تحلیل خود همبستگی فضایی جمعیت در ارتباط با آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر

(مطالعهٔ موردی: شهر نجف آباد)

سوگل فاضل[1]، **امیر محمودزاده**[2]، **مسعود تقوایی**[3]

۱. نویسندهٔ مسئول: دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، پژوهشگاه شاخص پژوه، دانشگاه اصفهان، ایران.

Email:sofazel@gmail.com

۲. ریاست پژوهشگاه مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص پژوه، استادیار گروه عمران- زلزله، ایران.

۳. استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه اصفهان، ایران.

دریافت :۹۴/۱۲/۲۵ پذیرش:۹۵/۱۰/۱۴

چکیده

مقدمه: زلزله ظهور یک پدیده قابل رویت و احساس است که در مقیاس زمان زمین شناسی تکرار می‌شود و عدم بروز زلزله در منطقه‌ای که تا به‌حال در آن زلزله اتفاق نیفتاده است نشانگر ثبات و پایداری همیشگی نیست. با مراجعه به نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زمین لرزه در ایران مشاهده می‌شود که بیش از ۹۰ درصد از مساحت کشور روی نوار زلزله قراردارد. در این راستا ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق مختلف کشور با هدف کاهش آسیب‌پذیری جوامع شهری باید در اولویت برنامه‌ریزی‌ها قرار گیرد.

روش: این پژوهش از نوع کاربردی و روش آن معیاری – تحلیلی بوده و ضمن معرفی دیدگاههای مختلف در ارتباط با آسیب‌پذیری، ابتدا به منظور شناسایی الگوی پراکنش جمعیت در سطح شهر نجف آباد از تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی در نرم‌افزارARCGIS (آماره موران عمومی و شاخص لکه‌های داغ یا *Gi) استفاده گردیده، سپس با استفاده از پارامترهای گوناگون کمی و کیفی، براساس رویکرد تصمیم گیری چند معیاره و با به‌کارگیری فرایند تحلیل شبکه (ANP) به بررسی و تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف‌آباد پرداخته شده است.

یافته ها: نتایج حاصله نشانگر وجود الگوی خوشه‌ای توزیع جمعیت در سطح شهر و بالا بودن تراکم جمعیت در بخش مرکزی هسته اصلی شهر و شهرک یزدانشهر در جنوب غربی شهر می‌باشد. همچنین مطابق نقشهٔ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مجموعا حدود ۳۰ درصد مساحت توسعه یافته شهر در پهنه آسیب‌پذیری بالایی قرار داشته و ۳۷ درصد این مساحت از آسیب‌پذیری متوسط برخوردار است. با تطبیق نقشه توزیع جمعیت بر این پهنه‌بندی، جمعیتی بالغ بر ۵۱۰۰۰ نفر (با تراکمی بین ۷۰ تا ۱۰۰ نفر در هکتار) در معرض آسیب‌پذیری بالایی قرار دارند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نگرش‌های نوینی مانند مدیریت ریسک- بحران، اهداف بلندمدت زمانی محقق خواهند شد که ایمنی شهر در برابر خطرات زلزله به عنوان یک هدف در تمامی سطوح برنامه‌ریزی و به طور همه‌جانبه با تأکید بر عوامل اجتماعی– اقتصادی نگریسته شود.

کلمات کلیدی : آسیب‌پذیری، شاخص لکه‌های داغ، فرایند تحلیل شبکه، زمین لرزه، نجف‌آباد

مقدمه

از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۲ بالغ بـر ۹۸ درصـد جمعیـت جهان تحت تأثیر حوادث و بلایا قرار گرفته و بـیش از ۳۸ میلیون نفـر طـی ایـن مـدت جـان خـود را از دست داده اند. [۱و۲]

ایران در بین کشـورهای آسـیا و خاورمیانـه از نقطـه نظر وقوع بحران در رتبه اول قرار داشـته بـه طـوری که بین سال‌های ۱۹۰۰ تا۲۰۱۳ بیش از ۴۳,۵ میلیون نفـر یعنـی ۵۵ درصـد جمعیـت ایـران تحـت تـأثیر بحران‌های مختلف قرار داشته‌اند. [۲]

طبق گزارشات سـازمان ملـل و دیگـر بررسـی‌هـای صورت گرفته، زمین‌لرزه وجه غالب سـوانح طبیعـی ایران بوده به طوریکـه طبـق آمارهـای رسـمی ۱۷/۶ درصد زلزله‌های مخرب جهان به کشور ما اختصاص دارد، این رقم بیش از دو برابـر زلزلـه‌هـای مخـرب ژاپن (با ۷/۱ درصد) می‌باشد. [۳]

با مراجعه به نقشهٔ پهنه‌بندی خطر نسبی زمـین لـرزه در ایران مشاهده می‌شود کـه بـیش از ۹۰ درصـد از مساحت کشور روی نوار زلزله قراردارد. [۴]

هرچند تاکنون تحقیقات گسترده‌ای برای پـیش‌بینـی زلزله‌ها به منظور کاهش آثار آن صورت گرفته است، از جمله بررسی تغییرات گرمایی بـه دلیـل نیروهـای فشاری زمین و انتشار امـواج رادون درسـت قبـل از زلزله [۵]، لیکن در عمل امکان پیش‌بینی زلزله وجود ندارد. از طرفی آسیب‌پذیری شهرها از زلزله به دلیـل گسترش پیچیدگی‌های محیط شهری در طول سال‌ها افزایش یافته است. [۶]

یک مخاطره ماننـد زلزلـه، خـواه کوچـک باشـد یـا بزرگ، در مقیاس ملی باشـد یـا محلـی، ایـن مـردم جامعه‌اند که از آثار زیانبارش تأثیر می‌پذیرند[۷]، بـه ویژه در کشورهای در حال توسعه و جوامع فقیر کـه به دلیل آسیب‌پذیری بالا، بیشتر در معرض خطر قرار دارند. [۸]

زلزله ظهور یک پدیده قابل رویت و احسـاس اسـت که در مقیاس زمان زمین شناسی تکرار می‌شود، پس اگر وقوع زلزله‌های جدید را در منـاطقی کـه پیشـتر زلزله در آن اتفاق افتاده است قطعـی بـدانیم، بـه آن معنی نیست که از عدم بروز زلزله در منطقه‌ای که تـا به‌حال در آن زلزله اتفاق نیفتاده است، مطمئن هستیم (در کشور فرانسه محاسبه زلزله بـرای سـاختمان‌هـا، حتی در مناطق با احتمال صفر زلزله اجباری اسـت). [۹]

تاکنون تلاش‌ها و تحقیقات گسترده‌ای برای ارزیـابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در همه کشورها صورت گرفتـه است از جمله دراجیسویک و همکاران در پژوهشـی ضمن اشاره به وجود انواع مخاطرات مثل زمین‌لرزه، سیل، طوفان، آتش‌سوزی جنگل‌ها، زمین لغـزش و... در کشور صربستان، بـرای بررسـی آسـیب‌پـذیری و برنامـه‌ریـزی کـاربری اراضـی، اولـین نقشـه‌ای کـه پراکنش همه مخاطرات فوق را نشان می‌دهـد، تهیـه نموده‌اند. [۱۰]

لانتادا وهمکـاران در پژوهشـی ضـمن مـدل‌سـازی آسیب‌پذیری شهر بارسلون با استفاده از مدل ریسک یو، با به‌کارگیری مدل‌های موجود در زمینـه تخمـین خسارات به ارزیابی خسارات انسانی واقتصادی ایـن شهر پرداخته‌اند.[۱۱]

تانگ و ون با استفاده از هوش مصنوعی و GIS، خطر زلزله را در شهر دیانگ چین ارزیابی کردند. [۱۲]

تتالا و همکاران آسیب ناشی از زلزله را در شهر نیویورک، بر اساس شرایط ژئوتکتونیکی و خاک منطقه برآورد کرده و به سناریوسازی و مدلسازی برای آن پرداختند. [۱۳]

احدنژاد روشتی با به‌کارگیری مدل‌های AHP,RISK-UE، آسیب‌های وارده به ساختمان‌ها، تلفات انسانی و خسارت‌های اقتصادی شهر زنجان را مدل‌سازی و ریزپهنه‌بندی نموده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که منطقه ۳ شهر زنجان هم از نظر ساختمانی وهم به لحاظ اقتصادی آسیب‌پذیرترین منطقه شهر زنجان می‌باشد.[۱۴]

افتخاری و همکاران در پژوهشی آسیب‌پذیری را به عنوان عامل تعیین کننده اصلی بحران برمی‌شمارند و سه دیدگاه زیستی، فیزیکی، ساخت اجتماعی و ترکیبی را در فهم صحیح راه‌حل‌های کاهش خطر مورد توجه قرار می‌دهند. [۱۵]

قضاوت‌های متخصصان درباره زلزله‌های احتمالی بر مبنای دانش فعلی شان از گسل‌های شناخته شده استوار است در حالیکه شهروندان باید قضاوتشان از خطر بر مبنای این باشد که در یک منطقه زلزله خیز قراردارند.[۱۶]

شهر نجف آباد در فاصله سی کیلومتری شهر اصفهان، با جمعیتی بیش از ۲۲۱ هزار نفر (در سال ۱۳۹۰) شهری میانی با نقش خدماتی سطح یک و مهم‌ترین مرکز خدماتی پس از اصفهان در مجموعه شهری اصفهان بوده و طبق مصوبات استانی، به هنگام وقوع بحران به عنوان شهر معین برای شهر اصفهان در نظر گرفته شده است. از نظر زمین ساختی این شهر در زون سنندج- سیرجان قرار دارد که این زون جز ناآرامترین و به عبارتی فعالترین زون ساختمانی ایران به شمار می‌رود. [۱۷] بر اساس مطالعات انجام شده احتمال وقوع زلزله در این زون همواره وجود دارد.[۱۸]

هرچند در نقشه سایز موتکتونیک ایران، این شهردر منطقه با خطر نسبی متوسط قرار گرفته لیکن رویداد زمین لرزه‌های تاریخی و سده بیستم در گستره اصفهان و همچنین روندهای بنیادی گسل‌ها و ساختارهای جنبا در این پهنه نمایانگر میزان لرزه‌خیزی نسبتا بالای این ناحیه می‌باشد. [۱۹ و ۲۰] این مقاله در صدد الف) تهیهٔ مدلی برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف آباد به منظور تقسیم‌بندی نواحی مختلف شهر بر مبنای درجات مختلفی چون کم، متوسط و زیاد از نظر آسیب‌پذیری در مواقع بحرانی است، ب) نحوهٔ توزیع جمعیت در این پهنه‌بندی و تخمین میزان جمعیت آسیب‌پذیر است.

مبانی نظری تحقیق

دیدگاه‌ها و مدل‌های مختلفی برای تحلیل آسیب‌پذیری تبیین شده است که در ادامه به شرح تعدادی از آنها می‌پردازیم:

مدل فشار و رهایی(PAR)[۱]

یکی از مهم‌ترین مدل‌های مفهومی برای تبیین آسیب‌پذیری مکان‌ها در برابر مخاطرات است که مطابق با رویکرد اقتصاد سیاسی در سال ۱۹۹۴ از

۱.pressure and release

طرف بلیکی[1] و همکارانش ارائه شد. این مدل آسیب‌پذیری را به عنوان ویژگی یک شخص یا گروه و موقعیتشان معرفی می‌کند که در برابر یک مخاطره طبیعی، ظرفیت تحمل و مقاومتشان تحت تأثیر قرار گرفته است. به بیانی دیگر، این مدل آسیب‌پذیری را بر حسب ظرفیت مورد انتظار، فائق آمدن، واکنش نشان دادن و بازسازی در برابر یک محرک خارجی ارزیابی می‌نماید و با تمرکز روی فرایند و علل آسیب‌پذیری انسانی، چگونگی تبدیل شدن یک پدیدهٔ طبیعی به فاجعه را توضیح می‌دهد. آسیب‌پذیری در این مدل با سه فاکتور معین می‌شود: علل ریشه‌ای (شامل فرایندهای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی در جامعه)، فشارهای درونی (شامل انواع مخاطرات) و شرایط ناایمن (وضعیت جمعیت آسیب‌پذیرتحت فشار). [۴] این نظریه یک نگرش کل‌نگر به آسیب‌پذیری دارد و وزن بیشتری به مخاطرات نسبت به مدل CVA می‌دهد. [۲۱]

مدل تحلیل ظرفیت‌ها و آسیب‌پذیری(CVA)[2]

این تحلیل چارچوبی برای سازمان‌های غیردولتی[3] برای استفاده در طراحی و ارزیابی پروژه‌هاست و به طور گسترده برای آمادگی در برابر بلایا و کاهش اثرات آن استفاده شده است. این مدل تمایزی بین آسیب‌پذیری‌ها و نیازها ایجاد می‌کند. آسیب‌پذیری‌ها عوامل بلندمدتی هستند که توانایی جوامع را در واکنش به حوادث تحت تأثیر قرار داده یا آنها را در معرض بلایا قرار میدهند اما نیازها، احتیاجات فوری برای بقا و بازسازی پس از بلایا هستند. این مدل در عمل متمایل به ناچیز پنداشتن مخاطرات طبیعی به سبب متمرکز شدن روی ابعاد انسانی بلایا می‌باشد. [۱۴]

بوهل[4](۲۰۰۱) اهمیت مقابله و میزان آمادگی را به عنوان بخش درونی آسیب‌پذیری و نمودهای عینی (انسانی، طبیعی، مالی، فیزیکی) را به عنوان بخش بیرونی و خارجی آن معرفی می‌کند. به بیان دیگر میزان آمادگی را بخشی از تعریف آسیب‌پذیری در نظر میگیرد. [۲۲]

مارک پلینگ[5](۲۰۰۳) در مدلی (تصویر شمارهٔ ۱) که تا حدی متفاوت است، آسیب‌پذیری انسانی را به عنوان نتیجه کرد خارجی انعطاف‌پذیری، پایداری و در معرض خطر قرار گرفتن تعریف می‌کند. [۲۳]

چارچوب آسیب‌پذیری شهری (UVF[6])

دوان[7] (۲۰۱۳) چارچوبی برای آسیب‌پذیری شهری ارائه نمود که در آن آسیب‌پذیری به عنوان فعل و انفعالی بین جنبه‌های کالبدی و اجتماعی یک سیستم خاص (مانند یک محیط شهری) مطرح می‌شود و ظرفیت مقابله[8]، توانایی یک جامعه در ایستادگی و مقاومت در برابر بلایا و بازیابی پس از آن می‌باشد. برخلاف بعضی مفاهیم، این مدل، آسیب‌پذیری کلی را وابسته به ویژگی‌های کالبدی و اجتماعی و همچنین ظرفیت مقابله در یک جامعه می‌داند. در واقع این مدل شاخص قابلیت مقابله با مخاطرات طبیعی را جزئی از برآورد آسیب‌پذیری می‌داند.[۲۴] در مجموع این مدل‌ها به عنوان ابزارهای اولیه برای

[1] Blaikie
[2] Capacity and Vulnerability Analysis
[3] NGO
[4] Bohle
[5] Mark Pelling
[6] Urban Vulnerability Framework
[7] Dewan
[8] Coping Capacity

توضیح دادن آسیب‌پذیری هستند نه برای اندازه‌گیری آن. زیرا آنها را نمی‌توان بدون انبوهی از داده‌ها و تحلیل‌ها در عمل به کار گرفت. [۱۴]

مدل پیشنهادی پژوهش

باتوجه به نظرات ارائه شده در ارتباط با موضوع آسیب‌پذیری، فرایند پژوهش بر مبنای مدلی است که در آن آسیب‌پذیری، ترکیبی از «عوامل در معرض آسیب و ظرفیت مقابله جامعه» با آسیب‌های وارده می‌باشد (تصویر۲). درخصوص پدیده‌ای چندوجهی همچون زلزله که پیامدهای آن تمام جوانب شهر را در برمی‌گیرد، لازم است برای ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از آن مجموعه ای از عوامل با در نظر گرفتن اهمیت هر یک از آنها لحاظ شوند که با توجه به نبود آمار و اطلاعات کافی در همه زمینه‌ها، در این پژوهش «عوامل تعیین کننده نوع ساختار و کالبد ابنیه شهر، نحوهٔ دسترسی‌ها و شبکه‌های ارتباطی و وجود یا نبود فضاهای باز، تراکم جمعیت و بعد خانوار و نوع مالکیت ابنیه، دوری یا نزدیکی کاربری‌ها، به ویژه مسکونی، به تأسیسات خطرزای شهری»، به عنوان عوامل در معرض آسیب‌پذیری مد نظر قرار گرفته‌اند. از طرفی ظرفیت مقابله در این پژوهش شامل خدمات اضطراری و هم چنین وجود مراکز اسکان موقت می‌گردد. خدمات اضطراری برای هر ناحیه شهری، شامل موارد مختلفی از جمله ایستگاه‌های آتش‌نشانی، بیمارستان‌ها، مراکز پلیس، مراکز درمانی و مراکز اورژانس و.... می‌باشد. مراکز و تشکیلات مدیریتی و امدادی مرتبط با بحران، در کنترل و مهار بحران یک شهر نقش اصلی و تعیین‌کننده دارند و ناتوانی در پاسخگویی و ضعف در هر کدام از آنها آسیب‌پذیری‌ها را دو چندان می‌نماید.

آمار فضایی و شاخص‌های خودهمبستگی فضایی

گاهی در مطالعات محیطی با مشاهداتی سر و کار داریم که مستقل از یکدیگر نیستند و به نوعی وابستگی آنها ناشی از موقعیت و مکان قرار گرفتن مشاهدات در فضای مورد مطالعه می‌باشد. این گونه مشاهدات داده‌های فضایی نامیده می‌شوند و به دلیل وجود همبستگی فضایی بین آنها، روش‌های معمول آمار کلاسیک برای تحلیل آنها قابل استفاده نمی‌باشند، لذا شاخه آمار فضایی برای تحلیل اینگونه داده‌ها شکل گرفته و در حال توسعه می‌باشد. از جمله شاخص‌های آمار فضایی، خودهمبستگی فضایی می‌باشد. این پدیده در نمونه‌هایی که وابسته به مکان هستند، رخ می‌دهد و مدل‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری آن وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به شاخص آمارهٔ موران عمومی[۱] (جهانی) و شاخص لکه‌های داغ یا Gi*[۲] اشاره کرد. [۲۵]

روش تحقیق

نوع تحقیق از نظر هدف کاربردی و لحاظ روش گردآوری داده‌ها اسنادی-کتابخانه‌ای است. به طوری که گردآوری داده‌ها عمدتاً به صورت استفاده از نقشه‌ها، طرح‌های پژوهشی و اطلاعات طرح توسعه و عمران شهر، تصاویر هوایی، داده‌های آماری مربوط به سرشماری جمعیت سال ۱۳۹۰ صورت گرفته است. جامعهٔ آماری شهر نجف آباد است. شهرنجف آباد در ۲۵ کیلومتری غرب اصفهان با وسعتی در حدود ۸۹۵۵ هکتار و جمعیتی برابر

[۱] - Morans I
[۲] - Hot Spot Analysis(Getis-Ord Gi*)

۲۲۱۸۱۴ نفر (طبق نتایج سرشماری سال ۹۰) می‌باشد. این باغشهر عصر صفوی و اولین شهر جدید با برنامه از پیش اندیشیده شد، که در سال ۱۶۰۱ میلادی با فکر و اندیشه شیخ بهایی ریاضیدان و مهندس معمار عصر صفوی پایه‌گذاری گردید، در حال حاضر بر اساس تقسیم کار انجام شده در مجموعه شهری اصفهان، شهری میانی با نقش خدماتی سطح یک و مهم‌ترین مرکز خدماتی پس از اصفهان در این مجموعه شهری است. [۲۶]

شهر نجف‌آباد در برگیرنده مجموعه‌ای از محلات جدید گسسته از شهر همچون ویلاشهر، یزدانشهر، امیر آباد، فیروز آباد، شهرک آزادگان و صالح آباد می‌باشد. تصویر شمارهٔ ۳ موقعیت این شهر را به ترتیب در کشور، استان و شهرستان نشان می‌دهد.

در این پژوهش ابتدا به منظور شناسایی الگوی پراکنش جمعیت در سطح شهر نجف آباد از تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی در نرم‌افزار ARCGIS (آماره موران عمومی و شاخص لکه‌های داغ یا *Gi) استفاده شد و سپس آسیب‌پذیری شهر بر مبنای مدل ارائه شده بررسی می‌گردد. روش کار براساس رویکرد تصمیم گیری چند معیاره بوده و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از فرایند تحلیل شبکه[1](ANP) و به‌کارگیری نرم‌افزارهای Super Decision , ArcGIS۱۰,۲ صورت گرفته است. با استناد به مطالعات انجام شده قبلی و همچنین استفاده از نظر تعدادی از اساتید و متخصصان این موضوع، تعداد پنج معیار کلی و هیجده زیر معیار (جدول شمارهٔ ۱) برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری شهر از مخاطره زمین لرزه در نظر گرفته شده است. معیارهای اصلی با در نظر گرفتن عواملی مانند ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌های مسکونی شهر، موقعیت و چگونگی دسترسی‌ها و فضاهای باز، عوامل اجتماعی، موقعیت کاربری‌های خطرزا نسبت به کاربری‌های دیگر و چگونگی سازماندهی نهادهای امدادی- مدیریتی در سطح شهر تعریف شده‌اند. نکته قابل توجه در این پژوهش استفاده توأم عوامل کالبدی، اجتماعی و مدیریتی است که به دلیل عملکرد سیستمی می‌توانند باعث تشدید آسیب‌پذیری ناشی از خطر زلزله شوند.

یافته‌ها

بررسی وضعیت تکتونیک منطقه

از نظر زمین ساختی شهر نجف آباد در زون سنندج-سیرجان قرار دارد که این زون جز ناآرام‌ترین و به عبارتی فعال‌ترین زون ساختمانی ایران به شمار می‌رود [۱۷] و بر اساس مطالعات انجام شده احتمال وقوع زلزله در این زون همواره وجود دارد. [۱۸]

تماس این شهر با کوه‌های اطراف معمولا از نوع گسلی است که به دلیل فعال بودن کم و بیش شهر را تهدید می‌کنند. ابرگسل‌های قم- زفره و زاگرس و گسل رخ در پیرامون این حوزه قرار دارند و شواهد نشان می‌دهند هرگاه شروع به لرزیدن کنند، حتماً این محدوده را متأثر می‌سازند. [۲۷]

همچنین طبق مطالعه ارزشمندی که اخیراً در مورد وضعیت لرزه‌خیزی منطقه اصفهان انجام گرفته، با استفاده از تکنیک پردازش داده‌های رقومی ماهواره‌ای، انجام برداشت‌های صحرایی و با به کارگیری کهلرزه‌های ثبت شده توسط بخش

۱ -Analytic Network Process

زلزله‌شناسی سازمان انرژی اتمی و مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، در محدوده‌ای به شعاع صد کیلومتر در اطراف شهر اصفهان، تعداد زیادی گسل فعال مهم بعضا با طول بالای صد کیلومتر شناسایی شده، به طوری که بخش اعظم آنها برای نخستین بار شناسایی و معرفی گردیده‌اند [۲۰] و با توجه به وضعیت خاص ایران در تکنونیک جهانی می‌توان ادعا کرد که همهٔ گسل‌های ایران زلزله‌خیز هستند. [۱۷]

هرچند منطقه اصفهان از نظر لرزه‌ای نسبت به دیگر نقاط کشور از آرامش نسبی برخوردار است، لیکن این آرامش نشانگر ثبات و پایداری همیشگی نیست [۱۸] و با توجه به سابقه بروز زلزله‌های تاریخی در منطقه [۱۹] از یک سو و ثبت بیش از صدها کهلرزه توسط شبکه‌های لرزه‌نگاری طی سده گذشته از سوی دیگر، فعال بودن گسل‌های منطقه مورد مطالعه و آسیب‌پذیر بودن شهر از این مخاطره مشخص می‌گردد.تصویر شمارهٔ ۴ موقعیت گسل‌های فعال اطراف شهر نجف آباد را با استناد به ماخذ مشخص شده نشان می‌دهد.

تحلیل الگوی توزیع جمعیت با استفاده از آمارهٔ موران و شاخص لکه‌های داغ

در این پژوهش به منظور شناسایی الگوی پراکنش جمعیت در سطح شهر نجف آباد از تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی در نرم‌افزارARCGIS (آماره موران عمومی و شاخص لکه‌های داغ یا *Gi) استفاده شده است.

تحلیل خودهمبستگی فضایی موران را می‌توانیم برای توصیف ویژگی‌های فضایی یک متغیر در کل ناحیه به کار ببریم. [۲۵]

آماره موران که با استفاده از یک ضریب همبستگی بیان می‌شود یکی از بهترین شاخص‌ها برای تشخیص خوشه بندی است و مقدار آن بین ۱+ تا ۱- در نوسان می‌باشد. ارزش نزدیک به ۱+ نشان می‌دهد که به طور کلی نواحی دارای ارزش‌های مشابه (بالا یا پایین) دارای الگویی خوشه‌ای هستند و ارزش نزدیک به ۱- نشان می‌دهد که نواحی دارای ارزش‌های غیرمشابه در کنار یکدیگر قرار دارند (الگوی پراکنده) و اگر تعامل فضایی وجود نداشته باشد، ضریب موران صفر است. [۲۸]

با انتخاب شاخص موران از قسمت Analyzing Patterns، در پنجره باز شده لایه مربوط به جمعیت شهر(بر اساس حوزه‌های آماری تعریف شده در سرشماری جمعیت) و فیلد تراکم جمعیت (محاسبه شده برای هر حوزه) را قرار داده، با انتخاب روش فاصله معکوس، مقدار آماره موران برابر ۰/۲۴ به دست می‌آید. طبق گزارش نرم‌افزار (تصویر شمارهٔ ۵) این عدد نشانگر الگوی خوشه‌ای توزیع جمعیت در سطح شهر است که به دلیل چند هسته‌ای بودن بافت شهر منطقی به نظر میرسد.در ادامه به منظور نمایش و بررسی نحوهٔ توزیع فضایی جمعیت فوق روی نقشه از روش تحلیل لکه‌های داغ که یکی از روش‌های تهیه نقشه خوشه‌ها می‌باشد استفاده میگردد. بدین ترتیب که در منوی مربوطه دستور Hot Spot Analysis را روی لایه جمعیت شهر اجرا می‌کنیم.

آماره Gi که برای هر نوع عارضه موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود نوعی امتیاز z است که الگوی فضایی پراکندگی آماری را در توزیع داده‌های فضایی نشان می‌دهد. مطابق با تصویر شمارهٔ ۶ و جدول شمارهٔ ۲، امتیاز z مثبت یعنی از مقادیر ۱/۹۶ به بالا از نظر آماری معنی دار و به رنگ قرمز بوده، مقادیر بالای تراکم جمعیت را شامل گردیده و خوشه‌های با لکه‌های داغ را تشکیل میدهند. بر این اساس بخش مرکزی هسته اصلی شهر و شهرک یزدانشهر در قسمت جنوب غربی شهر از تراکم جمعیت بالایی برخوردار می‌باشند. در مقابل امتیاز z منفی به رنگ آبی و بیانگر مقادیر بسیارپایین تراکم جمعیت (در پیرامون محدوده شهر) بوده و خوشه‌های با لکه‌های سرد را تشکیل میدهند. هرچه از امتیاز مربوط از نظر عددی و دامنه رنگ مورد نظر در ناحیه‌های قرمز و آبی کاسته شود، دارای معنی داری آماری کمتر در سطوح مختلف بوده تا جایی که این امتیاز به دامنه ۱/۶۵ در ناحیه زرد رنگ برسد. در این وضعیت از نظر تشکیل خوشه‌های داغ یا سرد (با مقادیر بالا و پایین) خودهمبستگی فضایی غیرمعنی دار تلقی می‌شود. بدین معنی که در نواحی زرد رنگ، توزیع جمعیت شکل تصادفی به خود گرفته و از الگوی فضایی خاصی پیروی نمی‌کند.

تحلیل آسیب‌پذیری شهر با استفاده از مدل ANP

درخصوص مسائل همه جانبه ای همچون زلزله که پیامدهای آن تمام جوانب شهر را در برمی گیرد، لازم است برای ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از آن مجموعه ای از عوامل با در نظر گرفتن اهمیت هر یک از آنها لحاظ شوند. معمولا آسیب‌پذیری فضایی یک شهر متاثر از پارامترهای گوناگون، پیچیده و اغلب کیفی است که در این پژوهش با توجه به مدل ارائه شده و جدول شمارهٔ۱ به تحلیل آسیب‌پذیری شهر نجف آباد خواهیم پرداخت. پس از جمع آوری داده‌های اولیه، نقشه‌های معیار در نرم‌افزار GIS تهیه، تبدیل به رستر و طبقه‌بندی مجددگردیدند. از طرفی برای وزن‌دهی شاخص‌های فوق از مدل ANP استفاده شده است. تکنیک ANP، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)[۱] و نسل جدید تحلیل‌های سلسله مراتبی است که برای تعیین اولویت معیارها و گزینه‌ها همراه با تعیین ارتباطات بین متغیرهای مستقل و وابسته به‌کار می‌رود [۲۹و۳۰].

برای بررسی تعاملات و ارتباطات میان معیارها و زیر معیارها از نظر میزان اثرگذاری یا اثرپذیری از یکدیگر با توجه به هدف پژوهش و انجام مقایسات زوجی بین آنها، پرسشنامه‌های مربوطه تهیه و توسط کارشناسان مرتبط با امور شهر و موضوع پژوهش تکمیل گردید. این مقایسه با استفاده از یک معیار کنترلی صورت می‌گیرد به گونه‌ای که یک معیار فقط زمانی می‌تواند به عنوان یک معیار کنترلی در نظر گرفته شود که بر معیارهای دیگر اثر بگذارد. معیارها به عنوان خوشه‌ها[۲] و زیرمعیارها به عنوان عناصر[۳] تعریف شدند. درنهایت طرح کلی مدل ANP تهیه و در نرم‌افزار Super Decision اجرا شد. لازم به ذکر است به دلیل شرح این مدل در بسیاری از پژوهش‌های پیشین مراحل کار به طور خلاصه ارائه

۱ -Multi Criteria Decision Making
۲- cluster
۳- node

می‌گردد. در تصویر شمارهٔ ۷، طرح کلی مدل، تعاملات و وابستگی‌های درون خوشه[1] و وابستگی‌های میان خوشه‌ها[2] نشان داده شده‌اند. وزن دهی به معیارها و زیرمعیارها مبتنی بر طیف وزنی مدل مذکور بوده و دامنه‌ای عددی از ۱ تا ۹ را شامل می‌گردد. در تمامی مقایسات زوجی بین خوشه‌ها و معیارها به طور جداگانه، نرخ ناسازگاری (CR) کمتر از ۰/۱ به دست آمده که نشانگر صحت قضاوت‌ها می‌باشد. از تلفیق نتایج هریک از ماتریس‌های مقایسه، ماتریس اولیه‌ای به دست می‌آید که نرم‌افزار با نرمال کردن آن، سوپرماتریس موزون را تشکیل می‌دهد. سپس مقادیر این سوپر ماتریس همگرا و سوپرماتریس کراندار (تصویر ۸) تشکیل می‌گردد. در نهایت نتایج برتری اولویت‌ها در تصویر شمارهٔ ۹ قابل مشاهده است. در این جدول، ستون اول وزن نرمال شده هر زیرمعیار در خوشه خودش را نشان داد و ستون دوم بیانگر وزن نهایی هر زیرمعیار است.

همانطور که مشاهده می‌شود زیرمعیار اسکلت بنا با وزن ۰/۲۴۹ بیشترین اهمیت را دارد چرا که تجربهٔ زلزله‌های اخیر نشان داد که نوع مصالح به‌کار رفته در ساختمان‌ها، مهم‌ترین پارامتر در آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر می‌باشد. پس از آن زیرمعیارهای کیفیت بنا، عرض معبر و تراکم جمعیت با وزن‌های ۰/۱۹۳، ۰/۱۵۸ و ۰/۱۰۱ دارای بیشترین اهمیت می‌باشند. در ادامه به منظورتهیه نقشه آسیب‌پذیری کلی شهر از زلزله احتمالی، وزن‌های به دست آمده از مدل ANP، از طریق دستور مربوطه در نرم‌افزار ARCGIS در لایه‌های رستری موجود اعمال می‌گردد. بدین ترتیب که لایه‌های استاندارد شده (با اندازه پیکسل ۵ متر) بصورت جدا از یکدیگر ضرب در وزن مربوط به خود شده و در نهایت همپوشانی[3] صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که در تصویر شمارهٔ ۱۰ لایه‌های مربوط به برخی زیرمعیارها در یک نقشه ادغام شده‌اند.

برای تسهیل در بررسی موضوع، نقشه نهایی پس از طبقه بندی مجدد به پنج طبقه آسیب‌پذیری تقسیم شده که این امر به روش Jenks که بر پایه تعیین نقاط شکست طبیعی نمودار فراوانی استوار است، انجام گرفته است. تصویر شمارهٔ ۱۱ نقشهٔ توزیع فضایی آسیب‌پذیری کلی شهر از زلزله احتمالی و جدول شمارهٔ ۳ پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف آباد را نشان می‌دهد.

با توجه به نقشه آسیب‌پذیری شهر و جدول شمارهٔ ۳، در حدود ۳۰ درصد مساحت توسعه یافته شهر در پهنه آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا قرار داشته و در برگیرنده هسته مرکزی شهر و بخشی از شهرک صالح آباد با ساختمان‌هایی خشت و گلی و بعضا بلوک سیمانی بوده که اغلب بالای پنجاه سال قدمت دارند. همچنین ۳۷ درصد این مساحت دارای آسیب‌پذیری متوسط است که شامل ساختمان‌های با مصالح بنایی (آجر وآهن)، بدون فنداسیون مناسب و اغلب با قدمت بالای سی سال می‌باشند. با تطبیق نقشه پراکنش جمعیت بر نقشه آسیب‌پذیری کلی شهر مشخص می‌گردد که جمعیتی بالغ بر ۲۸۳۰۰ نفر در پهنه آسیب‌پذیری بسیاربالا و در حدود

۱.Inner Dependencies
۲.Outer Dependencies
۳.Index Overlay

۲۲۸۰۰ نفر در پهنه آسیب‌پذیری بالا قرار دارند. همچنین محدوده یزدانشهر در جنوب غربی شهر که دارای بالاترین تراکم جمعیت است (۱۸۰ نفر در هکتار در چند حوزه آماری)، در پهنه آسیب‌پذیری متوسط رو به بالا قرار دارد. ذکر چند نکته نیز در این مورد ضروری به نظر میرسد، شهر نجف آباد دارای حدود ۴۵۰ هکتار بافت فرسوده بوده که دربرگیرنده هسته مرکزی و فعالیت‌های اصلی شهر می‌باشد. همچنین حدود۶۰درصد ساختمان‌های شهر دارای اسکلت و فنداسیون مناسبی نبوده و حدود ۴۰ درصد ساختمان‌ها بالای سی سال قدمت دارند. از دیگر فاکتورهای بسیار مؤثر در آسیب‌پذیری این شهر، نبود یا کمبود فضای باز داخل شهر (به ویژه در هستهٔ مرکزی شهر) و وجود تعداد بسیار زیاد معابر با عرض کمتر از ۶ متر در نقاط مختلف شهر می‌باشد (تصویر شمارهٔ۱۰)، به طوری‌که در صورت وقوع بحرانی مانند زلزله از آسیب‌پذیری بسیار بالایی برخوردار بوده و کار امدادرسانی را عملا غیرممکن می‌سازند.

بحث و نتیجه‌گیری

اگرچه در شرایط کنونی پیشگویی زمان دقیق زمین لرزه‌ها و یا پیشگیری از وقوع آنها امکان‌پذیر نیست، اما کاهش زیان‌های ناشی از زمین لرزه‌ها امکان‌پذیرست. تجربه بسیاری از کشورهایی که مشابه فلات ایران در معرض خطر زمین لرزه‌های بزرگ قرار دارند، اما تلفات و خسارات به مراتب کمتری را متحمل می‌شوند، نشان داده است که با مطالعات دقیق در بررسی آسیب‌پذیری‌ها و همچنین رعایت بسیاری نکات مهم برای ایمنی شهرها می‌توان خسارات ناشی از زمین لرزه‌ها را کاهش داد. در این پژوهش ابتدا به منظور بررسی الگوی پراکنش جمعیت در سطح شهر نجف آباد از تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی در نرم‌افزار ARCGIS (آماره موران عمومی و شاخص لکه‌های داغ یا *Gi) استفاده شد که نتایج حاصله نشانگر الگوی خوشه‌ای توزیع جمعیت در سطح شهر بود و مطابق نقشه‌ها بخش مرکزی هستهٔ اصلی شهر و شهرک یزدانشهر در قسمت جنوب غربی شهر تراکم جمعیت بالایی داشت. سپس به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری شهر، هرچند که بررسی همه جانبه تمامی عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری شهر به طور یک‌جا امکان پذیر نیست، لیکن در این مقاله سعی گردید که این موضوع با در نظر گرفتن بیشترین تعداد شاخص‌ها و با استفاده از مدل ANP برای وزن‌دهی به آنها که دارای ساختار شبکه‌ای می‌باشند انجام شود. با در نظر گرفتن این روش و تلفیق آن با GIS آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف آباد بررسی گردید. نتایج حاکی از آنست که مجموعاً در حدود۶۷ درصد مساحت توسعه یافته شهر از آسیب‌پذیری متوسط رو به بالا برخوردارست که در برگیرنده ساختمان‌های خشتی و آجر و آهن می‌باشد. با تطبیق نقشه توزیع جمعیت بر این پهنه‌بندی، مجموعا جمعیتی بالغ بر ۵۱۰۰۰ نفر (با تراکمی بین ۷۰ تا ۱۰۰ نفر در هکتار) در پهنه آسیب‌پذیری زیادی قرار دارند. در این میان هسته مرکزی شهر به دلیل نداشتن فضای باز، وجود تعداد زیاد معابر با عرض کمتر از ۶ متر و شدت فشردگی بافت با در برداشتن نصف جمعیت شهر(بیش از صد

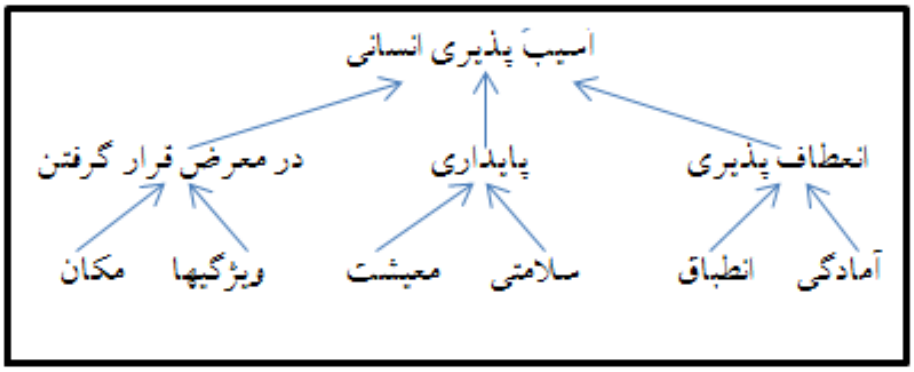
هزارنفر) از بالاترین آسیب‌پذیری برخوردار می‌باشد. امید میرود با توجه به لرزه خیزی ایران و لزوم حفظ منابع انسانی و مالی در کشور و برخورداری از ایمنی لازم در شهرها، سازمان‌های ذی‌ربط با همکاری هم گام‌های لازم را برای کاهش آسیب‌پذیری‌های ناشی از زلزله بردارند. هر چند در دو دهۀ اخیر فعالیت‌هایی در این زمینه صورت گرفته، لیکن با توجه به خاص بودن موقعیت اکثر شهرهای کشور در ارتباط با موضوع زمین لرزه، این امر باید برای همه مناطق مورد توجه قرار گیرد.

همچنین، با توجه به نگرش‌های نوینی مانند مدیریت ریسک- بحران، اهداف بلندمدت زمانی محقق خواهند شد که ایمنی شهر در برابر خطرات زلزله به عنوان یک هدف در تمامی سطوح برنامه‌ریزی و به‌طور همه‌جانبه با تأکید بر عوامل اجتماعی- اقتصادی نگریسته شود. در این میان سطح میانی یعنی شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری می‌تواند از کارآمدترین سطوح برنامه‌ریزی برای کاهش آسیب‌پذیری از زلزله باشد. «تعیین حریم نواحی خطرناک، تدوین ضوابط و مقررات خاص تراکم‌ها و کاربری‌ها، بهسازی و نوسازی بافت فرسوده، نظارت و کنترل دقیق عملیات اجرایی، بهره‌گیری از فناوری‌های جدید مقاوم سازی تعریض معابر دارای مشکلات حاد تردد، حفظ و ارتقای هویت اجتماعی شهر، توجه ویژه به نقش فضاهای باز و دسترسی‌ها، در نظر گرفتن اصول توده- فضا، همجواری و سازگاری کاربری‌ها» از جمله تمهیدات برنامه‌ریزی مؤثر در کاهش آسیب‌پذیری مناطق شهری هستند.

در ارتباط با تخصیص کاربری‌های مورد نیاز این شهر، با توجه به تغییر ساختار سنی جمعیت (از جوانی به میانسالی و کهنسالی)، تغییر در وضعیت کاربری‌های موجود را می‌طلبد و فضاهای بهداشتی- درمانی و فضای سبز و گردشگری از اولویت‌های تغییر کاربری‌هاست. لذا لازم است این «تغییر کاربری‌ها با توجه به نقشه آسیب‌پذیری شهر» صورت بگیرد.

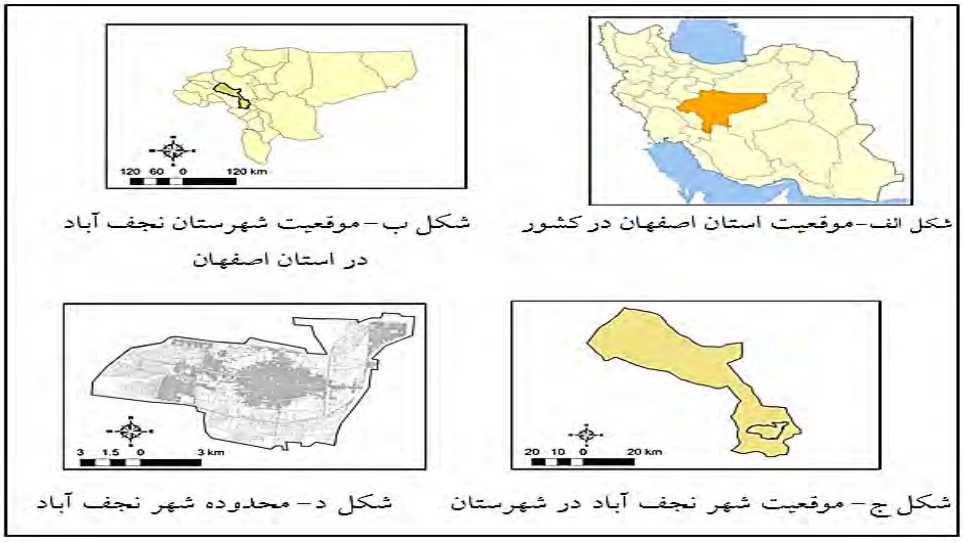
با در نظر گرفتن نتایج به دست آمده از مطالعات، مناطق و محلات مختلف شهر دامنه یکسانی از میزان آسیب ندارند، لذا برای رفع نقطه ضعف‌های محدوده‌های آسیب‌پذیر، هر فعالیت و عملکردی در ارتباط با نجات مصدومان باید با برنامه مدون اولویت‌بندی شده همراه باشد، به نحوی که اقدامات عملی از محدوده‌هایی آغاز شوند که در سلسله مراتب آسیب رتبه بالاتری دارند.

با توجه به پیشینه لرزه خیزی استان اصفهان لازم است ابتدا در مورد کل استان مطالعات پهنه‌بندی انجام گرفته، سپس «مطالعات ریز پهنه‌بندی در مناطق شهری و تأسیسات صنعتی» صورت پذیرد و چون تکنیک سنجش از دور در مناطق شهری و یا مناطق دارای پوشش گیاهی برای شناسایی گسل‌ها ضعیف عمل می‌کند، با استفاده از اطلاعات گمانه‌ای و برداشت‌های میدانی می‌توان این مشکل را رفع کرد.



تصویر شمارهٔ ۱ : عناصر آسیب‌پذیری مدل پلینگ[۲۴]

تصویر شمارهٔ ۲ : مدل مفهومی پژوهش برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر



شکل الف–موقعیت استان اصفهان در کشور
شکل ب–موقعیت شهرستان نجف آباد در استان اصفهان
شکل ج– موقعیت شهر نجف آباد در شهرستان
شکل د– محدوده شهر نجف آباد

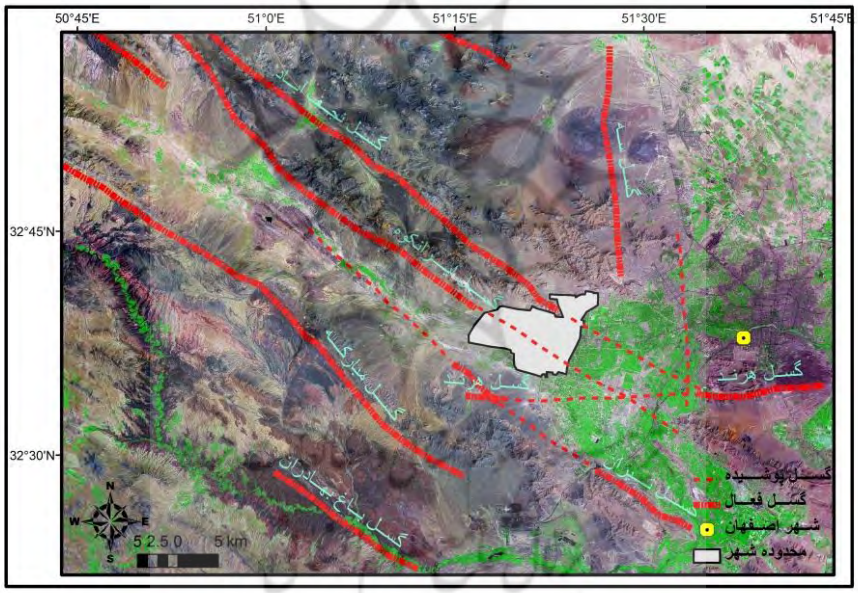
تصویر شمارهٔ ۳: موقعیت شهر نجف‌آباد به ترتیب در کشور، استان اصفهان و شهرستان نجف‌آباد (ترسیم: نگارنده)

جدول شمارهٔ ۱: ماتریس ارزیابی عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری از زلزله (ماخذ: نگارندگان و اقتباس و تلخیص از مطالعات پیشین)

عامل آسیب‌پذیری	معیار	زیرمعیار	آسیب‌پذیری بسیارکم	آسیب‌پذیری کم	آسیب‌پذیری متوسط	آسیب‌پذیری زیا	آسیب‌پذیری بسیار زیاد
	کالبدی	کیفیت بنا	–	نوساز	قابل نگهداری	تعمیری	تخریبی
		قدمت بنا	زیر ۵ سال	۶–۱۵ سال	۱۶ –۳۰ سال	۳۰–۵۰ سال	بالای ۵۰ سال
		مصالح بنا	فلزی	بتنی	آجر و آهن	آجر و سیمان	خشت و گلی
عوامل در معرض		مساحت قطعات	بیشتراز۵۰۰ مترمربع	۳۰۰–۵۰۰ مترمربع	۲۰۰–۳۰۰ مترمربع	۱۰۰–۲۰۰ مترمربع	کمتر از ۱۰۰ مترمربع
	دسترسی	عرض معابر	بالای ۲۰ متر	۱۴–۲۰ متر	۹–۱۴ متر	۶–۹ متر	کمتر از ۶ متر
		فاصله از فضای باز و سبز	۰–۲۰ متر	۲۰–۵۰ متر	۵۰–۱۵۰ متر	۱۵۰–۳۰۰ متر	بیشتر از ۳۰۰ متر
	اجتماعی	تراکم جمعیت	۱ نفر در هکتار –۵۰	۵۰ –۱۵۰	۱۵۰ –۲۵۰	۲۵۰ –۳۵۰	بیشتر از ۳۵۰
		بعد خانوار	کمتر از ۲ نفر	۲–۳	۳ –۳,۵	۳,۵ –۴	بیشتر از ۴
		مالکیت بنا	–	شخصی	استیجاری	سازمانی	وقفی
	همجواری با کاربری‌های خطرزا	پمپ بنزین و گاز	بیشتر از ۲۰۰۰ متر	۱۵۰۰ –۲۰۰۰	۱۰۰۰–۱۵۰۰	۵۰۰–۱۰۰۰	کمتر از ۵۰۰ متر
		ایستگاه تقلیل فشار گاز	بیشتر از ۲۰۰۰	۱۵۰۰ –۲۰۰۰	۱۰۰۰–۱۵۰۰ متر	۵۰۰–۱۰۰۰ متر	کمتر از ۵۰۰ متر
		پست فشار قوی برق	بیشتر از ۸۰ متر	۶۰–۸۰ متر	۴۰–۶۰ متر	۲۰ –۴۰ متر	کمتر از۲۰ متر
		مخازن آب	بالای ۶۰۰ متر	۴۵۰–۶۰۰ متر	۳۰۰–۴۵۰ متر	۱۵۰–۳۰۰ متر	کمتر از ۱۵۰ متر
ظرفیت مقابله		ساختمان بلندمرتبه	۲۰۰–۳۰۰ متر	۱۵۰–۲۰۰	۱۰۰–۱۵۰متر	۵۰–۱۰۰ متر	کمتر از ۵۰ متر
	شاخص‌های امدادی–مدیریتی	آتش‌نشانی	کمتر از ۵۰۰ متر	۵۰۰–۱۰۰۰	۱۰۰۰ –۱۵۰۰	۱۵۰۰ –۲۰۰۰	بالای ۲۰۰۰ متر
		مراکز درمانی	کمتر از ۵۰۰متر	۵۰۰–۱۰۰۰ متر	۱۰۰۰ –۱۵۰۰ متر	۱۵۰۰–۲۰۰۰	بالای ۲۰۰۰ متر
		مراکز انتظامی	کمتر از ۳۰۰۰متر	۳۰۰۰–۳۵۰۰ متر	۳۵۰۰–۴۰۰۰ متر	۴۰۰۰–۴۵۰۰ متر	بالای ۴۵۰۰ متر
		مراکز اسکان موقت	کاملاً مناسب	مناسب	خوب	ضعیف	نبود

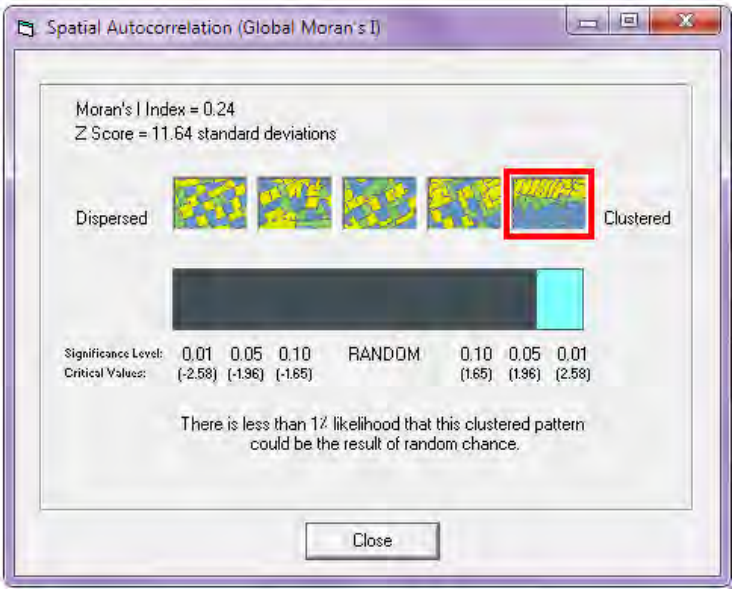
جدول شمارهٔ ۲: طبقه‌بندی نمرهٔ استاندارد در تحلیل نوع پراکنش داده‌های مکان محور [۲۶]

ردیف	نمرهٔ استاندارد (z-score)	سطح معناداری (p-value)	نوع الگوی پراکنش فضایی
۱	<-۲/۵۸	۰/۰۱	خوشه‌ای قوی – سرد- سرد
۲	-۲/۵۸-(-۱/۹۶)	۰/۰۵	خوشه‌ای متوسط – سرد- سرد
۳	-۱/۹۶-(-۱/۶۵)	۰/۱۰	خوشه‌ای ضعیف- سرد - سرد
۴	-۱/۶۵ -۱/۶۵	----	تصادفی- توزیع ناموزون
۵	۱/۶۵-۱/۹۶	۰/۱۰	خوشه‌ای ضعیف- داغ- داغ
۶	۱/۹۶ -۲/۵۸	۰/۰۵	خوشه‌ای متوسط- داغ- داغ
۷	> ۲/۵۸	۰/۰۱	خوشه‌ای قوی- داغ- داغ

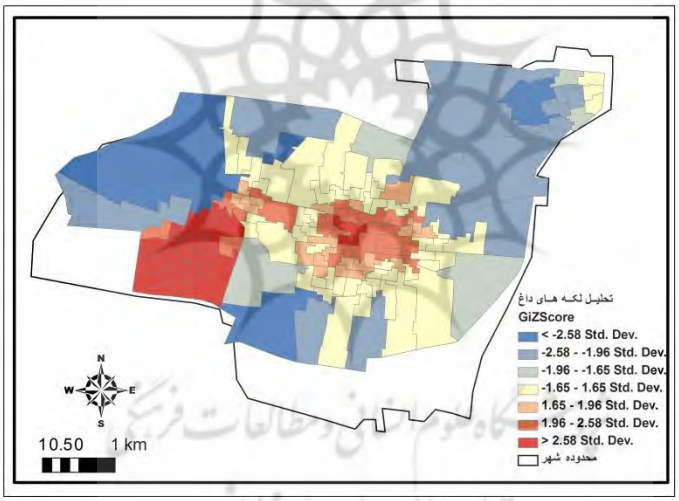


تصویر شمارهٔ ۴: گسل‌های فعال موجود در اطراف شهر نجف آباد*[۱۴] (ترسیم: نگارنده)

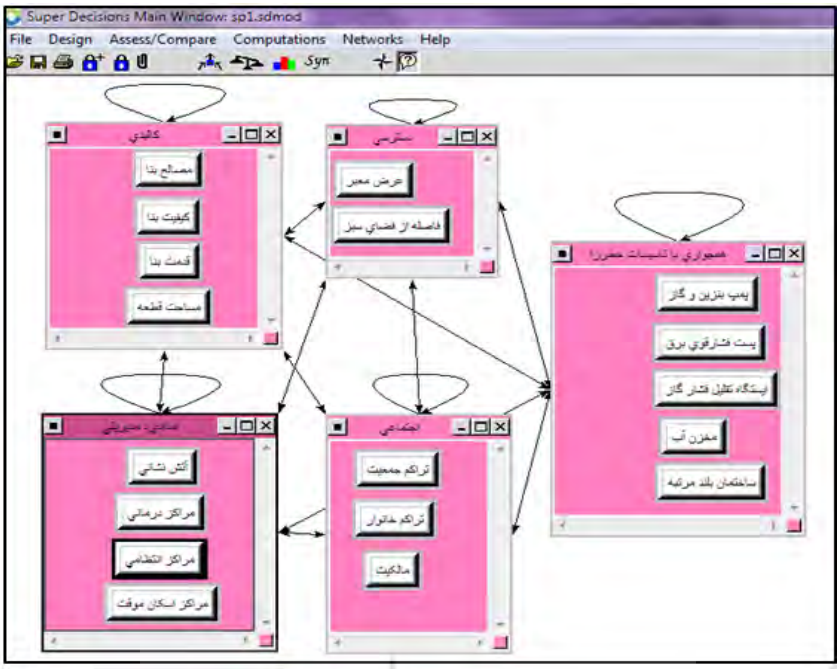
*لازم به توضیح است در تصویر ماهواره‌ای، گسل‌هایی که توسط محدوده‌های شهری یا پوشش گیاهی پوشیده می‌شوند به صورت خط چین ترسیم می‌گردند(گسل پوشیده).



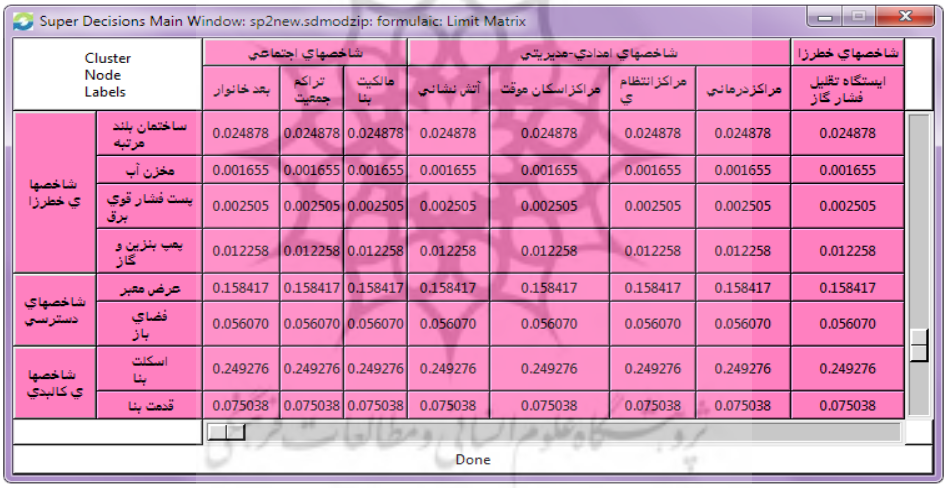
تصویر شمارهٔ ۵: گزارش مقدار آماره موران و نوع الگوی توزیع جمعیت در شهر



تصویر شمارهٔ ۶ : نقشه تحلیل لکه‌های داغ و نحوهٔ پراکنش جمعیت در شهر (تهیه و ترسیم: نگارنده)



تصویر شمارهٔ ۷ : طرح کلی مدل ANP مبتنی بر معیارهای کلی آسیب‌پذیری و زیرمعیارهای پژوهش

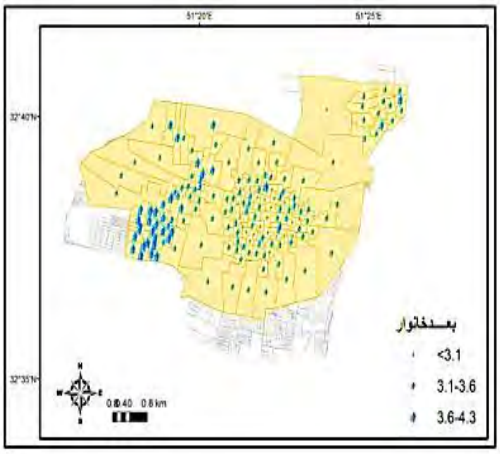


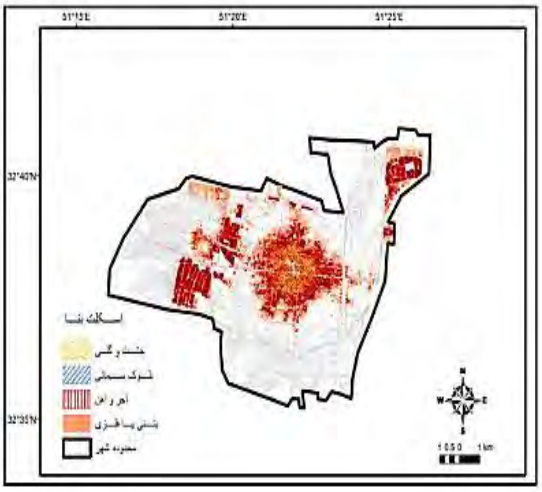
Cluster Node Labels		شاخصهاي اجتماعي			شاخصهاي امدادي-مديريتي				شاخصهاي خطرزا
		بعد خانوار	تراکم جمعيت	مالکيت بنا	آتش نشاني	مراکزاسکان موقت	مراکزانتظام ي	مراکزدرماني	ايستگاه تقليل فشار گاز
شاخصها ي خطرزا	ساختمان بلند مرتبه	0.024878	0.024878	0.024878	0.024878	0.024878	0.024878	0.024878	0.024878
	مخزن آب	0.001655	0.001655	0.001655	0.001655	0.001655	0.001655	0.001655	0.001655
	پست فشار قوي برق	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505	0.002505
	پمپ بنزين و گاز	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258	0.012258
شاخصهاي دسترسي	عرض معبر	0.158417	0.158417	0.158417	0.158417	0.158417	0.158417	0.158417	0.158417
	فضاي باز	0.056070	0.056070	0.056070	0.056070	0.056070	0.056070	0.056070	0.056070
شاخصها ي کالبدي	اسکلت بنا	0.249276	0.249276	0.249276	0.249276	0.249276	0.249276	0.249276	0.249276
	قدمت بنا	0.075038	0.075038	0.075038	0.075038	0.075038	0.075038	0.075038	0.075038

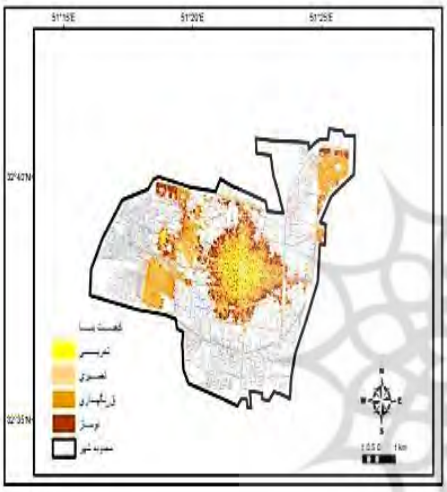
تصویر شمارهٔ ۸ : سوپرماتریس کراندار در نرم‌افزار سوپردسیشن

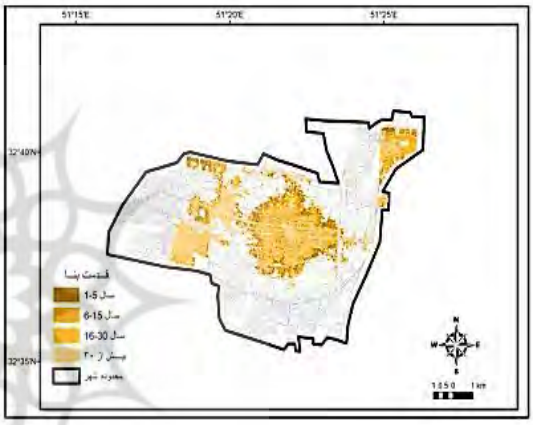
Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	بعد خانوار	0.29789	0.046783
No Icon	تراکم جمعيت	0.64555	0.101383
No Icon	مالکيت بنا	0.05656	0.008883
No Icon	آتش نشاني	0.46902	0.015198
No Icon	مراکزاسکان موقت	0.09206	0.002983
No Icon	مراکزانتظامي	0.10517	0.003408
No Icon	مراکزدرماني	0.33376	0.010815
No Icon	ايستگاه تقليل فشار گاز	0.11405	0.005316
No Icon	ساختمان بلند مرتبه	0.53373	0.024878
No Icon	مخزن آب	0.03551	0.001655
No Icon	پست فشار قوي برق	0.05374	0.002505
No Icon	پمپ بنزين و گاز	0.26298	0.012258
No Icon	عرض معبر	0.73859	0.158417
No Icon	فضاي باز	0.26141	0.056070
No Icon	اسکلت بنا	0.45369	0.249276
No Icon	قدمت بنا	0.13657	0.075038
No Icon	مساحت قطعات	0.05755	0.031619
No Icon	کيفيت بنا	0.35220	0.193514

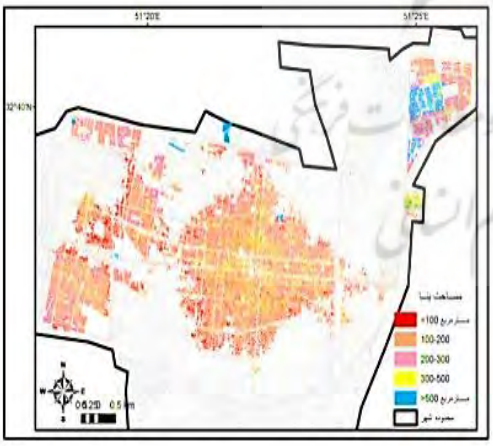
تصویر شمارهٔ ۹ : اوزان به دست آمده برای زیرمعیارها در نرم‌افزار سوپردسیشن

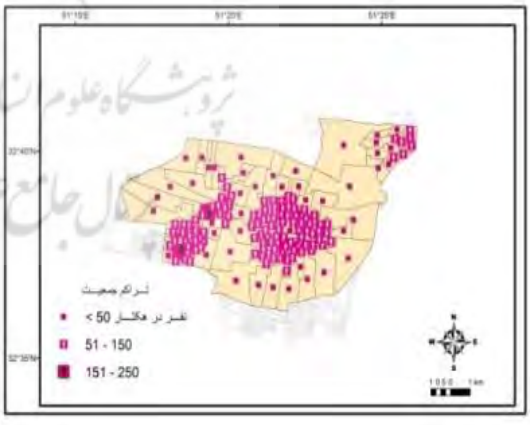

51°20'E
51°25'E
32°40'N
32°35'N
بعـدخانوار
<3.1
3.1-3.6
3.6-4.3
0 0.40 0.8 km

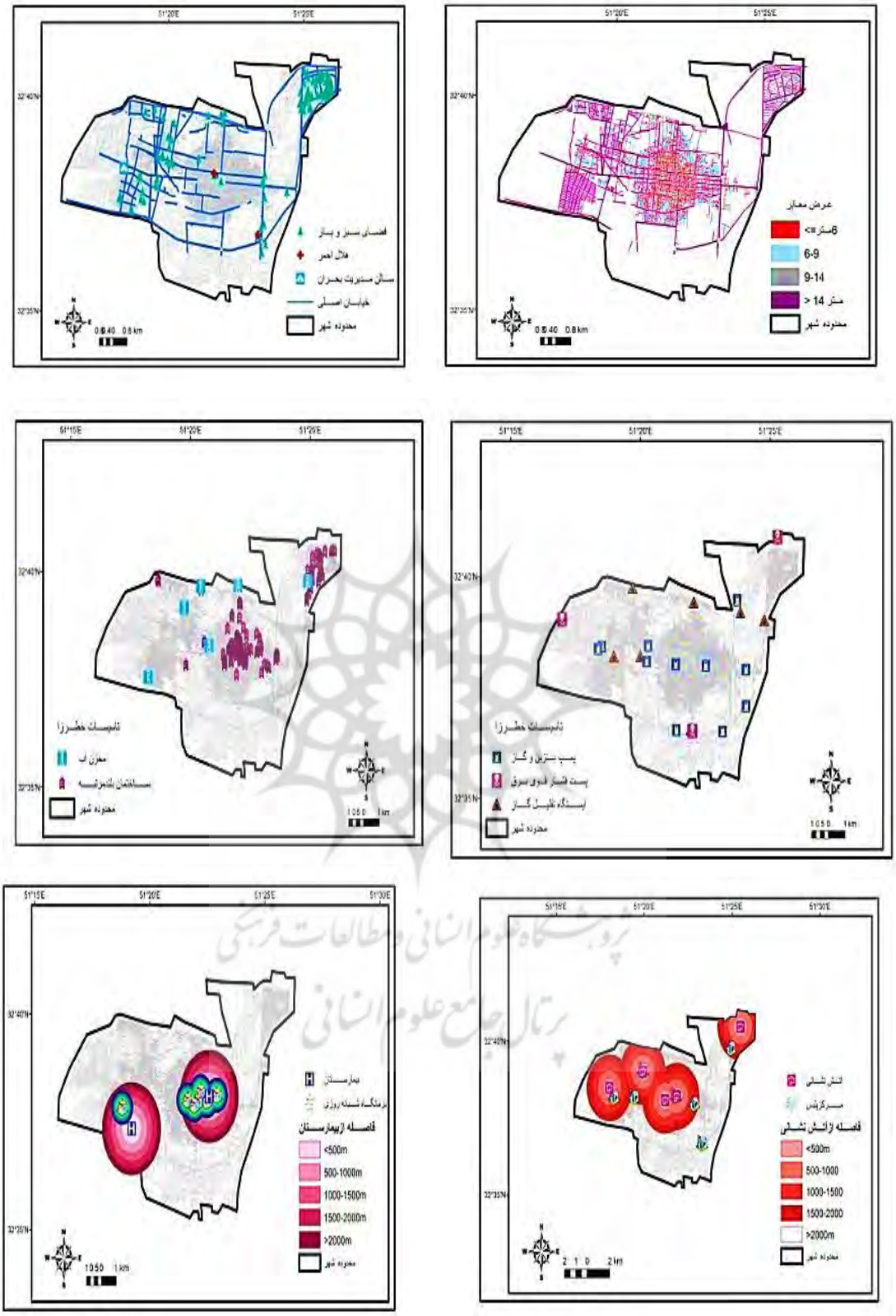

51°15'E
51°20'E
51°25'E
32°40'N
32°35'N
اسکلت بنا
خشت و گلی
بلوک سیمانی
آجر و آهن
بتنی یا فلزی
محدوده شهر
1 0.5 0 1 km


51°15'E
51°20'E
51°25'E
32°40'N
32°35'N
قدمت بنا
نو ساز
قدیمی
آپارتمانی
ویلایی
محدوده شهر
1 0.5 0 1 km

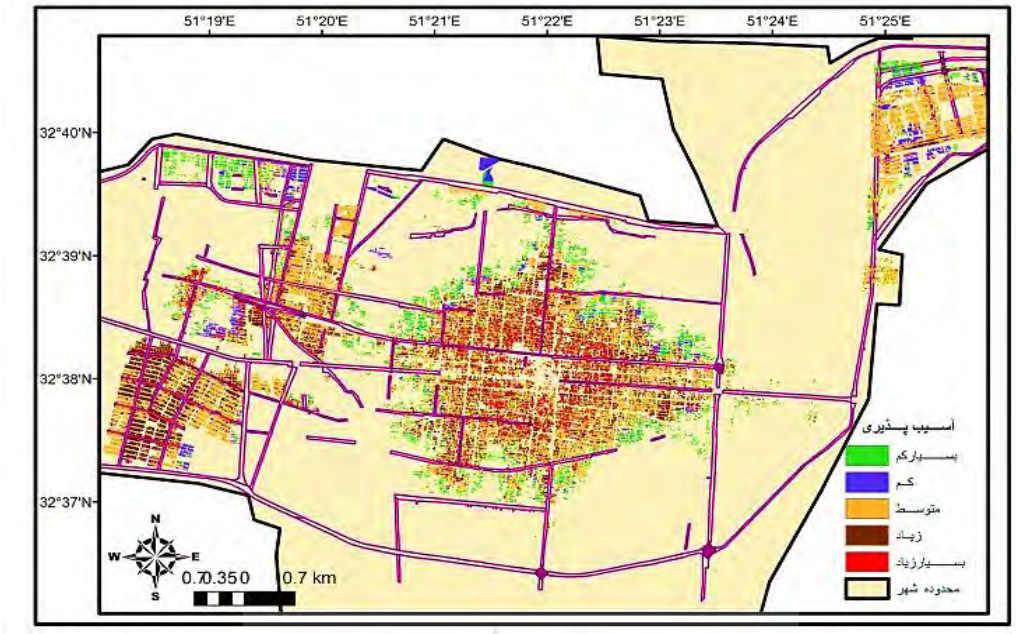

51°15'E
51°20'E
51°25'E
32°40'N
32°35'N
قدمت بنا
سال 1-5
سال 6-15
سال 16-30
بیش از ۳۰
محدوده شهر
1 0.5 0 1 km


51°20'E
51°25'E
32°40'N
مساحت بنا
100-200
200-300
300-500
محدوده شهر
0 0.25 0.5 km


51°15'E
51°20'E
51°25'E
32°40'N
32°35'N
تراکم جمعیت
نفر در هکتار 50 >
51 - 150
151 - 250
1 0.5 0 1 km



تصویر شمارهٔ ۱۰: مجموعه لایه‌های رستری (شامل ۱۲ نقشه) متناظر با زیر معیارهای مربوط به آسیب‌پذیری (تهیه و ترسیم: نگارنده)



تصویر شمارهٔ ۱۱ : نقشه توزیع فضایی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف آباد (ترسیم: نگارنده)

جدول شمارهٔ ۳ : پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر نجف آباد (مأخذ: محاسبات نگارنده)

میزان آسیب‌پذیری	مساحت پهنه (هکتار)	درصد آسیب هر پهنه
آسیب‌پذیری بسیار کم	۲۵۲/۱۷	۲۲ درصد
آسیب‌پذیری کم	۱۲۶/۱	۱۱ درصد
آسیب‌پذیری متوسط	۴۲۴/۱۲	۳۷ درصد
آسیب‌پذیری زیاد	۲۵۲/۱۷	۲۲ درصد
آسیب‌پذیری بسیارزیاد	۹۱/۷	۸ درصد

References

۱. *The World Factbook ۲۰۱۳-۱۴*. Washington, DC: Central Intelligence Agency, ۲۰۱۳

۲. D. Guha-Sapir, R. Below, Ph. Hoyois - EM-DAT:The CRED/OFDA international disaster database– www.emdat.be–Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium

۳. Mohammadzadeh R. *The experiences of urban planning to reduce the vulnerability of Tokyo Earthquake*, Journal of Geographical Space, ۲۰۰۹; No. ۲۶, p: ۸۹. [In Persian]

۴. Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. At risk. Natural hazards, people's vulnerability and disasters, ۲nd edition, London and New York, ۲۰۰۴.

۵. Ghosh, T., Mukhopadhyay, A. *Natural Hazard Zonation of Bihar (India) Using Geoinformatics: A Schematic Approach*. Springer Science & Business Media, ۲۰۱۴.

۶. Duzgun, H. S. B., Yucemen, M. S., Kalaycioglu, H. S., Celik, K., Kemec, S., Ertugay, K., & Deniz, A. *An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas*. Natural hazards, ۲۰۱۱; ۵۹(۲), ۹۱۷-۹۴۷.

۷. Islam, M. N., Malak, M. A., & Islam, M. N. *Community-based disaster risk and vulnerability models of a coastal*

municipality in Bangladesh. Natural hazards, ۲۰۱۳; ۶۹(۳), ۲۰۸۳-۲۱۰۳.

۸. Menoni, S., Molinari, D., Parker, D., Ballio, F., & Tapsell, S. *Assessing multifaceted vulnerability and resilience in order to design risk-mitigation strategies.* Natural hazards, ۲۰۱۲; ۶۴(۳), ۲۰۵۷-۲۰۸۲.

۹. Saghafi, M. *Assessment of Buildings Vulnerability in Bam earthquake*. Honarhaye Ziba ۲۰۰۵; Issue۱۷. [In Persian]

۱۰. Dragicevic S., Filipovic D, Kostadinov S, Ristic, R, Novkovic, I, Zivkovic N, Andjelkovic G, Abolmasov B, Secerov V & Djurdjic S. *Natural hazard assessment for land-use planning in Serbia.* International Journal of Environmental Research, ۲۰۱۱; (۵), Pp: ۳۷۱-۳۸۰.

۱۱. Lantada, N., Pujades, L. G., & Barbat, A. H. *Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation*. A comparison. Natural hazards, ۲۰۰۹; ۵۱(۳), Pp: ۵۰۱-۵۲۴.

۱۲. Tang, A., Wen, A. *An intelligent simulation system for earthquake disaster assessment*. Computers & Geosciences, ۲۰۰۹; ۳۵(۵), Pp: ۸۷۱-۸۷۹.

۱۳. Tantala, M. W., Nordenson, G. J., Deodatis, G., & Jacob, K. *Earthquake loss estimation for the New York City metropolitan region*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, ۲۰۰۸; ۲۸(۱۰), Pp: ۸۱۲-۸۳۵.

۱۴. Ahadnejad M. *Vulnerability modeling of cities with earthquake* (case study: Zanjan city), PhD thesis of Geographic-urban planning, Tehran University, ۲۰۰۹.[In Persian]

۱۵. Eftekhary A, Ghadiri M, Parhizkar A, et al. *Analysis of vulnerability to natural hazards theoretical perspectives*, Moddares J, ۲۰۰۹; Issue.۱۳, NO.۱. [In Persian]

۱۶. McClure, J., Johnston, D., Henrich, L., Milfont, T. L., & Becker, J. *When a hazard occurs where it is not expected: risk judgments about different regions after the Christchurch earthquakes*. Natural Hazards, ۲۰۱۵; ۷۵(۱), ۶۳۵-۶۵۲.

۱۷. Darvishzadeh A. *Iran Geology*, Publication of Amirkabir, Tehran, ۵th ed, ۲۰۱۳. [In Persian]

۱۸. Shahpasandzadeh M, Heidari M. *A preliminary study on seismic, seismic tectonics and the risk of earthquakes in the area in Isfahan*, Journal of Daneshnama, No ۱۰۷-۱۰۹, Publication of Isfahan Engineering Organization, ۲۰۰۳. [In Persian]

۱۹. Amberseys, N.N and Melville,c.p, *A history of Persian earthquake*, Cambridge earth science series, ۱۹۸۲; P:۶۷۴.

۲۰. Safaii, H. *Research project for identification and evaluation of the seismic faults around the Isfahan*. Deputy Mayor of Urban Planning and Architecture of Isfahan, ۲۰۰۶. [In Persian]

۲۱. Blaikie, P, Cannon T, Davis I & Wisner B. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*. London. Routledge, ۱۹۹٤.

۲۲. Bohle, H. G. *Vulnerability article ۱: vulnerability and criticality*. IHDP Newsletter Update, ۲۰۰۱.

۲۳. Pelling, M. *The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience*. Earthscan, ۲۰۰۳.

۲۴. Dewan, A. M. *Floods in a megacity: geospatial techniques in assessing hazards, risk and vulnerability*. Dordrecht: Springer, ۲۰۱۳.

۲۵. Beliani I, Hakimdoost I. *Principles of spatial data using spatial analysis*, Publisher Azadpeyma, Tehran, ۲۰۱۴. [In Persian]

۲۶. Jahan Pars Consulting Engineers. *Master Plan of Najafabad City*, ۲۰۱۲. [In Persian]

۲۷. Nabavi M. *The geological history of Iran*. Geological Organization of IRAN. ۱۹۷۷. [In Persian]

۲۸. Hoseini A, Ahadnejad M, Modiri M, Kamelifar J. *Assessment of the quality of urban areas with respect to the*

distribution utilities in manmade crises approach to passive defense (case study: Tehran).۲۰۱۴;۲:۷۹-۱۰۰. [In Persian]

۲۹. FathiZahraei, M., Marthandan, G., Raman, M., & Asadi, A. *Reducing risks in crisis management by GIS adoption. Natural Hazards*, ۲۰۱۴.pp:۱-۱۶.

۳۰. Zebardast, E. *Constructing a social vulnerability index to earthquake hazards using a hybrid factor analysis and analytic network process (F'ANP model).* Natural hazards, ۲۰۱۳; ۶۵(۳), ۱۳۳۱-۱۳۵۹. [In Persian]

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Spatial autocorrelation analysis of population in relation to the seismic vulnerability (Case study: city of Najaf Abad)

Corresponding author: **Sogol Fazel,** PhD student in Geography and Urban Planning, Research, Stock Research, University of Isfahan, Iran.
Email: sofazel@gmail.com

Amir Mahmoodzadeh, President of the Engineering Institute of natural disasters Indicators Research, Department of Earthquake Engineering, Iran.
Masoud Taghvaei, Professor, Department of Geography and Urban Planning, School of Geographical Sciences, University of Isfahan, Iran

Received: March ۱۵, ۲۰۱۶ **Accepted:** January ۳, ۲۱۷

Abstract

Background: Earthquake is a visible and repatable natural disaster which can be felt in the geological time scale.However, lack of earthquakes does not show permanent stability in the region. More than ۹۰٪ of the area is located on the earthquake belt referring to the relative hazard zonation map of earthquakes in Iran. In this regard, the seismic vulnerability evaluation in different regions of the country should be a priority in the planning.

Method: In this analytical and applied research, introducing different perspectives in relation to vulnerability, firstly, spatial autocorrelation analysis (ARCGIS)is used in order to identify patterns of population distribution in the city of Najaf Abad. Then, a variety of qualitative and quantitative parameters and analytic network process (ANP) is used on the basis of multi-criteria decision approach to analyze the seismic vulnerability in Najafabad.

Findings: The results showed the presence of a cluster pattern of population distribution in the city and high population density in the central part of the city and Yazdanshahr town in the southwestern. Also, about ۳۰% of total vulnerability hazard map developed in accordance with the city's high vulnerability zone and ۳۷٪ of the area were with an average of vulnerability. With the implementation of the zoning map of population distribution, over ۵۱،۰۰۰ persons (at a density between ۷۰ and ۱۰۰ ones per hectare) were in high vulnerability.

Conclusion: According to new theories such as risk-crisis management, long-term goals can be achieved if the safety of the city against earthquake risk consider as an objective and comprehensive planning at all levels with emphasis on socio-economic factors.

Keywords: vulnerability, hot spots index, network analytic process, earthquake, Najafabad