مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره نوزدهم، بهار ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲

صفحات: ۱۵۰ - ۱۲۳

ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی و آسیب‌پذیری کالبدی– جمعیتی شهر رفسنجان

حسین غضنفرپور[۱*]، محسن پورخسروانی[۲]، مهدیه سلیمانی ساردو[۳]

چکیده

شهرستان رفسنجان در شمال غربی استان کرمان واقع شده و از شمال به بافق در استان یزد، از جنوب به بردسیر و سیرجان از مغرب به شهر بابک و از مشرق به کرمان محدود می‌شود. با توجه به وضعیت لرزه‌خیزی استان کرمان، میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر رفسنجان سوال اساسی این پژوهش بوده است. به همین علت این پژوهش سعی دارد وضعیت لرزه‌خیزی و آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان در برابر زلزله را ارزیابی نماید. نتایج نشان می‌دهد که ۱۳/۵۱ درصد از پارامترهای کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان از آسیب پذیری بالایی برخوردار می‌باشند که از این مقدار ۷/۳۸ درصد آن در پهنه با خطر لرزه خیزی متوسط و ۶/۱۳ درصد نیز در پهنه با خطر لرزه‌خیزی کم قرار دارد. همچنین از مجموع ۳۶/۴۱ درصد از پارامترهای کالبدی و جمعیتی این شهر که از آسیب‌پذیری متوسط برخوردار است، ۱۹/۶۱ درصد آن در در پهنه با خطر لرزه‌خیزی متوسط و ۱۶/۸۱ درصد آن در پهنه با خطر لرزه‌خیزی کم قرار دارد. از طرفی فقط حدود نیمی (۵۰/۰۸ درصد) از پارامترهای کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان از وضعیت آسیب‌پذیری کم و مناسب برخوردار است که از همین مقدار هم ۲۵/۳۷ درصد آن در پهنه با خطر لرزه‌خیزی متوسط قرار داشته و فقط ۲۴/۷ درصد آن در پهنه کم خطر از نظر لرزه‌خیزی قرار گرفته است. لازم به هرچند طبق نتایج شهر رفسنجان از خطر لرزه‌خیزی بالایی برخوردار نیست ولی نتایج تحلیل لرزه‌خیزی حاکی از آنست که احتمال وقوع زلزله‌هایی با بزرگی ۷ ریشتر امکان‌پذیر است. به همین علت با توجه به اینکه حدود ۵۰ درصد از مساحت این شهر از نظر کالبدی و جمعیتی آسیب‌پذیر می‌باشد بنابراین برنامه ریزی کاربردی جهت کاهش خطرات احتمالی از اهمیت بالایی برخوردار است.

واژگان کلیدی: لرزه خیزی، آسیب پذیری، کالبدی، جمعیتی، رفسنجان.

[۱]- دانشیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه شهید باهنر کرمان (نویسنده مسئول) ma1380@uk.ac.ir

[۲]- استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه شهید باهنر کرمان pourkhosravani@uk.ac.ir

[۳]- کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری از دانشگاه شهید باهنر کرمان solymani2015@yahoo.com

مقدمه

تقابل فعالیت‌های بشری با محیط و روندهای طبیعی حاکم بر آن، مخاطرات مختلفی را موجب می‌گردد که زلزله یکی از مهمترین آنها می‌باشد. زلزله یکی از مخاطرات طبیعی است که هر ساله خسارت‌های زیادی را در مناطق مختلف جهان و به خصوص ایران دنبال دارد؛ اما باید توجه داشت، زلزله به عنوان پدیده‌ای طبیعی، زمانی مخاطره آمیز و بحران آفرین است که جامعه نسبت به آن آسیب‌پذیر بوده و آمادگی لازم برای رویارویی با آن را نداشته باشد. تجربه زلزله‌های روی داده در کشور نشان می‌دهد که آمادگی لازم برای رویارویی با این پدیده طبیعی وجود ندارد. به طوریکه ادامه این روند و عدم توجه به شناخت عوامل اساسی در آسیب‌پذیری مساکن و ساختارهای شهری در برابر زلزله خسارت‌های جبران ناپذیری را بر پیکره جامعه وارد می‌کند. به همین علت شناخت ساختار تکتونیکی مناطق مختلف، تحلیل لرزه‌خیزی و برآورد میزان آسیب‌پذیری مناطق سکونتگاهی در رابطه با لرزه‌خیزی از موارد اساسی در برنامه‌ریزی و مدیریت این مناطق جهت کاهش خسارت‌های ناشی از زلزله است. آسیب‌پذیری اصطلاحی است جهت نشان دادن وسعت و میزان خسارت احتمالی بر اثر وقوع سوانح طبیعی به جوامع، ساختمان‌ها و مناطق جغرافیایی (زهرایی و همکاران، ۱۳۸۴). در آسیب‌پذیری نواحی موقعیت استقرار سکونتگاه‌ها از نظر بستر طبیعی و همجواری با عناصر مخاطره آمیز مانند گسل‌ها، مسیل‌ها و ناهمواری‌ها تأثیر بسزایی دارند (صادقلو، ۱۳۹۳)، بلایای اتفاق افتاده در سالیان اخیر بیانگر این موضوع است که جوامع و افراد به صورت فزاینده‌ای آسیب‌پذیر شده و ریسک‌ها نیز افزایش یافته‌اند. با این حال، کاهش ریسک و آسیب‌پذیری اغلب تا بعد از وقوع سوانح نادیده انگاشته می‌شوند (آینودین و روترای[1]، ۲۰۱۲). در مناطق شهری اثرات زیانبار معمول در اثر وقوع مخاطرات طبیعی شامل تلفیقی از ویرانی‌های کالبدی و اختلال عملکرد عناصر شهری است (پیشگاهی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۰)؛ بنابراین به سادگی می‌توان دریافت که تحلیل آسیب‌پذیری و ارزیابی توانایی شهر در مقابله با مخاطرات طبیعی و برنامه‌ریزی مناسب جهت پیشگیری و یا کاهش آثار مخرب آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (احدنژاد روشتی و همکاران،۱۳۹۱). آسیب‌پذیری پدیده‌ای است گسترده که تمامی عوامل موجود در یک شهر را در بر می‌گیرد و به علت وابستگی عناصر به یکدیگر آسیب‌پذیری شهر نیز به سرعت گسترش می‌یابد (معرب، ۱۳۹۵). به همین علت تا کنون پژوهش‌های گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته است. از جمله:

احدنژاد و همکاران (۱۳۸۹) آسیب‌پذیری شهر زنجان را با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی بررسی نموده و بیان می-کنند که منطقه سه شهر زنجان به دلیل فرسودگی بافت و استفاده از مصالح کم دوام و نیز عمر بالای ساختمان‌ها از آسیب پذیری بالایی برخوردار است. ولی زاده (۱۳۹۰) ضمن ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی و آسیب پذیری شهر کرمان نتیجه می‌گیرد که شهر کرمان در اثر رخداد احتمالی زلزله بیش از ۶ ریشتر ناشی از جنبا شدن گسل تراستی کوهبنان دچار تخریب بیش از ۵۰ درصد می‌شود که بیش از ۵۳ درصد جمعیت شهر در معرض آسیب زیاد قرار خواهند گرفت.

1- Ainuddin and Routray

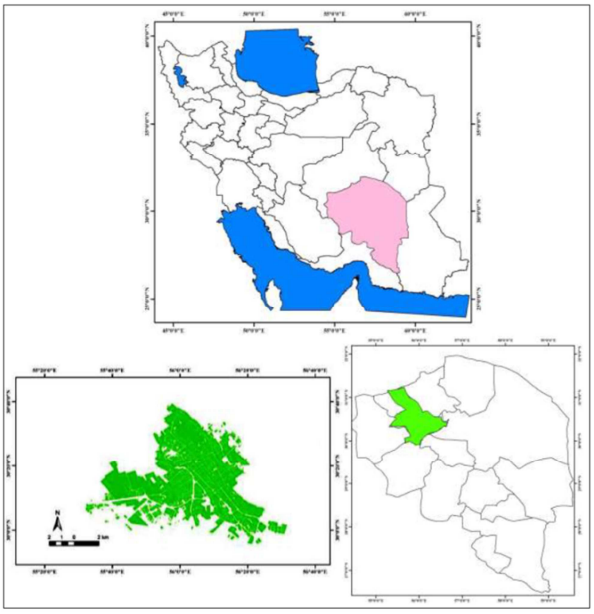
در پژوهشی دیگر شماعی و همکاران (۱۳۹۲) عوامل آسیب رسان ناشی از زلزله در منطقه یک شهر تهران را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی ارزیابی نموده و نتیجه می‌گیرند که فاصله از گسل، شیب زمین، همجواری با کاربری‌های ناسازگار، عمر بنا، تراکم زیاد جمعیت، عدم دسترسی به فضاهای باز شهری و مساحت نامناسب قطعات زمین کاربری‌ها، از مهمترین عوامل تشدید کننده آسیب‌ها در این منطقه از شهر تهران می‌باشند. سرور و همکاران (۱۳۹۵) ضمن ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی شهر اهر در برابر بحران زلزله بیان می‌کنند که حدود ۳۰ درصد از فضاهای ساخته شده شهر اهر در برابر زلزله، آسیب‌پذیری متوسط به بالایی دارند و ساختار کالبدی مطلوبی برای مدیریت بحران ناشی از زلزله را ارائه نمی‌نمایند. همچنین رمضانی کیاسج محله و همکاران (۱۳۹۵) آسیب پذیری منطقه ۷ شهر تهران را در برابر زلزله با استفاده از تکنیک‌های WLS[1] و OWA[2] بررسی نموده و نتیجه می‌گیرند که نواحی شرقی و مرکزی این منطقه از آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به سایر نواحی برخوردار می‌باشند. نیری و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی تحت عنوان، امکان سنجی آسیب‌پذیری شهر سنندج در برابر زلزله با استفاده از مدل OWA بیان می‌کنند که قسمت‌های شمال و شمال‌غربی از آسیب‌پذیری بالایی با منشأ کالبدی و انسانی برخوردارند درحالیکه قسمت‌های جنوبی که در درجهٔ بعدی از آسیب‌پذیری قرار دارد، منشأ طبیعی دارند.

ابرت و همکاران[3] (۲۰۰۸) ضمن بررسی آسیب‌پذیری اجتماعی شهرها در برابر مخاطرات طبیعی گزارش می‌دهند که تشکیل واحدهای همسایگی از جمله استانداردهای لازم برای کاهش آسیب‌پذیری اجتماعی می‌باشند. ایشان اضافه می‌کنند که ترکیب روش‌های سنتی و نوین از تاثیر بیشتری برای کاهش آسیب‌ها در مواقع بحران برخوردار هستند. جی فو لی یو[4] (۲۰۱۱) ضمن تحلیل خسارات ناشی از زلزله ۷/۱ ریشتری سال ۲۰۱۰ در چین بیان می‌کنند که شرایط محیطی خاص منطقه و کمبود امکانات زیر ساختی برای امداد رسانی را از جمله عوامل موثر در شدت تلفات دانسته است. به طور کلی اغلب تحقیقات به عمل آمده در مورد کاهش خسارات ناشی از زلزله حول محور روش‌های ساخت و ساز واحدهای ساختمانی جهت افزایش مقاومت بنا در برابر زلزله بوده است که این تنها بخشی از جنبه‌های آمادگی در مقابله با زلزله است. بررسی میزان آسیب‌های ناشی از زلزله در شهرها نشان می‌دهد که درصد بالایی از صدمات به طور مستقیم به وضعیت نامطلوب برنامه‌ریزی، شناسایی و کاهش خطرات شهری مربوط بوده است. به همین دلیل ارائه مدل‌هایی جامع که توانایی تحلیل سیستماتیک تمامی پارامترهای موثر بر کاهش خسارت‌های ناشی از زلزله را داشته باشد بسیار ضروری است. به همین دلیل این پژوهش سعی دارد وضعیت لرزه‌خیزی و آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان را ارزیابی نماید.

داده‌ها و روش‌ها

1-weighted least squares
2- ordered weighted averaging
3- Ebert
4- Jifu liue

شهرستان رفسنجان با وسعت حدود ۸۲۷۳ کیلومتر مربع معادل ۴/۵۵ درصد مساحت استان را به خود اختصاص داده و بین مختصات جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این شهرستان در شمال غربی استان قرار گرفته و از شمال به بافق در استان یزد، از جنوب به بردسیر و سیرجان از مغرب به شهر بابک و از مشرق به کرمان محدود می‌شود، شکل (۱). شهرستان رفسنجان با ارتفاع ۱۴۶۹ متر از سطح دریا از سمت شمال و شمال شرقی به ارتفاعات داوران و از سمت جنوب نیز به ارتفاعات سرچشمه محدود می‌گردد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (*منبع: نگارندگان*)

پژوهش حاضر کاربردی و روش مورد استفاده در این پژوهش توصیفی– تحلیلی می‌باشد که جمع آوری اطلاعات به شیوه اسنادی، کتابخانه‌ای و میدانی صورت گرفته است. برای تجزیه و تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی از تکنیک Analytical Hierarchy process (AHP) و از روش‌های تحلیلی و آماری (جهت ارزیابی لرزه خیزی) و در نهایت از نرم افزار تحلیل‌گرArc GIS برای همپوشانی لایه‌ها بهره‌گیری شده است.

الف- روش‌های برآورد خطر زمین لرزه

به منظور ارزیابی خطر زلزله در هر محل روش‌های متعددی وجود دارد که روش‌های تحلیلی و آماری از جمله این روش‌ها می‌باشند. در روش تحلیلی با استفاده از توانایی لرزه‌خیزی گسل‌ها اقدام به برآورد مقدار بزرگی، شدت، شتاب و سرعت ناشی از هر گسل در سایت مورد نظر می‌شود (عباس نژاد و داستانپور، ۱۳۸۷)؛ اما در روش آماری بر پایه ضرایب مختلف، بزرگی زمین لرزه‌ها با دوره بازگشت مختلف محاسبه می‌شود (پورکرمانی و آرین، ۱۳۷۷).

تحلیل سلسله مراتبی AHP[1]

این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. این روش بر مبنای مقایسه‌ی زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبه‌ها را آسان و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

ارزیابی لرزه خیزی شهر رفسنجان

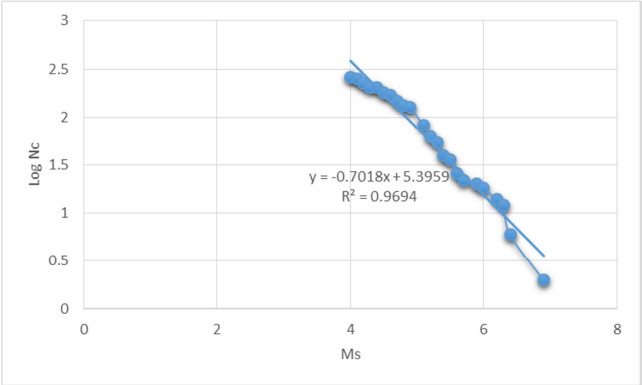
روش ارزیابی آماری

در منطقه مطالعاتی در دوره آماری ۱۰۰ ساله (۱۹۱۷ تا ۲۰۱۷)، حدود ۱۰۹۳ زمین لرزه در شعاع ۲۰۰ کیلومتری از مرکز شهر ثبت شده است که تعداد ۲۴۱ زلزله بزرگی بیش از ۴ ریشتر داشته‌اند که مورد ارزیابی قرار گرفت. فراوانی و فراوانی تجمعی هر دسته مشخص و در نموداری بزرگی زمین لرزه بر حسب MS و Log NC (فراوانی تجمعی زمین لرزه‌ها) در مقابل هم رسم شده و سپس بهترین خط ممکن بین نقاط برازش شد و فرمول خط با ضریب همبستگی۹۶درصد (= ۰/۹۶R) بدست آمد جدول (۲) و شکل (۲). محل تلاقی خط مستقیم با خط قائم معرف مقدار a بوده و وتری که بخشی از خط مستقیم است معرف مقدار b می‌باشد.

جدول ۲: بزرگی و فراوانی تجمعی زمین لرزه‌های یک صد ساله در منطقه

بزرگی زمین لرزه (Ms)	تعداد	فراوانی تجمعی	فراوانی تجمعی log
۴	۱۲	۲۴۱	۲/۳۸
¼	۲۱	۲۲۹	۲/۳۵
۴/۲	۲۱	۲۰۸	۲/۳۱
¾	۱	۱۸۷	۲/۲۷
۴/۴	۲۶	۱۸۶	۲/۲۶
۴/۵	۸	۱۵۹	۲/۲
۴/۶	۲۳	۱۵۱	۲/۱۷
۴/۷	۱۵	۱۲۸	۲/۱
۴/۸	۵	۱۱۳	۲/۰۵
۴/۹	۲۶	۱۰۸	۲/۰۳
۵/۱	۲۰	۸۲	۱/۹۱
۵/۲	۸	۶۲	۱/۷۹
۵/۳	۱۴	۵۴	۱/۷۳
۵/۴	۴	۴۰	۱/۶۰
۵/۵	۱۰	۳۶	۱/۵۵
۵/۶	۴	۲۶	۱/۴۱
۵/۷	۲	۲۲	۱/۳۴
۵/۹	۲	۲۰	۱/۳۰
۶	۴	۱۸	۱/۲۵
۶/۲	۲	۱۴	۱/۱۴
۶/۳	۶	۱۲	۱/۰۷
۶/۴	۴	۶	۰/۷۷
۶/۹	۲	۲	۰/۳۰

1- Analytical Hierarchy process



شکل ۲: نمودار رسم شده بین Ms و logNc

بر اساس رابطه گوتنبرگ– ریشتر[1] (رابطه ۱) (پورکرمانی و آرین، ۱۳۷۷).

$$\text{Log Nc} = a - bMs \quad (۱)$$

که در این رابطه، Nc: فراوانی تجمعی زمین لرزه‌ها a، ضریب ثابت (که با تغییر طول دوره آماری تغییر می‌کند)، b: ضریب ثابت (ضریب لرزه‌خیزی) که کاهش اندازه b در یک دوره زمانی مشخص نشان دهنده افزایش بزرگی زلزله قابل رویداد می‌باشد)، Ms: بزرگی زمین لرزه‌ها بر اساس امواج سطحی می‌باشند. به روش آماری کمترین مربعات ضرایب a و b محاسبه شده که a= ۵/۳۹۵۹ و b =۰/۷۰۱۸ می‌باشد و فرمول گوتنبرگ ریشتر بصورت رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$\text{Log Nc} = 5.3959 - 0.7018Ms \quad (۲)$$

بنابراین اگر در رابطه بالا، Ms را به ترتیب ۴، ۵، ۶ و ۷ ریشتر در نظر بگیریم در جدول (۳) نتایج را ملاحظه می‌کنیم که زمین لرزه‌های با بزرگی Ms=4 بسیار بیشتر از زمین لرزه های Ms=6.9 رخ می‌دهند.

جدول ۳: رابطه بین بزرگی زمین لرزه‌ها و فراوانی آنها

بزرگی زمین لرزه (ریشتر)	۴	۵	۶	۷
Log Nc	۲/۵۸	۱/۸۸	۱/۱۸	۰/۴۸
فراوانی زمین لرزه در دوره آماری ۱۰۰ ساله	۳۸۷	۷۷	۱۵	۳

ارزیابی دوره بازگشت رویداد زمین لرزه به روش گوتنبرگ– ریشتر

جهت پی بردن به روند رویداد زمین لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه می‌توان از رابطه (۳) استفاده نمود و بر پایه ضرایب a و b، طبق رابطه زیر بزرگی زمین لرزه‌ها با دوره بازگشت مختلف را محاسبه نمود (واردی و همکاران، ۱۳۹۶).

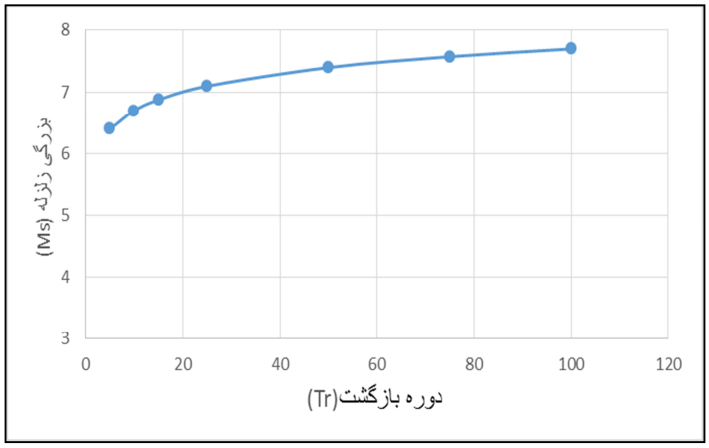
1- Gutenberg-Richter

$$Ms = \frac{Log(\frac{Tr}{T}) + a}{b} \quad (۳)$$

بنابراین در یک دوره آماری ۱۰۰ ساله (T = 100)، طبق رابطه فوق می‌توان بزرگی زمین لرزه‌ها (Ms) را برای دوره بازگشت متفاوت برآورد نمود (جدول ۴ و شکل ۳).

جدول ۴: دوره بازگشت زلزله‌ها نسبت به بزرگی آنها

دوره بازگشت (سال)	۵	۱۰	۱۵	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
بزرگی زمین لرزه (ریشتر)	۶,۳	۶,۷	۶,۹	۷	۷,۴	۷,۶	۷,۷



شکل ۳: نمودار بزرگی زمین لرزه و دوره بازگشت آنها

احتمال رویداد زمین لرزه بر حسب دوره تکرار

با استفاده از داده‌ها و اطلاعات موجود در مورد زمین لرزه‌های سده بیستم می‌توان احتمال رویداد زمین لرزه‌های با بزرگی مشخص را برای دوره بازگشت مختلف (عمر مفید سازه‌ها) بدست آورد. به این منظور با استفاده از رابطه شماره ۴ بصورت زیر، احتمال وقوع زمین لرزه در طول عمر مفید سازه را بدست می‌آوریم (واردی و همکاران، ۱۳۹۶).

Log Nc = 5.128 – 0.5955 Ms
N = 10^(3.139 – 0.5955 Ms (۴)
P = 1- (EXP(-T * N)

Ms: بزرگی زمین‌لرزه

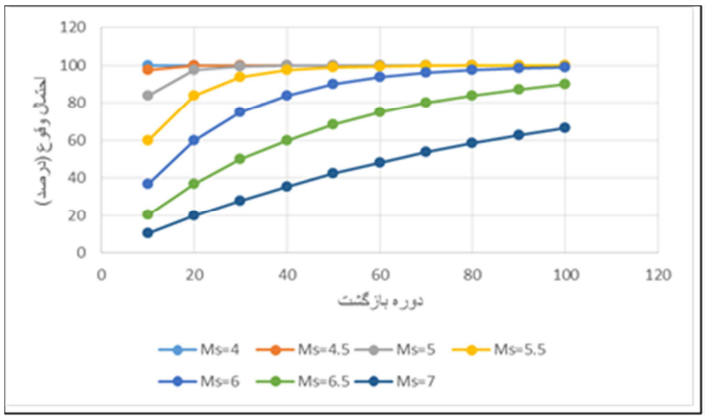
P: احتمال وقوع زمین‌لرزه

T: طول عمر مفید سازه برحسب سال

بنابراین با استفاده از فرمول فوق احتمال وقوع زمین لرزه با بزرگی ۴ تا ۷ ریشتر برای دوره های زمانی ۱۰ تا ۱۰۰ سال محاسبه گردیده است (جدول ۵) و (شکل ۴).

جدول ۵: دوره بازگشت و درصد احتمال رویداد زمین لرزه‌هایی با بزرگی متفاوت

بزرگی ریشتر دوره بازگشت (سال)	Ms=4	Ms=4.5	Ms=5	Ms=5.5	Ms=6	Ms=6.5	Ms=7
۱۰	۹۹/۹۳	۹۷/۴۰	۸۳/۹۵	۶۰/۱۴	۳۶/۸۷	۲۰/۵۴	۱۰/۴۱
۲۰	۱۰۰	۹۹/۹۳	۹۷/۴۲	۸۴/۱۱	۶۰/۱۴	۳۶/۸۷	۱۹/۷۴
۳۰	۱۰۰	۹۹/۹۹	۹۹/۵۸	۹۳/۶۷	۷۴/۸۴	۴۹/۸۴	۲۸/۱۰
۴۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۳	۹۷/۴۷	۸۴/۱۱	۶۰/۱۴	۳۵/۵۹
۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۸	۹۸/۹۹	۸۹/۹۷	۶۸/۳۳	۴۲/۳۰
۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۹	۹۹/۵۹	۹۳/۶۷	۷۴/۸۴	۸۴/۳۱
۷۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۹	۹۹/۸۴	۹۶	۸۰/۰۱	۵۳/۶۹
۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۳	۹۷/۴۷	۸۴/۱۱	۵۸/۵۲
۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۷	۹۸/۴۰	۸۷/۳۸	۶۲/۸۴
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۸	۹۸/۹۹	۸۹/۹۷	۶۶/۷۱

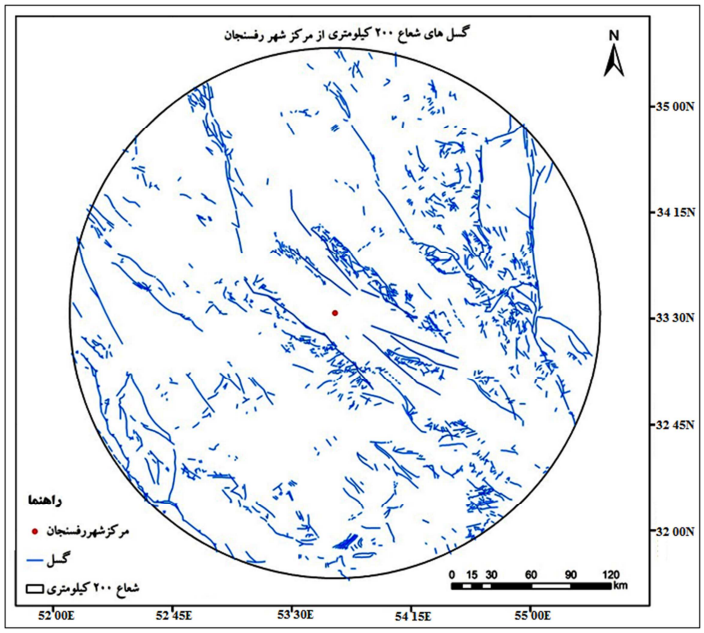


شکل ۴: دوره بازگشت و درصد احتمال رویداد زمین لرزه‌هایی با بزرگی متفاوت

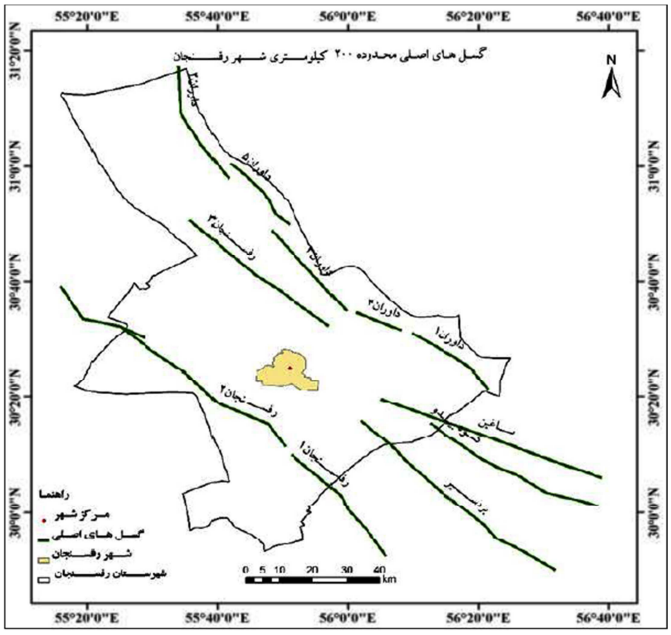
تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه با روش آماری نشان می‌دهد که زمین لرزه‌هایی با بزرگی ۴ ریشتر بیشتر از زمین لرزه‌های با بزرگی ۷ ریشتر رخ می‌دهند. بر اساس نتایج بدست آمده از روش گوتنبرگ- ریشتر زمین لرزه‌ای با بزرگی ۷/۷ ریشتر با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله امکان وقوع دارد. همچنین احتمال وقوع زمین لرزه‌ای با بزرگی ۷ ریشتر در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ۶۶/۷ درصد است.

روش تحلیلی ارزیابی لرزه‌خیزی

در روش تحلیلی با استفاده از توانایی لرزه‌خیزی گسل‌ها اقدام به برآوردی مقدار بزرگی، شدت، شتاب و سرعت ناشی از هر گسل در سایت مورد نظر می‌شود. بدین منظور ابتدا گسل‌های شعاع ۲۰۰ کیلومتری از مرکز شهر رفسنجان را مشخص (شکل ۵) و سپس گسل‌های اصلی و فعال نزدیک به مرکز شهر رفسنجان مشخص گردید (شکل ۶).



شکل ۵: موقعیت گسل‌های محدوده ۲۰۰ کیلومتری شهر رفسنجان (*منبع: نگارندگان*)



شکل ۶: موقعیت گسل‌های اصلی محدوده ۲۰۰ کیلومتری شهر رفسنجان (*منبع: نگارندگان*)

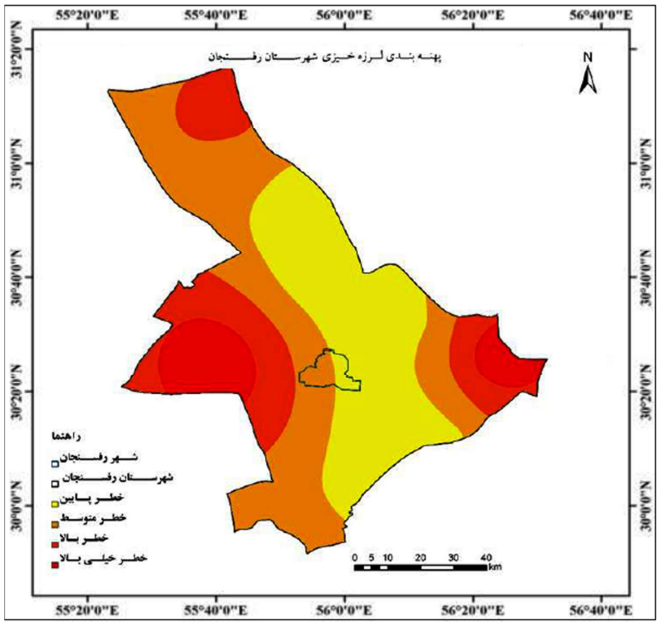
بر اساس رابطه (۴) و با استفاده از طول گسل، فاصله گسل از مرکز شهر، شتاب و شدت زلزله‌های رخ داده میزان لرزه خیزی گسل‌های اصلی از مرکز شهر رفسنجان در سطح شهرستان رفسنجان محاسبه شده است.

$$I. = 1.7Ms - 2.8$$
$$I = I. + 6.453 + 0.00121R - 4.96\log(R+20) \quad (۵)$$

جدول ۶: محاسبه شتاب و شدت زلزله‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه

نام گسل	فاصله گسل از مرکز شهر	شتاب	طول گسل	Ms	I.	I	MMI
رفسنجان۱	۳۸	۰/۱۶	۳۹	۶/۵	۸/۲۵	۶	۶
رفسنجان۲	۲۰	۰/۳	۶۱	۷	۹/۱	۷/۶	۸
رفسنجان۳	۵۷	۰/۱۱	۴۵	۶/۸	۸/۷۶	۵/۹	۶
داوران۱	۳۱	۰/۱۴	۱۸	۶/۷	۸/۵۹	۷/۹۷	۸
داوران۲	۴۱	۰/۱۳	۲۹	۷/۵	۹/۹۵	۷/۵۹	۷
داوران۳	۴۱	۰/۱۳	۲۶	۶/۹	۸/۹۳	۶/۵۷	۶
داوران۴	۳۷	۰/۱۲	۱۸	۶/۴	۸/۰۸	۵/۸۶	۶
داوران۵	۳۱	۰/۱۴	۱۸	۶/۴	۸/۰۸	۶/۱	۶
بردسیر	۶۸	۰/۱	۵۴	۴/۹	۸/۹۳	۵/۸۲	۶
کوه بیدو۱	۵۳	۰/۱	۲۲	۷	۹/۱	۶/۳۷	۶
باغین	۲۲	۰/۳	۸۰	۶/۷	۸/۵۹	۷/۰۱	۷

طبق نتایج جدول ۶ شهر رفسنجان در پهنه خطر پایین و متوسط قرار دارد. تحلیل خطر لرزه‌ای گسل‌های اصلی شعاع ۲۰۰ کیلومتری شهر رفسنجان با روش تحلیلی مشخص می‌سازد که ۲۸۲۸۸۷۲۹ مترمربع معادل۵۲/۳۶ درصد از مساحت اشغال شده شهر در پهنه لرزه‌خیزی با خطر متوسط قرار دارد و۲۵۷۳۸۶۳۷/۴ مترمربع معادل ۴۷/۶۴ درصد در پهنه خطر پایین قرار گرفته است. شکل شماره ۷ پهنه بندی وضعیت لرزه‌خیزی شهر و شهرستان رفسنجان را نشان می‌دهد.



شکل ۷: پهنه بندی لرزه خیزی شهر و شهرستان رفسنجان(منبع: *نگارندگان*)

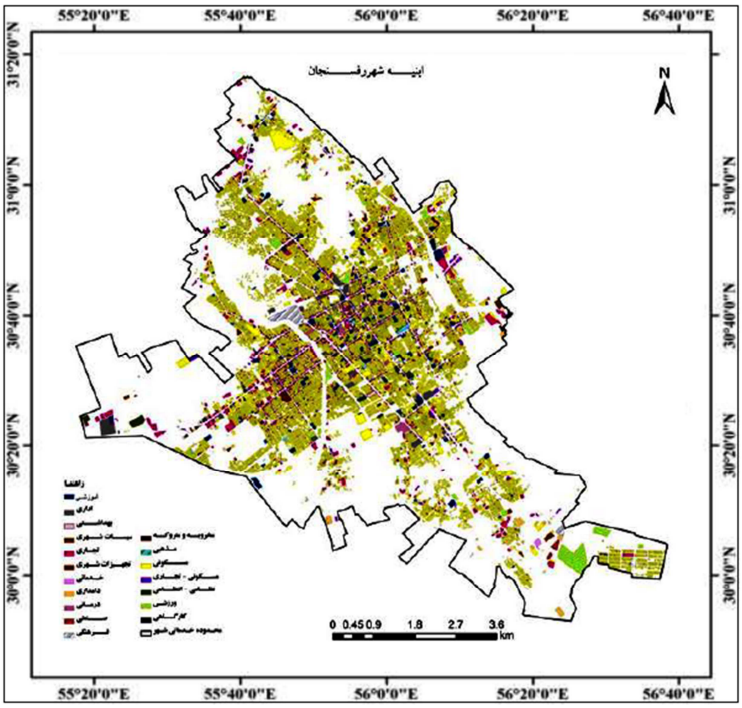
آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان

وضعیت ابنیه شهر رفسنجان

با توجه به جدول شماره ۷ و شکل شماره ۸ کاربری مسکونی در بین ابنیه موجود در شهر رفسنجان دارای بیشترین درصد مساحت اشغال شده با تعداد ۳۵۶۳۸ و مساحت۲۲۱۱۳۱۶۳/۵۴ و ۸۱/۰۷ درصد می‌باشد (طرح تفصیلی شهر رفسنجان، ۱۳۹۰).

جدول ۷: ابنیه شهر رفسنجان

کاربری اراضی	تعداد	مساحت(مترمربع)	درصد
آموزشی	۱۲۵	۸۹۱۹۷۶/۴	۳/۲۷
اداری	۴۲	۶۰۲۰۵/۲	۰/۲۲
بهداشتی	۷	۱۷۳۰۱	۰/۰۶
تاسیسات شهری	۵۸	۹۰۰۹۲/۱۸	۰/۳۳
تجهیزات شهری	۲۳	۱۱۹۳۰۵	۰/۴۴
تجاری	۴۶۷۰	۱۳۶۴۴۷۳/۲۶	۵/۰۰
دامداری و دامپروری	۷۲	۱۹۴۶۵۴/۸۴	۰/۷۱
درمانی	۳۲	۱۴۵۸۵۹/۲۶	۰/۵۳
صنعتی	۳۴	۵۶۴۶۹	۰/۲۱
فرهنگی	۲۹	۲۳۱۵۲۶/۱۱	۰/۸۵
مخروبه و متروکه	۴۳	۲۳۹۱۵/۴۴	۰/۰۹
مذهبی	۱۴۲	۱۸۵۳۹۶/۳۱	۰/۶۸
مسکونی	۳۵۶۳۸	۲۲۱۱۳۱۶۳/۵۴	۸۰/۰۷
مسکونی - تجاری	۲۸۱۱	۱۰۷۲۰۸۳/۱۶	۳/۹۳
نظامی انتظامی	۱۹	۱۲۱۷۵۸/۱۲	۰/۴۵
ورزشی	۳۲	۵۸۸۶۲۱/۳۴	۲/۱۶



شکل ۸: وضعیت ابنیه شهر رفسنجان(منبع: *نگارندگان*)

آسیب‌پذیری کالبدی

آسیب‌پذیری کالبدی شامل دو بخش آسیب‌پذیری ناشی از ابنیه و آسیب‌پذیری ناشی از شبکه معابر می‌باشد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳).

الف- آسیب‌پذیری ناشی از ابنیه شهر رفسنجان

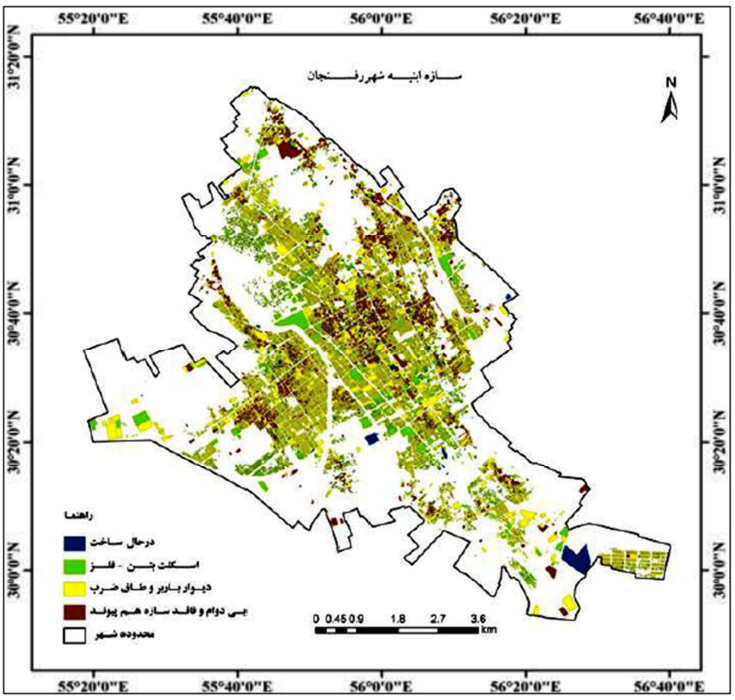
آسیب‌پذیری ابنیه به وسیله ۴ معیار (سازه ابنیه، کیفیت ابنیه، قدمت ابنیه، تعداد طبقات ابنیه) سنجیده می‌شود (ولی زاده، ۱۳۹۰).

آسیب‌پذیری ناشی از سازه ابنیه شهر رفسنجان

یکی از مهمترین شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی، سازه ابنیه می‌باشد که در چهار گروه، درحال ساخت، اسکلت بتن و فلز، دیوار باربر و طاق ضرب، بی‌دوام و فاقد سازه هم پیوند تقسیم شده است (شکل ۹). در بررسی آسیب‌پذیری ناشی از سازه ابنیه شهر رفسنجان با توجه به جدول شماره ۸ ابنیه در حال ساخت دارای کمترین درصد با تعداد ۵۴۸ واحد و ۲/۹۶ درصد از مساحت اشغال شده شهر و ابنیه با دیوار باربر و طاق ضرب دارای بیشترین درصد با تعداد ۲۴۶۹۱ واحد و ۵۶/۹۸ درصد مساحت اشغال شده شهر می‌باشد. ابنیه درحال ساخت و اسکلت بتن و فلز دارای آسیب‌پذیری کم، دیوار باربر و طاق ضرب دارای آسیب‌پذیری متوسط و ابنیه بی دوام و فاقد سازه هم پیوند دارای آسیب‌پذیری زیاد می‌باشند (طرح تفصیلی رفسنجان، ۱۳۹۰).

جدول ۸: آسیب پذیری ناشی از سازه ابنیه شهر رفسنجان (*منبع: طرح تفصیلی رفسنجان، ۱۳۹۰*)

سازه ابنیه	تعداد	مساحت(مترمربع)	درصد	آسیب‌پذیری
درحال ساخت	۵۴۸	۵۳۶۳۹۶/۶۵	۲/۹۶	کم
اسکلت بتن و فلز	۸۷۵۹	۴۲۹۷۸۶۰	۲۳/۷۵	کم
دیوار باربر و طاق ضرب	۲۴۶۹۱	۱۰۳۱۲۰۷۳/۸۹	۵۶/۹۸	متوسط
بی دوام و فاقد سازه هم پیوند	۶۷۵۱	۲۹۴۸۴۷۹	۱۶/۳	زیاد



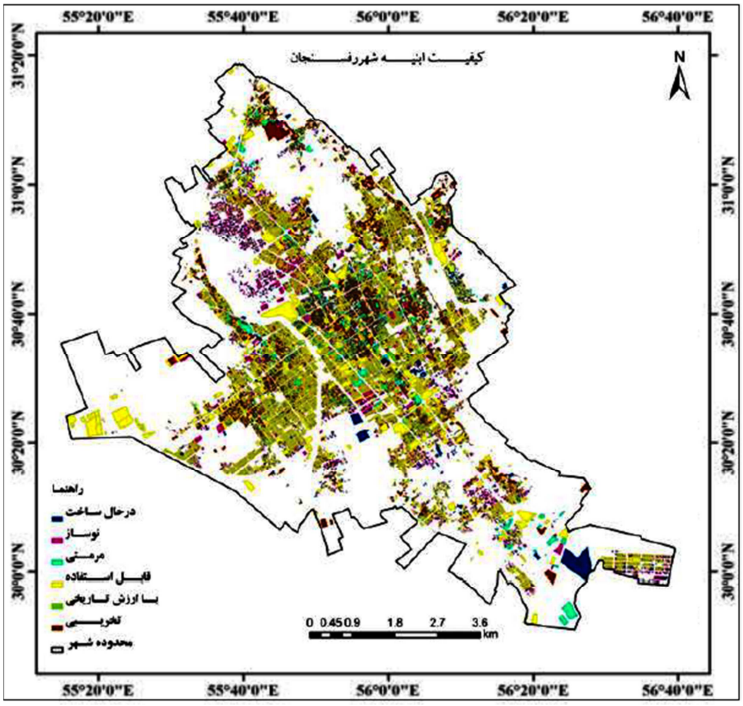
شکل ۹: وضعیت سازه ابنیه شهر رفسنجان(*منبع: نگارندگان*)

آسیب پذیری ناشی ازکیفیت ابنیه شهر رفسنجان

کیفیت ابنیه در شش گروه، درحال ساخت، نوساز، مرمتی، قابل استفاده، تاریخی و تخریبی قرار می‌گیرند (شکل ۱۰). ابنیه درحال ساخت و نوساز دارای آسیب‌پذیری کم، مرمتی و قابل استفاده دارای آسیب‌پذیری متوسط و ابنیه با ارزش تاریخی و تخریبی دارای آسیب‌پذیری زیاد می‌باشند. بر این اساس در شهر رفسنجان ابنیه تاریخی دارای کمترین درصد با تعداد ۴۴ واحد و ۰/۴۲ درصد از مساحت اشغال شده شهر و ابنیه قابل استفاده دارای بیشترین درصد با تعداد ۲۳۴۵۲ واحد و ۵۷/۵ درصد مساحت اشغال شده شهر می‌باشد (جدول ۹).

جدول ۹: کیفیت ابنیه شهر رفسنجان (*منبع: طرح تفصیلی رفسنجان، ۱۳۹۰*)

کیفیت ابنیه	تعداد	مساحت(مترمربع)	درصد	آسیب‌پذیری
در حال ساخت	۳۶۸۲	۱۳۹۱۶۱۲/۴۴	۷/۶۸	کم
نوساز	۴۷۷۴	۱۹۵۵۲۵۹/۷۶	۱۰/۷۹	کم
مرمتی	۲۷۱۰	۱۲۴۶۳۷۳/۹	۶/۸۸	متوسط
قابل استفاده	۲۳۴۵۲	۱۰۴۱۸۶۰۳	۵۷/۵	متوسط
با ارزش تاریخی	۴۴	۷۶۹۸۷,۲۷	۰/۴۲	زیاد
تخریبی	۷۱۳۲	۳۰۲۹۲۱۱/۴	۱۶/۷۲	زیاد



شکل ۱۰: وضعیت کیفیت ابنیه شهر رفسنجان(*منبع: نگارندگان*)

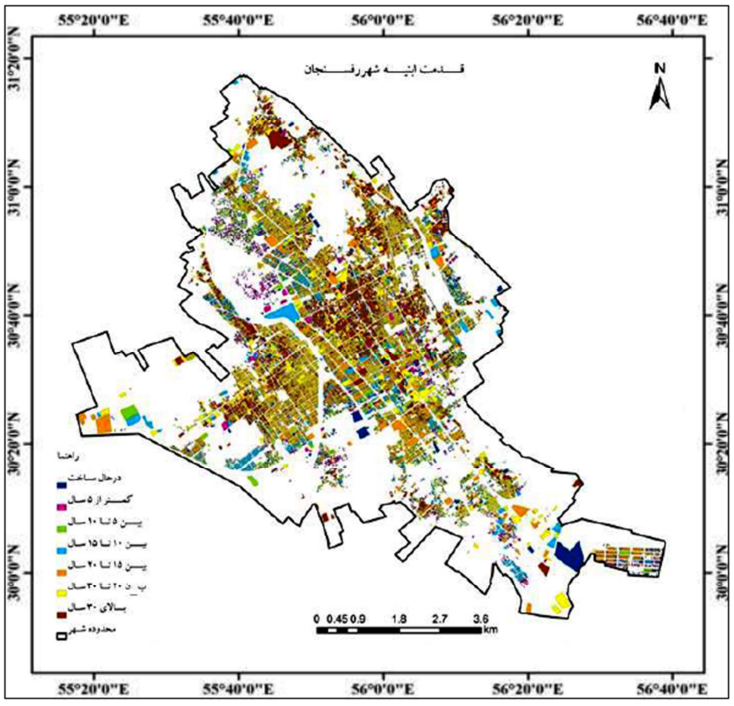
آسیب‌پذیری ناشی از قدمت ابنیه شهر رفسنجان

آسیب‌پذیری ناشی از قدمت ابنیه یکی از شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی می‌باشد که در هفت گروه، درحال ساخت، کمتر از ۵ سال، بین ۵ تا ۱۰ سال، بین ۱۰ تا ۱۵ سال، بین ۱۵ تا ۲۰ سال، بین ۲۰ تا ۳۰ سال و بالای ۳۰ سال تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۱۱). در بررسی آسیب‌پذیری ناشی از قدمت ابنیه شهر رفسنجان با توجه به جدول شماره ۱۰ ابنیه کمتر از ۵ سال دارای کمترین درصد با تعداد ۲۹۴۳ واحد و ۶/۳۶ درصد از مساحت اشغال شده شهر و ابنیه بین ۱۵ تا ۲۰ سال دارای بیشترین درصد با تعداد ۹۷۷۰ واحد و ۲۴/۲۷ درصد مساحت اشغال شده شهر می-

باشد. همچنین ابنیه در حال ساخت و کمتر از ۱۰ سال دارای آسیب‌پذیری کم، ابنیه با قدمت ۱۰ تا ۳۰ سال دارای آسیب‌پذیری متوسط و ابنیه با قدمت بالای ۳۰ سال دارای آسیب‌پذیری زیاد می‌باشند.

جدول ۱۰: قدمت ابنیه شهر رفسنجان (*منبع: طرح تفصیلی رفسنجان، ۱۳۹۰*)

قدمت ابنیه	تعداد	مساحت(مترمربع)	درصد	آسیب‌پذیری
درحال ساخت	۲۵۱۲	۱۳۳۳۳۰۰/۴	۷/۳۶	کم
کمتر از ۵ سال	۲۹۴۳	۱۱۵۲۵۱۸/۱۹	۶/۳۶	کم
بین ۵ تا ۱۰ سال	۴۲۵۹	۱۷۵۶۶۴۲/۲۹	۹/۶۹	کم
بین ۱۰ تا ۱۵ سال	۴۴۰۰	۲۰۸۵۸۵۸	۱۱/۵۱	متوسط
بین ۱۵ تا ۲۰ سال	۹۷۷۰	۴۳۹۷۸۶۸/۶۱	۲۴/۲۷	متوسط
بین ۲۰ تا ۳۰ سال	۸۹۹۰	۳۹۰۱۰۵۸/۷۲	۲۱/۵۳	متوسط
بالای ۳۰ سال	۷۹۲۴	۳۴۹۳۳۴۸	۱۹/۲۸	زیاد



شکل ۱۱: وضعیت قدمت ابنیه شهر رفسنجان(*منبع: نگارندگان*)

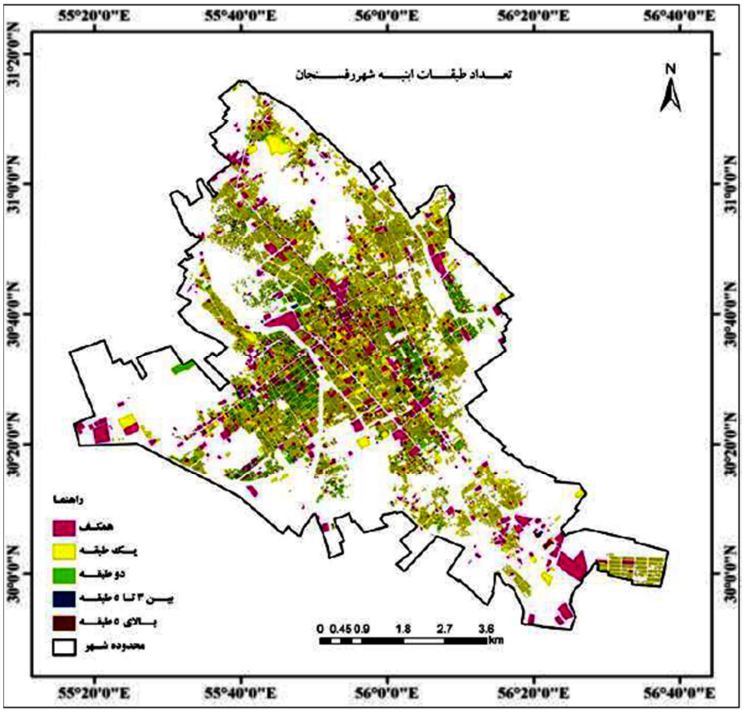
آسیب‌پذیری ناشی از تعداد طبقات ابنیه شهر رفسنجان

آسیب‌پذیری ناشی از تعداد طبقات ابنیه یکی از شاخص‌های ارزیابی آسیب پذیری کالبدی می‌باشد که در پنج گروه، همکف، یک طبقه، دو طبقه، بین سه تا پنج طبقه، بالای پنج طبقه تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۱۲). ابنیه یک طبقه و همکف دارای آسیب‌پذیری کم، ابنیه دو طبقه دارای آسیب‌پذیری متوسط و ابنیه بالای سه طبقه دارای آسیب

پذیری زیاد می‌باشند. در شهر رفسنجان با توجه به جدول شماره ۱۱ ابنیه بالای ۵ طبقه دارای کمترین درصد با تعداد ۲۲ واحد و ۰/۴۴ درصد از مساحت اشغال شده شهر و ابنیه یک طبقه دارای بیشترین درصد با تعداد ۲۶۶۸۳ واحد و ۵۹/۹۳ درصد مساحت اشغال شده شهر می‌باشد.

جدول ۱۱: تعداد طبقات ابنیه شهر رفسنجان (*منبع: طرح تفصیلی رفسنجان، ۱۳۹۰*)

طبقات ابنیه	تعداد	مساحت(مترمربع)	درصد	آسیب‌پذیری
همکف	۶۱۱۱	۴۰۹۷۳۹۱/۴۶	۲۲/۵۴	کم
۱	۲۶۶۸۳	۱۰۸۹۴۶۷۱	۵۹/۹۳	کم
۲	۷۴۰۶	۲۸۵۳۴۰۱/۱۴	۱۵/۷	متوسط
۳ تا ۵	۵۹۲	۲۵۳۲۲۶/۲۳	۱/۳۹	زیاد
بالای ۵	۲۲	۷۹۵۴۰/۶۵	۰/۴۴	زیاد



شکل ۱۲: وضعیت تعداد طبقات ابنیه شهر رفسنجان (*منبع: نگارندگان*)

ب- آسیب‌پذیری ناشی از شبکه معابر شهر رفسنجان

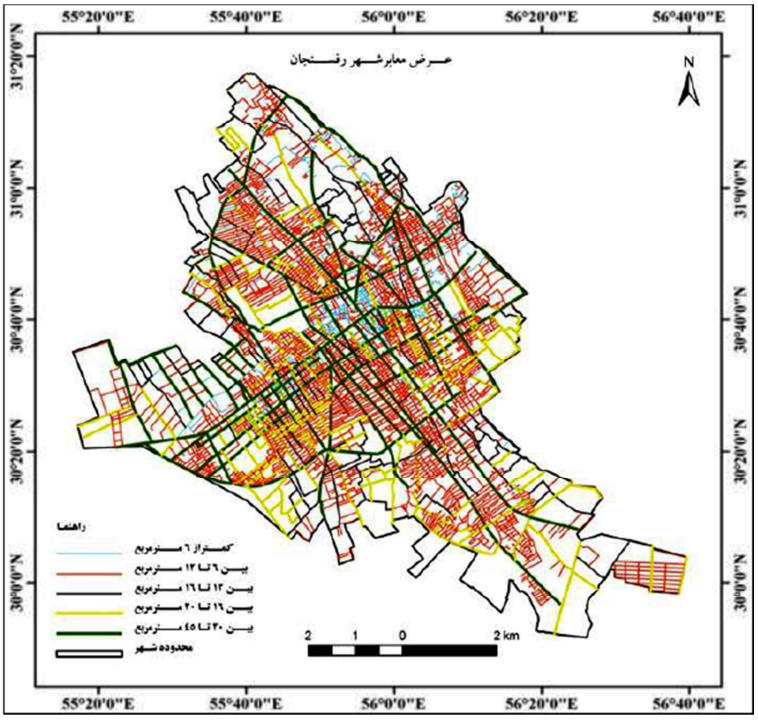
آسیب‌پذیری ناشی از شبکه معابر شهر رفسنجان به وسیله ۲ معیار (عرض معابر و نوع معابر) سنجیده می‌شوند؛ و خروجی این سنجش، جداول، نمودارها و نقشه‌هایی می‌باشد که به تحلیل آنها پرداخته می‌شود.

۱- آسیب‌پذیری ناشی از عرض معابر شهر رفسنجان

آسیب‌پذیری ناشی از عرض معابر یکی از شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی می‌باشد که در پنج گروه، کمتر از ۶ متر، بین ۶ تا ۱۲ متر، بین ۱۲ تا ۱۶ متر، بین ۱۶ تا ۲۰ متر و بین ۲۰ تا ۴۵ متر تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۱۳). در بررسی آسیب‌پذیری ناشی از عرض معابر شهر رفسنجان با توجه به جدول شماره ۱۲ معابر با عرض کمتر از ۶ متر دارای کمترین درصد با تعداد ۹۶۴ معبر و ۳/۹۱ درصد از مساحت اشغال شده شهر و معابر با عرض بین ۲۰ تا ۴۵ متر دارای بیشترین درصد با تعداد ۶۵ معبر و ۳۹/۴۷ درصد مساحت اشغال شده شهر می‌باشد. معابر با عرض بین ۲۰ تا ۴۵ متر مربع دارای آسیب‌پذیری کم، معابر با عرض ۱۲ تا ۲۰ مترمربع دارای آسیب‌پذیری متوسط و معابر با عرض کمتر از ۱۲ متر مربع دارای آسیب‌پذیری زیاد می‌باشند (نظم فر و عشقی چهار برج، ۱۳۹۵).

جدول ۱۲: عرض معابر شهر رفسنجان

عرض (متر)	تعداد	مساحت(مترمربع)	درصد	آسیب‌پذیری
کمتر از ۶ مترمربع	۹۶۴	۵۳۳۶۴۳/۶۴	۳/۹۱	زیاد
بین ۶ تا ۱۲ مترمربع	۲۷۰۱	۴۴۶۲۵۶۵/۱۲	۳۲/۶۷	زیاد
بین ۱۲ تا ۱۶ مترمربع	۹۰	۱۳۸۸۵۴۲/۶۱۹	۱۰/۱۶	متوسط
بین ۱۶ تا ۲۰ مترمربع	۱۳۷	۲۱۵۳۸۲۷	۱۵/۷۷	متوسط
بین ۲۰ تا ۴۵ مترمربع	۶۵	۵۳۹۱۷۱۹/۶۲۱	۳۹/۴۷	کم



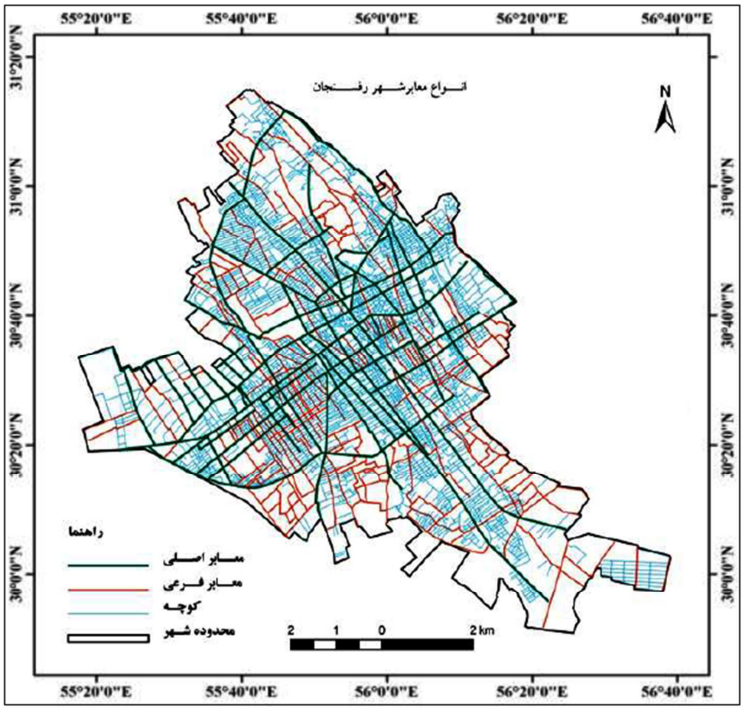
شکل ۱۳: وضعیت عرض معابر شهر رفسنجان(منبع: *نگارندگان*)

۲- آسیب‌پذیری ناشی از نوع معابر شهر رفسنجان

آسیب‌پذیری ناشی از نوع معابر یکی از شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی می‌باشد که در سه گروه، معابر اصلی، معابر فرعی و کوچه تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۱۴). با توجه به جدول شماره ۱۳ معابر فرعی دارای کمترین درصد با تعداد ۱۸۷ معبر و ۲۹/۴۷ درصد از مساحت اشغال شده شهر و معابر اصلی دارای بیشترین درصد با تعداد ۶۵ معبر و ۳۹/۴۷ درصد مساحت اشغال شده شهر می‌باشد. همچنین معابر اصلی دارای آسیب‌پذیری کم، معابر فرعی دارای آسیب‌پذیری متوسط و کوچه‌ها دارای آسیب‌پذیری زیاد می‌باشند.

جدول ۱۳: انواع معابر شهر رفسنجان

انواع معابر	تعداد	مساحت(مترمربع)	درصد	آسیب‌پذیری
معابر اصلی	۶۵	۵۳۹۱۷۱۹,۶۲	۳۹,۴۷	کم
معابر فرعی	۱۸۷	۳۳۹۱۸۵۱,۹۹	۲۴,۸۳	متوسط
کوچه	۳۷۰۵	۴۸۷۶۷۲۶,۳۹	۳۵,۷	زیاد



شکل ۱۴: وضعیت انواع معابر شهر رفسنجان (*منبع: نگارندگان*)

آسیب‌پذیری ناشی از جمعیت شهر رفسنجان

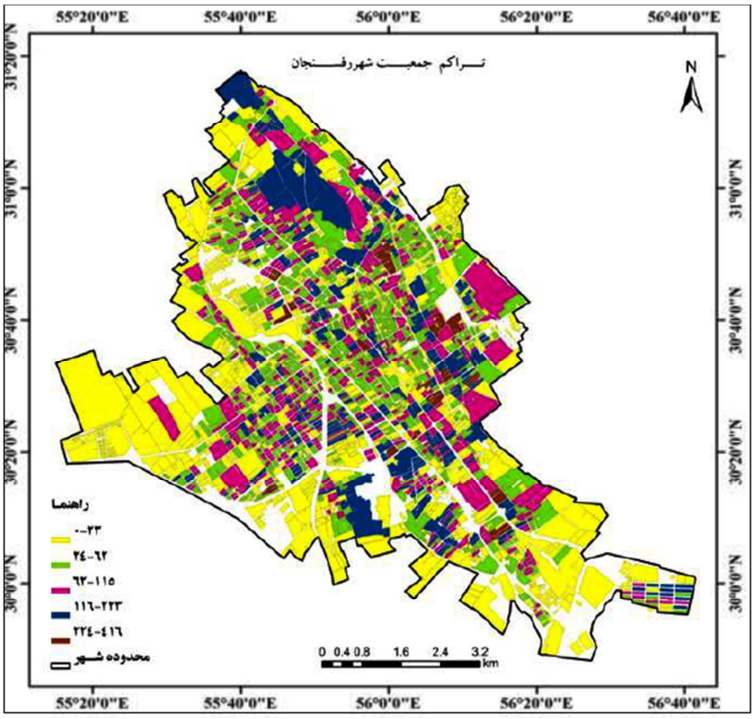
آسیب‌پذیری ناشی از جمعیت شهر رفسنجان به وسیله ۲ معیار (تراکم جمعیت و تراکم خانوار) سنجیده می‌شود.

الف- تراکم جمعیت شهر رفسنجان

آسیب‌پذیری ناشی از تراکم جمعیت یکی از شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری جمعیتی می‌باشد که در پنج گروه، تراکم بسیار پایین، تراکم پایین، تراکم متوسط، تراکم بالا و تراکم بسیار بالا تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۱۵). در بررسی آسیب‌پذیری ناشی از تراکم جمعیت شهر رفسنجان با توجه به جدول شماره ۱۴ جمعیت با تراکم بالا دارای کمترین درصد ۱۲/۴۵درصد از مساحت اشغال شده شهر و جمعیت با تراکم بسیار پایین دارای بیشترین درصد ۳۷/۷۸ درصد مساحت اشغال شده شهر می‌باشد. همچنین تراکم بسیار پایین و تراکم پایین دارای آسیب‌پذیری کم، تراکم متوسط دارای آسیب‌پذیری متوسط و تراکم بالا و تراکم بسیار بالا دارای آسیب‌پذیری زیاد می‌باشند (احدنژاد روشتی و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول ۱۴: تراکم جمعیت شهر رفسنجان

تراکم جمعیت	تراکم (نفر)	مساحت (هکتار)	درصد	آسیب‌پذیری
تراکم بسیار پایین	۰ – ۲۳	۲۰۰۹	۳۷/۷۸	کم
تراکم پایین	۲۴ - ۶۱	۹۶۴	۱۸/۱۳	کم
تراکم متوسط	۶۲ - ۱۱۵	۸۵۶	۱۶/۱۰	متوسط
تراکم بالا	۱۱۶ - ۲۲۳	۶۶۲	۱۲/۴۵	زیاد
تراکم بسیار بالا	۲۲۴ - ۴۱۶	۸۲۷	۱۵/۵۵	زیاد



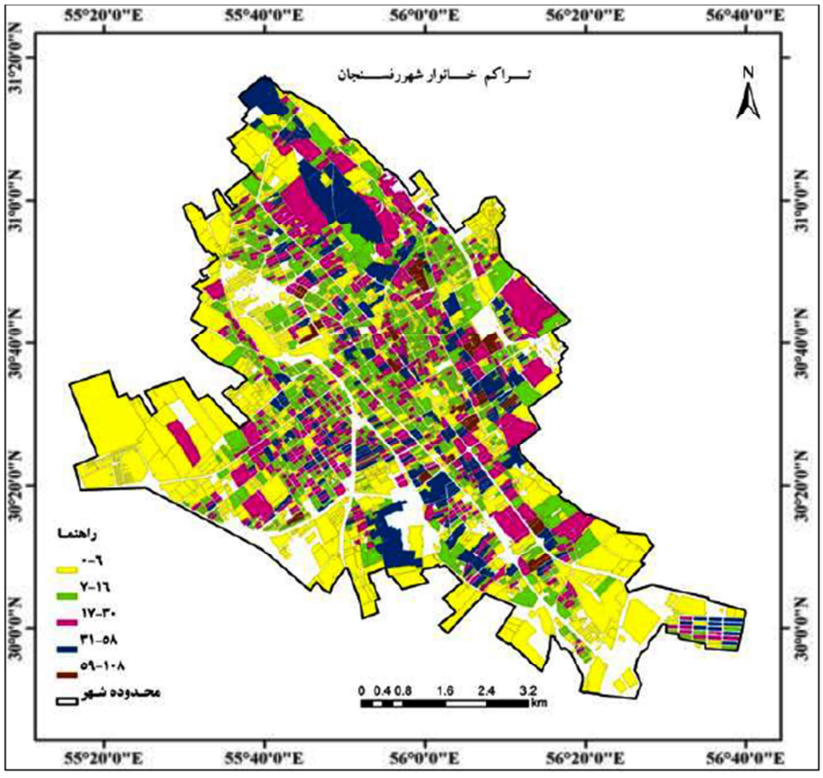
شکل ۱۵: وضعیت تراکم جمعیت شهر رفسنجان (منبع: *نگارندگان*)

ب- تراکم خانوار شهر رفسنجان

آسیب‌پذیری ناشی از تراکم خانوار یکی از شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری جمعیتی می‌باشد که در پنج گروه، تراکم بسیار پایین، تراکم پایین، تراکم متوسط، تراکم بالا و تراکم بسیار بالا تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۱۶). تراکم بسیار پایین و تراکم پایین دارای آسیب‌پذیری کم، تراکم متوسط دارای آسیب‌پذیری متوسط و تراکم بالا و تراکم بسیار بالا دارای آسیب‌پذیری زیاد می‌باشند (احدنژاد روشتی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به نتایج جدول شماره ۱۵، تراکم خانوار بالا دارای کمترین درصد یعنی ۱۲/۴۵ درصد از مساحت اشغال شده شهر و جمعیت با تراکم بسیار پایین دارای بیشترین درصد یعنی ۳۷/۷۸ درصد مساحت اشغال شده شهر می‌باشد.

جدول ۱۵: تراکم خانوار شهر رفسنجان

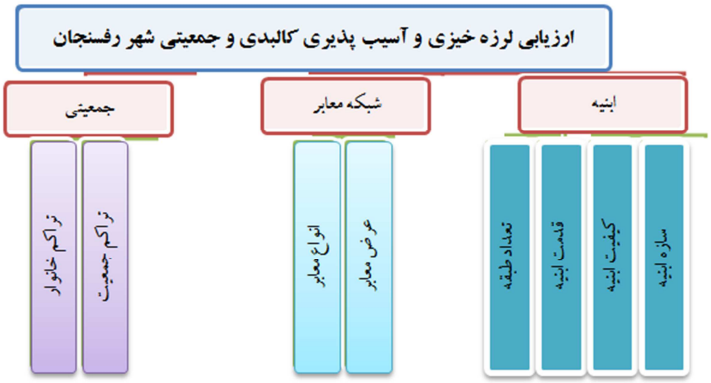
تراکم جمعیت	تراکم (نفر)	مساحت (هکتار)	درصد	آسیب‌پذیری
تراکم بسیار پایین	۰ - ۶	۲۰۰۹	۳۷/۷۸	کم
تراکم پایین	۷ - ۱۶	۹۶۴	۱۸/۱۳	کم
تراکم متوسط	۱۷ - ۳۰	۸۵۶	۱۶/۱۰	متوسط
تراکم بالا	۳۱ - ۵۸	۶۶۲	۱۲/۴۵	زیاد
تراکم بسیار بالا	۵۹ - ۱۰۸	۸۲۷	۱۵/۵۵	زیاد



شکل ۱۶: وضعیت تراکم خانوار شهر رفسنجان (*منبع: نگارندگان*)

تکنیک تحلیل سلسله مراتبی AHP

مرحله اول: ساختن سلسله مراتب و ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله است که در آن هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند (شکل ۱۷).



شکل ۱۷: نمایش گرافیکی از هدف، معیار و زیرمعیارها (منبع: *نگارندگان*)

مرحله دوم: وزن دادن به معیارها

در مقایسه‌ای که بین ۴ معیار اصلی صورت گرفت، بیشترین وزن به معیار ابنیه با وزن ۰/۶۳۴ و کمترین آن به معیار جمعیتی با وزن نسبی ۰/۱۰۷ داده شد.

جدول ۱۶: وزن دهی به معیارها

معیارها	ابنیه	شبکه معابر	جمعیتی	وزن نسبی
ابنیه	۱	۳	۵	۰/۶۳۴
شبکه معابر	۰/۳۳	۱	۳	۰/۲۵۹
جمعیتی	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۱۰۷

مرحله سوم: وزن دادن به زیر معیارها

الف- وزن دادن به زیرمعیارهای ابنیه

در مقایسه‌ای که بین ۴ زیرمعیار ابنیه صورت گرفت، بیشترین وزن به زیرمعیار سازه با وزن ۰/۵۶۴ و کمترین آن به زیرمعیار طبقه با وزن نسبی ۰/۰۵۶ داده شد.

جدول ۱۷: وزن دهی به زیر معیارهای ابنیه

زیر معیارهای ابنیه	سازه ابنیه	کیفیت ابنیه	قدمت ابنیه	تعداد طبقات	وزن نسبی
سازه ابنیه	۱	۳	۵	۷	۰/۵۶۴
کیفیت ابنیه	۰/۳۳	۱	۳	۵	۰/۲۶۳
قدمت ابنیه	۰/۲	۰/۳۳	۱	۳	۰/۱۱۷
تعداد طبقات	۰/۱۴۲	۰/۲	۰,۳۳	۱	۰/۰۵۶

ب- وزن دادن به زیرمعیارهای شبکه معابر

در مقایسه‌ای که بین ۲ زیرمعیار شبکه معابر صورت گرفت، بیشترین وزن به زیرمعیار عرض معابر باوزن ۰/۷۵۱ و کمترین آن به زیرمعیارهای انواع معابر با وزن نسبی ۰/۲۴۹ داده شد.

جدول ۱۸: وزن دهی به زیر معیارهای شبکه معابر

زیر معیارهای شبکه معابر	انواع معابر	عرض معابر	وزن نسبی
عرض معابر	۱	۳	۰/۷۵۱
انواع معابر	۰/۳۳	۱	۰/۲۴۹

ج- وزن دادن به زیرمعیارهای جمعیتی

در مقایسه‌ای که بین ۲ زیرمعیار جمعیتی صورت گرفت، به هر دو زیرمعیار وزن نسبی مساوی ۰/۵ داده شد.

جدول ۱۹: وزن دهی به زیر معیارهای جمعیتی

زیر معیارهای جمعیتی	تراکم جمعیت	تراکم خانوار	وزن نسبی
تراکم جمعیت	۱	۱	۰/۵
تراکم خانوار	۱	۱	۰/۵

مرحله چهارم: تلفیق وزن‌ها

اهمیت گزینه‌ها از جهت شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها، با یکدیگر فرق می‌کند. در این مرحله از مجموعه محاسباتی استفاده می شود که به نام اصل ترکیب سلسله مراتبی ساعتی معروف است (ساعتی[1]، ۱۹۹۴). نتیجه این محاسبات یک بردار به دست می‌دهد که تمام داوری‌های کلیه سطوح سلسله مراتبی را در بردارد.

جدول ۲۰: تلفیق وزن‌ها

هدف	معیار	زیر معیار	تلفیق وزن ها
آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان	ابنیه	سازه ابنیه	۰/۳۵۷
		کیفیت ابنیه	۰/۱۶۷
		قدمت ابنیه	۰/۰۷۵
		تعداد طبقات	۰/۰۳۶
	شبکه معابر	عرض معابر	۰/۱۹۵
		انواع معابر	۰/۰۶۴
	جمعیتی	تراکم جمعیت	۰/۰۵۳
		تراکم خانوار	۰/۰۵۳

مرحله پنجم: محاسبه میزان سازگاری

اهمیت AHP، علاوه بر ترکیب سطوح مختلف سلسله مراتب تصمیم و در نظر گرفتن عوامل متعدد، در محاسبه نرخ سازگاری (C.R) است. نرخ سازگاری مکانیزمی است که سازگاری مقایسات را مشخص می‌کند. این مکانیزم نشان

1- Saaty

می‌دهد که تاچه اندازه می‌توان به اولویت‌های حاصل از اعضاء گروه و یا اولویت‌های جداول ترکیبی اعتماد کرد. طبق تجربه در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP، اگر نرخ سازگاری (C.R) ۰/۱ یا کمتر باشد، می‌توان داوری‌ها را خوب و وزن‌ها را قابل اعتماد دانست؛ در غیر این صورت تحلیل‌گر باید به مراحل قبل برگردد و مجدداً به بازبینی داوری‌ها بپردازد. برای محاسبه نرخ سازگاری، تحقیقات متعددی صورت گرفته است که بهترین روش، استفاده از بردارهای ویژه است. بدین منظور اولین قدم، محاسبه حاصل ضرب ماتریس A با بردار وزن‌های سنجه‌هاW است (قدسی پور، ۱۳۷۸).

جدول ۲۱: محاسبه وزن ویژه معیارهای آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی

معیارها	ابنیه	شبکه معابر	جمعیتی	وزن نسبی	وزن ویژه
ابنیه	۱	۳	۵	۰/۶۳۴	۱/۹۴۶
شبکه معابر	۰/۳۳	۱	۳	۰/۲۵۹	۰/۷۸۹
جمعیتی	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۱۰۷	۰/۳۱۸

محاسبه مقدار L (بردارسازگاری)

محاسبه مقدارL، از طریق رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$L=\frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n}(AWj)/(Wj)\right]$$

$$L=\frac{1}{4}\left(\frac{1.946}{0.634}+\frac{0.789}{0.259}+\frac{0.318}{0.107}\right)=\frac{9.086}{3}=3.028 \quad (۶)$$

محاسبهCI: شاخص سازگاری AHP از رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$CI = (L-n)/(n-1)$$

$$\frac{3.028-3}{3-1}=\frac{0.028}{2}=0.014 \quad (۷)$$

محاسبه نسبت CI به RI (شاخص اعداد تصادفی): باتوجه بهn مربوط به آن محاسبه می‌شود. شاخص اعداد تصادفی(RI) هریک از n ها درجدول زیر آمده است. مقادیر درج شده در جدول مذکور به وسیله آزمایشگاه ملی اوکریج و وارتون اسکول تولید شده است.

جدول ۲۲: شاخص سازگاری تصادفی(RI)

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹

منبع: ساعتی (۱۹۸۶)

$$CR=\frac{CI}{RI} \quad (۸)$$

$$CR=\frac{0.014}{0.58}=0.02\leq 0.1$$

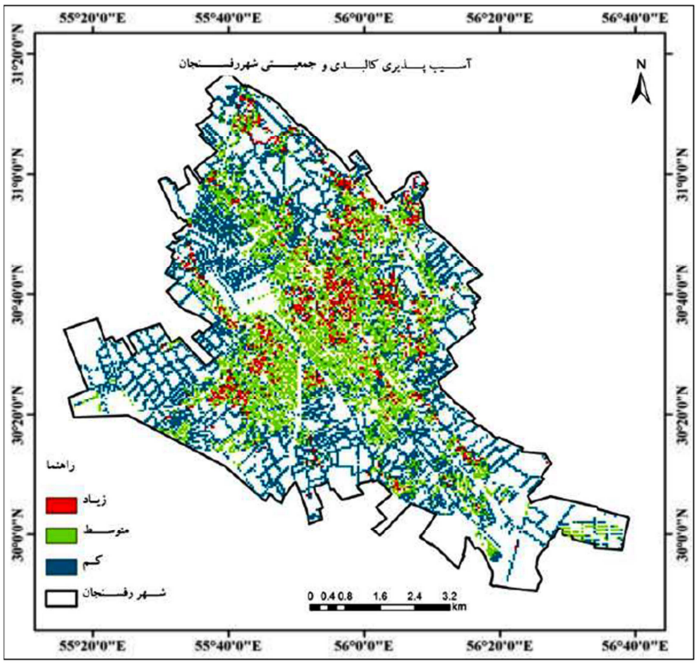
با توجه به اینکه نرخ سازگاری (C.R) کمتر از ۰/۱ می‌باشد، می‌توان داوری‌ها را خوب و وزن‌ها را قابل اعتماد دانست.

وضعیت آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان

پس از همپوشانی لایه‌های رستری طبقه‌بندی شده زیرمعیارهای کالبدی و جمعیتی در GIS نقشه همپوشانی نهایی آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان بدست آمد (شکل ۱۸). با توجه به جدول شماره ۲۳ آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان به سه گروه آسیب‌پذیری زیاد، آسیب‌پذیری متوسط و آسیب‌پذیری کم تقسیم بندی شده است. آسیب‌پذیری زیاد با ۱۳/۵ درصد کمترین مساحت از شهر دارا می‌باشد، آسیب‌پذیری متوسط ۳۶/۴۲ درصد از مساحت شهر و آسیب‌پذیری کم با ۵۰/۰۸ درصد بیشترین مساحت از شهر را دارا می‌باشد.

جدول ۲۳: وضعیت آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان

وضعیت آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی	مساحت(مترمربع)	درصد
آسیب پذیری زیاد	۵۵۲۵۲۵۵/۳۴	۱۳/۵۱
آسیب پذیری متوسط	۱۴۹۱۱۷۰۷/۲۵	۳۶/۴۲
آسیب پذیری کم	۲۰۵۰۲۶۷۵/۲۰	۵۰/۰۸



شکل ۱۸: وضعیت آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان (*منبع: نگارندگان*)

ارزیابی لرزه‌خیزی و آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان

اولین قدم در کاهش آسیب‌پذیری شهری شناخت مناطق آسیب‌پذیر از طریق تولید نقشه آسیب‌پذیری می‌باشد که بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد ۵۲/۳۶ از مساحت شهر رفسنجان در پهنه با خطر متوسط قرار دارد و در ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی، ۷/۳۸ از مساحت شهر رفسنجان دارای آسیب‌پذیری زیاد، ۱۹/۶۱ از مساحت شهر

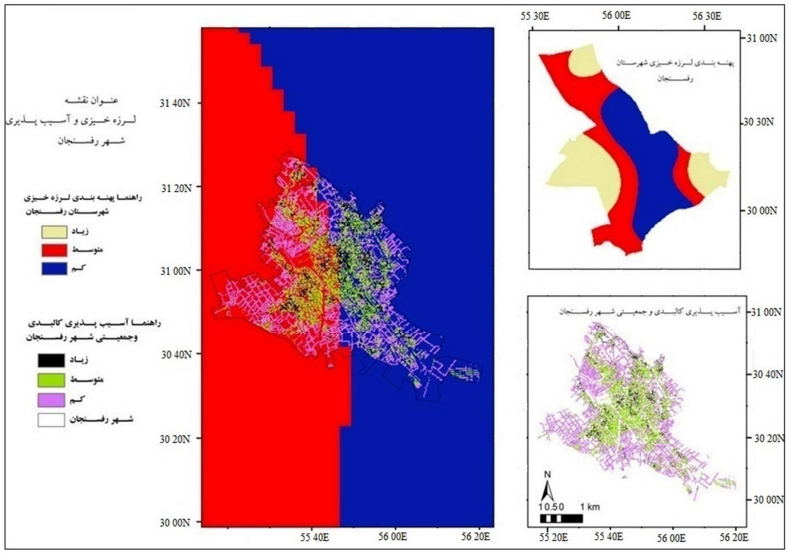
در پهنه آسیب‌پذیری متوسط، ۲۵/۳۷ از مساحت شهر دارای آسیب‌پذیری کم و در پهنه‌بندی متوسط ۵۲/۳۶ لرزه-خیزی قرار دارند و ۴۷/۶۴ از مساحت اشغال شده شهر در پهنه لرزه‌خیزی با خطرکم قرار دارد، ۶/۱۳ از مساحت شهر رفسنجان دارای آسیب‌پذیری زیاد کالبدی و جمعیتی، ۱۶/۸۱ از مساحت شهر دارای آسیب‌پذیری متوسط، ۲۴/۷ از مساحت شهر دارای آسیب‌پذیری کم در پهنه‌بندی کم ۴۷/۶۴ لرزه‌خیزی قرار دارند. شکل شماره ۱۹ وضعیت لرزه-خیزی و آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان را نشان می‌دهد.

جدول ۲۴: وضعیت آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی در پهنه با لرزه خیزی متوسط

وضعیت آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی در پهنه با لرزه خیزی متوسط		
آسیب پذیری	مساحت(مترمربع)	درصد
زیاد	۳۹۸۷۲۲۰	۷/۳۸
متوسط	۱۰۵۹۴۷۶۷	۱۹/۶۱
کم	۱۳۷۰۶۷۴۳	۲۵/۳۷
مجموع	۲۸۲۸۸۷۲۹	۵۲/۳۶

جدول ۲۵: وضعیت آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی در پهنه با لرزه خیزی کم

وضعیت آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی در پهنه با لرزه خیزی کم		
آسیب پذیری	مساحت(مترمربع)	درصد
زیاد	۳۳۱۱۸۷۸	۶/۱۳
متوسط	۹۰۸۲۰۰۰	۱۶/۸۱
کم	۱۳۳۴۴۷۵۹	۲۴/۷
مجموع	۲۵۷۳۸۶۳۷	۴۷/۶۴



شکل ۱۹: ارزیابی لرزه خیزی و آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان (*منبع: نگارندگان*)

نتیجه‌گیری

ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در حال حاضر در دنیا بر روی چهار رویکرد عمده آسیب‌پذیری فیزیکی، آسیب‌پذیری اقتصادی، آسیب‌پذیری اجتماعی و آسیب‌پذیری سیاسی تاکید می‌شود. از آنجایی که بررسی همه جانبه تمامی عوامل آسیب‌پذیری شهری به طور یکجا امکان‌پذیر نیست در این پژوهش سعی گردید شدت لرزه‌خیزی و آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد تا بتوان با اتکا به نتایج حاصل از این پژوهش برنامه‌ریزی مناسب و دقیقی جهت کاهش عملی آسیب‌پذیری و مدیریت بحران‌های احتمالی صورت داد. نتایج نشان می‌دهد که هر چند طبق تحلیل‌های لرزه‌خیزی منطقه، شهر رفسنجان در پهنه با خطر لرزه‌خیزی متوسط و کم قرار دارد اما با توجه به ساختار زمین شناسی، نوع و توزیع فضایی گسل‌ها در این منطقه احتمال وقوع زلزله‌هایی حتی با مقیاس ۷ ریشتر امکان پذیر است. همچنین طبق نتایج، ۱۳/۵۱ درصد از پارامترهای کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان از آسیب‌پذیری بالایی برخوردار می‌باشند که از این مقدار ۷/۳۸ درصد آن در پهنه با خطر لرزه‌خیزی متوسط و ۶/۱۳ درصد نیز در پهنه با خطر لرزه خیزی کم قرار دارد. همچنین از مجموع ۳۶/۴۱ درصد از پارامترهای کالبدی و جمعیتی این شهر که از آسیب‌پذیری متوسط برخوردار است، ۱۹/۶۱ درصد آن در در پهنه با خطر لرزه-خیزی متوسط و ۱۶/۸۱ درصد آن در پهنه با خطر لرزه‌خیزی کم قرار دارد. از طرفی فقط حدود نیمی (۵۰/۰۸ درصد) از پارامترهای کالبدی و جمعیتی شهر رفسنجان از وضعیت آسیب‌پذیری کم و مناسب برخوردار است که از همین مقدار هم ۲۵/۳۷ درصد آن در پهنه با خطر لرزه‌خیزی متوسط قرار داشته و فقط ۲۴/۷ درصد آن در پهنه کم خطر از نظر لرزه‌خیزی قرار گرفته است. بر همین اساس و با توجه به یافته‌های پژوهش هرچند به ظاهر منطقه مورد مطالعه از نظر مخاطره زلزله از خطر بالایی برخوردار نیست ولی همانگونه که تحلیل‌های لرزه خیزی در این منطقه نشان می‌دهد با توجه به ساختار تکتونیکی، نوع و توزیع فضایی گسل‌ها احتمال وقوع زلزله‌هایی با شدت ۷ ریشتر هم وجود دارد. از طرفی آسیب‌پذیری زیاد حدود ۵۰ درصد از پارامترهای کالبدی و جمعیتی مانند، بافت‌های فرسود، معابر نامناسب و تراکم بالای جمعیت در این شهر لزوم برنامه‌ریزی دقیق و کاربردی را برای کاهش خطرات احتمالی زلزله را دو چندان می‌نماید.

منابع

احدنژاد روشتی محسن؛ جلیل پور شهناز (۱۳۹۱). ارزیابی عوامل تاثیر گذار در آسیب پذیری ساختمان‌های شهری در برابر زلزله با استفاده از GIS (نمونه موردی: بافت قدیم شهر خوی)، فصلنامه آمایش محیط، سال پنجم، شماره ۲۰، صص ۵۲-۲۳.

احد نژاد روشنی محسن؛ قرخلو مهدی؛ زیاری کرامت الله (۱۳۸۹). مدل سازی آسیب پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نمونه شهر زنجان، مجله جغرافیا و توسعه، دوره هشت، شماره ۱۹، صص ۱۹۸-۱۷۱.

پورکرمانی، محسن، آرین، محسن (۱۳۷۷). لرزه خیزی ایران. تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. چاپ اول. صص ۲۱۲.

پیشگاهی‌فرد زهرا؛ اقبالی ناصر؛ فرجی‌راد عبدالرضا؛ بیگ بابایی بشیر (۱۳۹۰). مدلسازی تعیین مناطق خطرپذیر به کمک AHP در محیط GIS جهت مدیریت بحران شهری، فصلنامه فضای جغرافیایی. دوره۱۲، شماره ۳۷، صص ۲۰۰-۱۸۳.

حسینی زهرا؛ علوی اکبر؛ حسن زاده رضا؛ دهقانی مژگان (۱۳۹۳). تحلیلی بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شبیه سازی آن در مدیریت بحران (مطالعه موردی: ناحیه ۱۳ شهر کرمان)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال بیست و نهم، شماره۴، صص ۱۶۳-۱۱۴.

زهرایی سیدمهدی؛ ارشاد لیلی (۱۳۸۴). بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر قزوین، نشریه دانشکده فنی. سال نهم، شماره ۳۹، صص ۲۹۷- ۲۸۷.

رمضانی کیاسج محله رویا؛ کریمی سعید؛ علوی پور فاطمه سادات (۱۳۹۵). پهنه بندی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر زلزله با استفاده از تکنیک WLS و OWA مورد شناسی: منطقه ۷ تهران، فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، سال ششم، شماره ۲۱، صص ۱۳۸-۱۲۵.

سرور هوشنگ؛ کاشانی اصل امیر (۱۳۹۵). ارزیابی آسیب پذیری کالبدی شهر اهر در برابر بحران زلزله، فصلنامه آمایش محیط، سال دوازدهم، شماره ۳۴، صص ۱۰۸-۸۷.

شماعی علی؛ حیدر زاده نجمه؛ لطفی مقدم بابک (۱۳۹۲). سنجش عوامل آسیب رسان ناشی از زلزله در منطقه یک شهر تهران با استفاده از GIS، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی (دانشکده جغرافیا)، سال هفدهم، شماره ۴۳، صص ۱۲۲-۹۳.

صادقلو، طاهره. نصرالهی، ناعمه. «بررسی عملکرد مدیران شهری در کاهش آسیب‌پذیری بافت کالبدی شهر در برابر زلزله (مطالعه موردی شهرستان بابل)». ششمین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت شهری با تاکید بر مولفه‌های شهر اسلامی (مشهد، ۲۱ و ۲۲ آبان ماه ۱۳۹۳)، کد COI کنفرانس:URBANPLANING06 .

طرح تفصیلی شهر رفسنجان، شهرداری رفسنجان، ۱۳۹۰.

عباس نژاد، احمد؛ داستانپور، محمد (۱۳۸۷). زلزله‌ها و زلزله خیزی استان کرمان. سازمان مسکن و شهرسازی استان کرمان: انتشارات خدمات فرهنگی کرمان، چاپ اول. ص ۲۵۵.

قدسی پور، حسن (۱۳۷۸). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. تهران: انتشارات دانشگاه امیر کبیر، چاپ پنجم. ص ۳۲۴.

معرب یاسر؛ صالحی اسماعیل؛ امیری محمد جواد (۱۳۹۵). ارزیابی تاب آوری اقتصادی کاربری اراضی شهری (نمونه موردی: منطقه ۱ تهران)، فصلنامه علمی- ترویجی پدافند غیر عامل. سال هفتم. شماره ۳، صص ۳۶-۲۹.

ولی زاده رضا (۱۳۹۰) تحلیلی بر ارزیابی وضعیت لرزه خیزی و آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی شهر کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS)، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی شهری (دانشگاه تبریز)، سال هیجدهم، شماره ۳۸، صص ۱۷۰-۲۰۲.

نظم‌فر حسین؛ عشقی چهاربرج علی (۱۳۹۵). ارزیابی آسیب پذیری شبکه‌های جاده‌ای در برابر زمین لرزه (مطالعه موردی: منطقه ۳ تهران)، دو فصلنامه مدیریت بحران، سال پنجم، شماره۱، صص ۶۱-۴۹.

نیری هادی؛ کرمی محمدرضا (۱۳۹۵). امکان سنجی آسیب پذیری شهر سنندج در برابر زلزله با استفاده از مدل متوسط وزنی مرتب شده (WLS)، نشریه مطالعات نواحی شهری. سال سوم، شماره ۱، صص ۱۵۲-۱۳۵.

واردی، محمدعلی. درخشانی، رضا. شفیعی بافتی، شهرام. «برآورد خطر زلزله در هارجن کرمان با استفاده از روش آماری». پنجمین کنفرانس زمین شناسی و اکتشافات زمین شناسی ساختمانی ایران، مؤسسه تحقیقات علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات ایران (تهران، ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶).

Ainuddin, S., Routray, Jayant, K., (2012), Community resilience framework for an earthquake-prone area in Baluchistan. Int J of Disaster Risk Reduction, No.2, pp. 25-36.

Ebert, A., Kerle, N., (2008), Urban Social Vulnerability Assessment Using Object-oriented Analysis of Remote Sensing and GIS Data" A case study for Tegucigalpa.Honduras. Remote Sensing and spatial information sciences. VOL. xxxV11.Part B7.Beijing. pp. 1307-1311.

Jifu liu.Yida Piejun shi. (2011), Response to a high –Altitude Earthquake: The Yushu Earthquake example. Int J Disaster risk sci 2(1), PP. 43-53.

Saaty, T. L., (1994), Highlights and critical points in the theory and application of the analytical hierarchy process. European Journal of operational research, Vol. 74, Pp. 426-447.

Evaluation of Seismic Condition and Physical-Demographic Vulnerability in Rafsanjan City

Hosain Ghazanfarpour*[1], Mohsen pourkhosravani[2], Mahdiyeh Soleimani Sardo[3]

Received: 02-08-2017 Accepted: 02-06-2018

Abstract

Today, only the urban problems are not limited in the social, economic, political, cultural issues, but natural factors which constitute the substrate of cities have a significant impact on the process as well. So the ability of cities to cope with natural hazards and proper planning is of particular importance to prevent or reduce the adverse effects. The aim of this study was to assess the seismic status of physical and demographic vulnerability in Rafsanjan City against earthquake. That's why the seismic assessment of the statistical and analytical methods and assessing the physical and demographic vulnerabilities with indicators of buildings, roads, and population was conducted by using Geographic Information System Software (GIS). Also, Analytic Hierarchy Process (AHP) is used to rank the vulnerability. The results show that 52.36% areas of Rafsanjan are in the moderate seismic hazard zone. 47.64% area in the low seismic hazard zone. In assessing the physical and demographic vulnerabilities, 13.51% areas of the city are largely affected, the 36/41% areas are moderately affected, and 50.08% areas of the city have low vulnerability, However, according to the results, Rafsanjan city also has high seismic risk, but seismic analysis indicates that the probability of an earthquake with magnitude of 7 Richter scale is possible. For this reason, considering that about 50% of the city areas is vulnerable in terms of physical and functional condition so planning to reduce the risks is high important.

Keywords: Seismicity, Vulnerability, Physical, Demographics, Rafsanjan.

[1]*- Associate Professor of Geography and urban planning, Department of geography and urban planning, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran Email: ma1380@uk.ac.ir
[2]- Assistant Professor of Geomorphology, Department of geography and urban planning, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran
[3]- M.A. of Geography and urban planning at Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran