تحلیل خطر زلزله در گستره شهرستان اندیمشک و تعیین میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن

شاهرخ طافی
کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شوشتر، شوشتر، ایران
مهدی مهدوی عادلی*
استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شوشتر، شوشتر، ایران
mehmahad@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۱۲/۰۲

چکیده

شهرستان اندیمشک به عنوان یک نقطه کلیدی در مسیرهای جاده‌ای و ریلی اصلی ایران، همواره از جایگاه استراتژیکی در کشور برخوردار می‌باشد. لیکن بسیاری شواهد نشان می‌دهد این شهرستان در منطقه‌ای لرزه‌خیز قرار دارد و بروز یک پدیده لرزه‌ای مهیب در آن دور از ذهن نیست. با چنین پیش‌زمینه‌ای، هدف از انجام این تحقیق، تحلیل خطر زلزله در گستره شهرستان اندیمشک و ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری آن می‌باشد. برای نیل به این هدف، ابتدا از طریق انجام یک تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای، منحنی خطر شتاب حداکثر زمین برای این شهرستان بدست آمد و سپس با ارزیابی ساختمانهای موجود در گستره آن، بصورت چهار تیپ، اقدام به تعیین منحنی‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای در سه سطح گردید تا از طریق ترکیب این منحنی‌ها با منحنی خطر، میزان آسیب‌پذیری هرکدام از ساختمانها مشخص و در پایان با ترکیب نتایج، میزان آسیب-پذیری لرزه‌ای شهرستان اندیمشک مورد ارزیابی کمی قرار گیرد. نتایج حاصل نشان می‌دهد شهرستان اندیمشک متعلق به پهنه با سطح خطر زلزله بالای استان خوزستان است و شتاب مبنای طرح آن، معادل ۰/۳۲۵g و حتی بیشتر از مقدار پیشنهاد شده در استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد. همچنین ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانهای این گستره نشان داد که اگرچه در خصوص ساختمانهای بتنی و فولادی نگرانی چندانی وجود ندارد اما دوره بازگشت فروریزش ساختمانهای بنایی و سنتی که به ترتیب ۱۵۵ و ۸۰ سال محاسبه شده است بسیار نگران کننده می‌باشد و در نهایت نتایج نشان می‌دهد یک دوره بازگشت ۲۰ سال برای آسیب‌پذیری ناچیز به عنوان فرصتی کوتاه برای مقاوم‌سازی این شهر قابل پیشنهاد است.

کلید واژگان: زلزله، مخاطرات لرزه‌ای، تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای، منحنی آسیب‌پذیری، اندیمشک

Archive of SID
www.SID.ir

۱ – مقدمه

گستره جغرافیایی ایران از نظر احتمال وقوع حوادث طبیعی یکی از آسیب‌پذیرترین بخش‌های کره زمین است که هر ساله وقوع حوادثی نظیر زلزله و سیل موجب خسارتهای جانی و مالی فراوان در این کشور می‌شود. توسعه زندگی اجتماعی، بویژه شهرنشینی و گسترش روزافزون شهرها و مراکز جمعیتی بدون رعایت اصول و ضوابط فنی و قرارگیری در دامنه‌های پرخطر نظیر گسلها و یا حریم رودخانه‌ها و عدم توجه به برنامه‌ریزی مناسب شهرسازی اصولی، ابعاد این حوادث طبیعی را وسعتی دو چندان بخشیده و همواره نحوه مدیریت و انتخاب شیوه‌های مقابله با این حوادث را به عنوان یکی از دغدغه های اصلی تمامی مدیران شهری و مسئول مطرح می‌کند [۱].

استان خوزستان نیز با ۶۵٪ جمعیت ساکن در مناطق شهری و قرارگیری در دامنه گسل‌های فعال و خطرزا از این امر مستثنی نمی‌باشد. این در حالی است که قسمت عمده‌ای از فعالیت‌های اقتصادی کشور در این خطه قرار دارد و بالغ بر ۲/۹ میلیون نفر در مناطق شهری آن ساکن می‌باشند. مروری بر رخداد حوادث گذشته در این استان حکایت از بروز خسارات جانی و مالی فراوان در شهرهای این استان بویژه شهر اندیمشک دارد. لذا ضرورت اتخاذ استراتژی مشخص در ایمن‌سازی این مناطق و کاهش آسیب‌پذیری آن در مقابل بلایای طبیعی ضرورتی اجتناب ناپذیر می‌باشد. امری که در گذشته همانند سایر مناطق کشور کمتر به آن پرداخته شده و کمتر مورد توجه برنامه‌ریزان شهری بوده است. به منظور کاهش آسیب‌پذیری مناطق شهری ابتدا باید شناسایی مناطق خسارت‌پذیر واقع در این مناطق صورت پذیرفته و سپس با اتخاذ برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیریها و اجرای فعالیت‌های فنی و مدیریتی مربوطه در راستای کاهش خطر اقدام نمود [۲]. لازمه دستیابی به این مهم انجام مطالعات دقیق و جامع فنی بوده که بتواند ضمن شناسایی خطر و دامنه‌های تهدید کننده آن در مناطق شهری و بررسی وضعیت مقابله با آن، عوامل تشدید کننده این خسارات، امکانات مقابله، راهکارهای بهینه فنی و مدیریتی مقابله، حسب مورد منطقه خطر در مناطق شهری را معرفی کرده و یک برنامه جامع به منظور ایمن تر نمودن جامعه شهری ارائه دهد [۳].

مقاله حاضر نیز در این راستا و به منظور تحلیل خطر زلزله و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ساختمانهای گستره شهرستان اندیمشک در مقابل زلزله نگاشته شده است. در این مقاله پس از تعریف گستره شهرستان اندیمشک و گستره طرح آن، اقدام به شناسایی گسلهای موجود در این گستره و نیز جمع آوری کاتالوگ زلزله در آن خواهد شد و برمبنای این کاتالوگ اصلاح شده، اقدام به تعیین رابطه گوتنبرگ – ریشتر و محاسبه دوره بازگشت زلزله ها در این گستره خواهد شد. سپس در قالب یک تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای اقدام به ارزیابی خطر لرزه‌ای برای گستره طرح و تعیین منحنی خطر شتاب حداکثر زمین برای شهر اندیمشک می‌گردد. ترکیب این منحنی خطر لرزه‌ای با منحنی‌های آسیب‌پذیری ساختمانهای مختلف موجود در شهرستان اندیمشک، ابزار مناسبی جهت ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ساختمانهای موجود در این شهرستان را فراهم خواهد آورد. نتایج حاصل در این تحقیق می‌تواند در انتخاب استراتژی مناسب جهت مقاوم‌سازی و کاهش نتایج ناگوار حاصل از زلزله در این شهرستان کاربرد فراوانی داشته باشد.

۲- معرفی گستره شهرستان اندیمشک و گستره طرح

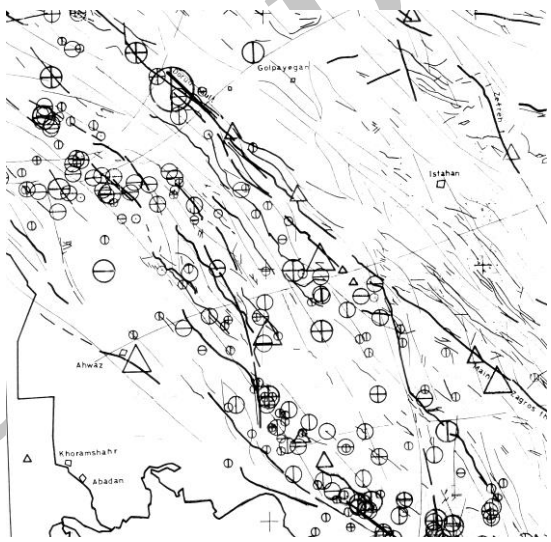
از لحاظ مختصات جغرافیایی شهرستان اندیمشک در بین ۴۷ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی از خط استوا قرار گرفته است (شکل ۱). شهر اندیمشک مرکز این شهرستان می باشد. وضعیت طبیعی شهر اندیمشک جلگه‌ای و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۹ متر است. جمعیت شهر تاکنون حدود ۱۶۷۱۲۶ نفر برآورد گردیده است (آمار سال ۱۳۹۰). مساحت قانونی شهر ۱۸ کیلومتر مربع، محدوده خدماتی ۱۲ کیلومتر مربع و حوزه استحفاظی این شهر ۹۳ کیلومترمربع است. فاصله شهر اندیمشک از شهر اهواز مرکز استان ۱۵۵ کیلومتر و از تهران مرکز کشور ۷۵۰ کیلومتر است.

اندیمشک در شمالی‌ترین قسمت استان خوزستان قرار دارد و از غرب با شهرستان دره شهر هم‌مرز است به همین سبب آب و هوای این شهر در اواخر زمستان و بهار به علت بودن در دامنه‌های سبز زاگرس بسیار مطلوب و یکی از مقصدهای مسافران نوروزی در ایام بهار است. در فصل تابستان آب و هوای این شهر روزهای نسبتاً گرم و شب‌های خنک را شامل می‌شود. در روزهای سرد فصل زمستان نیز در برخی مناطق بارش برف را تجربه می‌کند. دمای این منطقه در روزهای گرم سال به ۵۰ درجه بالای صفر و در روزهای سرد سال در پایین‌ترین حد خود در برخی مناطق به چند درجه زیر صفر نیز می‌رسد.

حال برای تعریف گسترهٔ طرح، یعنی مساحتی که باید برای آن اطلاعات اولیهٔ لازم جهت تحلیل خطر لرزه‌ای جمع‌آوری شود، باید ناحیه‌ای درنظر گرفته شود که تمام عوامل لرزه‌زایی را که ممکن است به نحوی گسترهٔ شهر اندیمشک را تحت تاثیر قرار دهند، در این ناحیه لحاظ شده باشند. به عبارت دیگر، برای هر نقطهٔ تعریف شده در گسترهٔ شهر اندیمشک، تا شعاع مناسبی تمام عوامل لرزه‌زا درنظر گرفته شود. انتخاب مقدار شعاع این محدوده، به عوامل مختلفی بستگی دارد. به طور کلی، در نظر گرفتن شعاعی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر برای یک ساختگاه مشخص، توصیه شده است. در این مقاله، محدوده‌ای بین طولهای جغرافیایی ۴۷/۷ تا ۵۰/۷ درجه و عرضهای جغرافیایی ۳۰/۰ تا ۳۳/۰ درجه به عنوان گسترهٔ طرح درنظر گرفته شده است. در نظر گرفتن چنین محدوده‌ای با مساحت تقریبی ۱۲۳۰۰۰ کیلومتر مربع، سبب می‌شود که تمام عناصر و عوامل زمین‌شناسی و زلزله‌شناسی که به نحوی ممکن است گسترهٔ تعریف شده برای شهر اندیمشک را متاثر سازند، مورد بررسی قرار گیرند و اثرات آنها در برآورد خطر لرزه‌ای برای اندیمشک، دیده شود (شکل ۲).

Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۱- گستره شهرستان اندیمشک



شکل۲- گستره طرح لرزه خیزی شهرستان اندیمشک [۴]

۳- شناسایی گسلها در گستره طرح

تقریبا منشأ تمام زلزله‌های رخ داده در ایران، گسلهای فعال هستند، بنابراین شناسایی گسلهای فعال و یا با قابلیت فعالیت در گسترهٔ طرح، از گامهای مهم و اساسی در تعیین وضعیت لرزه‌زمین ساخت منطقه می‌باشد. در تحقیقات قبادی و چرچی (۱۳۸۲) تعداد ۱۳ گسل در محدوده استان خوزستان شناسایی گردید که در شکل ۲ به نمایش در آمده اند.

لرزه‌خیزی شهر اندیمشک تحت تأثیر فعالیت گسل دزفول قرار دارد که این گسل بخشی از گسل فروبار دزفول بشمار می‌رود. گسل فروبار دزفول مرز شمالی فروبار دزفول را تشکیل می‌دهد. این گسل رانده در بین گسل های رانده پوشیده جبهه کوهستان و جلو شیب زاگرس قرار دارد. گسل فروبار دزفول برخط میزان ۵۰۰ متر منطبق است. گسلهای لهبری، دزفول و رامهرمز بخش های مختلف این گسل رانده پوشیده را تشکیل می‌دهند. روند صفحه گسل فروبار دزفول شمال غربی- جنوب شرقی (NW-SE) است و جهت شیب صفحه این گسل شمال شرقی (NE) می‌باشد [۵].

۴- جمع آوری کاتالوگ زلزله در گستره طرح

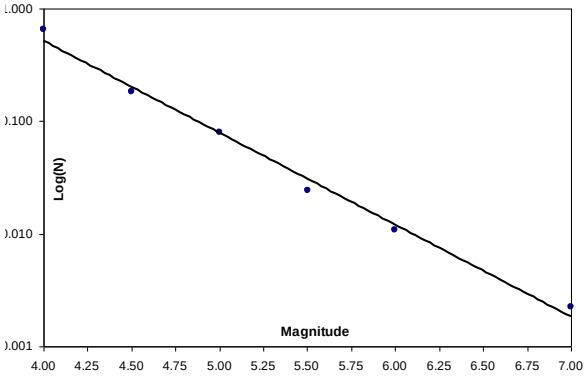
اطلاع از وضعیت زلزله‌های رخ داده در گسترهٔ طرح، پیش‌نیازی مهم جهت تعیین وضعیت لرزه‌خیزی یک منطقه است. به همین منظور، لازم است که ابتدا فهرستی از زلزله‌های رخ داده در گسترهٔ طرح همراه با ذکر مشخصات آنها تهیه شود که به چنین فهرستی کاتالوگ زلزله‌ها گفته می‌شود. به طور کلی، دو نوع کاتالوگ زلزله قابل تهیه است [۶]، کاتالوگ زلزله‌های تاریخی و کاتالوگ زلزله‌های دستگاهی. زلزله‌های تاریخی به زلزله‌های قبل از سال ۱۹۰۰ اطلاق می‌گردد و منظور از زلزله‌های دستگاهی، زلزله‌های بعد از این سال می‌باشد. در این تحقیق تعداد ۱۳ زلزله تاریخی و ۹۳۶ زلزله دستگاهی شناسایی گردید [۶].

این کاتالوگ زلزله، فراهم کنندهٔ اطلاعات اولیهٔ لازم برای برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی در گسترهٔ طرح می‌باشد. اما نکتهٔ بسیار مهم، عدم قطعیتهای موجود در این کاتالوگ است که قبل از استفاده از آن، حتما باید مورد بررسی قرار گیرند. استفادهٔ چشم بسته از کاتالوگ زلزله‌ها اشتباه است زیرا عدم قطعیتهای موجود در آن، تاثیر مستقیمی بر نتایج حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای خواهند گذاشت لذا تصحیح آن الزامی است. این تصحیحات در زمینه یکسان‌سازی پارامترها، حذف پس و پیش‌لرزه‌ها و نیز تکمیل کاتالوگ‌ها خواهد بود [۷].

۵- تعیین دوره بازگشت زلزله ها در گستره طرح

از کاتالوگ زلزله اصلاح شده در بخش قبل جهت تعیین رابطه گوتنبرگ – ریشتر برای گستره طرح شهرستان اندیمشک استفاده خواهد شد. این رابطه جهت تعیین دوره بازگشت زلزله ها کاربرد بسیار زیادی دارد و برای گستره اندیمشک به صورت ذیل تعیین می‌گردد.

$$\log(N_M) = 2.9799 - 0.8166M$$



شکل ۳- تعیین رابطه گوتنبرگ ریشتر برای گستره طرح اندیمشک

بر اساس این رابطه گوتنبرگ – ریشتر می‌توان دوره بازگشت زلزله‌ها با بزرگی مختلف را برای شهرستان اندیمشک تعیین نمود. بر مبنای محاسبات انجام گرفته، دوره بازگشت زلزله‌های با بزرگی ۵/۵، ۶/۰ و ۷/۰ در گستره شهرستان اندیمشک به ترتیب ۳۲، ۸۲ و ۵۴۰ سال خواهد بود.

www.SID.ir

۶- تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای در گستره طرح

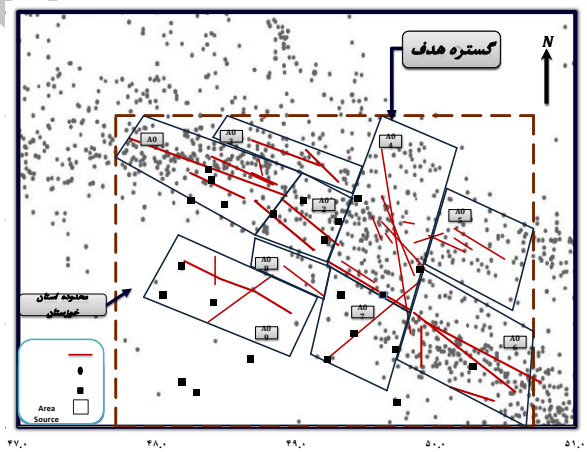
در این تحقیق از یک روش معتبر و شناخته شده جهت تحلیل خطر لرزه‌ای استفاده شده است [۸]. در این روش جهت محاسبه احتمال وقوع سالیانه پارامتری که در طول T سال، ریسک وقوع آن R است، از یک توزیع پواسون به صورت ذیل کمک گرفته می‌شود:

$$R = 1 - e^{-\lambda_y T}$$

حال اگر فرض شود که تعداد N چشمهٔ لرزه‌زا که هر یک دارای نرخ فعالیت لرزه ای ν_i هستند، بتوانند ساختگاه را تحت تاثیر قرار دهند با استفاده از رابطه ذیل می‌توان مقدار پارامتر حرکت زمین متناظر با این احتمال وقوع را حساب کرد:

$$\lambda_y = \sum_{i=1}^{N} \nu_i \iint P[Y > y \mid m,r]\, f_{Mi}(m)\, f_{Ri}(r)\, dm dr$$

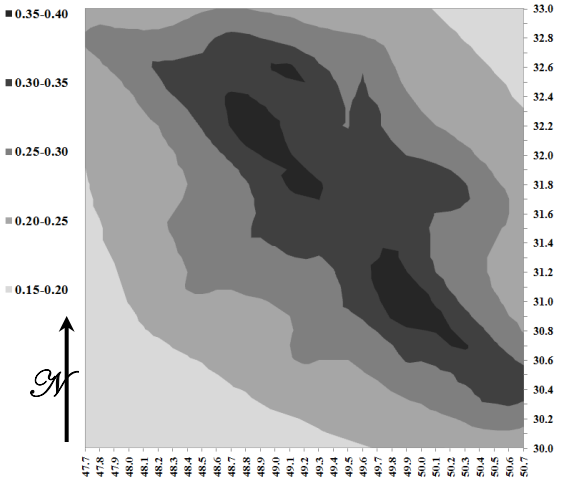
که در آن $P[Y>y \mid m,r]$ همان رابطهٔ کاهندگی است و $f_M(m)$ و $f_R(r)$، توابع چگالی احتمال بزرگی و فاصله هستند که باید برای هر چشمهٔ لرزه‌زا با توجه به مشخصات آن چشمه و فاصله آن تا ساختگاه تعیین شوند. شکل (۴) نمایشگر مدل هندسی چشمه‌های لرزه‌زای تعریف شده در این تحقیق است. همچنین به دلیل توانایی در مدل کردن مناسب وضعیت لرزه‌خیزی استان خوزستان، از رابطه کاهندگی طیفی زارع و سبزعلی در سال ۲۰۰۶ در این محاسبات استفاده شده است [۹].



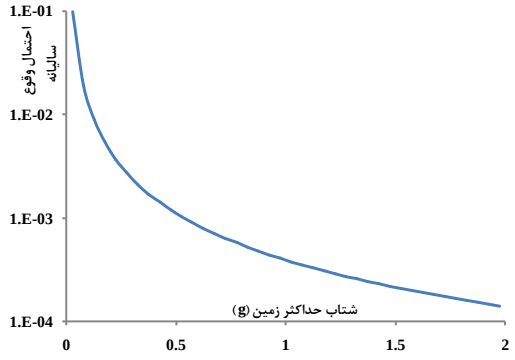
شکل ۴- مدل هندسی چشمه‌های لرزه‌زا تعریف شده در گستره طرح استان خوزستان

در شکل (۵)، اولین خروجی این محاسبات، یعنی نقشه پهنه‌بندی خطر شتاب حداکثر زمین با احتمال وقوع ۱۰٪ در طول پنجاه سال برای گستره طرح خوزستان مشاهده می‌گردد. این نقشه در هر نقطه از گستره استان خوزستان شتاب مبنای طرح را نشان می‌دهد و می‌تواند ابزار بسیار مناسبی جهت تعیین سطح خطر زلزله باشد. بر اساس این نقشه شهر اندیمشک در منطقه با سطح لرزه‌خیزی نسبتاً بالا قرار دارد و شتاب مبنای طرح آن ۰/۳۲۵g و حتی بیشتر از مقدار پیشنهاد شده در استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد. بطور کلی این نقشه پهنه‌بندی خطر نشان می‌دهد شهرستان اندیمشک در مناطق با سطح لرزه‌خیزی بالای استان خوزستان قرار دارد.

مهمترین نتیجه حاصل از این تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای که در ارزیابی آسیب‌پذیری شهرستان اندیمشک می‌تواند بکار رود، منحنی خطر شتاب حداکثر زمین در این شهرستان است که در شکل (۶) محاسبه شده است. با استفاده از این نمودار می‌توان احتمال وقوع سالیانهٔ هر مقدار شتاب حداکثر زمین را برای شهرستان اندیمشک محاسبه کرد.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی خطر شتاب حداکثر زمین در گستره طرح استان خوزستان با احتمال وقوع ۱۰٪ در طول ۵۰ سال



شکل ۶- منحنی خطر شتاب حداکثر زمین برای شهر اندیمشک

۶- تعیین وضعیت ساختمانها در گستره شهرستان اندیمشک

بر اساس ارزیابی‌های میدانی، آمار گرفته شده از شهرداری و نظام مهندسی شهر اندیمشک و نیز پروانه ساختمانیهای صادر شده، وضعیت ساختمانهای موجود در گستره شهر اندیمشک برحسب جدول (۱) است. همانگونه که از این جدول مشخص می‌باشد، بیش از نیمی از ساختمانهای شهر اندیمشک وضعیت مناسبی از نظر مقاومتی ندارند و تنها ۱۳٪ ساختمانهای آن دارای اسکلت مناسب فلزی و بتنی می‌باشد که در نگاه اول وضعیت ناامید کننده‌ای بنظر می‌رسد و لازم است که تمهیدات مناسبی برای مقابله با زلزله در آنها اندیشید [۱۰].

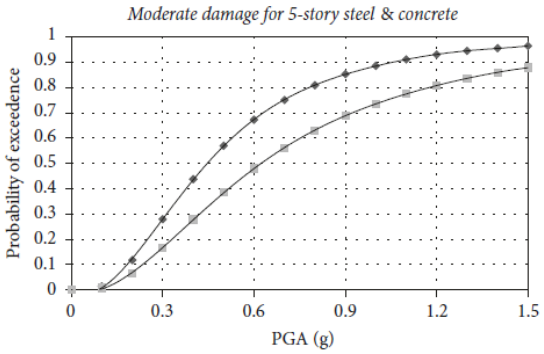
Archive of SID
www.SID.ir

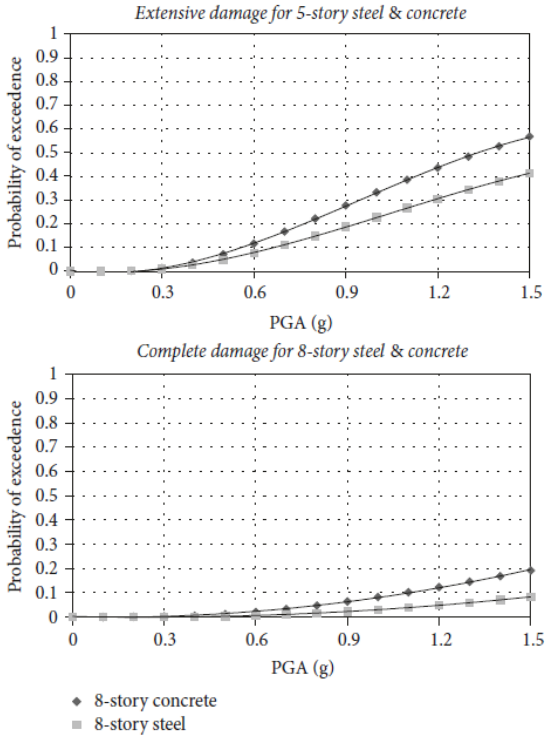
جدول ۱- وضعیت ساختمانهای موجود برحسب سیستم سازه در گستره شهر اندیمشک

اسکلت بتنی مقاومت مناسب	٪۱
اسکلت فلزی مقاومت مناسب	٪۱۲
ساختمان بنایی مقاومت متوسط (کلاف بندی شده)	٪۲۶
ساختمان سنتی مقاومت کم	٪۶۱

۷- روش ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمانها

در این تحقیق به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمانها از مفهوم منحنی‌های آسیب‌پذیری (Fragility Curve) استفاده شده است. منحنی آسیب‌پذیری به معنی احتمال وقوع یک عملکرد خاص به ازای یک مقدار مشخص از پارامتر شاخص شدت (در اینجا شتاب حداکثر زمین) می‌باشد. در این منحنی‌ها با استفاده از ترکیب نتایج تجربی حاصل از زلزله‌های گذشته و نیز مدلسازی‌های ریاضی ابتدا عملکرد مورد نظر (مثلا فروریزش یا همان Collapse سازه) به یک پارامتر تقاضای لرزه‌ای معلوم (مثلا حداکثر تغییرمکان) نسبت داده می‌شود، سپس احتمال وقوع این تقاضای لرزه‌ای به ازای مقادیر محتمل از پارامتر شاخص شدت محاسبه می‌گردد و در نهایت با ترکیب تمام نتایج منحنی‌های آسیب‌پذیری سطح عملکرد مطلوب بدست خواهد آمد [۱۱]. این منحنی‌های آسیب‌پذیری به ازای سیستم‌های ساختمانی مختلف محاسبه شده‌اند و در مراجع گوناگونی می‌توان آنها را پیدا نمود [۱۱ تا ۱۴]. در شکل (۷) به عنوان نمونه منحنی آسیب‌پذیری برای سه سطح عملکرد متوسط، آسیب قابل توجه و آسیب کامل دو ساختمان بتنی و فولادی ۵ طبقه مشاهده می‌گردد. در واقع با استفاده از این نمودارها می‌توان احتمال وقوع هرکدام این سه عملکرد مختلف را به ازای هر مقدار از شتاب حداکثر زمین برای دو قاب پنج طبقه فولادی و بتنی محاسبه کرد. چنین ابزاری می‌تواند هدف مورد نظر در این تحقیق را یعنی ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمانهای گستره هدف محقق سازد [۱۲].

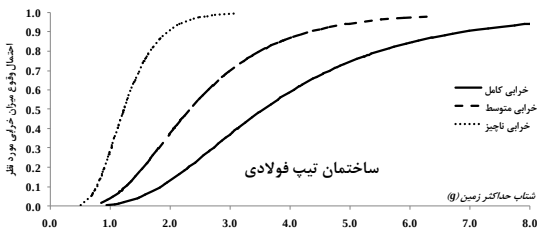




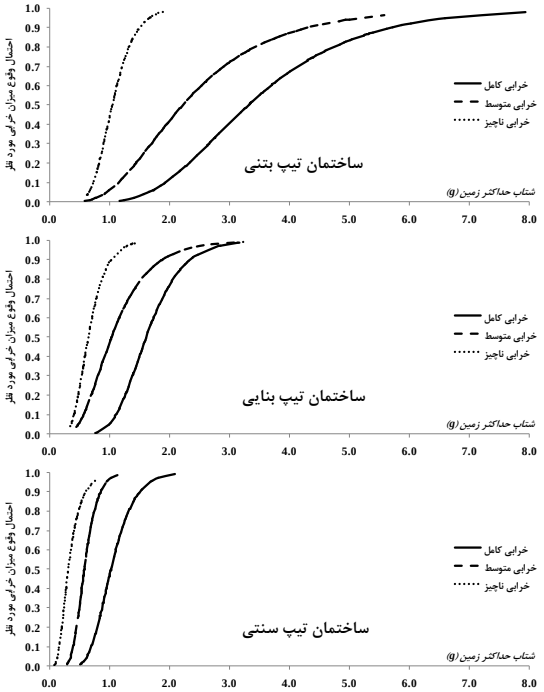
شکل ۷- منحنی‌های آسیب‌پذیری برای یک قاب ۵ طبقه فولادی و بتنی در سه سطح عملکرد مختلف از مرجع [۱۱]

اگرچه برای ارزیابی دقیق میزان آسیب‌پذیری هر ساختمانی لازم است که این منحنی‌ها بطور خاص برای ساختمان مذکور تعیین گردند، اما جهت ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، در مقیاس شهری، می‌توان از این منحنی‌ها بصورت تیپ استفاده کرد [۱۳]. با توجه به اینکه هدف در تحقیق حاضر نیز ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای کل ساختمانهای گستره شهرستان اندیمشک است، می‌توان برای ساختمانهای هدف (جدول ۱) تیپ تعریف نمود. این تیپ ساختمانها شامل پنج طبقه برای فولادی و بتنی و دو طبقه برای ساختمانهای بنایی و یک طبقه برای ساختمانهای سنتی در نظر گرفته شده است. همچنین سه سطح عملکرد شامل خرابی ناچیز، خرابی متوسط و خرابی کامل جهت توصیف عملکرد ساختمانها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از طرف دیگر جهت تعیین منحنی‌های آسیب‌پذیری این ساختمانهای تیپ هدف از میانگین‌گیری بین منحنی‌های پیشنهادی معتبر برای ساختمانهای مشابه فولادی [۱۴]، بتنی [۱۱] و بنایی [۱۵] استفاده شده است که در شکل (۸) به نمایش در آمده‌اند.



Archive of SID
www.SID.ir



شکل۸- منحنی‌های آسیب‌پذیری مورد استفاده جهت ارزیابی ساختمانهای تیپ شهرستان اندیمشک

۸- ارزیابی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانهای شهرستان اندیمشک

به منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانهای شهرستان اندیمشک باید از ترکیب منحنی خطر شتاب حداکثر زمین حاصل شده برای این شهر در شکل (۶) و منحنی‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانهای تیپ این شهر یعنی شکل (۸) از طریق تئوری کلی احتمال استفاده کرد.

به عنوان نمونه اگر هدف محاسبه احتمال وقوع فروریزش کلی یا همان خرابی کامل یک ساختمان، $P[C]$ باشد، این احتمال با استفاده از تئوری کلی احتمال برابر خواهد بود با مجموع حاصلضرب احتمال وقوع فروریزش به ازای یک مقدار مشخص از شتاب حداکثر زمین در احتمال وقوع آن مقدار شتاب حداکثر زمین بر روی کلیه مقادیر محتمل شتاب حداکثر زمین که به زبان ریاضی خواهد شد [۱۴]:

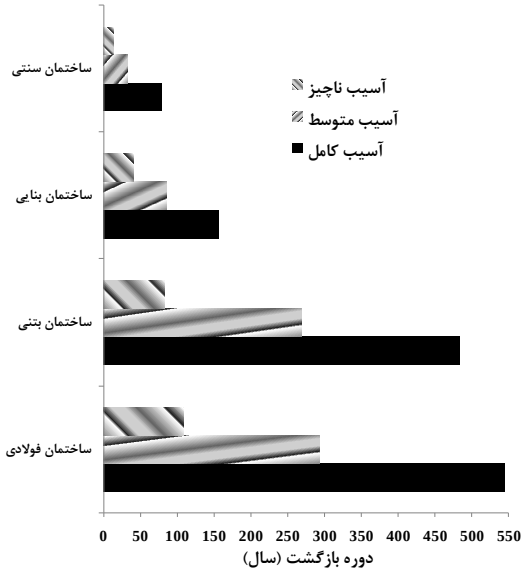
$$P[C]=\sum_{All} P[C \mid PGA=x].P[PGA=x]$$

در این رابطه $P[C|PGA=x]$ به معنی احتمال وقوع خرابی کامل به ازای شتاب حداکثر زمین برابر x است و با توجه به نوع سیستم ساختمانی از یکی از نمودارهای شکل (۸) قابل محاسبه است و عبارت $P[PGA=x]$ به معنی احتمال وقوع سالیانه شتاب حداکثر زمین برابر x می‌باشد که مستقیماً از شکل (۶) قابل محاسبه خواهد بود.

بر اساس این رابطه احتمال وقوع سه سطح آسیب‌پذیری ناچیز، متوسط و خرابی کامل برای چهار تیپ ساختمان شهر اندیمشک محاسبه شده و در جدول (۲) به نمایش در آمده است. با معکوس کردن این احتمال وقوع، دوره بازگشت قابل محاسبه است که شکل شماره (۹) نمایشگر این دوره‌های بازگشت برای سطوح مختلف آسیب‌پذیری تیپ ساختمانهای موجود در گسترهٔ اندیمشک می‌باشد.

جدول ۲- احتمال وقوع سالیانهٔ سطوح سه‌گانه آسیب‌پذیری لرزه‌ای در چهار تیپ ساختمان شهر اندیمشک

نوع ساختمان		میزان آسیب		
		ناچیز	متوسط	کامل
	فولادی	0.0093	0.0034	0.0018
	بتنی	0.0121	0.0037	0.0021
	بنایی	0.0240	0.0116	0.0064
	سنتی	0.0706	0.0297	0.0126



شکل۹- دوره بازگشت سطوح سه‌گانه آسیب‌پذیری لرزه‌ای در چهار تیپ ساختمان شهر اندیمشک

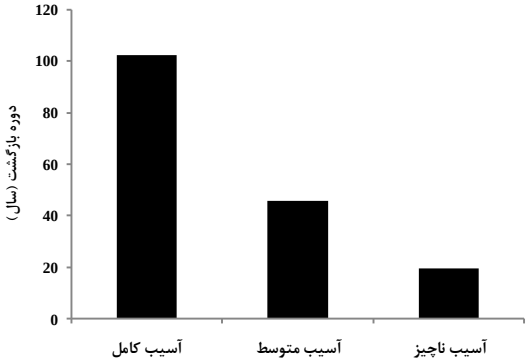
بر اساس شکل (۸) می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که در خصوص آسیب‌پذیری ساختمانهای بتنی و فولادی در گستره شهر اندیمشک نگرانی چندانی وجود ندارد و دوره بازگشت فروریزش کلی آنها در حد طرح شده در آئین نامه ۲۸۰۰ ایران (یعنی ۴۷۵ سال) می‌باشد که این مقدار در خصوص ساختماهای فولادی حتی بیشتر و در حد ۵۵۰ سال گزارش شده است. دوره بازگشت سایر سطوح آسیب‌پذیری این ساختمانها، یعنی ۲۹۰ و ۱۱۰ سال برای سازه فولادی و ۲۷۰ و ۸۰ سال برای سازه بتنی نیز قابل قبول بنظر می‌رسد.

اما نتایج حاصل در خصوص دوره بازگشت فروریزش دو سازه دیگر، یعنی ساختمان بنایی و سنتی که به ترتیب ۱۵۵ و ۸۰ سال محاسبه شده است بسیار نگران کننده و هشدار دهنده می‌باشد. همچنین دوره بازگشت بدون آسیب بودن این دو نوع ساختمان در گستره شهرستان اندیمشک مقادیر بسیار اندک ۱۴ سال و ۴۰ سال بدست آمده است که نشان از احتمال بروز آسیب لرزه‌ای در این سازه‌ها و در مدت زمان کوتاه آتی می‌دهد.

وضعیت بحرانی آسیب‌پذیری این دو نوع ساختمان در گستره شهرستان اندیمشک از یک سو و تعداد قابل توجه این سازه‌ها از سوی دیگر که در در واقع بر اساس جدول (۱) بخش عمده‌ای از ساختمانهای این گستره را تشکیل می‌دهد، دورنمای نگران کننده‌ای

Archive of SID
www.SID.ir

را از وضعیت آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهرستان اندیمشک به نمایش می‌گذارد. برای بررسی دقیق این موضوع و از طریق وزن دادن به میزان آسیب‌پذیری ساختمانهای مختلف این گستره بر اساس فراوانی آنها در جدول (۱)، شکل (۱۰) رسم شده است که می‌تواند بیانگر سطوح سه‌گانه آسیب‌پذیری لرزه‌ای (آسیب ناچیز، آسیب متوسط و آسیب کامل) در گستره شهرستان اندیمشک قلمداد گردد. در واقع با استفاده از این شکل می‌توان در خصوص میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهرستان اندیمشک بطور کلی اظهار نظر نمود که چنین نتیجه‌ای در واقع همان هدف نهایی است که بر اساس آن تحقیق حاضر انجام شده است.



شکل ۱۰- دوره بازگشت سطوح سه‌گانه آسیب‌پذیری لرزه‌ای در گستره شهرستان اندیمشک

بر اساس نتایج این شکل، در یک دوره بازگشت ۲۰ سال انتظار آسیب پذیری چندانی در شهرستان اندیمشک وجود ندارد که این مدت را می‌توان فرصتی جهت بازسازی و مقاوم سازی ساختمانهای موجود در این گستره خصوصاً ساختمانهای بنایی و سنتی فرض کرد. همچنین باید دانست که این فرصت کاملاً محدود است و میزان آسیب‌پذیری بسیار قابل توجهی که می‌تواند سبب آسیب‌پذیری لرزه‌ای کامل شهرستان اندیمشک گردد در یک دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در انتظار این شهرستان قرار دارد.

۹- نتیجه‌گیری

در این تحقیق اقدام به ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ساختمانهای موجود در گستره شهرستان اندیمشک در مقابل زلزله گردید و ابتدا از طریق انجام یک تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای منحنی خطر شتاب حداکثر زمین برای این شهرستان بدست آمد. سپس با ارزیابی ساختمانهای موجود در گستره آن بصورت چهار تیپ، اقدام به تعیین منحنی‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای در سه سطح آسیب ناچیز، متوسط و کامل گردید تا از طریق ترکیب این منحنی‌های آسیب‌پذیری با منحنی خطر زلزله، میزان آسیب‌پذیری هرکدام از این تیپ ساختمانها در گستره شهرستان اندیمشک مشخص گردد و در پایان با ترکیب وزنی نتایج با توجه به تعداد ساختمانهای موجود، میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهرستان اندیمشک مورد ارزیابی کمی قرار گیرد. خلاصه نتایج حاصل در این تحقیق به شرح ذیل است:

- ✓ بطور کلی نتایج حاصل از ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی نشان می‌دهد سطح نسبی خطر زلزله در گستره شهرستان اندیمشک بالا است. دوره بازگشت زلزله با بزرگی ۶ برای این گستره ۸۲ سال و زلزله با بزرگی ۷ حدود ۵۴۰ سال محاسبه گردید.
- ✓ انجام یک تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای در گستره استان خوزستان نشان داد اندیمشک متعلق به پهنه با سطح خطر زلزله بالای استان خوزستان است و شتاب مبنای طرح آن، یعنی شتاب حداکثر زمین با دورهٔ بازگشت ۴۷۵ سال، معادل ۰/۳۲۵g و حتی بیشتر از مقدار پیشنهاد شده در استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد.
- ✓ ارزیابی میدانی از وضعیت ساختمانهای گستره اندیمشک نشان می‌دهد بیش از نیمی از ساختمانهای شهر اندیمشک را ساختمانهای بامقاومت نامطلوب تشکیل می‌دهد و تنها ۱۳٪ ساختمانهای آن دارای اسکلت مناسب فلزی و بتنی می‌باشد.
- ✓ با ترکیب منحنی خطر شتاب حداکثر زمین و منحنی‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانها می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که در خصوص آسیب‌پذیری ساختمانهای بتنی و فولادی در گستره شهر اندیمشک نگرانی چندانی وجود ندارد و دوره بازگشت فروریزش کلی آنها در حد طرح شده در آئین نامه ۲۸۰۰ ایران (یعنی ۴۷۵ سال) می‌باشد که این مقدار در خصوص ساختماهای فولادی حتی بیشتر و در حد ۵۵۰ سال گزارش شده است. دوره بازگشت سایر سطوح آسیب‌پذیری این ساختمانها نیز، یعنی ۲۹۰ و ۱۱۰ سال برای سازه فولادی و ۲۷۰ و ۸۰ سال برای سازه بتنی قابل قبول بنظر می‌رسد.
- ✓ نتایج حاصل در این تحقیق در خصوص دوره بازگشت فروریزش ساختمانهای بنایی و سنتی که به ترتیب ۱۵۵ و ۸۰ سال محاسبه شده است بسیار هشدار دهنده می‌باشد. همچنین دوره بازگشت بدون آسیب بودن این دو نوع ساختمان در گستره شهرستان اندیمشک مقادیر بسیار اندک ۱۴ سال و ۴۰ سال بدست آمده است که نشان از احتمال بروز آسیب لرزه‌ای در این سازه‌ها و در مدت زمان کوتاه آتی می‌دهد.
- ✓ در پایان و با تجمیع کلی نتایج می‌توان پی به وضعیت نگران کننده آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهرستان اندیمشک برد. در واقع نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در یک دوره بازگشت ۲۰ سال انتظار آسیب‌پذیری چندانی در شهرستان اندیمشک وجود ندارد که این مدت را می‌توان فرصتی جهت بازسازی و مقاوم سازی ساختمانهای موجود در این گستره خصوصاً ساختمانهای بنایی و سنتی فرض کرد. همچنین باید دانست که این فرصت کاملاً محدود است و میزان آسیب‌پذیری بسیار قابل توجهی که می تواند سبب آسیب‌پذیری لرزه‌ای کامل شهرستان اندیمشک

Archive of SID
www.SID.ir

گردد در یک دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در انتظار این شهرستان قرار دارد.

مراجع

۱- امینی ورکی، س، مدیری، م، شمسایی زفرقندی، ف، قنبری، ع، شناسایی دیدگاه های حاکم بر آسیب پذیری شهرها در برابر مخاطرات محیطی و استخراج مولفه های تأثیر گذار در آن با استفاده از روش کیو، دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، دوره سوم، ویژه نامه هفته پدافند غیر عامل، ۱۳۹۳، صفحه ۱۸-۵.

۲- زنگی آبادی، ع، اسماعیلیان، ز، تحلیل شاخص های آسیب پذیری مساکن شهری در برابر خطر بلایای طبیعی، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره چهارم، ۱۳۹۲، صفحه ۱۲۹-۱۳۳.

۳- کوهپایه، م، بارانی، ا، نقش طراحی معماری بر بهبود عملکرد لرزه‌ای اجزای غیر سازه‌ای، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، ایران، ۱۸-۱۷ اردیبهشت، ۱۳۹۲.

4- Ramazi H. R. Attenuation laws of iranian earthquakes, Proceeding of the 3rd International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, Iran, 17-19 May, 1999.

۵- قبادی، م، چرچی، ع، اهمیت گسلهای امتداد لغز در ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی استان خوزستان، چهارمین کنفرانس بین المللی لرزه شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، اردیبهشت ۱۳۸۲.

6- Ambraseys, N. N., Melville, C. P. , A history of persian earthquakes, Cambridge, Cambridge University press, 1982, 219 pages.

7- Gardner, J. K. and Knopoff, L. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 64, No 5, 1974, pp1363-1367.

8- Cornell, C. A., Engineering seismic risk analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 67, 1977, pp 1173-1194.

9- Zare, M., Sabzali, S., Spectral attenuation of strong Motions in Iran, Third International symposium on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion, France, Grenoble, 2006.

10- Shahnaz, A, Rezaeenia, H. Assessing Seismic Vulnerability of Urban Network (Case Study of Tabriz), Fourth Conference on Planning and Urban Management, Mashhad, Iran, 2012.

11- Mansouri, I., Wan Hu, J., Shakeri, K., Shahbazi, Sh., Nouri, B., Assessment of Seismic Vulnerability of Steel and RC Moment Buildings Using HAZUS and Statistical Methodologies, Discrete Dynamics in Nature and Society, Volume 2017, Article ID 2698932, 16 pages.

۱۲- قنبری، م، امیدوار، ب، ارزیابی ریسک فروریزش ساختمان‌ها در مناطق شهری پس از زلزله. مطالعه موردی: منطقه یک تهران ، دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره پنجم، ۱۳۹۳.

۱۳- شیرازی، ن، تهیه ماتریس های خسارت زلزله برای ساختمان های بتنی، فولادی و مصالح بنایی تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۹.

14- Mahdavi Adeli M., Banazadeh, M., Deylami, A., Bayesian approach for determination of drift hazard curves for generic steel moment-resisting frames in territory of Tehran, International Journal of Civil Engineering, Vol. 9, No. 3, September 2011.

15- Cattari, S., Lagomarsino, S., Ottonelli, D., Fragility Curves for Masonary Buildings from Emprical and Analytical Models, Second European Conference on Earthquake and Seismologiy, Turkey, Istanbul, AUG. 25-29, 2014.

Archive of SID

www.SID.ir

Seismic Hazard Analysis of Andimeshk Territory and Determination of its Seismic Vulnerability

Shahrokh Tafi
Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Shoushtar branch, Shoushtar, Iran.
Mehdi Mahdavi Adeli
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shoushtar Branch, Shoushtar, Iran

Abstract:

As a key point in main roads and railways of country, Andimeshk city has always have strategic situation in Khuzestan province and even Iran. On the other hand, most evidences indicate that this city is located in seismic area and the incidence of a massive earthquake could impose huge losses on Iran economy. Considering this background, the aim of this study is to perform seismic hazard analysis in Andimeshk territory and precisely evaluate the vulnerability of the buildings and structures in this city. To this end, the extreme risk curve was obtained using probability analysis, then the buildings were investigated in four types in order to identify the vulnerability curves in three levels. By the combination of risk curve and vulnerability curves the rate of vulnerability of Andimeshk buildings can be evaluated quantitatively. The results of this study show that the seismic hazard level in Andimeshk city is relatively high and the base acceleration is equal to 0/325g and even more than the proposed rate in the standard 2800. Although there is no considerable concern regarding concrete buildings, the collapse of ancient and traditional buildings which are calculated 80 to 155 years is very challenging. In conclusion, the results indicate that a 20-year period might be suggested as a short chance to preserve the city.

Keywords: Earthquake, Seismic Hazard, Fault, Vulnerability, Andimeshk

Archive of SID

www.SID.ir