ارزیابی میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر زلزله
مطالعه موردی شهر کرمانشاه

ایرج تیموری *، هادی حکیمی**، رحیم حیدری چیانه ***، آرام حمیدی ****

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

نوع‌مقاله: پژوهشی- ۱۵۴-۱۳۳

چکیده

آسیب‌ها و خسارات ناشی از حوادث و مخاطرات طبیعی در دهه‌های اخیر، مخصوصاً در آفریقا، آمریکای لاتین و به‌ویژه آسیا که از لحاظ اقتصادی در وضعیت ضعیف‌تری به سر می‌برند رو به افزایش است. تعدد و تنوع حوادث طبیعی در جهان ضرورت و اهمیت توجه به مدیریتی کارآمد و مؤثر در برنامه‌ریزی برای بالا بردن تاب‌آوری شهری در مقابل شوک‌های حاصل از حوادث و سوانح طبیعی یا انسان‌ساخت را روشن می‌سازد. ایران به‌علت موقعیت جغرافیای و قرارگیری روی کمربند لرزه‌خیز آلپ، هیمالیا، همواره در معرض زمین‌لرزه‌هایی با شدت بالا قرار دارد. استان کرمانشاه نیز با توجه به قرارگیری در مجاورت گسل اصلی زاگرس و گسل‌های فرعی نهاوند، قارون، صحنه و مروارید در معرض خطر وقوع زلزله قرار دارد و زلزله‌های با قدرت بیش از ۶ و ۷ ریشتر در سال‌های ۱۳۳۶ و ۱۳۹۶ گواه این ادعا است. این پژوهش ضمن شناخت و بررسی مبانی نظری و مفاهیم مرتبط با زلزله، به بررسی میزان آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه در صورت رخداد زلزله پرداخته که با عنایت به اهمیت عوامل و معیارهای کالبدی مؤثر بر آسیب‌پذیری در اثر زلزله، متغیرهای مذکور بررسی گریده‌اند. با در نظر گرفتن شرایط و وضعیت کنونی شهر و همچنین بررسی و مداقه در پژوهش‌های پیشین مرتبط با موضوع تحقیق، جهت تعیین عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه، ۲ معیار اصلی پایداری فیزیکی بافت و کارایی بافت در زمان بحران و همچنین ۱۱ زیرمعیار (متغیر) مساحت زمین، سطح اشغال، تراکم جمعیت، تعداد طبقات، عرض معبر، قدمت ساخت، نوع سازه و مصالح، دسترسی به فضای باز شهری، دسترسی به مراکز امدادی، فاصله از مرکز خطرزا و نوع بافت شهری به‌عنوان پارامترهای مؤثر در آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه ناشی از زمین‌لرزه تعیین و به‌منظور امکان تعیین میزان آسیب‌پذیری هر معیار نیز از شاخص‌های کمی وکیفی برگرفته از پژوهش‌های قبلی و اخذ نظر کارشناسان استفاده گردیده است. با عنایت به مطالب ذکر شده مسئله اصلی این پژوهش شناسایی، بررسی، دسته‌بندی و مشخص نمودن میزان اثر هر یک از عوامل تأثیرگذار در آسیب‌پذیری کالبدی شهر ناشی از زلزله بوده و سعی کرده تا با استفاده از روش‌ها و مدل‌های علمی؛ ارزیابی، سنجش و تعیین اولویت‌بندی میزان آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه را بررسی نماید.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، زلزله، کرمانشاه، تحلیل سلسله مراتبی، GIS

*دانشیار جغرافیای برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تبریز، ایران iraj-teymuri@tabrizu.ac.ir

** دانشیار جغرافیای برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تبریز، ایران h.hakimi@tabrizu.ac.ir

*** دانشیار جغرافیای برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تبریز، ایران heydari@tabrizu.ac.ir

**** نویسنده مسئول: دانشجوی دکترای جغرافیای برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تبریز، ایران a.hamidi110@yahoo.com

CC BY NC

مقدمه

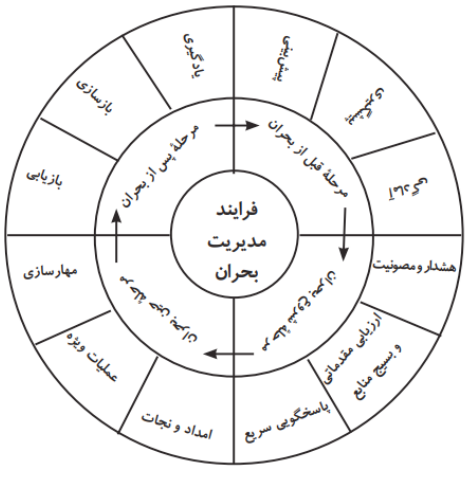
چهارچوب نظری پژوهش

بحران‌ها اغلب به عنوان نتیجه‌ای از ترکیب (دو عامل): در معرض خطر قرار گرفتن، شرایط و وضعیت‌هایی از آسیب‌پذیری که اکنون وجود دارد، و ظرفیت یا تدابیر ناکافی برای کاهش یا سازگاری با عواقب منفی بالقوه، تعریف و توصیف می‌شوند. تأثیرات بحران می‌تواند شامل خسارات جانی، جراحات، بیماری‌ها و دیگر اثرات منفی بر سلامتی جسمی، روانی و اجتماعی افراد بوده و زیان‌های مالی، تخریب دارایی‌ها، خسارت به روند ارائه خدمات، اختلالات و فروپاشی اقتصادی و اجتماعی و کاهش کیفیت محیط‌زیست را به همراه داشته باشد.

از نظر سازمان ملل توسعه شهرها به مسائل و مشکلات بسیاری از نظر ایمنی منجر شده است، به‌گونه‌ای که این شهرها بر روی مسیرهای اصلی جریان آب، نزدیک گسل‌ها و در حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها ساخته شده‌اند (UNISDR,2009:15). این مسئله باعث بروز آسیب‌پذیریهای کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی خواهد گردید. همچنین در صورت وقوع رخدادهای طبیعی، عواملی از قبیل طراحی و ساخت‌وساز غیراصولی ساختمان‌ها، حفاظت ناکافی از دارایی‌ها، کمبود اطلاعات و آگاهی عمومی، شناسایی محدود خطرات و تدابیر آمادگی و عدم توجه به مدیریت زیست‌محیطی هوشمندانه از جمله عواملی خواهند بود که باعث تشدید اثرات زیان‌بار بلایای طبیعی خواهند بود.

آسیب‌پذیری در یک جامعه و با گذر زمان به‌طور قابل‌توجهی متغیر است. عواملی که می‌تواند میزان حساسیت یک جامعه را نسبت به فشارهای ناشی از مخاطرات بیشتر کند عبارتند از: ۱- عوامل جمعیتی نظیر رشد جمعیت، شهرنشینی، سکونتگاه‌های نزدیک نواحی ساحلی و گسل‌ها، ۲- افزایشی در دارایی‌های ملموس، که منجر به افزایش خسارات می‌گردد، ۳- وضعیت توسعه اقتصادی: فقر، فرایندهای مدرنیزاسیون ٤- عوامل سیاسی؛ تغییرات اقلیمی، تنزل و تخلیه منابع؛ ٥- تأثیرات ساختارها و پژوهش حفاظت از بحران و اثر متقابل علل مختلف بحران‌ها (حسین درخشان، ۱۳۹۰: ۲٤).

مهم‌ترین وظیفه مدیریت شهری به‌منظور کاهش اثرات مخرب آسیب‌پذیری، افزایش تابآوری و پایداری شهرها در مقابل بلایای طبیعی است. از نظر سازمان ملل متحد، پایداری به توانایی یک سیستم، جامعه یا اجتماع اشاره دارد که در مواجهه با خطرات، قادر به سازگاری از طریق مقاومت و انعطاف‌پذیری یا ایجاد تغییرات باشد. این توانایی با میزان و درجه‌ای سنجیده می‌شود که یک نظام اجتماعی بتواند خود را سازمان‌دهی کند تا ظرفیت یادگیری از بحران‌های گذشته را افزایش دهد، برای حفاظت بهتر در آینده و بهبود راهبردهای کاهش خطرپذیری (ISDR,UN, 2004:206). با توجه به قانون مدیریت بحران، پایداری عبارت است از توانایی یک نظام یا جامعه در معرض مخاطرات برای ایستادگی، تحمل و سازگاری در برابر حوادث و سوانح و بازتوانی و بازسازی مؤثر و به‌موقع جامعه آسیب‌دیده (قانون مدیریت بحران کشور، ۱۳۹۸: ۱).

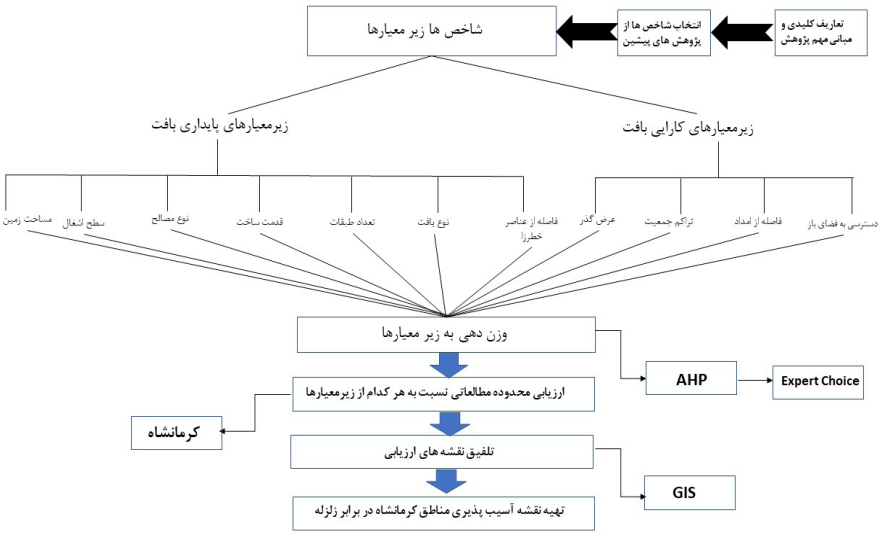


با توجه به تعاریف پایداری مهم‌ترین اقدام در جهت پایدار نمودن شهر، مدیریت بحران

قبل، حین و پس از وقوع بحران است. چرخه مدیریت بحران به مجموعه‌ای از فعالیت‌های مرتبط با مدیریت بحران گفته می‌شود که به‌صورت نمادین در قالب مراحل مختلف در یک نمودار نمایان می‌شود. هدف این مراحل، مدل‌سازی فعالیت‌ها به گونه‌ای ساده‌تر است تا بتوان به راحتی آنها را بیان کرد. این رویکرد کمک می‌کند تا مراحل مختلف مدیریت بحران بهتر و جامع‌تر درک شوند و دیدی کل‌نگرانه فراهم کند (میرزایی و همکاران، ۱۳۸۷: ۵).

با وجودی که زلزله یکی از مخربترین و پیچیده‌ترین پدیده‌های طبیعی شناخته می‌شود و در سال‌های اخیر با پیشرفت دانش بشری در زمینه شناسایی زمین‌لرزه و دلایل وقوع آن بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است، پیش‌بینی دقیق زمان وقوع آن همچنان ناممکن باقی مانده است. به همین دلیل ضروری است با برنامه‌ریزی‌های حساب‌شده و اتخاذ تمهیدات کارآمد، آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها را کاهش داده و آگاهی‌های لازم برای مقابله با زلزله را میان اقشار مختلف جامعه گسترش داد. از این‌رو، کاهش خسارات ناشی از زلزله همواره بخشی از تلاش‌های تحقیقاتی انسان بوده است. اگرچه این پژوهش‌ها اغلب بر روش‌های ساخت‌وساز متمرکز بوده و استانداردهایی برای اسکلت‌بندی، سقف، دیوارها، پی ساختمان، نما، مصالح و سایر عوامل به‌منظور تقویت مقاومت سازه‌ها در برابر زلزله تدوین شده‌اند، اما بایستی پذیرفت که بررسی زلزله تنها به واحدهای ساختمانی محدود نمی‌شود؛ بلکه فراتر از آن مسئله زلزله در سطحی گسترده‌تر، در چارچوب طراحی شهری نیز مطرح است. در حقیقت، می‌توان شهر را با هدف کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله طراحی کرد (ویسه، ۱۳۷۸: ٤). با تهیه برنامه‌های عملیاتی جامعه‌محور مبتنی بر استفاده از سرمایه‌های اجتماعی و برنامه‌ریزی صحیح قبل از وقوع سوانح و تدوین طرح‌های مدیریت بحران، ناشی از وقوع سوانح می‌توان به میزان قابل‌توجهی از تلفات و خسارات ناشی از وقوع سوانح کاست. از این‌رو به‌طور کلی میتوان با شناسایی سرمایه‌ها و گروه‌هایی اجتماعی موجود در محلات، میزان تأثیر آنها را در کاهش خسارات ناشی از وقوع زلزله از طریق مشارکت در برنامه‌های درنظر گرفته شده در محلات شهری سنجید (کلانتری و همکاران، ۱۳۹۱).

پژوهش‌های متعددی درخصوص بررسی میزان آسیب‌پذیری شهرها بر اثر زلزله انجام گردیده، اما در ارتباط با کاهش آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه در اثر زلزله احتمالی تاکنون مطالعه‌ای انجام نگردیده است. به همین‌منظور در این پژوهش به تعیین میزان آسیب‌پذیری کالبدی شهرکرمانشاه ناشی از زلزله پرداخته شده است. در شکل شماره ۳ مدل مفهومی تحقیق شرح داده شده است.



شکل شماره ۱. مدل مفهومی تحقیق

روش پژوهش

مطالعه حاضر توصیفی- تحلیلی و اهداف آن کاربردی است. داده‌های لازم در مرحله اول به‌صورت کتابخانه‌ای و اسنادی جداول آماری، طرح‌های جامع و تفصیلی شهر کرمانشاه و همچنین اطلاعات موجود در واحد سیستم اطلاعات مکانی شهرداری کرمانشاه، دستگاه‌های اجرایی، مهندسین مشاور، اسناد، مجله‌ها و کتاب‌های مرتبط با این مطالعه و نیز استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای(LANDSAT) و به‌صورت میدانی جمع‌آوری گردیده، همچنین جهت تعیین میزان اهمیت زیرمعیارها، معیارها و امتیاز شاخص‌ها با تهیه پرسشنامه‌هایی از نظرات ۳۰ نفر از کارشناسان برنامه‌ریزی شهری، شهرسازی، عمران و اعضاء هیأت علمی دانشگاه استفاده گردیده است. هدف اصلی این پژوهش ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شهر کرمانشاه با استفاده از معیارهای کالبدی شهر است. بدین‌منظور ابتدا عوامل و متغیرهای کالبدی مؤثر در برابر آسیب‌پذیری شهر ناشی از زلزله را مشخص و دسته‌بندی نموده و پس از ورود اطلاعات مکانی و توصیفی مربوط به هر زیر معیار در نرم‌افزار GIS، ذخیره، پردازش و تجزیه وتحلیل اطلاعات هر متغیر انجام و سپس نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری هر یک از زیر معیارها به تفکیک مناطق هشت‌گانه شهر تهیه گردیده است. با توجه به متفاوت بودن میزان اثر هر متغیر در خطرپذیری کالبدی شهر ناشی از زلزله به‌منظور ترکیب لایه‌ها (متغیرها) با هم و تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری کالبدی شهر، ابتدا میزان اهمیت و اولویت هر کدام از عوامل و زیر معیارهای مرتبط با آنها تعیین شده است. بدین‌منظور از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده گردیده؛ در این روش، پس از ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتبی از موضوع، برای محاسبه وزن (ضریب اهمیت) معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها، این عوامل دو به دو با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند. مبنای قضاوت در این امر مقایسه، جدول نه کمیتی توماس ال ساعتی است (زبردست، ۱۳۸۰). در این تحقیق به منظور انجام فرایند AHP جهت تعیین اوزان نهایی معیارها و زیرمعیارها و همچنین کنترل ضریب سازگاری قضاوت‌ها از نرم‌افزار Expert Choise استفاده شده است. مراحل انجام تحقیق دربندهای زیر تشریح گردیده‌اند.

تعیین معیارها، زیرمعیارها، شاخص‌ها

با در نظر گرفتن شرایط و وضعیت کنونی شهر و همچنین بررسی و مداقه در پژوهش‌های پیشین مرتبط با موضوع تحقیق، جهت تعیین عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه، ۲ معیار اصلی پایداری فیزیکی بافت و کارایی بافت در زمان بحران و همچنین ۱۱ زیرمعیار (متغیر) مساحت زمین، سطح اشغال، تراکم جمعیت، تعداد طبقات، عرض معبر، قدمت ساخت، نوع سازه و مصالح، دسترسی به فضای باز شهری، دسترسی به مراکز امدادی، فاصله از مرکز خطرزا و نوع بافت شهری به‌عنوان پارامترهای مؤثر در آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه ناشی از زمین‌لرزه تعیین و به‌منظور امکان تعیین میزان آسیب‌پذیری هر معیار نیز از شاخص‌های کمی وکیفی برگرفته از پژوهش‌های قبلی و اخذ نظر کارشناسان استفاده گردیده. با توجه به نحوهٔ تأثیرگذاری هر شاخص بر موضوع آسیب‌پذیری (ارتباط مستقیم یا معکوس)، هر شاخص به چهار پهنه آسیب‌پذیری خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم دسته‌بندی شده و با عنایت به اینکه جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری نهایی شهر در اثر زلزله بایستی خصوصیات ٤ نوع شدت آسیب‌پذیری هر شاخص جهت ترکیب لایه‌ها در GIS بصورت عددی باشند؛

برای پهنه آسیب‌پذیری کم عدد ۱، متوسط عدد۲، زیاد عدد ۳ و خیلی زیاد عدد ٤ در نظر گرفته خواهد شد (جداول ۱ و۲).

جدول شماره۱. زیرمعیارهای معیار کارایی بافت در زمان بحران

زیرمعیار	شاخص	پهنه
عرض معبر	کمتر از ۶ متر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد۴
	۶ تا ۱۲ متر	آسیب‌پذیری زیاد ۳
	۱۲تا ۲۴ متر	آسیب‌پذیری متوسط ۲
	بیش از ۲۴ متر	آسیب‌پذیری کم ۱
تراکم جمعیت	بیش از ۶۰۰ نفر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد۴
	۴۰۰ تا ۶۰۰ نفر	آسیب‌پذیری زیاد ۳
	۲۰۰ تا ۴۰۰ نفر	آسیب‌پذیری متوسط ۲
	کمتر از ۲۰۰ نفر	آسیب‌پذیری کم ۱
دسترسی به مراکز درمانی	بیش از ۱۵۰۰ متر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد۴
	۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر	آسیب‌پذیری زیاد ۳
	۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر	آسیب‌پذیری متوسط ۲
	کمتر از ۵۰۰ متر	آسیب‌پذیری کم ۱
دسترسی به ایستگاه آتش‌نشانی	**بیش از** ۱۰۰۰ متر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد۴
	۷۵۰ تا ۱۰۰۰ متر	آسیب‌پذیری زیاد ۳
	۵۰۰ تا ۷۵۰ متر	آسیب‌پذیری متوسط ۲
	کمتر از ۵۰۰ متر	آسیب‌پذیری کم ۱

جدول شماره ۱. زیرمعیارهای معیار کارایی بافت در زمان بحران

زیر معیار	شاخص مساحت فضای باز	شاخص فاصله از فضای باز	پهنه
دسترسی به فضای باز	۴۰۰۰ تا۷۵۰۰ متر مربع	بیش از ۸۰ متر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۴
		۶۰ تا ۸۰ متر	آسیب‌پذیری زیاد ۳
		۴۰ تا ۶۰ متر	آسیب‌پذیری متوسط ۲
		کمتر از ۴۰متر	آسیب‌پذیری کم ۱
	۷۵۰۰ تا۱۲۵۰۰ متر مربع	بیش از ۱۰۰متر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۴
		۸۰ تا ۱۰۰ متر	آسیب‌پذیری زیاد ۳
		۶۰ تا ۸۰ متر	آسیب‌پذیری متوسط ۲
		کمتر از ۶۰متر	آسیب‌پذیری کم ۱
	۱۲۵۰۰ تا۲۰۰۰۰ متر مربع	بیش از ۱۲۰متر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۴
		۱۰۰ تا۱۲۰ متر	آسیب‌پذیری زیاد ۳
		۸۰ تا ۱۰۰ متر	آسیب‌پذیری متوسط ۲
		کمتر از ۸۰ متر	آسیب‌پذیری کم ۱

زیر معیار	شاخص مساحت فضای باز	شاخص فاصله از فضای باز	پهنه
دسترسی به فضای باز	۲۰۰۰۰ تا۳۰۰۰۰ متر مربع	بیش از ۱۵۰متر ۱۲۵ تا۱۵۰ متر ۱۰۰ تا ۱۲۵ متر کمتر از ۱۰۰ متر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۴ آسیب‌پذیری زیاد ۳ آسیب‌پذیری متوسط ۲ آسیب‌پذیری کم ۱
	۳۰۰۰۰ تا۵۰۰۰۰ متر مربع	بیش از ۲۲۵متر ۱۷۵تا۲۲۵ متر ۱۲۵ تا ۱۷۵ متر کمتر از ۱۲۵ متر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۴ آسیب‌پذیری زیاد ۳ آسیب‌پذیری متوسط ۲ آسیب‌پذیری کم ۱
	۵۰۰۰۰ تا۱۰۰۰۰۰ متر مربع	بیش از ۳۰۰ متر ۲۵۰ تا۳۰۰ متر ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر کمتر از ۲۰۰ متر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۴ آسیب‌پذیری زیاد ۳ آسیب‌پذیری متوسط ۲ آسیب‌پذیری کم ۱
	بیش از ۱۰۰۰۰۰ متر مربع	بیش از ۴۰۰متر ۳۲۵ تا۴۰۰ متر ۲۵۰ تا ۳۲۵ متر کمتر از۲۵۰ متر	آسیب‌پذیری خیلی زیا د۴ آسیب‌پذیری زیاد ۳ آسیب‌پذیری متوسط ۲ آسیب‌پذیری کم ۱

جدول شماره ۲. زیرمعیارهای معیار کارایی فیزیکی بافت

زیرمعیار	شاخص	پهنه
مساحت زمین	کمتر از ۱۰۰متر مربع ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر مربع ۲۰۰تا۳۰۰ متر مربع بیش از ۳۰۰ متر مربع	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۴ آسیب‌پذیری زیاد ۳ آسیب‌پذیری متوسط ۲ آسیب‌پذیری کم ۱
سطح اشغال	۸۰٪ تا ۱۰۰٪ ۶۰٪ تا ۸۰٪ ۴۰٪ تا ۶۰٪ کمتر از ۴۰٪	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۴ آسیب‌پذیری زیاد ۳ آسیب‌پذیری متوسط ۲ آسیب‌پذیری کم ۱
نوع سازه	خشت و چوب آجر و آهن مصالح بنایی و شناژ اسکلت فلزی و بتنی	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۴ آسیب‌پذیری زیاد ۳ آسیب‌پذیری کم ۱ آسیب‌پذیری کم ۱
قدمت بنا	بیش از ۵۰ سال ۳۳ تا ۵۰ سال ۲۲ تا ۳۳ سال کمتر از ۲۲ سال	آسیب‌پذیری خیلی زیاد۴ آسیب‌پذیری زیاد ۳ آسیب‌پذیری متوسط ۲ آسیب‌پذیری کم ۱

زیرمعیار	شاخص	پهنه
تعداد طبقات	بیش از ۱۰ طبقه ۷ تا ۱۰ طبقه ۳ تا ۶ طبقه ۱ تا ۲ طبقه	آسیب‌پذیری خیلی زیاد۴ آسیب‌پذیری زیاد ۳ آسیب‌پذیری متوسط ۲ آسیب‌پذیری کم ۱
نوع بافت شهری	نا منظم پیوسته نا منظم نا پیوسته منظم پیوسته منظم نا پیوسته	آسیب‌پذیری خیلی زیاد۴ آسیب‌پذیری زیاد ۳ آسیب‌پذیری متوسط ۲ آسیب‌پذیری کم ۱
فاصله از خطرزا	کمتر از ۵۰ متر ۵۰ تا ۱۰۰ متر ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر بیش از ۵۰۰ متر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد۴ آسیب‌پذیری زیاد ۳ آسیب‌پذیری متوسط ۲ آسیب‌پذیری کم ۱

تهیه نقشه آسیب‌پذیری زیرمعیارها و معیارها

به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر در هر زیر معیار، اطلاعات توصیفی بناهای شهر مربوط به هریک از زیرمعیارها را وارد نرم‌افزار GIS نموده و با استفاده از دستورات این نرم‌افزار نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری هر زیرمعیار و جداول میزان آسیب‌پذیری جهت ٤ پهنه به تفکیک مناطق تهیه می‌گردند. همچنین جهت به‌دست آوردن نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر در دو معیار اصلی پایداری فیزیکی بافت و کارایی بافت در زمان بحران بایستی اطلاعات مربوط به زیرمعیارهای هر معیار اصلی در محیط GIS رویهم‌گذاری شوند. بدین‌منظور نخست اوزان نهایی زیرمعیارها با روش AHP تعیین گردد؛ این روش شامل ۵ مرحله است که عبارتند از: ۱- ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی، ۲-تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیر معیارها، ۳- محاسبه ضریب اهمیت گزینه‌ها، ٤- محاسبه امتیاز نهایی گزینه‌ها، ۵-بررسی سازگاری در قضاوت‌ها (زبردست، ۱۳۸۲: ٥٦) به‌منظور انجام روش مذکور و تعییین وزن زیر معیارها و معیارها پرسشنامه‌هایی جهت نظرخواهی از ۳۰ نفر از اعضاء هیأت علمی و کارشناسان مرتبط با موضوع شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری که بتواند کلیه اهداف و سؤالات مورد نظر تحقیق را پاسخ دهد تهیه و در مرحله بعد با گرفتن میانگین هندسی اعداد ماتریس‌های پرسشنامه، ماتریس نهایی مقایسه دودویی زیرمعیارها تشکیل و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice نسبت به تعیین وزن نهایی زیرمعیارها و همچنین کنترل ضریب سازگاری اقدام گردید (جداول شماره ۳ و ٤). وزن نهایی به‌دست آمدهٔ زیرمعیارها حاکی از آن است که معیار نوع مصالح بیشترین اهمیت را به خود اختصاص داده، با توجه به ضرایب اهمیت به‌دست آمده جهت زیرمعیارهای هر معیار اصلی با استفاده از روابط شماره ۱ و ۲ و همچنین دستور Field Calculator در نرم‌افزار GIS نقشه پهنه‌بندی و جداول کمی جهت هر دو معیار اصلی به تفکیک مناطق تهیه می‌گردد.

جدول شماره ۳. ماتریس زیر معیارهای کارایی بافت در زمان بحران

زیر معیار	مساحت زمین	سطح اشغال	نوع مصالح	قدمت ساخت	تعداد طبقات	نوع بافت	فاصله از خطرزا	وزننهایی
مساحت زمین M_1	1	2	0.5	1	2	2	4	0.178
سطح اشغال M_2	0.5	1	0.33	0.5	1	1	3	0.098
نوع مصالح M_3	2	3	1	2	3	3	7	0.309
قدمت ساخت M_4	1	2	0.5	1	2	2	5	0.183
تعداد طبقات M_5	0.5	1	0.33	0.5	1	1	3	0.098
نوع بافت M_6	0.5	1	0.33	0.5	1	1	3	0.098
فاصله از خطر زا M_7	0.25	0.33	0.16	0.2	0.33	0.33	1	0.037
CR=0.0037نسبت سازگاری				سطح اطمینان تایید				

جدول شماره ٤. ماتریس زیر معیارهای پایداری فیزیکی بافت

زیر معیار	عرض معبر	تراکم جمعیت	فاصله از امداد	دسترسی فضای باز	وزن نهایی
عرض معبر N_1	۱	۲	۵	۲	۰,۳۹۵
تراکم جمعیت N_2	۰,۵	۱	۷	۲	۰.۳۹۰
فاصله از امداد N_3	۰,۲	۰,۱۶	۱	۰,۳۳	۰.۰۶۳
دسترسی فضای باز N_4	۰,۵	۰,۵	۳	۱	۰,۱۸۷
نسبت سازگاری CR=0.004		سطح اطمینان تایید√√			

بررسی وضعیت آسیب‌پذیری کالبدی

جهت مشخص شدن وضعیت آسیب‌پذیری کالبدی شهر در اثر زلزله می‌بایستی دو معیار اصلی با یکدیگر تلفیق گردند، بدین‌منظور ابتدا ماتریس مقایسه دودویی معیارهای اصلی از طریق میانگین‌گیری از اعداد پرسشنامه براساس جدول شماره ۵ تشکیل و با استفاده از روش AHP و نرم‌افزار Expert Choice ضریب اهمیت هر یک از معیارهای اصلی تعیین و پس

از کنترل ضریب سازگاری با استفاده از رابطه شماره ۳ و به‌کار بردن دستورهای Field Calculator در محیط نرم‌افزار GIS دو لایه مذکور با هم ترکیب و نقشه نهایی آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه و جداول کمی مربوطه به تفکیک مناطق شهر در ۴ پهنه آسیب‌پذیری خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم تهیه می‌گردد، در نهایت با توجه به خروجی نقشه‌های آسیب‌پذیری و جدول کمی بدست آمده اولویت‌بندی‌های آسیب‌پذیری شهر تعیین می‌گردد.

رابطه ۱.

$K = \sum_{i=1}^{7} G_{Mi} \times M_i$ معیار پایداری فیزیکی بافت

M_i = عدد مربوط به رده آسیب‌پذیری (1 تا 4)

G_{Mi} = وزن معیار

i =عدد مربوط به هر یک از ساختمان ها (1 تا 165600)

رابطه 2.

$S = \sum_{i=1}^{4} G_{Ni} \times N_i$ معیار کارایی امداد در زمان بحران

N_i= عدد مربوط به رده آسیب‌پذیری (1 تا 4)

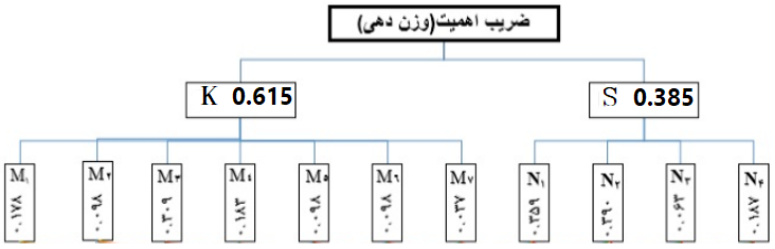
G_{Ni} = وزن معیار

i = عدد مربوط به هر یک از ساختمان ها (1 تا 165600)

رابطه 3. $T = 0.615K_{\square} + 0.385S_{\square}$ آسیب‌پذیری کالبدی شهرناشی از زلزله

جدول شماره ۵. ماتریس مقایسه معیار

معیار	پایداری فیزیکی بافت	کارایی بافت در بحران	وزن نهایی
پایداری فیزیکی بافت	۱	۱,۶	۰.۶۱۵
کارایی بافت در بحران	۰,۶۲۵	۱	۰,۳۸۵



شکل شماره ۳. وزن معیارها و زیرمعیارها در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

معیارها، زیر معیارها، شاخص‌ها

مساحت زمین: منظور از قطعه و قطعات ساختمانی، واحدهای تفکیک‌شده ملکی است که جهت ساخت‌وساز به‌کار می‌روند. هرچه مساحت قطعه‌ها بیشتر باشد، آسیب‌پذیری ناشی از زلزله کمتر است (حسین درخشان، ۱۳۹۰).

سطح اشغال بنا: سطح اشغال هر پلاک ساختمانی عبارت است از نسبت ساختمان ساخته شده در هر پلاک به مساحت عرصه آن قطعه، واضح است که با ازدیاد درصد سطح اشغال میزان نخاله ناشی از تخریب ساختمان افزایش یافته و منجر به کاهش فضای باز قطعه شده و امکان فرار و گریز

از محلـه‌ای پرخطـر و پناه‌گیـری در مکان‌هـای ایمـن را کاهـش میدهـد.

نـوع مصالـح سـازه: بدیهـی اسـت سـازه‌هایی کـه بـا مصالـح مقـاوم و اسـتاندارد بـالا سـاخته شـده‌اند، ایمنـی مناسـبی در برابـر زلزلـه داشـته و امنیـت بالایـی بـرای سـاکنان فراهـم می‌کننـد (احدنـژاد روشـتی و همـکاران، ۱۳۸۹). مقاومـت ابنیـه در مقابلـه بـا زلزلـه بـا توجـه بـه بـودن یـا نبـودن سیسـتم مقاومـت جانبـی در سـازه تعییـن می‌گـردد، بـر ایـن اسـاس بناهـای کلان‌شـهر کرمانشـاه بـا توجـه بـه معیـار نـوع مصالـح بـه سـه زیرشـاخص تقسـیم گردیده‌انـد.

قدمـت بنـا: عمـر بنـا از عوامـل بسـیار مؤثـر در آسـیب‌پذیری سـاختمان‌ها در برابـر زلزلـه اسـت؛ به‌طوری‌کـه بـه هـر میـزان قدمـت بنـا بیشـتر باشـد و دارای سـازه ضعیف‌تـری باشـد آسـیب‌پذیری در برابـر زلزلـه مسـلماً بیشـتر اسـت (علـی شـماعی، ۱۳۹۷). به‌لحـاظ قدمـت، ساخت‌وسـاز، سـاختمان‌ها در کرمانشـاه بـه ٤ بازه زمانـی تقسـیم می‌گـردد؛ دورهٔ اول سـاختمان‌ها بـا قدمـت پیـش از سـال ۱۳۵۰، دوره دوم از ۱۳۵۰ تـا ۱۳٦۷ (پایـان جنـگ تحمیلـی)، دورهٔ سـوم از ۱۳٦۷ تـا ۱۳۷۹ (بخشـنامه الـزام رعایـت اسـتاندارد ملـی ۲۸۰۰ در اسـتان) و دورهٔ چهـارم پـس از سـال ۱۳۷۹ شمسـی تاکنـون؛

نـوع بافـت: اثـر ایـن عامـل بسـیار مهـم اسـت، بافت‌هـای منظـم مقاومـت بیشـتری در مقابـل بلایـای طبیعـی بـه نسـبت بافت‌هـای نامنظـم دارنـد. همچنیـن درجـه ایمنـی بافت‌های ناپیوسـته در برابـر بلایـای طبیعـی بیشـتر از درجـه ایمنـی بافت‌هـای پیوسـته اسـت. هرچـه الگوی قطع‌بنـدی منظم‌تـر (مربـع و مسـتطیل) و دارای زوایـای منفرجـه کم‌تـری باشـد، آسـیب‌پذیری کم‌تـر اسـت (حمیـدی، ۱۳۷۳).

تعـداد طبقـات: یکـی از پارامترهـای مهـم در آسـیب‌پذیری سـاختمان‌های شـهر در مقابـل زلزلـه تعـداد طبقـات و همچنین ارتفاع سـاختمان اسـت. هرچـه تعـداد طبقـات سـاختمان بیشـتر باشـد آسـیب‌پذیری آن در برابـر زلزلـه بیشـتر اسـت (علـی شـماعی، ۱۳۹۷).

فاصلـه از مراکـز و تأسیسـات خطـرزا: قرارگیـری کاربری‌هـا بـا پتانسـیل بـالای آسیب‌رسـانی در مجـاورت سـایر کاربری‌هـا، میـزان آسـیب‌پذیری را بـالا میبـرد. بنابرایـن انتقـال این‌گونـه تأسیسـات بـه بیـرون از شـهرها یـا در نظرگرفتـن حرایـم مناسـب جهـت آنهـا، می‌توانـد راه‌حـل مناسـبی بـرای کاهـش میـزان آسـیب‌پذیری محسـوب گـردد (مجیـد ابراهیمـی، ۱۳۹٤). در ایـن تحقیـق موقعیـت مکانـی پالایشـگاه نفـت، پمـپ بنزین‌هـا، ایسـتگاه کاهـش فشـار گاز (TBS)، پمپ‌هـای گاز (CNG)، به‌عنـوان تأسیسـات خطـرزا مشـخص شـده اسـت. برمبنـای ضوابـط سـازمان محیط‌زیسـت کشـور، حداقـل حریـم پمپ‌هـای بنزیـن از سـاختمان‌های مسـکونی ۲۵ تـا ۳۵ متـر و کمتریـن حریـم ایسـتگاه گاز ۵۰ تـا ۹۰ متـر اسـت. بـا توجـه بـه ضوابـط سـازمان پیشـگیری و مدیریـت بحـران تهـران (۱۳۹۱)، فاصلـه امـن بـرای پایگاه‌هـای مدیریـت بحـران از مراکـز خطـرزا ۲۰۰ متـر اسـت. بـر همیـن اسـاس، معیـار فاصلـه از مراکـز خطـرزا بـه چهـار دسـته؛ آسـیب‌پذیری خیلـی زیـاد فاصلـه کمتـر از ۵۰ متـر، زیـاد فاصلـه از ۵۰ تـا ۱۰۰ متـر، متوسـط فاصلـه بیـن ۵۰ تـا ۱۵۰ متـر و آسـیب‌پذیری کـم فاصلـه بیشـتر از ۱۵۰ متـر تقسـیم شـده اسـت.

عـرض معبر: ایـن زیرمعیـار عامل بسـیار مهمی در زمـان فـرار، پنـاه، تخلیـه و امدادرسـانی اسـت؛ چون‌کـه عـده زیـادی از بازمانـدگان یـا تیم‌هـای امـدادی میتواننـد انتقـال یابنـد. هرچـه عـرض معابر بیشـتر باشـد امـکان ایجـاد ترافیـک عبـوری کمتـر اسـت (شـریف‌زادگان و فتحـی، ۱۳۹۰).

تراکـم جمعیتـی: مطالعـات نشـان می‌دهنـد کـه بـه هـر میـزان تراکـم جمعیتـی در شـهر کمتـر باشـد و یـا ایـن تراکـم به‌صـورت متعـادل در سـطح مناطـق و محـلات شـهری توزیـع شـده

باشـد، آسیب‌پـذیری شـهرها در مواقـع اضطـراری از جملـه زمین‌لـرزه کمتـر اسـت (Rashed &Weeks,2004).

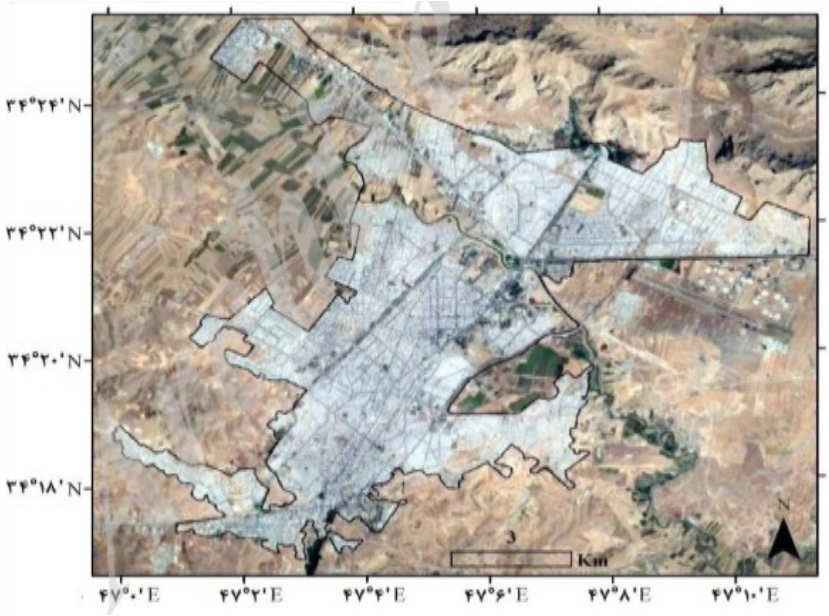
دسترسـی بـه مراکـز امـدادی: دسترسـی بـه ایسـتگاه‌های آتش‌نشـانی و مراکـز درمانـی باعـث افزایـش سـرعت عملیـات امـداد و نجـات و خدمات‌رسـانی بـه آسـیب‌دیدگان می‌شـود. به‌این‌ترتیـب بـا افزایـش فاصلـه از مراکـز درمانـی و ایسـتگاه‌های آتش‌نشـانی، امـکان آسـیب‌پذیری بیشـتر می‌گـردد (زنگی‌آبـادی و همـکاران، ۱۳۹۲). برمبنـای اسـتانداردهای موجـود هـر ایسـتگاه آتش‌نشـانی به‌طـور متوسـط بایـد محـدوده‌ای بـه شـعاع ۵۰۰ متـر بـا جمعیـت حـدود ۵۰هـزار نفـر را پوشـش دهـد. در ایـن صـورت مـدت رسـیدن بـه محـل حادثـه ۳ دقیقـه مـی شـود (Turner&Curtter,2004). حداقـل جمعیـت تحت‌پوشـش هـر بیمارسـتان در مقیـاس منطقـه‌ای ۱۰۰۰۰ خانـوار و حداکثـر جمعیـت برابـر بـا ۱۳۰۰۰ خانـوار اسـت. شـعاع دسترسـی در برخـی از منابـع ۱ الـی ۱/۵ کیلومتـر می‌باشـد (پورمحمـدی، ۱۳۹٤).

فاصلـه سـکونتگاه‌ها از فضاهـای بی‌کالبـد: فضاهـای بی‌کالبـد شـهری قادرنـد در زمانـی کـه احتمـال وقـوع زمین‌لـرزه وجـود دارد به‌عنـوان فضاهـای پناه‌گیـری و بعـد از وقـوع زلزلـه نیـز به‌عنـوان مراکـز امـدادی و درمانـی و یـا بـرای فـرود اضطـراری هلیکوپترهـا مـورد اسـتفاده قـرار گیرنـد. ایـن فضاهـا بهتـر اسـت در محل‌هـای کم‌خطـر از نظـر زلزلـه قـرار گیرنـد (کیومـرث حبیبـی، ۱۳۹۰). بـر اسـاس اسـتانداردهای بین‌المللـی جهـت ایجـاد اردوگاه هـای امـداد و نجـات و اسـکان فـوری و موقـت رعایـت بعضـی از اصـول از جملـه مجـاورت بـا معابـر بـا عـرض زیـاد و دسترسـی مناسـب، فاصلـه از گسـل‌ها و رودخانه‌هـا، محدودیـت شـیب اراضـی از ۱ تـا ۱۰ درصـد و نیـز رعایـت سـرانه ۳۰ تـا ۳۵ متـر مربـع جهـت هـر نفـر ضـروری می‌باشـد. در ایـن تحقیـق بـا توجـه بـه نقشـه شـیب شهرکرمانشـاه و همچنیـن رعایـت الزامـات فـوق، ابتـدا کلیـه زمین‌هـا و مکان‌هایـی کـه جهـت اسـکان موقـت و فضـای امـداد و نجـات مناسـب بـوده شناسـایی و نقشـه فضاهـای بـاز شـهری تهیـه گردیـده اسـت و سـپس بـا توجـه بـه مسـاحت هـر قطعـه فضـای بـاز و همچنیـن سـرانه ۳۰ تـا ۳۵ متـر جهـت اسـکان موقـت شـهروندان، ظرفیـت اسـکان هـر فضـای بـاز محاسـبه گردیـده اسـت.

٤- منطقـه مورد مطالعه

شـهر کرمانشـاه مرکـز اسـتان و در ۱۷ ° ۳۴ تـا ۲۶ ° ۳۴عـرض شـمالی و ۵۹ ° ۴۶ تـا ۱۴ ° ۴۷طـول شـرقی در نواحـی میانـی اسـتان کرمانشـاه قـرار گرفتـه (شـکل شـماره ۳-۱) و حداکثـر و حداقـل ارتفـاع آن از تـراز دریـای آزاد ۱۶۰۴ متـر تـا ۱۳۰۰ متـر اسـت. کرمانشـاه نهمیـن شـهر پرجمعیـت ایـران اسـت برمبنـای آخریـن اطلاعـات مرکـز آمـار کشـور جمعیـت شـهر کرمانشـاه در سـال ۱۴۰۰شمسـی، ۱۰۳۲۰۰۰ بـوده اسـت. مسـاحت شـهر کرمانشـاه ۱۰۳۴۰ هکتـار اسـت. کرمانشـاه دروازه زاگـرس و یکـی از شـاهراه‌های ارتباطـی شـرق و غـرب و قدیمی‌تریـن راه عبـور زائـران عتبـات عالیـات اسـت کـه بـه همیـن سـبب تأثیـرات فرهنگـی و معنـوی برجـا گـذارده اسـت. رشـته کـوه زاگـرس کـه فـلات ایـران را از سـرزمین‌های همسـایه جـدا کـرده اسـت بـه دشـت‌های وسـیع و کوه‌هـای عمدتـاً مجـزا و دره‌هـای وسـیعی منتهـی می‌شـود کـه از قدیـم بـرای رسـیدن بـه میـان‌رودان مـورد اسـتفاده قـرار گرفتـه اسـت. فاصلـه زمینـی شـهر کرمانشـاه تـا بغـداد، ۳۹۰کیلومتـر و تـا تهـران، ۵۰۵ کیلومتـر اسـت.

شکل شماره ٤. موقعیت مناطق ۸ گانه شهر کرمانشاه



شکل شماره ٥. عکس هوایی شهر کرمانشاه

لرزه‌خیزی و گسل‌ها

گسل زاگرس مرتفع

این گسل با درازای ۱۳۷۵کیلومتر (بربریان، ۱۹۹۵) و راستای شمال غربی- جنوب شرقی و با شیب به سوی شمال شرقی، از نوع راندگی است. این گسل در طول کمربند زاگرس امتداد دارد.

گسل پیشانی (جبهه) کوهستان زاگرس

گسل پیشانی کوهستان زاگرس از پاره‌های گسلی گوناگون با طول‌های متفاوت ۱۵ تا ۱۱۵ کیلومتری تشکیل شده است و در جمع درازایی در حدود ۱۳۵۰ کیلومتر دارد (بربریان، ۱۹۹۵). راستای کلی این گسل، شمال غرب- جنوب شرق با شیب به سوی شمال شرق است. سازوکار این گسل راندگی (فشاری) میباشد (بربریان، ۱۹۹۵). رویداد زمینلرزه تاریخی بهار ۳۷۷ هجری شمسی (۹۵۸/۰۴ میلادی) سرپل ذهاب با بزرگای برآورد شده ۶/۳ در مقیاس امواج گشتاوری(MW) و شدت 8 (VIII) در مقیاس اصلاح شدهٔ مرکالی را به گسل پیشانی کوهستان نسبت می‌دهد.

گسل صحنه

گسل صحنه با طول حدود 100 کیلومتر و راستای شمال غرب- جنوب شرق و شیب به سمت جنوب غرب در حوالی صحنه در استان کرمانشاه امتداد دارد. سازوکار این گسل راستالغز راست‌بر است (چالنکو و برو، 1974). گسل صحنه از جنوب شرق به گسله کازرون و از شمال غرب به گسل مروارید ختم میشود.

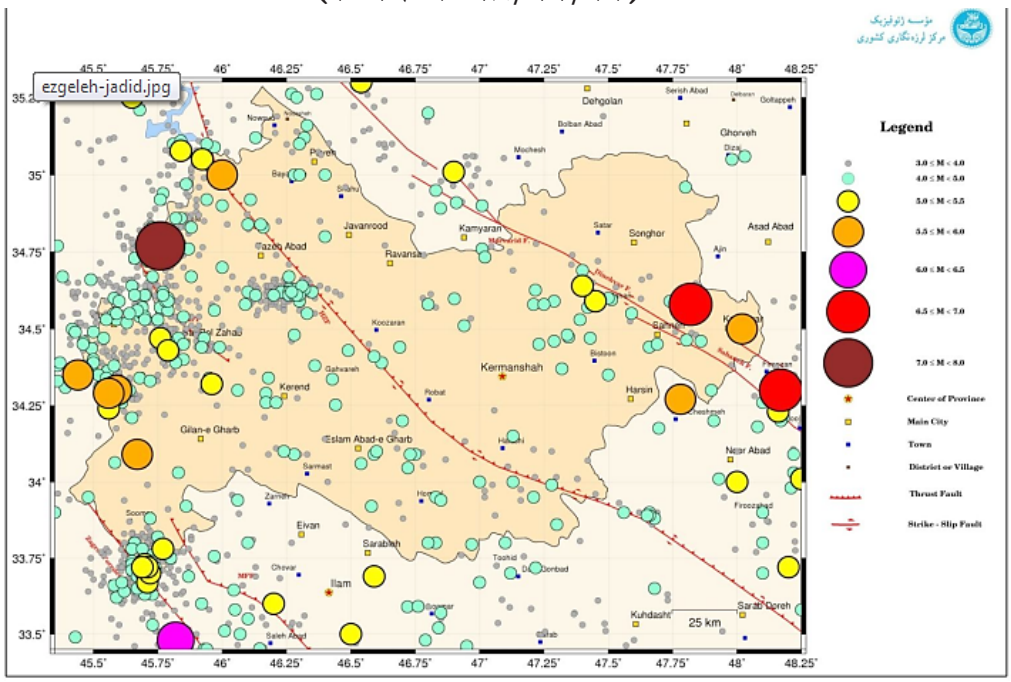
گسل مروارید

این گسل با طول حدود ۱۵۰ کیلومتر (چالنکو و برو، ۱۹۷٤) و با راستای شمال غرب- جنوب شرق با شیب به سوی شمال شرق در شمال کامیاران و غرب پاوه قرار دارد (شکل۳-۲۵). سازوکار این گسل راستالغز راستبر است، هرچند که جنبش قدیمی راندگی نیز برای آن متصور است (شیخ الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲).

زمین‌لرزه‌های تاریخی استان کرمانشاه

- زمین‌لرزه هفتم اردیبهشت ۳۸۷ شمسی (۲۷ آوریل ۱۰۰۸ میلادی) دینور با بزرگی تقریبی ۷ ریشتر ۱۶ هزار تن در اثر زمین‌لرزه و زمین‌لغزش‌های ناشی از آن جان خود را از دست دادند.
- زمین‌لرزه ۱۸۷۲/۰۶ میلادی با بزرگی تقریبی ۶/۱، فارسینج استان کرمانشاه را لرزاند و ۱۵۰۰ نفر کشته شدند.
- زمین‌لرزه ۹۵۸/۰۴ میلادی با بزرگی تقریبی ۶، سرپل ذهاب کنونی را ویران کرد و بسیاری را در مناطق کوهستانی کشت.
- زلزله ۲۱ آبان‌ماه ۱۳۹۶ شمسی (۱۲ نوامبر ۲۰۱۷ میلادی) ازگله، سرپل ذهاب با بزرگی ۷/۳
- زمین‌لرزه‌های ۲۱ دیماه ۱۳۹۶ شمسی (۱۱ ژانویه ۲۰۱۸ میلادی) سومار با بزرگی ۶
- زمین‌لرزه ۳۱ تیرماه ۱۳۹۷ شمسی (۲۲ ژوئیه ۲۰۱۸ میلادی) تازه‌آباد با بزرگی ۵/۷
- زمین‌لرزه ۴ شهریورماه ۱۳۹۷ شمسی (۲۵ اگوست ۲۰۱۸ میلادی) تازه‌آباد با بزرگی ۵/۹

شکل شماره ٦. نقشه گسل‌ها و زمین‌لرزه‌های دستگاهی استان کرمانشاه (۲۰۱۹-۲۰۱۸/۱۱/۲۲)

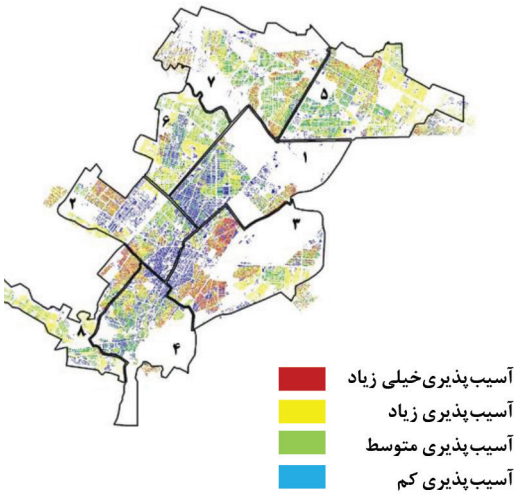


مأخذ: موسسه ژئوفیزیک مرکز لرزه‌نگاری کشور، ۱۳۹۷

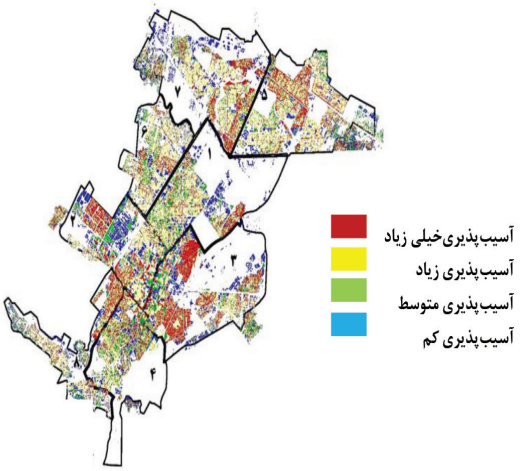
یافته‌های پژوهش

مساحت زمین: نقشه‌ی آسیب‌پذیری (شکل شماره۷) زیرمعیار مساحت زمین و جداول مربوطه نمایانگر آن است که ۳۲/۶۳ درصد از بناهای شهر در پهنهٔ آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۵۰۸/ ۴۱درصد آسیب‌پذیری زیاد، ۹۷۸/ ۱۷درصد آسیب‌پذیری متوسط و ۸۸۵/ ۷درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری کم قرار دارند. در این زیر معیار مناطق سه و هفت و دو به ترتیب دارای بالاترین میزان آسیب‌پذیری خیلی زیاد بوده و کم‌ترین درصد آسیب‌پذیری خیلی‌زیاد به ترتیب مربوط به منطقه یک و سپس شش است.

سطح اشغال بنا: با بررسی نقشه آسیب‌پذیری و جدول مربوطه در زیر معیار سطح اشغال بنا مشخص می‌گردد که میزان ۳۵/۷۳ درصد از ساختمان‌های شهر شامل آسیب‌پذیری خیلی‌زیاد، ۴۸/۸۳۶ درصد آسیب‌پذیری زیاد، ۸/۹۲۸ درصد آسیب‌پذیری متوسط و ۶/۵۱۱ درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری کم هستند. بالاترین میزان آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لرزه با در نظر گرفتن معیار سطح اشغال مربوط به منطقه سه و سپس منطقه پنج و کم‌ترین آسیب‌پذیری نیز مربوط به مناطق شش و سپس چهار شهر است (شکل شماره ۸).

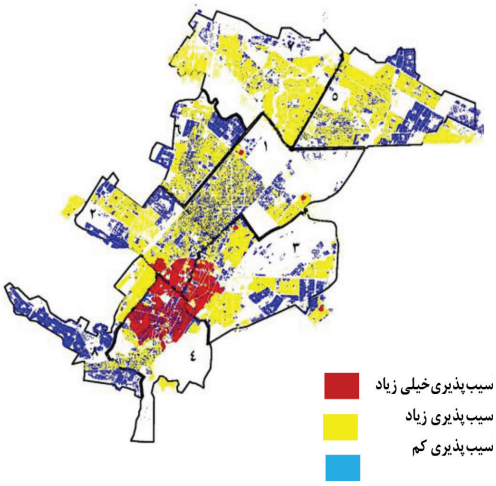


شکل شماره ۷. نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیرمعیار مساحت زمین

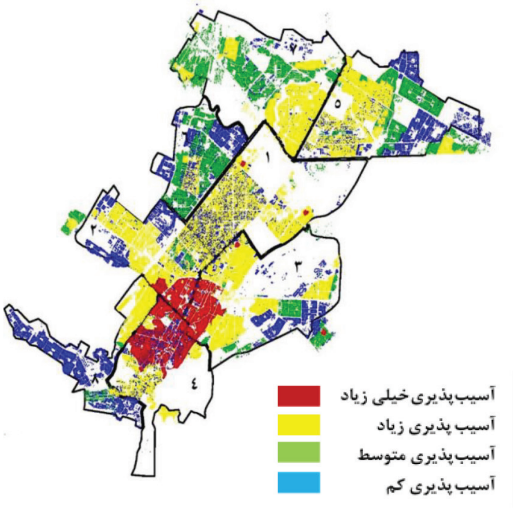


شکل شماره ۸. نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیرمعیار سطح اشغال بنا

نوع مصالح سازه: با بررسی نقشه آسیب‌پذیری و جدول مربوطه در زیرمعیار سطح اشغال بنا مشخص می‌گردد که میزان ۳۵/۷۳ درصد از ساختمان‌های شهر شامل آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۴۸/۸۳۶ درصد آسیب‌پذیری زیاد، ۸/۹۲۸ درصد آسیب‌پذیری متوسط و ۶/۵۱۱ درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری کم هستند. بالاترین میزان آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لرزه با درنظر گرفتن معیار سطح اشغال مربوط به منطقه سه و سپس منطقه پنج و کم‌ترین آسیب‌پذیری نیز مربوط به مناطق شش و سپس چهار شهر است(شکل شماره ۹) .



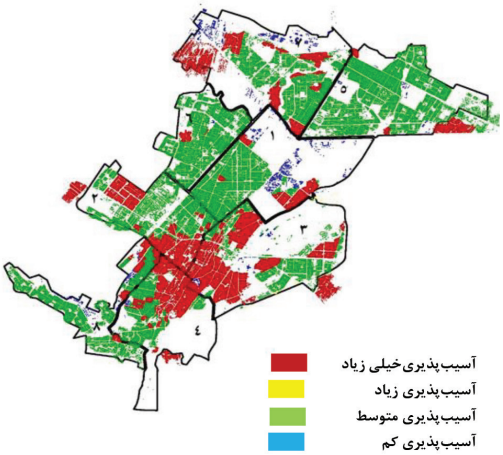
شکل شماره ۹. نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیر معیار نوع مصالح



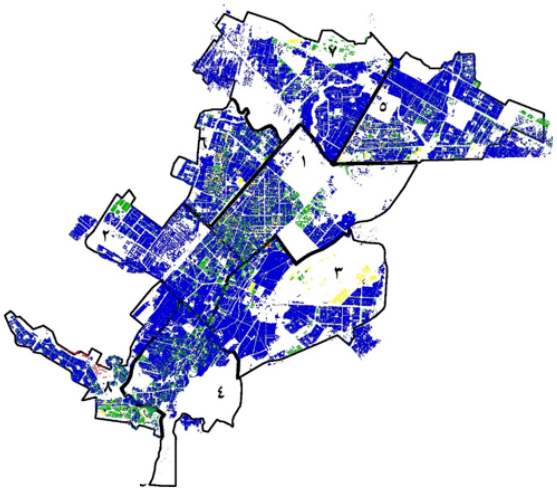
شکل شماره ۱۰. نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیر معیار قدمت بنا

نوع بافت : نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری نشان می‌دهد که ۴۲/۵۵۶ درصد از ساختمان‌های شهر دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد بوده، یعنی در بافت منظم پیوسته قرار دارند، ۰/۰۰۴ درصد آسیب‌پذیری زیاد، ۵۷/۳۰۷درصد آسیب‌پذیری متوسط و ۰/۱۳۳درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری کم هستند. آسیب‌پذیرترین ساختمان‌ها از نظر نوع بافت در منطقه ۳ شهر و پس از آن به ترتیب در منطقه ۲ و ۷ کرمانشاه واقع شده‌اند که این مناطق بیشتر شامل بافت قدیمی و فرسوده و همچنین محله‌های حاشیه‌نشین و اسکان غیررسمی هستند. ۵۷/۳درصد از بناها نیز در بافت شهری با آسیب‌پذیری متوسط یعنی در بافت شهری منظم پیوسته واقع شده‌اند که از نظر تعداد بالاترین تعداد بناهای شهر کرمانشاه را شامل می‌شوند و اکثراً در مناطق شهری ۷، ۶، ۵، ۱و ۸ شهر قرار گرفته‌اند(شکل شماره ۱۱).

تعداد طبقات: نقشه آسیب‌پذیری زیر معیار طبقات نشان می‌دهدکه ۰/۰۲۷ درصد از ساختمان‌های شهر دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۱/۲۵درصد آسیب‌پذیری زیاد، ۶/۷۱۵درصد آسیب‌پذیری متوسط و ۹۲/۰۱ درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری کم هستند. ساختمان‌های بلند مرتبه بیشتر در مناطق ۱ و ۵ و بیشترین تعداد ساختمان‌های ۱ و ۲ طبقه در منطقه ۳ و ۵ هستند(شکل شماره ۱۲).



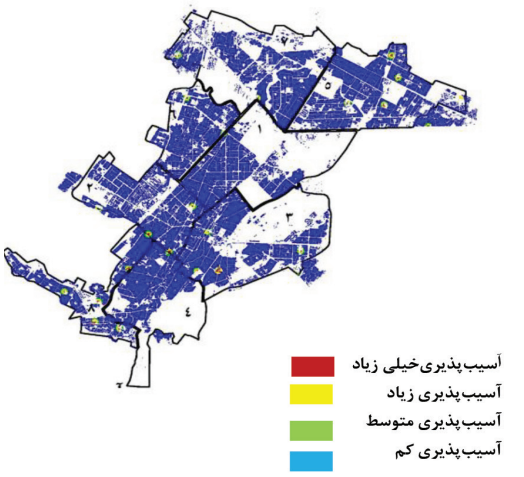
شکل شماره ۱۱: نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیر معیار نوع بافت



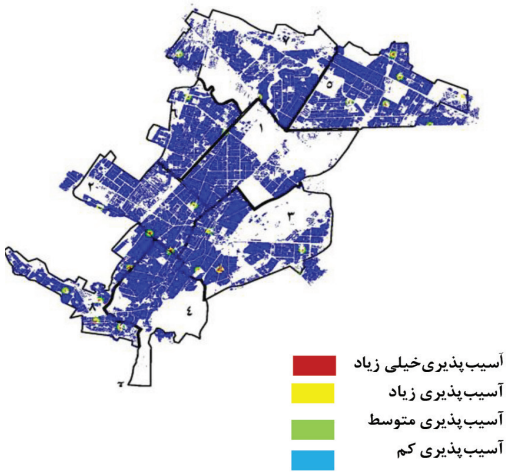
شکل شماره ۱۲: نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیر معیار طبقات

فاصله از مراکز و تأسیسات خطرزا:
نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری فاصله از مراکز خطرزا، شرایط آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر کرمانشاه را در اثر نزدیکی به این مراکز نشان می‌دهد (شکل‌های شماره ۱۳ و ۱٤). از لحاظ این معیار، ٤۱۲ /۰ درصد از ساختمان‌های شهر دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۱/۲۷۵ درصد آسیب‌پذیری زیاد، ۲/۱۷٦ درصد آسیب‌پذیری متوسط و ۹٦/۱۳۷

درصد پهنهٔ آسیب‌پذیری کم هستند. بیشترین اماکن آسیب‌پذیری به لحاظ نزدیکی به پمپ‌های بنزین و گاز در مناطق سه و هفت شهر و بیشترین بناهای آسیب‌پذیر با توجه به نزدیکی به ایستگاه‌های گاز (BTS) در مناطق شهری پنج و هشت واقع گریده‌اند.



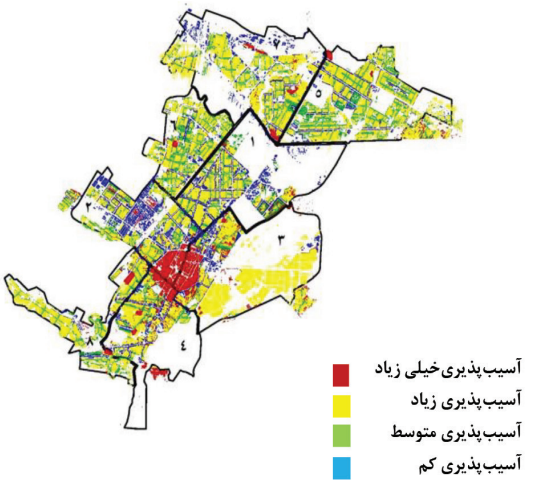
شکل شماره ۱۳. نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیر معیار فاصله از ایستگاه گاز



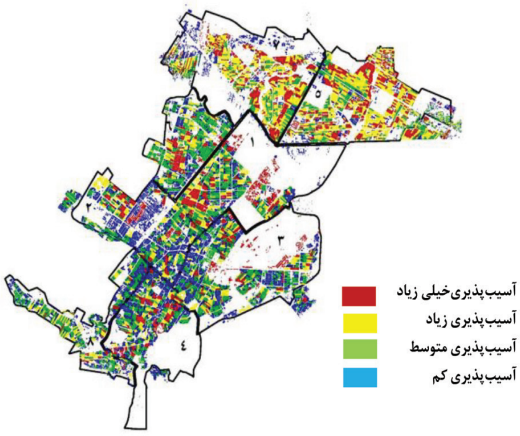
شکل شماره ۱۴. نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیر معیار فاصله از پمپ بنزین

عرض معبر: با بررسی نقشه آسیب‌پذیری عرض معابر مشخص گردید که ۱۱/۳۰۶ درصد از ساختمان‌های شهر دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۶۶/۷۶۵ درصد زیاد، ۱۴/۲۰۸درصد متوسط و ۷/۷۲۲ درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری کم هستند. بیش‌ترین درصد آسیب‌پذیری در زیرمعیار عرض معبر به ترتیب در مناطق سه، چهار و هفت و کم‌ترین میزان مربوط به منطقه شش کرمانشاه است (شکل شماره ۱۵).

تراکم جمعیتی: نقشه آسیب‌پذیری معیار تراکم جمعیت نشان می‌دهد که ۲۱/۱۹۶ درصد از ساختمانهای شهر دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۲۵/۷۸۳ درصد آسیب‌پذیری زیاد، ۳۱/۸۵ درصد آسیب‌پذیری متوسط و ۲۱/۱۷ درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری کم هستند. بیش‌ترین تعداد ساختمان‌ها با آسیب‌پذیری خیلی زیاد ناشی از معیار تراکم جمعیت در منطقه پنج و سپس در منطقه هفت شهر و کم‌ترین میزان نیز به ترتیب مناطق شهری هشت و شش شهر هستند (شکل شماره ۱۶).

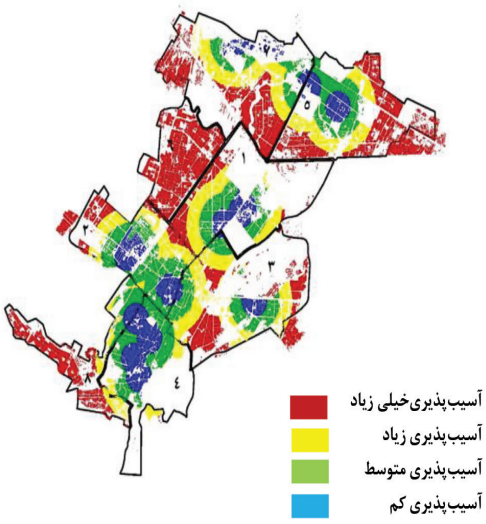


شکل شماره ۱۵. نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیر معیار عرض معبر

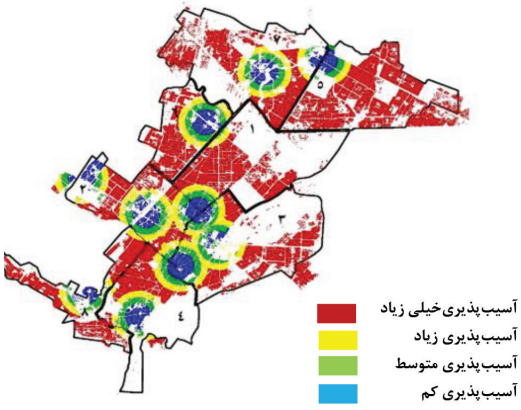


شکل شماره ۱۶. نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیرمعیار تراکم جمعیت

دسترسی به مراکز امدادی: بررسی نقشه‌های آسیب‌پذیری فاصله از مراکز آتش‌نشانی و درمانی بیانگر آن است که کمبود مراکز درمانی به ترتیب بیشتر در مناطق سه، پنج، هفت و شش شهری و کمبود ایستگاه‌های آتش‌نشانی به‌ترتیب بیشتر در مناطق پنج، هفت، هشت و یک شهر کرمانشاه است. به‌لحاظ دسترسی به مراکز درمانی ۴۱/۵۱۱ درصد از ساختمان‌های شهر دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۲۴/۴۹۸ درصد آسیب‌پذیری زیاد، ۲۳/۷۸۸ درصد آسیب‌پذیری متوسط و ۱۰/۲۰۴ درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری کم هستند و از نظر دسترسی به ایستگاه‌های آتش‌نشانی نیز ۷۰/۲۸۸ درصد از ساختمان‌های شهر دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۱۰/۵۹۶ درصد زیاد، ۹/۸۷۵ درصد متوسط و ۹/۳ درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری کم هستند (شکل‌های شماره ۱۷ و ۱۸).

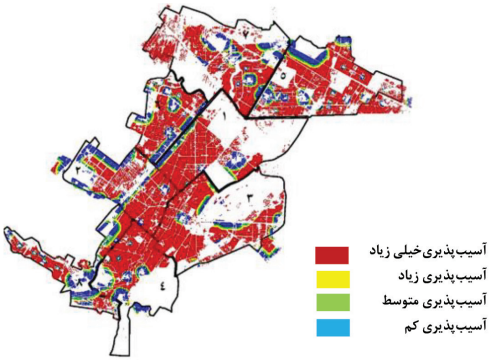


شکل شماره ۱۷. نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیر معیار دسترسی مراکز درمانی



شکل شماره ۱۸. نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زیر معیار دسترسی آتش‌نشانی

فاصله سکونتگاه‌ها از فضاهای بی‌کالبد: بررسی نقشه آسیب‌پذیری زیر معیار فاصله سکونتگاه‌ها از فضاهای بی‌کالبد، نشانگر آن است که ۷۱/۵۳۶ درصد از ساختمانهای شهر دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۶/۳۶۷ درصد زیاد، ۷/۵۳۸ درصد متوسط و ۱۴/۵۵۹ درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری کم هستند. بر اساس بررسی‌ها در این معیار بیش‌ترین مقدار آسیب‌پذیری ناشی از کمبود فضاهای باز شهری مربوط به منطقه سه شهر و سپس مناطق پنج و هفت شهرکرمانشاه بوده و کمترین میزان آسیب‌پذیری در مناطق هشت و شش است(شکل شماره ۱۹).



شکل شماره ۱۹. نقشه آسیب‌پذیری شهر ناشی از زیر معیار دسترسی به فضای باز

جدول شماره ۶. درصدآسیب‌پذیری در پهنه خیلی زیاد زیر معیارها در مناطق شهرکرمانشاه بر مبنای تعداد ساختمان

زیرمعیار / منطقه	مساحت زمین	سطح اشغال	نوع مصالح	قدمت بنا	تعدادطبقات	نوع بافت	فاصله ازپمپ بنزین	فاصله ازایستگاه گاز	تراکم جمعیت	فاصله از درمانی	فاصله از آتشنشانی	فاصله از فضای باز	عرض معبر
منطقه یک	1.62	2.523	0.195	0.196	0.017	2.371	0.052	0.000	1.766	1.605	6.870	7.127	0.920

زیرمعیار / منطقه	منطقه دو	منطقه سه	منطقه چهار	منطقه پنج	منطقه شش	منطقه هفت	منطقه هشت	مجموع	MAX	منطقه بحرانی
مساحت زمین	4.10	12.0	2.65	3.61	0.48	5.01	3.13	32.6	12.0	سه
سطح اشغال	4.425	11.145	2.632	5.503	1.369	5.431	2.697	35.725	11.145	سه
نوع مصالح	0.771	2.648	5.314	0.000	0.000	0.000	0.000	8.928	5.314	چهار
قدمت بنا	0.791	2.690	5.399	0.000	0.000	0.000	0.000	9.077	5.399	چهار
تعدادطبقات	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.004	0.027	0.017	یک
نوع بافت	7.025	16.267	5.404	1.531	0.502	7.177	2.279	42.556	16.267	سه
فاصله ازپمپ بنزین	0.014	0.091	0.051	0.035	0.032	0.093	0.043	0.412	0.093	هفت
فاصله ازاستگاه گاز	0.031	0.032	0.001	0.052	0.011	0.010	0.048	0.184	0.052	پنج
تراکم جمعیت	1.687	2.374	1.439	6.722	1.031	5.701	0.477	21.196	6.722	پنج
فاصله از درمانی	2.726	8.623	0.022	7.950	8.366	7.854	4.364	41.511	8.623	شش
فاصله از آتشنشانی	4.282	10.945	5.368	16.104	4.928	9.858	7.408	65.761	16.104	پنج
فاصله از فضای باز	6.405	16.540	6.494	13.431	5.308	11.363	4.869	71.536	16.540	سه
عرض معبر	1.283	2.751	2.315	0.940	0.264	1.653	1.181	11.306	2.751	سه

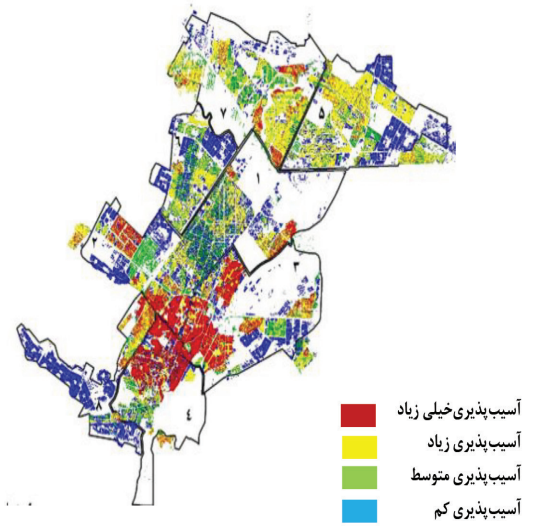
شکل شماره ۲۰. نمودار مقایسه زیرمعیارها مورد بررسی از نظر درصد فراوانی در شاخص‌های خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم

معیار پایداری فیزیکی بافت

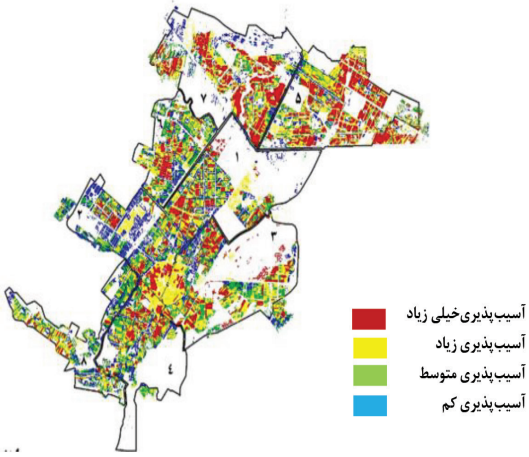
معیار پایداری فیزیکی بافت شامل ۷ زیر معیار مساحت زمین، سطح اشغال، نوع مصالح، قدمت بنا، تعداد طبقات، نوع بافت و فاصله از مراکز خطرزا است. با بررسی نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری معیار پایداری فیزیکی بافت مشخص می‌گردد که ۳۴/۲۷ درصد از ساختمان‌های شهر در این معیار دارای آسیب‌پذیری با شدت خیلی زیاد، ۱۰/۴درصد ۳۵/۰۴۴درصد شدت زیاد، شدت متوسط و ۲۰/۲۸۶درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری با شدت کم هستند. در این معیار آسیب‌پذیرترین مناطق به ترتیب مناطق سه، چهار و دو و کم‌ترین آسیب‌پذیری به‌ترتیب مربوط به مناطق شش و یک است (شکل شماره ۲۱).

معیار کارایی بافت در زمان بحران

معیار کارایی بافت در زمان بحران شامل ۴ زیر معیار عرض معبر، تراکم جمعیت، فاصله از مراکز امدادی و دسترسی به فضای باز است. پس از وزن‌دهی زیر معیارها با روش AHP و تلفیق آنها با استفاده از نرم‌افزار GIS نقشه آسیب‌پذیری معیار پایداری فیزیکی بافت تهیه و بر اساس آن مشخص گردید که ۳۳/۰۸۳ درصد از ساختمان‌های شهر دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد، ۳۱/۹۳۱ درصد زیاد، ۲۳/۱۷٤ درصد متوسط و ۱۱/۸۱۲ درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری کم هستند. در این معیار آسیب‌پذیرترین مناطق به ترتیب مناطق پنج، هفت و سه و کم‌ترین آسیب‌پذیری به ترتیب مربوط به مناطق هشت و شش است(شکل شماره ۲۲).



شکل شماره ۲۲: نقشه آسیب‌پذیری معیار کارایی بافت در زمان بحران

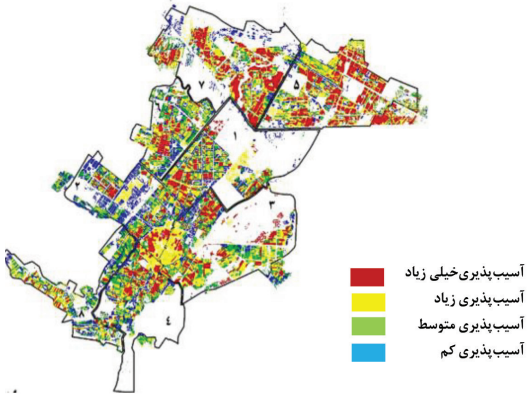


شکل شماره ۲۱: نقشه آسیب‌پذیری معیار پایداری فیزیکی بافت

آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه در اثر زلزله

از تلفیق دو معیار اصلی پژوهش با اعمال ضرایب اهمیت هر یک در نرم‌افزار GIS و ترسیم نقشه پهنه‌بندی و جداول آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه در اثر زمین‌لرزه مشخص گردید که ۲۳/۷۸۴درصد

از ساختمان‌های شهر کرمانشاه در پهنهٔ آسیب‌پذیری با شدت خیلی زیاد، ۳۴/۰۹۷ درصد بناها در پهنهٔ آسیب‌پذیری با شدت زیاد، ۲۲/۹۹۴ درصد در پهنهٔ با شدت متوسط و ۱۹/۱۲۵ درصد در پهنهٔ آسیب‌پذیری با شدت کم قرار دارند. در بین مناطق شهر کرمانشاه منطقه سه شهری آسیب‌پذیرترین منطقه و پس از آن مناطق شهری هفت، چهار و دو و سپس مناطق پنج، یک، هشت و شش به لحاظ آسیب‌پذیری خیلی زیاد دارای بیش‌ترین تعداد فراوانی ساختمان‌ها هستند (شکل شماره ۲۳).



شکل شماره ۲۳. نقشه آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه در اثر زلزله

جدول شماره ۷. آسیب‌پذیری کالبدی شهر کرمانشاه در اثر زلزله (تعداد ساختمان)

پهنه / منطقه	آسیب‌پذیری خیلی زیاد	آسیب‌پذیری زیاد	آسیب‌پذیری متوسط	آسیب‌پذیری کم	آسیب‌پذیری خیلی زیاد٪	آسیب‌پذیری زیاد٪	آسیب‌پذیری متوسط٪	آسیب‌پذیری کم٪
منطقه یک	1957	4516	4721	2704	1.175	2.711	2.834	1.623
منطقه دو	4529	6422	3986	3305	2.719	3.855	2.393	1.984
منطقه سه	14977	10545	3653	4737	8.991	6.331	2.193	2.844
منطقه چهار	6724	3811	2748	1476	4.037	2.288	1.650	0.886
منطقه پنج	2271	14638	7896	5850	1.363	8.788	4.740	3.512
منطقه شش	386	2205	6032	5313	0.232	1.324	3.621	3.190
منطقه هفت	7839	10382	6315	620	4.706	6.233	3.791	0.372
منطقه هشت	935	4277	2950	7852	0.561	2.568	1.771	4.714
مجموع	39618	56796	38301	31857	23.784	34.097	22.994	19.125
MAX	14977	14638	7896	7852	8.991	8.788	4.740	4.714
منطقهMAX	سه	پنج	پنج	هشت	سه	پنج	پنج	هشت

نتیجه‌گیری

با بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی شدت آسیب‌پذیری کالبدی در اثر زلزله نتیجه می‌گیریم که شهر کرمانشاه به‌لحاظ زیرمعیارها در زیرمعیارهای دسترسی به فضای باز و فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی بدترین وضعیت را دارد. به‌گونه‌ای که ۷۱/۵۳ درصد از ساختمان‌ها (۱۱۹۱۵۹ ساختمان) از نظر دسترسی به فضای باز و ۶۵/۷۶ درصد (۱۰۹۵۳۹ ساختمان) به‌لحاظ دسترسی به مراکز آتش‌نشانی در پهنه آسیب‌پذیری خیلی زیاد هستند. در این دو زیرمعیار بدترین وضعیت به‌ترتیب مربوط به مناطق سه، پنج و هفت است. زیرمعیارهای نوع بافت، دسترسی به مراکز درمانی و سطح اشغال در پهنه آسیب‌پذیری خیلی زیاد هر یک با فراوانی بیش از ۳۵ تا ۴۳ درصد در رتبه دوم قرار دارند، در این زیرمعیارها آسیب‌پذیرترین مناطق شهر مناطق سه، هفت و دو هستند. زیر معیارهای مساحت زمین و تراکم جمعیت با فراوانی بالای ۲۰ درصد در ردهٔ سوم آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند و زیرمعیارهای

عـرض معبـر، قدمـت بنـا و نـوع مصالـح در ردهٔ چهـارم درصـد فراوانـی آسـیب‌پذیری هسـتند.

در معیـار پایـداری فیزیکـی بافـت، ۳۴/۲۷درصـد از بناهـای شـهر در پهنـهٔ آسـیب‌پذیری خیلـی زیـاد و ۳۵/۰۴ درصـد در پهنـهٔ آسـیب‌پذیری زیـاد واقـع شـده‌اند کـه جمعـاً ۱۱۵۴۵۹ سـاختمان (۶۹/۳۱ درصـد) از ۱۶۶۵۰۰ سـاختمان شـهر را دربرمی‌گیـرد کـه عـدد قابـل توجـه و تأملـی اسـت. در ایـن معیـار آسـیب‌پذیرترین مناطـق شـهر مناطـق به‌ترتیـب مناطـق سـه، چهـار و دو هسـتند. در معیـار کارایی بافـت در زمـان بحـران کـه بیش‌تریـن اثـر آن در مرحلـه حیـن بحـران و کاهـش تلفـات در زمـان بحـران اسـت؛ ۳۳/۰۸درصـد از سـاختمان‌های شـهر در پهنـهٔ آسـیب‌پذیری خیلـی زیـاد و ۳۱/۹۳ درصـد در پهنـهٔ آسـیب‌پذیری زیـاد قـرار گرفته‌انـد. در ایـن معیـار جمعـاً ۱۰۸۲۹۵ سـاختمان از کل بناهـای شـهر (۶۵/۰۱ درصـد) در وضعیـت آسـیب‌پذیری خیلـی زیـاد و زیـاد قـرار دارنـد کـه بسـیار عـدد بالایـی اسـت. در ایـن معیـار بدتریـن وضعیـت بـه ترتیـب مربـوط بـه مناطـق پنـج، هفـت و سـه اسـت. به‌لحـاظ آسـیب‌پذیری کالبـدی (کلـی) شـهر در اثـر زلزلـه احتمالـی، ۳۹۶۱۸سـاختمان در پهنـه آسـیب‌پذیری خیلـی زیـاد و ۵۶۷۹۶ سـاختمان در پهنـه آسـیب‌پذیری زیـاد قـرار گرفته‌انـد و ایـن بدین‌معنـی اسـت کـه ۹۶۴۱۴ سـاختمان از ۱۶۶۵۰۰ سـاختمان شـهر بـا درصـد فراوانـی ۵۷/۸۸۱ درصـد در پهنـه آسـیب‌پذیری خیلـی زیـاد و زیـاد واقـع شـده‌اند. اعـداد نهایـی به‌دسـت آمـده از ایـن تحقیـق بیانگـر ایـن واقعیـت تلـخ اسـت کـه در صـورت وقـوع زلزلـه، بیـش از نیمـی از سـاختمان‌های شـهر کرمانشـاه دچـار آسـیب‌پذیری بـا شـدت خیلـی زیـاد و زیاد می‌شـوند کـه در صـورت عـدم برنامه‌ریـزی، سیاسـت‌گذاری علمـی و نهایتـاً عـدم اجـرای برنامه‌هـای عملیاتـی صحیـح و سـریع، تلفـات و خسـارات ناشـی از رخـداد زلزلـه فاجعه‌بـار و غیرقابل‌جبـران خواهـد بـود.

منابع:

احدی‌نـژاد، محسـن (۱۳۹۲) ارزیابـی عوامـل درونـی تأثیرگـذار و آسـیب‌پذیری سـاختمان‌های شـهر در برابـر زلزلـه بـا اسـتفاده GIS نشـریه: آمایـش محیـط، سـال۱۳۹۲، دوره٦، شـماره ۲۰، صـص ۲۳-۵۲.

پورمحمـدی، امیـر و همـکاران (۱۳۹۲) توسـعه چارچـوب تحلیلـی مبتنـی بـر GIS بـرای ارزیابـی دوام شـهری در برابـر زلزلـه در مـورد تهـران، فصلنامـه کاهـش افتـراق فاجعه‌هـا، ۸، صـص ۹۱-۱۰۵.

جمعیـت هلال‌احمـر جمهـوری اسـلامی ایـران، سـازمان جوانـان (۱۳۸۲) نـکات ایمنـی قبـل، حیـن‌وپـس‌ازسـیل، گـرگان‌الـف، ۲-نوبـت‌اول.

حبیبـی، ا. (۱۳۸۹) کاهـش آسـیب‌پذیری ناشـی از زلزلـه در شـهر تهـران بـا اسـتفاده از تحلیـل سلسـله‌مراتبی AHP و GIS، رسـاله دکتـری، دانشـگاه تهـران، تهـران، ایـران.

حمیـدی، علـی (۱۳۷۳) شـهر برابـر زمین‌لـرزه. مرکـز تحقیقـات و برنامه‌ریـزی شـهری و منطقـه‌ای.

زبردسـت، اردشـیر (۱۳۸۰) کاربـرد فرآینـد تحلیـل سلسـله‌مراتبی در برنامه‌ریـزی شـهری و منطقـه‌ای، نشـریه هنرهـای زیبـا، شـماره ۱۰، صـص ۲۱-۲۳.

شـریف‌زادگان، محمـود و مهـدی فتحـی (۱۳۹۰) توسـعه روشـی خـودکار بـرای تحلیـل واکنـش شـبکه‌های خیابانـی شـهری بـه زلزلـه (مطالعـه مـوردی شـهر کرمانشـاه، ایـران). مخاطـرات طبیعـی، ٦۳ (۳)، صص۱۵٦۷-۱۵۸٤.

شـمائی، عبدالمحمـد و مجیـد شـمائی و علـی فریدحسـینی (۱۳۹۹) کاربـرد یـک مـدل فـازی AHP بـرای تحلیـل آسـیب‌پذیری بافت‌هـای تاریخـی در شـهر کاشـان، ایـران. مجلـه مهندسـی سـازه و سـاختمان، ۵ (۳)، صـص۹٤-۱۰٤.

شـمایی، مجیـد و همـکاران (۱۳۹۶) تحلیل آسـیب‌پذیری پایـداری معمـاری شـهر کاشـان در برابـر زلزلـه

با استفاده از فازی AHP و Expert choice ، ژئوماتیک ایران، ۶ (۳)، صص ۱۴۳-۱۵۵.

ضرغامی‌زنگ‌آبادی، مسعود و همکاران (۱۳۹۱) به‌کارگیری دانش تخصصی و تحلیل چندمعیاری در عملیاتی کردن استراتژی‌های کاهش خطر در مناطق شهری، مجله برنامه‌ریزی و توسعه شهری، ۱۳۹(۱)، صص ۱-۹.

قانون مدیریت بحران کشور ۱۳۹۸/٦/٤.

کلانتری خلیل‌آباد، حسین و همکاران (۱۳۹۱) بررسی نقش سرمایه‌های اجتماعی در کاهش خطر زلزله در بافت تاریخی یزد (مطالعه موردی محله فهادان)، نشریه مطالعات شهرهای ایرانی اسلامی، دوره ۳، شماره ۹.

ویسه، یدالله (۱۳۸۷) نگرشی بر مطالعات شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری در مناطق زلزله‌خیز، انتشارات مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

Hosseindokht, M. (2010) Identification and prioritization of earthquake vulnerability using AHP and GIS (Case Study: Kermanshah city). Journal of Geographic Information Science, 20(80), 67-79.

ISDR, 2004: Living With Risk: A global review of disaster reduction initiatives United Nations International Strategy For Disaster Reduction

Ishita, K. (2010) Application of hierarchical analysis method and GIS in earthquake vulnerability estimation. International Journal of Earth Sciences and Engineering, 3(2), 231-238.

Rashed.T,Weeks.J, 2004: Exploring The Spatial Association Between Measures From Satellite Imagery And Patterns Of Urban Vulnerability To Earthquake - Hazards,International Population Center, Department Of Geography,San Diego State University, San Diego.USA.