

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و چهارم، تابستان ۱۳۹۹

صص ۸۲-۶۱

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geo.v9i2.85303>

مقاله پژوهشی

تحلیل خطر احتمالی ریسک محور زمین لرزه بندر سیراف

میلاد محمدیان^۱ - کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۶/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۹

چکیده

با استفاده از روش های آماری و احتمالی تحت عنوان تحلیل خطر لرزه ای، می توان از ایمن بودن سازه ها در برابر زمین لرزه ها اطمینان حاصل نمود، از این رو هر ساله تحقیقات فراوانی حاوی روش های جدید پهنه بندی خطر زلزله در سراسر جهان ارائه می شود؛ بنابراین ضرورت استفاده از روش های جدید و به روزی که بتوان بر اساس آن نقشه های خطر لرزه ای را در کشور به روز کرد قابل احساس است؛ از این رو در این پژوهش با استفاده از رویکرد تحلیل خطر ریسک محور بر طبق استاندارد ASCE ۲۰۰۷-۱۰ به بررسی وضعیت لرزه خیزی ساختگاه بندر سیراف در استان بوشهر با استفاده رهیافت احتمالی پرداخته که بر اساس پارامترهای مربوط در این منبع نتایج حاصل از تحلیل خطر مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعه حاضر، به منظور بررسی وضعیت لرزه ای ساختگاه مجموعه ای از داده های لرزه خیزی تاریخی و دستگاهی با پوشش زمانی تا سال ۲۰۱۹ تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری بکار گرفته شده و منابع لرزه زا مدل شده اند. بدین منظور منابع لرزه زا در گستره طرح با استفاده از نقشه های موجود، تعیین و پس از آن مدل مناسب از چشمه های لرزه زا به صورت خطی در منطقه ارائه شده است. فهرست زمین لرزه های رخ داده در گستره طرح از طریق اسناد و کتب تاریخی و ثبت دستگاهی جمع آوری شده و با استفاده از روش کیکوسلول، نواقص موجود در کاتالوگ برطرف شده است. جهت دستیابی به توزیع پواسونی رویدادها با استفاده از دو روش پنجره زمانی - مکانی گاردنر و نوپوف و روش نظامند گرانسال، حذف پیش لرزه ها و پس لرزه ها انجام شده است. در نهایت با ترکیب منابع لرزه زا و استفاده از روابط کاهندگی مناسب، پارامترهای لرزه خیزی با استفاده از روش گوتنبرگ - ریشتر و کیکوسلول، محاسبه و نتایج به صورت طیف خطر ریسک محور در سطح طراحی برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال با استفاده از روش احتمالی تحلیل خطر لرزه ای برای بندر سیراف ارائه شده است. نتایج پژوهش حاکی است که مقادیر لرزه ای طیف به دست آمده بر طبق آیین نامه ASCE ۲۰۰۷-۱۰ از مقدار پیشنهادی برای این ناحیه در استاندارد ۲۸۰۰ متفاوت است، همچنین پیشنهاد شده است

به دلیل لرزه‌خیزی بالای منطقه از روش‌های جدید و به‌روزی که در آن‌ها ثبت و برآورد زلزله به‌صورت مناسبی انجام شده است استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: تحلیل خطر زلزله، استاندارد ASCE ۷، بندر سیراف، زمین‌لرزه ریسک محور، لرزه‌خیزی.

۱- مقدمه

هرگاه یک ناهنجاری اقلیمی اثر زیانباری روی زندگی انسان داشته باشد جزو بلایای اقلیمی یا طبیعی به شمار می‌آید. امروزه شواهد کافی نشان می‌دهند که پدیده زمین‌لرزه مشکلات جدی و گسترده‌ای را در سرتاسر جهان پدید آورده و روی زندگی انسان تأثیر نامطلوب گذاشته و آسیب‌های زیادی نیز بر زیرساخت‌ها وارد آورده است؛ بنابراین در راستای کاهش این خسارات و تلفات باید به فکر راه‌حل و پیش‌بینی میزان قدرت و توانایی زلزله‌های آتی برآمد (شرودر و ویس^۱، ۲۰۱۴).

رفتار ناشناخته ناشی از زلزله و عدم قطعیت‌های آن، به تشدید اثرات مخرب آن می‌افزاید، بنابراین یکی از راه‌های تفسیر و شناخت پدیده زلزله در هر منطقه، مطالعه زلزله‌های گذشته در آن منطقه و بررسی آن‌ها به‌صورت آماری و احتمالاتی است (بولت^۲، ۲۰۰۳).

شناخت آسیب‌پذیری شهرها؛ به‌ویژه در ایران که شهرها بافت‌های نامتجانس و درعین حال کهنه‌ای دارند، از اهمیت بالایی برخوردار است. کشور ایران در نوار لرزه‌خیز آلپ-هممالیا واقع گردیده و در ردیف کشورهای لرزه‌خیز جهان قرار دارد. همه‌ساله در این نوار لرزه‌خیز شاهد زلزله‌های مخربی هستیم که آسیب‌های جانی و مالی فراوان برجای می‌گذارد و وقوع زمین‌لرزه‌های مخربی نظیر زمین‌لرزه‌های ۱۹۶۲ بوبین‌زهره، ۱۹۶۸ دشت بیاض، ۱۹۷۲ قیر، ۱۹۷۸ طبس، ۱۹۹۰ رودبار، ۱۹۹۷ اردبیل، ۲۰۰۲ چنگوره، ۲۰۰۳ بم، ۲۰۰۴ فیروزآباد کجور، ۲۰۰۵ زرنند و نهایتاً از گله ۲۰۱۷ به همراه بسیاری از زمین‌لرزه‌های دیگر، حاکی از لرزه‌خیزی بالای این پهنه است.

در سوی دیگر وجود منابع متعدد نفت و گاز در کشور موجب گسترش مجتمع‌ها و تأسیسات مرتبط با صنایع نفت، گاز و پتروشیمی شده است که تراکم بسیاری از این تأسیسات در مناطق لرزه‌خیز سبب افزایش اهمیت بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات موجود در این مجتمع‌ها شده است. این در حالی است که آسیب‌های وارده بر سازه‌ها و تأسیسات صنعت نفت، محدود به خسارت‌های مستقیم فیزیکی نمی‌شود و تبعات گسترده غیرمستقیمی چون خسارت‌های اقتصادی ناشی از وقفه در عملیات، انفجار و آتش‌سوزی و آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز در بر خواهد داشت. بر این اساس توجه ویژه به عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و تأسیسات صنعت نفت و شریان‌های حیاتی در کنار سایر سازه‌های دیگر امری ضروری به شمار می‌رود (بزرگنیا و برترو^۳، ۲۰۰۴).

1 Shroder & Wyss

2 Bolt

3 Bozorgnia & Bertero

بنابراین با توجه به اینکه کشور در منطقه‌ای از جهان با خطر نسبی زلزله قابل توجه قرار گرفته، توجه به عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و تأسیسات مختلف در این منطقه از اهمیت بسزایی برخوردار است. همه مسائل فوق‌الذکر لزوم توجه به زلزله و برآورد دقیق خطرات ناشی از آن را برای سازه‌های که در آینده ساخته می‌شوند را نشان می‌دهد. به این امید که با شناخت دقیق خطر لرزه‌ای، طراحی متناسب با این خطر و اجرای مناسب سازه‌های طراحی شده، خطرپذیری لرزه‌ای و خسارات ناشی از زمین‌لرزه به حداقل ممکن کاهش یابد (بزرگ‌نیا و برترو، ۲۰۰۴).

لذا با توجه به تجربیات به‌دست‌آمده از زلزله بم و سایر پژوهش‌های جهانی لزوم مطالعه و بررسی وضعیت لرزه‌خیزی ساختگاه‌های موجود در جنوب ایران لازم به نظر می‌رسد، بنابراین با توجه به مفهوم جدید تحلیل خطر ریسک محور موجود در استاندارد ASCE-7 به تعیین خطر احتمالاتی خطر زمین‌لرزه در ساختگاه بندر سیراف پرداخته شده است.

به وسیله تحلیل خطر لرزه‌ای، احتمال بلندمدت وقوع یک رویداد در یک منطقه به ازای یک‌زمان و اندازه مشخص، مورد بررسی قرار می‌گیرد که به منظور ارزیابی سطح خطر در هر ساختگاه در ترازهای مختلف طراحی و همچنین ارزیابی پایداری سازه‌های موجود در برابر زمین‌لرزه‌های محتمل آتی استفاده می‌شود (گوپتا، ۲۰۰۲)، بنابراین با استفاده از تحلیل خطر زلزله تلاش می‌شود که تصویر واقعی‌تری از پدیده زلزله ارائه گردد تا به‌عنوان یک بارگذاری مهم و تأثیرگذار در طراحی سازه‌ها و زیرساخت‌های عمرانی استفاده شود (زارع، ۱۳۸۸).

تحلیل خطر زمین‌لرزه به دو صورت تعینی و احتمالاتی قابل تعیین است. اولین بار روش تحلیلی برآورد خطر احتمالاتی جنبش نیرومند زمین (PSHA) توسط کورنل^۱ (۱۹۶۸) ارائه شد و این روش بعدها به خوبی و کامل‌تر توسط الگرمسین و همکاران^۲ (۱۹۸۲) تبیین شده است (کرامر، ۱۹۹۶).

در برآورد خطر زمین‌لرزه بر اساس رهیافت احتمالاتی، تحلیل بر پایه تمامی حالات ممکن از مقادیر ممکن بزرگای زمین‌لرزه چشمه‌های لرزه‌زا در گستره موردنظر و در تمامی فاصله‌های ممکن از ساختگاه مورد مطالعه انجام می‌گیرد، یکی از مزیت‌های روش احتمالاتی، این است که مجموعه‌ای از تمامی رویدادهای محتمل برای احتمال فزونی برای یک سطح خاص با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه می‌شود و نتایج این روش به واقعیت نزدیک‌تر است (کرامر^۳، ۱۹۹۶).

از جمله تحقیقات صورت گرفته در رابطه با تحلیل خطر و برآورد بیشینه شتاب افقی جنبش نیرومند زمین در ایران می‌توان به پژوهش زارع و همکاران (۲۰۱۵، ۲۰۱۶)، قدرتی امیری و همکاران (۲۰۰۳، ۱۳۸۹، ۱۳۹۴)، یوسفی

1 Cornell

2 Algermissen et al

3 Kramer

صبوری و تقی‌خانی (۱۳۹۴)، اشجع ناس و همکاران (۱۳۹۷)، شایان و زارع (۱۳۹۳)، آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (۱۳۸۰) و مطالعات پهنه‌بندی و برآورد خطر لرزه‌های سایت ۳ پارس جنوبی توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۸۵) اشاره کرد.

همچنین از جمله تحقیقات صورت گرفته در رابطه با تحلیل خطر بر طبق رویکرد ریسک محوری استاندارد ASCE ۱۰-۰۷ می‌توان به تحقیقات نوجوان و همکاران (۱۳۹۹)، داگلاس و همکاران^۱ (۲۰۱۳)، لیل و همکاران^۲ (۲۰۱۵)، سیلوا و همکاران^۳ (۲۰۱۶)، پترسون و همکاران^۴ (۲۰۱۸)، سنگارا و همکاران^۵ (۲۰۱۲، ۲۰۲۰) و سلیمان میگوینی و تهرانی زاده (۲۰۲۰) اشاره کرد.

تعریف و مبنای حرکات احتمالی زمین در مقررات جدید از $ASCE / SEI$ ۷-۰۵، از دو درصد سطح خطر در پنجاه سال به یک درصد ریسک فروریزش در پنجاه سال تغییر کرده است. این تغییر با هدف دستیابی به سطح یکنواخت‌تر جلوگیری از فروریزش و خرابی، طراحی لرزه‌ای را بهبود بخشیده است.

در نسخه‌های قبلی استاندارد $ASCE$ ۷-، حداکثر زلزله در نظر گرفته شده حرکات احتمالی زمین از نظر جغرافیایی و در سراسر پریودهای ارتعاشی سازه‌ای از خطری یکنواخت برخوردار بودند؛ اما واقعاً احتمال خرابی سازه‌ای با تلفات ناشی از آن و توزیع جغرافیایی احتمالی آن لزوماً با توزیع احتمال فراگذشت از برخی حرکت زمین یکسان نیست. تعریف جنبش زمین بر اساس یک احتمال ثابت برای کل ایالات متحده بر اساس تفاسیر نسخه‌های پیشین مقررات ثابت نموده که نمی‌تواند به سطوح تقریباً برابری از ایمنی لرزه‌ای برای همه سازه‌ها منجر شود (آئین نامه نرپ^۶، ۲۰۰۳). لذا تغییر در حرکات ریسک محور زمین با استفاده از اشکال مختلف منحنی‌های خطر برای تعیین خطر یکنواخت (۲٪ در ۵۰ سال) جنبش زمین استفاده شده، به گونه‌ای که انتظار می‌رود هنگامی که در طراحی استفاده می‌شود منجر به تکرار یکنواخت سالیانه خرابی یا سطح ریسک شود؛ بنابراین به منظور تعیین پاسخ شتاب طیفی احتمالاتی در این استاندارد انتظار می‌رود با استفاده از این رویکرد طیف پاسخ شتاب با میرایی ۵٪ به احتمال فروپاشی ۱٪ در یک دوره ۵۰ سال برسد ($ASCE/SEI$ 7-10).

مبنای فنی این تغییر را می‌توان در پژوهش "ریسک محوری در نقشه‌های کنونی طراحی لرزه‌ای برای مناطق مرزی ایالات متحده آمریکا" لوکو و همکاران^۷ (۲۰۰۷) یافت.

1 Douglas et al

2 Liel et al

3 Silva et al

4 Petersen et al

5 Sengara et al

6 NEHRP

7 Luco et al

۲- مواد و روش‌ها

به منظور برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین که در این بخش مقادیر بیشینه شتاب طیفی افقی موردنظر است، از روش احتمالاتی استفاده شده است. برای برآورد صحیح پارامتر موردنظر (شتاب) و انجام تحلیل خطر زمین‌لرزه، لازم است تا به مواردی همچون انتخاب رابطه کاهندگی، مدل نمودن چشمه‌های لرزه‌زا، برآورد توان لرزه‌زایی هر یک از چشمه‌ها و مشخص نمودن نوع خاک ساختگاه توجه کافی شود.

بنابراین به منظور انجام این پژوهش، ابتدا با مطالعه کتب، مقالات، مجلات، گزارش‌ها و نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و عکس‌های ماهواره‌ای، اطلاعات موجود در خصوص لرزه‌خیزی منطقه، جمع‌آوری گردید. در این مرحله، قسمت اعظم مطالعات بر روی بررسی چشمه‌های لرزه‌زا و گسل‌ها و خصوصیات آن‌ها متمرکز بوده است. همچنین به منظور تحلیل خطر زمین‌لرزه و تعیین نحوه‌ی پاسخ به بارگذاری لرزه‌ای، اطلاعاتی نظیر رویداد زمین‌لرزه‌ها، دستیابی به توزیع پواسنی زمین‌لرزه‌ها، پارامترهای لرزه‌خیزی ساختگاه، توصیف کمی گسل‌ها، عمق لایه لرزه‌زا و روابط کاهندگی سازگار با منطقه نیاز است. بدین منظور پس از تعیین منابع لرزه‌زا در منطقه و گردآوری داده‌های لرزه‌ای روی‌داده در گستره طرح با استفاده از نقشه‌های موجود، مدل مناسب از چشمه‌های لرزه‌زا به صورت خطی در منطقه ارائه شده است. فهرست زمین‌لرزه‌های روی‌داده در ساختگاه از طریق اسناد تاریخی و ثبت دستگاهی جمع‌آوری شده است. با استفاده از روش‌های کیکو-سلول^۱ و گوتنبرگ-ریشتر^۲، نواقص موجود در این کاتالوگ مرتفع شده است و دستیابی به توزیع پواسنی با به‌کارگیری از روش پنجره زمانی-مکانی گاردنر و نوپوف^۳، حذف پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها انجام شده است (از نرم‌افزار ZMAP استفاده شده است). با استفاده از روش‌های کیکو-سلول و گوتنبرگ-ریشتر، پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه محاسبه و پس از انجام بررسی‌هایی، بهترین نتایج انتخاب شده‌اند. پس از ترکیب منابع لرزه‌زا و استفاده از روابط کاهندگی مناسب، تحلیل خطر لرزه‌ای بر پایه آنالیز داده‌ها در محیط نرم‌افزار EZ-FRISK ۷,۴۳ (۲۰۱۰) صورت گرفته و با انتقال این داده‌ها به نرم‌افزار طاهاسازان و استفاده از خروجی‌های نهایی، طیف‌شتاب ریسک محور مؤلفه افقی برای ساختگاه ارائه شده است.

۲-۱- معرفی ساختگاه طرح

بندر سیراف مرکز بخش سیراف در محدوده استان بوشهر در نزدیکی شهر کنگان در جنوب ایران حد فاصل جنوب و جنوب غرب کشور واقع شده است (۲۷,۶۶۶۷° E, 52.3425° N) (شکل ۱). بندر سیراف یکی از

1 Kijko & Sellevoll

2 Gutenberg & Richter

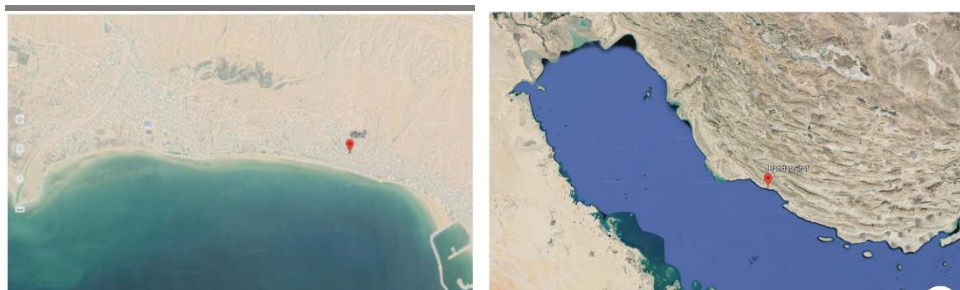
3 Gardner & Knopo

قدیمی ترین بندرهای ایران است که مابین بندر کنگان و بندر عسلویه واقع شده است و همچنین این بندر بین دریا و کوه قرار گرفته است.

ساختارهای گستره ساختگاه به تبعیت از روند عمومی زاگرس دارای روند شمال غرب - جنوب شرق است و در گستره ساختگاه چین ها بیشتر از نوع تاقدیس هستند که محور آن ها هم روند با ساختارهای زاگرس است که با وجود گسل های کوچک و پیچش ناشی از چین خوردگی لایه بندی موجود در گستره دارای جهت های متفاوتی هستند، اما در نزدیکی ساختگاه لایه بندی با شیب کم به سمت جنوب است. محل ساختگاه از منظر ژئومورفولوژی دارای توپوگرافی هموار و دشتگون و از منظر استان های رسوبی - ساختاری ایران (میرزائی همکاران، ۱۹۹۸)، در محدوده زاگرس چین خورده قرار دارد (درویش زاده، ۱۳۷۰) و از نظر ساختار لیتولوژی مهم ترین ساختمان زمین شناسی مربوط به تاقدیس کنگان است که این تاقدیس از جمله بزرگ ترین تاقدیس ها در میدان های گازی جنوب کشور است (افتخارنژاد، ۱۳۵۹).

از گسل های نزدیک به ساختگاه که تأثیر بسیار زیادی در اثر زمین لرزه احتمالی دارد، می توان گسل پیشانی کوهستان (قطعه سوم) را نام برد.

به منظور بررسی زیرسطحی ساختگاه تعداد ۱۳ حلقه گمانه اکتشافی حفر شده است که نتایج آن ها بیانگر قرارگیری ساختگاه در خاک نوع II بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم، ۱۳۹۴) است.



شکل ۱- نمای نزدیک و دور از ساختگاه طرح در تصاویر ماهواره ای محل ساختگاه

۲-۲- بررسی وضعیت لرزه خیزی ساختگاه

یکی از مهم ترین بخش های تحلیل پتانسیل خطر لرزه ای در هر ناحیه، شناسایی منابع لرزه زا است. برای شناخت سرشت لرزه ای و الگوی لرزه خیزی منطقه باید اطلاعات تمام زلزله های رخ داده در محدوده لازم جمع آوری شود. برای انجام تحلیل خطر زلزله جمع آوری و توسعه یک بانک داده یکپارچه و جامع از چشمه های لرزه ای منطقه مورد مطالعه پیش نیاز است، بنابراین جهت بررسی وضعیت لرزه خیزی ساختگاه تصاویر ماهواره ای و نگاره های هوایی و نقشه های زمین شناسی مورد مطالعه قرار گرفته و وضعیت زمین ساختی و گسلش منطقه بررسی شده است.

پس از بررسی نگاره‌های ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده پیرامون گستره ساختگاه و تدقیق آن با مشاهدات میدانی صورت گرفته و استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی منتشر شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران و شرکت ملی نفت ایران مشخص شد که چشمه‌های لرزه زا خطی موجود در گستره مورد مطالعه عموماً دارای روند شمال غرب - جنوب شرق بوده و عملکرد آن‌ها شیب‌لغز معکوس با مؤلفه امتدادلغز راست‌گرد است (آقائباتی، ۱۳۸۳).

در دو مرحله گردآوری زلزله‌های رخ داده صورت گرفته است، در مرحله اول در گستره‌ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتر به مرکز ساختگاه طرح انجام شده و در مرحله دوم پس از تعیین زلزله‌های مستقل، زلزله‌های اصلی به شعاع ۱۵۰ کیلومتر از گستره اولیه طرح جدا شده است.

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ۳ خطواره شناسایی شد که بر پایه هندسه گسل از نوع گسل‌های امتدادلغز محسوب می‌شوند. از این میان خطواره‌های ۱ و ۲ با راستای شمال شمال غرب - جنوب جنوب شرق به صورت موازی با یکدیگر قرار گرفته‌اند و خطواره شماره ۳ دارای روند شمال غرب - جنوب شرق است.

همچنین به دلیل عدم وجود رخنمون سطحی بسیاری از گسل‌ها در استان لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس که به‌عنوان گسل‌های کور شناخته شده‌اند، امکان شناسایی وجود نداشت، بنابراین با توجه به قرارگیری ساختگاه در این پهنه و وجود گسل‌های پنهان و چین‌های مرتبط با فعالیت این نوع گسل‌ها در گستره طرح، ۱۰ چشمه لرزه زا سطحی در نظر گرفته شده است (جدول ۲).

جدول ۱- چشمه‌های لرزه زا خطی در ساختگاه به همراه طول و سازوکار

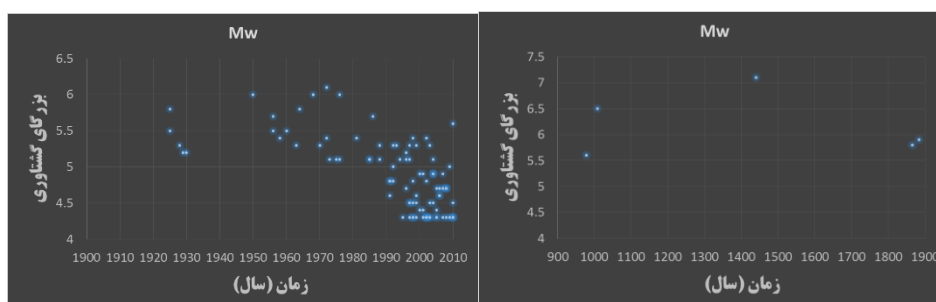
Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip direction	Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip direction	Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip direction
1	Ab garm	R	40	N	27	Kalagh 1	R	87	NE	53	Mymand	R	31	NE
2	Ahmadi	R	41	NE	28	Kalagh 2	S	28	-	54	Nadvan	S	16	-
3	Akbar Abad	R	13	N	29	Karebas	S	54	-	55	Narreh	R	22	NE
4	Behjan Syncline	R	48	NE	30	Khafar	R	57	NE	56	Nezam Abad 1	N	58	NW
5	Bolgkan	R	37	S	31	Khavaran	S	38	-	57	Nezam Abad 2	S	13	-
6	Borazjan 1	R	51	NE	32	Khonj	R	22	NE	58	North Fishvar	R	60	N
7	Borazjan 2	R	26	NE	33	Kuh-e-Seya	R	31	N	59	North Khazeyad	R	22	SW
8	Borus	R	9	NE	34	Lar	R	15	NE	60	Pazanan	R	108	NE
9	Darbast	R	13	N	35	Lineament 1	S	68	-	61	Roodyal 1	R	21	NE

Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip direction	Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip direction	Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip direction
10	Dehrood1	R	26	NE	36	Lineament 2	S	54	-	62	Roodyal2	R	36	NE
11	Dehrood2	R	44	NE	37	Lineament 3	S	39	-	63	Roshanaei	R	17	NE
12	Didehban	R	32	N	38	Mahleche	S	21	-	64	Safid	S	13	-
13	Farashband	R	47	NE	39	Mahmale 1	R	38	NE	65	Sapiddar 1	R	19	N
14	Fishvar	R	23	N	40	Mahmale 2	S	35	-	66	Sapiddar 2	R	20	N
15	Gazdan	R	23	S	41	Manian1	R	89	NE	67	Sarvestan	R	25	NE
16	Ghir	R	9	NE	42	Manian2	R	75	NE	68	Sefidar	S	28	-
17	Harm 1	S	14	-	43	MFF 1	R	59	NE	69	Sepidar Anticline	S	12	-
18	Harm 2	S	53	-	44	MFF 2	R	107	NE	70	Shahini 1	S	17	-
19	Harm 3	R	37	SW	45	MFF 3	R	15	NE	71	Shahini 2	S	11	-
20	Harm 4	R	27	SW	46	MFF 4	R	46	NE	72	Siakh 1	S	14	-
21	Hasan Abad	R	33	N	47	MFF 5	R	30	NE	73	Siakh 2	S	40	-
22	Hegan 1	R	9	NE	48	MFF 6	R	12	NE	74	South Farrashband	S	46	-
23	Hegan 2	R	11	N	49	MFF 7	R	109	NE	75	South Khazeyad	R	33	N
24	Hosein Abad	R	13	N	50	MFF 8	R	65	NE	76	Surmeh	R	21	NE
25	Jahrom 1	S	29	-	51	Mozafari 1	S	20	-	77	Takhteh	S	39	-
26	Jahrom 2	S	37	-	52	Mozafari 2	R	30	NE					

جدول ۲- چشمه‌های لرزه‌زا سطحی در گستره ساختگاه

نام پهنه	MMAx	مشخصات
پهنه شماره یک	4.3	این پهنه در منتهی‌الیه جنوب غرب گستره قرار دارد که دو زمین‌لرزه در آن به ثبت رسیده است
پهنه شماره دو	6.0	این پهنه بزرگ‌ترین پهنه لرزه‌ای موجود در گستره مورد مطالعه است که به سبب رخداد زمین‌لرزه‌های در داخل دریا و خشکی ترسیم شده است. این پهنه در بخش شمال غربی خود بخشی از گسل برازجان و در بخش جنوب شرقی تاقدیس خلفانی را در بر می‌گیرد.
پهنه شماره سه	5.3	این پهنه در برگیرنده تاقدیس کاکلی و بخشی از گسل برازجان است
پهنه شماره چهار	5.1	این پهنه دربردارنده تاقدیس وروی است
پهنه شماره پنج	4.3	این پهنه دربردارنده محورهای دو تاقدیس خورموج و سیاه است
پهنه شماره شش	5.5	این پهنه دربردارنده محورهای تاقدیس دشت پلنگ و گردان است

نام پهنه	MMA _x	مشخصات
پهنه شماره هفت	5.7	این پهنه لرزه‌های دربردارنده محور تاقدیس‌های سفید کرده، باچون، کوه سیاه، مز و ناودیس پیر غیب است
پهنه شماره هشت	5.8	این پهنه دربردارنده محور تاقدیس‌های هکان، دریایی و ناودیس زین‌آباد است
پهنه شماره نه	6.0	این پهنه دربردارنده محور تاقدیس‌های امیر، دالان و بهار است
پهنه شماره ده	5.3	این پهنه دربردارنده محور تاقدیس بوشکان است



شکل ۲- پراکنندگی زمین‌لرزه‌های اصلی دستگاهی و تاریخی نسبت به بزرگا و زمان در گستره ساختگاه

۲-۳-تجمیع کاتالوگ لرزه‌ای داده‌های تاریخی و دستگاهی

از آنجایی که در گستره موردنظر طرح پس از سال ۱۹۰۰ میلادی زمین‌لرزه‌های بزرگی در فاصله کمتر از ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه روی داده، بنابراین از جمله مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های دستگاهی روی داده در این گستره، می‌توان زمین‌لرزه ۹ آوریل ۲۰۱۳ با بزرگای گشتاوری ۶٫۳، زمین‌لرزه ۱۹۷۲ قیر - کارزین با $M_s=6.9$ ، زمین‌لرزه ۱۴ ژانویه ۲۰۰۴ با شتاب ثبت شده برابر با ۳۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه، زمین‌لرزه ۱۷ فوریه ۲۰۰۲ میلادی به بزرگی ۵/۴ در مقیاس بزرگای گشتاوری را نام برد. همچنین جهت جمع‌آوری زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران از کتاب تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران استفاده شده است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۹۱). مهم‌ترین رویدادهای این دوره در گستره ساختگاه شامل زمین‌لرزه ۱۷ ژوئن ۹۷۸ میلادی سیراف، زمین‌لرزه ۱۰۰۸ میلادی سیراف، زمین‌لرزه ۱۴۴۰ میلادی کارزین - قیر است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۹۱).

۲-۴-برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی

از جمله مهم‌ترین مراحل تحلیل خطر زلزله تعیین بیشینه بزرگای منتسب به هر گسل است، در این پژوهش این بزرگا توسط چهار رابطه ولز و کاپراسمیت^۲ (۱۹۹۴)، آمبرسیز و جکسون^۳ (۱۹۹۸)، سلمونز^۴ (۱۹۹۷) و نوروژی

1 Ambraseys and Melville
2 Wells & Coppersmith
3 Ambraseys & Jackson
4 Slemmons

(۱۹۸۵) محاسبه شده و پس از میانگین‌گیری و اعمال ارزش یکسان به تمامی روابط مقادیر نهایی به‌عنوان بیشینه بزرگای پذیرفتنی برای هر یک از چشمه‌های زمین‌لرزه‌ای ارائه شده است.

از این رو با توجه به اینکه بزرگ‌ترین زلزله‌های روی داده در گستره طرح، زلزله تاریخی ۱۴۴۰ قیر و کارزین با بزرگای $M_s 7/1$ در فاصله ۱۴۴ کیلومتری ساختگاه و زلزله دستگاهی ۹ آوریل ۲۰۱۳ با بزرگای $M_w 6/3$ در فاصله ۱۰۵ کیلومتری ساختگاه است. نزدیک‌ترین زلزله تاریخی مربوط به ۱۷ ژوئن ۹۷۸ و ۱۰۰۸ میلادی است که به ترتیب با بزرگای $M_w 5/6$ و $M_w 6/5$ در فاصله ۳ کیلومتری ساختگاه و زلزله دستگاهی ۵ فوریه ۲۰۱۰ با بزرگای $M_w 4/5$ در فاصله ۶ کیلومتری از ساختگاه رخ داده است، بنابراین پیشنهاد بیشینه بزرگای متناسب به گسل‌های موجود در ساختگاه با توجه به طول چشمه‌های لرزه زا در این گستره مقدار $M_s 7/1$ است.

برای جمع و تدوین کاتالوگ لرزه‌ای با بهره‌گیری از روابط مناسب تبدیل بزرگا، باید به یک بیان یکنواخت از بزرگا دست یافت. واحدهای متنوعی برای توصیف بزرگای زلزله استفاده شده که بزرگای گشتاوری یکی از مناسب‌ترین معیارها است، زیرا این بزرگا ماهیت فیزیکی داشته و مستقل از تجهیزات لرزه‌نگاری است، بنابراین بزرگای مختلف داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از روابط اسکوردیلِس^۱ (۲۰۰۶) و شجاع‌طاهری و همکاران (۲۰۰۷) به بزرگای گشتاوری تبدیل شده است.

همچنین جهت حذف پیش‌لرزه و پس‌لرزه از رویدادهای اصلی روش پنجره‌های متغیر در حوزه زمان و مکان با اعمال داوری کارشناسی برای حذف یا اضافه نمودن دستی زمین‌لرزه‌های خاص، از پنجره زمانی گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) و روش نظام‌مند گراتال^۲ (۱۹۹۸) استفاده شده است.

به‌منظور برآورد بیشینه مقادیر پارامترهای جنبش نیرومند زمین به روش احتمالی برای سطوح مختلف لرزه‌ای در طراحی، از روابط کاهندگی آمبرسیز و همکاران^۳ (۱۹۹۶)، کمپیل و بزرگنیا^۴ (۲۰۰۸، ۲۰۰۳)، چیو و یانگس^۵ (۲۰۰۸)، بور و همکاران^۶ (۱۹۹۷) و آبراهامسون و سیلوا^۷ (۲۰۰۸) استفاده شده است.

برای کمی‌سازی لرزه‌خیزی ساختگاه، روابط مختلفی با استفاده از نحوه توزیع زلزله‌ها و بزرگای آن‌ها ارائه شده است؛ که از جمله معتبرترین این روابط، رابطه گوتنبرگ-ریشتر (۱۹۴۴) است. همچنین قابل ذکر است، از جمله کامل‌ترین روش‌ها در به‌کارگیری رخداد زلزله‌های ناهمگون، آمیخته و با دقت پایین که مشابه با مشخصات رکوردها

1 Scordilis

2 Grünthal

3 Ambraseys et al

4 Campbell & Bozorgnia

5 Chiou & Youngs

6 Boore et al

7 Abrahamson & Silva

و داده‌های لرزه‌های ایران است روش ارائه شده کیکو - سلوول (۱۹۸۹، ۱۹۹۲) است که در این پژوهش علاوه بر رابطه گوتنبرگ-ریشتر از روش کیکو نسخه نرم‌افزاری (۲۰۰۱) آن نیز استفاده شده است. قابل بیان است که تهیه طیف پاسخ شتاب ریسک محور در دو مرحله صورت گرفته است. نخست بر پایه آنالیز داده‌ها در محیط نرم‌افزار EZ-FRISK ۷,۴۳ داده‌های منحنی خطر در دوره تناوب ۰,۲ و ۱ ثانیه تهیه شده و در سپس این خروجی‌ها با استفاده از نرم‌افزار طاهاسازان به طیف ریسک محور تبدیل شده است.

جدول ۳- برآورد توان لرزه زایی گسل‌های مهم گستره طرح

Row	Faults Name	Mechanism	L(f)	L(r)	1	2	3			4			MM AX	Mw
						G	S	R	N	S	R	G		
1	Ab garm	R	32	16	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.5	6.5	6.5	6.5
2	Ahmadi	R	41	20.5	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.6	6.6	6.7	6.6
3	Akbar Abad	R	40	20	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.6	6.6	6.7	6.6
4	Behjan Syncline	R	13	6.5	6.1	6.0	-	6.4	-	-	6.0	6.0	6.1	6.0
5	Bolgkan	R	48	24	6.7	6.7	-	7.0	-	-	6.7	6.7	6.8	6.7
6	Borazjan 1	R	75	37.5	6.9	6.9	-	7.2	-	-	6.9	6.9	7.0	6.9
7	Borazjan 2	R	46	23	6.7	6.7	-	7.0	-	-	6.7	6.7	6.7	6.7
8	Borus	R	37	18.5	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5
9	Darbast	R	51	25.5	6.7	6.7	-	7.0	-	-	6.7	6.7	6.8	6.7
10	Dehrood1	R	26	13	6.4	6.4	-	6.7	-	-	6.4	6.4	6.4	6.4
11	Dehrood2	R	9	4.5	5.9	5.8	-	6.2	-	-	5.8	5.8	5.9	5.8
12	Didehban	R	13	6.5	6.1	6.0	-	6.4	-	-	6.0	6.0	6.1	6.0
13	Farashband	R	26	13	6.4	6.4	-	6.7	-	-	6.4	6.4	6.4	6.4
14	Fishvar	R	44	22	6.7	6.7	-	7.0	-	-	6.6	6.6	6.7	6.6
15	Gazdan	R	47	23.5	6.7	6.7	-	7.0	-	-	6.7	6.7	6.7	6.7
16	Ghir	R	23	11.5	6.4	6.3	-	6.7	-	-	6.3	6.3	6.4	6.3
17	Harm 1	S	23	11.5	6.4	6.3	6.2	-	-	6.3	-	6.3	6.2	6.3
18	Harm 2	S	9	4.5	5.9	5.8	5.7	-	-	5.9	-	5.8	5.7	5.9
19	Harm 3	R	14	7	6.1	6.0	-	6.4	-	-	6.0	6.1	6.1	6.0
20	Harm 4	R	53	26.5	6.8	6.8	-	7.1	-	-	6.7	6.7	6.8	6.7
21	Hasan Abad	R	37	18.5	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5
22	Hegan 1	R	27	13.5	6.4	6.4	-	6.7	-	-	6.4	6.4	6.5	6.4
23	Hegan 2	R	33	16.5	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5
24	Hosein Abad	R	9	4.5	5.9	5.8	-	6.2	-	-	5.8	5.8	5.9	5.8
25	Jahrom 1	S	11	5.5	6.0	5.9	5.8	-	-	6.0	-	5.9	5.9	6.0
26	Jahrom 2	S	13	6.5	6.1	6.0	5.9	-	-	6.1	-	6.0	5.9	6.0
27	Kalagh 1	R	29	14.5	6.5	6.4	-	6.8	-	-	6.4	6.4	6.5	6.4
28	Kalagh 2	S	37	18.5	6.6	6.6	6.4	-	-	6.6	-	6.5	6.5	6.6
29	Karebas	S	87	43.5	7.0	7.0	6.8	-	-	7.0	-	7.0	7.0	7.0
30	Khafar	R	28	14	6.5	6.4	-	6.7	-	-	6.4	6.4	6.5	6.4
31	Khavaran	S	54	27	6.8	6.8	6.6	-	-	6.8	-	6.7	6.7	6.8
32	Khonj	R	57	28.5	6.8	6.8	-	7.1	-	-	6.8	6.8	6.8	6.8

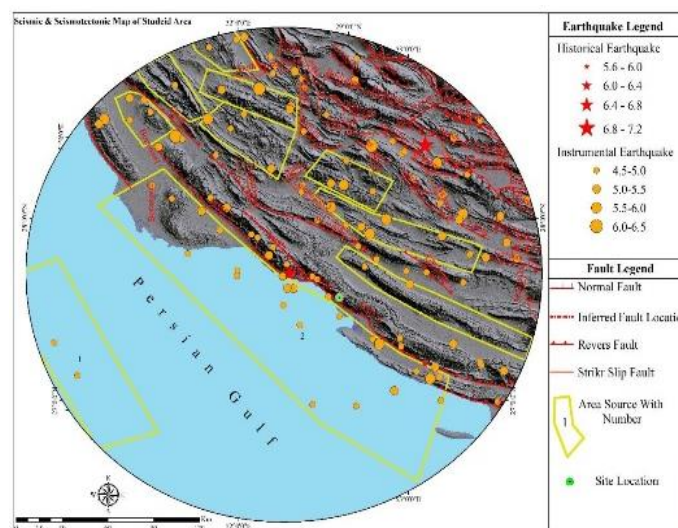
Row	Faults Name	Mechanism	L(f)	L(r)	1	2	3			4			MM AX	Mw
						G	S	R	N	S	R	G		
33	Kuh-e-Seya	R	38	19	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.6	6.6	6.6	6.6
34	Lar	R	22	11	6.4	6.3	-	6.6	-	-	6.3	6.3	6.3	6.3
35	Lineament 1	S	31	15.5	6.5	6.5	6.3	-	-	6.5	-	6.5	6.4	6.5
36	Lineament 2	S	15	7.5	6.2	6.1	5.9	-	-	6.1	-	6.1	6.0	6.1
37	Lineament 3	S	68	34	6.9	6.9	6.7	-	-	6.9	-	6.9	6.8	6.9
38	Mahleche	S	54	27	6.8	6.8	6.6	-	-	6.8	-	6.7	6.7	6.8
39	Mahmale 1	R	39	19.5	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.6	6.6	6.6	6.6
40	Mahmale 2	S	21	10.5	6.3	6.3	6.1	-	-	6.3	-	6.3	6.2	6.3
41	Manian1	R	38	19	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.6	6.6	6.6	6.6
42	Manian2	R	35	17.5	6.6	6.5	-	6.9	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5
43	MFF 1	R	89	44.5	7.0	7.0	-	7.3	-	-	7.0	7.0	7.1	7.0
44	MFF 2	R	59	29.5	6.8	6.8	-	7.1	-	-	6.8	6.8	6.9	6.8
45	MFF 3	R	107	53.5	7.1	7.1	-	7.4	-	-	7.1	7.1	7.2	7.1
46	MFF 4	R	15	7.5	6.2	6.1	-	6.4	-	-	6.1	6.1	6.1	6.1
47	MFF 5	R	30	15	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.4	6.4	6.5	6.4
48	MFF 6	R	12	6	6.1	6.0	-	6.3	-	-	5.9	6.0	6.0	6.0
49	MFF 7	R	109	54.5	7.1	7.2	-	7.4	-	-	7.1	7.1	7.2	7.1
50	MFF 8	R	65	32.5	6.8	6.9	-	7.2	-	-	6.8	6.8	6.9	6.8
51	Mozafari 1	S	20	10	6.3	6.2	6.1	-	-	6.3	-	6.2	6.2	6.3
52	Mozafari 2	R	30	15	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.4	6.4	6.5	6.4
53	Mymand	R	31	15.5	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.5	6.5	6.5	6.5
54	Nadvan	S	16	8	6.2	6.1	6.0	-	-	6.2	-	6.1	6.1	6.1
55	Narreh	R	22	11	6.4	6.3	-	6.6	-	-	6.3	6.3	6.3	6.3
56	Nezam Abad 1	N	58	29	6.8	6.8	-	-	6.8	-	-	6.8	6.8	6.8
57	Nezam Abad 2	S	13	6.5	6.1	6.0	5.9	-	-	6.1	-	6.0	5.9	6.0
58	North Fishvar	R	60	30	6.8	6.8	-	7.1	-	-	6.8	6.8	6.9	6.8
59	North Khazeyad	R	22	11	6.4	6.3	-	6.6	-	-	6.3	6.3	6.3	6.3
60	Pazanan	R	108	54	7.1	7.1	-	7.4	-	-	7.1	7.1	7.2	7.1
61	Roodyal 1	R	21	10.5	6.3	6.3	-	6.6	-	-	6.2	6.3	6.3	6.3
62	Roodyal2	R	36	18	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5
63	Roshanaei	R	17	8.5	6.2	6.1	-	6.5	-	-	6.1	6.2	6.2	6.1
64	Safid	S	13	6.5	6.1	6.0	5.9	-	-	6.1	-	6.0	5.9	6.0
65	Sapiddar 1	R	19	9.5	6.3	6.2	-	6.6	-	-	6.2	6.2	6.3	6.2
66	Sapiddar 2	R	20	10	6.3	6.2	-	6.6	-	-	6.2	6.2	6.3	6.2
67	Sarvestan	R	25	12.5	6.4	6.4	-	6.7	-	-	6.3	6.4	6.4	6.3
68	Sefidar	S	28	14	6.5	6.4	6.3	-	-	6.4	-	6.4	6.3	6.4
69	Sepidar Anticline	S	12	6	6.1	6.0	5.8	-	-	6.0	-	6.0	5.9	6.0
70	Shahini 1	S	17	8.5	6.2	6.1	6.0	-	-	6.2	-	6.2	6.1	6.2
71	Shahini 2	S	11	5.5	6.0	5.9	5.8	-	-	6.0	-	5.9	5.9	6.0

Row	Faults Name	Mechanism	L(f)	L(r)	1	2	3				4			MM AX	Mw
						G	S	R	N	S	R	G			
72	Siakh 1	S	14	7	6.1	6.0	5.9	-	-	6.1	-	6.1	6.0	6.1	
73	Siakh 2	S	40	20	6.6	6.6	6.4	-	-	6.6	-	6.6	6.5	6.6	
74	South Farrashband	S	46	23	6.7	6.7	6.5	-	-	6.7	-	6.7	6.6	6.7	
75	South Khazeyad	R	33	16.5	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5	
76	Surmeh	R	21	10.5	6.3	6.3	-	6.6	-	-	6.2	6.3	6.3	6.3	
77	Takhteh	S	39	19.5	6.6	6.6	6.4	-	-	6.6	-	6.6	6.5	6.6	

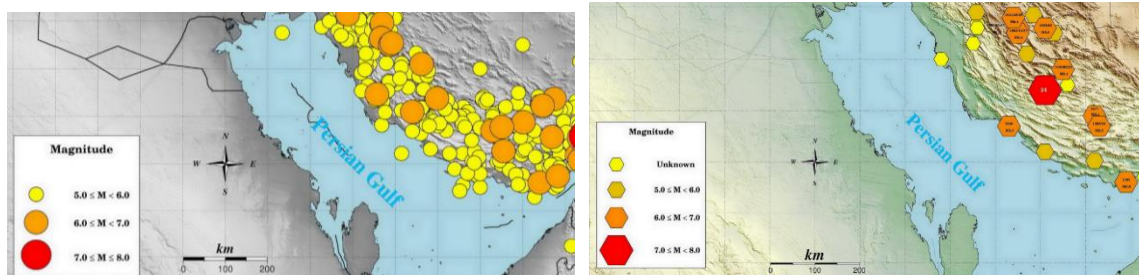
1-Ambraseys & Jackson(1998),2-Nowroozi(1985),3-Slemmons, (1982),4-Wells & Coppersmith (1994)
 N: Normal,S:strike slip, R:revers,G:General,L(f):Length of fault,L(r):Rapter lenght

۳- نتایج

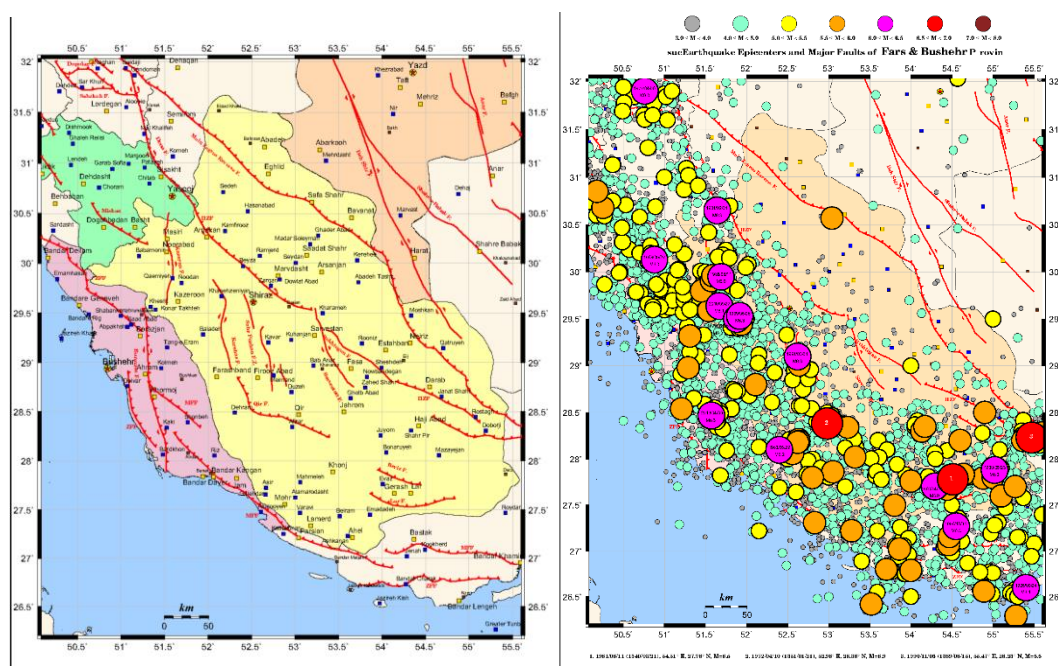
پارامترهای لرزه خیزی ساختگاه بر طبق وضعیت لرزه خیزی ساختگاه و بر اساس رهیافت احتمالاتی تحلیل خطر زمین لرزه و مشخصات منابع لرزه ای نقطه ای، خطی و سطحی (شکل ۳) محاسبه و به هر یک از چشمه های لرزه زا به صورت مناسب با موقعیت و لرزه خیزی آن نسبت داده شده است. همچنین هر دو پارامتر آهنگ لغزش و آهنگ لرزه خیزی با در نظر گیری شرایط درخت منطقی با وزن یکسان استفاده شده و در شکل گیری خطر کلی زلزله میزان مشارکت هر یک از چشمه های لرزه زا بررسی شده است (مشارکت چشمه لرزه ای قطعه سوم گسل پیشانی کوهستان بیش از دیگر چشمه هاست) و مقادیر طیف پاسخ در سطح طراحی و بیشینه شتاب جنبش زمین تعیین شده است.



شکل ۳- نقشه های لرزه خیزی و لرزه زمین ساختی گستره ساختگاه



شکل ۴- وضعیت لرزه‌خیزی تاریخی و دستگاهی ساختگاه و محدوده پیرامونی آن



شکل ۵- رومرکز زمین لرزه‌های بزرگ و چشمه‌های لرزه زایی خطی ساختگاه در محدود پیرامونی ساختگاه

۳-۱- تخمین بیشینه شتاب افقی جنبش نیرومند زمین

از جمله مهم‌ترین پارامترهای جنبش نیرومند زمین در طراحی سازه در برابر خطر زمین لرزه، کنترل بیشینه مقادیر شتاب مؤلفه افقی^۱ است. با استفاده از نتایج حاصل از روش احتمالاتی، پارامترهای بیشینه مقادیر شتاب مؤلفه افقی ساختگاه در سطوح لرزه‌ای با احتمال فراگذشت ۹۹٫۵ و ۱۰ و ۲ درصد در ۵۰ سال تهیه شده و نتایج در جدول (۴) ارائه شده است.

1 PHGA

جدول ۴- حداکثر شتاب افقی ساختگاه در سطح زمین در سطوح مختلف لرزه‌ایی بر پایه عمر مفید ۵۰ سال

سطح لرزه‌ای با احتمال فراگذشت	۹۹,۵ درصد در ۵۰ سال	۱۰ درصد در ۵۰ سال	۲ درصد در ۵۰ سال
حداکثر شتاب افقی در سطح زمین	0.11	0.39	0.61

۳-۲- طیف پاسخ ریسک محور برای سطح طراحی

در استاندارد ۱۰-۰۷ASCE معیارهایی برای طراحی و ساخت ساختمان‌ها و سایر سازه‌های در معرض حرکات لرزه‌ای زمین ارائه شده است.

طیف پاسخ طراحی بر اساس مفهوم ریسک محوری توسط ASCE ۰۷ که شدیدترین اثرات زلزله در نظر گرفته شده در این استاندارد برای جهتی مشخص است و منجر به بزرگ‌ترین پاسخ حداکثری به جنبش افقی زمین با در نظر گرفتن هدف ریسک محوری است در جدول (۵) و نمودار (۱) نشان داده شده توسعه می‌یابد.

مطابق با رابطه (۱) طیف پاسخ طراحی در این استاندارد برای دوره تناوب‌های مختلف پاسخ طیفی شتاب طراحی

(Sa) به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$S_a = S_{DS} (0.4 + 0.6 T/T_0)$$

$$S_a = S_{DS}$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$$

$$T < T_0$$

$$T_0 \leq T < T_s$$

$$T_s < T \leq T_L$$

$$T > T_L$$

(1)

که S_{D1} و S_{DS} پارامترهای پاسخ طیفی شتاب طراحی برای دوره تناوب‌های ۰,۲ و ۱ ثانیه است و بر طبق روابط

ذیل تعیین می‌شوند.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2)$$

$$S_{MI} = F_v S_1 \quad (3)$$

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \quad (4)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{MI} \quad (5)$$

S_s و S_1 و F_a و F_v پارامتر پاسخ طیفی شتاب و ضرایب ساختگاه در دوره تناوب‌های ۰,۲ و ۱ ثانیه است، T

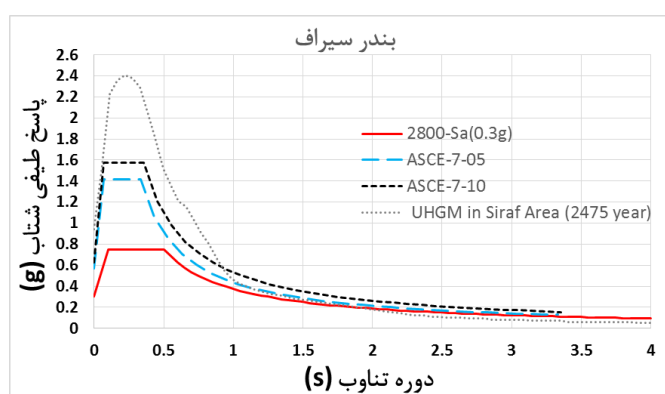
دوره تناوب اصلی سازه به ثانیه، T_L دوره تناوب (های) انتقالی پریود بلند نشان داده شده در شکل‌های مشخصی برای کل امریکا (برای سایر نقاط این پارامتر برابر با ۴ ثانیه است) ارائه شده است.

$$T_0 = 0.2 S_{D1} / S_{DS} \quad (6)$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS}$$

جدول ۵- پارامترهای طراحی بر پایه ASCE ۰۷ برای ساختگاه در سطح حداکثر زلزله منظور شده MCE و MCE_R با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال

ویرایش	نوع خاک	S _{Ds}	S _{D1}	S _s	S ₁	F _a	F _v	S _{M_s}	S _{M₁}
2005	C or II ¹	1.41638	0.4203312	2.114	0.3921	1	1.6	2.114	0.62736
2010	C or II	1.57249	0.5185264	2.347	0.4837	1	1.6	2.347	0.77392



نمودار ۱- طیف ویژه ساختگاه و طیف طراحی بر اساس آیین نامه ASCE ۰۷ و ۲۸۰۰

۴- نتایج و بحث

در ویرایش‌های قدیمی‌تر استانداردهای ایالات متحده مقادیر زمین‌لرزه تعیین شده در نقشه‌های طراحی لرزه‌ای تا حدودی مبتنی بر احتمال فراگذشت ۱۰٪ در پنجاه سال بوده‌اند، اخیراً بخش احتمالاتی (رهیافت احتمالاتی) حداکثر زلزله در نظر گرفته شده (MCE) نقشه‌های زمین‌لرزه مقررات ASCE ۰۷-۰۵ برابر احتمال فراگذشت ۲٪ در ۵۰ سال سال‌اند. این افزایش در مقادیر حرکت زمین، ناشی از تغییر در هدف عملکردی از ایمنی جانی به ممانعت از فروریزش است که منجر به معرفی ضریب $\frac{2}{3}$ طیف شده و در حداکثر زلزله منظور شده حرکت زمین اعمال می‌گردد. همچنین در بخش احتمالاتی نقشه‌های ASCE ۰۷ فرض شده که ظرفیت در برابر فروریزش سازه‌های طراحی شده برای زمین‌لرزه‌های با خطر یکنواخت بدون عدم قطعیت وجود دارد این امر صحیح نیست و تغییر از یکنواخت است، اما چون در ظرفیت فروریزش یک سازه عدم قطعیت وجود دارد این امر صحیح نیست و تغییر از محلی به محل دیگر در شکل منحنی خطر لرزه‌ای منجر به غیریکنواختی احتمال فروریزش می‌شود.

بر اساس تفاسیر موجود از استاندارد ASCE ۰۷ در مقررات لرزه‌ای NEHRP تخمین احتمال فروریزش در ۵۰ سال در سازه‌ای که برای زمین‌لرزه‌های با احتمال فراگذشت ۲٪ در ۵۰ سال طراحی شده با اعمال ضریب $\frac{2}{3}$ در آن،

۱ براساس طبق بندی استاندارد ۲۸۰۰ نوع خاک C استاندارد امریکا برابر خاک نوع دو این استاندارد است

در واقع به لحاظ جغرافیایی یکنواخت‌تر است تا سازه‌ای که برای زمین‌لرزه‌های با احتمال فراگذشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال طراحی شده و ضریبی به آن اعمال نگردد.

بر طبق نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی ایران در آیین‌نامه ۲۸۰۰، محل ساختگاه مؤید سطح نسبی خطر لرزه‌ای بالای است و مقدار شتاب مبنای طرح برابر ۰/۳ شتاب ثقل است، درحالی‌که شاخص‌های حرکتی جنبش زمین برای این مناطق بر اساس تحلیل خطر لرزه‌ای با احتمال فراگذشت ۲ و ۱۰ درصد در ۵۰ سال عمر مفید سازه به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۳۹ شتاب ثقل تعیین شده است.

همان‌طور که در نمودار (۱) ملاحظه می‌شود مقادیر طیف پاسخ شتاب استاندارد ASCE ۷ در بازه شتاب ثابت در حالت ریسک محور نسبت به حالت غیر ریسک محور به مقدار ۱۳ درصد افزایش یافته و در بازه سرعت ثابت نیز این نمودار بالاتر از نمودار طیف خطر یکنواخت است.

طیف طراحی ریسک محور ارائه شده بر اساس پژوهش نوجوان و همکاران (۱۳۹۹) نسبت به طیف با خطر یکنواخت ساختگاه موردنظر کاهش یافته است، اما در ساختگاه بندر سیراف افزایش مقدار طیف در کل بازه پریودی رویداده است، دلیل این امر ناشی از در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌های موجود در محل ساختگاه نسبت به طیف حالت خطر محور است که تأثیر خود را به صورت افزایش طیف ریسک محور نسبت به حالت خطر محور نشان داده است، بنابراین این‌گونه نتیجه می‌توان گرفت که در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌های موجود در ساختگاه گاهی می‌تواند منجر به کاهش طیف ریسک محور نسبت به حالت طیف خطر یکنواخت شده و یا بالعکس باعث افزایش طیف ریسک محور نسبت به طیف خطر یکنواخت گردد.

اگرچه مقایسه طیف پاسخ با احتمال فراگذشت ۱۰ درصد با طیف پاسخ با احتمال فراگذشت ۲ درصد در پنجاه سال صحیح نیست، اما با توجه به تغییر اهداف طراحی ASCE ۷ طیف حاصل به دست آمده از این سطح خطر با احتمال فراگذشت ۲ درصد، این عدد مقداری محافظه‌کارانه و غیراقتصادی است و عواقب اقتصادی طراحی این جنبش شدید زمین غیرعملی است، بنابراین ضریب مقیاس $\frac{2}{3}$ معرفی شده بر اساس اضافه مقاومت ذاتی موجود در سازه‌هایی که مطابق با استانداردهای امروزی ساخته شده موجب کنترل عواقب اقتصادی طراحی شده، بنابراین با مقایسه نمودارهای طیف طراحی پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ و ASCE ۷ (نمودار (۱)) این نتیجه قابل حصول است که عمده اختلاف این دو طیف در دوره تناوب ۰ الی ۲ ثانیه است و در این ناحیه طیف خطر یکنواخت و ریسک محور استاندارد ASCE ۷ با اختلاف زیادی از طیف استاندارد ۲۸۰۰ قرار دارند. اگرچه در سایر دوره تناوب‌ها (ناحیه سرعت ثابت) طیف استاندارد ASCE ۷ از ۲۸۰۰ بالاتر است.

استان بوشهر یکی از قطب‌های اقتصادی، صنعتی، تجاری کشور است و از نظر جنبه‌های تأثیرگذار از جمله تولید نیرو در نیروگاه هسته‌ای و قرارگیری بخش عظیمی از مهم‌ترین تأسیسات زیربنایی کشور نقش بسیار مهمی در

صنعت و اقتصاد کشور ایفا می‌کند، بنابراین عدم توجه کافی به این موضوع و احتمال یا از کار افتادن هر کدام از سازه‌های حیاتی موجود در مناطق جنوبی کشور در اثر زلزله می‌تواند خسارات غیرقابل جبرانی بر اقتصاد و صنعت کشور وارد آورد، بنابراین استفاده از مفاهیم جدید و بروز برای تعیین و برآورد خطر زمین‌لرزه (از جمله رویکرد ریسک محوری) در این مناطق باید از اولویت‌های برنامه‌های ریز پهنه‌بندی خطر جنبش زمین در کشور باشد.

۵- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر تحت عنوان تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه طیف خطر ریسک محور برای ساختگاه بندر سیراف (استان بوشهر) انجام شده است. در مطالعه حاضر، با تعیین نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای بر اساس استاندارد ASCE ۱۰-۰۷ و ویرایش قبلی آن به بررسی وضعیت لرزه‌خیزی با استفاده از رهیافت احتمالی پرداخته شده است که نتایج کلی به صورت ذیل قابل حصول است:

در هنگام رویداد ناگهانی زلزله بیشتر زخمی‌ها و کشته‌شده‌های ناشی از این پدیده در اثر فروریزش سازه ایجاد می‌شوند؛ بنابراین در مقررات ASCE ۱۰-۷ اینگونه ذکر شده است که هدف اصلی این استاندارد جلوگیری از سقوط و فروریزش در زمین‌لرزه شدید و بسیار نادر است که حداکثر زمین‌لرزه در نظر گرفته شده (MCE) جنبش زمین نامیده شده است. همچنین در این استاندارد ذکر شده که هدف ASCE ۱۰-۷ همان هدف در ویرایش قبلی است. با این حال، پیشگیری از فروریزش به تعریف حداکثر زمین‌لرزه (MCER) در نظر گرفته شده ریسک محور تغییر یافته است.

بالاتر بودن طیف شتاب ریسک محور در ساختگاه طرح نسبت به طیف با خطر یکنواخت به دلیل عدم قطعیت در ظرفیت فروریزش سازه‌های طراحی شده نسبت به زمین‌لرزه‌های با خطر یکنواخت است، بنابراین احتمال فروریزش و خرابی سازه‌های طراحی شده بر طبق این طیف با تغییر از محلی به محل دیگر و تغییر در شکل منحنی خطر لرزه‌ای، منجر به غیریکنواختی احتمال فروریزش می‌شود.

طیف معرفی شده در استاندارد ۲۸۰۰ از نظر تاریخی و رویداد زلزله‌های گذشته بر اساس جنبش زمین در ارتباط با رویدادی با احتمال ۱۰٪ فراگذشت در ۵۰ سال بنا شده است که فاصله دوره بازگشت زمانی آن ۴۷۵ سال است. در مناطق فعال لرزه‌ای که زمین‌لرزه‌ها بیشتر اتفاق می‌افتد، مانند غرب، جنوب غربی و سواحل جنوبی کشور، این روش شاید یک رویکرد منطقی است؛ اما در مناطقی که زمین‌لرزه‌ها کمتر دیده شدند یا حساسیت منطقه یا ساختگاه حائز اهمیت است، پیش‌بینی خطر زلزله با وقوع دوره بازگشت ۴۷۵ سال سطح کمتری (under-predicted) است؛ بنابراین، تعریف حداکثر زمین‌لرزه در نظر گرفته شده به احتمال فراگذشت ۲٪ در ۵۰ سال، یا یک دوره بازگشت حدود ۲۵۰۰ سال باید مورد تجدیدنظر قرار گیرد. اگرچه اشاره شد که عواقب اقتصادی طراحی بر اساس این جنبش زمین غیرعملی است، بنابراین با تعیین یک ضریب مقیاس بر اساس اضافه مقاومت ذاتی موجود در

سازه‌هایی که مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ طراحی می‌شوند، می‌تواند باعث بهبود برآورد میزان خطر زلزله نسبت به روش حال حاضر این استاندارد شود.

در نهایت با توجه به وضعیت لرزه‌خیزی بالای کشور و مخصوصاً حساسیت بالای مناطق جنوبی کشور پیشنهاد می‌شود طیف آئین‌نامه‌های کشور (از جمله استاندارد ۲۸۰۰) اصلاح شده و مورد مطالعه گسترده قرار گیرد، بنابراین توصیه می‌شود تا زمان به‌روز کردن طیف‌های طراحی این آئین‌نامه‌ها، با استفاده از روش‌های موجود در استانداردهای معتبری از جمله ASCE ۷ که در آن‌ها ثبت و برآورد زلزله به صورت مناسبی انجام شده است، نسبت به اصلاح طیف در این آئین‌نامه‌ها اقدام شود و برای مناطق با اهمیت خیلی زیاد و زیاد (از جمله تهران، بوشهر و تبریز) به دلیل خطر رویداد زلزله و وقوع خسارت‌های جبران‌ناپذیر، از طیف طراحی بر اساس مفهوم ریسک محوری بر طبق ASCE ۷-۱۰ استفاده شود.

کتابنامه

- اشجع ناس، پ.، نصرآبادی، ا.، سپه‌وند، م. ر.، موسوی بفرولی، س. ح.؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی و تحلیل خطر زمین‌لرزه در استان فارس. فصلنامه علوم و مهندسی زلزله، سال پنجم، شماره چهارم، ۲۱-۳۶.
- افتخارنژاد، ج.؛ ۱۳۵۹. تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی. نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، صفحه ۲۸-۱۹.
- آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا)؛ ۱۳۸۰. ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ، با همکاری مرکز مطالعات زلزله و زیست‌محیطی تهران بزرگ. گزارش نهایی، موجود در پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، <http://www.ngdir.ir/geoportalinfo>
- آقاباتی، ع.؛ ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۷ صفحه.
- آمبرسیز، ن. ن.، ملویل، ج. پ.؛ ۱۳۷۰. تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران. ترجمه ابوالحسن رده، انتشارات آگاه، تهران، ۶۷۴ صفحه.
- پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله؛ ۱۳۸۵. مطالعات برآورد خطر و پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای در ساختگاه سایت ۳ پارس، جلد اول.
- درویش زاده، ع.؛ ۱۳۷۰. زمین‌شناسی ایران. تهران، امیرکبیر، ندا، ۹۰۱ صفحه.
- زارع، م.؛ ۱۳۸۸. مبانی تحلیل خطر زمین‌لرزه. تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۵۲ ص.
- شایان، س.، زارع، غ.؛ ۱۳۹۳. پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌های رخ داده در استان فارس طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی و مقایسه آن با دیگر یافته‌های پژوهشی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره اول، شماره پیاپی ۱۱۲.
- قدرتی امیری، غ.، رضویان امرئی، ع.، طهماسبی بروجنی، م. ع.؛ ۱۳۹۴. تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه طیف خطر یکسان برای مناطق مختلف شهر کرمان. نشریه مهندسی سازه و ساخت، (۲)۲، صفحه ۴۳-۵۱.
- قدرتی امیری، غ.، رضویان امرئی، ع.، میرهاشمی، م.؛ ۱۳۸۹. طیف خطر یکسان برای مناطق مختلف جنوب شهر تهران. مهندسی عمران، دوره ۲-۲۶(۳)، ۵۱-۶۰.

کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (ویرایش چهارم)؛ ۱۳۹۴. آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰). وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر: ض-۲۵، صفحه ۲۱۲.

نوجوان، ک.، برزگری، الف.، محمدیان، م؛ ۱۳۹۹. تحلیل خطر احتمالی زمین لرزه با در نظر گرفتن مفهوم ریسک محوری (مطالعه موردی الفین ۱۴). دانش پیشگیری و مدیریت بحران. ۱۰ (۱)، صفحه ۹۰-۷۴.

یوسفی صبور، م.، تقی خانی، ت؛ ۱۳۹۴. تجزیه و تحلیل خطر لرزه‌ای شهر تبریز با توجه به اثر پدیده‌ی حوزه‌ی نزدیک. مهندسی عمران، ۳۱، ۲ (۱)، ۲۳-۳۴.

- Abrahamson, N., Silva, W., 2008. Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground Motion Relations. *Earthquake Spectra*. 24 (1), 67-97.
- Algermissen, S. T., Perkins, D. M., Thenhaus, P. C., Hanson, S. L., Bender, B. L., 1982. Probabilistic estimates of maximum acceleration and velocity in rock in the contiguous United States. U. S. Geological Survey, Open-File Report 82-1033, <https://doi.org/10.3133/ofr821033>
- Ambraseys, N. N., Jackson J. A., 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 133, 2, 390-406. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.1998.00508.x>
- Ambraseys, N. N., Melville, Ch. P. 1991. *History of Earthquakes in Iran*. Abolhassan Radeh, Publication by Agah, 674 pages.
- Ambraseys, N. N., Simpson, K. U. and Bommer, J. J., (1996) . Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 25(4), 371-400.
- ASCE Standard. (ASCE/SEI 7-10). 2010. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Published by American Society of Civil Engineers, Alexander Bell Drive, Reston, Virginia.
- ASCE Standard. (ASCE/SEI 7-5). 2005. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- Bolt, B. A., (2003) . *Earthquakes*. Fifth Edition. New York: W. H. Freeman and Co, Page(s) 320.
- Boore, D. M., Joyner, W. B., Fumal, T. E., (1997) . Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: a summary of recent work. *Seismological research letters*, 68(1), 128-153.
- Bozorgnia, Y., Bertero, V. V., 2004. *EARTHQUAKE ENGINEERING, From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering*. CRC PRESS, Page(s) 976.
- Campbell, K. W. and 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(1), 314-331.
- Campbell, K., Bozorgnia, Y. 2008. NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5%-damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s. *Earthquake Spectra*, 24 (1), 139-171.
- Chiou, B. S. and 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.
- Cornell, C. A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bull Seismol Soc Am* 58(5), 1583-1606
- Douglas, J., Ulrich, T., Negulescu, C. 2013. Risk-targeted seismic design maps for mainland France, *Natural Hazards*, 65, 1999-2013, DOI: 10.1007/s11069-012-0460-6.
- EZ-FRISK 7.43, Risk Engineering., 2010. Software for Earthquake ground Motion Estimation. Boulder, Colorado.

- Gardner, J. K., Knopo. L., 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 64 (5), 1363-1367.
- Ghodrati Amiri, G., Motammed, R., Rabet Eshaghi, H. 2003. Seismic hazard assessment of metropolitan Tehran, Iran. *Earthquake Engineering*, 7, 347-372.
- Grünthal, G. (Ed.), 1998. European Macroseismic Scale 1998 EMS-98, (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie ; 15). Luxembourg: Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 101 p.
- Gupta, I. D., 2002. The state of the art in seismic hazard analysis. *ISET Journal of Earthquake Technology*, 39, 4, pp. 311- 346.
- Gutenberg, B., Richter, C. F., 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34 (4), pp. 185-188.
- Kijko, A., 2001. HN2.FOR Program: Seismic Hazard Assessment from Incomplete & Uncertain Data, Version B: Lambda and Beta are Calculated Simultaneously.
- Kijko, A., Sellevoll, M., 1992. Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part II. Incorporation of magnitude heterogeneity, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(1), 120-134.
- Kijko, A., Sellevoll, M. A., 1989. Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part I. Utilization of Extreme and Complete Catalogues with Different Threshold Magnitudes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 79, pp. 645-654.
- Kramer, S. L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J. Page(s) 653.
- Liel, A. L. N., Raghunandan, M., Champion, C., 2015. Modifications to risk-targeted seismic design maps for subduction and near-fault hazards. Vancouver Canada. In 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP12).
- Luco, N., Ellingwood, B. R., Hamburger, R. O., Hooper, J. D., Kimball, J. K., Kircher, C. A., 2007. Risk-targeted versus current seismic design maps for the conterminous United States. In: SEAOC 2007 convention proceedings
- Mirzaei, N., Gao, M., and Chen, Y. T., 1998. Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: Major seismotectonic provinces. *J. Earthquake Prediction Research*, 7, 465-495
- Nowroozi, A. A., 1985. Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75 (5), pp. 1327-1338.
- Petersen, M. D., Harmsen, S. C., Jaiswal, K. S., Rukstales, K. S., Luco, N., Haller, K. M., Mueller, C. S., Shumway, A. M., 2018. Seismic Hazard, Risk, and Design for South America. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108 (2), 781-800. <https://doi.org/10.1785/0120170002>.
- Ramezani Besheli, P., ZARE, M., Ramazani Umali R. and Nakhaeezadeh. G., 2015. Zoning Iran based on earthquake precursor importance and introducing a main zone using a data-mining process. *Natural Hazards*, 78 (2), pp. 821-835. 10.1007/s11069-015-1745-3.
- Scordilis, E. M., 2006. Empirical Global Relations Converting MS and mb to Moment Magnitude. *Journal of Seismology*, Volume 10, Issue 2, pp 225-236.
- Sengara, I., 2012. Investigation on risk-targeted seismic design criteria for a high-rise building in Jakarta-Indonesia. Lisboa, In 5th World Conference of Earthquake Engineering (WCEE).
- Sengara, w., Irsyam, M., Sidi, I, D., Mulia, A., Asrurifak, M., Hutabarat, D., Partono, W. 2020. New 2019 Risk-Targeted Ground Motions for Spectral Design Criteria in Indonesian Seismic Building Code. E3S Web of Conferences 156, 03010 4th ICEEDM 2019
- Shoja-Taheri, J., Naserieh, S., Ghofrani, H., 2007. ML and MW Scales in the Iranian Plateau Based on the Strong-Motion Records. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 2, pp. 661-669. doi: 10.1785/0120060132.

- Shroder, J. F., Wyss, M., 2014. Earthquake Hazard, Risk and Disasters. Academic Press, Page(s) 606.
- Silva, V., Crowley, H., Bazzurro, P. 2016. Exploring Risk-Targeted Hazard Maps for Europe. *Earthquake Spectra*, 32(2), page(s) 1165-1186.
- Slemmons, D. B., 1977. Faults and earthquake magnitude. Vicksburg: U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Miss., Misc. Paper S-73-1, Report 6, 129 p.
- Soleimanmeigooni, F., Tehranizadeh, M., 2020. Uniform risk vs. uniform hazard spectral acceleration for different soil types in Alborze seismic zone. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21, pages 67–79.
- Technology National Earthquake Hazards Reduction Program., 2003. NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS, FOR SEISMIC REGULATIONS FOR NEW BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES (FEMA 450). Prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, BUILDING SEISMIC SAFETY COUNCIL NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, Washington, D.C.
- Wells, L. D., Coppersmith, K. J., 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84 (4), pp. 974-1002.
- Zare, M., 2010. Principles of Earthquake hazard Analysis. Tehran: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Page(s) 144.
- Zare, M., Amini, H., Yazdi, P., Sesetyan, K., Demircioglu, M. B., Kalafat, D., Erdik, M., Giardini, D., Khan, M. A., Tseriteli, N., 2014. Recent developments of the Middle East catalog. *Journal of Seismology*, Vol. 18, pages 749–772. DOI 10.1007/s10950-014-9444-1.