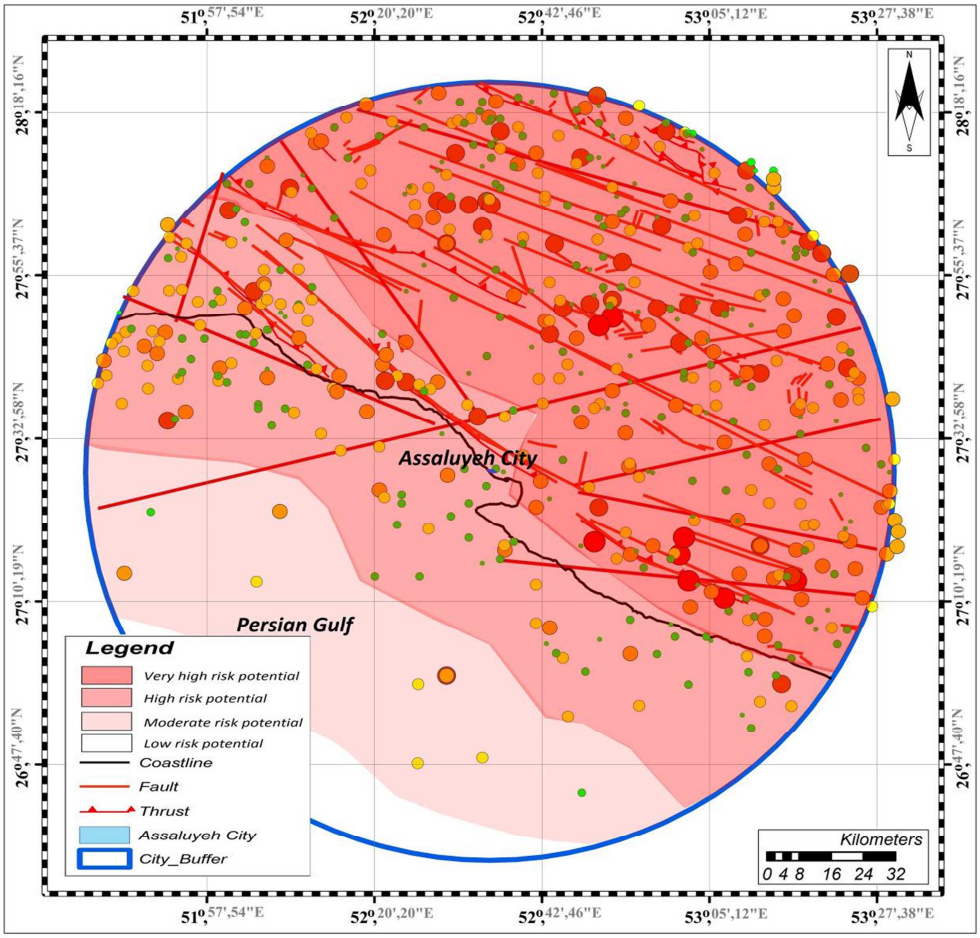
شکل ۱۳: مدل NGA برای گسل MFF



شکل ۱۴: مدل NGA برای گسل AF

تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله در منطقه

گسل‌ها به عنوان اصلی‌ترین عامل در ایجاد زمین‌لرزه‌ها در سرتاسر دنیا معرفی می‌شوند. بطوری که اگر منطقه‌ای به لحاظ تکتونیکی فعال باشد، می‌توان نتیجه گرفت که این منطقه به لحاظ سایزموتکتونیکی نیز فعال است. به عبارت دیگر میزان لرزه‌خیزی هر منطقه توسط پارامترهای لرزه‌ای، فراوانی و دوره‌های رخداد زمین‌لرزه‌ها کنترل می‌گردد (نوگل‌سادات، ۱۳۷۱). رایج‌ترین فرآیند در ارزیابی خطر لرزه‌ای، مطالعه دقیق توزیع و فراوانی زمین‌لرزه‌ها و موقعیت-یابی تمرکز رخدادهای لرزه‌ای در مناطق مختلف است. در این موارد، پارامترهای لرزه‌ای، تعداد زمین‌لرزه‌ها، بزرگای اصلاح شده (مقیاس M_w توصیه می‌شود)، مدل NGA و غیره نقش مهمی بازی می‌کنند (آذرافزا و مهرنهاد، ۱۳۹۱). در این مطالعه، پس از برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی و مدل NGA برای منطقه عسلویه (برای شعاع ۱۰۰ km)، اقدام به تهیه نقشه خطر لرزه‌ای و پهنه‌بندی لرزه‌خیزی منطقه گردیده است. این نقشه در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۵: نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله در منطقه عسلویه

نتیجه‌گیری

منطقه عسلویه (پارس جنوبی) به دلیل داشتن واحدهای پالایشگاهی و پتروشیمی متعدد یکی از مناطق مهم کشور محسوب شده که اطمینان از پایداری این واحدها (چه استاتیکی و چه تحت شرایط زلزله) جزء نگرانی‌های مهم کشوری بشمار می‌آید. این تحقیق در راستای بررسی وضعیت لرزه‌ای و تحلیل خطر زلزله در این منطقه اقتصادی صورت گرفته و پارامترهای لرزه‌خیزی و نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله بر اساس مدل NGA تهیه شده است. بر اساس نتایج این مطالعه، منطقه عسلویه از نظر سایزموتکتونیکی فعال بوده و با توجه به قرارگیری در جبهه زون فرورانش تکتونیکی پلیت ایران و پلیت عربی، طراحی دینامیکی سازه‌ها باید با دقت لازم صورت گیرد. این اهمیت خطر لرزه‌ای در منطقه از سمت جنوب غربی به سمت شمال شرقی افزوده می‌شود. برپایه نتایج حاصل از تهیه مدل NGA برای منطقه عسلویه با شعاع ۱۰۰ km، پارامترهای PGA، PGV و PGD برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به ترتیب ۰/۲۹ g، ۱۸/۲ cm/s و ۲۴/۲ cm تعیین شده است. همچنین مقدار شتاب طیفی (PSA) برای میرایی ۵ درصد ۰/۱۹ g برآورد گردیده است. این مقادیر نشانگر قرارگیری منطقه عسلویه در پهنه با خطر زلزله بالا است.

منابع

آذرافزا، محمد؛ اصغری کلجاهی، ابراهیم؛ مشرفی‌فر، محمدرضا (۱۳۹۲). «پهنه‌بندی خطر زلزله در منطقه عسلویه با تاکید بر توان لرزه‌زایی گسل‌های فعال منطقه». اولین همایش ملی مجازی علوم زمین، ارومیه، ایران.

آذرافزا، محمد؛ مهرنهاد، حمید (۱۳۹۱). «برآورد لرزه‌خیزی منطقه تبریز– پلدشت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS». ششمین همایش ملی زمین‌شناسی پیام‌نور، کرمان، ایران، صص ۱۰۶۶-۱۰۷۱.

آذرافزا، محمد؛ نیکوبخت، شهرزاد؛ مشرفی‌فر، محمدرضا (۱۳۹۳). بررسی توان لرزه‌خیزی منطقه شهرکرد با تاکید بر لرزه‌زایی گسل‌های فعال منطقه، مجله تکتونیک و ساختار، سال دوم، شماره ۴، صص ۴۹-۶۷.

آقانباتی، علی. (۱۳۸۵). زمین‌شناسی ایران. تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۸ ص.

انصاری، خالد؛ حافظی مقدس، ناصر؛ غفوری، محمد؛ جعفری، سیدمحی‌الدین (۱۳۹۳-الف). «ارزیابی اثرات ساختگاهی در منطقه‌ی ویژه‌ی اقتصادی انرژی پارس عسلویه». همایش ملی زمین‌شناسی و اکتشاف منابع، شیراز، ایران.

انصاری، خالد؛ حافظی مقدس، ناصر؛ غفوری، محمد؛ جعفری، سیدمحی‌الدین (۱۳۹۳-ب). «ارزیابی پتانسیل روانگرایی در عسلویه با استفاده از داده های میکروترمور». همایش ملی زمین‌شناسی و اکتشاف منابع، شیراز، ایران.

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. (۱۳۸۰). مطالعات پهنه بندی خطر لرزه‌ای و ژئوتکنیک لرزه‌ای منطقه عسلویه (محدوده ۹۱۰ هکتاری). تهران: شرکت مدیریت توسعه صنایع پتروشیمی، جلد سوم، ۱۰۶ ص.

پورکرمانی، محسن. و آرین، مهران. (۱۳۷۷). لرزه‌خیزی ایران. تهران: مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه بهشتی، دانشگاه بهشتی، ۲۱۲ ص.

رنجبران، عبدالرسول؛ دارابی، بابک (۱۳۹۴). «تولید شتاب نگاشت‌های مصنوعی برای عسلویه استان بوشهر». دومین کنگره ملی مهندسی ساخت و ارزیابی پروژه‌های عمرانی، سمنان، ایران.

سلیمانی، محمد؛ نورزاد، اسداله (۱۳۹۱).«تجزیه خطر لرزه‌ای و برآورد سناریوهای محتمل زلزله در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس». نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، ایران.

علی‌الهی، حمید؛ آدم پیرا، محمد (۱۳۹۱). «ارزیابی تاثیر زلزله‌های میدان نزدیک بر تحلیل پاسخ سطح زمین (مطالعه موردی)». نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، اصفهان، ایران.

علی‌الهی، حمید؛ رمضانی، محمدرضا؛ مقراضی، بابک (۱۳۹۱). «مقایسه تحلیل پاسخ زمین برای زلزله میدان نزدیک در دو فضای زمان و فرکانس». نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، اصفهان، ایران.

نوگل‌سادات، میرعلی‌اکبر (۱۳۷۱). «نگرشی بر لرزه‌خیزی، لرزه‌زمین‌ساخت ایران». دوازدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین-شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

یزدانی، آزاد؛ کوثری، میلاد؛ رجبی، ثاراله؛ سلیمی، محمدرشید (۱۳۹۵). زلزله طرح در منطقه ویژه اقتصادی عسلویه، دو فصلنامه مدیریت بحران، سال پنجم، شماره ۱، صص ۱۵-۲۳.

Abrahamson, N.N., Silva, W.J. (2008). NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters. PEER Report Draft v2, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA, 380 p.

Ambraseys, N.N., Melville, C.P. (1982). A history of Persian Earthquakes. Cambridge earth science series, Cambridge press, 212 p.

Azarafza, M., Ghazifard, A. (2016). Urban geology of Tabriz City: Environmental and geological constraints. Advances in Environmental Research, 5(2): 95-108.

Berberian, M. (1995). Natural hazards and the first earthquake catalog of Iran vol. 1, Historical hazards in Iran prior to 1900. A UNESCO/ IIEES Publication during UN/IDNDR, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, 603 p.

Boore, D.M., Atkinson G.M. (2008). Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at spectral periods between 0.01s and 10.0s, Earthquake Spectra, 24(1): 99-138.

Cambazoğlu, S., Koçkar, M.K., Akgün, H. (2016). A generalized seismic source model for the Eastern Marmara Region along the segments of the North Anatolian Fault System. Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 88: 412-426.

Campbell, K.W., Bozorgnia, Y. (1994). "Near-source attenuation of peak horizontal acceleration from worldwide accelerograms recorded from 1957 to 1993". Proceedings of 5th US national conference on earthquake engineering, Oakland, CA, 3: 283-292.
Campbell, K.W., Bozorgnia, Y. (2003). Updated near-source ground motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. Bulletin of the Seismological Society of America, 93: 314-331.
Campbell, K.W., Bozorgnia, Y. (2007). Empirical Ground Motion Model for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, PGD, and SA at Selected Spectral Periods Ranging from 0.01–10.0 Seconds (Version 1.1). Pacific Earthquake Engineering Research Center Press, University of California, Berkeley.
Campbell, K.W., Bozorgnia, Y. (2012). "2012 Update of the Campbell-Bozorgnia NGA Ground Motion Prediction Equations: A Progress Report". Proceedings of the 15th WCEE, Lisboa.
Campbell, K.W. (1997). Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra. Seismological Research Letters, 68 (1): 154-179.
Chiou, B.S., Youngs, R.R. (2008). An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. Earthquake Spectra, 24 (1): 173-215.
Idriss, I.M. (2008). An NGA empirical model for estimating the horizontal spectra values generated by shallow crustal earthquakes. Earthquake Spectra, 24 (1): 217-242.
IIEES (2017), Earthquake Data from Assalouyeh Station for 100 Km radial. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Available: http://www.iiees.ac.ir/.
Jackson, J., McKenzie, D. (1988). The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. International Journal of Geophysics, 93: 45-73.
McGuire, R.K. (2004). Seismic Hazard and Risk Analysis. Earthquake Engineering Research Institute press, 240 p.
Nogol-sadat, M.A., Almasian, A. (1993). Tectonic map of Iran, 1:1,000,000. Treatise on the geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
Yazdani, A., Kowsari, M. (2013). Bayesian estimation of seismic hazards in Iran. Scientia Iranica, 20(3): 422-430.

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.07, Issue 18, Winter 2019 ----------

Earthquake hazard assessment in Assalouyeh area based on NGA seismicity model

Mohammad Azarafza[1], Akbar Ghazifard*[2], Ebrahim Asghari-Kaljahi[3]

Received: 09-05-2017 Accepted: 23-12-2017

Abstract

Earthquakes are presented as the most dangerous geological phenomenon which is causing many damages to cities, infrastructures, buildings, etc. Researchers have been extremely dynamic in assessing and predicting the earthquake events and have made noteworthy advances, but still, face many uncertainties. Along these lines, the best approach in this field studies the logical patterns and parameters involved and the interaction between earthquakes and urban construction or seismic retrofitting. In order to implement a seismic resistant structure, the first step is to have sufficient knowledge on seismicity and earthquake hazard analysis of the area in which for estimating and analyzing the sites seismic parameters, many empirical and computer-based approaches have been presented. In this regard, the computer-based methods (simulations) due to their high accuracy and computational power nowadays are getting more attention and application. One of the newest approaches for identification of different regions seismicity is using the next-generation ground motion analysis (NGA) models. This model by defining attenuation relations for the study area can estimate the seismicity parametrical coefficients with high accuracy. This advantage can help to describe the geological and seismotectonic structures of different regions to observe the impact of seismic parameters. In this study, the NGA model for the Assalouyeh area based on geological and tectonically conditions are prepared and engineering parameters for seismic design are estimated locally and the seismic zoning map of the region is provided. According to the NGA model results for Assalouyeh region within 100 km radius, the PGA, PGD, PGD and PSA parameters for the 100-year return period are estimated as 0.29g, 18.2cm/sec, 24.2 cm and 0.19g respectively. Based on the results of this research, the study area is divided into four zones in terms of risk potential degree and Assaluyeh is located in high earthquake risk potential one.

Keywords: Natural hazards, Earthquake, Hazard assessment, Seismicity, Fault, Assalouyeh.

[1]- Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran
[2]*- Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran Email: a.ghazifard@sci.ui.ac.ir
[3]- Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran