نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، سال ۱۶، شمارهٔ ۳۸، زمستان ۱۳۹۰، صفحات ۲۰۲-۱۷۹

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۹/۰۴
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۰/۰۲/۳۱

تحلیلی بر ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی و آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی شهر کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

رضا ولی‌زاده [۱]

چکیده

هدف پژوهش حاضر شناسایی وضعیت آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر کرمان می‌باشد. این تحقیق از نوع پیمایشی و بر اساس شاخص‌های کیفی و کمی بافت کالبدی شهر کرمان می‌باشد. جامعه آماری این تحقیق ساختمان‌های شهر کرمان می‌باشند که به صورت نمونه‌برداری احتمالی انتخاب شده‌اند. شهر کرمان دارای یک هسته مرکزی بسیار قدیمی و عمدتاً از ساختمان‌های خشتی و گلی است که بالاترین میزان آسیب‌پذیری را دارند. در حواشی این هسته مرکزی کمربندی را می‌توان جدا کرد که ساختمان‌های آن آجری قدیمی با سقف عمدتاً قوسی می‌باشند. سومین واحد شـهر ساختمان‌های آجری و تیرآهنی بدون شناژ می‌باشـند. واحد چهار شهر ساختمان‌های آجری تیر آهنی شناژدار می‌باشند که در بخش‌هایی از شهر وجود داشته که آسیب‌پذیر آنها نسبتاً کم مـی‌باشد. واحد پنج و شش بخش‌هائی از شـهر که کاملاً تازه ساز بوده را شامل مـی‌شوند که از نوع اسکلت فلزی و بتن‌آرمه می‌باشند، در مـجموع مقاومت این واحد بیش از سایـر واحدهای شـهر است و در برگیرنـدهٔ محله‌هائی نظیر شهرک باهنر و شهرک الغدیر است. نتایج نشان می‌دهد که: شهر کرمان در یکی از فعال‌ترین واحدهای لرزه زمین‌ساختی ایران واقع شده ۸۳ درصد از سازه‌های شهر کرمان در اثر رخداد احتمالی زلزله بیش از ۶ ریشتر ناشی از جنبا شدن گسل تراستی کوهبنان در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی شهر کرمان دچار تخریب بیش از ۵۰ درصد شده که بیش از ۵۳ درصد جمعیت شهر در معرض آسیب زیاد قرار خواهند گرفت.

واژگان کلیدی: زلزله، آسیب‌پذیری شهری، ریزپهنه‌بندی خطر زلزله، خطرپذیری سازه‌ای، خطرپذیری جمعیتی.

۱ـ عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تربیت معلم تهران. valizadehster@gmail.com.

۱ـ مقدمه

شهرها در میان فضاهای جغرافیایی مطرح در پیکرهٔ جغرافیایی آمایش سرزمین از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند؛ زیرا از طرفی دربرگیرنده عمده‌ترین مراکز تجمع جمعیتی، فعالیت‌های اقتصادی ـ اجتماعی و مراکز عمدهٔ سیاسی و اداری کشور هستند و از طرف دیگر به واسطه‌ی تجمع و تعدد مولفه‌های کارکرد انسانی در آنها، همواره یک مجموعه‌ی آسیب‌پذیر محسوب می‌گردند بنابراین پایداری و حفظ امنیت آنها به ویژه در برابر سوانح طبیعی (از جمله زلزله) از اهمیت ویژه‌ای در ساماندهی بهینه فضاهای سرزمینی ایران برخوردار است. از آنجا که تقریباً تمامی شهرهای ایران در معرض آسیب جدی ناشی از وقوع زمین لرزه قرار دارند، لذا مدیریت علمی و عملی بحران زلزله و برنامه‌ریزی پیشگیرانه از آن در شهرها، از اهمیت ویژه‌ای در کاهش خسارت‌ها و تلفات، برخوردار خواهد بود.

منطقه کرمان در طی تاریخ ۲۰۰۰ ساله لرزه‌خیزی کشور بارها مکان زمین‌لرزه‌های متوسط تا قوی بوده است (عباس‌نژاد و همکاران، ۱۳۷۸: ۴ وجود بافت شهری تقریباً فرسوده، عدم رعایت کدهای ساختمانی در ساخت و سازها، بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی و ناپایداری زمین ناشی از آن، نداشتن آمادگی لازم برای رویارویی با بحران‌های احتمالی و... باعث افزایش آسیب‌پذیری بیش از پیش شهر کرمان در برابر زلزله گردیده است (حسن‌زاده، ۱۳۸۵: ۲).

۲ـ اهداف تحقیق

اهداف عمده این تحقیق شامل موارد زیر می‌باشد:

ـ ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی شهر کرمان؛
ـ ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری سازه‌ای ساختمان‌های شهر کرمان؛
ـ ارزیابی آسیب‌پذیری جمعیتی شهر کرمان.

۳ـ مواد و روش‌ها

ویژگی‌های کمی و کیفی (تعداد، جنس مصالح، نوع سازه، عمر ساختمان، تراکم جمعیتی

و...) ساختمان‌های شهر کرمان مسألهٔ اصلی این تحقیق می‌باشد. وسعت شهر کرمان ۱۴۰ کیلومترمربع می‌باشد، برای دستیابی به اطلاعات سازه‌ای با انجام عملیات میدانی اطلاعات مورد نیاز سازه‌ها و شهر کرمان از جمله: ۱- نوع سازه، ۲- تعداد طبقات، ۳- موقعیت مکانی، ۴- عرض کوچه‌ها و خیابان‌ها و معابر اصلی، ۵- تعیین کاربری اراضی شهری و...جمع‌آوری گردید. در این مطالعه سازه های شهر کرمان به شش نوع سازه شامل: ۱- سازه‌های خشتی و گلی، ۲- سازه‌های آجری با سقف قوسی، ۳- سازه‌های آجری تیرآهنی بدون شناژ، ۴- سازه‌های آجری تیر آهنی شناژدار، ۵- سازه‌های اسکلت فلزی، و ۶- سازه‌های بتن‌آرمه‌ای دسته‌بندی شدند. سپس شهر کرمان به ۹۳ ناحیه (بر اساس محلات وجود در شهر) در مقیاس ۱:۲۰۰۰ تقسیم‌بندی شد.

جدول شماره (۱) طبقه‌بندی سازه‌ها را برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز نشان می‌دهد.

جدول (۱) اطلاعات لازم جهت تعیین لایه نوع سازه‌ها

نوع سازه	کد سازه
خشت و گلی	۱
آجری با سقف قوسی	۲
آجری تیر آهنی بدون شناژ	۳
آجری تیر آهنی شناژدار	۴
اسکلت فلزی	۵
بتن آرمه‌ای	۶
تعداد صبقات	**کد طبقه**
یک طبقه	A
دو طبقه	B
سه طبقه	C
چهار طبقه	D
پنج طبقه	E
شش طبقه	F
هفت طبقه	G
بیش از هفت طبقه	H

ابزار گردآوری اطلاعات عبارتند از مشاهده، بررسی‌های میدانی، پرسشنامه، منابع اطلاعاتی موجود در سازمان‌ها و ادارات شهر کرمان اعم از ستاد حوادث غیرمترقبه استان کرمان، نظام مهندسی استان کرمان و ... منابع اینترنتی و کتابخانه‌ای.

نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهر کرمان در محیط اتوکد GIS READY و GEOREFRENCE شده و سپس با هم یکی شدند و نقشه موقعیت مکانی سازه‌های شهر ایجاد گردید که این نقشه به عنوان مبنای کار جهت جمع‌آوری اطلاعات قرار گرفت. پس از جمع‌آوری اطلاعات و نقشهٔ مکانی سازه‌ها بانک اطلاعاتی با تولید فیلدهای اطلاعاتی خاص در محیط GIS ایجاد شد. تحلیل و ارزیابی لرزه‌ای با جمع‌آوری اطلاعات پایه شهری به صورت آماری موجود و میدانی صورت گرفت. بر این اساس در این پژوهش، دو محور اساسی «برآورد آسیب‌های سازه‌ای» به صورت کلی و «برآورد تلفات جانی» مورد نظر قرار گرفت و در این راستا مراحل تحقیق به صورت زیر انجام شد:

۱ـ بررسی‌های اقلیمی،

۲ـ بررسی‌های مورفولوژیکی،

۳ـ بررسی‌های زمین شناختی،

۴ـ تحلیل خطر زلزله،

۵ـ بررسی‌های شرایط ساختگاه،

۶ـ بررسی‌های سازه‌ای و تیپ‌بندی آنها،

۷ـ برآوردهای آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها،

۸ـ بررسی‌های جمعیتی،

۹ـ برآورد آسیب‌پذیری جمعیتی.

۴ـ مراحل اصلی در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر کرمان

در ارزیابی آسیب‌پذیری هدف برآورد پتانسیل خطرپذیری لرزه‌ای با ترکیب تأثیرات پارامترهای غیرلرزه‌ای و غیرسازه‌ای نظیر پارامترهای مورفولوژیکی و جمعیتی، پارامترهای لرزه‌ای مانند

خطر زلزله، گسله‌ها و پارامترهای سازه‌ای چون تیپ ساختمان‌ها با اعمال ضریب وزنی آنها است.

این تحقیق، در برگیرندهٔ اطلاعات شیب مورفولوژیکی زمین، شرایط ساختگاهی، زون روانگرایی، خطر زلزله، زون گسیختگی، گسل‌ها، زلزله‌ها، جمعیت و ساختمان‌ها می‌باشند. محاسبات نهایی با ترکیب لایه‌های اصلی شیب زمین، ساختگاه، روانگرایی، زون گسیختگی، خطر زلزله، جمعیت و ساختمان‌ها صورت گرفته است.

اصلی‌ترین ورودی لازم برای برآوردهای آسیب‌پذیری لرزه‌ای، مقدار شتاب حاصل از جنبش نیرومند زمین است که در واقع پارامتر شتاب، نیروی زلزله وارده بر ساختمان‌ها را تعیین می‌کند (*بیت‌اللهی*، ۱۳۸۵: ۱۲). پارامتر شدت زلزله را می‌توان بر مبنای بزرگای زلزله و فاصله از منبع آن و همچنین بر اساس مقادیر بیشینه شتاب زمین به دست آورد (بربریان، ۱۳۷۵: ۸). علاوه بر پارامتر شتاب زلزله (یا شدت)، متغیرهای مختلف دیگری در ارزیابی آسیب‌پذیری دخیل هستند که در زیر به طور مختصر معرفی می‌گردند.

۱ـ۱ـ٤ شدت زمین لرزه

شدت را می‌توان به گونه‌ای جداسازی لرزش‌های زمین بر پایه اثرات زون مشاهده شده در گستره تحت تأثیر زلزله و یا به گونه‌ای دسته‌بندی از قدرت لرزش در هر مکان هنگام رخداد زمین‌لرزه، با توجه به اثرات زون مشاهده شده تعریف کرد (میرزائی، ۱۳۸۱: ۳). مقادیر شدت، به صورت قراردادی، اعداد صحیح می‌باشند و بیشتر از اعداد رومی برای بیان آن استفاده می‌شود. یکی از مقیاس‌های مهم مقیاس مرکالی اصلاح شده که اولین بار توسط وود و نیومن در سال ۱۹۳۱ از روی مقیاس مرکالی ـ کانسانی ـ سیبرگ (۱۹۲۳) به انگلیسی ترجمه شد و بعدها توسط ریشتر در سال ۱۹۵۶ مورد بازبینی قرار گرفت که به *MMI56* نیز معروف است (ایری، ۱۳۷۷: ۱۵).

در این مقیاس برای سازه‌ها، طبقه‌بندی ساده‌ای از لحاظ مقاومت صورت گرفته است. به صورت تجربی شدت زمینل‌رزه با انرژی آزاد شده توسط آن مرتبط می‌باشد (۲۰۰۶، Ikeuchi). از آنجا که انرژی با توجه به اصول گسترش هندسی با فاصله از رو مرکز تضعیف

می‌شود می‌توان با استفاده از رابطهٔ تجربی بین شدت زمین‌لرزه و انرژی آزاد شده روابط مشابهی را برای شدت زمین‌لرزه ارائه نمود. از مهم‌ترین روبط شدت، رابطه بین شدت زمین لرزه و شتاب زمین است که توسط ریشتر ارائه شده و عبارت از:

$$Log\gamma = \frac{I}{3} - \frac{1}{2}$$

که در آن I شدت بر اساس مرکالی اصلاح شده و γ شتاب زمین بر حسب گال است.

۲ـ۱ـ٤ برآورد شتاب حاصل از زلزله

یکی از لایه‌های مهم اطلاعاتی در برآورد خطرپذیری و همچنین به عنوان لایهٔ اطلاعاتی ارزشمند در تحلیل خطرپذیری لرزه‌ای، اطلاعات مربوط به توزیع بیشینه شتاب محتمل در یک دورهٔ بازگشت معین (سطح معین طراحی و در این تحقیق دورهٔ بازگشت ۴۷۵ ساله به عنوان سطح مبنای طراحی بر اساس آئین‌نامه ۲۸۰۰) است. شتاب مبنای طراحی در مطالعات تحلیل خطر زمین لرزه به صورت نقشه پهنه‌بندی خطر برای محدوده شهر کرمان محاسبه گردید. واژه تحلیل خطر[1] برآورد مقادیر پارامترهای جنبش زمین و برخی از پارامترهای وابسته بدان، بدون در نظر گرفتن پیامدهای آن در سایت مورد نظر است (آندرسون[2] و تریفونک[3]، ۱۹۷۷، ۱۹۷۸)، و خطرپذیری (Risk)، علاوه برآن به بررسی پیامدهای جنبش نیرومند زمین در سایت مورد نظر نیز اشاره دارد. در محاسبه ریسک لرزه‌ای در سایت مورد نظر پارامترهایی همچون میزان مقاومت سازه‌ها و لایه‌های متعدد و متنوع دیگر اطلاعات نیز دخیل می‌باشند. در حقیقت می‌توان گفت که آنالیز ریسک لرزه‌ای به بررسی (جردنوسکی[4] و دیگران، ۱۹۹۱، ۱۹۹۳) عوارض جنبش نیرومند زمین در حیطه‌های

1- Hazard Analysis
2- Anderson
3- Trifunac
4- Jordanovski

مختلف می‌پردازد (دراوینسکی[1] و دیگران، ۱۹۸۰ و وسترمو[2] و دیگران، ۱۹۸۰). برای محاسبه شتاب حاصل از چشمه‌های لرزه‌ای مختلف و یا یک چشمه لرزه‌ای معین، در فاصله مشخص از آنها، از روابط میرائی (یا مدل‌های کاهیدگی) استفاده می‌شود که در پژوهش حاضر از رابطهٔ میرائی کمبل ـ بزرگ‌نیا ۲۰۰۳ استفاده شده است.

٤ـ۱ـ۳ شیب زمین

در مطالعات ارزیابی آسیب‌پذیری شهر کرمان تعیین مکان های مستعد رانش‌های القائی که در اثر زمین‌لرزه روی می‌دهد، مهم بوده و بر این اساس و با استفاده از دو نقشهٔ رقومی ۱/۲۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰۰ مقدایر شیب زمین مورد بررسی محاسبه شده است. در این مطالعه زون‌هائی که در محدوده شیب بالای ۲۵ درجه واقع می‌شدند به عنوان مناطق مستعد رانش مد نظر قرار گرفته‌اند.

٤ـ۱ـ٤ زون روانگرائی

همانطور که توضیح داده شد در تعیین مناطق مستعد روانگرائی از اطلاعات سطح آب چاه‌های واقع در شهر و نیز از اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی استفاده شده است. در این بررسی‌ها سطح آب کمتر از ۱۰ متر با توجه به خصوصیات لایه‌های زیر سطحی که ترکیبی از سیلت و رس و ماسه بوده به عنوان مناطق مستعد روانگرائی در نظر گرفته شده است.

٤ـ۱ـ۵ زون گسیختگی

با رقومی کردن نقشه گسل‌های منطقه و با انطباق مسیر گذر گسله‌ها با محدوده شهر کرمان، زون مستعد گسیختگی تعیین محل شد که جهت احتیاط (بنا به خطای موجه در جانمائی گسله‌ها) پهنای سه زون به عنوان باند مستعد گسیختگی در نظر گرفته شد.

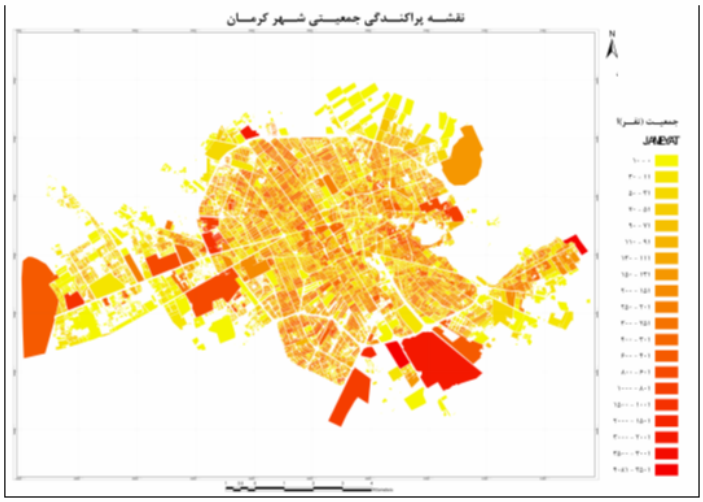
1- Dravinski
2- Westermo

٦ـ١ـ٤ جمعیت

مهم‌ترین فاکتور غیر لرزه‌ای و غیر سازه ای در ارزیابی آسیب‌پذیری، جمعیت می‌باشد. در بر آورد تلفات جانی شاخص جمعیت همراه با شاخص کیفی ساختمان ارزیابی شده و به صورت لایه اطلاعاتی مربوطه در محاسبات وارد شدند. تعداد جمعیت تخصیص یافته به هر زون که بیانگر تراکم جمعیت نیز می‌باشد نیز در محاسبات خطرپذیری لرزه‌ای مورد نظر قرار گرفته‌اند. بر اساس آمار سرشماری سال ۱۳۸۵ مرکز آمار ایران، شهر کرمان دارای ۵۰۸۴۵۵ نفر می‌باشد که از این تعداد ۲۵۹۹۵۲ نفر مرد و ۲۴۸۵۰۳ نفر زن می‌باشند و تعداد خانوار ۱۲۶۳۶۹ می‌باشد (مرکز آمار ایران). میانگین بعد خانوار نیز ۴،۵۴ نفر در هر خانوار می‌باشد.

جدول شماره (۲) آمار جمعیتی شهر کرمان در سیزده ناحیه عملیاتی شهرداری

ناحیه	جمعیت	مرد	زن	خانوار
ناحیه ۱	۲۱۷۵۰	۱۳۱۰۸	۸۶۴۲	۴۲۵۲
ناحیه ۲	۴۹۱۱۱	۲۴۹۷۶	۲۴۱۳۵	۱۱۸۶۱
ناحیه۳	۱۹۵۲۰	۹۴۰۲	۱۰۱۱۸	۴۲۶۶
ناحیه ۴	۵۵۹۷۴	۲۹۳۴۷	۲۶۶۲۷	۱۲۹۴۶
ناحیه ۵	۴۹۶۴۶	۲۵۳۲۸	۲۴۳۱۸	۱۲۰۵۱
ناحیه ۶	۴۶۶۹۲	۲۳۵۲۰	۲۳۱۷۲	۱۲۳۵۶
ناحیه ۷	۳۴۳۶۳	۱۷۶۳۷	۱۶۷۲۶	۸۸۳۴
ناحیه ۸	۴۰۶۱۲	۲۰۵۸۲	۲۰۰۳۰	۱۰۸۳۴
ناحیه ۹	۴۵۸۱۲	۲۳۰۵۶	۲۲۷۵۶	۱۲۱۴۹
ناحیه ۱۰	۵۰۶۸۷	۲۵۷۴۹	۲۴۹۳۸	۱۳۰۱۷
ناحیه ۱۱	۴۷۲۲۱	۲۴۰۴۴	۲۳۱۷۷	۱۱۶۲۴
ناحیه ۱۲	۱۸۹۵۱	۹۴۳۸	۹۵۱۳	۵۰۵۱
ناحیه ۱۳	۲۸۱۱۶	۱۳۷۶۵	۱۴۳۵۱	۷۱۲۸
جمع کل	۵۰۸۴۵۵	۲۵۹۹۵۲	۲۴۸۵۰۳	۱۲۶۳۶۹



شکل شماره (۱) نقشه پراکندگی جمعیتی شهر کرمان بر اساس آمار سرشماری نفوس ۱۳۸۵

۲ـ٤ پارامترهای سازه‌ای

در ارزیابی آسیب‌پذیری پارامترهای تیپ ساختمان به صورت اسکلت دار و بدون اسکلت و سن ساختمان در تعریف شاخص کیفی ساختمان‌ها در هر زون مورد استفاده قرار گرفتند.

رفتار لرزه‌ای سازه‌ها به ارتفاع آنها نیز وابسته است. دانستن تعداد طبقات ساختمان‌ها از نظر تأثیر پذیری در زمین لرزه‌های دور و نزدیک می‌تواند مهم باشد. از طرفی دیگر تعداد طبقات بالا معمولاً همراه با تراکم جمعیتی بالا نیز است. همچنین تخریب ساختمان‌های مرتفع باعث مسدود شدن معابر نیز می‌گردد و لذا تکمیل بانک داده‌های سازه‌ای همراه با کسب اطلاعاتی در زمینه ارتفاع سازه‌ها نیز می‌باشد. با توجه به عدم وجود آمار طبقات ساختمان‌ها در سطح شهر کرمان، لایه اطلاعاتی طبقات ساختمان‌ها با پیمایش زمینی در زون‌های مختلف شهر عملی گردید. بر اساس مشاهدات میدانی، لایه اطلاعاتی مهم دیگری تکمیل گردید که در آن ساختمان‌های شهر بر اساس نوساز و یا فرسوده بودن تفکیک شدند

و برای هر زون مقدار آن بر حسب تعداد ساختمان‌های نو و یا قدیمی تخصیص یافت. مسلماً عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها با توجه به قدمت ساختمان‌ها و تغییر کیفی مصالح، به سن سازه‌ها نیز وابسته است (Benouar، ۲۰۰۸). عمر سازه، به نوعی نشان‌دهندهٔ استفاده یا عدم استفاده از کدهای ساختمانی، در ساخت ساختمان می‌باشد، به طوری که اجرای این کدها، مؤید پایداری آنها در برابر زلزله و عدم اجرای آن، به عنوان تشدیدکنندهٔ آسیب‌پذیری محسوب می‌گردد.

۱ـ۲ـ٤ محاسبه زون رانش

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی، ابتدا پهنه‌بندی شیب در کل گسترهٔ شهر کرمان به عمل آمد. شیب بالای ۲۵ درجه به مناطق مستعد رانش نسبت داده شد. به منظور در نظر گرفتن ضریب احتیاط بیشتر در مرحلهٔ بعدی شیب بالای ۲۰ درجه در محاسبات وارد شد. محدوده محتمل رانش تحت تأثیر رطوبت بیشتر و لرزش در هنگام زمین‌لرزه و با توجه به وزن روباره خود که ممکن است ساختمان‌های واقع در این مناطق باشد، زون خطرپذیری را تشکیل می‌دهد که در ارزیابی آسیب‌پذیری مد نظر قرار گرفته است. لازم به ذکر است که دقت محاسبات شیب را دقت نقشه‌های توپوگرافی تعیین می‌کند که در داخل حوزه شهری کرمان دارای دقت بالا (نقشه با مقیاس ۱/۲۰۰۰) و در خارج از حوزهٔ شهری دارای دقت پائین‌تر است.

۲ـ۲ـ٤ محاسبه پارامترهای لرزه ای

پارامترهای لرزه‌ای شامل فاصله از گسلش و تراکم گسلش، فاصله از زلزله‌های بزرگ و تراکم زمین لرزه‌ها و پهنه بندی خطر زمین‌لرزه در سطح مبنای طراحی (دوره بازگشت ۴۷۵ سالانه) می‌باشند. در تکمیل جداول اطلاعاتی مربوط به پارامترهای لرزه‌ای، با توجه به مقادیر مختلف و غیرهمپایه هرکدام از این پارامترها لازم است که کلیه عددها، نرمالایز (هم‌پایه) گردند، روشی که در این پژوهش برای نرمالایز کردن به کار رفت روش تقسیم بر ماکزیمم است که باعث می‌شود تمامی اعداد بین ۰ تا ۱ در نوسان باشند.

٤ـ۲ـ۳ محاسبه اثر ساختگاه

شرایط ساختگاهی پارامتر مهمی در برآورد خطرپذیری لرزه‌ای است. چرا که یکی از مراحل تحلیل آسیب‌پذیری، تعیین حرکت زمینی است که بر سازه‌های منطقهٔ مورد نظر اثر گذاشته و باعث بروز خسارت می‌شود. عواملی که بر خصوصیات حرکات نیرومند زمین تأثیرگذار می‌باشند عبارتند از منبع زلزله، مسیر حرکت امواج و شرایط ساختگاهی سایت مورد مطالعه. بدین ترتیب که با وقوع زلزله در محل چشمه آن، امواج زلزله ایجاد شده و در پوستهٔ زمین منتشر می‌شوند. با رسیدن این امواج به محل، این امواج می‌باید از لایه‌های خاک موجود بر روی سنگ بستر عبور نموده و به سطح زمین برسند که تاثیر این امواج به سازه‌ها و تأسیسات باعث خرابی می‌شود. خاک یک ناحیه بسیار موثرتر از پارامترهای دیگر در بزرگنمائی دامنه شتاب نقش دارد. این بزرگنمائی در برخی مناطق ممکن است تا سه برابر نیز باشد. در این مطالعه با استفاده از گمانه‌های متعدد اثر ساختگاه در محدوده کرمان محاسبه گردید و مقادیر آن به هر یک از زون‌های محاسباتی تخصیص یافت.

٤ـ۲ـ٤ محاسبه جمعیت

به ازای هر زون تعداد جمعیت با استفاده از آمار مرکز آمار ایران محاسبه گردید. از آنجا که مساحت همه زون ها مساوی هم می باشد، از روی تعداد، تراکم هم قابل تصور خواهد بود. با این وصف هم تعداد جمعیت و هم تراکم جمعیت برای این لایه اطلاعاتی محاسبه شده و در جدول اطلاعاتی آن درج گردیده است.

٤ـ۲ـ٥ زون گسیختگی و محدوده مستعد روانگرائی

بر اساس اطلاعات سطح ایستابی و گمانه‌ها و همچنین بر اساس رقومی‌سازی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و جانمائی آنها در شهر کرمان، دو محدوده زون گسیختگی و محدوده مستعد روانگرائی جدا گردیدند.

٤ـ۳ محاسبه شرایط کیفی و کمی سازه‌ای

در ارزیابی آسیب‌پذیری و برای ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای، علاوه بر کیفیت سازه‌ای، کمیت آنها نیز مد نظر است (Chun Chen، ۲۰۰۷). به این دلیل که تعداد ساختمان‌های در معرض خطر، دامنه خطرپذیری لرزه‌ای را شدیدا تحت تأثیر قرار می‌دهد. ساختمان‌های موجود در شهر کرمان بر اساس تعداد طبقات، سن و تیپ، جدا شده و تعداد آنها برآورد گردیده است. برای رسیدن به این منظور لازم بود که در مرحلهٔ اول تعداد ساختمان‌های هر زون را بدانیم. همانطور که ذکر گردید این کار طی دو مرحله شمارش از روی عکس‌های ماهواره‌ای به دست آمد و سپس با آمار کل شهری مرکز آمار ایران نیز مقایسه گردید. داده‌های مرکز آمار واحد مسکونی است و نه واحد ساختمانی، اما در ارزیابی آسیب‌پذیری پارامتر مورد نیاز واحد ساختمانی است. بر همین اساس و به دلیل نبود اطلاعات و از روی آخرین عکس‌های ماهواره‌های شهر[۱] تعداد ساختمان‌های شهر شمارش و به هر کدام از زون‌های محاسباتی تخصیص یافت که نهایتاً منجر به تهیهٔ نقشهٔ تراکم ساختمان‌های شهری گردید. از آنجا که مساحت تمامی زون‌های محاسباتی نظیر هم بوده لذا تعداد ساختمان معرف توزیع تراکم نیز خواهد بود[۲]. نتایج این شمارش در نهایت با نتایج کلی آمار ۱۳۸۵ مقایسه گردید.

۱ـ۳ـ٤ شاخص کمی وکیفی سازه ای در شهر کرمان

در محاسبات خطرپذیری لرزه‌ای و ارزیابی آسیب پذیری برای شهر کرمان به دنبال ضریبی بودیم که هم کیفیت ساختمان‌ها را نشان دهد و هم بتواند در مورد تعداد آنها نیز مرتبط باشد. از دیدگاه شاخص کیفی سازه‌ای به نظر می‌رسد که ضریب نسبت تعداد ساختمان‌های بدون اسکلت به تعداد ساختمان‌های با اسکلت در هر زون محاسباتی، ضریبی گویا و قابل

۱ـ نگاره ماهواره‌ای آیکونوس (Ikonos) مربوط به اواخر سال ۱۳۸۵ و کوئیک برد (Quichbird) مربوط به اواخر سال ۱۳۸۷.

۲ـ این امر درمورد سایر اطلاعات سازه‌ای نیز صادق است و نقشه‌های ارائه شده معرف تعداد و به نوعی تراکم نیز می‌باشند.

قبول باشد. از نظر کمی هم لایه اطلاعاتی تراکم ساختمان‌ها و یا تعداد آنها در هر زون می‌تواند شاخص مناسبی باشد. در نهایت چنین به نظر می‌رسد که شاخصی که حاصل‌ضرب این دو ضریب باشد، می‌تواند شاخص مناسب برای درک بهتر شرایط کمی و کیفی سازه‌ای در هر زون محاسباتی باشد و از آن طریق می‌توان لایه اطلاعاتی شرائط کلی سازه‌های را محاسبه نمود. بر اساس نقشه نوع سازه‌های شهر کرمان تعداد کل ساختمان‌های شهری با کاربری‌های متفاوت ۱۲۰۰۳۳ عدد می‌باشد که از این تعداد ۹۱۵۸ عدد سازه خشت و گلی، ۴۷۰۱ عدد سازه آجری با سقف قوسی، ۸۶۱۴۴ عدد سازه آجری تیرآهنی بدون شناژ، ۱۴۸۸۰ عدد سازه آجری تیرآهنی شناژدار، ۳۳۴۳ عدد سازه اسکلت فلزی و ۱۸۰۷ عدد سازه بتن آرمه‌ای می‌باشند (جدول شماره ۳).

جدول شماره (۳) تعداد و درصد نوع سازه‌های شهر کرمان

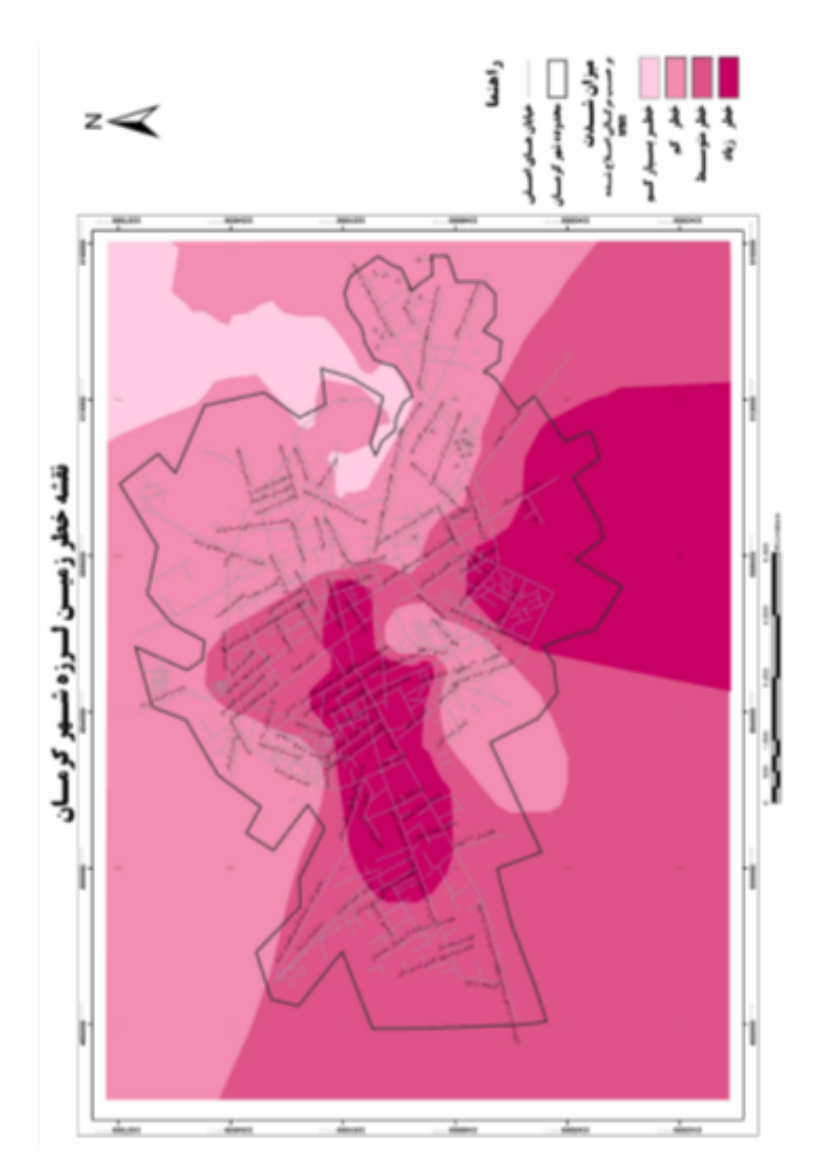
نوع سازه	تعداد سازه	درصد سازه
خشت و گلی	۹۱۵۸	۷/۶
آجری با سقف قوسی	۴۷۰۱	۳/۹
تیر آهنی بدون شناژ	۸۶۱۴۴	۷۱/۷
آهنی شناژدار	۱۴۸۸۰	۱۲/۳۹
اسکلت فلزی	۳۳۴۳	۲/۷
بتن آرمه‌ای	۱۸۰۷	۱/۵
تعداد کل سازه‌ها	۱۲۰۰۳۳	۱۰۰

۴ـ نتیجه‌گیری از تحلیل آسیب پذیری

پارامترهای دخیل در خروجی نهایی ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای در شهر کرمان، متنوع می‌باشند. در پژوهش حاضر پس از هم ارز نمودن مقادیر و هم مبدا کردن آنها و نرمالایز نمودن عددها، سامانه‌ای رقومی متشکل از لایه‌های اطلاعاتی که بر روی هم قرار گرفته‌اند

تشکیل شد. بحث پیرامون وزن هرکدام از لایه‌ها نیز با توجه به نبود تابع تحلیلی معین، تا حدودی سلیقه‌ای بود ولی در نهایت این وزن‌دهی به استناد رهیافت‌های مبتنی بر دانش شهرسازی و مهندسی زلزله می‌باشد. توجیهی که در مطالعه حاضر برای ترتیب اهمیت هر کدام از این ماتریس‌های اطلاعاتی بوده مبتنی بر این واقعیت است که در هر رویداد لرزه‌ای بزرگ، علی‌رغم این حقیقت که عامل اولیه خطر، رخ دادن زمین‌لرزه است، ولی بطور مشخص خسارت‌های مالی و جانی زمین‌لرزه در درجه اول به شرایط سازه‌ای وابسته‌اند. بدین صورت که اگر محدوده مورد مطالعه عاری از ساختمان باشد عوارض خاص بحران لرزه‌ای را انتظار نخواهیم داشت و یا اگر ساختمان‌های محدوده دارای مقاومت مناسبی در برابر زمین لرزه باشند هم دامنه بحران و تلفات و خسارت به مراتب کوچک‌تر خواهد بود. بدین لحاظ اهمیت اول در در پژوهش حاضر، مختص شرایط کیفی و کمی سازه‌ای گردید. میزان خطر زلزله و تراکم جمعیتی هم به ترتیب دارای اهمیت‌های بعدی بودند. شیب مورفولوژیکی و زون گسیختگی و روانگرائی هم با مقادیر ضریب وزنی پائین تر به دنبال آنها قرار گرفتند.

مرحله بعدی در ارزیابی آسیب‌پذیری بعد از بر هم نهش لایه‌ها، نحوهٔ ترکیب مقادیر می‌باشد. روش انتخابی در این پژوهش بر مبنای اعمال ضریب وزنی و جمع نهائی آنها بوده است که حاصل ترکیب مقادیر عددی تمامی مقادیر زون‌های واقع در هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی می‌باشد. محصول نهائی کار را می‌توان محصول نهائی ارزیابی آسیب‌پذیری دانست که در واقع معرف پهنه‌بندی خطرپذیری لرزه‌ای در گستره شهر کرمان، به ازای پارامترهای مؤثری که ذکر شد، دانست. در شکل ۲ نقشه حاصل نشان داده شده است.



شکل شماره (۲) نقشه خطرپذیری لرزه‌ای شهر کرمان

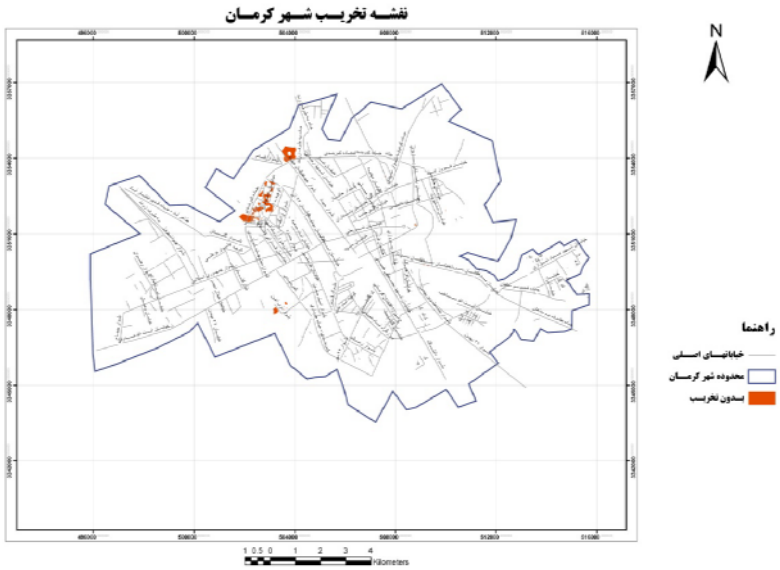
نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری صرفنظر از روی دادن و یا روی ندادن یک زمین‌لرزه، بـر مبنـای پارامترهائی که ذکر شد نشان می‌دهد که اساساً کدام زون‌ها و محدوده‌ها در گسترهٔ شـهری کرمان، بطور بالقوه دارای مراتب بالای خطرپذیری لرزه‌ای‌اند. نتیجه کـاربردی ایـن امـر در مدیریت بحران قـبل از رویداد معنی پیدا مـی‌کند که مـدیران شـهری در جریـان وضـعیت محله‌های مختلف شهر از دیدگاه خطرپذیری لـرزه‌ای باشـند و تمهیـدات لازم را بـه عمـل آورند. شکل‌های شماره ۴ الی ۱۱ محدوده آسیب و تخریب ناشی از زلزله و نیز آسیب‌پذیری جمعیتی شهر کرمان را نشان می‌دهد.

جدول شماره(۴) میزان آسیب پذیری سازه‌های شهر کرمان در هر ناحیه تخریب

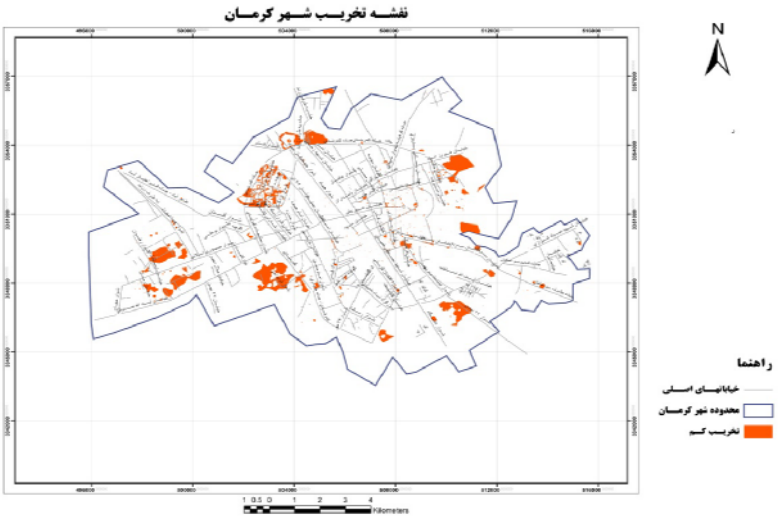
	میزان تخریب	تعداد سازه‌ها		میزان تخریب	تعداد سازه‌ها
۱	تخریب کامل	۲۸۸۶	۴	تخریب متوسط	۴۴۸۵۶
۲	تخریب بسیار زیاد	۱۰۳۰۲	۵	تخریب کم	۴۴۵۱
۳	زیاد	۵۶۸۴۸	۶	بدون تخریب	۸۶۴
جمع کل سازه‌ها		۱۲۰۲۰۷			

جدول شماره (۵) میزان آسیب‌پذیری هر نوع سازه در نواحی تخریبی در شهر کرمان

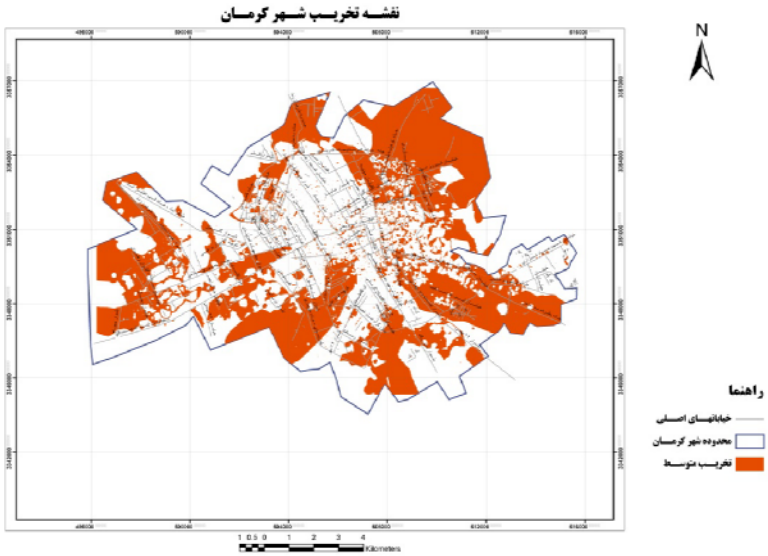
ردیف	میزان تخریب	خشت و گلی	آجری با سقف قوسی	آجری تیرآهنی بدون شناژ	آجری تیرآهنی شناژدار	اسلکت فلزی	بتن آرمه‌ای
۱	بدون تخریب	.....	.....	.....		۳۰۸	۵۵۶
۲	تخریب کم	.....	.....	۳	۱۰۴۴	۲۱۷۲	۱۲۳۲
۳	تخریب متوسط	.....	.....	۳۲۰۹۰	۱۱۶۳۶	۸۶۰	۲۷۰
۴	تخریب زیاد	۱۱	۲۰۸۷	۵۲۵۸۸	۲۱۶۱	۱	.....
۵	تخریب بسیار زیاد	۶۳۱۷	۲۵۵۶	۱۴۲۵	۴	.....	.....
۶	تخریب کامل	۲۸۲۸	۵۷	۱	.....	.....	.....
جمع کل		۹۱۵۶	۴۷۰۰	۸۶۱۰۷	۱۴۸۴۵	۳۳۴۱	۲۰۵۸



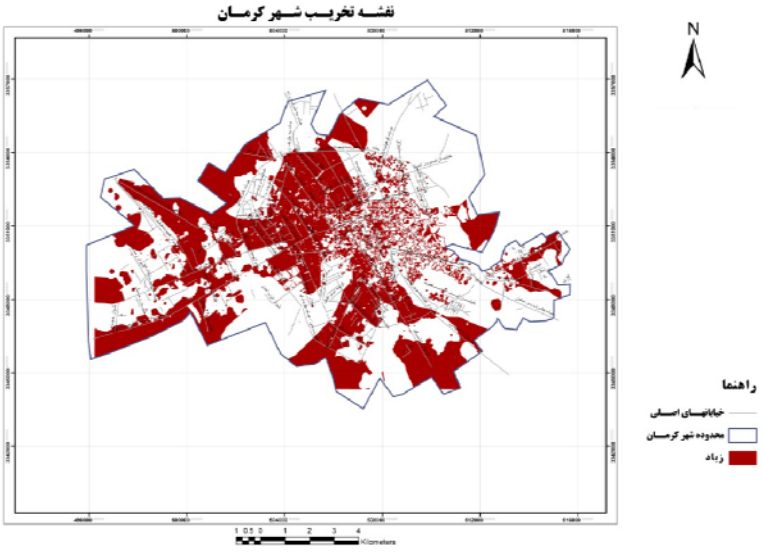
شکل شماره (۴) نقشه پراکندگی مناطق بدون تخریب در شهر کرمان



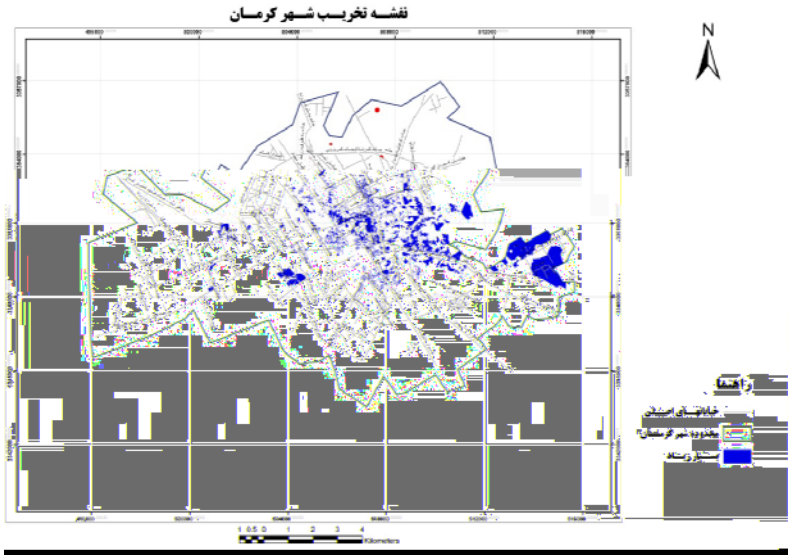
شکل شماره (۵) نقشه پراکندگی مناطق با تخریب کم در شهر کرمان



شکل شماره (۶) نقشه پراکندگی مناطق با تخریب متوسط در شهر کرمان

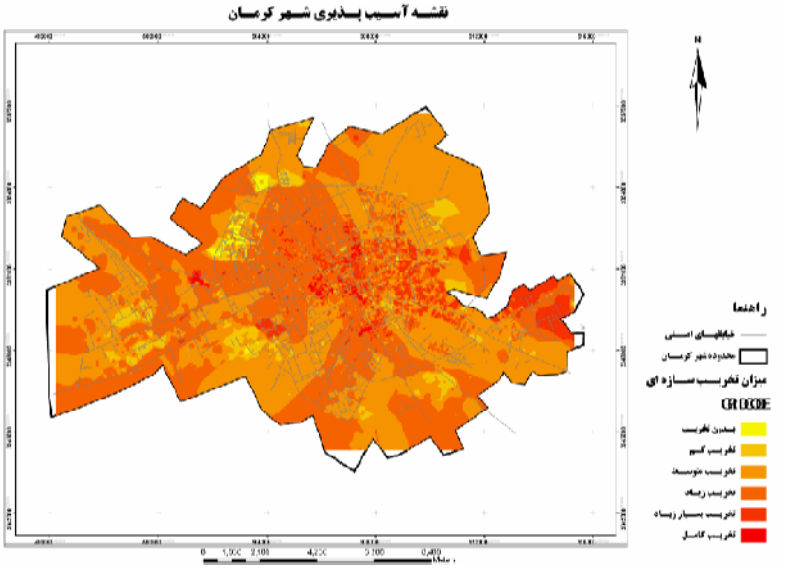


شکل شماره (۷) نقشه پراکندگی مناطق با تخریب زیاد در شهر کرمان

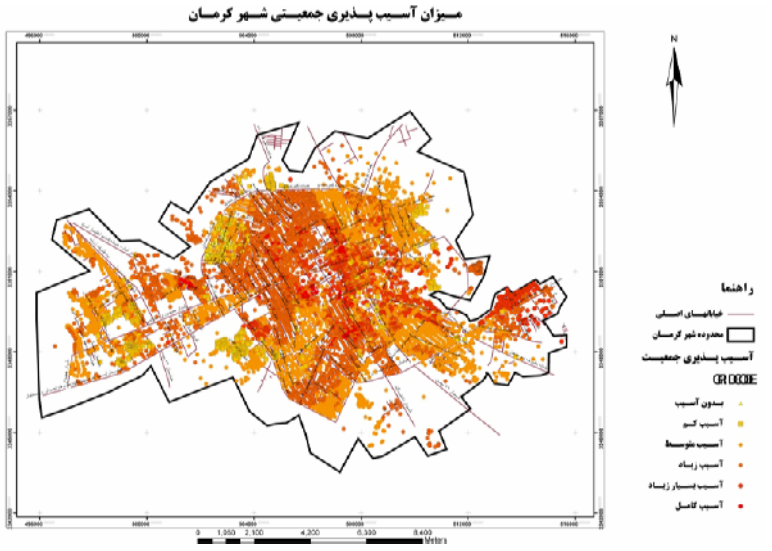


شکل شماره (۸) نقشه پراکندگی مناطق با تخریب بسیار زیاد در شهر کرمان

شکل شماره (۹) نقشه پراکندگی مناطق با تخریب کامل در شهر کرمان



شکل شماره (۱۰) نقشه آسیب‌پذیری کلی شهر کرمان



شکل شماره (۱۱) نقشه آسیب‌پذیری جمعیت شهر کرمان

٦ـ نتیجه‌گیری

مطالعات انجام شده در تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان مشخص می‌کند که شهر کرمان در یکی از فعال‌ترین واحدهای لرزه زمین ساختی ایران واقع شده و گسل‌های فعال متعددی در نزدیکی این شهر قرار دارند. شدت ناشی از زلزله‌های مرتبط با گسل‌های کرمان ـ زنگی‌آباد، شمال کرمان و اختیارآباد به دلیل مجاورت این گسل‌ها با شهر کرمان در حدود 9 MMI برآورد می‌شود که با توجه به ضخامت زیاد رسوبات سست میوسن ـ کواترنری در محدوده این شهر و تشدید ناشی از آنها ممکن است به 10 MMI برسد، در این صورت بخش‌های وسیعی از شهر تخریب خواهند شد.

ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر کرمان حاکی از این است که خطر گسیختگی دامنه‌ای ناشی از زلزله در محدوده شهر کرمان پائین است، ولی خطر ایجاد روانگرائی در محدوده کوچکی از مرکز شهر مطرح می‌باشد. در عین حال، به علت بالا بودن ضخامت رسوبات سست میوسن-کواترنری در زیر شهر که با افزایش پریود غالب امواج میکروترموری تأئید می‌شود، و نیز به علت ریزدانه و سست بودن این رسوبات، خطر تشدید جنبش زمین (بویژه در محدوده‌ای از جنوب و مرکز تا غرب شهر) مطرح است. در اثر آن شدت زلزله تا به 10 MMI هم خواهد رسید. بر اساس نقشه خطر شهر کرمان میزان خطر در بخش‌های مرکزی، غربی و همچنین بخش‌هایی از جنوب شهر به شدت افزایش می‌یابد که سازه‌های موجود در این بخش‌ها در اثر زلزله احتمالی به شدت ویران خواهند شد.

نتایج تحلیل آسیب‌پذیری سازه‌ای نشان می‌دهد که در مجموع بیش از ۸۳ درصد سازه‌های شهر کرمان دارای آسیب‌پذیری بیش از ۵۰ درصد می‌باشند و حدود ۴ درصد از سازه‌های شهر کرمان داری مقاومت کافی در برابر زمین لرزه احتمالی نسبتاً شدید می‌باشند.

جمعیت شهر کرمان بدون احتساب حاشیه‌نشین ۵۰۸۲۹۰ نفر و ۱۲۶۳۶۹ خانوار می‌باشد. بر اساس نقشه خطر زلزله، تخریب سازه‌ها، نقشه پراکندگی جمعیتی شهر کرمان و همپوش نمودن آنها مشخص می‌شود که تعداد جمعیت در هر زون از نظر خطرپذیری به چه میزانی است.

بنابراین پراکندگی جمعیت در معرض خطر و آسیب:

ـ در ناحیه با خطر انهدام و تخریب کامل: ۷۶۴۸ نفر و ۲۰۳۰ خانوار،
ـ در ناحیه با خطر بسیار زیاد: ۴۲۵۱۵ نفر و ۱۰۹۸۴ خانوار،
ـ در ناحیه با خطر زیاد: ۲۲۸۱۵۳ نفر و ۵۷۰۰۸ خانوار،
ـ در ناحیه با خطر متوسط: ۱۹۷۵۷۸ نفر و ۴۷۳۷۶ خانوار،
ـ در ناحیه با خطر کم: ۲۷۱۷۷ نفر و ۷۴۴۴ خانوار،
ـ با خطر بسیار کم: ۵۲۱۹ نفر و ۱۴۸۷ خانوار می‌باشد.

با توجه به بررسی‌های انجام شده در حدود ۵۳ درصد جمعیت شهر کرمان در نواحی با خطر بیش از ۵۰ درصد زندگی می کنند.

با توجه به احتمال رخداد بسیار زیاد خطر زمین‌لرزه و آسیب‌پذیری جمیعتی و سازه‌ای شهر کرمان بر اساس مطالعات صورت گرفته که مشخص می‌سازد ۸۳ درصد از سازه‌های شهر کرمان در اثر رخداد زلزله بیش از ۶ ریشتر ناشی از فعال شدن گسل (گسل تراستی کوهبنان در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی شهر کرمان) دچار تخریب بیش از ۵۰ درصد شده که بیش از ۵۳ درصد جمعیت شهر در معرض آسیب زیاد قرار خواهند گرفت. بنابراین انجام برنامه ریزی های منطقی و اصولی در این زمینه جهت ارتقای آمادگی مردم برای مقابله با بلایای طبیعی خصوصاً زلزله حائز اهمیت دوچندان می‌باشد.

منابع

۱ـ آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) و مرکز مطالعات زلزله و زیست‌محیطی تهران بزرگ (۱۳۸۰)، «***مطالعه و ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ***»، شهرداری تهران.

۲ـ «***آئین‌نامه ۲۸۰۰***»، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۳ـ ایری، عبدالجلال (۱۳۷۷)، «***برنامه‌ریزی کاهش اثرات زلزله در سطوح شهری***»، نمونه موردی منطقه ۲۰ شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

۴ـ بربریان، م.، قرشی، م.، شجاع طاهری. ج. و طالبیان. م. (۱۳۷۵)، «***پژوهش و بررسی ژرف نوزمینساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه-گسلش در گستره سمنان***»، سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۶۳.

۵ـ بیت‌اللهی، ع. (۱۳۸۵) «***مطالعات لرزه زمین ساخت و برآورد خطر زمین‌لرزه در استان مازندران***»، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.

۶ـ حسن‌زاده، رضا؛ عباس‌نژاد، احمد (۱۳۸۵)، «تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان با روش‌های احتمالاتی و تحلیلی»، ***چکیده مقالات دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران***، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ تا ۱۵ شهریورماه، ص۲۸۴.

۷ـ حسین‌زاده، سیدرضا (۱۳۸۳). «برنامه‌ریزی شهری همگام با مخاطرات طبیعی با تأکید بر ایران»، ***مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای***، شماره سوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۸ـ زهرایی، سیدمهدی و ارشاد، لیلی (۱۳۸۴)، «بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر قزوین»، ***نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران***، جلد ۳۹، انتشارات دانشگاه تهران.

۹ـ عباس‌نژاد، احمد؛ داستانپور، محمد (۱۳۷۸)، «***زلزله‌ها و زلزله‌خیزی استان کرمان***»، سازمان مسکن و شهرسازی استان کرمان، انتشارات خدمات فرهنگی کرمان، ۲۵۵ ص.

۱۰ـ مرکز آمار ایران، ***آمار و اطلاعات سرشماری سال ۱۳۸۵***.

11- Anderson, J.G. and Trifunac, M.D. (1978a), "Uniform Risk Functionals for Characterization of Strong Earthquake Ground Motion", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 68, pp. 205-218. ISET,

Journal of Earthquake Technology, December 2002.

12- Anderson, J.G. and Trifunac, M.D. (1977a), "***Uniform Risk Functionals for Characterisation of Strong Earthquake Ground Motion***", Report CE 77-02, Dept. of Civil Eng., University of Southern California, Los Angeles, California, U.S.A.

13- Benouar, Djillali. (2008), "***Disaster Risk Assessment in Urban Planning Management: Case study of Algiers***", Algeria, Regional Inter-Agency Workshop of Disaster Risk Assessment, Cairo, Egypt.

14- Benso, C., (2003), "***Macroeconomic Concepts of Vulnerability: Dynamics, Complexity and Public Policy, Mapping Vulnerability: Disasters Development and People***", Earthscan, London.

15- Birkmann, J, (2006), "***Measuring Vulnerability to Natural Hazards***", Hong Kong , 524 pp.

16- Chun Chen, (2007), "***The Development and Issues of Aeismic Hazard Mitigation in Taiwan***", The Taiwan-Japan Workshop on the Earthquake Early Warning System, Taipei, Taiwan.

17- Jordanovski, L.R., Todorovska, M.I. and Trifunac, M.D. (1991), "***A Model for Assessment of the Total Loss in a Building Exposed to Earthquake Hazard***", Report CE 92-05, Dept. of Civil Eng., Univ. of Southern California, Los Angeles, California, U.S.A.

18- Jordanovski, L.R., Todorovska, M.I. and Trifunca, M.D. (1993), "Total Loss in a Building Exposed to Earthquake Hazard, Part 1: the Model; Part II: A Hypothetical Example", ***European Earthq, Eng***. Vol. VI, No. 3, pp. 14-32

19- Ikeuchi, Koji (2006), "***Earthquake Disaster Mitigation Policy in Japan***", (Director for Earthquake and Volcanic Disaster Management Bureau, Cabinet Office, 1-2-2 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8969, Japan, Nobuharu Isago (Deputy director, ditto).

20- Mithel, James, K. (1999). "Megacities and Nathural Disasters: A Comparative Analysis", ***Geo Journal*** 49, 2000 Kulwer Publishers: Printed in Netherlands.