

# ارزیابی تاب‌آوری کالبدی نواحی شهری از منظر پدافندغیرعامل با استفاده از تحلیل‌های مکانی و تکنیک پرومته (مطالعه موردی: شهر بابل)

یاسر ابراهیمیان قاجاری

استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل  
y.ebrahimian@nit.ac.ir

(تاریخ دریافت خرداد ۱۴۰۰، تاریخ تصویب مرداد ۱۴۰۰)

## چکیده

در تحقیق حاضر تاب‌آوری کالبدی نواحی ۷ گانه شهر بابل از منظر پدافندغیرعامل و با استفاده از تحلیل‌های مکانی و تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره پرومته ارزیابی شده است. در این تحقیق ابتدا با استفاده از نظر کارشناسان خبره حوزه‌های شهرسازی و پدافندغیرعامل استان مازندران تهدید پایه شهر بابل (حملات هوایی) انتخاب شد. سپس بر همین اساس و با مطالعه تحقیقات پیشین و اخذ نظرات کارشناسان خبره حوزه شهرسازی، پدافندغیرعامل و سازه از طریق مصاحبه و پرسشنامه، شانزده معیار موثر بر تاب‌آوری کالبدی شهر بابل در سه دسته فاصله از کاربری‌های ویژه، دسترسی به خدمات اصلی شهر و ویژگی‌های کالبدی بافت شهر استخراج و وزندهی شدند. سپس نقشه‌های معیار رستری تولید و مقادیر متوسط هر معیار برای هر یک از نواحی ۷ گانه شهر بابل (به عنوان گزینه‌های مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره) محاسبه و ماتریس تصمیم ایجاد شد. با تولید ماتریس تصمیم و با استفاده از روش پرومته ۲ نواحی ۷ گانه شهر بابل بر اساس درجه تاب‌آوری رتبه‌بندی شدند و نقشه ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهر بابل تولید شد. نتایج تحقیق نشان داد که نواحی مختلف شهر بابل از تاب‌آوری یکسانی برخوردار نبوده به طوریکه نواحی مرکزی شهر و تا حدی نواحی جنوبی شهر نسبت به نواحی شمالی، شرقی و غربی تاب‌آوری پایین‌تری دارند. به طور کلی با فاصله از مرکز شهر تاب‌آوری افزایش پیدا می‌کند که این افزایش تاب‌آوری در راستای جنوبی کمتر احساس می‌شود. اگرچه شهر بابل در مجموع تاب‌آوری متوسط به بالایی دارد، اما می‌توان با تحلیل تاب‌آوری به مهم‌ترین دلایل تاب‌آوری پایین مناطق مرکزی شهر یعنی مناطق ۴ و ۵ دست یافت. با تحلیل نتایج تحقیق توسط کارشناسان پدافندغیرعامل مشخص شد، مهم‌ترین دلایل تاب‌آوری پایین مناطق مرکزی شهری بابل (مناطق ۴ و ۵) تراکم بالای ساخت، بالا بودن درجه محصوریت، وجود مراکز نظامی مهم و مراکز سوخت رسانی متعدد در این مناطق می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** تاب‌آوری شهری، پدافند غیرعامل، پرومته، تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی، تحلیل‌های مکانی، بابل

## ۱- مقدمه

مناطق شهری با توجه به حجم بالای سرمایه گذاری و استقرار بسیاری از کاربری‌های مهم در آن و افزایش روزافزون جمعیت آن‌ها، در صورت بروز بحران‌ها به ویژه بحران‌های انسان ساخت دچار صدمات مالی و جانی قابل توجهی می‌شوند که این خسارات شامل ترکیبی از ویرانی‌های کالبدی و اختلال در عملکرد عناصر شهری، آسیب‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی است [۱].

تاکنون تحقیقات بسیار زیادی در خصوص ارزیابی تاب‌آوری شهر در مقابل انواع تهدیدات طبیعی مانند زلزله صورت پذیرفته است، اما تحقیقات در خصوص ارزیابی تاب‌آوری مناطق شهری در مقابل تهدیدات انسان ساخت به ویژه تهدیدات جنگی به مراتب کمتر می‌باشد که در این تحقیق مدنظر می‌باشد. در طول تاریخ بشر همواره صحنه‌های جنگ و برخوردهای نظامی را تجربه کرده است و کمتر سرزمینی از این آفت مصون مانده است [۲]. با پیشرفت‌های صورت گرفته در حوزه حملات نظامی امروزه تمامی مناطق شهری در معرض خطر می‌باشند به ویژه کشور ایران با وجود دشمنان خارجی که اکثر هم‌در کشورها هم مرز ایران پایگاه‌های نظامی دارند و مرتب با تهدیدات نظامی خود قدرت‌نمایی می‌کنند. در واقع آنچه که حملات نظامی را به عنوان تهدیدی جدی مطرح می‌کند، عدم آمادگی برای مقابله با آنهاست که بهترین راه برای مقابله با این تهدیدات ایجاد و حفظ آمادگی در مقابل این تهدیدات می‌باشد [۳]. لذا در برنامه‌ریزی‌های شهری باید لایه‌های حفظ آمادگی که عبارتند از ایمنی، امنیت و دفاع لحاظ گردند که با توجه به سلسله مراتب این لایه‌ها، دفاع به عنوان بالاترین و مهمترین سطح خود در برگیرنده ایمنی و امنیت است [۴]. دفاع بر دو نوع دفاع عامل و دفاع غیرعامل است و رویکرد دفاع غیرعامل باید در تمامی علوم از جمله برنامه‌ریزی شهری مدنظر قرار بگیرد، چرا که بدون این رویکرد آمادگی لازم در شهرها برای مقابله با این تهدیدات به دست نمی‌آید [۵].

یکی از راه‌های اساسی برای ایجاد آمادگی در برابر بحران‌ها، آگاهی از میزان تاب‌آوری شهر در صورت وقوع آن بحران است که در این صورت می‌توان با اتخاذ راهکارهایی آمادگی در برابر اینگونه بحران‌ها را تا حد بسیار زیادی افزایش داد [۷و۶]. تاب‌آوری مفهومی است

که اساسا در مورد اینکه چطور یک سیستم، جامعه و فرد با اختلال مواجه می‌شود و تغییر می‌کند، در ارتباط است [۸]. واژه تاب‌آوری را می‌توان واژه پذیرفته شده‌ای در توسعه پایدار و مدیریت بحران دانست. تاب‌آوری توانایی یک سیستم در تحمل یا سازگاری با عوارض شوک‌هایی مانند بحران‌های طبیعی یا انسان ساخت است، در حالیکه سیستم همچنان قادر است عملکرد خود را حفظ و به فعالیت‌هایش استمرار بخشد [۹].

با توجه به اینکه معیارهای مختلفی در ارزیابی تاب‌آوری شهر دخیل هستند، لذا مسئله یک مسئله ارزیابی چند معیاره می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه بسیاری از این معیارها ماهیت مکانی دارند، باید گفت سامانه‌های اطلاعات مکانی با قابلیت‌های بسیار بالا در اخذ، ذخیره، ویرایش و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی نقش به‌سزایی در ارزیابی تاب‌آوری دارند [۱۰ و ۱۱]. لذا مدل‌های GIS-MCDM برای اینگونه مسائل مناسب می‌باشند [۱۲]، آنچه که در این تحقیق طراحی و اجرا شده است و برای شهر بابل از اولین تحقیق‌ها در کشور به شمار می‌رود. لازم به ذکر است که نتایج این تحقیق در قالب آمار و نقشه، اطلاعات و آگاهی لازم را برای متخصصان حوزه شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری فراهم می‌آورد تا با اتخاذ راهکارهای مناسب تاب‌آوری شهری ارتقا یابد. لذا در این تحقیق صرفا به ارزیابی تاب‌آوری کالبدی نواحی شهر بابل با رویکرد پدافند غیرعامل (در مقابل حملات هوایی) پرداخته شده و راهکاری ارائه نشده است.

## ۲- پیشینه تحقیق

تحقیقات متنوعی در خصوص ارزیابی آسیب پذیری کالبدی شهر با رویکرد پدافند غیرعامل صورت گرفته که اکثرا محدود به تحلیل معیارهای آسیب‌پذیری بوده و تنها تعداد کمی از آن‌ها به مدلسازی آن در محیط GIS و تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری و با تهدید پایه حملات هوایی بوده است. از طرفی ارزیابی تاب‌آوری شهر (که متفاوت از مدلسازی آسیب‌پذیری شهری می‌باشد) با رویکرد پدافند غیرعامل و مدلسازی آن با استفاده از تحلیل‌های مکانی بسیار کم بوده است. در این تحقیق بر خلاف بسیاری از تحقیقات گذشته که مدلسازی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و شبکه راه‌ها به عنوان عناصر کالبدی شهر مورد مطالعه

تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، محققین به دنبال ارایه راهکارهای کاهش خسارات احتمالی حاصل از حملات نظامی در شهرها بوده‌اند. به منظور شناخت عناصر آسیب پذیر با رویکرد پدافند غیرعامل در این شهر، با توجه به مطالعات پیشین در این زمینه از روش دلفی استفاده گردید. بر این اساس فهرستی بیست گانه از عناصر آسیب پذیر تهیه و با روش AHP ارزش گذاری و با استفاده از GIS و روش درون یابی تراکمی<sup>۳</sup>، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر بر اساس این عناصر تهیه شد. علاوه بر عناصر آسیب پذیر، معیارهای شهری تاثیر گذار در این موضوع نظیر تراکم‌های جمعیتی و ریزدانه‌گی قطعات نیز مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس آن پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر ارائه گردید. پهنه‌های حاضر در نهایت با یکدیگر تلفیق شده و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر بیرجند با رویکرد پدافند غیرعامل تهیه شد. در پایان با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته در مورد هر یک از عناصر شهری، راهکارهای لازم به منظور کاهش خسارات ناشی از حملات نظامی ارائه گردید. حاجی اکبری در تحقیقی به مدلسازی تاب‌آوری کالبدی شهر اصفهان در هنگام موشکباران پرداخته است [۱۵]. معیارهای تاب‌آوری (۱۰ معیار) در این تحقیق با استفاده از نظرات کارشناسان پدافند غیرعامل و شهرسازی مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران صورت پذیرفته است. در این تحقیق نیز روش AHP برای وزن‌دهی معیارها مورد استفاده قرار گرفته است و نقشه‌های آسیب‌پذیری در محیط GIS تولید شده است. اصغریان جدی با همکاری محققین پژوهشکده شهرسازی و معماری دفاعی دانشگاه صنعتی مالک اشتر به مستند نگاری و بررسی آثار موشک باران تهران در بازه زمانی اسفند ۱۳۶۶ لغایت اردیبهشت ۱۳۶۷ و ارائه ساختار پایگاه داده پرداخته است [۱۶]. در این تحقیق ۶۰ اثر موشکباران ناشی از حملات هوایی به تهران که در دوران جنگ تحمیلی توسط محققان هسته پژوهشی معماری دفاعی دانشگاه شهید بهشتی ثبت و ضبط شده بود، مستندسازی و تحلیل شده و در نهایت به ارائه راهکارهای عملی در حوزه برنامه‌ریزی شهری برای کاهش آسیب‌پذیری پرداخته است. در این تحقیق به طور صریح

قرار داده شده و نقشه‌های آسیب‌پذیری این عناصر کالبدی تولید شده است، طبق نظر متخصصان حوزه شهرسازی دفاعی و پدافند غیرعامل به سراغ ارزیابی تاب‌آوری نواحی شهری رفته که مبنای مطالعات لازم برای ارتقای تاب‌آوری شهری می‌باشد. همچنین سعی شده است با در نظر گرفتن تمامی تحقیقات پیشین و مطالعات دقیق و اخذ نظرات طیف وسیعی از کارشناسان مرتبط، به معیارهای موثر بیشتر، دقیق‌تر و صحیح‌تری برای ارزیابی تاب‌آوری شهری ناشی از حملات هوایی دست یابد که در کاری جدید در این حوزه محسوب می‌شود.

عزیزی و برنافر در تحقیقی به ارزیابی تاب‌آوری کالبدی ناحیه ۱ منطقه ۱۱ شهر تهران در مقابل حملات هوایی از طریق ارزیابی آسیب‌پذیری بلوک‌های ساختمانی در محیط GIS پرداخته [۱۳]. فرض اساسی در این تحقیق بر شباهت مدلسازی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و حملات هوایی بوده است. لذا معیارهای آسیب‌پذیری در این تحقیق (۱۳ معیار) بر اساس معیارهای آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با کمی تغییرات با استفاده از نظرات کارشناسی استخراج شده است. معیارهای آسیب‌پذیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> (AHP) وزندهی شده و نقشه آسیب‌پذیری نهایی هم با ادغام نقشه‌های آسیب‌پذیری با استفاده از روش ترکیب خطی وزندار<sup>۲</sup> (WLC) تولید شده است. در نقشه آسیب‌پذیری نهایی بلوک‌های ساختمانی بر اساس درجه آسیب‌پذیری به سه دسته آسیب‌پذیری زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی شدند که بیش از ۹۰ درصد ساختمان‌ها از آسیب‌پذیری متوسط به بالایی برخوردار بودند. نتایج مدلسازی حاکی از آسیب‌پذیری بالای منطقه مورد مطالعه داشته است که از جمله دلایل بالا بودن آسیب‌پذیری در محدوده مورد مطالعه، فرسودگی بافت شهری، دسترسی اندک به فضاهای باز شهری و گستردگی میزان ترافیک عبوری از خیابان‌های اصلی محدوده مورد مطالعه عنوان شده است. اسماعیلی شاهرخت و تقوایی در تحقیقی به ارزیابی تاب‌آوری شهر بیرجند با رویکرد پدافند غیرعامل پرداختند [۱۴]. در این پژوهش با ارایه روشی که در آن شهر و عناصر شهری تاثیرگذار با رویکرد پدافند غیرعامل مورد

<sup>۱</sup> Analytic Hierarchy Process

<sup>۲</sup> Weighted Linear Combination

<sup>۳</sup> Compression Interpolation

به معیارهای آسیب‌پذیری شهر ناشی از موشکباران اشاره ای نشده است، اما در این تحقیق به عنوان یکی از منابع اصلی در استخراج معیارهای ارزیابی کالبدی شهر مورد استفاده قرار گرفت. ترابی در تحقیقی به مدلسازی آسیب‌پذیری معابر مهم و پل‌ها در شهرها ناشی از موشکباران در محیط GIS پرداخته است [۱۷]. در این تحقیق آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی به عنوان یکی از مولفه‌های کالبدی شهر مدلسازی شده است. ۱۱ معیار آسیب‌پذیری با استفاده از نظرات کارشناسی استخراج و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس<sup>۱</sup> (IHWP) وزندهی شدند و نقشه آسیب‌پذیری نهایی در محیط GIS تولید شد. فرجی و همکاران در تحقیقی مدلی را برای پهنه‌بندی تاب‌آوری کالبدی شهر اهواز در برابر حملات نظامی ارائه نمودند [۱۸]. در این تحقیق ابتدا ساختار معیارها با روش دیماتل به دست آمده، سپس با کمک ساختار تهیه شده وزن هر معیار با روش فرآیند تحلیل شبکه<sup>۲</sup> (ANP) محاسبه شده است. برای مدلسازی مکانی میزان آسیب‌پذیری شهر اهواز با در نظر گرفتن معیارهای تاثیرگذار، یک رابط کاربر با عنوان SSP Model، بر مبنای روش مرتب‌سازی گزینه‌های مبتنی بر پروفایل در محیط نرم افزار ArcGIS، طراحی و میزان آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه در پهنه‌های مختلف به طور خودکار شناسایی شده است. نتایج تحقیق نشان داده که تنها ۱ درصد از مساحت شهر اهواز از تاب‌آوری بالایی برخوردار است؛ همچنین ۴۱ درصد مساحت شهر از تاب‌آوری بالا، ۵۶ درصد از تاب‌آوری کم و ۲ درصد از مساحت شهر در پهنه کاملاً آسیب‌پذیر قرار گرفته است. انطباق پهنه‌های بسیار آسیب‌پذیر با عوامل موثر بر میزان تاب‌آوری در شهر اهواز نشان دهنده دقت قابل قبول مدل ارائه شده است. تداپلی و مولن مدلی مبتنی بر GIS برای ارزیابی ریسک و تاب‌آوری ساختمان‌های شهری و خسارت اقتصادی ناشی از موج انفجار ارائه دادند [۱۹]. در مدل پیشنهادی آن‌ها ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌ها از جمله نوع اسکلت، سطح اشغال، تعداد طبقات، مصالح نما و ارزش اقتصادی ساختمان و تجهیزات آن در نظر گرفته شده است. با مشخص بودن معیارها، آسیب‌پذیری نهایی ساختمان‌ها

محاسبه شده و ساختمان‌ها به سه دسته آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شدند. در این تحقیق فرض اساسی بر شباهت موج ایجاد شده از زلزله و موج ایجاد شده ناشی از انفجار بوده است. مدل فوق برای ساختمان‌های منطقه می‌سی‌سی‌پی پیاده‌سازی و نقشه آسیب‌پذیری در محیط GIS تولید شده است. کولویک و لابنیوسکی یک سامانه Web GIS توسعه دادند که قادر به شبیه‌سازی آسیب‌پذیری ساختمان‌های در حریم شبکه ریلی قطار ناشی از انفجار تروریستی می‌باشد [۲۰]. در این تحقیق با مشخص نمودن محل انفجار و قدرت انفجار در نقاط مختلف از شبکه ریلی (به ویژه در ایستگاه‌های قطار)، آسیب‌پذیری ساختمان‌های اطراف محل انفجار شبیه‌سازی می‌شود. این سامانه برای شهر جیدانک کشور لهستان پیاده‌سازی شده است. ما و چنگ یک سامانه مبتنی بر GIS برای ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها ناشی از انفجار در شبکه گاز شهری توسعه دادند [۲۱]. ماتیجو سایتین و پترياشویلی با بررسی حوادث تروریستی در کشورهای مختلف به این نتیجه رسیدند که انتخاب اهداف حملات تروریستی توسط تروریست‌ها بر اساس یک سری معیارها صورت می‌پذیرد [۲۲]. این معیارها بر اساس یک سری پرسشنامه و روش تحلیل رگرسیون اتوماتیک<sup>۳</sup> صورت پذیرفت. لذا با مشخص بودن این معیارها نشان دادند که می‌توان با طراحی‌های درست شهری با رویکرد پدافند غیرعامل از بسیاری از جنایات تروریستی جلوگیری نمود. از جمله راهکارهایی که توسط آن‌ها ارائه شد عبارتند از: حداقل نمودن راه دسترسی خودروها به ساختمان‌ها، جدا نمودن بخش‌های خصوصی و عمومی از همدیگر، پراکنده نمودن ساختمان‌های با کاربری خاص و پرجمعیت (مانند مراکز خرید).

علاوه بر تحقیقات در رابطه با ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهر با رویکرد پدافند غیرعامل و در مقابل تهدیدات انسان ساخت، تحقیقات بسیار زیادی هم در خصوص ارزیابی تاب‌آوری شهری در مقابل بحران‌های طبیعی صورت پذیرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به تحقیق آقای زنگنه و همکاران اشاره نمود که با استفاده از ۱۷ شاخص تاب‌آوری کالبدی در چهار عامل به ارزیابی و تحلیل میزان تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۲ شهر تهران در برابر زلزله

<sup>۱</sup> Inverse Hierarchical Weighting Processing

<sup>۲</sup> Analytic Network Process

<sup>۳</sup> Automatic regression analysis

کوه‌های البرز مرکزی محدود است. شهر بابل مرکز این شهرستان، منطقه مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشد که در حدفاصل چهارده کیلومتری دریای مازندران و ده کیلومتری رشته کوه‌های البرز واقع شده است.

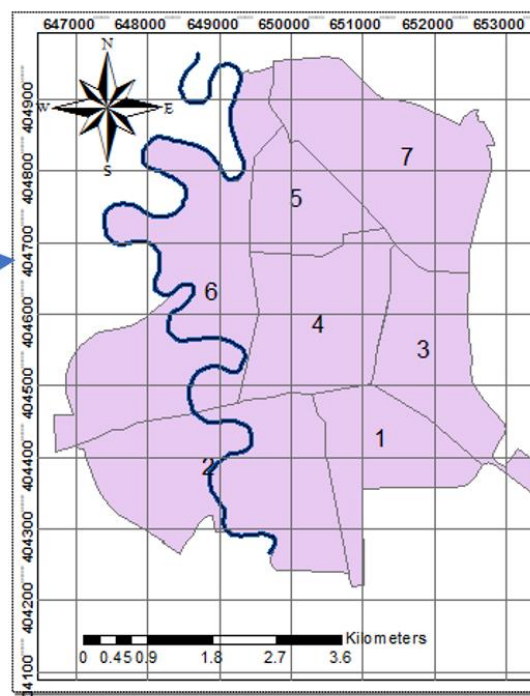
بابل بین ۳۶ درجه و ۵ دقیقه و ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه شمال استوا و ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه و ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه شرق نصف النهار گرینویچ واقع شده است. مساحت آن حدود ۳۲ کیلومتر مربع و جمعیت آن طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ برابر با ۲۵۰۲۱۷ نفر (دومین شهر پرجمعیت مازندران) می‌باشد. شهر بابل به ۲ منطقه و ۷ ناحیه شهری تقسیم شده است که نمایی از آن در شکل ۱ مشاهده می‌شود.



پرداختند که در میان این شاخص‌ها نقش شبکه معابر و سطح اشغال بیش از بقیه بوده است [۲۳]. در این تحقیق از مدل ویکور برای سنجش میزان تاب‌آوری استفاده شد که نشان داد نواحی شش گانه منطقه ۱۲ شهر تهران در سطوح متفاوت تاب‌آوری قرار داشته به طوریکه مناطق ۶ و ۱ دارای بیشترین میزان تاب‌آوری بوده است.

### ۳- منطقه مورد مطالعه

شهرستان بابل از شهرستان‌های بزرگ و مرکزی استان مازندران می‌باشد که از شمال به شهرستان بابلسر و دریای مازندران، از شرق به شهرستان قائمشهر، از غرب به شهرستان آمل و از جنوب به شهرستان سوادکوه و رشته



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (نواحی ۷ گانه شهر بابل)

### ۴-۱- تاب‌آوری کالبدی شهر بابل

تاب‌آوری رویکردی چندوجهی می‌باشد و بحث پیرامون این رویکرد نیازمند توجه به ابعاد مختلف و تاثیرگذار بر آن می‌باشد. همانند سایر مفاهیم مدیریت بحران و پدافند غیرعامل، مفهوم تاب‌آوری نیز ابعاد متعددی دارد و تاکنون تعریف مشترک پذیرفته شده‌ای از آن ارائه نشده است [۲۴]. در ادبیات مخاطرات و مدیریت سوانح، تاب‌آوری به شیوه‌های متعددی استفاده می‌شود و در حالت کلی به چهار دسته تاب‌آوری کالبدی، اجتماعی،

### ۴- مواد و روش‌ها

همانطور که اشاره شد تاب‌آوری شهری بسیار گسترده بوده و می‌توان آن را از منظرها و در مقیاس‌های مختلفی ارزیابی نمود. در این تحقیق صرفاً ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهری در مقابل حملات هوایی با رویکرد پدافند غیرعامل مدنظر می‌باشد که برای نواحی شهر بابل صورت پذیرفته است که در ادامه با جزئیات بیشتری ارائه خواهد شد.

اقتصادی و نهادی طبقه بندی می‌شوند که در این تحقیق صرفاً تاب‌آوری کالبدی مدنظر می‌باشد [۲۵]. تاب‌آوری کالبدی توانایی سیستم‌های فیزیکی (شامل مولفه‌های کالبدی شهر و تعامل آن‌ها با یکدیگر) در عملکرد سطوح مورد قبول هنگام مواجهه با سوانح می‌باشد [۲۶].

از طرفی تاب‌آوری در مقیاس‌های متنوعی بررسی می‌شود که در این تحقیق تاب‌آوری شهری به تفکیک مناطق شهری مدنظر می‌باشد. در این مقیاس، تاب‌آوری به توانایی سیستم شهری برای حفاظت از دارایی‌ها و همچنین تضمین ادامه دسترسی به خدمات و عملکردهایی که رفاه شهروندان در گرو تامین آن می‌باشد بستگی دارد. در این تحقیق تاب‌آوری کالبدی برای هر یک از نواحی ۷ گانه شهر بابل محاسبه شده و با همدیگر مقایسه شده و به تحلیل و ارائه راهکارهای مناسب برای افزایش تاب‌آوری در نواحی دارای تاب‌آوری پایین تر پرداخته خواهد شد.

#### ۴-۲- تهدید پایه شهر بابل

تهدید به هر نشانه یا رویداد یا اتفاقی گفته می‌شود که پتانسیل اعمال تخریب یا از بین بردن کامل دارایی‌ها را داشته باشد یا موجب جلوگیری یا اختلال در عملکرد آن‌ها شود که در حالت کلی به دو دسته طبیعی و انسان‌ساخت تقسیم می‌شوند [۲۷]. منظور از تهدیدات طبیعی حوادثی مانند سیل، زلزله و طوفان و منظور از تهدیدات انسان‌ساخت تهدیداتی مانند حملات هوایی، تروریستی و سایبری می‌باشد.

از بین تهدیدات انسان‌ساخت آنچه که بیشتر از همه برای حمله به شهرها متصور است تهدیدات هوایی می‌باشد، آن هم به این دلیل که اکثر مراکز حیاتی، حساس و مهم آن دور از مرزهای کشور قرار دارند و با پیشرفت تکنولوژی و افزایش برد سلاح‌ها همه اهداف شهری با دقت نقطه زنی بسیار بالا در معرض خطر انواع حملات هوایی و موشکی قرار دارند [۲۸]. در جنگ‌های نسل اول به خاطر وجود موانع زیاد از جمله مرزها و قلعه‌های اطراف شهر، شهرها آخرین محل برای حملات بوده و جنگ‌ها به شهرها ختم می‌شد؛ اما با افزایش برد سلاح‌ها به مرور زمان شروع جنگ‌ها از شهرها شده است و لذا لازم است با اتخاذ رویکرد مناسب در برنامه ریزی شهری تاب‌آوری شهر در مقابل این تهدیدات را افزایش داد [۲۹].

با توجه به توضیحات فوق بدیهی است نقش پدافند غیرعامل در مباحث شهری رفته رفته پررنگ‌تر شده به طوری که امروزه به جرات می‌توان گفت شهری تاب‌آوری بیشتری دارد که رویکردهای پدافند غیرعامل را بهتر و بیشتر در کلیه مراحل برنامه ریزی‌اش لحاظ نموده باشد [۳۰]. دفاع غیرعامل در شهرسازی به مجموعه تدابیر، اقدامات فنی و ملاحظات دفاعی گفته می‌شود که سبب حذف یا کاهش آسیب‌پذیری و مخاطرات در شهرها، مراکز زیستی و سایر مراکز مستقر و نیز زیرساخت‌های آن‌ها می‌شود [۳۱]. تأمین حداکثر ایمنی و حفاظت از مردم و قابلیت اداره و امداد به مردم در برابر تهاجمات خصمانه دشمن از دیگر ویژگی‌های پدافند غیرعامل در حوزه شهرسازی است [۳۲]. در مناطق شهری، صدمات جنگی شامل ترکیبی از ویرانی‌های کالبدی و اختلال در عملکرد عناصر شهری است که انهدام سازه‌ها و ساختمان‌ها، شبکه راه‌ها و دسترسی‌ها، تأسیسات اساسی مانند مخازن آب، نیروگاه‌ها، خطوط ارتباطی تلفن، برق، لوله کشی آب و گاز از آن جمله هستند که علاوه بر آسیب‌های مستقیم، خسارات حاصل از حوادث تبعی را نیز در پی خواهند داشت [۳۳]. بنابراین لازم است آمادگی لازم برای مقابله با این تهدیدات وجود داشته باشد که یکی از این اقدامات عملی با رویکرد پدافند غیرعامل در راستای ایجاد آمادگی، ارزیابی تاب‌آوری مناطق مختلف شهری و تحلیل و ارائه راهکارهای مناسب افزایش تاب‌آوری می‌باشد [۳۴].

شهر بابل به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر استان مازندران و با توجه به اینکه قطب اقتصادی و علمی استان مازندران می‌باشد نیز از مراکز شهری بسیار مهم در کشور به شمار می‌آید. استان مازندران به ویژه بابل در صورت وقوع جنگ به دلایل مختلف از جمله توریست‌پذیر بودن استان مازندران از مقاصد اصلی مردم سایر استان‌ها خواهد بود. بدیهی است در جنگ‌های امروز که هدف حمله مستقیم به مردم نیست، سعی در آن است که با حملات هوایی و ایجاد ناامنی در این مناطق شهری، به صورت غیر مستقیم با ایجاد فشار روانی و ناامنی اجتماعی روند جنگ را تغییر داد و جنگ را به نارضایتی داخلی تغییر داد و زمینه لازم برای تضعیف کشور و حاکمیت را به وجود آورد. طبق بررسی‌های صورت گرفته و طبق نظر کارشناسان خبره پدافند غیرعامل و شهرسازی، از بین تمامی انواع تهدیدات انسان‌ساخت، حملات هوایی محتمل‌ترین نوع تهدید برای این شهر بوده که به عنوان تهدید پایه در این تحقیق در نظر گرفته شده و سایر مراحل تحقیق نیز بر این اساس انجام پذیرفته است.

### ۳-۴- روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا با استفاده از نظر کارشناسان خبره و مسئولین مربوطه حوزه شهرسازی و پدافند غیرعامل استان مازندران تهدید پایه شهر بابل (حملات هوایی) انتخاب شد. سپس بر همین اساس و با مطالعه تحقیقات پیشین و اخذ نظرات کارشناسان خبره حوزه شهرسازی، پدافند غیرعامل و سازه از طریق مصاحبه و پرسشنامه، معیارهای موثر بر تاب‌آوری کالبدی شهر بابل استخراج و وزندهی شدند. سپس نقشه‌های معیار رستری تولید و مقادیر متوسط هر معیار برای هر یک از نواحی ۷ گانه شهر بابل (گزینه‌های تصمیم‌گیری) محاسبه و ماتریس تصمیم ایجاد شد. با تولید ماتریس تصمیم و با استفاده از روش پرومته ۲ نواحی ۷ گانه شهر بابل به عنوان گزینه‌های ماتریس تصمیم بر اساس درجه تاب‌آوری رتبه‌بندی شدند و نقشه ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهر بابل تولید شد.

### ۴-۴- معیارهای موثر بر تاب‌آوری شهر بابل

با مطالعه تحقیقات گذشته و همچنین مصاحبه با کارشناسان خبره حوزه شهرسازی، پدافند غیرعامل، سازه و معماری مهمترین معیارهای موثر بر تاب‌آوری شهر بابل مشخص شد. لازم به ذکر است که این معیارها با توجه به شرایط اقلیمی، توپوگرافی و امنیتی شهر بابل مشخص شدند

و نمی‌توان به همین صورت برای سایر شهرهای کشور مورد استفاده قرار داد [۳۵]. به عنوان مثال معیار شیب برای شهر بابل که منطقه‌ای جلگه‌ای هست و اختلاف ارتفاع سطح زمین در مقیاس مورد مطالعه ناچیز است در این تحقیق حذف شده است، در حالیکه برای شهرهای مناطق کوهستانی از معیارها موثر به شمار می‌رود. این معیارها در حالت کلی به ۳ دسته فاصله از کاربری‌های ویژه (حیاتی، حساس، مهم)، دسترسی به خدمات اصلی شهر و ویژگی‌های کالبدی شهر طبقه بندی شدند که در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. همچنین نوع این معیارها که جزو معیارها سود یا هزینه هستند به همراه وزن نهایی آن‌ها در این جدول مشخص شده است. منظور از معیارهای سود معیارهایی است که هرچه مقادیر آن‌ها بیشتر باشد تاب‌آوری شهر بیشتر است و در مورد معیارهای هزینه هم هر چه مقادیر آن‌ها کمتر باشد تاب‌آوری بیشتر است. وزن معیارها و شاخص ناسازگاری با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و با استفاده از نرم افزار Expert Choice محاسبه شده است. وزن معیارها نرمال بوده به این معنی که مجموع مقادیر آن برابر یک است و با توجه به اینکه شاخص ناسازگاری (۰,۰۸۵) هم کمتر ۰,۱ است، لذا می‌توان گفت نظرات کارشناسان در استخراج و وزندهی معیارها سازگاری لازم با هم را دارند.

جدول ۱- عوامل و معیارهای موثر بر تاب‌آوری شهر

ردیف	عوامل موثر	معیارهای موثر	نوع معیار	وزن معیار
۱	فاصله از کاربری‌های ویژه	فاصله از مراکز نظامی	سود	۰,۱۴۵
۲		فاصله از پل‌های کلیدی	سود	۰,۱۲۰
۳		فاصله از مراکز سوخت رسانی	سود	۰,۱۰۵
۴		فاصله از شبکه تاسیسات	سود	۰,۱۰۰
۵		فاصله از مراکز صنعتی	سود	۰,۰۸۰
۶	دسترسی به خدمات اصلی شهر	دسترسی به شبکه راه اصلی	هزینه	۰,۰۶۰
۷		فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی	هزینه	۰,۰۵۵
۸		دسترسی به مراکز درمانی	هزینه	۰,۰۴۰
۹		دسترسی به فضای باز	هزینه	۰,۰۳۵
۱۰	ویژگی‌های کالبدی بافت شهر	درجه محصوریت	هزینه	۰,۰۶۵
۱۱		تراکم ساخت	هزینه	۰,۰۶۵
۱۲		تراکم جمعیت	هزینه	۰,۰۴۵
۱۳		تعداد طبقات ساختمان‌ها	هزینه	۰,۰۳۰
۱۴		نوع اسکلت ساختمان‌ها	سود	۰,۰۲۵
۱۵		دانه بندی قطعات	سود	۰,۰۲۰
۱۶	قدمت ساختمان‌ها	هزینه	۰,۰۱۰	

همانطور که در جدول شماره ۱ مشخص است، در نهایت ۱۶ معیار موثر در تاب‌آوری شهر بابل مشخص شد که بر اساس طبقه بندی عوامل صورت گرفته و وزن آورده شده است. مهمترین معیار فاصله از مراکز نظامی است، چرا که همواره در تمامی جنگ‌ها به ویژه حملات هوایی از الویت‌های اول حمله بوده و طبیعتاً مناطق نزدیک به این مراکز نظامی از آسیب‌پذیری بالاتری برخوردار بوده که ارتباط مستقیم با کاهش تاب‌آوری منطقه اطراف خود دارد. معیار بعدی فاصله از پل‌های کلیدی شهر می‌باشد که از اهداف اصلی حملات هوایی برای ایجاد اختلال در رفت و آمد و ایجاد موج نارضایتی در جامعه دارد. فاصله از مراکز سوخت‌رسانی (مانند پمپ بنزین و گاز) هم بسیار مهم است چرا که جزو کاربری‌های خطرناک محسوب شده و در صورت انفجار بر اثر حمله هوایی، موج انفجار مضاعفی را ایجاد خواهد کرد و طبعاً مناطق اطراف آن آسیب‌پذیرتر هستند. شبکه تاسیسات و مراکز صنعتی هم از الویت‌های حملات هوایی محسوب می‌شوند. عامل دیگر موثر بر تاب‌آوری شهری دسترسی به خدمات اصلی شهر هست که هر چه تعداد آن‌ها در یک شهر بیشتر و پراکنش آن‌ها در شهر مناسب‌تر باشد، طبیعی است که در ارتقای تاب‌آوری شهر تاثیر مستقیم دارد. منظور از پراکنش مناسب یعنی توزیع عادلانه این امکانات در سطح شهر به گونه‌ای که همه نقاط شهر به این امکانات دسترسی استاندارد داشته باشند. به عنوان مثال مدت زمان رسیدن تیم آتش‌نشانی در تمامی نقاط شهر کمتر از ۳ دقیقه باشد. عامل مهم و موثر دیگر بر تاب‌آوری شهری ویژگی‌های کالبدی بافت شهر می‌باشد به ویژه اینکه هدف این تحقیق صرفاً ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهر می‌باشد. مهمترین معیار در این عامل درجه محصوریت به معنای نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معبر می‌باشد و هر چه مقدار آن کمتر باشد طبیعتاً حجم آوار حاصل از تخریب ساختمان به نسبت عرض معبر کمتر بوده و عملیات امداد و نجات با کیفیت بهتری صورت می‌گیرد و این در ارتباط مستقیم با تاب‌آوری بالای شهر می‌باشد. بدیهی است هرچه تراکم ساخت و ساز (مساحت عرصه ساختمان‌ها به مساحت کل ناحیه) و تراکم جمعیت (نفر در هکتار) در یک منطقه کمتر باشد به همان دلیلی که در معیار درجه محصوریت توضیح داده شد، تاب‌آوری آن ناحیه شهر بالاتر خواهد بود. ارتفاع ساختمان‌ها که رابطه مستقیم با تعداد طبقات آن دارد هم از عوامل موثر در آسیب‌پذیری آن و در نتیجه تاب‌آوری شهر دارد، چرا که ساختمان‌های با تعداد طبقات بالاتر بیشتر در معرض موج انفجار ناشی از

حملات هوایی قرار دارند. معیار سازه‌ای مهم در این تحقیق، نوع اسکلت ساختمان می‌باشد که اسکلت کل ساختمان‌ها در شهر بابل به ترتیب مقاومت در مقابل موج انفجار و آتش به ۵ دسته بتنی، فولادی، آجر و آهن، بلوک سیمانی و سایر موارد طبقه‌بندی شد. منظور از دانه‌بندی قطعات مساحت پارسل یا قطعه زمینی است که ساختمان در آن بنا شده است که طبق نظر کارشناسان خبره پدافند غیرعامل در زمین‌های با مساحت بیشتر آسیب‌پذیری کمتری ناشی از حملات هوایی وجود دارد. آخرین معیار هم قدمت ساختمان‌ها می‌باشد که طبیعتاً با افزایش عمر ساختمان، مقاومت آن در مقابل موج انفجار ناشی از حملات هوایی کاهش می‌یابد.

#### ۴-۵- ارزیابی تاب‌آوری با تکنیک پرموته

همانطور که اشاره شد در این تحقیق از تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی تاب‌آوری نواحی شهر بابل استفاده شده است. در واقع نواحی شهر بابل گزینه‌های تصمیم‌گیری بوده که مقادیر هر یک از معیارهای ۱۶ گانه برای این ناحیه محاسبه شده و ماتریس تصمیم‌گیری که سطرهای آن گزینه‌ها و ستون‌های آن معیارها می‌باشد تشکیل می‌شود. لازم به ذکر است که ماتریس تصمیم‌گیری و بردار وزن معیارها ورودی اکثر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد.

تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره زیادی وجود دارد که در این تحقیق از تکنیک پرموته ۲ که خود جزو تکنیک‌های فرا رتبه‌ای می‌باشد استفاده شده است. دلیل انتخاب این روش جدای از سهولت و قابل فهم بودن آن، متناسب بودن گزینه‌های تصمیم‌گیری و وجود معیارهایی گاه متناقض است که لزوماً از یکدیگر مستقل نبوده و اینکه هدف از این تحقیق نیز ارزیابی نسبی و مقایسه تاب‌آوری کالبدی نواحی مختلف شهر بابل می‌باشد. در تکنیک پرموته گزینه‌های تصمیم‌گیری با جزئیات بالایی با یکدیگر مقایسه می‌شوند، بدین معنا که هم برتری تک تک گزینه‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها مشخص می‌شود و هم برتری سایر گزینه‌ها نسبت به هر گزینه که نتیجه آن دقت بالای رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد [۳۶]. علاوه بر موارد فوق در روش پرموته نیازی به نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری نبوده و با توجه به تنوع معیارها در این تحقیق که مقادیر گزینه‌ها در هر معیار در مقیاس‌های بسیار متفاوت و متنوعی است بسیار کارا می‌باشد [۳۷].



$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{\text{Max}(d) - \text{Min}(d)} & d > 0 \end{cases} \quad (3)$$

مرحله ۲: محاسبه رجحان کلی گزینه a نسبت به گزینه b برای همه معیارها که طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$\forall a, b \in A, \quad \pi(a, b) = \sum_{j=1}^n P_j(a, b) \cdot W_j \quad (4)$$

در این رابطه A مجموعه تمام گزینه‌ها و  $W_j$  وزن معیار j می‌باشد.

مرحله ۳: محاسبه جریان مثبت  $(\phi^+(a))$  و جریان منفی  $(\phi^-(a))$  برای هر گزینه که طبق روابط ۵ و ۶ محاسبه می‌شوند.

$$\phi^+(a) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (5)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (6)$$

m در این روابط تعداد گزینه‌هاست و منظور از جریان مثبت یک گزینه میزان برتری یک گزینه بر سایر گزینه‌ها و منظور از جریان منفی یک گزینه میزان برتری سایر گزینه‌ها بر آن گزینه می‌باشد

مرحله ۴: محاسبه جریان خالص  $(\phi(a))$  هر گزینه طبق رابطه ۷

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (7)$$

مرحله ۵: رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقادیر جریان خالص که هرچه مقدار آن بیشتر باشد نشان از برتری آن گزینه بر سایر گزینه‌ها می‌باشد.

## ۵- یافته‌ها

در این بخش نقشه‌های معیار، ماتریس تصمیم‌گیری و جدول و نقشه نهایی رتبه‌بندی نواحی شهر بابل از نظر تاب‌آوری شهری ارائه خواهد شد. تمامی نقشه‌های معیار با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.8 تولید شده است و کلیه محاسبات ماتریس تصمیم‌گیری و روش پرومته هم در نرم‌افزار اکسل صورت پذیرفته است. وزن معیارها با روش AHP و با استفاده از نرم افزار Expert Choice صورت پذیرفته است.

تکنیک پرومته (روش ساختاریافته ترجیحی برای غنی سازی ارزیابی‌ها) جزو روش‌های فراابتکاری تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در سال ۱۹۸۰ میلادی توسط دو دانشمند بلژیکی به نام ژان پیر برنز و برتراند مارسکال ارائه شد. پس از آن مدل‌های گوناگونی برای این روش مطرح شده است که مهمترین آن‌ها عبارتند از: پرومته ۱ (برای رتبه‌بندی جزئی گزینه‌ها)، پرومته ۲ (برای رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها)، پرومته ۳ (برای رتبه‌بندی بر مبنای بازه‌ها)، پرومته ۴ (برای حالات پیوسته)، پرومته ۵ (برای حل مسائل به همراه محدودیت‌ها) و پرومته ۶ (با توسعه ابزار تجزیه و تحلیل حساسیت) که هرکدام متناسب با نوع مسائل مدنظر کاربرد دارند [۳۸]. در تحقیق حاضر چون هدف رتبه‌بندی نواحی شهری بابل از نظر درجه تاب‌آوری در مقابل حملات هوایی است از پرومته ۲ استفاده شده است.

در پرومته ۲ وزن معیارها از ورودی‌های مدل است و با روشی مستقل از پرومته مانند AHP محاسبه می‌شود. مهمترین پارامترها در پرومته ۲ مقادیر ترجیح است که بیانگر اختلاف یک گزینه با گزینه‌های دیگر برای یک معیار مشخص با درجه‌ای از رجحان که از ۰ تا ۱ متغیر است. این مقادیر با ۳ پارامتر جریان مثبت، جریان منفی و جریان خالص نشان داده می‌شود و در نهایت گزینه‌ها بر اساس مقادیر جریان خالص رتبه‌بندی می‌شوند. مراحل مختلف روش پرومته ۲ به صورت خلاصه به شرح زیر می‌باشد [۳۹]:

**مرحله ۱:** گزینه‌ها به صورت زوجی برای هر معیار مقایسه می‌شوند (رابطه ۱). سپس انحراف برای یک مقدار در فاصله [۰ و ۱] (برای عدم ارجحیت و یک برای ارجحیت کامل و مقادیر بین ۰ و ۱ برای ارجحیت نسبی) به وسیله تابع ترجیح (رابطه ۲) مشخص می‌شود.

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (1)$$

در این رابطه اختلاف بین گزینه‌های a و b در معیار j به صورت  $d_j(a, b)$  نشان داده می‌شود.

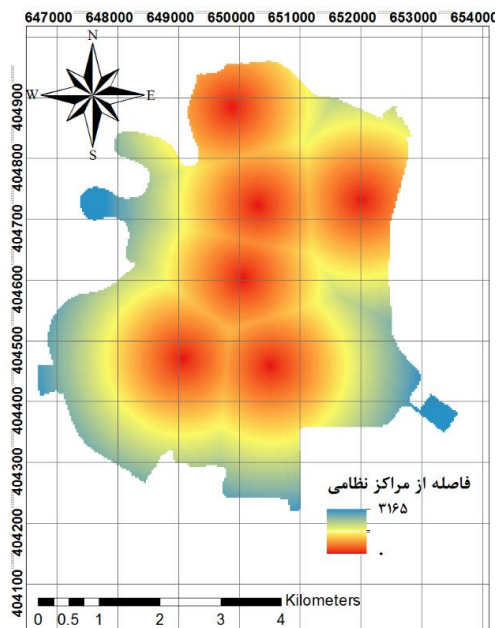
$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)] \quad (2)$$

در این رابطه  $P_j(a, b)$  رجحان گزینه a به گزینه b در معیار j می‌باشد. توابع رجحان مختلفی در روش پرومته ۲ وجود دارد که در این تحقیق از توابع رجحان ۷ شکل استفاده شده است که فرمول محاسبه آن در رابطه ۳ آورده شده است:

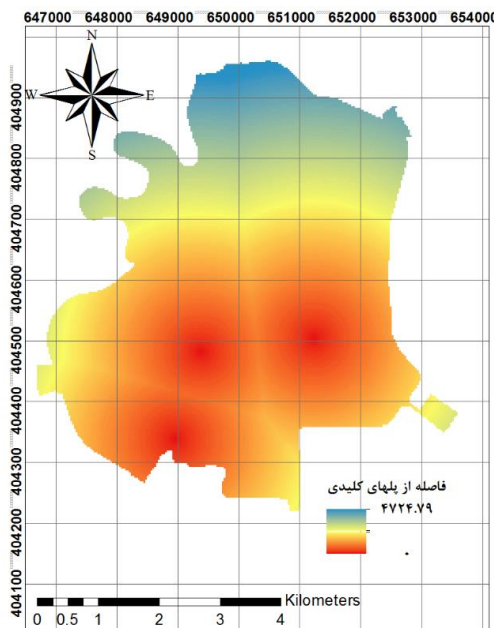
### ۵-۱- تولید نقشه‌های معیار

برای تولید نقشه‌های معیار در ابتدا لایه‌های مکانی با استفاده از داده‌های موجود در شهرداری بابل و یا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین برخی لایه‌ها از طریق بازدیدهای میدانی تولید یا به روزرسانی شد. سپس با استفاده از تحلیل‌های مکانی موجود در نرم افزار ArcGIS نقشه‌های معیار رستری تولید شد که در شکل

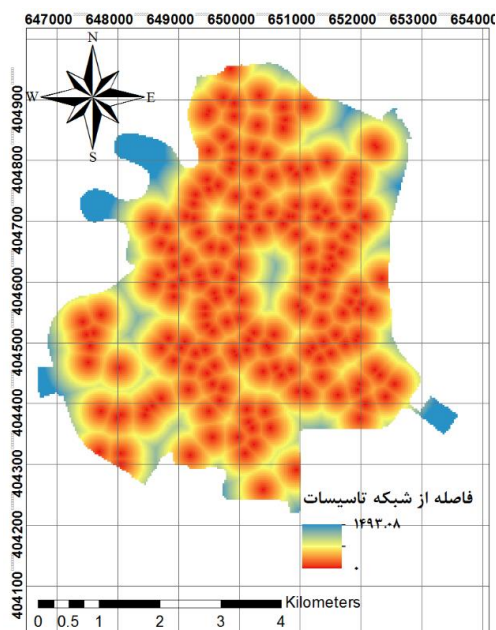
های شماره ۲ الی ۱۷ نشان داده شده‌اند. در این نقشه‌ها میزان تاب‌آوری نقاط مختلف شهر (پیکسل‌های ۳۰ متری) با درجات رنگی از آبی به قرمز (از تاب‌آوری زیاد به تاب‌آوری کم) متناسب با هر یک از معیارها ۱۶ گانه نشان داده شده است.



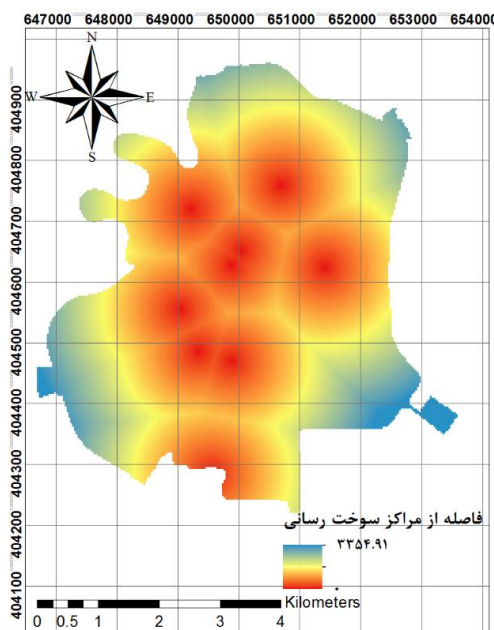
شکل ۳- فاصله از مراکز نظامی



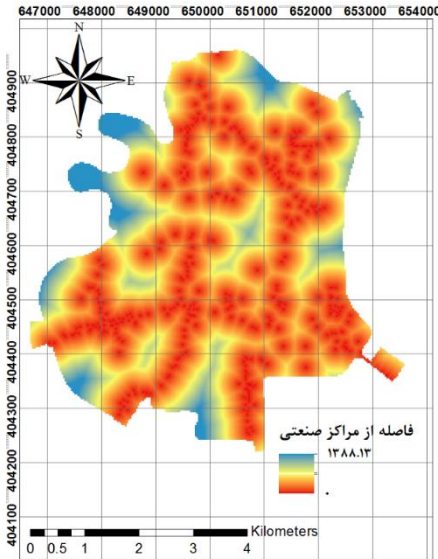
شکل ۲- فاصله از پل‌های کلیدی



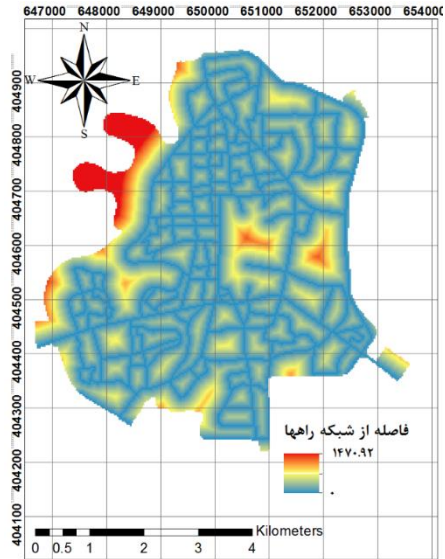
شکل ۵- فاصله از شبکه تاسیسات



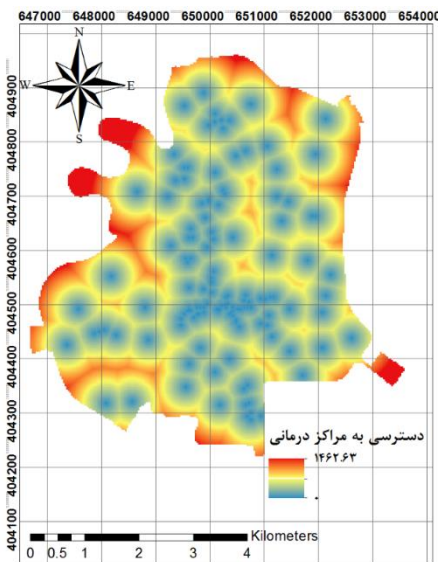
شکل ۴- فاصله از مراکز سوخت رسانی



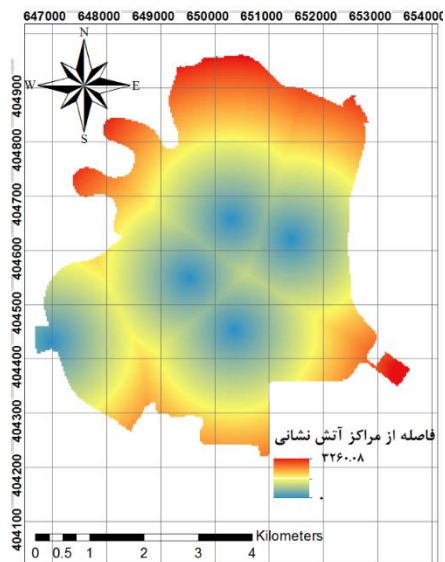
شکل ۷- فاصله از مراکز صنعتی



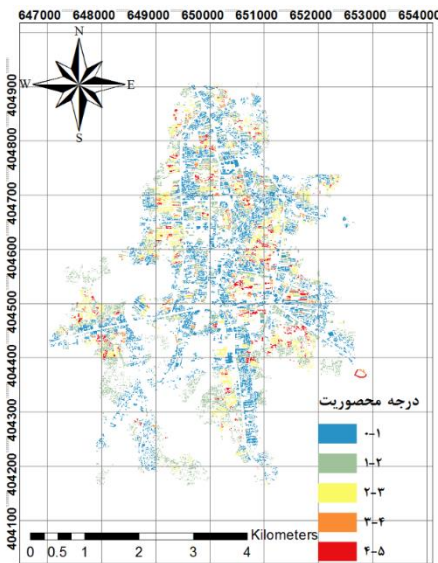
شکل ۶- دسترسی به شبکه راهها



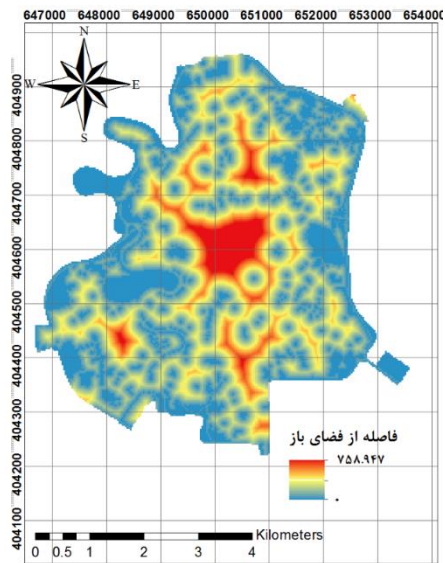
شکل ۹- دسترسی به مراکز درمانی



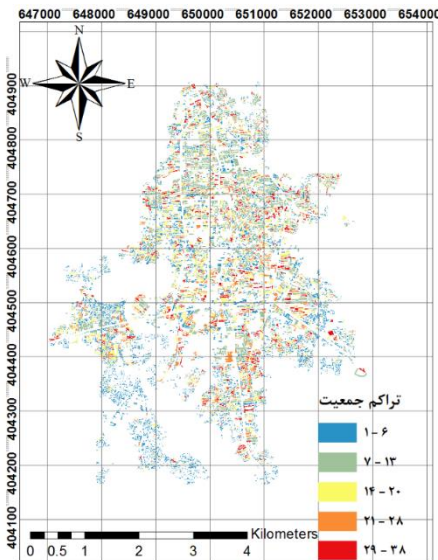
شکل ۸- فاصله از مراکز آتش نشانی



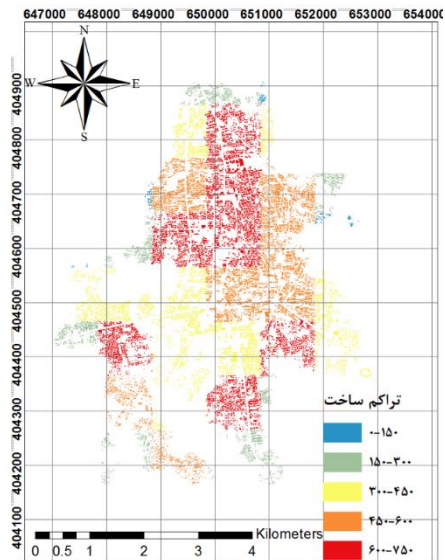
شکل ۱۱- درجه محصوریت



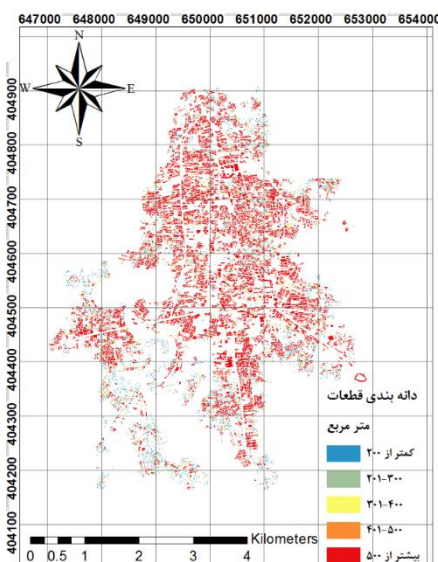
شکل ۱۰- دسترسی به فضاهای باز



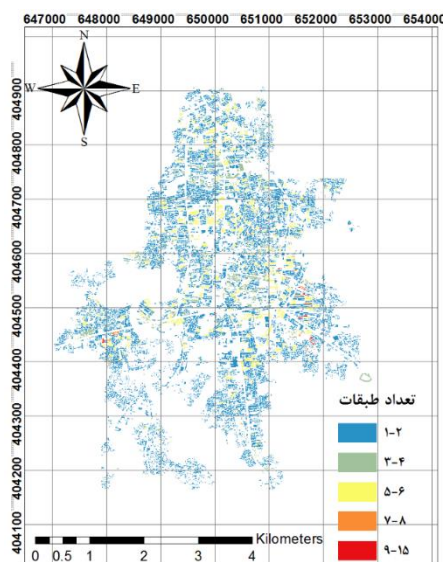
شکل ۱۳- تراکم جمعیت



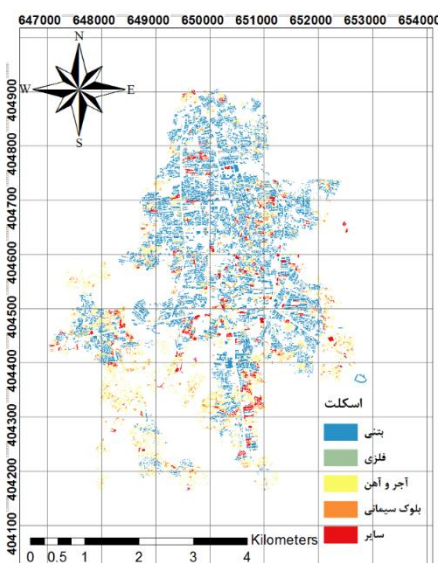
شکل ۱۲- تراکم ساخت



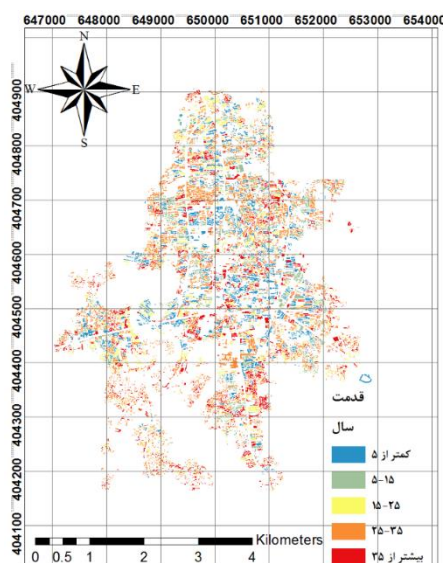
شکل ۱۵- دانه بندی قطعات



شکل ۱۴- تعداد طبقات



شکل ۱۷- نوع اسکلت



شکل ۱۶- قدمت ساختمان

## ۵-۲- تولید ماتریس تصمیم

مهمترین مرحله در حل یک مسئله تصمیم گیری تشکیل ماتریس تصمیم می‌باشد که تعداد سطرهای آن برابر با تعداد گزینه‌ها و تعداد ستون‌های آن برابر تعداد معیارها می‌باشد. گزینه‌های تصمیم گیری در این تحقیق

جدول ۲- ماتریس تصمیم

معیارها و گزینه‌ها	فاصله از مراکز نظامی (متر)	فاصله از پل‌های کلیدی (متر)	فاصله از مراکز سوخت رسانی (متر)	فاصله از شبکه تأسیسات (متر)	فاصله از مراکز صنعتی (متر)	دسترسی به شبکه راه اصلی (متر)	فاصله از ایستگاه آتش نشانی (متر)	دسترسی به مراکز درمانی (متر)	دسترسی به فضای باز (متر)	درجه محصوریت	تراکم ساخت (درصد)	تراکم جمعیت (فرد در هکتار)	تعداد طبقات ساختمان‌ها	نوع اسکلت ساختمان‌ها *	دانه‌بندی قطعات (متر مربع)	قدمت ساختمان‌ها (سال)
ناحیه ۱	۱۱۰۴	۱۱۴۸	۱۵۳۶	۲۱۳	۱۶۱	۷۵	۱۱۸۸	۲۳۹	۱۳۵	۰٫۷۶	۲۳	۳۹	۱٫۹۴	۰٫۳۹	۵۴۵	۲۸
ناحیه ۲	۱۲۲۲	۹۳۹	۹۹۴	۲۳۲	۳۰۲	۸۹	۱۲۳۹	۳۰۲	۹۶	۰٫۵۸	۱۶	۲۹	۱٫۵	۰٫۳	۴۳۰	۳۱
ناحیه ۳	۱۵۷۰	۱۱۸۸	۱۲۷۰	۲۳۵	۲۲۱	۱۰۹	۱۲۳۴	۳۰۱	۶۹	۰٫۵	۱۵	۲۴	۲٫۰۲	۰٫۴	۶۰۶	۲۷
ناحیه ۴	۶۵۳	۱۱۶۹	۵۴۴	۱۸۸	۲۴۲	۱۰۹	۵۴۹	۲۰۳	۲۶۲	۰٫۶۷	۳۳	۶۲	۲٫۴	۰٫۴۸	۶۳۱	۲۴
ناحیه ۵	۵۶۲	۲۶۹۹	۵۸۰	۱۴۱	۱۵۴	۴۸	۱۰۹۶	۲۲۱	۱۷۶	۰٫۶۶	۳۶	۵۰	۲٫۲۷	۰٫۴۵	۷۷۸	۲۶
ناحیه ۶	۱۳۲۴	۲۰۸۳	۱۰۴۴	۳۳۲	۳۶۹	۳۳۵	۱۳۶۸	۴۲۴	۷۴	۰٫۷۳	۱۳	۲۴	۱٫۸۵	۰٫۳۷	۷۹۸	۲۹
ناحیه ۷	۷۹۱	۳۲۵۹	۱۲۶۸	۲۵۹	۲۷۷	۷۷	۱۹۴۴	۳۶۳	۹۰	۰٫۶۲	۸	۲۰	۲٫۰۵	۰٫۴۱	۳۸۶	۳۴

\* امتیاز کمی نوع اسکلت ساختمان‌ها (بنی: ۱، فلزی: ۰٫۸، آجر و آهن: ۰٫۶، بلوک سیمانی: ۰٫۴ و سایر موارد: ۰٫۲)

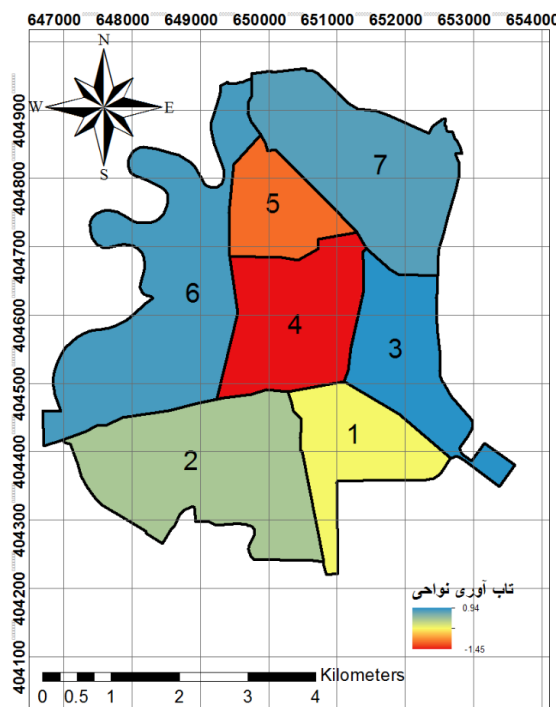
## ۵-۳- ارزیابی تاب‌آوری کالبدی نواحی ۷ گانه

### شهر بابل

با مشخص بودن ماتریس تصمیم و بردار وزن معیارها به عنوان ورودی‌های تکنیک پرمته ۲، می‌توان نواحی ۷ گانه شهر بابل را به طور دقیق رتبه‌بندی نمود که نتیجه آن در جدول ۳ و به صورت نقشه در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

جدول ۳- رتبه‌بندی نواحی شهر بابل از نظر تاب‌آوری کالبدی

رتبه	نواحی بابل	$\phi^+(a)$	$\phi^-(a)$	$\phi(a)$
۱	ناحیه ۳	۱٫۶۱	۰٫۶۷	۰٫۹۴
۲	ناحیه ۶	۱٫۸	۰٫۹۸	۰٫۸۲
۳	ناحیه ۷	۱٫۶۸	۰٫۹۲	۰٫۷۶
۴	ناحیه ۲	۱٫۲۲	۰٫۹۴	۰٫۲۸
۵	ناحیه ۱	۱٫۰۲	۱٫۲۴	-۰٫۲۲
۶	ناحیه ۵	۰٫۹	۲٫۳	-۱٫۰۴
۷	ناحیه ۴	۰٫۶۳	۲٫۰۸	-۱٫۴۵



شکل ۱۸- نقشه نهایی ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهر بابل به تفکیک نواحی شهری

همانطور که در جدول ۳ و شکل ۱۸ مشخص است، مناطق مرکزی شهر بابل شامل نواحی ۴ و ۵ شهری تاب‌آوری کالبدی پایینی دارند و در مقابل نواحی ۳، ۶ و ۷ تاب‌آوری بالاتری نسبت به سایر نواحی دارند و نواحی ۱ و ۲ نیز تاب‌آوری متوسطی دارند. با توجه به مساحت هر یک از نواحی باید گفت ۱۹ درصد شهر تاب‌آوری پایین، ۵۲ درصد تاب‌آوری متوسط و ۲۹ درصد شهر تاب‌آوری بالایی دارند و در مجموع شهر بابل تاب‌آوری متوسط به بالایی دارد.

## ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آینده

همانطور که اشاره شد مهمترین عوامل موثر بر تاب‌آوری کالبدی شهر با رویکرد پدافند غیرعامل و به ترتیب اهمیت، فاصله از کاربری‌های ویژه، ویژگی‌های کالبدی شهر و دسترسی به خدمات اصلی شهر می‌باشند. هر یک از عوامل فوق خود تابعی از چندین معیار مهم می‌باشند که در مجموع ۱۶ معیار موثر بر تاب‌آوری کالبدی شهر استخراج شد که در این بین، معیارهای فاصله از مراکز نظامی، فاصله از پل‌های کلیدی و فاصله از مراکز سوخت رسانی مهمترین معیارها می‌باشند. نتایج حاصل از ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهر بابل با استفاده از روش پرومته ۲ نشان داد که نواحی مختلف شهر بابل از تاب‌آوری یکسانی برخوردار نبوده و نواحی مرکزی شهر و تا حدی نواحی جنوبی شهر نسبت به نواحی شمالی، شرقی و غربی تاب‌آوری پایین تری دارند. به طور کلی با فاصله از مرکز شهر تاب‌آوری افزایش پیدا می‌کند که این افزایش تاب‌آوری در راستای جنوبی کمتر احساس می‌شود. اگرچه شهر بابل در مجموع تاب‌آوری متوسط به بالایی دارد، اما می‌توان با تحلیل تاب‌آوری به مهمترین دلایل تاب‌آوری پایین مناطق مرکزی شهر یعنی مناطق ۴ و ۵ دست یافت.

با تحلیل نتایج تحقیق توسط کارشناسان پدافند غیرعامل مشخص شد، مهمترین دلایل تاب‌آوری پایین مناطق مرکزی شهری بابل (مناطق ۴ و ۵) تراکم بالای ساخت، بالا بودن درجه محصوریت، وجود مراکز نظامی مهم و مراکز سوخت رسانی متعدد در این مناطق می‌باشد. بدیهی است عدم رعایت اصولی شهرسازی از جمله فروش تراکم در ازای دریافت جریمه ماده ۱۰۰،

منجر به افزایش درجه محصوریت که این موارد در مناطق مرکزی شهر بابل به وضوح مشاهده می‌شود. کمترین سرانه فضای سبز که یکی از انواع فضاهای باز شهری محسوب می‌شود مناطق ۴ و ۵ شهری بابل تعلق دارد که از دیگر عوامل مهم در پایین بودن تاب‌آوری این مناطق می‌باشد. علاوه بر موارد فوق، بافت قدیم شهر بابل هم اکثراً در نواحی ۴ و ۵ شهری قرار دارد و مجموعه عوامل یاد شد منجر به کاهش تاب‌آوری شهر بابل در این مناطق مهم می‌باشند چرا که مهمترین کاربری‌های شهر بابل جمله دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ادارات و کاربری‌های مسکونی و در نتیجه بیشترین تراکم جمعیت در این مناطق وجود دارد که لازم است تدابیر لازم توسط مسئولین شهری و استانی اتخاذ گردد.

همانطور که اشاره شد در این تحقیق صرفاً به ارائه ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهر در مقابل حملات هوایی پرداخته شده است و لازم است تحقیقات مستقل توسط متخصصان حوزه شهرسازی و برنامه ریزی شهری با رویکرد پدافند غیرعامل صورت پذیرد تا راهکارهای دقیق و عملیاتی برای ارتقای تاب‌آوری شهر بابل ارائه شود. همچنین پیشنهاد می‌شود ارزیابی تاب‌آوری شهری با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و همچنین استخراج معیارها با گروهی دیگر از کارشناسان خبره جهت اعتبارسنجی نتایج این تحقیق صورت پذیرد. از آنجا که عدم قطعیت در تمامی مراحل ارزیابی تاب‌آوری وجود دارد، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده ارزیابی تاب‌آوری شهری با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت و نا اطمینانی صورت پذیرد. در این تحقیق برای محاسبه مقادیر معیارها در هر ناحیه و ساده سازی مسئله از میانگین مقادیر در هر ناحیه استفاده شد که پیشنهاد می‌شود از سایر روشها نیز استفاده شود. در پایان پیشنهاد می‌شود نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات مشابه در حوزه ارزیابی تاب‌آوری و آسیب‌پذیری شهر توسط افرادی که مسئولیتی در ارتقای تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری شهرها و روستاهای کشور دارند مورد توجه و استفاده قرار بگیرد.

## تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری کارشناسان خبره به ویژه کارشناسان شهرداری بابل و ساری و پدافند غیرعامل

اعتبارات ویژه پژوهشی (Grant) دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل با شماره طرح ۱۱۰۶/م/پ انجام شده است. - استانداری مازندران که در استخراج معیارها و وزندهی آن- ها و تحلیل نتایج تحقیق زحمات زیادی متحمل شدند تشکر و قدردانی می‌گردد. این طرح تحقیقاتی با استفاده از

## مراجع

- [1] Sitas, N., Selomane, O., Hamann, M., & Gajjar, S. P. (2021). Towards equitable urban resilience in the Global South within a context of planning and management. *Urban ecology in the Global South*. Springer, Cham, 325-345.
- [2] Musiaka, Ł., Sudra, P., & Spórna, T. (2021). Spatial Chaos as a Result of War Damage and Post-War Transformations. Example of the Small Town of Węgorzewo. *Land*, 10(5), 541.
- [3] Narimisa, M. R., Basri, A., Ezlin, N., Elahi, M., Hasannezhad, M., & Alipanahi, E. (2020). Passive Defense: Measuring and Evaluating Urban Vulnerability with Resilience Approach. *Religación*, 4, 153-162.
- [4] QAFMOLLA, L. (2020). Development of Policy and Strategy of the Nanomaterials for Environmental Safety/Security by Radioactive/Nuclear Agents at Critical Infrastructure Facilities in Albania. In *Functional Nanostructures and Sensors for CBRN Defence and Environmental Safety and Security* (pp. 35-45). Springer, Dordrecht.
- [5] Abdolmaleki, H., Karimipor, Y., Rahime Safavi, S. Y., & Abdi, A. (2019). Designing the pattern of affecting factors in spatial distribution of Tehran important centers whit passive defence approach. *Geography (Regional Planning)*, 9(3), 161-184.
- [6] Ghajari, Y. E., Alesheikh, A. A., Modiri, M., Hosnavi, R., & Abbasi, M. (2017). Spatial modelling of urban physical vulnerability to explosion hazards using GIS and Fuzzy MCDA. *Sustainability*, 9(7), 1274.
- [7] Ghajari, Y. E., Alesheikh, A. A., Modiri, M., Hosnavi, R., Abbasi, M., & Sharifi, A. (2018). Urban vulnerability under various blast loading scenarios: Analysis using GIS-based multi-criteria decision analysis techniques. *Cities*, 72, 102-114.
- [8] Ribeiro, P. J. G., & Gonçalves, L. A. P. J. (2019). Urban resilience: A conceptual framework. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101625.
- [9] Rogatka, K., Starczewski, T., & Kowalski, M. (2021). Urban resilience in spatial planning of polish Cities- True or false? Transformational perspective. *Land Use Policy*, 101, 105172.
- [10] Ebrahimian Ghajari, Y., & Barari Siavoshkolaei, M. (2019). Runoff Production Potential Zoning Using Fuzzy GIS-MCDA Models (Case Study: Tajan River Basin). *Journal of Geomatics Science and Technology*, 9(1), 1-14.
- [11] Ebrahimian Ghajari, Y., Design and Implementation of a Geospatial Model To Evaluate the Resistance of Urban Buildings to Earthquakes in Scenarios and Different Risk Conditions (Case Study: Region 6 of Tehran). *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2021. 10(4): p. 17-33
- [12] Ebrahimian Ghajari, Y. (2020). Designing and implementing a GIS-based model for temporary accommodation planning in the management of earthquake crisis in Babol City. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 29(113), 29-41.
- [13] azizi, M., bornafar, M. (2012). Assessing Urban Vulnerability Due to Air Attacks: District 1 of Region 11 of Tehran Municipality. *journal of Advanced Defense Science and Technology*, 3(2), 127-137.
- [14] Esmaili Shahrakht, M., & Taqvai, A. A. (2011). Urban Reorganization with Focus on Passive Defense (Case study: Birjand). *urban and rural management*, 9(28), 93-110.
- [15] Haji Akbari, S., Setare, A.A. (2011). Modeling the physical vulnerability of urban environments during rain rockets, a case study in Isfahan, Duty Elite Military Thesis, Research Institute of Urban Planning and Defense Architecture, Malek Ashtar University of Technology, Tehran
- [16] Asgharian Jodai, A., (2013), Documenting and reviewing the effects of rocket attacks in Tehran, Research project, Project manager: Defense Architecture Research Center of Shahid Beheshti University, Client: Urban Planning and Defense Architecture Research Institute of Malek Ashtar University of Technology, Tehran.
- [17] Torabi, K, Setareh, A.A, (2011). Investigation of the effects of rain rockets on the vulnerability of important roads and bridges in cities using GIS, Duty Elite Military Thesis, Research Institute of Urban Planning and Defense Architecture, Malek Ashtar University of Technology, Tehran.
- [18] Faraji Sabokbar, H., Omidipoor, M., Modiri, M., Bastaminia, A. (2015). Providing a model for zoning of Ahvaz City based on Sorting of alternatives by similarity to profile (SSP). *Journal of Emergency Management*, 3(2), 45-56.

- [19] Tadepalli, T. and C.L. Mullen, Simplified blast simulation procedure for hazard mitigation planning. *Structures Under Shock and Impact IX*, 87 (2006) 55-63.
- [20] Kulawiak, M., et al., Geographical Information System for Analysis of Critical Infrastructures and their Hazards due to Terrorism, Man-Originated Catastrophes and Natural Disasters for the City of Gdansk. *Information Fusion and Geographic Information Systems, Proceedings*, 2009: p. 251-262.
- [21] Ma, L., L. Cheng, and M.C. Li, Quantitative risk analysis of urban natural gas pipeline networks using geographical information systems. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(2013) 1183-1192.
- [22] Matijosaitiene, I. and A. Petriashvili, Urban Planning and Design for Terrorism Resilient Cities. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering* 18 (2017) 27-38.
- [23] Zanganeh, saeed, Zayyari, Keramatalah, (2019).. Evaluation and Analysis of 12 District of Tehran physical resilience against earthquakes by using FANP and VIKOR. . *Geography*, 52 (15) ,81-101.
- [24] Klein, R. J., Nicholls, R. J., & Thomalla, F. (2003). Resilience to natural hazards: How useful is this concept? *Global environmental change part B: environmental hazards*, 5(1), 35-45.
- [25] Ribeiro, P. J. G., & Gonçalves, L. A. P. J. (2019). Urban resilience: A conceptual framework. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101625.
- [26] Maleki, S., Amanpour, S., Safaeepour, M., Pormosavi, S. N., & Mavedat, E. (2017). Evaluation of Urban Physical Resilience spectrum the against earthquake using the model planning (A Case Study of Ilam). *Physical Social Planning*, 4(1), 9-20.
- [27] Fischer, K. (2018). Resilience quantification of urban areas.: An integrated statistical-empirical-physical approach for man-made and natural disruptive events. *BoD–Books on Demand*.
- [28] Ebrahimian Ghajary, Y., Alesheikh, A. A., Modiri, M., Hosnavi, R., & Abbasi, M. (2014). Modelling the vulnerability of urban buildings Using Delphi and AHP methods in GIS-Case study: Region 6 of Tehran municipality. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 23(91), 5-20.
- [29] Mohammadebrahimi, M., Oshnooei, A., Shayan, M., & Salarneshad, M. (2020). Assess and analysis the situation of urban vulnerability from the perspective of passive defense (case study: Zahedan city).
- [30] Abdul, L., & Yu, T. F. (2020). Resilient Urbanization: A Systematic Review on Urban Discourse in Pakistan. *Urban Science*, 4(4), 76.
- [31] Shakibamanesh, A. (2017). Public shelters: Towards secure urban planning and designing in terms of passive defense. *Geografia-Malaysian Journal of Society and Space*, 11(3).
- [32] Nowroozi, H., Mohamadidoust, S., Hosseinhosseinekhah, H., & Khanzadeh, M. A. (2019). Identification and Evaluation of Amazing driver in the physical Resonance of Urban Uses with Passive Defense Defense Approach (Case Study: District 1of Yasuj City).
- [33] Jankauskaitė-Jurevičienė, L., & Mlinkauskienė, A. (2021). Community participation in decision making processes in urban planning: the case of Kaunas. *Journal of contemporary urban affairs*, 5(2), 46-57.
- [34] de la Cal, P., & García, M. (2018). Urban Resilience: Towards a Global Sustainability. In *Urban Visions* (pp. 227-236). Springer, Cham.
- [35] Ebrahimian-Ghajari, Y., AleSheikh, A. A., Modiri, M., Hosnavi, R., & Nekouei, M. A. (2016). Modeling of seismic vulnerability of urban buildings in geographic information system environment (case study: Babol city). *Quarterly Scientific Journal of Rescue and Relief*, 7(4), 0-0.
- [36] Vivekh, P., Sudhakar, M., Srinivas, M., & Vishwanthkumar, V. (2017). Desalination technology selection using multi-criteria evaluation: TOPSIS and PROMETHEE-2. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 12(1), 24-35.
- [37] Ningsih, S. R., Wulansari, R., Hartama, D., Windarto, A. P., & Wanto, A. (2019, August). Analysis of PROMETHEE II Method on Selection of Lecturer Community Service Grant Proposals. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1255, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- [38] Anane, M., Souissi, R., Faïdi, H., Mehdaoui, R., & Gdoura, K. (2021). PROMETHEE and Geospatial Analysis to Rank Suitable Sites for Grombalia Aquifer Recharge with Reclaimed Water. *Environmental Remote Sensing and GIS in Tunisia*, 95-114.
- [39] Athawale, V. M., Chatterjee, P., & Chakraborty, S. (2012). Decision making for facility location selection using PROMETHEE II method. *International Journal of Industrial and Systems Engineering* 1, 11(1-2), 16-30.