مدلسازی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری با استفاده از روش‌های دلفی و تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS
(مطالعه موردی: منطقه ۶ شهر تهران)

یاسر ابراهیمیان قاجاری [۱]
علی اصغر آل شیخ [۲]
مهدی مدیری [۳]
رضا حسنوی [٤]
مرتضی عباسی [٥]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۵/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۷/۲۷

****

چکیده

شهرها در طول تاریخ هیچ‌گاه از آسیب‌های حوادث طبیعی و انسان ساخت بی امان نبوده‌اند، به‌طوریکه اگر در گذشته به خاطر موانع و سدهای اطراف آن از آخرین اهداف جنگ بوده‌اند، امروزه با توسعه تکنولوژی و برداشته شدن آن موانع به اولین اهداف جنگی تبدیل شده‌اند. در واقع آنچه که جنگ و حملات هوایی را به عنوان تهدیدی جدی برای شهر مطرح می‌کند عدم پایداری و آمادگی برای مقابله با آن است. یکی از راه‌های اساسی برای ایجاد آمادگی در برابر تهدیدات، آگاهی از درجه آسیب‌پذیری شهر در صورت وقوع آن است. لذا اگر بتوان با روش یا روش‌هایی میزان آسیب‌پذیری المان‌های شهری ناشی از حمله به آن‌ها را تعیین کرد، می‌توان با اتخاذ راهکارهایی آمادگی را تا حد بسیار زیادی افزایش داد. آنچه که محققین در این تحقیق به دنبال آن بوده‌اند مدلسازی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر (به عنوان یکی از مهمترین المان‌های کالبدی شهر) ناشی از تهدیدات برای یکی از مناطق تهران (منطقه٦ شهرداری) بوده است. با توجه به اینکه آسیب‌پذیری خود تابعی از چندین شاخص می‌باشد، لذا مدل مدنظر تحقیق از نوع مدل‌های چند معیاره بوده و با توجه به ماهیت مکانی شاخص‌ها پیاده‌سازی مدل در محیط GIS صورت گرفته است. استخراج شاخص‌های آسیب پذیری با روش دلفی و تهیه پرسشنامه‌هایی از کارشناسان شهرسازی، سازه، معماری و پدافند غیرعامل و مطالعه کارهای گذشته انجام پذیرفت. نتایج حاصل از مدلسازی ۹ شاخص مستخرج از روش دلفی با تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، حاکی از آن است که حدود ۳۸ درصد ساختمان‌ها آسیب‌پذیری کم، ٦۰ درصد ساختمان‌ها آسیب پذیری متوسط و حدود ۲ درصد ساختمان‌ها آسیب‌پذیری بسیار بالایی دارند که این خود نشان از ضرورت بالای اقدامات اساسی با رویکرد پدافند غیرعامل برای کاهش آسیب‌پذیری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شهر، آسیب‌پذیری کالبدی، دلفی، تحلیل سلسله مراتبی، سامانه اطلاعات جغرافیایی

****

۱- نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری GIS دانشگاه صنعتی مالک اشتر- عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی انوشیروانی بابل y_ebrahimian@yahoo.com
۲- استاد گروه مهندسی GIS دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. alesheikh@kntu.ac.ir
۳- دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر. mmodiri@ut.ac.ir
٤- دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر
۵- استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۱- مقدمه

شهرها با توجه به اینکه اکثر جمعیت یک کشور را در خود جای می‌دهند و تمرکز اقتصادی، سیاسی، فرهنگی، اجتماعی و مراکز حاکمیتی در کشورها می‌باشند، پرداختن به آن‌ها همواره باید مد نظر متخصصین علوم مختلف قرار داشته باشد. جمعیت بیشتر، فشردگی و تراکم بالای ساختمانی و جمعیتی شهرهای بزرگ، مسائل فوق‌الذکر را پیچیده‌تر می‌کند. از جمله مسائل مربوط به شهرها مقابله با انواع بحران‌های طبیعی و غیرطبیعی می‌باشد. از جمله این بحران‌ها که مدنظر این مقاله می‌باشد، بحران‌های ناشی از تهدیدات هوایی است که خود نوعی از تهدیدات انسان‌ساخت بوده که هم کشور ایران در دوران هشت ساله دفاع مقدس از آن آسیب‌های زیادی دیده و هم در جنگ‌های اخیر مانند عراق و لیبی و سوریه دنیا شاهد اینگونه حملات بوده است. وقوع چنین حادثه‌ای در بیشتر موارد تأثیرات ویران کننده‌ای بر سکونتگاه‌های انسانی بر جای گذاشته و تلفات سنگینی بر ساکنان آن‌ها تحمیل کرده است. در واقع آنچه که جنگ و حملات هوایی را به عنوان تهدیدی جدی مطرح می‌کند، عدم آمادگی برای مقابله با آن است. بنابراین بهترین راه برای مقابله با این تهدیدات ایجاد و حفظ آمادگی در مقابل آنها می‌باشد *(جلالی، ۱۳۹۱)*. یکی از راه‌های اساسی برای ایجاد آمادگی در برابر بحران‌ها، آگاهی از درجه آسیب‌پذیری شهر در صورت وقوع آن است. لذا با شناخت و میزان آسیب‌پذیری المان‌های شهری ناشی از تهدیدات، می‌توان با اتخاذ راهکارهایی آمادگی در برابر هر تهدید را تا حد بسیار زیادی افزایش داد. شناسایی خطر آسیب‌های احتمالی نقش مهمی در پیشگیری و آمادگی برای مواجهه و مقابله با کم و کیف آثار منفی تهدیدات شهری دارد و از نظر کنترل صدمات جانی و مالی اهمیت زیادی دارد *(حسینی و همکاران، ۱۳۹۰)*. اگر شناخت ابعاد خطر حملات نظامی به مناطق شهری و آسیب‌های محتمل در نتیجه آن به درستی حاصل شود، می‌توان سطح و نوع اقدام‌های مقابله با این آسیب‌ها را تا حد زیادی مدیریت نمود. بدین منظور بایستی شناختی از عوامل مؤثر در حمله به شهرها حاصل گردد *(حاجی اکبری، ۱۳۹۰)*.

از جمله عوامل مؤثر درحمله به شهرها تمرکز مراکزسیاسی و اداری می‌باشد. همچنین انباشت سرمایه‌های کلان مادی و غیرمادی کشورها در مراکز شهری انگیزه بالایی درجهت تخریب و یا دستیابی به آن‌ها برای دشمن فراهم می‌کند. علاوه برآن، شهرها به عنوان حلقه ارتباطی و کانون انسجام منطقه‌ای و پسکرانه‌های روستایی خود هستند که با مقاومت یا سقوط آن‌ها سرنوشت منطقه نیز مشخص می‌گردد. بدین ترتیب شهرها اغلب هدف اصلی در درگیری‌ها بوده و پیوسته باید فشارهای ناشی از حوادث را تحمل نمایند. ازسوی دیگر اهدافی درون شهرها وجود دارد که حملات دشمن به شهر را توجیه می‌سازند. از آنجمله می‌توان به وجود صنایع، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و پست‌های فشارقوی، تصفیه خانه‌ها، مخازن ذخیره سوخت و آب، فرودگاه‌ها، پایانه‌ها، راه آهن، بنادر، جاده‌ها، پل‌ها و شبکه مخابراتی اشاره کرد *(فرزاد شام و عراقی زاده، ۱۳۹۱)*. آسیب‌شناسی مناسب در شهرسازی می‌تواند نقش بسزایی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست گذاری‌های حوزه شهری داشته باشد که این خود بیانگر ضرورت مدلسازی آسیب‌پذیری می‌باشد *(حسینی و سرگلزایی، ۱۳۹۰)*. آسیب‌پذیری در حالت کلی انواع مختلفی دارد که عبارتند از: آسیب‌پذیری کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی *(Ashan and Warner, 2014)*. همچنین تهدیدات هوایی خود به انواع مختلفی طبقه‌بندی می‌گردند که عبارتند از: موشکباران، بمباران هوایی، هواپیمای بدون سرنشین و هلی‌بورد *(حسنی، ۱۳۸۷)*. در این تحقیق تنها آسیب‌پذیری کالبدی شهر و تهدیدات هوایی مد نظر می‌باشد. با توجه به اینکه معیارهای مختلفی در تخمین آسیب‌پذیری کالبدی شهر دخیل هستند، لذا مسئله فوق یک مسئله ارزیابی چند معیاره[1] بوده که برای مدلسازی آسیب‌پذیری ابتدا باید شاخص‌های آسیب‌پذیری استخراج و وزن‌دهی شده، سپس با یک قاعده تصمیم‌گیری چند معیاره[2] مناسب با همدیگر

1- Multi-Criteria Evaluation
2- Multi-Criteria Decision Rule

تلفیق شوند تا بتوان به آسیب‌پذیری مورد نظر دست یافت.

با توجه به اینکه بسیاری از شاخص‌ها ماهیت مکانی دارند، می‌توان گفت سامانه اطلاعات جغرافیایی[1] با قابلیت‌های بسیار بالا دراخذ، ذخیره، ویرایش و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی نقش به‌سزایی در مدلسازی آسیب‌پذیری دارد. با توجه به ماهیت چند معیاره بودن مسئله بدیهی است GIS به تنهایی قادر به در نظر گرفتن همزمان معیارها و وزن آن‌ها و ترکیب آن‌ها نبوده، لذا باید در اینگونه تحقیقات از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره[2] مبتنی بر GIS استفاده نمود، آنچه که در این تحقیق نیز مدنظر می‌باشد.

مقاله حاضر نتیجه تحقیق در زمینه مدلسازی آسیب‌پذیری کالبدی منطقه ٦ شهر تهران می‌باشد که ساختار آن بدین شرح است. در ابتدا تحقیقات صورت گرفته در این زمینه و روش تحقیق ارایه می‌گردد. در ادامه کالبد شهر و عناصر آسیب‌پذیر آن معرفی شده و مشخص می‌گردد که مدلسازی آسیب‌پذیری کدام المان‌های شهری مد نظر محققین می‌باشد. سپس مراحل مدلسازی آسیب‌پذیری در سه مرحله آگاهی، طراحی و انتخاب تشریح می‌گردد.

در پایان نتایج پیاده سازی مدل برای محدوده مطالعاتی (منطقه ٦ تهران) به همراه نقشه‌های آسیب‌پذیری و تحلیل آن ارایه می‌گردد.

۲- پیشینه تحقیق

تا به امروز تحقیقات زیادی در زمینه مدلسازی آسیب‌پذیری شهری ناشی از تهدیدات صورت گرفته که شامل پروژه‌های تحقیقاتی، پایان‌نامه‌ها، تالیف کتب و تولید مقالات معتبر علمی می‌باشند. تحقیقات مدنظر در عین حال که می‌توانند منابع خوبی برای شناخت عوامل و شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی شهر باشند، اما کمتر به طور کامل در محیط GIS و در قالب یک مدل آسیب‌پذیری پیاده‌سازی شده اند. تحقیقات در دسترس در زمینه تهدیدات انسان ساخت که در خارج از کشور انجام پذیرفته است، اکثراً راجع به آشوب‌های خیابانی و اقدامات تروریستی بوده است. تحقیقات خارج کشور در زمینه مدلسازی آسیب‌پذیری ناشی از تهدید هوایی در دسترس نمی‌باشد. در ادامه تحقیقات صورت گرفته داخل کشور در زمینه و مدلسازی آسیب‌پذیری ناشی از تهدیدات مروری مختصر می‌گردد. از شاخص ترین تحقیقات در این زمینه می‌توان به تحقیقی با عنوان «مستند نگاری و بررسی آثار تهدیدات و ارائه ساختار پایگاه داده» که توسط آقای احمد اصغریان جدی (۱۳۹۲) به پایان رسیده است اشاره نمود.

در این تحقیق ٦۰ اثر از حملات هوایی به تهران که در دوران جنگ تحمیلی توسط محققان معماری دفاعی دانشگاه شهید بهشتی ثبت و ضبط شده بود مستندسازی و تحلیل شده و در نهایت به ارائه راهکارهای عملی در حوزه برنامه ریزی شهری برای کاهش آسیب‌پذیری پرداخته است.

در این تحقیق موشکباران شهر تهران در بازه زمانی اسفند ١٣٦٦ تا اردیبهشت ١٣٦٧ مورد بررسی قرار گرفته است. این تحقیق به عنوان یکی از منابع اصلی در راستای تحقق یکی از فعالیت‌های تحقیق یعنی استخراج عوامل و شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی شهر مورد استفاده قرار گرفت. محمد مهدی عزیزی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی با عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری شهری ناشی از حملات هوایی: ناحیه ۱ از منطقه ۱۱ شهر تهران» آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی این محدوده را با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی[3] ارزیابی و در محیط GIS پیاده‌سازی نموده‌اند. فرض اساسی در این تحقیق بر شباهت بسیار بالای مدلسازی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و حملات هوایی بوده است. سیاوش حاجی اکبری (۱۳۹۰) تحقیقی را با عنوان «مدلسازی آسیب‌پذیری محیط‌های شهری از نظر کالبدی؛ مطالعه موردی: شهر اصفهان» انجام داده است. در این تحقیق نیز روش AHP برای وزندهی شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفته است اما آسیب‌پذیری در محیط GIS پیاده

1- Geographic Information Systems (GIS)
2- Multi-Criterial Decision Models
3- Analytic Hirerchical Process (AHP)

سازی نشده است. از دیگر تحقیقات آسیب‌پذیری شهری، تحقیقی با عنوان «بررسی اثرات ناشی از تهدیدات هوایی بر آسیب‌پذیری معابر مهم و پل‌ها در شهرها با استفاده از GIS» توسط آقای کمال ترابی (۱۳۹۰) می‌باشد.

همانطور که از عنوان تحقیق بر می‌آید، در این تحقیق تنها آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی بررسی شده است. در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس[1] برای وزندهی شاخص‌ها استفاده شده است و در نهایت آسیب‌پذیری در نرم افزار ArcGIS مدلسازی شده است. عبدالله ابوالحسنی (۱۳۸۹) تحقیقی با عنوان «پدافند غیر عامل- معماری و طراحی شهری در ایران» را انجام داده است. این محقق نیز به بررسی عوامل تأثیرگذار در آسیب‌پذیری شهری و ارائه راهکارهایی در طراحی شهری و معماری با رویکرد پدافند غیرعامل پرداخته است، اما مدلی طراحی و پیاده‌سازی نشده و همچنین به نقش و کاربرد GIS اشاره ای نشده است. از جمله جدیدترین تحقیقات در این زمینه می‌توان به تحقیق آقای ابراهیم سنگ سفیدی (۱۳۹۳) با عنوان «مدلسازی آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهری ناشی از تهدیدات هوایی با استفاده از GIS» اشاره نمود. محقق در این تحقیق تنها آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل را به عنوان یکی از شریان‌های حیاتی در نظر می‌گیرد و به عبارتی این تحقیق در راستای تکمیل تحقیق آقای ترابی می‌باشد. ایشان در این تحقیق علاوه بر طراحی پایگاه داده مکانی شبکه حمل و نقل، عوامل و شاخص‌های آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل را استخراج نموده و نقشه‌های آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل را با کمک نرم افزار ArcGIS تولید نموده اند. در این تحقیق از تکنیک AHP برای وزندهی پارامترها استفاده شده است.

علاوه بر پروژه‌های تحقیقاتی فوق، کتاب‌های بسیاری نیز در این زمینه تألیف و ترجمه شده که اکثر آن‌ها نتایج تحقیقات نویسنده یا نویسندگان کتاب بوده است که همگی در پیشبرد اهداف این تحقیق مؤثر بوده‌اند. از جمله بهترین این کتاب‌ها می‌توان به کتاب آقای دکتر سید بهشید حسینی (۱۳۸۹) با عنوان «معیارهای پدافند غیر عامل در طراحی ساختمان‌های جمعی شهری»، همچنین کتاب دیگری از این نویسنده با عنوان «تدوین معیارهای اصلی پدافند غیرعامل در طراحی معماری ساختمان‌های عمومی» *(حسینی، ۱۳۸۷)*، کتاب «مبانی برنامه ریزی و طراحی شهر امن از منظر پدافند غیر عامل» توسط آقایان مصطفی فرزام شاد و مجتبی عراقی زاده (۱۳۹۱)، کتاب «امنیت شهری و GIS» توسط کیومرث حبیبی (۱۳۸۸) و کتاب «کاربست شهرسازی و پدافند غیرعامل» توسط آقای امیرحسن عرب (۱۳۹۰) اشاره نمود.

۳- روش تحقیق و ابزارها

این تحقیق از نظر ماهیت و روش جزء دسته توصیفی- کمی و تحلیلی است، زیرا با ارایه اطلاعاتی از گزینه مورد مطالعه (در این تحقیق ساختمان‌های شهری) به توصیفی از آن پرداخته و سپس با روش‌های مختلف به تجزیه و تحلیل اطلاعات اقدام شده است *(حافظ نیا، ۱۳۸۲)*. همچنین محققین به دنبال مدلسازی آسیب‌پذیری کالبدی شهر می‌باشند. به عبارتی محققین به دنبال عوامل و شاخص‌های آسیب‌پذیری و روابط بین آن‌ها هستند که همگی مجهول می‌باشند و به نوعی ماهیت تحقیق را اکتشافی می‌کند.

در این تحقیق ابتدا ادبیات تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت، سپس با مطالعه کارهای انجام شده یک سری شاخص‌های آسیب‌پذیری استخراج شد و در پایان نیز با کارشناسان مشورت صورت گرفت. همچنین برای تکمیل تحقیقات با استفاده از روش دلفی و تهیه پرسشنامه‌هایی از کارشناسان شهرسازی، سازه، معماری و پدافند غیرعامل شاخص‌هایی به همراه درجه اهمیت نسبی آن‌ها نسبت به یکدیگر استخراج و با همپوشانی نتایج دلفی و مطالعات گذشته شاخص‌های نهایی استخراج گردید. بعد از استخراج شاخص‌ها، با استفاده از یک مدل مناسب چند معیاره، شاخص‌های فوق ترکیب و مدلسازی نهایی در محدوده مطالعاتی مورد نظر انجام گرفت.

1- Inverse Hierarchical Weighting Processing

جدول۱: مؤلفه‌های کالبدی شهر

مولفه‌های اصلی	زیر مؤلفه‌های کالبدی شهر			
شبکه ارتباطی	شبکه معابر و راه‌ها	دسترسی‌ها	پل‌ها	تقاطع و میدان‌ها
تاسیسات	شبکه برق	شبکه گاز	شبکه آب و فاضلاب	شبکه مخابرات
ساختمان‌ها	مسکونی	اداری- تجاری	صنعتی	غیره
فضاهای باز	زمین خالی	پارک	زمین ورزش	غیره

(قدمی و حسینی، ۱۳۹۰؛ قریب، ۱۳۸۵؛ داعی نژاد، ۱۳۹۰)

۳-۱ روش دلفی

روش دلفی در دهه ۵۰ میلادی توسط شرکت «رند» در سانتامونیکا در ایالت کالیفرنیا توسعه یافته است *(Cuhls, 2002)*. این روش که اولین بار در زمینه پیش‌بینی به کار رفت وسیله‌ای برای نگاه به آینده بود و از اینرو نام دلفی بر آن نهاده شد *(علیدوستی، ۱۳۸٤)*. به طور خلاصه می‌توان گفت این روش به عنوان جایگزینی برای محاسبات چهره به چهره مورد استفاده قرار می‌گیرد *(Cuhls, 2007)*. روش اجرای دلفی شامل یک پیمایش دو یا چند دوری است که در دور اول نظرات کارشناسان خبره و اهل فن در زمینه مورد تحقیق دریافت می‌شود. این کارشناسان با توجه به ماهیت، عملکرد و اهمیت متغیرها، آن‌ها را به صورت زوجی مقایسه نموده و ارزش‌دهی می‌نمایند. در دور دوم، نتایج دور اول در دسترس مشارکت کنندگان قرار می‌گیرد. به طوریکه آن‌ها بتوانند در صورت تمایل ارزیابی‌های اولیه خود را تعدیل کنند تا به نظرات قبلی خود مطالبی اضافه نمایند. هیچ کس در این پیمایش بی اعتبار نمی‌شود، چون که پیمایش با استفاده از یک پرسشنامه و به صورت بی نام انجام می‌پذیرد *(اسماعیلی شاهرخت و تقوایی، ۱۳۹۰)*. نتایج روش دلفی در این تحقیق شامل شاخص‌های آسیب‌پذیری و مقایسه زوجی شاخص‌ها برای محاسبه وزن آن‌ها در ادامه آمده است.

٤- کالبد شهر و عناصر آسیب‌پذیر

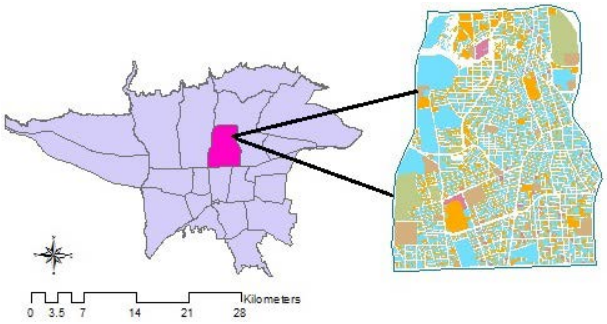
با توجه به هدف تحقیق که مدلسازی آسیب‌پذیری کالبدی شهر در مقابل تهدیدات هوایی می‌باشد، بدیهی است ابتدا باید کالبد شهر و اهمیت آن را به طور کامل شناخت و مشخص نمود که چه مؤلفه‌های کالبدی شهر در این تحقیق مد نظر می‌باشند و آسیب‌پذیری برای کدامیک از این مؤلفه‌ها مدلسازی می‌شود. به بیان ساده آسیب‌پذیری کالبدی یک مفهوم بسیار عام می‌باشد که محققان مختلف می‌توانند به طرق مختلف آن را مدلسازی نمایند، بنابراین ابتدا در هر تحقیق باید این موارد به طور شفاف مشخص گردد. در حالت بسیار کلی می‌توان مؤلفه‌های کالبدی شهر را مطابق آنچه در جدول ۱ آمده است طبقه بندی نمود.

در این تحقیق از بین مؤلفه‌های کالبدی شهر (گرچه تمامی این مؤلفه‌ها در مدلسازی آسیب‌پذیری مؤثر می‌باشند)، تنها مدلسازی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها مد نظر می‌باشد. یعنی ساختمان‌ها المان‌های اصلی مدلسازی در این تحقیق می‌باشند و در پایان نقشه آسیب‌پذیری با تخمین میزان آسیب‌پذیری نسبی هر یک از ساختمان‌ها تولید می‌شود. هدف از تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری دستیابی به میزان در معرض خطر بودن (پتانسیل آسیب پذیر بودن) ساختمان‌ها می‌باشد. بنابراین اگر گفته می‌شود ساختمانی از ساختمان دیگر آسیب‌پذیرتر است یعنی احتمال و شدت تخریب آن در صورت موشکباران نسبت به دیگری بالاتر است. این در واقع یکی از موارد مهمی است که برای شهرسازان و برنامه ریزان شهری بسیار حایز اهمیت می‌باشد. باید دقت نمود که در این نقشه‌ها، مدلسازی آسیب‌پذیری نسبی ساختمان‌ها نسبت به یکدیگر مد نظر است، یعنی در این نقشه‌ها ساختمان‌ها (گزینه‌ها) با توجه به میزان آسیب‌پذیری رتبه بندی می‌شوند.

۵- جامعه آماری و حجم نمونه

همانطور که اشاره شد منطقه ٦ تهران به عنوان مطالعه

موردی و در واقع جامعه آماری در این تحقیق انتخاب شده است. وجود کاربری‌های مهمی نظیر وزارتخانه‌ها، سفارتخانه‌ها، مؤسسات آموزش عالی، مراکز درمانی و بیمارستان‌های عمومی، شرکت‌های بزرگ اقتصادی و غیره نشان دهنده اهمیت بالای این منطقه از دیدگاه شهری و کشوری است. چرا که خسارات وارده به این منطقه در صورت بروز حوادث احتمالی می‌تواند تبعات زیادی برای مدیریت شهری داشته باشد و زیان‌های اقتصادی و اجتماعی به شهروندان و مسئولین تحمیل کند.



نگاره ۱: موقعیت منطقه٦ در بین مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران

علاوه بر این عوامل، منطقه ٦ منطقه مرکزی تهران از نظر موقعیت جغرافیایی بوده و داده‌های آن به نسبت سایر مناطق بیشتر در دسترس می‌باشد. مجموعه این عوامل موجب انتخاب این منطقه به عنوان محدوده مطالعاتی برای پیاده سازی شده است. نگاره ۱ نشان دهنده مناطق ۲۲ گانه تهران است که منطقه ٦ در آن مشخص شده است.

گزینه‌های ارزیابی در این تحقیق ساختمان‌های شهری می‌باشد و پارسل‌های (واحدهای) نقشه کاداستر منطقه ٦ مورد استفاده قرار گرفته است. از ۲۹۰۵۰ پارسل موجود در منطقه ٦ تهران، تنها پارسل‌های دارای بنا که ۲۸۲۲۸ واحد می‌باشند مد نظر در این تحقیق بوده که در واقع تشکیل دهنده حجم نمونه آماری در این تحقیق می‌باشند.

٦- چارچوب نظری تحقیق

با توجه به اینکه عوامل مختلفی در آسیب‌پذیری کالبدی شهر دخیل هستند، لذا محققین با یک مسئله ارزیابی چند معیاره (معیارهای کیفی و کمی) رو برو می‌باشد. به طور کلی مسایل ارزیابی چندمعیاره با دو مشکل اصلی فقدان استاندارد برای اندازه‌گیری معیارهای کیفی و دیگری فقدان واحد برای تبدیل معیارها (اعم از کمی و کیفی) به یکدیگر مواجه است ***(Malczewski, 199)*** .

با توجه به مشکلات مربوط به فرآیند تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، می‌توان گفت که در این حالت تصمیم‌گیری ساده نبوده و به علت عدم وجود استاندارد، از سرعت و دقت تصمیم‌گیری به مقدار زیاد کاسته شده و باعث می‌شود که فرآیند تصمیم‌گیری به مقدار زیادی به فرد تصمیم‌گیرنده وابسته باشد. برای رفع این مشکل و یا حداقل کردن آثار جانبی آن، مدل‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چند گانه طراحی شده اند که هرکدام از قوانین و اصول خاصی پیروی کرده و دارای مزایا و معایب خاصی هستند. به اینگونه مدل‌ها، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره یا تحلیل تصمیم چند معیاره یا مدل‌های ارزیابی چند معیاره می‌گویند.

٦-۱ مدل‌های ارزیابی/تصمیم‌گیری چندمعیاره

مدل‌های چند معیاره خود انواع مختلفی دارند که در یک دسته بندی کلی می‌توان آن‌ها را به دو دسته مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه[1] و مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه[2] تقسیم نمود ***(Malczewski, 1999)***. در تصمیم‌گیری چندهدفه، چندین هدف به طور همزمان جهت بهینه شدن و تولید گزینه برتر مورد توجه قرار می‌گیرند، در حالیکه در تصمیم‌گیری چندشاخصه، انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه‌های موجود یا ارزیابی گزینه‌ها (مرتب کردن گزینه‌ها) مد نظر است ***(Juan et al., 2013)***.

تفاوت اصلی مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه با مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در آن است که اولی در فضای تصمیم‌گیری پیوسته و دومی در فضای تصمیم‌گیری گسسته تعریف می‌گردند ***(Ferretti, 2012)*** . در جدول۲ مقایسه بین این دو دسته مدل نشان داده شده است.

1- Multi Attribute Decision Model (MADM)
2- Multi Objective Decision Model (MODM)

جدول۲: تفاوت‌های MADM و MODM
(Ehrgott et al., 2010)

موارد	تصمیم‌گیری چند هدفه	تصمیم‌گیری چند شاخصه
معیارها	اهداف	شاخص‌ها
اهداف	صریح	ضمنی
شاخص‌ها	ضمنی	صریح
محدودیت‌ها	صریح	ضمنی
گزینه‌ها	ضمنی	صریح
تعداد گزینه‌ها	نامحدود (بزرگ)	محدود (کوچک)
کنترل تصمیم گیر	کافی	محدود
ساختار فضا	پیوسته	گسسته
مناسب برای	طراحی/جستجو	انتخاب/ارزیابی

مدل‌های چندشاخصه را می‌توان از دیدگاه دیگر به دو دسته مدل‌های جبرانی و مدل‌های غیرجبرانی تقسیم نمود. مدل‌های جبرانی از شاخص‌هایی تشکیل شده اند که با یکدیگر در تعاملند، به این معنی که مقادیر نامطلوب یک شاخص می‌تواند توسط مقادیر مطلوب شاخص‌های دیگر پوشانده یا جبران شود. در مدل‌های غیرجبرانی تعامل و مبادله میان شاخص‌ها مجاز نیست. به عبارت دیگر نقطه ضعف موجود در یک شاخص توسط مزیت موجود در یک شاخص دیگر جبران یا پوشش داده نمی‌شود. ***(Tzeng, Huang, 2011)***

۶-۲ مدل آسیب‌پذیری ساختمان‌ها

مدل ارزیابی آسیب‌پذیری در این تحقیق از نوع مدل‌های چندشاخصه جبرانی می‌باشد چون گزینه‌های تصمیم‌گیری که ساختمان‌ها در یک فضای گسسته است معلوم می‌باشد و هدف در نهایت محاسبه آسیب‌پذیری نسبی این ساختمان‌ها می‌باشد. از طرفی ممکن است ساختمانی از نظر شاخص کیفیت ساخت امتیاز پایینی داشته باشد اما از نظر قدمت ساختمان از امتیاز بالایی برخوردار باشد و در نهایت ضعف ناشی از کیفیت ساخت با قدمت ساخت مناسب جبران شود.

با توجه به اینکه بسیاری از شاخص‌های مؤثر در آسیب‌پذیری کالبدی ماهیت مکانی دارند، مدل مورد نظر در این تحقیق مبتنی بر GIS و به عبارتی یک مدل GIS-MADM می‌باشد. تصمیم‌گیری یک فرآیند است که شامل مراحل مختلفی است و مراحل آن با توجه به نوع تصمیم‌گیری که چند هدفه یا چند شاخصه باشد متفاوت می‌باشد. مراحل کلی تصمیم گیری چند شاخصه شامل سه مرحله اصلی «آگاهی»، «طراحی» و «انتخاب» است ***(Malczewski, 1999)***. مرحله آگاهی مرحله شناخت، نیاز سنجی و ساختاردهی مسئله می‌باشد. در پایان این مرحله معیارهای تصمیم‌گیری استخراج می‌شود و به عبارتی ساده ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری مشخص می‌گردد. هدف نهایی مرحله طراحی تولید گزینه‌ها می‌باشد. این گزینه‌ها با توجه به هدف مسئله و قیود تعریف شده در مسئله از روی داده‌های موجود تولید می‌گردند. در مرحله انتخاب گزینه‌های تولید شده در مرحله طراحی با توجه به مقادیر شاخص‌ها برای هر گزینه و وزن شاخص‌ها با یکدیگر مقایسه شده و در پایان بهترین گزینه انتخاب شده یا گزینه‌های موجود ارزیابی و مرتب می‌شوند ***(Malczewski, 2006)***. مدلسازی در این تحقیق نیز در سه مرحله آگاهی، طراحی و انتخاب صورت پذیرفته که در ادامه تشریح خواهد شد.

۶-۲-۱ مرحله آگاهی: شناخت و استخراج شاخص‌های آسیب‌پذیری

مرحله آگاهی به عنوان اولین مرحله مدلسازی که شامل مواردی از قبیل شناخت و مطالعات اولیه، بیان مسئله و ضرورت تحقیق و مطالعه پیشینه تحقیق می‌باشد در بخش‌های قبل بیان شد و در این بخش شاخص‌های آسیب‌پذیری ساختمان‌ها از طریق روش دلفی استخراج شده است ارائه می‌گردد.

۶-۲-۱-۱ شاخص‌های آسیب‌پذیری

محصول نهایی نظرات کارشناسی با روش دلفی انتخاب ۹ شاخص آسیب‌پذیری برای مدلسازی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها بوده که در جدول ۳ آورده شده است. بدیهی است تعداد شاخص‌های آسیب‌پذیری بیشتر از این موارد

است (مانند سطح اشغال، فاصله از شبکه برق، آب و گاز، مصالح نما و غیره)، اما با توجه به عدم دسترسی کامل به اطلاعات همه شاخص‌ها، طبق نظر کارشناسان این ۹ شاخص که مهمتر و با وزن بیشتر از بقیه بوده‌اند و می‌توان به کمک آن‌ها به مدلسازی قابل قبولی دست یافت لحاظ شده‌اند.

جدول۳: شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی و طبقه بندی آن‌ها و امتیاز هر طبقه با روش AHP

ردیف	شاخص	طبقات	امتیاز آسیب پذیری هر طبقه
۱	اولویت تهاجم	کم	۱
		متوسط	۲
		زیاد	۳
		خیلی زیاد	٤
		حیاتی	٥
۲	درجه محصوریت	کمتر از۰/۲۵	۱
		۰/۲۵تا ۰/۵	۲
		۰/۵ تا ۰/۷۵	۳
		۰/۷۵ تا ۱	٤
		۱ تا ۱/۲۵	٥
		۱/۲۵ تا ۱/۵	٦
		۱/۵تا۱/۷۵	۷
		۱/۷۵ تا ۲	۸
		بیشتر از۲	۹
۳	عرض معبر	٤٥ متر	۱
		٤٠ متر	۲
		۳٥ متر	۳
		۳۰ متر	٤
		۲٤ متر	٥
		۲۰ متر	٦
		۱٥ متر	۷
		۱۲ متر	۸
		۱۰ متر	۹
		۸ متر	۱۰
		٦ متر	۱۱
		۳ متر	۱۲
٤	تعداد طبقات	۱ تا ۲ طبقه	۱
		۳ تا ٥ طبقه	۲
		٦ تا ۱۰ طبقه	۳
		۱۱ تا ۱٥ متر	٤
		بالای ۱٥ طبقه	٥
٥	مصالح ابنیه	بتن مسلح	۱
		فلزی و بتنی	۲
		آجر و آهن	۳
		بلوک سیمانی	٤
		سایر	٥
٦	کیفیت ابنیه	نوساز	۱
		در دست احداث	۲
		قابل نگهداری	۳
		مرمتی	٤
		تخریبی	٥
۷	تراکم ساختمانی	کمتر از ٥۰	۱
		٥۰ تا ۱۰۰	۲
		۱۰۰ تا ۱٥۰	۳
		۱٥۰ تا ۲۰۰	٤
		۲۰۰ تا ۲٥۰	٥
		۲٥۰ تا ۳۰۰	٦
		۳۰۰ تا ۳٥۰	۷
		۳٥۰ تا ٤۰۰	۸
		٤۰۰ تا ٤٥۰	۹
		٤٥۰ تا ٥۰۰	۱۰
		بیشتر از ٥۰۰	۱۱
۸	مساحت قطعه	بیشتر از ٥۰۰ متر مربع	۱
		۲۰۰ تا ٥۰۰ متر مربع	۲
		کمتر از ۲۰۰ متر مربع	۳
۹	قدمت ابنیه	کمتر از ٥ سال	۱
		٥ تا ۱٥ سال	۲
		۱٦ تا ۲٥ سال	۳
		بالای ۲٥ سال	٤

همانطور که در جدول ۳ آمده است ساختمان‌ها متناسب با هر شاخص به چندین طبقه دسته بندی شده‌اند و به ترتیب از آسیب‌پذیری کمتر تا آسیب‌پذیری بیشتر متناسب با هر شاخص مرتب شدند. همچنین امتیاز هر طبقه که همان عدد یا درجه آسیب‌پذیری نسبی ساختمان‌ها متناسب با هر شاخص است در ستون «امتیاز آسیب‌پذیری طبقه» در جدول ۳ آمده است. اولین شاخص که مهمترین شاخص می‌باشد «اولویت» یا درجه اهمیت است. با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته که دارای دقت بالایی می‌باشند، بدیهی است امروزه اکثر حملات از قبل تعریف شده و اهداف حملات نیز اولویت‌بندی شده هستند. در این تحقیق طبقه‌بندی کاربری‌ها از نظر درجه اهمیت با نظر کارشناسان از طریق پرسشنامه صورت گرفته که در جدول ٤ آمده است. همانطور که در جدول ٤ دیده می‌شود کاربری‌ها به پنج دسته «حیاتی، خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کاربری‌های کم خطر» در برابر تهدیدات هوایی تقسیم شده‌اند.

شاخص بعدی «درجه محصوریت» به معنای نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معبر آن است که با افزایش مقدار آن آسیب‌پذیری ساختمان‌ها افزایش می‌یابد. با افزایش درجه محصوریت احتمال بسته شدن معابر افزایش می‌یابد که باعث می‌شود با ریختن آوار ساختمان‌ها بر خیابان‌ها و بسته شدن آن‌ها، کمک رسانی‌های مختلف مانند خاموش کردن آتش ساختمان به مشکل بر بخورد. «عرض معبر» شاخص مهم دیگری است که هر چه بزرگتر باشد احتمال آسیب‌پذیری بیشتر خواهد بود زیرا با آوار شدن در خیابان، عملیات کمک رسانی به سختی صورت می‌گیرد. همچنین هرچه عرض معابر بیشتر باشد، امکان ایجاد ترافیک عبوری نیز کمتر خواهد شد *(حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷)*. شاخص مهم بعدی «تعداد طبقات» ساختمان می‌باشد که معادل با ارتفاع ساختمان می‌باشد. اگر افزایش ارتفاع ساختمان‌ها با اصول ایمنی همراه نباشد آسیب‌پذیری را بالا خواهد برد، حتی اگر افزایش ارتفاع با رعایت ضوابط و محاسبات مناسب صورت گیرد. چون در اینصورت عملیات تخلیه، جستجو و کمک رسانی را با سختی مواجه می‌کند.

جدول ٤: درجه اهمیت کاربری‌ها

درجه اهمیت	کاربری‌ها
حیاتی	ساختمان‌های مسکونی بالای ۱۵ طبقه، مراکز آتش نشانی، بانک‌های کلیدی، پمپ بنزین، تأسیسات آب، برق و گاز و مخابرات، بیمارستان‌ها، ساختمان پزشکان و درمانگاه‌های کلیدی، ساختمان‌های کلیدی، وزارتخانه‌ها
خیلی زیاد	ساختمان‌های مسکونی ۱۱ تا ۱۵ طبقه، ایستگاه مترو، بانک‌های مهم، مراکز اداری خیلی مهم، خدمات فنی و مهندسی مهم، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌های مهم، ساختمان‌های سپاه، سینماهای مهم، مراکز تجاری مهم، مراکز مذهبی مهم، مراکز انتظامی مهم، هتل‌های مهم و سایر خدمات مهم
زیاد	ساختمان‌های مسکونی ٦ تا ۱۰ طبقه، مراکز اداری مهم، آژانس‌های هواپیمایی مهم، انبارهای مهم، بازار روز، بانک‌های مهم، پارکینگ عمومی و پایانه‌های مهم، تأسیسات آب، برق و گاز و پست در مقیاس محلات، مراکز اداری، مراکز درمانی، دانشگاه‌های دولتی مهم، مراکز نظامی، سینما و فرهنگسراهای مهم، مراکز مذهبی، مجتمع‌های تجاری، کارگاه‌ها، نیروی انتظامی
متوسط	ساختمان‌های مسکونی ۳ تا ۵ طبقه، دانشگاه آزاد، آژانس هواپیمایی، باشگاه بدنسازی، پارکینگ عمومی، پانسیون، رستوران‌ها، تولیدی پوشاک، مراکز آموزشی دولتی، تعمیرگاه اتومبیل، عکاسی، مراکز مذهبی محلی، خدمات فنی و مهندسی محلی، مراکز درمانی، دانشگاه‌های دولتی، دفاتر محلی سپاه، شرکت حمل و نقل، فرهنگسرا، کتابخانه عمومی، فروشگاه‌های لوزم خانگی، مجموعه ورزشی، مراکز تحقیقاتی کوچک، مراکز تجاری خرد، هتل‌های کوچک، شعبه‌های مهم دانشگاه آزاد
کم	ساختمان‌های مسکونی ۱ تا ۲ طبقه، زمین‌های بایر، دانشگاه آزاد، استخر، باشگاه بدنسازی و رزمی، فضاهای سبز و پارک‌ها، رستوران‌ها، مراکز آموزشی دولتی با مساحت کم و غیر انتفاعی، حمام، داروخانه‌های کوچک، سینما و فرهنگسراهای کوچک، سفارتخانه‌ها، مجموعه‌های ورزشی، مراکز مذهبی، مراکز تجاری در مقیاس محله، هتل‌ها و مسافرخانه‌های کوچک

شاخص «مصالح ابنیه» هم بسیار مهم است، زیرا تأثیر مهمی در چگونگی پایداری ساختمان‌ها بر عهده دارد. اسکلت‌های فلزی و بتن مسلح نسبت به سایر مصالح آسیب‌پذیری کمتری داشته و حتی در صورت تخریب، آتش سوزی ایجاد شده در آن‌ها کمتر است. با وجود مصالح

مقاوم‌تر درصد آسیب‌پذیری کمتر خواهد شد و البته در به کارگیری مصالح بایستی سعی گردد از مصالح سبک‌تر استفاده گردد تا در صورت خراب شدن آسیب کمتری رخ دهد. شاخص «کیفیت ابنیه» نیز تأثیر مهمی بر میزان آسیب‌پذیری ساختمان دارد.

بدیهی است احتمال مقاومت ساختمان‌های با کیفیت بالا (نوساز) نسبت به ساختمان‌های مخروبه و تخریبی بیشتر است. «تراکم ساختمانی» نیز دیگر شاخص مهمی است که با بیشتر شدن آن احتمال تخریب و آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. هشتمین شاخص مهم «مساحت قطعات» در نظر گرفته شده است، زیرا آسیب‌پذیری در قطعات کوچکتر به علت خرد شدن فضای باز و کاسته شدن فضای مفید و امن برای کمک رسانی نسبت به قطعات بزرگ بیشتر است. بنابراین هر چه مساحت قطعات پایین تر باشد به تبع آن آسیب‌پذیری نیز بیشتر خواهد بود. به عنوان نمونه باید گفت بافت‌های فرسوده شهری که متراژ قطعات عموماً کمتر از ۲۰۰ مترمربع است، آسیب بیشتری خواهند دید *(حسینی، ۱۳۸۹)*. آخرین شاخص که در این مدلسازی در نظر گرفته شده است شاخص «قدمت ابنیه» می‌باشد که نقش مهمی در میزان آسیب‌پذیری بناها دارد. عملاً حتی اگر در یک ساختمان تمامی موازین مقاوم سازی رعایت شده باشد، بناهایی که قدمت بیشتری دارند از خطر تخریب بیشتری برخوردارند. بنابراین هر چه قدمت ابنیه بالاتر باشد، آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. طبیعتاً بافت‌های فرسوده شهر که قدمت ساختمان‌ها در آن بالاست جزء مناطقی هستند که در موقع موشکباران آسیب پذیرتر هستند.

۶-۲-۲ مرحله طراحی: تولید گزینه‌های تصمیم‌گیری

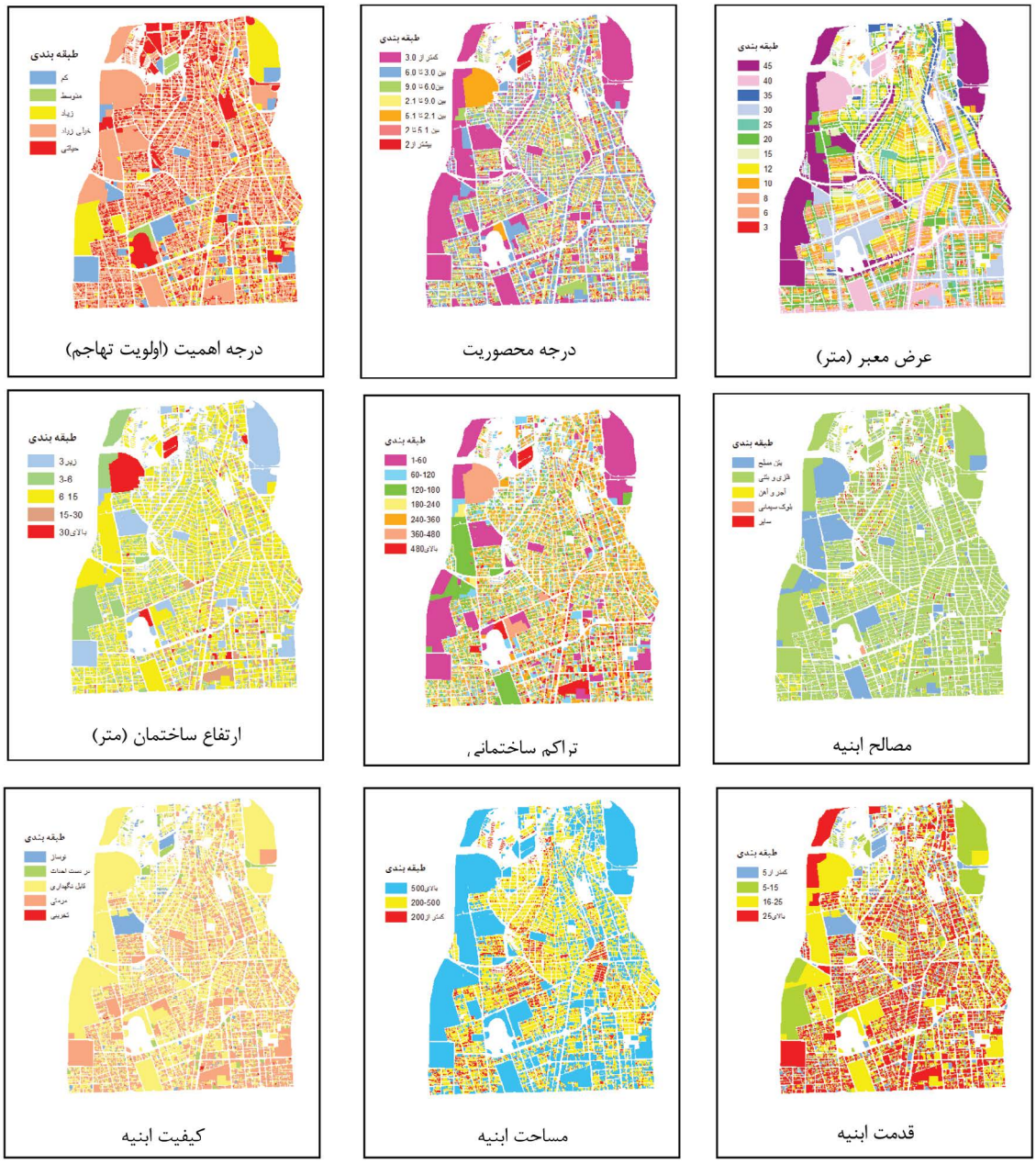
گزینه‌های تصمیم‌گیری در این تحقیق ساختمان‌های شهری در محدوده مورد مطالعه (منطقه ۶) می‌باشند که از نقشه‌های کاداستر تهیه شده اند. تمامی داده‌ها از شهرداری منطقه ۶ تهران و سازمان آمار ایران تهیه شده است. با توجه به اینکه برخی پارسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه فاقد بنا بوده اند، لذا قیدی بر روی داده‌ها اعمال شد و تنها پارسل‌هایی که دارای بنا بوده اند استخراج شدند. از ۲۹۰۵۰ پارسل موجود در منطقه ۶ تهران، ۸۲۲ پارسل فاقد بنا بوده اند، بنابراین تعداد گزینه‌های تصمیم‌گیری در این تحقیق ۲۸۲۲۸ ساختمان می‌باشد. همانطور که اشاره شد مطابق جدول ۳ ساختمان‌های دارای بنا یا همان گزینه‌های تصمیم‌گیری متناسب با هر شاخص به طبقات مختلفی متناسب با درجه آسیب‌پذیری ناشی از هر شاخص دسته بندی شده اند. در این مرحله این طبقه بندی در محیط نرم افزار ArcGIS روی لایه ساختمان‌ها انجام شد که نتایج آن در نگاره ۲ آمده است. نقشه آسیب‌پذیری نهایی از میانگین وزندار نقشه‌های آسیب‌پذیری هر شاخص تولید می‌شود.

۶-۲-۳ مرحله انتخاب: ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری (تولید نقشه آسیب‌پذیری)

بعد از استخراج شاخص‌های آسیب‌پذیری و تولید گزینه‌ها، باید آسیب‌پذیری نهایی گزینه‌ها محاسبه شود. آسیب‌پذیری خود تابعی است از چندین شاخص که هر شاخص درجه اهمیت نسبی نسبت به سایر شاخص‌ها دارد. بدیهی است برای محاسبه آسیب‌پذیری نهایی هر ساختمان ابتدا باید وزن شاخص‌ها مشخص شود، سپس با محاسبه میانگین وزن‌دار آسیب‌پذیری متناسب با هر شاخص، آسیب‌پذیری هر ساختمان محاسبه گردد. آنچه در این مرحله انجام می‌شود محاسبه وزن شاخص‌ها و میانگین وزن‌دار آسیب‌پذیری هر گزینه است. لازم به ذکر است زمانیکه بحث میانگین وزن‌دار مطرح می‌شود باید هم مقادیر شاخص‌ها و هم وزن شاخص‌ها ابتدا نرمال سازی گردند و بعد میانگین وزندار از رابطه ۱ محاسبه گردد.

$$V_i = \sum_{j=1}^{n} w_j * r_{ij}, i = 1,2,...,m \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق V_i آسیب‌پذیری گزینه i، w_j وزن شاخص j و r_{ij} مقدار نرمال شده شاخص j برای گزینه i می‌باشد. بعد



نگاره ۲: نقشه طبقه بندی ساختمان‌های منطقه٦ متناسب با شاخص‌های آسیب‌پذیری

از تمامی محاسبات گزینه‌ها بر اساس درجه آسیب‌پذیری مرتب می‌شوند و به طبقات مختلف تقسیم می‌شوند. در این تحقیق ساختمان‌ها متناسب با مقدار آسیب‌پذیری نهایی به سه دسته آسیب‌پذیری «کم، متوسط و زیاد» طبقه بندی می‌شوند.

٦-۲-۳-۱ نرمال‌سازی داده‌ها

با توجه به اینکه دامنه مقادیر شاخص‌ها یکی نیست لذا باید با یکی از روش‌های نرمال سازی مقادیر شاخص‌ها نرمال شود. اگر ماتریس تصمیم‌گیری که تعداد سطرهای آن برابر با تعداد گزینه‌ها (m=۲۸۲۲۸) و تعداد ستون‌های آن برابر تعداد شاخص‌ها (n=۹) و عناصر آن نیز مقادیر شاخص‌ها به ازای هر گزینه می‌باشد را با A نشان دهیم، ماتریس مقادیر نرمال شده (R) با استفاده از رابطه ۲ بدست می‌آید.

رابطه (۲)

$$A=\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{m1} & a_{32} & a_{mn} \end{pmatrix} \quad R=\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{2n} \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{mn} \end{pmatrix} \quad R_{ij}=\frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}}}$$

٦-۲-۳-۲ روش تحلیل سلسله مراتبی

برای محاسبه وزن شاخص‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند، همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری قضاوت‌ها و نظرات کارشناسی در مسئله مورد تصمیم‌گیری را با محاسبه نرخ ناسازگاری[1] نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این روش می‌باشد ***(Vahidnia and Alesheikh, 2009)***. بعلاوه از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا شده است. مقایسه زوجی در این فرآیند تصمیم‌گیری جهت شکل‌دهی ماتریس مبدل داده‌های کیفی به مقادیر عددی بکار می‌رود. اینگونه ماتریس‌های مقایسه زوجی نهایتاً به کمک یکی از روش‌های تعیین وزن مورد پردازش قرار گرفته و اهمیت معیارها و گزینه‌های تصمیم‌گیری مشخص می‌گردد. مراحل اصلی این روش شامل تولید ماتریس مقایسه زوجی معیارها، محاسبه وزن معیارها و برآورد نرخ ناسازگاری تصمیم‌گیری می‌باشند. عناصر ماتریس مقایسه زوجی، اهمیت نسبی شاخص‌ها نسبت به یکدیگر بوده که اعداد بین ۱ تا ۹ می‌باشد و بیان مفهومی آن در جدول ۵ آمده است. بدیهی است عناصر قطری این ماتریس برابر ۱ بوده و طبق شرط معکوسی عناصر متقارن در ماتریس با همدیگر رابطه عکس دارند.

بعد از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با مقادیر جدول فوق می‌توان وزن معیارها را محاسبه نمود. روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن معیارها وجود دارد که در بین آن‌ها روش مقدار ویژه روشی متداول می‌باشد که در تحقیق حاضر نیز از آن استفاده شده است.

جدول۵: تعیین ارزش معیارها نسبت به یکدیگر با استفاده از نظرات شفاهی افراد *(Saaty, 1980)*

ارزش نظری بر مبنای مقایسه بین دو معیار		ارزش عددی
دارای ارزش یکسان و برابر	Equal preference	۱
ارزش یکی نسبت به دیگری کمی بیشتر است	Weak preference	۳
ارزش یکی نسبت به دیگری بیشتر است	Strong preference	۵
ارزش یکی نسبت به دیگری مسلماً بیشتر است	Demonstrated preference	۷
ارزش یکی نسبت به دیگری مطلقاً بیشتر است	Absolute preference	۹
ارزش‌های بینابین	Intermediate preference	۲و٤و ٦و۸

در این روش ابتدا مقادیر ویژه ماتریس مقایسه زوجی از رابطه ۳ بدست می‌آید:

رابطه (۳):
$$|A-\lambda I|=0$$

در این رابطه A ماتریس مقایسه زوجی، مقادیر ویژه ماتریس A و I ماتریس همانی می‌باشد. ابعاد ماتریس A و I که هر دو مربعی می‌باشند برابر با تعداد شاخص‌ها است. وزن‌های نهایی (W) از قرار دادن مقدار ویژه بیشینه در رابطه ٤ قابل محاسبه خواهد بود:

رابطه (٤):
$$(A-\lambda_{\max} I)\times W=0$$

به منظور اندازه گیری نرخ ناسازگاری در ابتدا شاخص ناسازگاری[2] یا به اختصار II به صورت زیر محاسبه می‌گردد ***(Saaty, 1980)***:

رابطه (۵):
$$II=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$$

در این رابطه n تعداد شاخص‌ها یا همان ابعاد ماتریس A می‌باشد. سپس نرخ ناسازگاری یا به اختصار CR به صورت زیر تعیین می‌گردد ***(Saaty, 1980)***:

1- Inconsistency Rate

2 - Inconsistency Index

جدول٦: شاخص تصادفی متناسب با ابعاد ماتریس مقایسه زوجی *(Saaty, 1980)*

n	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲٤	۱/۳۲	۱/٤۱	۱/٤٥	۱/٥۱

جدول۷: ماتریس مقایسه زوجی شاخص‌های آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری

	اولویت تهاجم	تراکم ساختمانی	عرض راه	قدمت	مصالح ابنیه	طبقات	مساحت	کیفیت	محصوریت	وزن نهایی
اولویت تهاجم	۱	٤	۲	۹	۳	۲	٥	۳	۲	۰/۲٥
تراکم ساختمانی	۰/۲٥	۱	۰/۳۳	۳	۰/٥	۰/٥٥	۲	۰/٥	۰/۳۳	۰/۰٦
عرض راه	۰/٥	۳	۱	۷	۲	۱	٤	۳	۱	۰/۱٦
قدمت	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۱٤	۱	۲	۰/۱۷	۰/٥	۰/۲٥	۰/۱۳	۰/۰۲
مصالح ابنیه	۰/۳۳	۲	۰/٥	٥	۱	۰/٥	۳	۲	۰/۳۳	۰/۰۹
طبقات	۰/٥	۲	۱	٦	۲	۱	۳	۲	۱	۰/۱٤
مساحت	۰/۲	۰/٥	۰/۲٥	۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/٥	۰/۲٥	۰/۰٤
کیفیت	۰/۳۳	۲	۰/۳۳	٤	۰/٥	۰/٥	۲	۱	۰/٥	۰/۰۸
محصوریت	۰,٥	۳	۱	۸	۳	۱	٤	۲	۱	۰/۱٦
نرخ ناسازگاری= ۰/۰۱٥										

رابطه (٦):

$$CR = \frac{II}{RI}$$

در رابطه فوق RI شاخص تصادفی[1] می‌باشد که بسته به تعداد معیارها مقادیرش طبق جدول ٦ در نظر گرفته می‌شود. نرخ ناسازگاری طوری طراحی شده است که اگر کمتر از ۰/۱ باشد می‌توان نتیجه گرفت که سطح مطلوبی از سازگاری در مقایسات زوجی یا بین نظرات کارشناسی وجود داشته و در غیر اینصورت باید مقایسات زوجی مجدداً صورت پذیرد.

نتایج مقایسه زوجی ۹ شاخص آسیب پذیری در این تحقیق در جدول ۷ آمده است. کلیه محاسبات وزن و نرخ ناسازگاری که در جدول آمده است با استفاده از نرم‌افزارهای Matlab و Excel صورت پذیرفته است.

مطابق آنچه که در جدول دیده می‌شود، نرخ ناسازگاری برابر با ۰,۰۱۵ بدست آمده که حکایت از سازگاری قابل قبول مقایسات زوجی شاخص‌های آسیب‌پذیری در این تحقیق دارد.

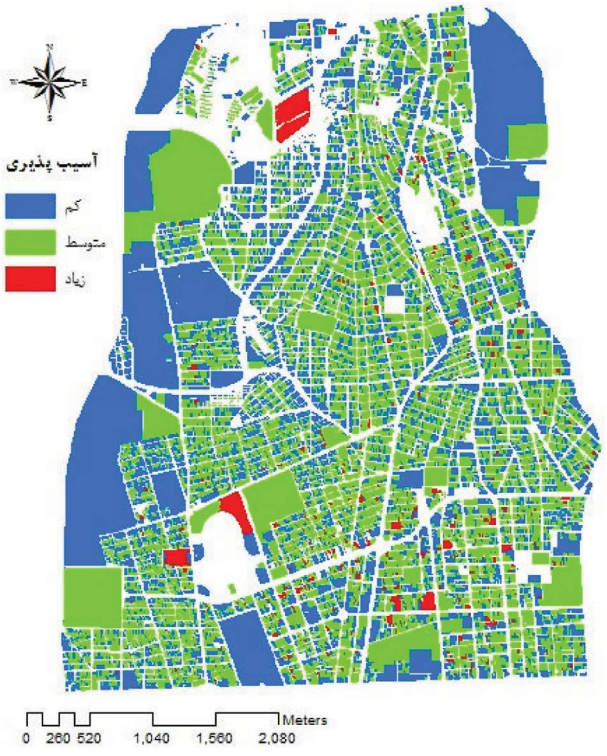
1- Random Index

۷- پیاده سازی مدل و تحلیل نتایج

مدل آسیب‌پذیری پیشنهادی در این تحقیق برای ساختمان‌های منطقه ٦ تهران پیاده سازی شده است. تعداد کل ساختمان‌های دارای بنای منطقه مورد مطالعه ۲۸۲۲۸ واحد (پارسل) می‌باشد. داده‌های توصیفی هر ساختمان متناسب با ۹ شاخص از شهرداری منطقه ٦ و واحد GIS اداره آمار ایران و یک سری پردازش روی داده‌های خام تهیه شده است. همانطور که اشاره شد آسیب‌پذیری تابعی از چند شاخص می‌باشد که متناسب با هر شاخص می‌توان نقشه آسیب‌پذیری را تولید نمود و در نهایت از همپوشانی یا ترکیب این نقشه‌ها به نقشه آسیب‌پذیری نهایی رسید. نقشه نهایی آسیب‌پذیری که در آن عدد آسیب‌پذیری هر ساختمان میانگین وزندار آسیب‌پذیری‌های متناسب با هر شاخص می‌باشد در نگاره ۳ نشان داده شده است.

بعد از ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی در محدوده مورد مطالعه این نتایج حاصل شد که از ۲۸۲۲۸ واحد ساختمان منطقه ٦ تعداد ۱۰٦۱۸ واحد معادل ۳۸ درصد ساختمان‌ها

از آسیب‌پذیری کمی برخوردارند، ۱۶۹۳۵ ساختمان یعنی حدود ۶۰ درصد ساختمان‌ها آسیب‌پذیری متوسط و ۶۷۵ واحد یعنی حدود ۲ درصد ساختمان‌ها از آسیب‌پذیری بالایی برخوردارند. مناطقی که آسیب‌پذیری بالایی دارند عمدتاً مراکز با کاربری اداری- سیاسی و همچنین تأسیسات مهم شهری هستند و یا ساختمان‌هایی هستند که درجه محصوریت آن‌ها بالا می‌باشد که این نشان از عدم توجه به ساخت و ساز اینگونه ساختمان‌ها می‌باشد. همچنین بالابودن تراکم ساختمانی بالا در برخی محلات با ساختمان‌های عمدتاً با قدمت بالا و کیفیت مرمتی از جمله دلایل مهم آسیب‌پذیری بسیار بالای ساختمان‌های دیگر می‌باشد. با توجه به اینکه تنها حدود ۳۸ درصد ساختمان‌های منطقه ۶ از آسیب‌پذیری کمی برخوردارند، لذا ضروری است با در نظر گرفتن اصول پدافند غیرعامل در طراحی و برنامه ریزی شهری و ارایه راهکارهای اساسی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در مقابل تهدیدات را کاهش داد.



نگاره ۳: نقشه آسیب‌پذیری کالبدی نهایی

۸- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتیجه این تحقیق می‌تواند به عنوان یکی از لایه‌های مهم در انواع مسایل مرتبط با برنامه‌ریزی شهری همانند مکان یابی انواع کاربری‌ها، تغییر کاربری‌ها، تعیین سرانه کاربری‌ها در هر منطقه، طرح‌های آمایش سرزمین، طرح‌های جامع شهری، برنامه‌ریزی حمل و نقل و همچنین تخمین آسیب‌پذیری سایر عناصر شهری (مانند شبکه راه‌ها) و ارائه راهکارهای عملی در راستای کاهش آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین پیاده‌سازی مدل در قالب یک نرم‌افزار تجاری می‌تواند ابزاری مهم در مباحث طراحی و برنامه‌ریزی شهری باشد.

به عنوان مثال می‌توان با استفاده از نرم افزار فوق، تأثیر احداث یک پل طبقاتی جدید در یک منطقه را در افزایش یا کاهش آسیب‌پذیری محدوده اطرافش ارزیابی نمود و بعد از ارزیابی، تصمیم نهایی راجع به احداث یا عدم احداث یا تغییر مکان آن اتخاذ کرد. استفاده عملی از نقشه‌های آسیب‌پذیری که نمونه‌ای از آن در این تحقیق تولید شد در طراحی و برنامه ریزی‌های شهری علاوه بر کاربردهایی که اشاره شد مزایایی دارد که در طولانی مدت می‌توان به آن‌ها دست یافت.

از جمله این مزایا می‌توان به بالا بردن قابلیت پایداری مراکز، تقلیل آسیب‌پذیری و کاهش خسارات، تسهیل در مدیریت بحران شهری، تأمین سلامت شهروندان، سازمان‌ها و نهادهای کشوری، کمک به انتخاب استراتژی مناسب برای مقابله با تهدیدات، صرفه‌جویی در هزینه‌های تسلیحاتی و نیروی انسانی، فریب و تحمیل هزینه بیشتر به دشمن و تقویت بازدارندگی اشاره نمود. با توجه به کاربردهای مهمی که نتایج اینگونه تحقیقات می‌تواند داشته باشد متأسفانه تا کنون مدلی جامع از آسیب‌پذیری شهری ارایه نشده است و این تحقیق را می‌توان از اولین تحقیقات در این زمینه دانست. از جمله مهمترین نتایج دیگر این تحقیق ارائه مدلی برای تولید نقشه آسیب‌پذیری کالبدی شهر با کاربردهای فراوان می‌باشد.

از جمله دلایل اصلی این عدم آمادگی مکانیابی نادرست کاربری‌ها و درجه محصوریت بالای ساختمان‌ها می‌باشد. بنابراین ضروری است اقدامات لازم با رویکرد پدافند غیرعامل در دستور کار سازمان‌های ذیربط قرار بگیرد.

با توجه به اینکه تحقیق حاضر از اولین تحقیقات در زمینه مدلسازی آسیب‌پذیری کالبدی شهر می‌باشد، پیشنهاد می‌شود مدل‌سازی آسیب‌پذیری ناشی از تهدیدات مختلف در تحقیقات آینده صورت پذیرد.

در این تحقیق عدم قطعیت موجود در داده‌ها و نظرات کارشناسی لحاظ نشده است که پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آینده مدلسازی با عدم قطعیت صورت پذیرد. همچنین طراحی و توسعه یک سامانه تصمیم یار مکانی[1] برای مدلسازی این نوع آسیب‌پذیری‌ها به عنوان ابزاری کاربردی در طراحی و برنامه ریزی شهری پیشنهاد می‌گردد.

منابع و مآخذ

۱- ابوالحسنی، عبدالله، (۱۳۸۹)، پدافند غیر عامل، معماری و طراحی شهری در ایران، قرارگاه هوایی خاتم الانبیا، تهران.

۲- اسماعیلی شاهرخت، تقوایی؛ مسلم، علی‌اکبر (۱۳۹۰)، ارزیابی آسیب‌پذیری شهر با رویکرد پدافندغیرعامل با استفاده از روش دلفی، مطالعه موردی: شهر بیرجند، مدیریت شهری، شماره۲۸، پاییز و زمستان ۹۰، ص ۹۳-۱۰۰.

۳- اصغریان جدی، احمد، (۱۳۹۲)، مستند نگاری و بررسی آثار موشکباران شهر تهران، هسته پژوهشی معماری دفاعی دانشگاه شهید بهشتی و پژوهشکده شهرسازی و معماری دفاعی دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران، ص۷۲-۹۲.

٤- ترابی، کمال، (۱۳۹۰)، بررسی اثرات ناشی از موشک باران بر آسیب‌پذیری معابر مهم و پل‌ها در شهرها با استفاده از GIS، پژوهشکده شهرسازی و معماری دفاعی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران.

۵- جلالی، غلامرضا، (۱۳۹۱)، چهار گفتار در باب پدافند غیرعامل، سازمان پدافند غیرعامل کشور، ص ۱۵۳-۱۷٦.

٦- حاجی اکبری، سیاوش، (۱۳۹۰)، مدلسازی آسیب‌پذیری محیط‌های شهری از نظر کالبدی، مطالعه موردی شهر اصفهان، پژوهشکده شهرسازی و معماری دفاعی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران .

۷- حافظ‌نیا، محمد رضا، (۱۳۸۲)، مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی، انتشارات سمت، تهران، چاپ هشتم، ص ٤٥-٦٥.

۸- حبیبی، کیومرث (۱۳۸۵)، ارزیابی سیاست‌های توسعه کالبدی، بهسازی و نوسازی بافت‌های کهن شهری با استفاده از GIS، پایان نامه برای دریافت درجه دکتری در رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تهران، ص ۸۵-۹۱.

۹- حبیبی، کیومرث وهمکاران(۱۳۸۷). تعیین عوامل ساختمانی مؤثر در آسیب‌پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از GIS و FUZZY LOGIC، هنرهای زیبا، شماره ۳۳،ص ۲۷-۳٦.

۱۰- حبیبی، کیومرث و دیگران (۱۳۸۸)، امنیت شهری و GIS، دانشگاه امام حسین، تهران.

۱۱- حسنی، جهانبخش (۱۳۸۷)، پدافند غیرعامل و تهاجمات هوایی، دانشگاه عالی دفاع ملی، ص ۱۹-۲۱.

۱۲- حسینی، سید علی و همکاران (۱۳۹۰)، بررسی عناصر آسیب‌پذیر و ملاحظات پدافند غیرعامل در حریم کلانشهر تهران، اولین همایش علمی- پژوهشی شهرسازی و معماری با رویکرد پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ص٤-٥.

۱۳- حسینی، سید بهشید (۱۳۸۷)، تدوین معیارهای اصلی پدافند غیرعامل در طراحی معماری ساختمان‌های عمومی، دانشگاه هنر، تهران.

١٤- حسینی، سید بهشید، (۱۳۸۹)، معیارهای پدافند غیر عامل در طراحی ساختمان‌های جمعی شهری، انتشارات عابد، تهران، ص۳۳-۳٤.

۱۵- حسینی، شریفه سرگلزایی؛ سیدبهشید، احمدرضا، (۱۳۹۰)، بررسی چگونگی ارتقاء سطح کیفی عملکرد عناصر شهری با رویکرد پدافندغیرعامل، همایش شهرسازی و معماری با رویکرد پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ص۲-۳.

١٦- داعی‌نژاد، فرامرز (۱۳۹۰)، قابلیت‌های عملکردی چند منظوره در اراضی حاشیه بزرگراه‌های شهری در زمان بحران، اولین همایش علمی- پژوهشی شهرسازی و معماری با رویکرد پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ص ۵-٦.

۱۷- سنگ سفیدی، ابراهیم (۱۳۹۳)، آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهری با استفاده از GIS، پژوهشکده شهرسازی و معماری دفاعی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.

۱۸- عرب، امیرحسین (۱۳۹۰)، کاربست شهرسازی و پدافند

1- Spatial Decision Support System (SDSS)

غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.
۱۹- عزیزی، برنافر؛ محمدمهدی، مهدی (۱۳۹۱)، ارزیابی آسیب‌پذیری شهری ناشی از حملات هوایی: ناحیه ۱ از منطقه ۱۱ تهران، مجله علمی-پژوهشی علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل، سال سوم، تابستان ۱۳۹۱، ص ۱۲۷-۱۳۷.
۲۰- علیدوستی، سیروس (۱۳۸٤)، طراحی و تبیین مدل عوامل کلیدی مؤثر بر کاربرد فناوری اطلاعات در اداره‌های کل سازمان‌های دولتی استان‌های صنعتی ایران، رساله دکتری تخصصی مدیریت، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ص ۸۸-۹۲.
۲۱- فرزام شام، عراقی زاده؛ مصطفی، مجتبی (۱۳۹۱)، مبانی برنامه‌ریزی و طراحی شهر امن از منظر پدافند غیرعامل، پژوهشکده شاخص پژوه، تهران.
۲۲- قدمی، حسینی اسمعیل کلا؛ مصطفی، سیده سمانه، (۱۳۹۰)، بررسی مؤلفه‌های کالبدی در کیفیت محیط شهری در نواحی مرکزی (نمونه مورد مطالعه نواحی مرکزی شهر ساری)، اولین همایش ملی آرمان شهر ایران، ص ۷-۹.
۲۳- قریب، فریدون، (۱۳۸۵)، شبکه ارتباطی در طراحی شهری، انتشارات دانشگاه تهران، ص ٤٤-٤۹.
24- Ahsan.N, Warner.J, (2014). The socioeconomic vulnerability index: A pragmatic approach for assessing climate change led risks–A case study in the south-western coastal Bangladesh, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 8, June 2014, pp 32-49
25- Cuhls, k., (2002), Delphi method [online].Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Munich Personal Repec Archive, pp 7-9.
26- Cuhls, k., (2007), Methods to Elicit Forecasts from Groups: Delphi and Prediction Markets Compared [online], pp 8-10.
27- Ehrgott. M., Malczewski. M., et al., (2010). Trends in Multiple Criteria Decision Analysis, International Series in Operations Research and Management Science 142, Springer Science+Business Media, LLC 2010, pp 72-78.
28- Ferretti, V. (2012), Integrating Multicriteria Analysis and Geographic Information Systems: a survey and classification of the literature, 74th Meeting of the European Working Group "Multiple Criteria Decision Aiding", pp 3-4.
29- Juan M. Sánchez-Lozano, Jerónimo Teruel-Solano, Pedro L. Soto-Elvira, M. Socorro García-Cascales, (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 24, August 2013, pp 544-556.
30- Malczewski J., (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis, Wiley & Sons INC. pp 84-85.
31- Malczewski J., (2006). GIS-based multi criteria decision analysis: a survey of the literature, International journal of geographical science. Vol 20, No 7, pp 703-726.
32- Saaty, T.L., (1980). The Analytical Hierarchy Process. McGraw Hill, New York. 350 pp.
33- Tzeng. G, Huang.J, (2011). Multi Attribute Decision Making methods and applications. CRC Press, Taylor & Francis group, pp 2-7
34- Vahidnia M.H, Alesheikh Ali.A, and Abbas Alimohammadi (2009). "Hospital Site Selection Using Fuzzy AHP and Its Derivatives" Journal of Environmental Management. Vol. 90, No. 10. pp 3048-3056.