

بکارگیری روش AHP و مشخصات ساختگاه در پهنه بندی لرزه ای و بررسی آسیب پذیری

ساختمانها (مطالعه موردی شهر کرمانشاه)

مریم حسنی نیا^۱، رسول اجل لوئیان^{۲*}، محمدرضا حبیبی^۴

پذیرش مقاله: ۹۸/۱۰/۰۱

دریافت مقاله: ۹۸/۰۲/۲۱

چکیده

در نقاط مختلف جهان روش های متفاوتی برای پهنه بندی لرزه ای و ارزیابی آسیب پذیری ساختمان ها در برابر زلزله در ارائه شده است. در این مطالعات، پهنه بندی لرزه ای عموماً تنها براساس پروفیل ژئوتکنیکی خاک و سرعت موج برشی در آن می باشد. در سال ۲۰۱۳ مدلی برای کشور ایران تحت عنوان *karmania hazard model (KHM)* ارائه شد که در آن پهنه بندی لرزه ای و ارزیابی آسیب پذیری ساختمان ها و افراد در بدترین سناریوی زلزله برمبنای پارامترهای اساسی ساختگاه مانند بافت خاک، سطح آب زیرزمینی، داده های میکروترمور و ضخامت آبرفت انجام شده است. در این مطالعه برای پهنه بندی لرزه ای و بررسی آسیب پذیری ساختمان ها در شهر کرمانشاه، روش تحلیل سلسله مراتبی در مدل *KHM* بکار گرفته شده است. نتایج نشان می دهد که میزان آسیب پذیری برای ۸۰٪ از ساختمان های مسکونی در سطح خرابی کم تا متوسط خواهد بود اما ۲٪ از ساختمان ها دچار تخریب کامل (D1)، ۷٪ دچار تخریب بسیار زیاد (D2) و ۱۱٪ دچار تخریب زیاد (D3) می شود. مدل ارائه شده به کمک داده ها و مشاهدات حاصل از زلزله سرپل ذهاب صحت سنجی شده است که نتایج حاصل از مدل تطابق خوبی با داده ها و مشاهدات واقعی زلزله دارد.

کلید واژه ها: پهنه بندی لرزه ای، آسیب پذیری ساختمان ها، شدت زلزله

۱ گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

۲ گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران. (rasajl@sci.ui.ac.ir)

۳ گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان، ایران.

۴ گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی کرمانشاه، ایران.

*مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

زلزله پدیده‌ای طبیعی است اما اگر جامعه برای رویارویی با آن آمادگی لازم را نداشته باشد این پدیده می‌تواند بحران‌آفرین بوده و تهدیدی برای جان انسانها باشد. مطالعات آماری نشان می‌دهد که بطور متوسط هر ۵ سال یکبار زلزله‌ای با بزرگی ۷ ریشتر در ایران اتفاق می‌افتد که اثرات بسیار شدیدی را بر جامعه برجا می‌گذارد (Berberian, 1994). مهم‌ترین عامل ایجاد خسارت و تلفات ناشی از زلزله در نواحی شهری و روستایی کشور وجود ساختمانها و زیرساخت‌های آسیب‌پذیر در برابر زلزله می‌باشد. اقدامات زیادی تاکنون در ایران برای بهبود وضعیت ساخت‌وساز و مقاوم‌سازی سازه‌ها و زیرساخت‌ها صورت گرفته است لیکن با این وجود وضعیت کشور در بعد آسیب‌پذیری در مقابله با زلزله‌های متوسط تا بزرگ چندان مطلوب نیست (Global Bank Project, 2009). امروزه استفاده از روش‌های نوین و ارائه مدل‌های متعدد برای ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای، برآورد سریع تلفات و خسارات زلزله از مهم‌ترین موضوعات در عرصه مدیریت بحران زلزله محسوب می‌شود. در این راستا مدل‌های متعددی توسط مهندسين و دانشمندان و مراکز تحقیقاتی و اجرایی به وجود آمده است که در ذیل به برخی از این مدلها اشاره می‌کنیم: مدل HAZUS یکی از این مدل‌ها است که در محیط GIS کار می‌کند و برای بلایای طبیعی غالب در آمریکا مانند زلزله، طوفان و سیل توسط آژانس مدیریت اضطراری فدرال (FEMA) توسعه یافته است. این نرم‌افزار بلافاصله پس از وقوع بلایای طبیعی می‌تواند مناطقی را که احتمال خرابی بالایی دارند شناسایی کند و به تبع آن میزان خسارت و مصدومین و نیز میزان منابعی را که باید برای کمک به این مناطق اختصاص یابد برآورد کند (FEMA, 2003a). SEISMOCARE نیز مدلی در محیط برنامه GIS می‌باشد که در سال ۲۰۰۱ برای مطالعه آسیب‌پذیری ناحیه‌ای و تخمین خسارات ناشی از زلزله در یونان تولید شده است. این مدل به عنوان یک سیستم مدیریت پایگاه داده برای ذخیره داده‌ها استفاده می‌شود (Anagnostopoulou, et al., 2008).

SELENA نرم افزاری تحت برنامه MATLAB است که به کمک آن ریسک در مناطق شهری به روش ظرفیت طیفی (CSM) تخمین زده می‌شود. داده‌های ضروری در این مدل عبارتند از داده‌های آماری ساختمانها، داده‌های آماری نفوس، سناریوی زلزله و... می‌باشد. در این مدل نقشه‌های لرزش زمین تولید شده و نیز احتمال خسارت، تخمین خسارات اقتصادی و تعداد مرگ و میر نیز محاسبه می‌شود (Molina and Lindholm, 2006, Molina, et al., 2010). با توجه به اینکه منحنی‌های آسیب‌پذیری برای مناطق مختلف جهان با یکدیگر متفاوت است از این رو می‌بایست هر کشوری برای بررسی آسیب‌پذیری و ارزیابی سریع خسارات، مدل خاص خودش را داشته باشد. در کشور ایران نیز مدل (Karmania hazard KHM(model که در سال ۲۰۱۳ توسط حسن‌زاده و همکاران (Hassanzadeh et al., 2013) ارائه شده ابزاری مناسب برای ارزیابی سریع خسارات ناشی از زلزله است. این مدل می‌تواند خسارات وارد بر ساختمان‌ها، مرگ‌ومیر افراد و منابع اساسی مورد نیاز را تخمین بزند. در این مدل برای بررسی آسیب‌پذیری از داده‌های زیرسطحی، منحنی‌های آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و داده‌های آماری جمعیت ساکن استفاده می‌شود. در سال ۲۰۱۴ کریم‌زاده و همکاران (Karimzadeh et al., 2014) با الهام از مدل KHM به بررسی آسیب‌پذیری شهر تبریز پرداخته‌اند. در مدل آنها از پارامترهای زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی استفاده شده است و نیز نقشه لرزش زمین تولید شده و آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، میزان مرگ‌ومیر افراد و منابع اساسی مورد نیاز تخمین زده شده است. در سال ۲۰۱۷ میلادی زمین‌لرزه‌ای با بزرگای گشتاوری ۷/۳ در فاصله ۱۰ کیلومتری شهر ازگله و حدود ۳۷ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان سرپل‌ذهاب از استان کرمانشاه به وقوع پیوست. این زلزله یکی از بزرگترین و مخرب‌ترین زمین لرزه‌های دو دهه اخیر ایران است که بیش از نیمی از کشورمان را به لرزه درآورد. تعداد کشته‌ها به ۶۲۰ نفر رسید و همچنین ۹۳۸۸ نفر زخمی و حدود ۷۰۰۰۰ نفر نیز بی‌خانمان شدند (تارتار و

زاگرس در شمال خاوری از کمربند چین خورده ساده در جنوب باختری می‌باشد (Berberian, 1995). تصور می‌شود که نبود زمین لرزه‌ها در زاگرس مرتفع و تمرکز کانون‌های سطحی در پهنه چین‌خورده ساده زاگرس نشان دهنده آن است که دگرشکلی فعال و لرزه‌خیزی در طول زمان به سمت جنوب و از زاگرس مرتفع به پهنه چین خورده ساده منتقل شده است (تارتار و همکاران، ۱۳۹۶). چندین گسل امتدادلغز در زاگرس شناسایی شده است که یکی از مهمترین آنها گسل جوان عهد حاضر زاگرس (MRF) می‌باشد. این گسل روندی شمال غربی- جنوب شرقی دارد و مرز شمال شرقی زاگرس را تشکیل می‌دهد. شواهد مربوط به زلزله‌های منتسب به این گسل (مانند زلزله‌هایی با بزرگی $7/4$ در سال ۱۹۰۹ و $6/7$ در سال ۱۹۵۷) محققان زیادی را بدان واداشت تا گسل جوان عهد حاضر (MRF) و گسل آتاتولی شمالی (NAF) را به عنوان پهنه امتداد لغز فعال تقریباً ممتد در حاشیه شمالی صفحات عربی و آتاتولی در نظر بگیرند (Global Bank Project, 2009).

گسل جوان عهد حاضر زاگرس را می‌توان به صورت یکسری از قطعات گسله خطی و باریک از نزدیکی مرز ایران-ترکیه در 37 درجه عرض شمالی تا بیش از 800 کیلومتر به سمت جنوب شرقی دنبال کرد. این گسل یک ساختار لرزه‌ای و مهم است که دربرگیرنده قطعات متعددی همچون گسل‌های درود، نهاوند، گارون، صحنه مروارید و پیرانشهر با سطوح مختلف لرزه‌خیزی می‌باشد (Shabani and Mirzaie, 2007). فعالیت شدید جدیدی در امتداد گسل جوان عهد حاضر زاگرس بین 33 تا 35 درجه عرض شمالی بر روی قطعات درود، صحنه و نهاوند متمرکز شده، در حالیکه قطعات مروارید و پیرانشهر به سمت شمال سکون لرزه‌ای نسبی از خود نشان می‌دهند. بخش‌هایی از MRF که به صورت راستالغز می‌باشند (یعنی قطعات دورود، نهاوند، صحنه و دینور) فعالیت لرزه‌ای بیشتری را نسبت به سایر بخش‌های MRF (یعنی سرتخت، مروارید، مریوان و پیرانشهر) تولید می‌کنند که سکون لرزه‌ای نسبی را نشان می‌دهند (Global Bank Project, 2009). شهر

همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش اطلاعات مربوط به ساختگاه شامل ضخامت لایه آبرفت، پیروید غالب ساختگاه، جنس خاک و نیز تراز آب‌زیرزمینی در نقاط مختلف شهر کرمانشاه گردآوری شده و به صورت shapefile قابل استفاده در برنامه GIS تبدیل شده و به کمک روش AHP نقشه بزرگنمایی ساختگاه تهیه شده است. پس از مطالعه گسل‌ها و بررسی کاتالوگ‌های زلزله، بدترین سناریوی زلزله برای شهر کرمانشاه تخمین زده شده و با کمک نقشه بزرگنمایی ساختگاه، نقشه حداکثر شدت لرزش زمین بدست آمده است. اطلاعات مربوط به انواع ساختمانهای شهر از درگاه آمار ایران و منطبق با آمار سرشماری سال ۱۳۹۵ گردآوری شده و با کمک اطلاعات موجود در اداره مسکن و شهرسازی و نیز شهرداری‌های مناطق مختلف شهری و بازدیدهای میدانی تکمیل شده و نقشه مربوط به اطلاعات ساختمان‌ها تهیه شده است. در نهایت میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در شهر کرمانشاه در بدترین سناریوی زلزله تخمین زده شده است.

۲. مشخصات و لرزه‌خیزی ناحیه مورد مطالعه

شهر کرمانشاه نهمین شهر پرجمعیت و یکی از کلان‌شهرهای ایران و مرکز استان کرمانشاه می‌باشد که مساحت آن در حدود $95/97$ کیلومتر مربع بوده و بر اساس آمار سال ۲۰۱۷ دارای جمعیتی بیش از یک میلیون نفر است. داده‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد که بیشترین بخش گستره کرمانشاه در زون رسوبی- ساختاری زاگرس قرار گرفته است که شامل دو زیرپهنه زاگرس مرتفع و زاگرس چین خورده می‌باشد. کمربند چین خورده زاگرس شامل طاق‌دیس‌های بزرگ و کشیده جعبه‌ای شکل است. کمربند چین‌خورده ساده زاگرس در سمت شمال خاوری توسط گسل زاگرس مرتفع و در جنوب باختری توسط گسل پیشانی کوهستان محدود می‌شود (Berberian, 1995). یکی از عوامل جداسازی میان امتداد لغزش و راندگی در گسل‌های مهم مانند گسل جوان عهد حاضر، امتداد مایل بین ساختارهای فشرده زاگرس مرکزی و شمالی می‌باشد (Jackson, 1992, Talebian and Jackson, 2002) از طرفی زاگرس مرتفع، جداکننده کمربند راندگی

قطعاتی از گسل زاگرس مرتفع (HZF) می‌باشند که نامگذاری خاصی ندارند و در این مطالعه نامگذاری آنها به صورت دلخواه انجام شده است.

به کمک داده‌های پژوهشگاه زلزله (<http://www.iiees.ac.ir>) کاتالوگ زلزله برای محدوده ۱۵۰ کیلومتری اطراف شهر کرمانشاه تهیه شده است که شامل زلزله‌های بین سالهای ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۸ و نیز زلزله‌های تاریخی قبل از سال ۱۹۰۰ می‌باشد (شکل ۱ و ۲). داده‌های گردآوری شده از پژوهشگاه دارای مختصات جغرافیایی، عمق (km)، بزرگی زلزله و تاریخ وقوع هستند، این داده‌ها به صورت جدولی تنظیم شده و تبدیل به shapefile قابل استفاده در GIS شده اند.

کرمانشاه در کمربند چین خورده-رانده زاگرس در کمتر از ۵۰ کیلومتری جنوب گسل جوان عهد حاضر واقع شده است (Talebian and Jackson, 2002). در جنوب شهر کرمانشاه گسل زاگرس مرتفع (HZF) قرار دارد، این گسل نیز از قطعات گسلی جدا از هم تشکیل شده است. طول این قطعات عموماً کمتر از ۲۰ کیلومتر می‌باشد و توان تولید زلزله‌های مهیب با بزرگی بیش از ۷ ریشتر را ندارند (Global Bank Project, 2009) اما با توجه به نزدیکی آنها به شهر کرمانشاه، در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از میان قطعات گسلی زاگرس مرتفع، ۷ قطعه گسلی (F1 و... و F7) که بیشترین شدت لرزش زمین را می‌توانند در شهر کرمانشاه ایجاد کنند، در نظر گرفته شده است. این گسل‌ها در واقع

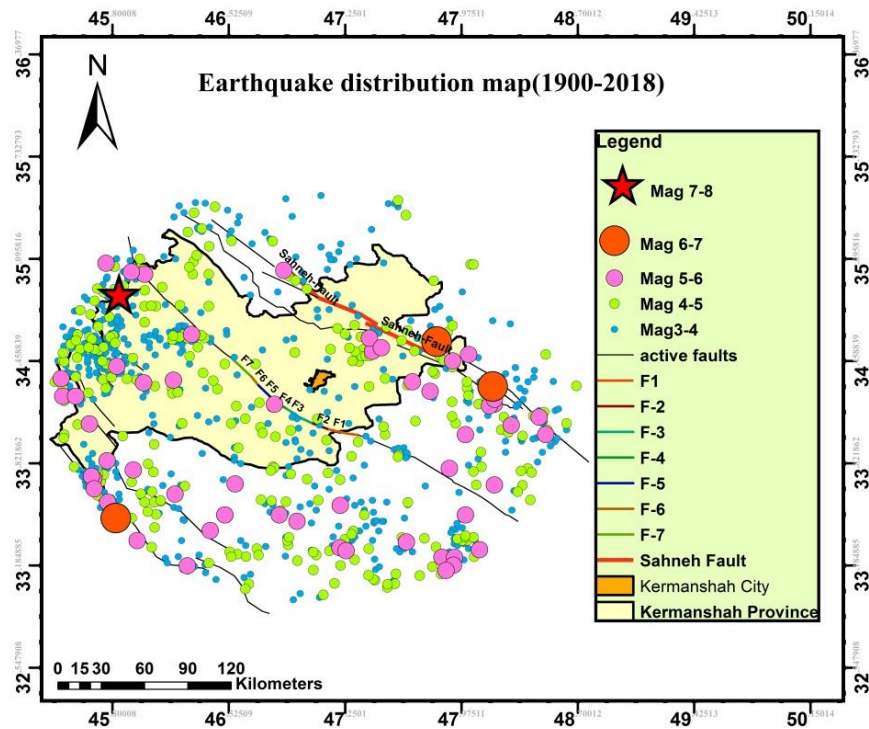
جدول ۱. پارامترهای لرزه‌ای گسل در محدوده اطراف شهر کرمانشاه (موقعیت گسل‌ها را می‌توان در شکل ۱ مشاهده کرد)

Fault name	Length (km)	Nowroozi (1985)	Mohajer and Nowroozi (1987)	Average magnitude of earthquake Ms	Perceivable MMI in Kermanshah
Sahne-fault	155	7.3	7.3	7.3	VII
F1	18	6.2	6.4	6.3	VI
F2	10	5.9	6.1	6	VI
F3	18.5	6.2	6.4	6.3	VI
F4	7.1	5.7	5.9	5.8	VI
F5	16	6.1	6.3	6.2	VI
F6	7.2	5.7	5.9	5.8	VI
F7	16.7	6.2	6.4	6.3	VI

۳. روش مطالعه

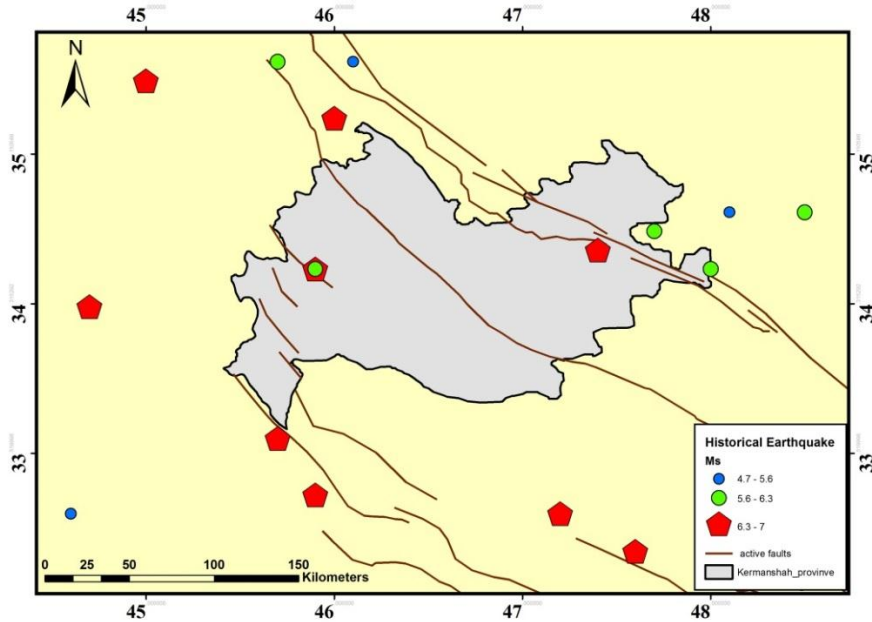
داده‌ها و تهیه نقشه بزرگنمایی استفاده شده است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP یکی از جامع ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیریهای چند متغیره است. این روش بر مبنای مقایسه زوجی بنا شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید، همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این فن در تصمیم‌گیری چند معیاره است. پس از تهیه نقشه بزرگنمایی ساختگاه به کمک روش AHP نقشه شدت لرزش خام ساختگاه به کمک روابط میرایی تهیه گردیده است.

مطالعات نشان می‌دهد که یک روش استاندارد برای تخمین خطر لرزه‌ای وجود ندارد و در نقاط مختلف دنیا روش‌های متفاوتی به این منظور ارائه شده است. گام اول در این مطالعه تشخیص پارامترهای موثر در پهنه‌بندی شهر کرمانشاه و تهیه پایگاه داده ای جامع و قابل استناد از این پارامترها در محیط GIS بوده است. پارامترهای ورودی مدل عبارتند از جنس خاک، ضخامت آبرفت، سطح آب زیرزمینی و پرپود غالب ساختگاه. در گام بعدی از روش تصمیم‌گیری چند متغیره ترکیبی AHP برای تحلیل و آنالیز



شکل ۱. جانمایی گسل های فعال و کاتالوگ زلزله های در محدوده ۱۵۰ کیلومتری شهر کرمانشاه در بازه زمانی سالهای ۱۹۰۰ تا

۲۰۱۸، پژوهشگاه بین المللی لرزه شناسی و مهندسی زلزله <http://www.iiees.ac.ir>



شکل ۲. کاتالوگ زلزله‌های تاریخی برای محدوده و اطراف استان کرمانشاه (پژوهشگاه بین المللی لرزه شناسی و مهندسی زلزله

<http://www.iiees.ac.ir>)

شهر کرمانشاه تخمین زده شده است. در این مطالعه از روش پیشنهادی KHM استفاده شده است (Hassanzadeh et al., 2013).

۳-۱. پایگاه داده

یکی از بخش‌های بسیار مهم در این پژوهش تهیه اطلاعات تفصیلی و کامل ساختگاه مورد مطالعه می‌باشد. جمع‌آوری اطلاعات تا جای ممکن از منابع دولتی و خصوصی معتبر انجام شده است و سعی شده تا یک مدل تفصیلی زمین شناسی سطحی و مشخصات ژئوتکنیک با جهت‌گیری مناسب برای مطالعه ارزیابی آسیب پذیری شهر کرمانشاه ایجاد گردد. با استفاده از مطالعات ژئوتکنیکی شامل داده‌های مربوط به حفر گمانه‌ها، اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی، آزمایش‌های برجا نفوذ استاندارد و نیز مطالعات ژئوفیزیک و داده‌های مربوط به اندازه‌گیریهای پرورد غالب ساختگاه، نقشه پارامترهای اساسی مدل در محیط GIS تهیه گردیده است. در این مطالعه از داده‌های مربوط به ۱۰۰ گمانه در نقاط مختلف شهر استفاده شده است. تعداد ۴۳ گمانه مربوط به مطالعات پروژه بانک جهانی (Global Bank Project, 2009) و ۵۷ گمانه مربوط به پروژه‌های مختلفی است که در سطح شهر انجام شده است. داده‌های میکروترمور نیز در ۵۰ ایستگاه در نقاط مختلف شهر توسط پروژه بانک جهانی (Global Bank Project, 2009) تهیه شده که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۳).

بیشتر گمانه‌های گردآوری شده تا رسیدن به عمق سنگ بستر ژئوتکنیکی $V_s > 750ms^{-1}$ امتداد یافته‌اند. برای تعیین ضخامت آبرفت در نقاط مختلف شهر، ابتدا داده‌های مربوط به گمانه‌ها شامل عمق گمانه، عمق لایه‌های مختلف خاک و جنس خاک در هر لایه در برنامه GIS وارد شده و سپس با کمک ابزار میانبایی ضخامت لایه آبرفتی برای تمام محدوده شهری تخمین زده شده است. ضخامت لایه آبرفتی

در جدول ۱ حداکثر بزرگی زلزله محتمل برای هر گسل به کمک روابط نوروزی (Nowroozi, 1985) و مهاجر و نوروزی (Nowroozi and Mohajer, 1987) روابط (۱ و ۲) محاسبه شده و میانگین این مقادیر به عنوان حداکثر بزرگی زلزله محتمل برای گسل معرفی شده است.

$$M_s = 1.259 + 1.244 \log L \quad (1)$$

$$M_s = 5.4 + \log L \quad (2)$$

در رابطه فوق، L طول گسیختگی گسل برحسب کیلومتر می‌باشد. طول گسیختگی گسل ۵۰٪ طول کل گسل در نظر گرفته شده است (Wells and Coppersmith, 1994). در گام بعدی با کمک روابط میرایی (Chandra et al., 1979, Ambraseys and Melville, 1982, ۳ و ۴) حداکثر شدت زلزله نظیر محاسبه گردیده است.

$$I_0 = 1.3M_s + 0.09 \quad (3)$$

$$I = I_0 + 6.453 - 0.00121R - 4.96 \log(R + 20) \quad (4)$$

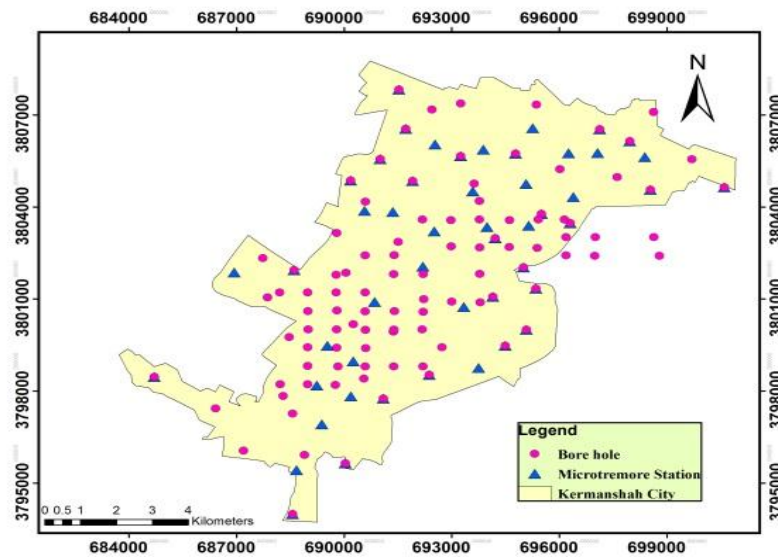
همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد علی‌رغم اینکه قطعات گسل HZF یعنی قطعات F-1 الی F-7 به ساختگاه نزدیکتر هستند اما توان لرزه‌ای کمتری نسبت به قطعه گسلی صحنه از گسل فعال عهد حاضر (MRF) را دارند و شدت زلزله محتمل ناشی از قطعه گسلی صحنه در شهر کرمانشاه بیشتر از سایر گسل‌ها می‌باشد.

برای تولید نقشه شدت لرزش نهایی ساختگاه نقشه‌های بزرگنمایی و شدت لرزش خام ساختگاه با یکدیگر جمع شده‌اند. در این مطالعه برای بررسی آسیب پذیری ساختمان‌های شهر کرمانشاه ابتدا ساختمان‌های شهر به کمک داده‌های آماری سال ۱۳۹۵ و نیز اطلاعات موجود در اداره راه و شهرسازی استان و شهرداری‌ها و نیز مشاهدات میدانی به ۹ گروه تقسیم بندی شده‌اند. این دسته بندی منطبق با منحنی‌های آسیب‌پذیری ساختمان‌های ایران می‌باشد (Japan International Cooperation Agency (JICA2000)).

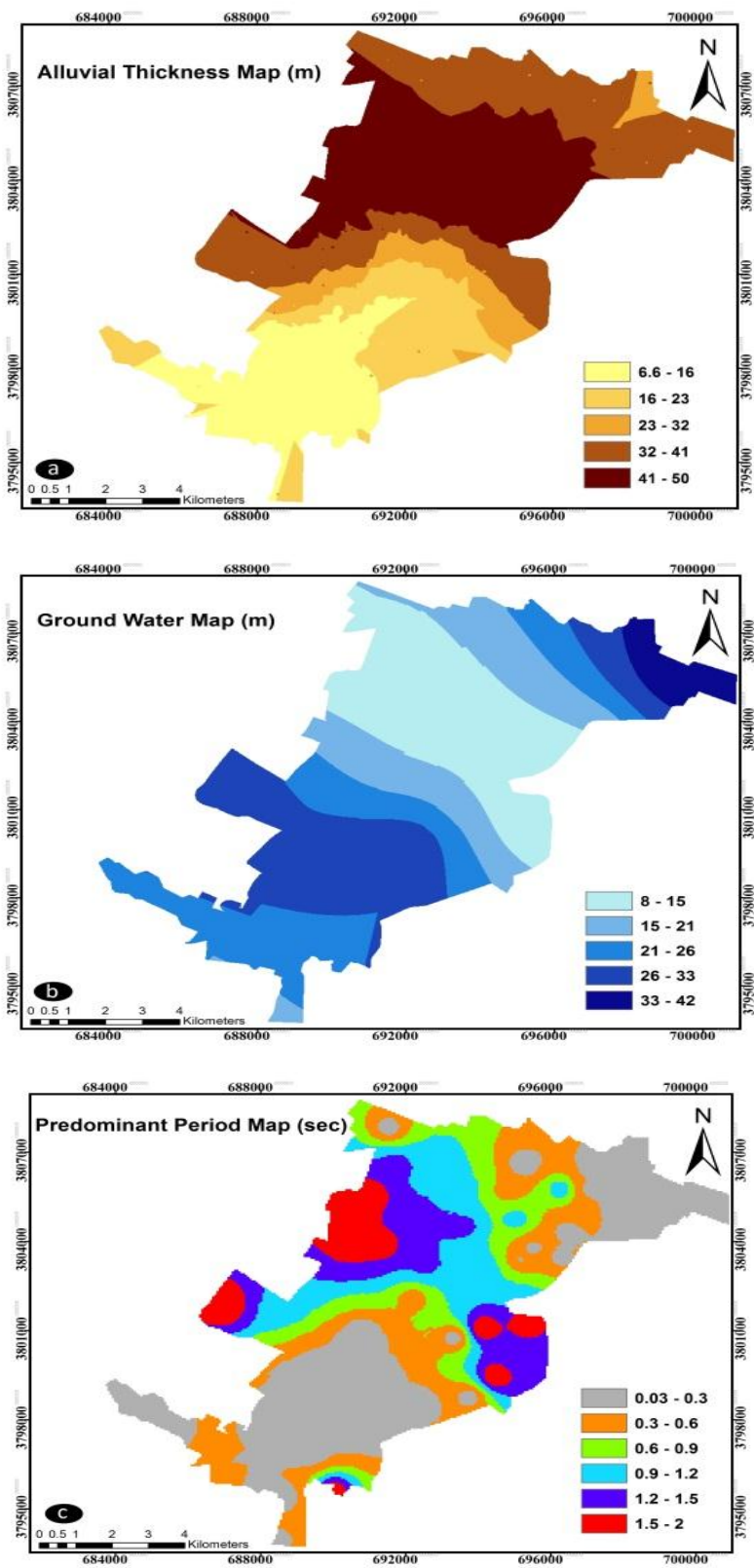
در نهایت با کمک داده‌های ساختمان‌های شهر و نیز نقشه نهایی شدت لرزش زمین میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های

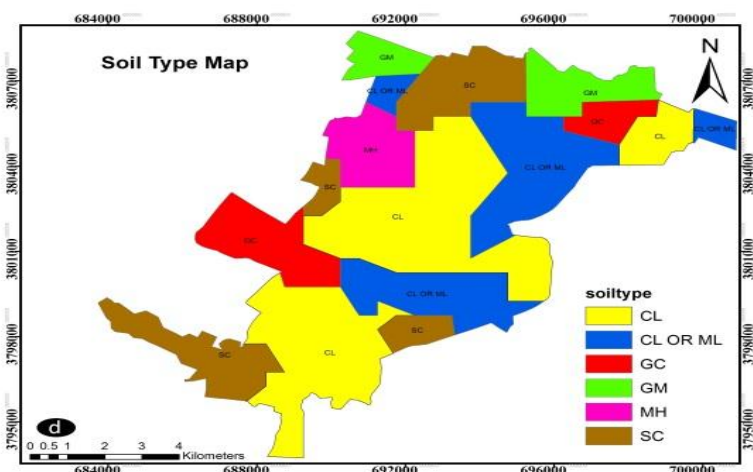
حفاری شده و ترازهای ارائه شده در گزارشهای ژئوتکنیکی و همچنین از داده‌های سطح آب زیرزمینی مربوط به چاه های اطراف و داخل شهر که توسط سازمان آب منطقه‌ای قرائت می‌شود، استفاده شده‌است. این مقدار برای شهر کرمانشاه بین ۸ تا حدود ۴۲ متر متغیر می‌باشد (شکل ۴.ب). برای پیروید غالب ساختگاه از اطلاعات مربوط به ۵۰ ایستگاه برداشت لرزه‌ای در شهر کرمانشاه استفاده شده است. نقشه پیروید غالب ساختگاه در شکل ۴.ج نشان داده شده است، این نقشه یک دید کلی از پوشش رسوبی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه اطلاعات گمانه‌ها، نتایج آزمایشگاهی و مطالعات ژئوفیزیک به صورت داده‌های پراکنده و نقطه‌ای هستند و از طرفی ما نیاز داریم تا اطلاعات را به صورت پیوسته و در تمام نقاط شهر را داشته باشیم از این رو از ابزار میان‌یابی در نرم افزار GIS استفاده شده است.

در هر نقطه در واقع فاصله سطح زمین تا سنگ بستر لرزه‌ای می‌باشد (شکل ۴.الف). در گام بعدی اطلاعات گمانه‌ها در برنامه Rock work تعریف شده و به کمک آن نقشه بافت خاک تهیه شده است (شکل ۴.د). نتایج نشان می‌دهد که سیلت و رس خاک‌های غالب در شهر می‌باشند که قسمت اعظم شهر را پوشانده‌اند. ضخامت این خاک های ریزدانه بین ۷ تا کمتر از ۵۰ متر متغیر می‌باشد. در بخش فوقانی شمال شرقی و جنوب غربی رسوبات آبرفتی درشت دانه به ضخامت ۷ تا حداکثر ۳۰ متر وجود دارد. در بخش‌های محدودی از شمال غرب و جنوب شرق رسوبات آبرفتی دانه‌ای ریزدانه به ضخامت ۷ تا ۳۰ متر وجود دارد. سنگ بستر لرزه‌ای در بخش‌های مرکزی شهر عمیق‌تر می‌باشد، این عمق بین ۲۰ تا ۵۰ متر متغیر است. در شمال شرق عمق بستر لرزه‌ای بین ۱۵ تا ۲۵ متر و در جنوب غربی بین ۱۰ تا ۴۰ متر می‌باشد. برای رقوم سطح آب زیرزمینی در محدوده شهر از روی تراز اندازه‌گیری شده در گمانه‌های



شکل ۳. جانمایی گمانه‌ها و ایستگاه‌های اندازه‌گیری داده‌های میکروترومور

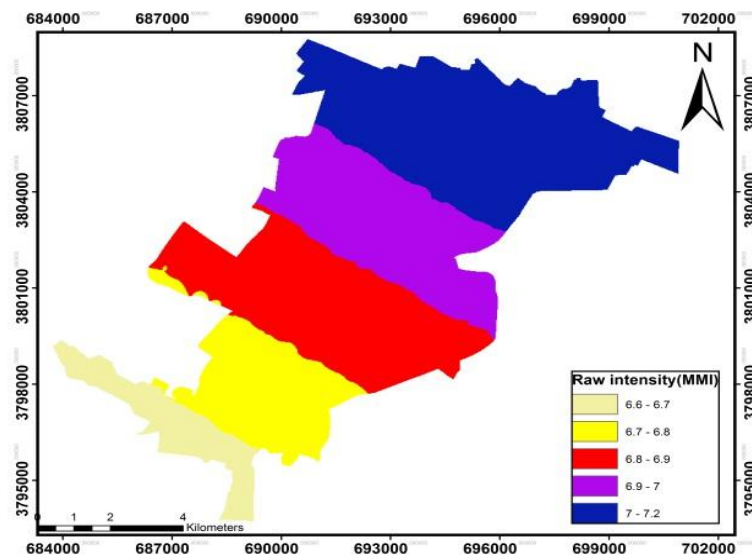




شکل ۴. نقشه پارامترهای اساسی پهنه بندی برای شهر کرمانشاه الف) ضخامت آبرفت ب) سطح آب زیرزمینی ج) پرپود غالب ساختگاه د) بافت خاک.

تحلیل تعیینی رخداد زلزله در کرمانشاه و تولید بدترین سناریوی زلزله برای این شهر از گسل صحنه استفاده شده است. با توجه به روش تحلیل تعیینی در این مطالعه در گام بعدی می‌بایست رابطه کاهندگی سازگار با ساختگاه انتخاب و پس از آن شدت لرزش زمین محاسبه گردد. با کمک روابط میرایی می‌توان نشان داد که در هنگام زلزله در هر مکان خاص چه شدتی از زلزله احساس می‌گردد. منحنی-های آسیب‌پذیری برای تحلیل آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در ایران به صورت تابعی از شدت مرکالی اصلاح شده (MMI) هستند. بنابراین به جای استفاده از روابط میرایی که براساس PGA و یا PGV می‌باشند، از روابط میرایی استفاده شده است که بر مبنای MMI هستند (معادلات ۳ و ۴). نقشه خام شدت لرزش زمین برای شهر کرمانشاه ناشی از گسل صحنه در شکل ۵ نشان داده شده است.

۳-۲. اثرات ساختگاه و نقشه شدت لرزش زمین
تحلیل‌های احتمالاتی به منظور بررسی حرکات زمین در هنگام وقوع زلزله برای شهر کرمانشاه قبلاً انجام شده است (Biglar et al., 2015, Global Bank Project, 2009) به نظر کریم زاده و همکاران (Karimzadeh et al., 2014) این نوع تحلیل از لحاظ تئوری معایبی دارد که منجر به نتایج محافظه کارانه می‌شود. از طرفی با توجه به کاربرد وسیع روش تحلیل تعیینی (DSHA) در برخی از نواحی (Hassanzadeh et al., 2013, Karimzadeh et al., 2014,) در این مطالعه از مدل ساده تحلیل خطر لرزه‌ای تعیینی در محیط GIS استفاده شده است. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود گسل صحنه با طول تقریبی ۱۵۵ کیلومتر می‌تواند شدیدترین جنبش نیرومند زمین را در شهر کرمانشاه تولید کند. از این رو برای



شکل ۵. نقشه خام شدت لرزش زمین برای شهر کرمانشاه براساس فعالیت گسل صحنه

به هریک از المان‌های پارامترها امتیازی بین ۹ اختصاص داده شده است (شکل ۶).

یکی از مزایای تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است که به عبارت دیگر همواره در فرایند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان میزان سازگاری تصمیم را محاسبه نمود و نسبت به خوب و بد بودن و یا قابل قبول و مردود بودن امتیازهای اختصاص داده شده قضاوت کرد. محدوده قابل قبول ناسازگاری در هر سیستم به تصمیم‌گیرنده بستگی دارد اما در حالت کلی ساعتی پیشنهاد می‌کند که اگر ناسازگاری تصمیم بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است که تصمیم‌گیرندگان در قضاوت‌های خود تجدیدنظر کنند.

برای تولید نقشه بزرگنمایی ساختگاه ابتدا وزن حاصل از روش AHP اعمال شده و این لایه‌ها با یکدیگر جمع و سپس نقشه تولید شده نرمالایز می‌شود (معادله ۵).

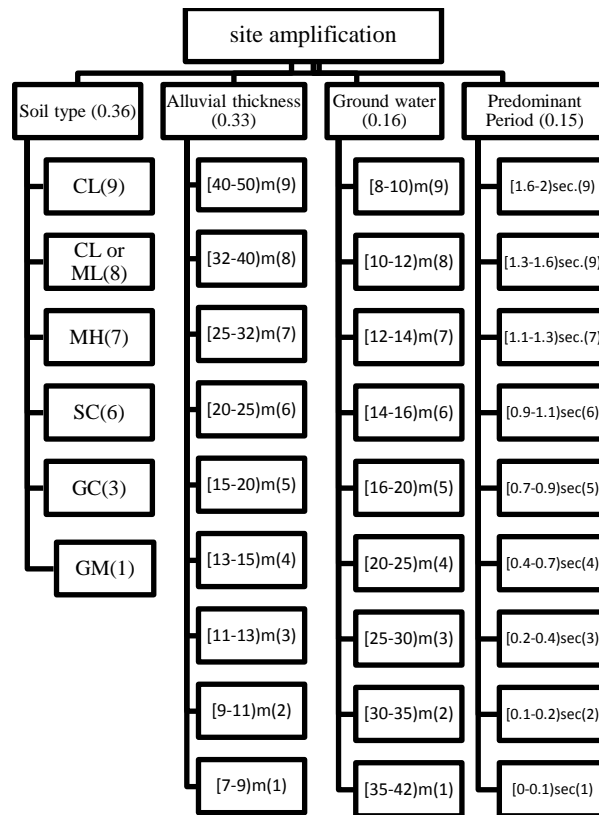
$$GSM = \sum M_i I_i \quad (5)$$

$$M_i = \sum S_i A_i W_i P_i \quad (6)$$

برای تولید نقشه نهایی شدت لرزش زمین در شهر کرمانشاه لازم است که اثرات ساختگاه نیز لحاظ شود. به این منظور ابتدا نقشه بزرگنمایی ساختگاه تهیه و سپس با نقشه خام شدت لرزش زمین ترکیب شده است. با توجه به مدل پارامترهای اساسی بزرگنمایی ساختگاه عبارتند از جنس خاک، ضخامت آبرفت، تراز آب زیرزمینی و داده‌های میکروترمو (شکل ۴). نقشه بزرگنمایی ساختگاه به کمک روش AHP و در دو سطح تولید شده است. ابتدا ماتریسی ۴*۴ تشکیل شده که در آن معیارها براساس قضاوت‌های شفاهی و نظر کارشناسان دو به دو مقایسه شده‌اند (جدول ۲). براساس روش ساعتی (Saaty, 198۰) برای محاسبه وزن پارامترها، مقادیر ستون‌ها در جدول ۲ باهم جمع شده‌اند و هر سلول بر جمع ستون مربوطه تقسیم شده است. به این ترتیب داده‌ها در جدول ۲ نرمالایز می‌شوند. سپس میانگین سطرهای جدول نرمالایز شده همان وزن نسبی معیارها خواهد بود. مقایسه دودویی شاخص‌ها حاکی از آن است که جنس خاک و ضخامت آبرفت با توجه به اهمیت آن در زلزله بیشترین امتیازها را به خود اختصاص داده‌اند و سطح آب زیرزمینی و پرپود غالب ساختگاه در درجه دوم اهمیت قرار گرفته‌اند. در سطح دوم با کمک مقایسه زوجی

یکدیگر ترکیب شده‌اند (معادله ۶). GSM نقشه شدت لرزش زمین (شکل ۸)، M_i نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای و یا بزرگنمایی ساختگاه در ناحیه i و I_i نقشه شدت خام لرزش زمین در ناحیه i می‌باشد.

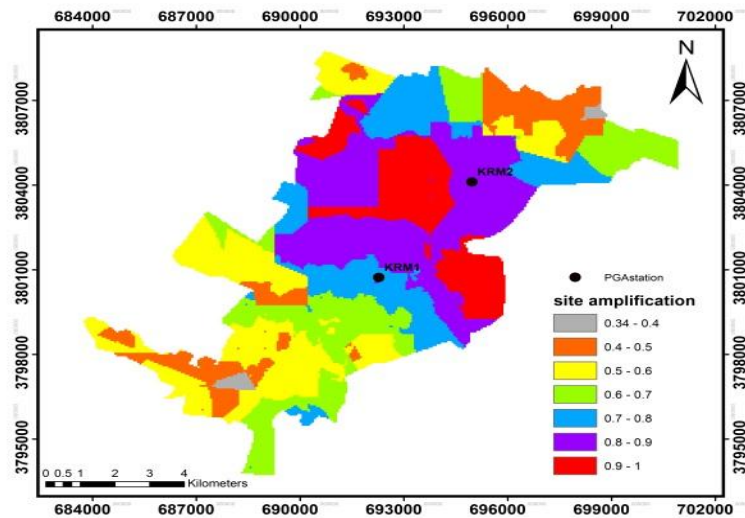
در رابطه فوق M_i نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای (نقشه بزرگنمایی ساختگاه) در ناحیه i ، S_i نقشه جنس خاک ساختگاه در ناحیه i ، W_i نقشه سطح آب‌زیرزمینی در ناحیه i ، P_i نقشه پی‌ود غالب ساختگاه در ناحیه i و A_i نقشه ضخامت آبرفت در ناحیه i می‌باشد. در نهایت برای تولید نقشه شدت نهایی لرزش زمین (شکل ۸) نقشه‌های بزرگنمایی ساختگاه (شکل ۷) و نقشه شدت لرزش زمین (شکل ۵) با



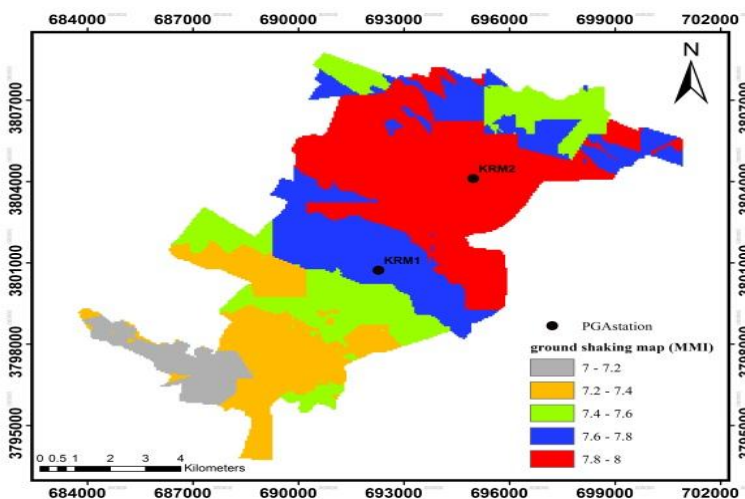
شکل ۶. فرایند تحلیل سلسله مراتبی در ایجاد نقشه بزرگنمایی ساختگاه

جدول ۲. وزن پارامترهای اساسی مدل به روش AHP

	Soil type(S)	Alluvial thickness(A)	Groundwater table (W)	Predominant Period(P)	Weight
Soil type (S)	1	1	2	3	0.36
Alluvial thickness(A)	1	1	2	2	0.33
Ground water	0.5	0.5	1	1	0.16
Predominant Period (P)	0.33	0.5	1	1	0.15



شکل ۷. نقشه بزرگنمایی ساختمانی برای شهر کرمانشاه



شکل ۸. نقشه حداکثر شدت لرزش زمین برای بدترین سناریوی زلزله در شهر کرمانشاه

۴. تحلیل آسیب پذیری ساختمان‌ها

ویژگی مقاومت ساختمانها در برابر زلزله از منطقه‌ای به منطقه دیگر و از کشوری به کشور دیگر متفاوت است. حتی اگر ساختمانها از نظر ظاهر مشابه یکدیگر باشند، رابطه بین نیروی زلزله و نسبت خسارت همیشه یکسان نیست. روش‌های مختلف ساخت، دلیلی برای این تفاوتها محسوب می‌شود. از این رو گردآوری رکورد‌های زلزله‌های فاجعه‌بار و استخراج تابع آسیب براساس تجربه محلی، از بهترین روش‌های برآورد خسارت به شمار می‌آید. وقتی که

همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، حداکثر شدت لرزش زمین در کمربند میانی شهر و در امتداد رودخانه قره سو اتفاق می‌افتد که مقدار آن حداکثر تا ۸ واحد مرکالی اصلاح شده می‌باشد. هرچه از مرکز شهر به سمت شمال و جنوب شهر پیش می‌رویم از شدت زلزله کاسته می‌شود. این کاهش در جنوب شهر محسوس‌تر است و کمترین میزان شدت زلزله برابر با ۷MMI می‌باشد.

گروه ۲) فلزی نوع ۱: سازه فلزی، ساخته شده بعد از ۱۳۷۱، با یک تا سه طبقه

گروه ۳) فلزی نوع ۲: سازه فلزی، ساخته شده قبل از ۱۳۷۰ یا با بیش از چهار طبقه

گروه ۴) بتن مسلح نوع صفر: سازه بتن مسلح با بیش از شش طبقه

گروه ۵) بتن مسلح نوع ۱: سازه بتن مسلح ساخته شده بعد از ۱۳۷۰ و با یک یا دو طبقه

گروه ۶) بتن مسلح نوع ۲: سازه بتن مسلح ساخته شده قبل از ۱۳۷۰ یا با بیش از سه طبقه

گروه ۷) تمام چوبی

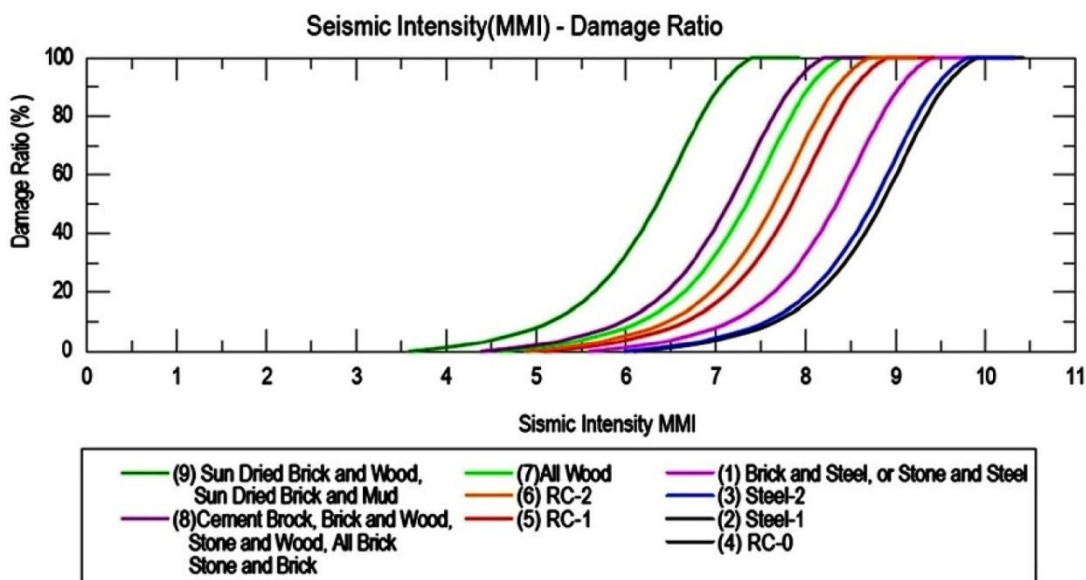
گروه ۸) بلوک سیمانی (با هر نوع سقف)، آجر و چوب یا سنگ و چوب، تمام آجری یا سنگ و آجری

گروه ۹) خشت و چوبی و خشت و گلی

رابطه بین جنبش زلزله و نسبت خسارت برقرار گردد، آنگاه برآورد خسارت برای تعداد زیادی ساختمان مانند تعداد ساختمان‌های یک شهر بزرگ نیز براساس همان ضوابط امکان‌پذیر خواهد شد. به منظور ارزیابی ساختمان‌ها در تهران، براساس اطلاعات ساختمان‌ها در زلزله‌های پیشین ایران مانند زلزله‌های قیر (۱۹۷۲)، قائنات (۱۹۷۹)، لردگان (۱۹۹۲)، اردکان (۱۹۹۷) و نیز ارزیابی کارشناسان، JICA منحنی‌های آسیب‌پذیری را برای انواع ساختمان‌ها تولید کرده است. این منحنی‌های آسیب‌پذیری برای ساختمان‌ها و براساس مقیاس شدت مرکالی اصلاح شده یا MMI می‌باشند (JICA2000) (شکل ۹).

برای تولید منحنی‌های آسیب‌پذیری، JICA براساس نوع سازه، سال ساخت و تعداد طبقات، ساختمان‌ها را در ۹ گروه تقسیم بندی کرده است که عبارتند از:

گروه ۱) آجری و فلزی یا سنگی و فلزی



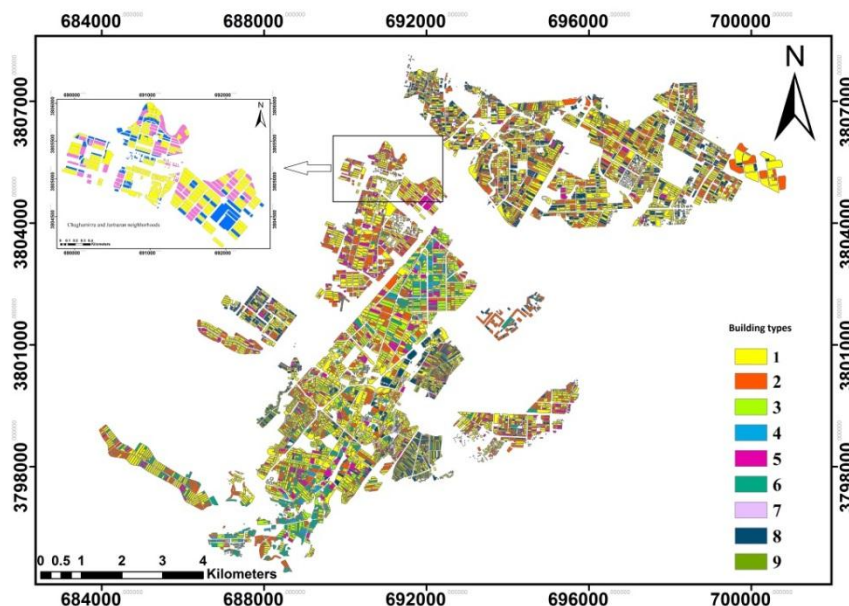
شکل ۹. منحنی‌های آسیب‌پذیری (JICA ۲۰۰۰)

جدول ۳. توصیف سطح خسارت توسط حسن زاده و همکاران (Hassanzadeh et al., 2013)

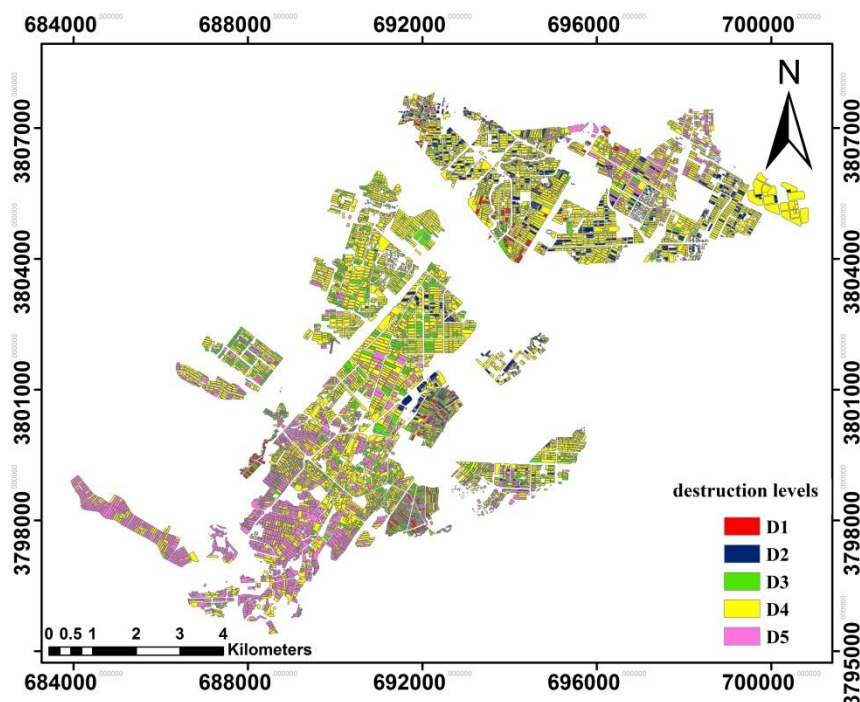
Destruction level	Damage percent	Description
D6	0-2	Damages are underestimate
D5	3-10	Very tiny cracks
D4	11-30	5-20 mm cracks are observed in the building
D3	31-60	420 mm cracks are observed and some components of building such as walls are destroyed
D2	61-80	A part of roof and one building's wall is destroyed
D1	81-100	Entire of roof and more than one building's wall destroyed

۵ (۳٪)، گروه ۶ (۶٪)، گروه ۷ (۲۵٪)، گروه ۸ (۱۰٪)، گروه ۹ (۱۲۵٪). حسن زاده و همکاران برای تعیین سطح خرابی ساختمان ها در ایران جدولی را ارائه داده اند که شامل ۶ گروه خرابی است (جدول ۳). این حالات خرابی عبارتند از: بدون خرابی D6، خرابی کم D5، خرابی متوسط D4، خرابی زیاد D3، خرابی بسیار زیاد D2، تخریب کامل D1 (Hassanzadeh et al., 2013).

در این پژوهش از اطلاعات ساختمان های موجود در سرشماری سال ۱۳۹۵ استفاده شده است. تقسیم بندی اطلاعات ساختمان ها در سرشماری سال ۱۳۹۵ منطبق با نحوه تقسیم بندی ساختمان ها در JICA و منحنی های آسیب پذیری می باشد. با استفاده از این داده ها و بررسی های انجام شده در اداره راه و شهرسازی و شهرداری ها و مشاهدات میدانی در شهر، درصد ساختمان ها در هر گروه به صورت زیر به دست آمده است: ساختمان های گروه ۱ (۵۶٪)، گروه ۲ (۲۲٪)، گروه ۳ (۱٪)، گروه ۴ (۰/۵٪)، گروه



شکل ۱۰. پراکندگی انواع ساختمان ها در شهر کرمانشاه



شکل ۱۱. سطح خرابی ساختمان‌ها در شهر کرمانشاه در بدترین سناریوی زلزله

پیوست. در ۱۱٪ از مساحت مسکونی شهر که شامل ۳/۱۶ کیلومتر مربع می‌باشد، خرابی زیاد یا سطح D3 رخ می‌دهد. ۷۰٪ از ساختمان‌های گروه ۵، ۳۰٪ از ساختمان‌های گروه ۶، ۱۰٪ از ساختمان‌های گروه ۷ و ۵٪ درصد از ساختمان‌های گروه ۱ دچار خرابی از نوع D3 می‌شوند. در حدود ۶۰٪ از ساختمان‌های شهر، شامل ۱۷ کیلومتر مربع از مساحت مسکونی شهر دچار خرابی متوسط یا سطح D4 می‌شوند. ۸۳/۴٪ از ساختمان‌های گروه ۱، ۵۲٪ از ساختمان‌های گروه ۲، ۵۰٪ از ساختمان‌های گروه ۳، ۴۳٪ از ساختمان‌های گروه ۴، ۳۰٪ گروه ۵ و ۶۰٪ از ساختمان‌های گروه ۶ دچار خرابی سطح D4 می‌شوند. در ۲۰٪ از ساختمان‌های شهر و در مساحتی در حدود ۶ کیلومتر مربع خرابی در سطح D5 یا خرابی کم اتفاق می‌افتاد در این نوع خرابی تنها ترک‌های بسیار ریز در ساختمان به وجود می‌آید. ۱۵/۲٪ از ساختمان‌های گروه ۱، ۴۸٪ از ساختمان‌های گروه ۲، ۵۰٪ از ساختمان‌های گروه ۳ و ۵۷٪ از ساختمان‌های گروه ۴ دچار خرابی نوع D5 می‌شوند. در جدول ۴

مساحت محدوده شهری برای شهر کرمانشاه تقریباً ۹۵/۹۷ کیلومتر مربع است که شامل پارک‌ها، خیابان‌ها، مناطق مسکونی، زمین‌های خالی و... می‌شود اما ناحیه مسکونی با ساختمان‌های دارای سیستم سازه‌ای و سال ساخت شناخته شده دارای مساحتی در حدود ۲۹ کیلومتر مربع می‌باشد. در شکل ۱۰ پراکندگی انواع ساختمان‌ها و در شکل ۱۱ سطح خرابی ساختمان‌ها در شهر کرمانشاه در بدترین سناریوی زلزله نشان داده شده است. تحلیل‌ها در GIS نشان می‌دهد در اثر زلزله شبیه سازی شده، تمامی ساختمان‌های گروه ۹ و نیز ۶٪ درصد از ساختمان‌های گروه ۸ به طور کامل تخریب می‌شوند. به عبارتی در حدود ۰/۵۸ کیلومتر مربع که شامل ۲٪ از مساحت مسکونی شهر می‌باشد، خرابی از نوع D1 و تخریب کامل صورت می‌گیرد. ۷٪ از مساحت مسکونی شهر که شامل ۲/۱۵ کیلومتر مربع مساحت می‌باشد دچار خرابی در سطح D2 می‌شوند. بیشترین تخریب سطح D2 در ساختمان‌های گروه ۸ شامل ۶۴٪ و پس از آن در ساختمان‌های گروه ۵ و به میزان ۱۰٪ به وقوع خواهد

مساحت نظیر خرابی ساختمان‌های آسیب دیده براساس سطح خرابی و نوع ساختمان ارائه شده است.

اطلاعات مربوط به تعداد ساختمان‌های آسیب دیده براساس سطح خرابی ساختمان‌ها و نوع ساختمان و در جدول ۵

جدول ۴. تعداد ساختمان‌های آسیب دیده براساس سطح خرابی

Building type	D1	D2	D3	D4	D5
1	-	-	192	32504	5862
2	-	-	-	8049	7432
3	-	-	-	47431	47431
4	-	-	-	4585	6079
5	-	-	810	346	-
6	-	493	1479	2958	-
7	-	-	404	-	-
8	99	1059	497	-	-
9	427	-	-	-	-
total	526	1552	3382	95873	66803

جدول ۵. مساحت نظیر خرابی ساختمان‌های آسیب دیده براساس سطح خرابی (Km²)

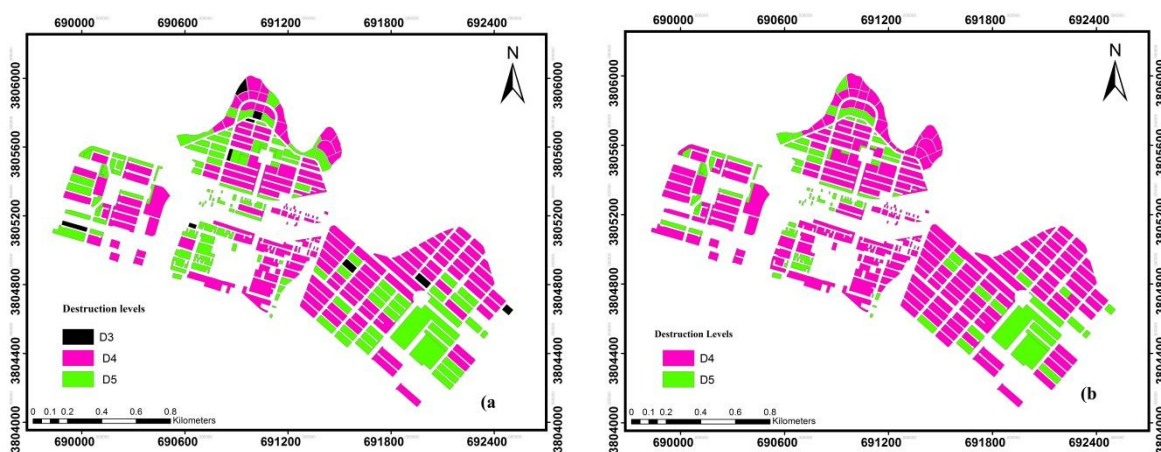
Building type	D1	D2	D3	D4	D5
1	-	-	0.0632	11.870	2.1311
2	-	-	-	3.219	2.9492
3	-	-	-	0.7505	0.7505
4	-	-	-	0.1752	0.2350
5	-	-	1.5087	0.6243	-
6	-	0.1599	0.4945	0.9801	-
7	-	-	0.1284	-	-
8	0.1932	1.9883	0.9523	-	-
9	0.386	-	-	-	-
total	0.5792	2.1482	3.1471	17.6191	6.0658

گشتاوری ۷/۳ داشته و عمق کانونی آن حدود ۱۸ کیلومتر برآورد شده است. برای بررسی دقت و درستی مدل ارائه شده در شهر کرمانشاه، در محلات جانبازان و چغامیرزا مقایسه ای بین داده های واقعی زلزله (یا مشاهده شده) و

۵. صحت سنجی مدل با استفاده از داده های زلزله سرپل ذهاب و مشاهدات میدانی مدل ارائه شده به کمک داده های زلزله آبان ماه سال سرپل ذهاب صحت سنجی شده است. این زلزله بزرگای

دیده ارسال شده اند. این بررسی ها نشان می دهد که بیشترین خرابی ها در پهنه اطراف رودخانه قره سو و در نواحی مرکزی شهر اتفاق افتاده است و هر چه به سمت جنوب شهر پیش می رویم از میزان آسیب و شدت زلزله کاسته می شود. سطح خرابی ها از نوع بسیار کم تا متوسط (D4 تا D6) بوده و در برخی از موارد خرابی زیاد (D3) نیز مشاهده شده است. علاوه بر استفاده از اطلاعات به دست آمده توسط کارشناسان و نظرات کارشناسی موجود در اداره بنیاد مسکن شهر کرمانشاه در خصوص آسیب های وارد شده به ساختمان ها در اثر زلزله سرپل ذهاب در شهر کرمانشاه، نویسنده مقاله بررسی های میدانی را در محلات چغامیرزا و جانبازان انجام داده است (شکل ۱۲. الف). این محلات در غرب شهر کرمانشاه و در حاشیه رودخانه قره سو واقع شده است. از مجموع اطلاعات به دست آمده از مشاهدات میدانی، اطلاعات کارشناسی بنیاد مسکن و داده های ایستگاه های شتاب نگار برای صحت سنجی مدل ارائه شده، استفاده شده است.

داده های به دست آمده از مدل انجام شده است. برای این منظور از داده های شتاب نگاشت های مرکز تحقیقات و مسکن (<http://www.bhrc.ac.ir>) (BHRC) استفاده شده است. در شهر ایستگاه های شتاب نگاشت Krm1 و Krm2 واقع شده است که موقعیت آن ها در شکل ۸ نشان داده شده است. در ایستگاه Krm1، PGA برابر 55 cms^{-2} و در ایستگاه Krm2، PGA برابر 124 cms^{-2} بوده است. تفاوت PGA اندازه گیری شده در بین دو ایستگاه بیش از ۲ برابر می باشد که خود نشان دهنده اهمیت بسیار زیاد اثرات ساختگاهی در شهر کرمانشاه است. بدون در نظر گرفتن اثرات ساختگاه و با استفاده از روابط میرایی، شدت زلزله برای هر دو ایستگاه برابر با V (MMI) به دست می آید و این در حالی است که شدت زلزله برای ایستگاه Krm2 برابر با VI (MMI) و برای ایستگاه Krm1 برابر با (MMI) V بوده است که با نتایج مدل ارائه شده کاملا تطابق دارد. پس از وقوع زلزله و ارسال گزارشات مربوط به آسیب های ساختمانی به اداره بنیاد مسکن شهر کرمانشاه، گروهی از کارشناسان جهت ارزیابی خسارات به ساختمان های آسیب



شکل ۱۲. الف) سطح واقعی خرابی ساختمان ها ب) سطح مدلسازی شده خرابی ها

ساختمانها در محلات چغامیرزا و جانبازان با نتایج حاصل از مدلسازی می بینیم که دقت نتایج بدست آمده بیش از ۸۵

در برنامه GIS مساحت انواع سطوح خرابی ساختمان ها را می توان بدست آورد. با مقایسه مساحت سطح خرابی

تهیه نقشه پهنه بندی استفاده کرد. به این منظور داده ها به صورت شیب فایل ها و فایل های رستری قابل استفاده در GIS تبدیل شده اند. بدیهی است که هرچه داده های ورودی و روابط بکار رفته شده دقیق تر باشند، نتایج خروجی به واقعیت نزدیکتر خواهند بود. برای صحت سنجی مدل نیز از داده های زلزله ۲۱ آبان سال ۱۳۹۶ سرپل ذهاب استفاده شده است. پس از ایجاد یک پایگاه داده برای پارامترهای اصلی مدل، روش تحلیل AHP و نرم افزار GIS برای تجزیه و تحلیل داده ها و ارزیابی آنها بکار گرفته شده است. نقشه شدت لرزش زمین از ترکیب نقشه های پهنه بندی (بزرگنمایی) و نقشه خام شدت لرزش زمین برای بدترین سناریوی زلزله در شهر کرمانشاه تهیه شده است. این نقشه نشان می دهد که حداکثر شدت زلزله بین ۷ تا ۸ در مقیاس مرکالی اصلاح شده خواهد بود. بیشترین شدت لرزش در امتداد و حاشیه رودخانه قره سو می باشد که از غرب به شرق گسترش یافته است از طرفی هرچه به سمت جنوب شهر پیش می رویم از شدت و خطر زلزله کاسته می شود که این نتایج با نتایج حاصل از صحت سنجی انجام شده به کمک زلزله سرپل ذهاب کاملاً تطابق دارد. منحنی های آسیب پذیری که توسط JICA تهیه شده میزان خسارت برای انواع ساختمان ها به صورت تابعی از شدت زلزله (MMI) ارائه شده است. در این گزارش ساختمان ها به ۹ گروه براساس سیستم سازه ای، سال ساخت و ارتفاع تقسیم بندی شده اند. از طرفی در این پژوهش از اطلاعات ساختمان ها در سرشماری سال ۱۳۹۵ استفاده شده است که این اطلاعات منطبق با نحوه تقسیم بندی ساختمان ها در JICA و منحنی های آسیب پذیری نظیر می باشند. خرابی ساختمان ها در ۶ گروه تقسیم بندی شده اند که از حالت بدون خرابی (D6) تا تخریب کامل (D1) می باشند. نتایج نشان می دهد که در بدترین سناریوی زلزله حدود ۶۰٪ از ساختمان های شهر دچار خرابی متوسط یا D4 و ۲۰٪ دچار خرابی در سطح D5 یا خرابی کم می شوند، به عبارتی

درصد می باشد (شکل ۱۲). در برخی از ساختمان ها در محلات مورد بررسی سطح خرابی بیش از مقدار مورد انتظار بوده و در سطح خرابی زیاد یا D3 قرار گرفته اند. پس از حضور در محل و بررسی ساختمان های با سطح خرابی D3 متوجه شدیم که علت این نوع خرابی ها، کیفیت پایین ساخت و مصالح مصرفی و عدم رعایت آیین نامه های ساختمانی بوده است. برای نمونه دو ساختمان هم ارتفاع و دارای یک نوع سیستم سازه ای که مجاور یکدیگر بودند، دو سطح مختلف خرابی را نشان داده اند. در ساختمان با سطح خرابی زیاد (D3) ترک هایی با عرض بیش از ۲۰ میلی متر مشاهده شده و برخی از دیوارهای ساختمان تخریب شده اند. در این ساختمان علاوه بر کیفیت پایین مصالح، وجود دیوارهای با مصالح بنایی و با سختی زیاد در میان قاب ها باعث عملکرد میانقابی در عملکرد سازه شده و باعث خرابی دیوارها در ساختمان مذکور شده است و این در حالی است که در ساختمان مجاور آن خرابی ها از نوع متوسط بوده و عرض ترک ها کمتر از ۲۰ میلیمتر و مطابق با نتایج مدلسازی بوده است.

۶. بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه پهنه بندی لرزه ای و بررسی آسیب پذیری ساختمان های شهر کرمانشاه در برابر زلزله براساس مشخصات ساختگاه و پارامترهای ژئوتکنیکی و با استفاده از مدل AHP انجام شده است. برای شناخت ویژگی های ژئوتکنیکی و زمین شناسی ساختگاه از اطلاعات گمانه های حفاری شده، داده های ژئوفیزیک، اسناد، نقشه های زمین شناسی و تصاویر ماهواره ای استفاده شده است. با مشاهدات میدانی و انجام مطالعات کتابخانه ای داده های مربوط به ساختمان های شهر نیز گردآوری شده است. پهنه بندی با کمک پارامترهای اساسی ساختگاه انجام شده است. داده های مربوط به پارامترهای اساسی به کار گرفته شده به صورت نقاط منفرد و پراکنده هستند و نمی توان مستقیماً از آنها در

اجرای و کیفیت پایین مصالح بکار گرفته شده در ساختمان بوده است و این درحالیست که ساختمان‌های مشابه در همان محدوده سطح خرابی کمتر و منطبق با نتایج مدلسازی نشان داده‌اند. نتایج و نقشه‌های بدست آمده در این مطالعه از ابزارهای اساسی برای برنامه‌ریزی شهری، مدیریت بحران و بلایای طبیعی، کاهش ریسک، تصمیم در مورد میزان خطر زلزله در نواحی مختلف و انجام نوسازی بافت فرسوده و بهسازی شهری می‌باشد. از نتایج این مطالعه می‌توان برای تخمین میزان آسیب‌پذیری افراد و منابع مورد نیاز در هنگام زلزله نیز استفاده نمود.

در حدود ۸۰٪ از ساختمان‌ها خرابی از نوع کم و متوسط خواهد بود. اما در ۲۰٪ باقی مانده ساختمان‌ها، خرابی قابل توجه می‌باشد از این ۲۰٪ باقی مانده، ۲٪ دچار تخریب کامل (D1)، ۷٪ دچار تخریب بسیار زیاد (D2) و ۱۱٪ دچار تخریب زیاد (D3) می‌شوند. در صحت‌سنجی انجام شده برای میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، در برخی از موارد میزان خرابی‌ها بیشتر از نتایج مدلسازی بدست آمده است که با بررسی‌های میدانی و حضور در ساختمان‌های مذکور مشاهده شد که دلیل خرابی بیش از انتظار، رعایت نکردن اصول اولیه آیین‌نامه‌های ساختمانی و ضوابط

منابع

- تارتار، م.، قائم‌مقامیان، م.ر.، یمینی فرد، ف.، حسامی آذر، خ.، انصاری، ا.، فیروزی، ع.، ۱۳۹۶. گزارش زمین لرزه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ سرپل ذهاب استان کرمانشاه، ویرایش پنجم، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- Ambraseys, N. N., Melville, C. P., 1982. A History of Persian Earthquakes Cambridge Univ. Press, New York.
- Anagnostopoulos, S., Providakis, C., Salvaneschi, P., Athanasopoulos, G., Bonacina, G., 2008. SEISMOCARE: An efficient GIS tool for scenario-type investigations of seismic risk of existing cities, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28(2): 73-84.
- Berberian, M., 1994. Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran. Volume 1: Historical Hazards in Iran Prior to 1900, A UNESCO/IIIES Project During the United Nations International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR: 1900–2000).
- Berberian, M., 1995. Master “blind” thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, Tectonophysics, 241(3-4): 193-224.
- Biglari, M., Ashayeri, I., Moftizadeh, R., 2015. Urban Planning of Kermanshah City Based on the Seismic Geotechnical Hazards, Journal of Seismology and Earthquake Engineering, 17(3):203-211.
- Chandra, U., McWhorter, J. G., Nowroozi, A. A., 1979. Attenuation of intensities in Iran. Bulletin of the Seismological Society of America, 69(1): 237-250.
- Falcon, N. L., 1969. Problems of the relationship between surface structure and deep displacements illustrated by the Zagros Range, Geological Society, London, Special Publications, 3(1): 9-21.
- FEMA, 2003b. HAZUSMH MR4 Earthquake Model Technical Manual, Department of Homeland Security. Federal Emergency Management Agency. Mitigation Division. Washington, D.C. 2012; www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=3732.
- FEMA, 2003a. HAZUSMH MR4 Earthquake Model User Manual, Department of Homeland Security. Federal Emergency Management Agency. Mitigation Division. Washington, D.C. 2012; www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=3732.
- Global Bank Project Number 4697-IRN., 2009. The Evaluation of Risks and Seismic Risks in Provinces Ghazvin, Zanjan, Hamedan, and Kermanshah, The Final Report of the First Part: Seismic Microzonation of Kermanshah.
- Hassanzadeh, R., Nedović-Budić, Z., Razavi, A. A., Norouzzadeh, M., Hodhodkian, H., 2013. Interactive approach for GIS-based earthquake scenario development and resource estimation (Karmania hazard model), Computers & geosciences, 51: 324-338.

- Jackson, J., 1992. Partitioning of strike- slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in eastern Turkey and the Caucasus, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 97(B9):12471-12479. Japan International Cooperation Agency (JICA) and Center for Earthquake and Environmental Studies of Tehran (CEST), 2000. *The Study on Seismic Micro- zoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran*, Tehran, Iran. 1: pp. 379.
- Karimzadeh, S., Miyajima, M., Hassanzadeh, R., Amiraslanzadeh, R., Kamel, B., 2014. A GIS-based seismic hazard, building vulnerability and human loss assessment for the earthquake scenario in Tabriz, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66: 263-280.
- Mohajer-Ashjai, A., Nowroozi, A. A., 1978. Observed and probable intensity zoning of Iran, *Tectonophysics*, 49(3-4): 149-160.
- Molina, S., Lang, D. H., Lindholm, C. D., 2010. SELENA—An open-source tool for seismic risk and loss assessment using a logic tree computation procedure, *Computers & Geosciences*, 36(3): 257- 269.
- Molina, S., Lindholm, C. D., 2006. A capacity spectrum method based tool developed to properly include the uncertainties in the seismic risk assessment, under a logic tree scheme, *ECI Geohazards Technical, Economical and Social Risk Evaluation*.
- Mualchin, L., 1996. Development of the Caltrans deterministic fault and earthquake hazard map of California, *Engineering geology*, 42(4): 217-222.
- Nowroozi, A. A. 1985. Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(5): 1327-1338.
- Shabani, E., Mirzaei, N., 2007. Probabilistic seismic hazard assessment of the Kermanshah-Sanandaj Region of Western Ira, *Earthquake Spectra*, 23(1): 175-197.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review, *AAPG Bulletin*, 52(7):1229-1258.
- Stocklin, J., 1974. Possible ancient continental margins in Iran. In *The geology of continental margins*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 873-887
- Talebian, M., Jackson, J., 2002. Offset on the Main Recent Fault of NW Iran and implications for the late Cenozoic tectonics of the Arabia–Eurasia collision zone, *Geophysical Journal International*, 150(2): 422-439.