پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۶
ص. ۲۵۸-۲۴۳

ارزیابی آسیب‌پذیری کاربری آموزشی با رویکرد پدافند غیرعامل شهری دربرابر زلزله (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۶ تهران)

ابوالفضل مشکینی* – استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس
مرتضی شعبانی– دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه تربیت مدرس تهران
عبدالحمید نشاط– دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۶/۲۴

چکیده

امروزه یکی از اصول ضروری ایمن‌سازی فضاهای شهری، توجه به عملیاتی‌کردن الزامات پدافند غیرعامل شهری به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری و ایمن‌سازی آن‌هاست. کاربری‌های آموزشی، یکی از کاربری‌های عمومی در نظام کاربری اراضی شهری است که مدیریت ایمنی و توجه به الزامات پدافندی آن، به‌دلیل تولید سفر بالا و تراکم جمعیتی در ساعات مشخص و گاهی دائم، بسیار حائز اهمیت است. پژوهش حاضر، در زمینهٔ ارزیابی آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله با رویکرد پدافند غیرعامل شهری در منطقهٔ ۶ تهران است که در قالب مطالعات فضایی- مکانی و با اجرای مدل تحلیلی در سه گام انجام شد. ابتدا شناسایی و دسته‌بندی اصول و الزامات پدافند غیرعامل در سه گروه پارامترهای جمعیتی، سازه‌ای و مکانی صورت گرفت و با استفاده از ابزار پرسشنامه و نظرسنجی کارشناسی، اولویت‌های اصول پدافند غیرعامل در ارتباط با فضاهای آموزشی مشخص شد. در ادامه، بر پایهٔ فرایند تحلیل شبکه‌ای، تعیین وزن هریک از معیارها انجام گرفت. وزن حاصل از مدل ANP، در محیط نرم‌افزار ArcGIS بر لایه‌های مکانی منطقه اعمال شد. نتایج اجرای مدل نشان داد که از نظر شاخص‌های سازه‌ای، بیش از ۵۵ درصد واحدهای آموزشی منطقه، در گروه سازه‌هایی با میزان آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرند و از نظر شاخص‌های جمعیتی، در ۶۰ درصد واحدهای آموزشی درصورت وقوع زلزله میزان آسیب‌پذیری زیاد است. از لحاظ شاخص‌های مکانی، بیش از ۷۵ درصد فضاهای آموزشی، با چند نوع کاربری ناسازگار همجوار هستند و بیشترین آسیب‌پذیری را دارند. به‌طورکلی، نتایج حاصل از روی‌هم‌گذاری لایه‌ها نشان داد بیش از ۶۷ درصد واحدهای آموزشی محدوده در پهنه‌های آسیب‌پذیر واقع شده‌اند و میزان آسیب‌پذیری واحدهای آموزشی در این پهنه‌ها بسیار بالاست.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، پدافند غیرعامل، کاربری آموزشی، فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، منطقهٔ ۶ تهران.

* نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۲۳۸۵۶۳۸۸
Email: meshkini@modares.ac.ir

مقدمه

از ابتدای زندگی انسان روی کرهٔ زمین، بلایای طبیعی، مشکلات فراوانی برای زندگی انسان‌ها به‌وجود آورده و گسترش شهرنشینی و افزایش تعداد شهرها نیز ابعاد بلایای طبیعی را گسترده‌تر ساخته است. وقوع بلایای طبیعی مانند سیل، زلزله، توفان و گردوغبار، اغلب تأثیرات مخربی بر سکونتگاه‌های انسانی باقی گذاشته و تلفات سنگینی بر جا نهاده است؛ به‌طوری‌که ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها را نابود کرده و عوارض اقتصادی و اجتماعی پردامنه‌ای به جوامع و کشورها تحمیل کرده است (مک‌کی و کانور، ۲۰۰۵). شهرها به‌عنوان مکان‌های تجمع انسان‌ها، درمعرض وقوع بلایای طبیعی هستند و برای کاهش آثار این فجایع باید چاره‌ای اندیشیده شود (راوی و آشین، ۲۰۰۸). در شهرها تأسیسات و تجهیزاتی با انواع کاربری‌ها اعم از مسکونی، اداری، خدماتی، آموزشی و بهداشتی جای گرفته‌اند و با هریک از کاربری‌ها، جمعیتی سروکار دارند که وقوع حوادث طبیعی سبب متلاشی‌شدن سازمان زندگی و بروز خسارت‌های جانی و مالی فراوان به این افراد و به نوعی ایجاد بحران می‌شود (کورتین، ۲۰۰۹). در مناطق شهری، آثار زیانبار معمول حوادث طبیعی، تلفیقی از ویرانی‌های کالبدی و اختلال در عملکرد عناصر شهری است که ویرانی سازه‌ها و ساختمان‌های مسکونی، شبکهٔ راه‌ها و دسترسی‌ها از آن جمله‌اند (داعی‌نژاد، ۱۳۸۵). از این‌رو، رشد شتابان شهرنشینی و بوم‌ساخت اکولوژیک آسیب‌پذیر دربرابر بحران‌های محیطی و نیز ناایمن‌بودن فضاهای مهم و حساس در فضاهای شهری، مهم‌ترین چالش‌های نظام شهرنشینی کشور به‌شمار می‌روند؛ بنابراین، امروزه توجه به عملیاتی‌کردن الزامات پدافند غیرعامل شهری به‌منظور ایمن‌سازی فضاهای مهم و حساس شهری، یکی از اصول ضروری ایمن‌سازی فضاهای شهری محسوب می‌شود (کرباسیان و عابدی، ۲۰۱۱). از میان کاربری‌های غیرمسکونی، بخشی از کاربری‌ها نقش حساس و تعیین‌کننده‌ای در ایمنی فضاهای شهری دارند (هارتل، ۲۰۰۷). کاربری‌های آموزشی، به‌عنوان یکی از کاربری‌های عمومی در نظام کاربری اراضی شهری شناخته می‌شوند. مدیریت ایمنی این کاربری‌ها و توجه به الزامات پدافندی آن‌ها، به‌دلیل تولید سفر بالا و تراکم جمعیتی در ساعات مشخص و گاه دائم، بسیار حائز اهمیت است. کاربری‌های آموزشی، با توجه به فعالیت‌هایی که در آن‌ها صورت می‌گیرد، در مقایسه با سایر خدمات شهری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. تحلیل مقر و موقعیت فضاهای آموزشی و چگونگی مکان‌یابی آن‌ها از نظر بهداشتی، ایمنی و امنیت، دسترسی، ساختارهای فضایی و کالبدی، عوامل اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی، ما را در عملیاتی‌کردن الزامات پدافند غیرعامل شهری، ایمن‌سازی این فضاها و نیز ارتقای کیفیت مدیریت آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله کمک می‌کند. از این‌رو در این پژوهش، به‌منظور بررسی وضعیت آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی با رویکرد پدافند غیرعامل دربرابر زلزله در منطقهٔ ۶ تهران، ضمن شناسایی شاخص‌ها و معیارهای مؤثر، با استفاده از یک مدل مناسب، میزان تأثیرگذاری هریک از شاخص‌ها مشخص و اولویت‌بندی می‌شود و در ادامه، میزان آسیب‌پذیری این کاربری دربرابر خطر زلزله سنجش و ارزیابی می‌شود.

دربارهٔ الگوها و روش‌های مطرح‌شده در تعیین و بررسی تناسب اراضی برای اختصاص به کاربری‌های مختلف (اعم از کاربری آموزشی) پژوهش‌هایی انجام شده است که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

داداش‌پور و دیگران (۱۳۹۱) با استفاده از تلفیق فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، به تحلیل فضایی و مکان‌یابی مراکز اسکان موقت در منطقهٔ ۱۶ تهران پرداختند. آن‌ها با معرفی دیدگاه‌ها و متغیرهای تأثیرگذار در عرصهٔ مسکن و سرپناه پس از سانحه، کاربرد مدل ANP و تلفیق آن با GIS را بررسی و درنهایت، دو بوستان بعثت و بهمن را به‌عنوان مناسب‌ترین مکان برای استقرار سایت‌های اسکان موقت معرفی کردند.

امینی و دیگران (۱۳۸۶) به بیان رابطهٔ کاربری زمین شهری با آسیب‌پذیری شهر از زلزله و تأکید بر لزوم این جنبه در برنامه‌ریزی شهری پرداختند. آن‌ها با استفاده از تجربیات به‌دست‌آمده در شهرهای زلزله‌زدهٔ لار، سلماس، طبس، گلباف، منجیل، لوشان، رودبار و بم، ضمن مشخص‌کردن راهبردهای برنامه‌ریزی کاربری زمین، به ارائهٔ سیاست‌ها و معیارهای منعطف، ساده، منطقی و قوی برای بهسازی بافت شهر در مقابل زلزله پرداختند.

بمانیان و دیگران (۱۳۹۱) از طریق برنامه‌ریزی کاربری زمین، کاهش خطرپذیری شهر از بلایای طبیعی را بررسی کردند. آن‌ها با روش توصیفی- تحلیلی، ضمن شناسایی مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر بر میزان خطرپذیری شهر دربرابر زلزله، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و رابطهٔ خطرپذیری، به سنجش و ارزیابی میزان خطرپذیری منطقهٔ ۵ تهران پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش‌های ارزیابی خطرپذیری به‌ویژه روش‌های کمی و مقایسه‌ای، در ارائهٔ چارچوبی عملی و منطقی برای سنجش میزان خطرپذیری مؤثر واقع می‌شوند و براساس آن‌ها می‌توان برنامه‌ریزی کاربری زمین را برای کاهش خطرپذیری شهرها در رویدادهای طبیعی به‌ویژه زلزله، به‌گونه‌ای دقیق‌تر و باکیفیت‌تر هدایت کرد.

حسینی و دیگران (۱۳۹۳) در «تحلیلی بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شبیه‌سازی آن در مدیریت بحران»، به بررسی آسیب‌پذیری انواع کاربری در ناحیهٔ ۱۳ کرمان پرداختند. آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار کارمانیا خطر و نرم‌افزار Arc GIS، میزان خسارت کاربری‌ها و تعداد تلفات انسانی را محاسبه و در ادامه، کارایی انواع مراکز واکنش اضطراری در این ناحیه را ارزیابی کردند. نتایج پژوهش، بزرگ‌ترین مشکل این ناحیه را در وجود خانه‌های قدیمی و معابر پرپیچ‌وخم و کم‌عرض نشان داد که روند امدادرسانی را با مشکل و تأخیر مواجه می‌کند.

برنارد و دیگران (۲۰۰۸) در مطالعهٔ «برنامه‌ریزی و طراحی دفاع شهری در کشور سنگاپور»، به بررسی و تحلیل میزان آسیب‌پذیری کاربری‌ها و مقاومت آن‌ها دربرابر بحران‌های داخلی و خارجی پرداختند. مطابق نتایج، ایزوله‌کردن محیط‌های حساس و آسیب‌پذیر درهنگام وقوع بحران‌های شهری، از مهم‌ترین راهبردهای پدافند غیرعامل برای کاهش خسارت‌ها و صدمات است.

مبانی نظری

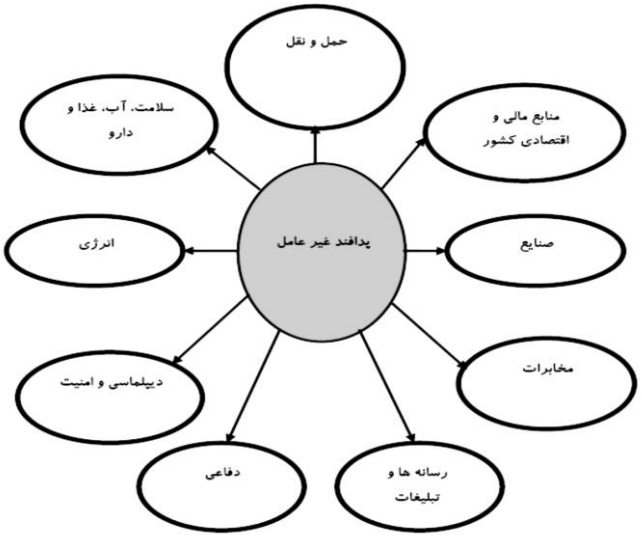
اهداف اصلی برنامه‌ریزی شهری را می‌توان در سه مفهوم کلیدی سلامت، آسایش و زیبایی خلاصه کرد و موضوع ایمنی شهری، در متون برنامه‌ریزی شهری به‌عنوان یک هدف ذکر نشده است، اما مسئلهٔ حفاظت از جان انسان‌ها، متعلقات آن‌ها و تأسیسات و تجهیزات شهری در مقابل مخاطرات طبیعی و انسانی، آن‌قدر مهم است که باید یکی از اهداف اصلی برنامه‌ریزی شهری محسوب شود. مخاطرات طبیعی، اجزای مهم تعامل بین طبیعت و انسان هستند و به رابطهٔ بین انسان و محیطش به‌صورت مثبت، یعنی استفادهٔ انسان از منابع طبیعی و به‌صورت منفی، یعنی مخاطرات و بلایای طبیعی باید توجه شود (گیبسون، ۱۹۹۷).

پدافند که از دو جزء پد و افند تشکیل شده، به‌معنای حفظ جان مردم، تضمین امنیت افراد، صیانت از تمامیت ارضی و حاکمیت ملی در همهٔ مواقع دربرابر هرگونه شرایط، موقعیت و هرگونه تجاوز است (برترند، ۲۰۱۱).

پدافند به دو بخش پدافند عامل[1] و پدافند غیرعامل[2] تقسیم می‌شود. پدافند عامل، به‌کارگیری مستقیم جنگ‌افزار، به‌منظور خنثی‌کردن یا کاهش آثار عملیات خصمانهٔ هوایی، زمینی، دریایی، نفوذی و خرابکارانه بر اهداف مورد نظر است (موحدی‌نیا، ۱۳۸۶). پدافند غیرعامل به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌شود که مستلزم به‌کارگیری جنگ‌افزار نیست و با اجرای آن می‌توان از واردشدن خسارت‌های مالی به تجهیزات و تأسیسات حیاتی و حساس و بروز تلفات انسانی جلوگیری کرد یا میزان این خسارت‌ها و تلفات را به حداقل ممکن کاهش داد (هارتل، ۲۰۰۷). بیشترین تأکید پدافند غیرعامل بر مدیریت پیش از بحران است و شامل هرگونه اقدام غیرمسلحانه می‌شود که آسیب‌پذیری نیروی انسانی، ساختمان‌ها، تأسیسات، تجهیزات، اسناد و شریان‌های حیاتی را درمقابل بحران‌هایی با عامل طبیعی (خشکسالی، سیل، زلزله، رانش

1. Active Defense
2. Passive Defense

و...) و عامل انسانی (جنگ، شورش و...) کاهش می‌دهد (حبیبی و دیگران، ۱۳۸۹). در شکل ۱ حوزه‌ها و محورهای اساسی پدافند غیرعامل نمایش داده شده است.



شکل ۱. حوزه‌ها و محورهای اساسی پدافند غیرعامل
منبع: کاربسیان و دیگران، ۱۳۹۰: ۹

پدافند غیرعامل شهری شامل اقداماتی برای کاهش آسیب‌پذیری، افزایش امنیت و ایجاد قابلیت انعطاف‌پذیری در وضعیت‌های مختلف و واکنش‌های به‌موقع به‌منظور نجات جان انسان‌ها و ساختمان‌های موجود است؛ بنابراین، می‌توان گفت که پدافند غیرعامل شهری، درواقع به‌دنبال راهکارهای مقابلهٔ بهینه و مناسب در ساختار جامعه‌ای است که امکان تهاجم به آن وجود دارد (داعی‌نژاد، ۱۳۸۵).

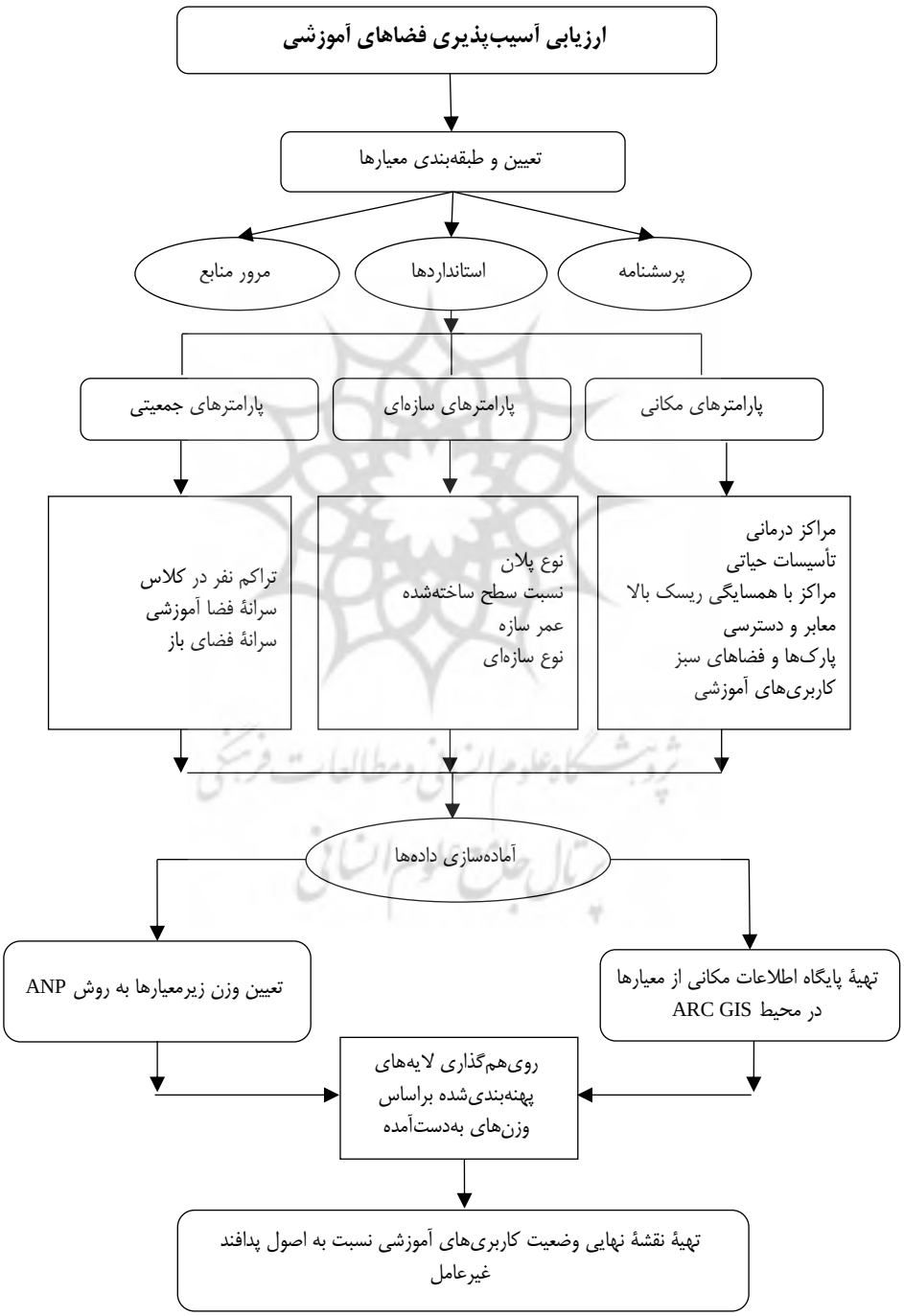
الزامات و اصول پدافند غیرعامل، مجموعه اقدامات بنیادی است که درصورت به‌کارگیری آن‌ها می‌توان به اهداف پدافند غیرعامل از قبیل کاهش خسارت‌ها و صدمات ناشی از خطرهای طبیعی دست یافت (مک‌کی و کانور، ۲۰۰۵). این اصول عبارت‌اند از: انتخاب عرصه‌های ایمن در سطح شهرها، تعیین مقیاس بهینهٔ استقرار جمعیت و فعالیت در فضا، پراکندگی در توزیع عملکردها متناسب با تهدیدها و جغرافیا، مقاوم‌سازی استحکامات و ایمن‌سازی سازه‌های حیاتی، و مکان‌یابی استقرار عملکردها (حمیدی، ۱۳۸۴). همچنین می‌توان مکان‌یابی بهینهٔ کاربری‌ها، توجه به اصول سازگاری و مجاورت، دسته‌بندی کاربری‌های مهم، حیاتی و حساس، ایجاد سازه‌های امن و مقاوم‌سازی، دسترسی‌های بهینهٔ ارتباطی، تمرکززدایی و پراکندگی، جانمایی بهینهٔ زیرساخت‌های حساس شهری (آب، برق، گاز و...) و پراکندگی را از اصول و الزامات پدافند غیرعامل در شهر دانست (حبیبی و دیگران، ۱۳۸۹).

روش پژوهش

هدف از این پژوهش، ارزیابی آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله با رویکرد پدافند غیرعامل شهری است که در قالب مطالعات فضایی- مکانی با اجرای یک مدل تحلیلی در سه گام محقق شد. در گام اول، اصول و الزامات پدافند غیرعامل با مطالعهٔ سوابق و با مراجعه به منابع علمی و معتبر به‌دست آمد. در گام دوم، اولویت‌های اصول پدافند غیرعامل در ارتباط با فضاهای آموزشی در منطقهٔ مورد مطالعه با استفاده از ابزار پرسشنامه تعیین شد و توزیع پرسشنامه بین سی

1. Civil defense

کارشناس اداره‌های مسکن و شهرسازی، ستاد حوادث غیرمترقبه، ادارهٔ کل نوسازی و توسعهٔ مدارس و نیز شهرداری صورت گرفت. در گام سوم، مدل تحلیلی بر پایهٔ روش ANP تعریف شد و وزن هریک از زیرمعیارها و معیارها، با استفاده از نرم‌افزار Super Decision به‌دست آمد. اوزان اختصاصی حاصل از مدل‌سازی ANP روی لایه‌های مکانی منطقه اعمال شد. در گام بعد، این وزن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 به هریک از لایه‌های مربوط به معیارها اعمال شدند و همراه با آن، تلفیق لایه‌ها نیز صورت گرفت. سپس نقشهٔ نهایی به‌صورت رستری در سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌دست آمد. در شکل ۲ مدل تحلیلی تدوین‌شده برای ارزیابی آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله با رویکرد پدافند غیرعامل شهری ارائه شده است.



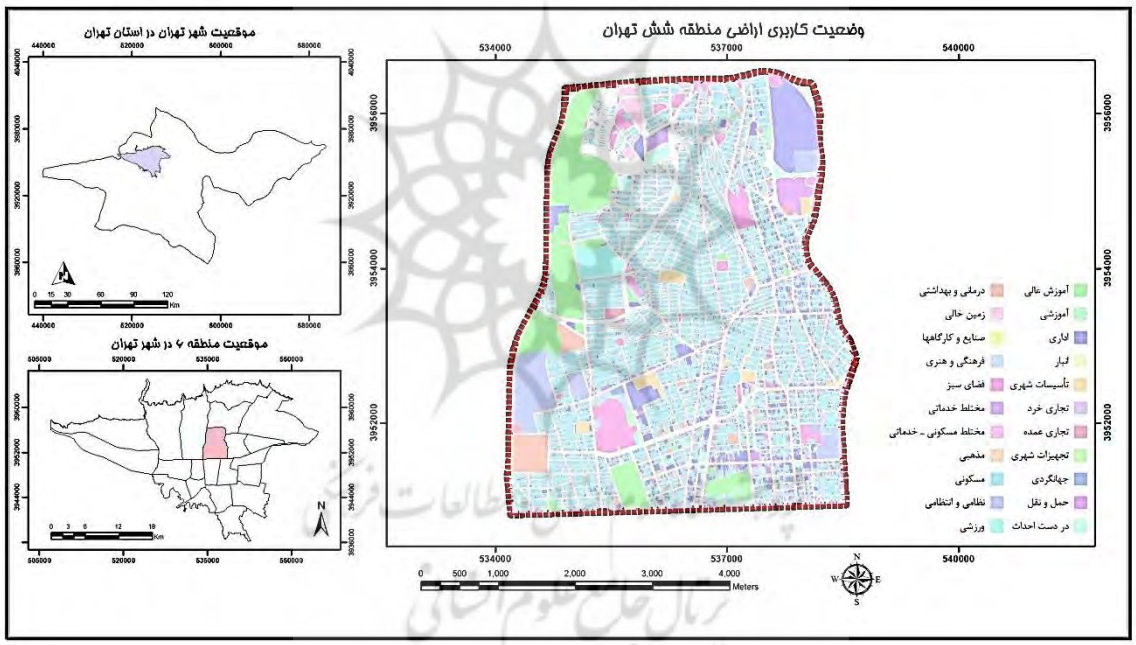
شکل ۲. مدل تحلیلی ارزیابی آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله با رویکرد پدافند غیرعامل شهری

منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه، منطقهٔ ۶ تهران با مساحتی حدود ۲۱۳۸/۵۶ هکتار (معادل ۳/۳ درصد مساحت شهر تهران) و از مناطق مرکزی شهر تهران است که از شمال به بزرگراه همت، از شرق به بزرگراه مدرس و خیابان شهید مفتح، از جنوب به محور انقلاب- آزادی و از غرب به بزرگراه شهید چمران محدود می‌شود. این منطقه، از شمال با منطقهٔ ۳، از شرق با منطقه‌های ۳ و ۷، از جنوب با منطقه‌های ۱۱ و ۱۲ و از غرب با منطقهٔ ۲ همجوار است. مطابق آمار سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۸۵، جمعیت این منطقه ۲۲۲،۵۸۳ نفر با ۷۰،۳۵۹ خانوار گزارش شده که به ۶ ناحیه و ۲۰ محله تقسیم شده است (شهرداری تهران، ۱۳۹۰).

معرفی و شناسایی معیارها

شاخص‌ها و معیارهای شناسایی‌شده برای ارزیابی و تحلیل وضعیت آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله با رویکرد پدافند غیرعامل شهری منطقهٔ ۶ به شرح جدول ۱ است.



شکل ۳. موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه

جدول ۱. معیارهای ارزیابی آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله با رویکرد پدافند غیرعامل شهری

معیارها	پارامترهای مکانی	پارامترهای سازه‌ای	پارامترهای جمعیتی
زیرمعیار	مراکز درمانی و امداد و نجات تأسیسات حیاتی مراکز با همسایگی ریسک بالا مانند پمپ‌بنزین معابر و شبکهٔ دسترسی پارک‌ها و فضاهای سبز کاربری‌های آموزشی موجود	نوع پلان نسبت سطح ساخته‌شده عمر سازه نوع سازه‌ای	تراکم نفر در کلاس سرانهٔ فضا آموزشی سرانهٔ فضای باز

فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)[1]

فرایند تحلیل شبکه یا ANP، یکی دیگر از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که شباهت زیادی به روش AHP دارد و به عبارت بهتر، شکل گسترش‌یافتهٔ فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. این فرایند که آن را ساعتی در سال ۱۹۹۶ مطرح و معرفی کرد، در مجموعهٔ مدل‌های جبرانی قرار می‌گیرد. همچنین این فرایند، نظریه‌ای جدید است که در آن، ساختار شبکه‌ای جانشین ساختار سلسله‌مراتبی شده است. این ویژگی سبب می‌شود که وابستگی‌ها و بازخوردهای بین معیارها و زیرمعیارها، به‌صورت نظام‌مند بررسی شود (چانگ و لی، ۲۰۰۵). روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) ارتباطات پیچیدهٔ میان عناصر تصمیم را از طریق جایگزینی ساختار سلسله‌مراتبی با ساختار شبکه‌ای درنظر می‌گیرد. به همین دلیل، در سال‌های اخیر استفاده از ANP در اغلب زمینه‌ها افزایش یافته است (زبردست، ۱۳۸۹). فرایند مدل‌سازی شامل مراحل زیر است که در ادامه، مراحل آن تشریح می‌شود (میکاییل، ۲۰۰۶).

گام اول، پایه‌ریزی مدل و ساختار مسئله: مسئله باید به شکلی روشن تبیین شود و به‌صورت یک سیستم منطقی و عقلانی مانند شبکه تجزیه شود.

گام دوم، ماتریس مقایسات زوجی و برآورد وزن نسبی: تعیین وزن نسبی در ANP شبیه به AHP است. به‌عبارتی از طریق مقایسهٔ زوجی می‌توان وزن نسبی معیارها و زیرمعیارها را مشخص کرد. مقایسه‌های زوجی عناصر در هر سطح، با توجه به اهمیت نسبی آن در مقایسه با معیار کنترل، شبیه روش AHP انجام می‌شود. ساعتی برای مقایسهٔ زوجی دو مؤلفه، یک مقیاس نه‌تایی را معرفی کرده است. مقدار aij در ماتریس مقایسهٔ زوجی، اهمیت نسبی مؤلفه را در سطر i با توجه به ستون j نشان می‌دهد و به‌عبارتی $aij=W_i/W_j$ را مشخص می‌کند؛ به‌طوری‌که عدد ۱ مشخص‌کنندهٔ اهمیت مساوی دو عنصر و عدد ۹ مشخص‌کنندهٔ بیشترین اهمیت ممکن یک عنصر در مقایسه با عنصر دیگر است.

از ارزش معکوس $\frac{1}{a_{ij}}$ زمانی استفاده می‌شود که j مهم‌تر از مؤلفهٔ i باشد. اگر n مؤلفه وجود داشته باشد، n مؤلفه با هم مقایسه خواهند شد. سوپرماتریس A در شکل ۴ نشان داده شده است.

$$W=\begin{array}{c|cccccc} & C_1 & C_2 & C_3 & \cdots & C_n \\ & e_{11}\ldots e_{1m_1} & e_{21}\ldots e_{2m_2} & & \cdots\cdots & e_{n1}\ldots e_{nm_n} \\ \hline C_1 & W_{11} & W_{12} & & \cdots & W_{1n} \\ C_2 & W_{12} & W_{22} & & \cdots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ C_n & W_{n1} & W_{n2} & & \cdots & W_{nn} \end{array}$$

شکل ۴. فرمت استاندارد یک سوپرماتریس

در روش AHP مقایسه‌های وزنی برای مؤلفه‌های j و i، به‌جای اختصاص وزن w_i و w_j از وزن نسبی، w_iتقسیم بر w_j استفاده می‌شود. پس از آنکه مقایسهٔ زوجی به‌صورت کامل انجام شد، بردار وزن (w) محاسبه می‌شود که ساعتی روش زیر را برای آن پیشنهاد کرده است:

1. Analytical Network Process

$$A \quad W \quad \lambda_{max} \quad W \qquad (۱)$$

که در آن، λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژهٔ ماتریس A است. بردار W با استفاده از $= \sum_{i=1}^{n} w_i$ نرمال می‌شود. نتیجهٔ آن W واحد است. به‌عبارتی جمع هر ستون در ماتریس برابر یک می‌شود. برای تعیین میزان سازگاری مقایسه‌ها، از شاخص سازگاری وزن معیارها استفاده می‌شود که محاسبهٔ آن با استفاده از رابطهٔ ۲ صورت می‌گیرد:

$$CI \quad \frac{\lambda_{max} \quad n}{n \quad ۱} \qquad (۲)$$

به‌طورکلی، اگر CI کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسه تأیید می‌شود. با توجه به هر معیار، مقایسهٔ زوجی در دو مرحله (در سطح عناصر و مقایسهٔ بین خوشه‌ها) انجام و نتایج مقایسه‌ها در سوپرماتریس وارد می‌شود.

گام سوم، تشکیل سوپرماتریس اولیه: عناصر ANP با یکدیگر در تعامل قرار دارند. این عناصر ممکن است واحد تصمیم‌گیرنده، معیارها، زیرمعیارها، نتایج، گزینه‌ها و هر چیز دیگری باشند. وزن نسبی هر ماتریس، براساس مقایسهٔ زوجی شبیه روش AHP محاسبه می‌شود. وزن‌های حاصل در سوپرماتریس وارد می‌شوند و رابطهٔ متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهند. در قالب عمومی، سوپرماتریس CN نشانگر خوشهٔ N ام، e_{Nn} عنصر n ام در خوشهٔ N ام، Wij ماتریس بلوک شامل وزن‌های نسبی بردارهای w است. اگر خوشهٔ i ام هیچ تأثیری بر خوشهٔ i ام خودش نداشته باشد (حالت وابستگی داخلی)، Wij صفر می‌شود. سوپرماتریس به‌دست‌آمده در این مرحله، سوپرماتریس اولیه معرفی می‌شود.

گام چهارم، تشکیل سوپرماتریس وزنی؛

گام پنجم، محاسبهٔ بردار وزنی عمومی: در مرحلهٔ بعد، سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس، همگرا و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند. براساس ماتریس به‌دست‌آمده، بردار وزن عمومی مشخص می‌شود.

$$\lim_{k\to\infty} w^{k} \qquad (۳)$$

ماتریسی که درنتیجهٔ به‌توان‌رسیدن ماتریس وزنی به‌دست می‌آید، ماتریسی حدی است که مقادیر هر سطر آن با یکدیگر برابر است. اگر سوپرماتریس، اثری زنجیره‌وار داشته باشد، ممکن است دو یا چند سوپرماتریس داشته باشیم و سوپرماتریس وزنی به‌صورت رابطهٔ ۴ همگرا می‌شود:

$$\lim_{k\to\infty} \left(\frac{1}{N}\right) \sum w_i^k \qquad (۴)$$

گام ششم، محاسبهٔ وزن نهایی معیارها: در آخرین مرحله، با توجه به جدول وزن خوشه‌ها و سوپرماتریس حد، وزن نهایی معیارها محاسبه می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

بحث و یافته‌ها

همان‌طورکه پیش‌تر اشاره شد، به‌منظور ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله با رویکرد پدافند غیرعامل شهری منطقهٔ ۶، پس از تعیین معیارها به روش دلفی و تهیهٔ لایه‌های اطلاعاتی، روش ANP بر داده‌ها اعمال شد. سپس وزن هریک از زیرمعیارها و معیارها مشخص و به نرم‌افزار Super Decision وارد شد. وزن حاصل از مدل سازی ANP بر لایه‌های ورودی اعمال شد. در گام بعد، هریک از معیارها با اوزان اختصاصی خود در محیط نرم‌افزار Arc GIS نسخهٔ ۲ و ۱۰ با یکدیگر تلفیق شدند. در انتها، نقشهٔ نهایی برای تعیین وضعیت آسیب‌پذیری کاربری آموزشی به‌صورت رستری حاصل شد.

جداول داده‌های حاصل از نظرهای کارشناسان برای وزن‌های تعیین‌شده و نقشه‌های آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله در پدافند غیرعامل شهری منطقهٔ ۶ تهران به شرح جدول ۲ است.

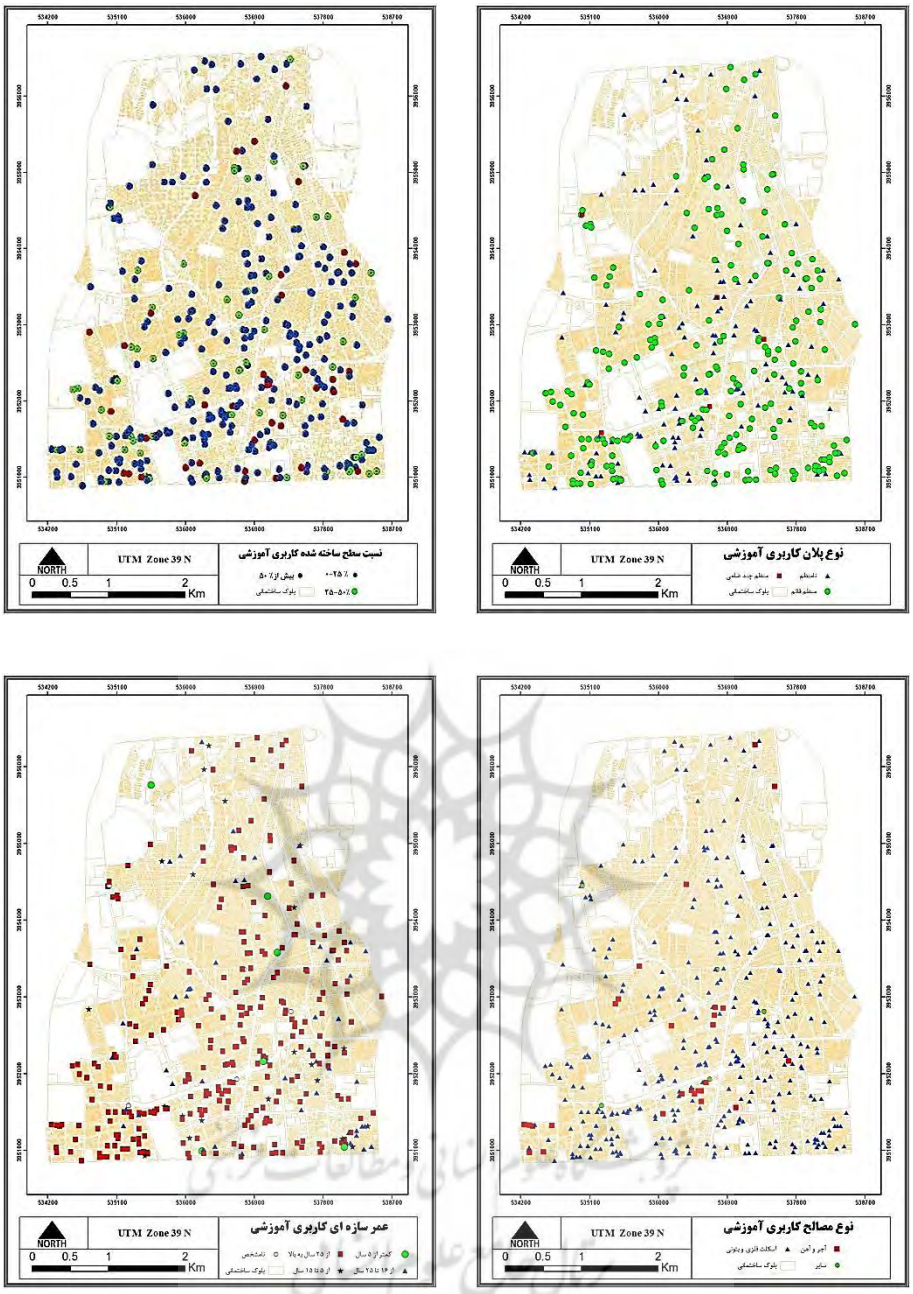
جدول ۲. ماتریس مقایسات زوجی و وزن معیارهای اصلی

معیارها	پارامترهای جمعیتی	پارامترهای سازه‌ای	پارامترهای مکانی	وزن نهایی
پارامترهای جمعیتی	۱	۱/۳	۱/۵	۰/۱۰۵
پارامترهای سازه‌ای	۳	۱	۱/۳	۰/۲۵۸
پارامترهای مکانی	۵	۳	۱	۰/۶۳۷

جدول ۳. سوپرماتریس حدی محاسبه‌شده برای ارزیابی آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی

		معیارهای سازه‌ای			معیارهای مکانی					معیارهای جمعیتی			
		نوع پلان	نسبت سطح ساخته‌شده	نوع سازه	عمر سازه	مراکز آموزشی موجود	مراکز درمانی	تأسیسات حیاتی	مراکز با همسایگی دارای ریسک بالا	شبکهٔ معابر و دسترسی	پارک‌ها و فضای سبز	تراکم نفر در کلاس	سرانهٔ فضای آموزشی	سرانهٔ فضای باز
معیارهای سازه‌ای	نوع پلان	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰
	نسبت سطح ساخته‌شده	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱
	نوع سازه	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴
	عمر سازه	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹	۰/۱۸۹
معیارهای مکانی	مراکز آموزشی موجود	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵
	مراکز درمانی	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷
	تأسیسات حیاتی	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱
	مراکز با ریسک بالا	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷
	شبکهٔ معابر و دسترسی	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷
	پارک‌ها و فضای سبز	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸
معیارهای جمعیتی	تراکم نفر در کلاس	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶
	سرانهٔ فضای آموزشی	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶
	سرانهٔ فضای باز	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸

نمودار ۱. وزن نهایی خروجی مدل ANP



شکل ۵. نقشه‌های شاخص‌های سازه‌ای

همان‌طورکه در نقشه‌های بالا مشاهده می‌شود، براساس نتایج بررسی پارامترهای سازه‌ای با مطالعه و ارزیابی واحدهای آموزشی منطقهٔ ۶ می‌توان این واحدها را از لحاظ شکل سازه در سه گروه به شرح زیر طبقه‌بندی کرد:

الف) ۲۱۸ واحد آموزشی دارای شکل پلان منظم قائم‌الزاویه هستند.

ب) ۵ واحد دارای شکل پلان منظم چندضلعی هستند.

ج) ۱۳۹ واحد آموزشی دارای شکل سازه‌ای نامنظم هستند.

از لحاظ نسبت سطح ساخته‌شده به مساحت کل قطعهٔ فضای آموزشی، در شکل ۵ مشاهده می‌شود که ۲۵۵ واحد آموزشی دارای سطح ساخته‌شدهٔ کمتر از ۲۵ درصد است که نشان می‌دهد میزان آسیب‌پذیری این فضاها دربرابر زلزله کم خواهد بود. ۶۴ واحد آموزشی در گروه دوم قرار می‌گیرند؛ یعنی گروهی که در آن، ۲۵ تا ۵۰ درصد مساحت زمین ساخته

شده است. میزان آسیب‌پذیری این واحدها دربرابر زلزلهٔ احتمالی ۵۰ درصد است. نسبت سطح ساخته‌شدهٔ ۴۳ واحد آموزشی نیز بیش از ۵۰ درصد است و در گروه سازه‌هایی با میزان آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرند.

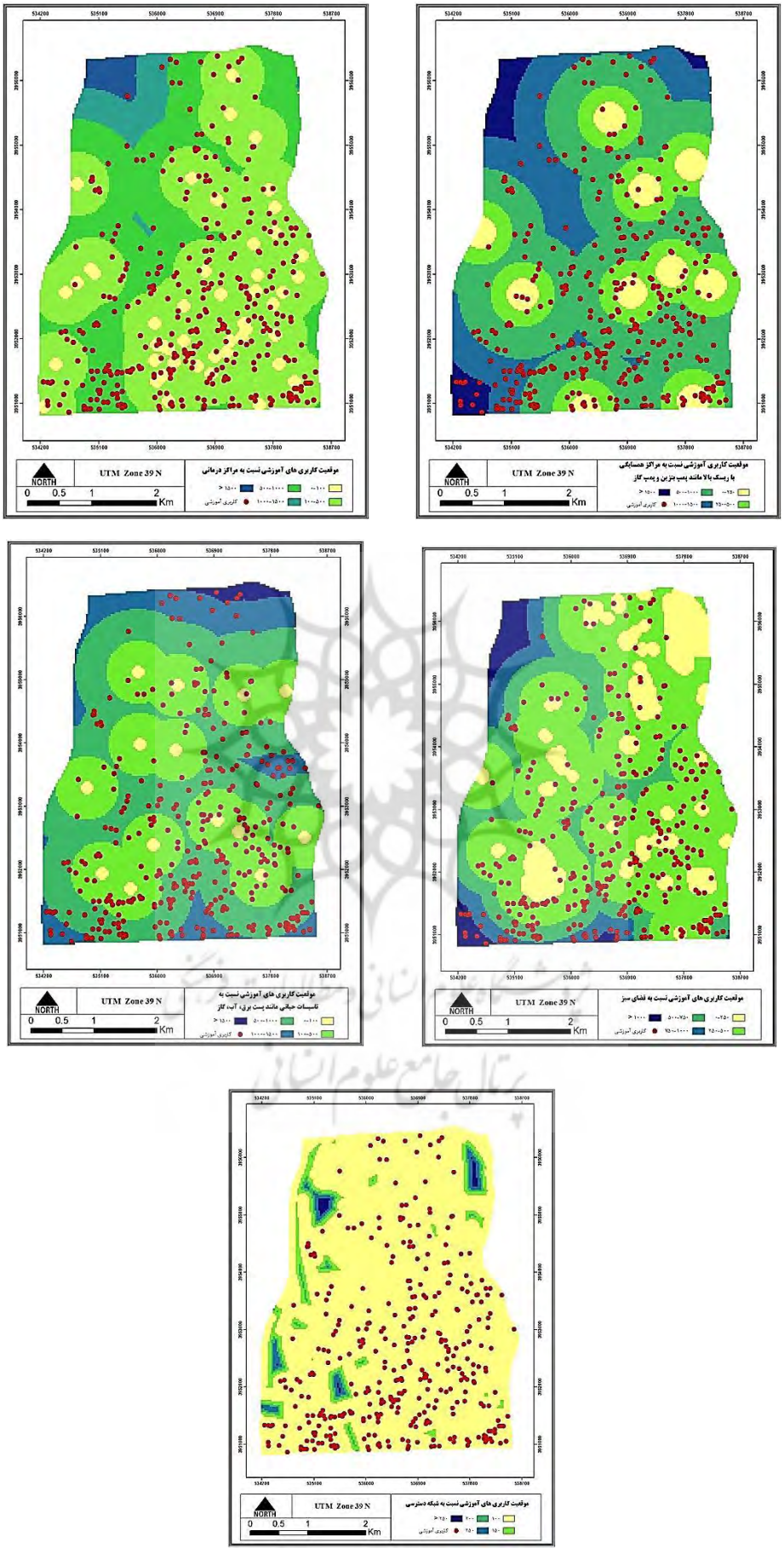
انواع شکل سازه، میزان آسیب‌پذیری مشخصی را دربرابر وقوع زلزله‌هایی با شدت‌های مختلف از خود نشان می‌دهند. همچنین نسبت سطوح ساخته‌شده به کل قطعه، در کاهش یا افزایش میزان آسیب‌پذیری مؤثر است. در اندازهٔ قطعه‌بندی کوچک‌تر اراضی، به‌علت خردشدن فضای باز و کاسته‌شدن فضای مفید و امن برای گریز، پناه‌گرفتن، عملیات امدادی و اسکان موقت نسبت به اراضی بزرگ‌اندازه بیشتر است.

براساس آمارهای سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس، ۲۷ واحد آموزشی منطقه دارای سیستم سازه‌ای از نوع مصالح آجر و آهن هستند. ۳۳۰ واحد آموزشی، تمام‌اسکلت از نوع بتنی و فلزی هستند و ۶ واحد آموزشی به‌صورت سایر ثبت شده‌اند. به‌عبارتی، ۷/۵ درصد از مدارس منطقه مصالح آجر و آهن، ۹۱/۲ درصد مصالح بتنی و فلزی و ۱/۳ درصد انواع دیگر مصالح را دارند. از نظر ایمنی، سازه‌های تمام‌اسکلت ایمن‌ترین هستند و سازه‌های آجری ایمنی ندارند.

درمورد عمر سازه‌های مراکز آموزشی منطقه، مطابق بررسی‌ها، از مجموع واحدهای آموزشی، عمر سازه‌ای ۶ واحد آموزشی کمتر از ۵ سال است که از نظر میزان آسیب‌پذیری دربرابر زلزله، در گروه با آسیب‌پذیری کم قرار می‌گیرد و درصورت رخدادن زلزله، حداکثر تخریب پیش‌بینی‌شده کم است. ۲۱ واحد آموزشی در گروه با عمر سازه‌ای بین ۵ تا ۱۵ قرار دارند که دارای خطرپذیری متوسط هستند و درصورت وقوع زلزلهٔ احتمالی، میزان تخریب در آن‌ها بیشتر از گروه قبلی است. ۵۰ واحد آموزشی با عمر سازه‌ای بین ۱۶ تا ۲۵ سال در گروه سازه‌های با خطرپذیری بالا و ۲۸۰ واحد آموزشی با عمر سازه‌ای بالای ۲۵ سال در گروه سازه‌های با خطرپذیری شدید قرار می‌گیرند که میزان تخریب این سازه‌ها دربرابر زلزله بیش از سه گروه قبلی است.

درمورد نتایج بررسی پارامترهای جمعیتی باید اشاره کرد که در برنامه‌ریزی‌های مقابله با سوانح طبیعی، اولویت‌بندی اهداف باید به‌صورتی باشد که پس از شناسایی مراکز آسیب‌پذیر، تراکم انسانی در این قبیل بخش‌ها کاهش داده شود. هرچه تراکم جمعیت کمتر باشد، آسیب‌پذیری و به‌عبارتی میزان تلفات کمتر می‌شود. تراکم جمعیت، هیچ نقشی در میزان تخریب ندارد؛ بلکه اهمیت تراکم‌ها مربوط به بعد از رخدادن تخریب است. با محاسبهٔ نسبت بین تعداد دانش‌آموزان و سطح زیربنای واحدهای آموزشی منطقه، ۱۲ واحد آموزشی دارای سرانهٔ بیش از ۵ مترمربع برای هر دانش‌آموز هستند که با توجه به استانداردهای سرانهٔ آموزشی، میزان آسیب‌پذیری این مدارس دربرابر زلزله به حداقل می‌رسد. ۱۸ واحد آموزشی در گروه با خطر متوسط قرار می‌گیرند. ۲۳۲ واحد آموزشی نیز در گروه واحدهای آموزشی قرار می‌گیرند که درصورت وقوع زلزله، میزان آسیب‌پذیری آن‌ها زیاد است.

هرگاه در تعیین کاربری‌های مختلف شهری، همجواری کاربری‌ها رعایت شود و کاربری‌هایی که با یکدیگر ناسازگارند، در کنار یکدیگر قرار نگیرند، درصورت وقوع زلزله، میزان آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد؛ چراکه امکان تخلیهٔ سریع واحدهای آموزشی بیشتر می‌شود و امدادرسانی به این واحدها سریع‌تر انجام می‌گیرد. در این قسمت، کاربری‌های آموزشی با هدف بررسی همجواری مطلوب با سایر کاربری‌های شهری بررسی شدند. در شکل ۶ مشخص شد که ۴۳ واحد از مراکز آموزشی منطقه، در حریم (فاصلهٔ کمتر از ۲۵۰ متر) مراکز با همسایگی ریسک بالا مانند پمپ‌بنزین و جایگاه گاز قرار گرفته‌اند. بقیهٔ فضاهای آموزشی، در مقایسه با مراکز با همسایگی ریسک بالا موقعیت نسبتاً مطلوبی دارند. وجود مراکز با همسایگی ریسک بالا در مجاورت کاربری‌های آموزشی ممکن است درصورت وقوع زلزله آثار نامطلوبی را بر فضاهای آموزشی ایجاد کند و سلامتی دانش‌آموزان را به خطر اندازد، اما مراکز آموزشی باید حداقل ۲۵۰ متر از این مراکز فاصله داشته باشند. در بررسی کاربری‌های آموزشی، ۶ واحد آموزشی در حریم تأسیسات قرار دارند که درصورت وقوع زلزله، تلفات جانی و مالی متعددی خواهد داشت. ۱۴۳ واحد آموزشی نیز در فاصلهٔ ۱۰۰ تا ۵۰۰ متری از



شکل ۶. نقشه‌های شاخص‌های مکانی

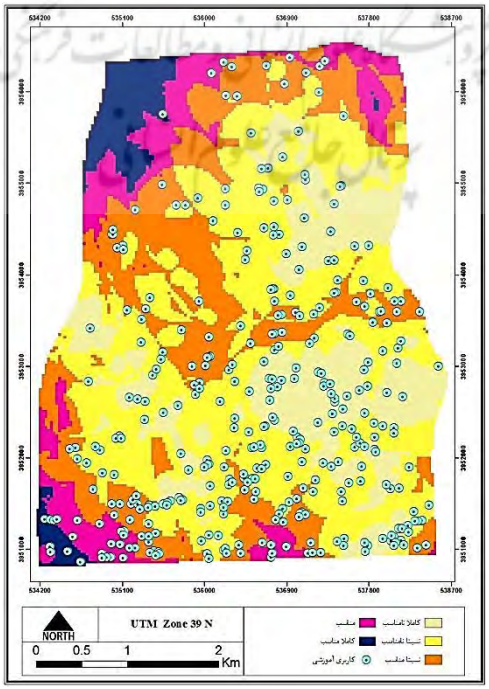
تأسیسات قرار گرفته‌اند و درمعرض خطر قرار دارند. آسیب‌دیدن تأسیسات زیربنایی مانند شبکه‌های آب، برق، گاز و مخابرات، تلفات ناشی از زلزله را در منطقه به‌شدت افزایش می‌دهد. آسیب‌دیدن شبکهٔ گاز شهری نیز ممکن است سبب نشت گاز در فضا شود و آتش‌سوزی‌های بزرگی ایجاد کند. از این‌رو، ایمن‌سازی شبکه‌های زیرساختی شهر دربرابر زلزله، نقش مهمی در افزایش میزان مقاومت منطقه دربرابر زلزله دارد.

درمورد کاربری‌های بهداشتی- درمانی، فاصلهٔ این کاربری‌ها با فضاهای آموزشی باید به‌گونه‌ای باشد که درصورت وقوع هرگونه حادثهٔ غیرمترقبهٔ طبیعی و غیرطبیعی، امکان دسترسی سریع به این مراکز امکان‌پذیر باشد. براساس مشاهدات میدانی در مکان‌یابی بیش از ۷۹ درصد واحدهای آموزشی نسبت به کاربری بهداشتی درمانی، استانداردهای شهرسازی درمورد همجواری رعایت نشده است.

فضاهای باز و سبز، نقش بسیار مهمی در کاهش وسعت میزان عمل و نتایج بیشتر حوادث طبیعی و مصنوعی دارند. از عمده‌ترین عملکردهای آن درهنگام بروز زلزله، جداکردن یک منطقهٔ دارای پتانسیل خطر از دیگری و بدین‌ترتیب، متمرکزکردن فعالیت نیروهای مخرب و جلوگیری از توسعهٔ زنجیره‌ای وقایع است. همچنین فضاهای باز، در مواقع اضطراری به‌عنوان یک منطقهٔ دردسترس با امکان فرار و استقرار و پناه‌گرفتن در آن مطرح هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهد حدود ۷۸ درصد واحدهای آموزشی منطقه، نسبت به فضاهای سبز موقعیت مناسبی دارند.

شبکه‌های ارتباطی نیز نقش بسیار مهمی در امر امداد و نجات بعد از وقوع زلزله و میزان آسیب‌پذیری سازه‌ای و انسانی برعهده دارند. نتایج نشان می‌دهد ۱۰۰ درصد واحدهای آموزشی در مجاورت معابر هستند؛ به‌طوری‌که درصورت وقوع زلزله در منطقه، حدود ۷۳ درصد واحدهای آموزشی درمعرض آسیب‌های ناشی از انسداد معابر و تأخیر در امدادرسانی به مصدومان قرار دارند. به‌عبارت دیگر، این واحدهای آموزشی، درمعرض آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرند.

همان‌طورکه در نقشهٔ ۸ مشاهده می‌شود، مناطقی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند، حداکثر آسیب‌پذیری را دارند و به‌طور متوسط از نظر بیشتر موارد دارای شرایط مناسبی نیستند. درواقع، این محدوده از نظر شاخص‌های برنامه‌ریزی شهری و همجواری با کاربری‌های ناسازگار در بدترین شرایط قرار دارد. همچنین فضاهای آموزشی که در ناحیهٔ آبی‌رنگ واقع شده‌اند، دارای شرایط مناسب هستند و در گروه فضاهای آموزشی قرار می‌گیرند. میزان آسیب‌پذیری این فضاها دربرابر زلزله کمتر است، اما از نظر حداقل دو شاخص ناسازگاری دارند. مطابق نتایج، بیش از ۶۷ درصد واحدهای آموزشی محدوده، در پهنه‌های آسیب‌پذیر واقع شده‌اند و میزان آسیب‌پذیری واحدهای آموزشی در این پهنه‌ها بسیار بالاست.



شکل ۷. نقشهٔ نهایی وضعیت کاربری‌های آموزشی

نتیجه‌گیری

هرچند تعیین کمی و کیفی آسیب‌های احتمالی به تأسیسات به‌صورت کامل ممکن نیست، پیش‌بینی و ارزیابی آسیب‌پذیری با هدف بررسی پارامترها و شاخص‌های تأثیرگذار برای اشراف بر مسائل بعدی و احتمالی ناشی از بروز حوادث طبیعی و غیرمترقبه، این امکان را برای مدیران و مسئولان فراهم می‌کند که درصورت وقوع بحران، با آموزش نیروی انسانی و افزایش درجهٔ مقاومت تأسیسات برای کاهش زیان‌ها، تمهیدات لازم را برای پیش‌بینی، برخورد مناسب و برگشت سریع به وضع عادی اعمال کنند.

کاربری‌های آموزشی، به‌عنوان یکی از کاربری‌های عمومی در نظام کاربری اراضی شهری شناخته می‌شوند. مدیریت ایمنی این کاربری‌ها و توجه به الزامات پدافندی آن‌ها به‌دلیل تولید سفر بالا و تراکم جمعیتی در ساعات مشخص و گاهی دائم، بسیار حائز اهمیت است. تحلیل مقر و موقعیت فضاهای آموزشی به‌عنوان یکی از فضاهای مهم شهری و چگونگی مکان‌یابی آن‌ها از نظر بهداشتی، ایمنی و امنیت، دسترسی، ساختارهای فضایی و کالبدی، عوامل اجتماعی و اقتصادی برای عملیاتی‌کردن الزامات پدافند غیرعامل شهری به‌منظور ایمن‌سازی این فضاها و ارتقای کیفیت آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله، ایدهٔ اولیهٔ این طرح به‌حساب می‌آید. در این تحقیق، به روش دلفی و روش ANP، مؤثرترین معیارها برای تعیین وضعیت آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله و عملیاتی‌کردن الزامات پدافند غیرعامل شهری به‌منظور ایمن‌سازی این فضاها معرفی شدند که خود دارای چندین زیرمعیار مهم هستند. نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی دربرابر زلزله برای عملیاتی‌کردن الزامات پدافند غیرعامل شهری منطقه با توجه به پارامترها و معیارهای تعیین‌شده و تحلیل‌های انجام‌گرفته در نرم‌افزار ArcGIS نشان داد که از نظر شاخص‌های سازه‌ای، بیش از ۵۵ درصد واحدهای آموزشی منطقه در گروه سازه‌هایی با میزان آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرند. از نظر شاخص‌های جمعیتی، ۶۰ درصد واحدهای آموزشی در گروه واحدهای آموزشی قرار می‌گیرند که درصورت وقوع زلزله، میزان آسیب‌پذیری آن‌ها زیاد است. از لحاظ شاخص‌های مکانی نیز بیش از ۷۵ درصد فضاهای آموزشی با چند نوع کاربری ناسازگار همجوارند و حداکثر آسیب‌پذیری را دارند. به‌طورکلی، نتایج حاصل از روی‌هم‌گذاری لایه‌ها نشان داد بیش از ۶۷ درصد واحدهای آموزشی محدوده، در پهنه‌های آسیب‌پذیر واقع شده‌اند و میزان آسیب‌پذیری واحدهای آموزشی در آن‌ها بسیار بالاست.

درواقع، یکی از مهم‌ترین عوامل در کاهش ضایعات زلزله، وجود آمادگی قبلی یک جامعه برای برخورد با پدیدهٔ زلزله است. آمادگی برای برخورد با زلزله، ابعاد گوناگونی دارد و می‌توان با استفاده از تمهیدات برنامه‌ریزی، شهرها را به‌گونه‌ای طراحی و برنامه‌ریزی کرد که درهنگام وقوع زلزله کمترین آسیب به آن‌ها وارد شود. برنامه‌ریزی و طراحی شهری باید کاربری‌های شهری را به‌صورتی جانمایی و طراحی کند که این کاربری‌ها سکونتگاه‌هایی ایمن در برابر زلزله باشند و شرایط لازم را نیز برای اجرای هرچه بهتر طرح مدیریت بحران تسهیل کنند؛ چراکه آثار زیانبار زلزله، شامل آسیب‌های کالبدی، اختلالات عملکردی و تلفات جانی می‌شود و لازم است تا برای کاهش خطرها و آسیب‌ها و نیز فراهم‌کردن زمینهٔ ایجاد آمادگی‌های لازم در مردم برای رویارویی با این‌گونه بلایا، برنامه‌ریزی و اقدام کرد. وضعیت بد استقرار عناصر کالبدی و کاربری‌های نامناسب شهری، شبکهٔ ناکارآمد شهر، بافت فشردهٔ شهر، تراکم‌های بالای شهری، وضعیت بد استقرار تأسیسات زیربنایی شهر و کمبود و توزیع نامناسب فضاهای باز شهری و مواردی از این قبیل، نقشی اساسی در افزایش میزان آسیب‌های وارده به شهرها دربرابر زلزله دارند؛ بنابراین، توجه به عملیاتی‌کردن الزامات پدافند غیرعامل شهری به‌منظور ایمن‌سازی فضاهای مهم و حساس شهری، امروزه یکی از اصول ضروری ایمن‌سازی فضاهای شهری محسوب می‌شود.

منابع

۱. امینی، الهام، حبیب، فرح و غلامحسین مجتهدزاده، ۱۳۸۹، **برنامه‌ریزی کاربری زمین و چگونگی تأثیر آن در کاهش آسیب‌پذیری شهر دربرابر زلزله،** فصلنامهٔ علوم و تکنولوژی محیطزیست، دورهٔ دوازدهم، شمارهٔ ۳، صص ۱۶۱– ۱۷۴.

۲. امین‌زاده، بهناز، داعی‌نژاد، فرامرز و سید بهشید حسینی، ۱۳۸۵، **اصول و رهنمودهای طراحی و تجهیز فضای باز مجموعه‌های مسکونی به‌منظور پدافند غیرعامل،** مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.

۳. بمانیان، محمدرضا، رفیعیان، محمدمهدی، خالصی، مجتبی و رضا بمانیان، ۱۳۹۲، **کاهش خطرپذیری شهر از بلایای طبیعی (زلزله) از طریق برنامه‌ریزی کاربری زمین،** مجلهٔ علمی– پژوهشی مدیریت بحران، سال اول، شمارهٔ ۲، صص ۵– ۱۵.

۴. داداش‌پور، هاشم، خدابخش، حمیدرضا و مجتبی رفیعیان، ۱۳۹۱، **تحلیل فضایی و مکان‌یابی مراکز اسکان موقت با استفاده از تلفیق فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS)،** مجلهٔ جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ ۱، صص ۱۱۱– ۱۳۱.

۵. حمیدی، حمیده، ۱۳۸۴، **نقش برنامه‌ریزی و طراحی شهری در کاهش خطرات و مدیریت بحران،** دومین کنفرانس زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران و مؤسسهٔ بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

۶. حسینی، زهرا، علوی، اکبر، حسن‌زاده، رضا و مژگان دهقانی، ۱۳۹۳، **تحلیلی بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شبیه‌سازی آن در مدیریت بحران، مطالعهٔ موردی: ناحیهٔ ۱۳ شهر کرمان،** مجلهٔ تحقیقات جغرافیایی، دورهٔ ۲۹، شمارهٔ ۱۱۵، صص ۱۴۷– ۱۶۳.

۷. موحدی‌نیا، جعفر، ۱۳۸۶، **اصول پدافند غیرعامل،** دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.

۸. پریزادی، طاهر، حسینی امینی، حسن و مهدی شهریاری، ۱۳۸۹، **بررسی و تحلیل تمهیدات پدافند غیرعامل در شهر سقز در رویکردی تحلیلی،** نشریهٔ مدیریت شهری، سال هشتم، شمارهٔ ۲۶، صص ۱۹۱– ۲۰۶.

۹. تقوایی، مسعود و حمیدرضا رخشانی‌نسب، ۱۳۸۹، **تحلیل و ارزیابی مکان‌گزینی فضاهای آموزشی شهر اصفهان،** فصلنامهٔ علمی– پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی، دورهٔ چهاردهم، شمارهٔ ۳، صص ۷۳– ۹۶.

۱۰. زبردست، اسفندیار، ۱۳۹۰، **کاربرد فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای،** نشریهٔ هنرهای زیبا– معماری و شهرسازی، دورهٔ دوم، شمارهٔ ۴۱، صص ۷۹– ۹۰.

11. Amini, E., Habib, H. and Mojtahedzadeh, Gh., 2010, **Land Use Planning and Its Effects on Reduced City Vulnerability against Earthquake,** Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 12, No. 3, pp. 161˚174. *(In Persian)*

12. Aminzadeh, B., Daeinezhad, F. and Hosseini, B., 2006, **Principles and Guidelines for Designing and Equipping of Open Space to Residential Complexes Passive Defense,** The Ministry of Road and Urban Development, Tehran. *(In Persian)*

13. Bemanian, M. R., Rafieya, M., Khalesi, M. M. and Bemanian, R., 2012, **Natural Hazards (Earthquakes) Risk Mitigation of Cities through Land-Use Planning,** Journal of Emergency Management, Vol. 1, No. 2, PP. 5˚15. *(In Persian)*

14. Bertrand, D., 2010, **Passive Defense Aggressive Strategies: A Game Theoretic Analysis of Passive Defense,** International Conference on Intelligent Systems, October 15-19, Louis, USA.

15. Chung, S. H. and Lee, W. L., 2005, **Analytic Network Process Approach for Mix Planning,** International journal of production economics, Vol. 18, No. 96, PP. 15˚36.

16. Curtin, K. M., 2009, **Land Use Site Selection Location Analysis and GIS,** John Wiley & Sons, Canada.

17. Dadashpour, H., Khodabakhsh, H. M. and Rafieyan, M., 2011, **Spatial Analysis and Locate Temporary Housing Centers by Using a Combination ANP and GIS,** Journal of Geography and Environmental Hazards, Vol. 1, No. 1, PP. 111˚131. *(In Persian)*

18. Gibson, G., 1997, **An Introduction to Seismology,** Disaster Prevention and Management, Vol. 6, No. 5, Mcb University press, Emerald Group Limited.

19. Hamidi, M., 2005, **The Role of Urban Planning and Design of Mitigation and Crisis Management,** 2nd International Conference on Seismology and Earthquake Engineering. *(In Persian)*

20. Hartel, D., 2007, **A Mathematical Model for Passive Defense by GIS in New York City,** Journal of Urban Planning and Development, Vol. 33, PP. 71˚87.

21. Hosseyni, Z., Alavi, A., Hassanzadeh, R. and Dehghani, M., 2014, **Seismic Vulnerability Analysis and Simulation in Disaster Management, Case Study: District 13 of Kerman City,** Journal of Geographical Researches, Vol. 29, No. 115, PP. 147˚163. *(In Persian)*

22. Karbassian, M. and Abedi, S., 2011, **A Multiple Objective Nonlinear Programming Model for Site Selection of the Facilities Based on the Passive Defense Principles,** International Journal of Industrial Engineering & Production Research, Vol. 22, No 4., PP. 243˚250.

23. McKay, B. and Conover, W., 2005, **The Application of GIS in Urban and Regional Planning: A Review of the North American Experience in Urban Seismic Risk Assessment,** Applied Geography, Vol. 13, No. 7, PP. 9˚27.

24. Michael, P., 2006, **An Analytical Network Process Model for Crisis Management,** International Journal of Forecasting, Vol. 20, No.4, PP. 373˚387.

25. Movahediniya, J., 2007, **Principles of Passive Defense,** Malek Ashtar University of Technology, Tehran. *(In Persian)*

26. Parizadi, T., Hosseini, H. and Shahriyari, M., 2010, **Passive Defense Arrangement Analysis of Saqez City in the Approach,** Intentional Journal of Urban Management, Vol. 8, No. 25, PP. 191˚206. *(In Persian)*

27. Ravi, K. and Achin, A., 2008, **GIS-Based Urban Seismic Risk Assessment,** Journal of Earthquake Technology, Vol. 45, No. 3, PP. 41˚63.

28. Saaty, L.T., 1999, **Fundamentals of the Analytic Network Process,** ISAHP Japan, PP. 12˚14.

29. Taghvaei, M. and Rakhshaninasab, H. R., 2010, **Analyze and Evaluate the Location of Educational Spaces in Isfahan City,** The Journal of Spatial Planning, Vol. 14, No.3, PP. 73˚96. *(In Persian)*

30. Zebardast, E., 2011, **The Application of Analytic Network Process (ANP) in Urban and Regional Planning,** Journal of Fine Arts-Architecture and Urbanism, Vol. 2, No. 41, PP. 79˚90. *(In Persian)*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی