نشریه‌ی علمی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

مسیریابی بهینه تخلیه اضطراری در بافت‌های مرکزی شهری (نمونه مورد مطالعه: منطقه ۱ شهرداری اصفهان)[۱]

حمیدرضا بهارلوئی یانچشمه[۱]؛ حسن احمدی*[۲]؛ صابر محمدپور[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شهرسازی- برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
دانشیار گروه مهندسی شهرسازی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
استادیار گروه مهندسی شهرسازی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

دریافت دست‌نوشته: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸

واژگان کلیدی
مسیریابی، مدیریت بحران، مرکز شهر، جمعیت شهری، شهر اصفهان

چکیده

تخلیه اضطراری و شناسایی مسیرهای بهینه تخلیه یکی از ابعاد اساسی مدیریت بحران به شمار می‌آید که کشورهای مختلف بنا بر سطح توسعه و میزان آینده‌نگری خود به آن توجه می‌نمایند. با توجه به خلأ مطالعاتی و عدم توجه کافی سیستم مدیریت شهری کشور و ضعف مطالعاتی و پژوهشی در این زمینه، این مطالعه شناسایی مسیرهای بهینه تخلیه اضطراری در منطقه ۱ شهرداری اصفهان به‌عنوان یکی از هسته‌های هویتی- تاریخی و مرکزیت تجاری - گردشگری شهر اصفهان را وجه همت خود قرار داده است (در قالب ایجاد شبکه پویا و قابل استفاده جهت انواع مختلف بحران‌های انسانی - طبیعی). در این راستا شش شاخص اصلی کیفیت بنا، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، قدمت بنا، عرض مسیر و شیب مسیر بر اساس پیشینه علمی و در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز احصا گردیدند. بعد از آن ۳۲ خیابان بر مبنای عرض حداکثری و پوشش حداکثری منطقه انتخاب شد و وضعیت شاخص‌های مذکور برای این خیابان‌ها و محدوده واقع در شعاع ۱۰۰ متری آنها مورد بررسی قرار گرفت. سپس شاخص‌های مورد اشاره در سیستم تحلیل شبکه‌ای و نرم‌افزار SuperDecision مورد وزن‌دهی قرار گرفتند و پس از ایجاد شبکه، شناسایی مسیر بهینه بر مبنای هرکدام از شاخص‌ها مورد آزمون قرار گرفت و شش مسیر منحصربه‌فرد بر اساس هرکدام از شاخص‌های پژوهش مورد شناسایی قرار گرفتند. در نهایت با روی‌هم‌اندازی لایه‌ها، مسیر تخلیه اضطراری نهایی به سمت منطقه امن ترسیم گردید.

۱- پیشگفتار

حوادث طبیعی بدون آنکه بشر قادر به تأثیرگذاری مستقیم بر آن باشد اتفاق می‌افتند و زندگی اجتماعی وی را به مخاطره می‌اندازند، حوادثی که به‌طور متوسط سالانه بیش از ۱۵۰۰۰۰ نفر تلفات انسانی و بیش از ۱۴۰ میلیارد دلار خسارات مالی بر کشورها (به‌ویژه کشورهای در حال توسعه) تحمیل می‌کنند. کشور ایران نیز از این نظر جزو ده کشور آسیب‌پذیر از بلایای طبیعی جهان به شمار می‌آید (حکمت‌نیا و همکاران، ۱۴۰۰). کشورهای مختلف دنیا به‌واسطه عوامل جغرافیایی مختلف با درجه‌های مختلفی از حساسیت به بلایای طبیعی (انواع مختلف بلایا) مواجه هستند. ایالات‌متحده آمریکا با مقوله سیل و طوفان (هوریکان، *Hurricane*)، ژاپن و کشورهای آسیای جنوب شرقی با زلزله (*Earthquake*) و سونامی (*Tsunami*) به‌عنوان شایع‌ترین بلایای طبیعی مواج هستند (*Saavedra et al., 2021*). همچنین آتش‌سوزی نوع دیگری از فجایع

* نویسنده مسؤل: دانشگاه گیلان، رشت، ایران؛ رایانامه: *hamed@guilan.ac.ir*

۱- این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول تحت عنوان «مسیریابی بهینه در تخلیه اضطراری جمعیت شهری در مواقع بحران (مطالعه موردی: منطقه یک شهر اصفهان)» به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوری نویسنده سوم در دانشگاه گیلان می‌باشد.

مستعد آسیب و خسارت جانی و مالی است که می‌تواند دارای منبع انسانی و یا طبیعی باشد (*Di Ludovico et al., 2020*). حوادث تروریستی نیز به‌عنوان پدیده‌ای در حال رشد در نقاط مختلف جهان در حال شیوع هستند که هرکدام نوع خاصی از اقدامات ایمنی و محافظتی را طلب می‌نمایند. در بین حوادث طبیعی، زلزله یکی از سوانحی است که به دلیل شرایط خاص جغرافیایی، همیشه کشور ایران را تهدید می‌کند. بر اساس گزارش سازمان ملل در سال ۲۰۱۹، کشور ایران در بین کشورهای جهان رتبه نخست را در تعداد زلزله‌های با قدرت بیش از ۵/۵ ریشتر دارا می‌باشد (حکمت‌نیا و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین این کشور یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب‌پذیری از زلزله، خرابی راه‌ها و ساختمان‌ها و تعداد افراد کشته شده در اثر این سانحه داشته است. در طی ۹۰ سال اخیر ۱۲۰۰۰۰ نفر از مردم ایران بر اثر بلایای طبیعی جان خود را از دست داده‌اند و در این بین بیشترین تلفات انسانی (۷۶ درصد) تلفات ناشی از زلزله بوده است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین سیل، آتش‌سوزی و سایر حوادث طبیعی و غیرطبیعی سطوح مختلفی از آسیب جمعیت و کانون‌های جمعیتی را تهدید می‌نمایند. در این میان شهرها به‌عنوان کانون‌های تمرکز جمعیت و سرمایه از اهمیت بسزایی برخوردارند و در صورت وقوع حوادث طبیعی - غیرطبیعی با تلفات و خسارات فراوان جانی- مالی مواجه خواهند شد؛ بنابراین باید برنامه‌ریزی جهت آمادگی مقابله با این پدیده‌ها، در مناطق شهری در اولویت قرار گیرد. برنامه‌ریزی تخلیه جزء مهمی از آمادگی برای شرایط اضطراری در مناطق شهری است. تعداد و محل امکانات نجات، شناسایی مسیرهای تخلیه اولیه و ثانویه برای ساکنان از جنبه‌های مهم این برنامه‌ریزی است (*Giuliani et al., 2020*). تخلیه اضطراری به‌عنوان راهبردی کارآمد، به‌منظور به حداقل رساندن سطح آسیب و اجتناب از خطر، سالیان متمادی مورد توجه متخصصین و کارشناسان حوزه امداد و نجات و ایمنی بوده است. تخلیه اضطراری عبارت است از تخلیه فوری ساکنین اماکن مسکونی، اداری، تجاری، آموزشی و غیره و در مقیاس وسیع‌تر یک محل، منطقه و یا یک شهر که بیم آن می‌رود بر اثر وقوع حادثه یا رخداد بحرانی دچار صدمه شوند و انتقال آنها به محل‌های امنی که خطری آنها را تهدید نکند (*Baquedano Juliá et al., 2021*). به هنگام بروز سوانح، مهم‌ترین اقدامی که از دیدگاه مدیریت بحران باید عملیاتی شود، تخلیه اضطراری و سریع منطقه سانحه دیده و ارائه خدمات امدادی می‌باشد. مدیریت بحران به‌ویژه در مرحله حاد آن به دو عامل ارتباطات و حمل‌ونقل مؤثر وابسته است. به‌عبارت‌دیگر مدیریت بحران در صورتی می‌تواند موفق و مؤثر باشد که سیستم ارتباطی و حمل‌ونقل منطقه تاب‌آوری لازم را به هنگام بروز سوانح داشته باشد (*Giuliani et al., 2022*). تخلیه اضطراری به معنای «جابجایی شهروندان از موقعیت دارای پتانسیل خطر (یا مواجه با خطر واقعی) به‌منظور حفظ و تأمین امنیت و سلامت عمومی» تعریف شده است (*Aman & Aytac, 2022*). این تخلیه و جابجایی ممکن است به‌صورت افقی یا عمودی صورت گیرد (به‌عنوان‌مثال فاصله گرفتن از مناطق ساحلی یا به طبقه بالاتر یا پایین‌تر یک ساختمان پناه بردن)، به‌طوری‌که آسیب‌پذیری فوری را کاهش دهد و موجب محدود شدن آسیب‌های احتمالی و یا رفع خطر جانی گردد. تخلیه ممکن است در مقابل خطر پیش‌بینی‌شده (مانند طوفان یا افزایش آب سیل) یا در مقابل خطر پیش‌بینی‌نشده انجام گیرد (مانند آتش‌سوزی، زلزله یا حملات تروریستی) (*Tang et al., 2019*).

شبکه جاده‌ای نقش بسیار مهمی از لحاظ تخلیه ساکنین پس از وقوع حادثه به عهده خواهد داشت. بهره‌وری از شبکه جاده‌های شهری پس از وقوع حوادثی نظیر زلزله به سبب فروریختن ساختمان‌های مجاور، تخریب پل‌ها، جاده‌ها، کاهش می‌یابد؛ بنابراین لازم است تخلیه ساکنین پس از وقوع حادثه به یک مکان امن، از طریق کوتاه‌ترین و امن‌ترین مسیر مسدود نشده که دارای دسترسی آسان به امدادگران و یک ایستگاه آتش‌نشانی باشد، صورت گیرد (*Celano & Dolšek, 2021*). به‌منظور نشان دادن ضرورت توجه به مقوله تخلیه اضطراری در ارتباط با شبکه راه از یک مثال محسوس بدین‌شرح استفاده شده است: یک خط (*Lane*: بخشی از جاده (یا اتوبان) که توسط خط‌چین، به‌منظور جدا کردن جریان ترافیک، جدا شده است (*Amarican Advanced Longman Dictionary, 2018*)) بزرگراه

می‌تواند حداکثر ۲۰۰۰ خودرو در ساعت را در خود جای دهد، هرچند این مقدار در شرایط ازدحام و تراکم رفت‌وآمد (به‌عنوان‌مثال در شرایط تخلیه اضطراری انبوه) به‌واسطه مواردی نظیر تراکم بیش از حد و متنوع وسایل نقلیه (تردد تریلرها و وسایل نقلیه باری)، آب‌وهوا (باران و سیل)، تخریب تأسیسات زیربنایی (به‌واسطه مواردی نظیر زلزله) و نقص فنی خودروها، سراسیمگی و سردرگمی رانندگان، ظرفیت مورد اشاره بزرگراه‌ها کاهش خواهد یافت. با فرض این که هر خط بزرگراه ۱۰۰۰ خودرو در ساعت را از خود عبور می‌دهد در چنین شرایطی و هر وسیله نقلیه به‌طور متوسط ۲/۵ مسافر را حمل کند، هر خط ۲۵۰۰ مسافر در ساعت را جابجا می‌کند؛ بنابراین یک بزرگراه چهار خطه می‌تواند حدود ۱۰ هزار نفر را در هر ساعت تخلیه کند. با فرض یک‌طرفه شدن تمام خطوط، ۲۰ هزار نفر در ساعت جابجا خواهند شد؛ بنابراین عملیات تخلیه یک شهر یک میلیون نفری که دو بزرگراه چهار خطه در اختیار دارد حدود ۵۰ ساعت زمان نیاز خواهد داشت (با فرض وجود خودروی کافی برای حمل شهروندان) (*Baquedano Juliá et al., 2021*). پیش‌فرض‌های تخلیه اضطراری به قرار زیر می‌باشد:

- هشدارهای متداول و غیر هماهنگ از منابع مختلف تأثیر مثبتی بر موفقیت‌آمیز بودن اقدامات تخلیه اضطراری ندارند.
- شهروندان به وسایل نقلیه شخصی و همچنین منابع مالی لازم برای انجام سفرهای مربوط به تخلیه برای یک دوره نامشخص دسترسی دارند.
- افرادی دارای معلولیت و ناتوانی جسمی به‌آسانی بتوانند از اتوبوس‌ها و وسایل نقلیه عمومی جهت تخلیه اضطراری استفاده نمایند.
- بیمارستان‌ها و مراکز ارائه خدمات و مراقبت‌های پرستاری به‌طور خودکار و دائمی وظیفه مراقب و نگهداری از بیماران و سالمندان (ناتوان) را به عمل بیاورند.
- دسترسی به زیرساخت‌ها و خدمات تکمیلی، در قالب مواردی نظیر تأسیسات مقابله با سیل تأسیسات و بناهای حساس و مدیریتی (مدیریت بحران)
- دسترسی استادیوم‌های ورزشی و سایر تأسیسات قابل استفاده به‌عنوان پناهگاه (با قابلیت تأمین نیازهای اولیه)
- طراحی و ترسیم نقشه‌ها و مسیرهای تخلیه با پایین‌ترین سطح آسیب و ریسک.
- دسترسی به منابع سوخت کافی و مناسب در امتداد مسیرهای تخلیه (*Huang et al., 2022*).

در صورت تأمین مناسب و بهینه عوامل یاد شده، نیاز به برنامه‌ریزی و تهیه طرح تخلیه در سطوح مختلف محله، ناحیه، منطقه و در نهایت کل شهر ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. یکی از مهم‌ترین بخش‌های تهیه طرح تخلیه اضطراری، مسیریابی بهینه تخلیه یا همان انتخاب امن‌ترین مسیرهای منتهی به مقصد اولیه ایمن است. در این راستا توجه به مواردی نظیر تعیین مشخصات کالبدی (تیپ ساختمانی، ترکیب کالبدی قطعات و راه‌ها) و مشخصات عملکردی (نوع کاربری‌ها، تراکم جمعیتی) در هریک از مقیاس‌های شهری با توجه به میزان آسیب‌پذیری و محدودیت‌های مکان طبیعی جهت افزایش امکانات گریز و پناه مردم، تیپ ساختمانی مناسب، تراکم ساختمانی کم، استفاده از راه‌ها به‌عنوان فضاهای گریز و پناه و غیره (*Sharma, & Rastogi, 2021*) از جمله موارد با اهمیتی هستند که باید در نظر گرفته شود. بر اساس مطالب ذکر شده سؤال اصلی تحقیق به شرح زیر تدوین می‌گردد: مسیر بهینه تخلیه اضطراری پس از وقوع بلایای طبیعی (با تأکید بر زلزله) در نمونه مورد مطالعه کدام است؟

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱- تخلیه اضطراری

تخلیه اضطراری (*Emergency Evacuation*) عبارت است از تخلیه فوری ساکنین اماکن مسکونی، اداری، تجاری، آموزشی و غیره و در مقیاس‌هایی مانند بلوک‌های ساختمانی، محله، منطقه و یا یک شهر که بیم آن می‌رود براثر وقوع حادثه یا رخداد بحرانی دچار صدمه شوند و انتقال افراد به محل‌های امنی که خطری آنها را تهدید نکند (*Saavedra et al., 2021*). به‌منظور برنامه‌ریزی، تمامی تخلیه‌ها را می‌توان در دو گروه کلی زیر جای داد. تخلیه اضطراری (فوری): تخلیه براثر وقوع سوانحی که افراد را وادار به واکنش فوری کرده و زمان

بسیار اندک و یا اصلاً هیچ زمانی برای آمادگی و هشدار باقی نمی‌گذارد. سوانحی نظیر زلزله، آتش‌سوزی‌های سریع، حوادث ناشی از مواد خطرناک، حوادث هوایی، زلزله و... را شامل می‌شوند. نوع دوم تخلیه از قبل هشدار داده شده است. این تخلیه در اثر سوانحی است که وقت کافی برای هشدار دهی و آمادگی مناسب فراهم می‌کند. سوانحی نظیر سیل، انواع طوفان، سونامی و خیزاب‌های طوفانی و... (*Aigwi et al., 2020*). استراتژی تخلیه ساختمان به پیچیدگی ساختمان و توانایی حرکت افراد وابسته است. با افزایش پیچیدگی و کاهش توانایی حرکتی، استراتژی ممکن است بین این گزینه‌ها تغییر کند: خروج سریع، خروج آرام، حرکت به سمت یک مکان امن داخل ساختمان، توقف در همان مکان و انتظار برای کمک و در نهایت حرکت افراد مجروح توسط امدادگران. در حال حاضر در شبیه‌سازی‌هایی که از طریق نرم‌افزارهای مهندسی جمعیت انجام می‌شود بهترین شیوه خروج و کمترین زمان فرار برای هر نقطه از ساختمان محاسبه می‌گردد. تا بهترین مدل و استراتژی تخلیه برای ساختمان مربوطه برنامه‌ریزی شود (*Cai et al., 2022*). تخلیه محله-شهر، تخلیه محله، قسمتی از پدافند شهری است. بسیاری از تخلیه‌های گسترده در مواقع بروز بلایای طبیعی و انسانی، به‌منظور جلوگیری از آسیب‌های جانی به انجام می‌رسد. در بلایای طبیعی نظیر زلزله، تخلیه بدون پیش‌آگاهی و در مواردی مانند سیل، حملات نظامی و مواردی از این دست، تخلیه محله می‌تواند با پیش‌آگاهی همراه باشد؛ اما در هر صورت وجود دو عامل مسیر و مقصد تخلیه، در قالب برنامه تخلیه اضطراری محله ضروری است. در غیر این صورت تخلیه ناایمن و نامشخص می‌تواند به هرج‌ومرج و آسیب‌های جدی همراه باشد (*Abd Rahman et al., 2022*).

۲-۲- اهمیت راه‌ها و نقشه‌ها در تخلیه اضطراری

در برنامه تخلیه، نقاطی که قرار است جمعیت تخلیه شده در آنجا جمع شوند، راه‌ها و شیوه‌های تخلیه، نقاط و مراکز کنترل ترافیک وسایل نقلیه باید تعیین شوند. همچنین باید نقاط جایگزین برای مسیرهای تخلیه‌ای که احتمال انسداد آنها در شرایط بحران وجود دارد، در نظر گرفته شود (*Di Ludovico et al., 2020*). در ضمن تجهیزاتی که برای پاک‌سازی این گرفتگی‌ها نیاز است باید در دسترس باشند؛ بنابراین انجام پژوهش و برنامه‌ریزی جهت شناسایی سریع‌ترین و امن‌ترین مسیرهای تخلیه، مهم‌ترین وظیفه پیش روی سازمان مدیریت بحران و تیم تخلیه اضطراری است (*Tang et al., 2022*). همگی این برنامه‌ریزی‌ها باید قابلیت کاربردی و عملیاتی داشته باشند و با تکنیک‌های روز (نظیر اپ‌های موبایل) اشتراک‌گذاری شوند (*Hosseini & Maghrebi, 2021*)؛ بنابراین باید قبلاً مسیر تخلیه و مقصد آن مشخص‌شده باشد. در کنار شناسایی موارد فنی مربوطه برای انتقال، قابلیت استفاده از تأسیسات زیربنایی، طرح‌های تخلیه لازم است با مطالعات عمیق اجتماعی- جمعیت‌شناختی نیز پشتیبانی شوند. در نظر گرفتن بعد فنی مرتبط با زیرساخت فیزیکی و اجتماعی، لازمه تهیه نقشه مسیر تخلیه اضطراری است. همچنین وجود برخی تمهیدات یا حتی تأسیسات زیربنایی مانند پناهگاه برای مردم و حیوانات در مقصد ضرورت دارد (*Huang et al., 2022*). در این راستا، استفاده از ابزار جی‌آی‌اس، در ترکیب دو بخش تحلیل فضایی و تحلیل شبکه‌ای بسیار کارآمد است.

۲-۳- اسکان موقت پس از زلزله در فرایند تخلیه اضطراری

پس از هر سانحه با خسارات و صدماتی که به زیستگاه‌های دائمی وارد می‌آید و از آنجا که ساخت مسکن برای آوارگان نیاز به‌صرف وقت و هزینه زیادی دارد، بحث اسکان موقت مطرح‌شده و جایگاه خاصی می‌یابد. می‌توان اولین گام در بحث اسکان موقت را ایجاد سرپناهی جهت مصون ماندن افراد از گزند شرایط جوی و نیز ایجاد احساس امنیت در آنها ذکر نمود، که از آن می‌توان تحت عنوان اسکان اضطراری نام برد (*Jang et al., 2022*). استفاده از چادر یکی از رایج‌ترین شیوه‌های اسکان اضطراری است که برای شرایط بحرانی اولیه کاملاً مناسب به نظر می‌رسد؛ اما ازآنجاکه مرحله بازسازی در اغلب موارد به دلایل مختلف اقتصادی، فنی، و اجرایی مدتی قابل‌توجه به طول می‌انجامد و مسکن اضطراری تنها تأمین‌کننده نیازهای اولیه انسان است، نمی‌تواند به‌عنوان محل سکونتی نسبتاً بلندمدت چندین ماه و یا سال محسوب گردد. اسکان اضطراری نمی‌تواند ساکنانش را از شرایط

نامناسب جوّی همچون سرمای زمستان در امان دارد، در برابر بادهای شدید فصلی نیز ناپایدار است؛ بنابراین، ضرورت ساخت سرپناهی که بتواند تا حدی نیازهای ساکنانش را در مدت‌زمان نسبتاً طولانی‌تری برآورده سازد به شکل‌گیری مرحله اسکان موقت می‌انجامد (*Ding et al., 2021*).

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی و از لحاظ ماهیت داده، کمی و به لحاظ نحوه یافتن پاسخ سؤالات تحقیق در زمره تحقیقات اکتشافی است. جهت گردآوری اطلاعات از روش‌های اسنادی جهت استخراج شاخص‌های مرتبط با مسیریابی بهینه در تخلیه اضطراری و داده‌های مرتبط با نمونه مورد مطالعه و همچنین از روش‌های میدانی شامل بازدید میدانی و پرسشنامه استفاده شده است. پرسشنامه‌های کارشناسی به‌منظور اولویت‌بندی شاخص‌های تعیین مسیر بهینه توسط ۱۰ نفر از کارشناسان مرتبط با موضوع پژوهش که با روش غیر تصادفی هدفمند انتخاب شده بودند، تکمیل شدند. مدل‌های مورد استفاده نیز شامل دو روش آنتروپی شانون (که در نرم‌افزار اکسل محاسبه شده است) به‌منظور بی‌مقیاس‌سازی شاخص‌ها، نیز روش تحلیل سلسله‌مراتبی، انجام شده در نرم‌افزار *SuperDecision* بوده است. در مجموع، محاسبات صورت گرفته بدین‌شکل قابل خلاصه‌سازی است:

۱. معکوس‌سازی: با توجه به اهمیت معکوس برخی شاخص‌ها، مقادیر برای چهار شاخص: تراکم جمعیت، نسبت بناهای بالای ۳۰ سال، ارتفاع بنا و کیفیت ابنیه، در قالب تراکم بناهای تخریبی به‌صورت معکوس در نظر گرفته شد.

۲. بی‌مقیاس‌سازی: با توجه به قیاس‌ها و انواع مختلف داده‌های به کار رفته (مرتبط با شش شاخص پژوهش)، به‌منظور هماهنگ نمودن و هم‌مقیاس‌سازی (فراهم نمودن زمینه مقایسه و اعمال در شبکه)، روش آنتروپی به کار گرفته شد؛ و طی دو مرحله ماتریس بی‌مقیاس و ماتریس بی‌مقیاس موزون ایجاد گردید.

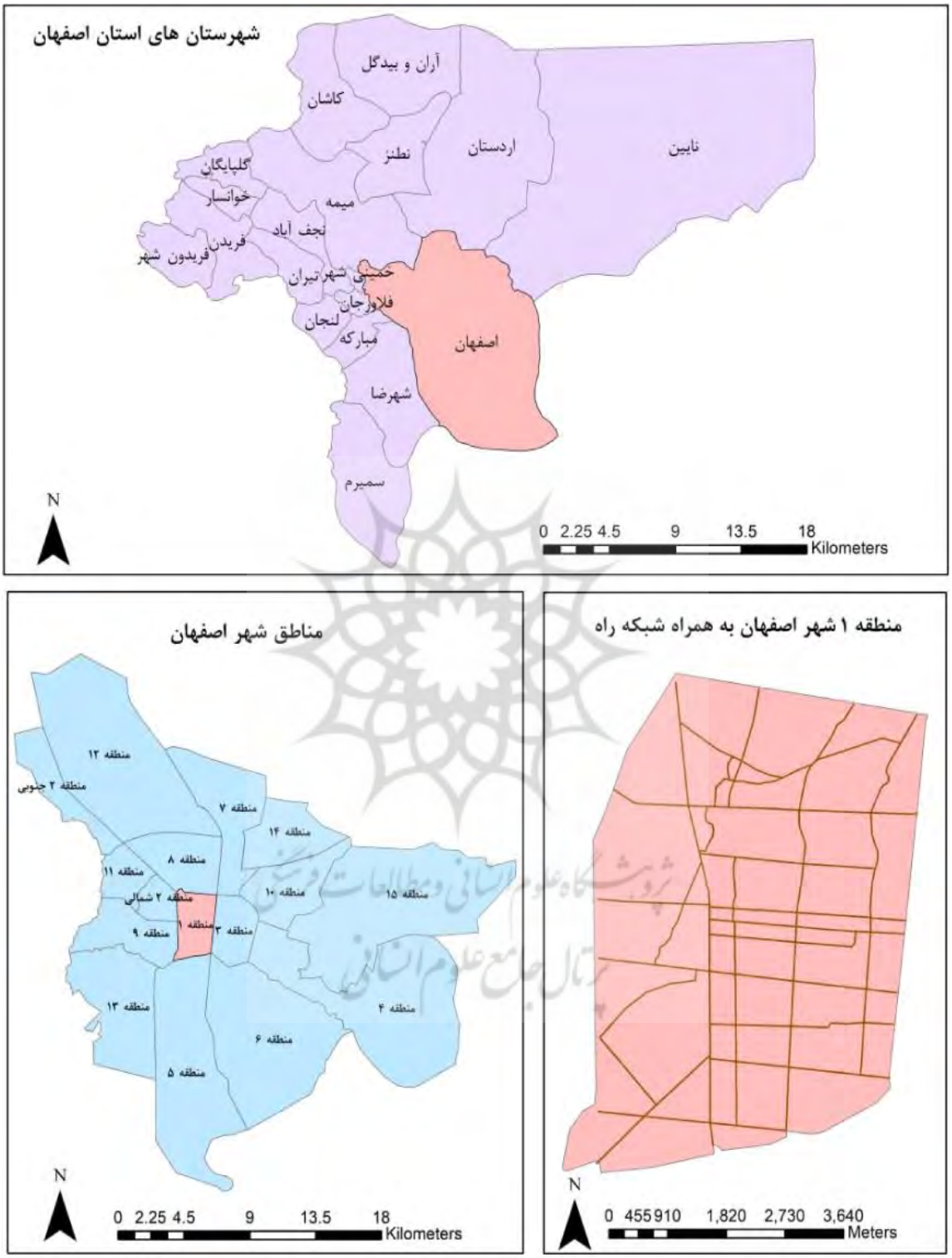
۳. محاسبه اوزان اهمیت: به‌منظور دستیابی به اوزان اهمیت هرکدام از شاخص‌های پژوهش، با استفاده از دانش کارشناسی، تحلیل شبکه‌ای و مقایسات زوجی به کار گرفته شد و در نهایت با مشخص شدن وزن اهمیت هرکدام از شاخص‌ها، مقادیر به‌دست‌آمده در ماتریس بی‌مقیاس موزون ضرب گردید و وزن نهایی هر خیابان برای هر شاخص مشخص شد.

۴. در نهایت ماتریس بی‌مقیاس در وزن‌های کارشناسی ضرب شده است و ماتریس نهایی شبکه تخلیه اضطراری تولید و در نرم‌افزار *GIS* وارد شده است. در این بین طول مسیر یا به عبارتی کوتاه‌ترین مسیر همواره مهم‌ترین شاخص تخلیه اضطراری بوده است (*Ding et al., 2021*). نیز شاخص‌هایی مانند عرض مسیر (*Tang et al., 2022*)، تأسیسات مستقر در پیرامون مسیر (*Hosseini & Maghrebi, 2021*)، نسبت بناهای فرسوده در پیرامون مسیر (*Wang et al., 2022*)، تراکم جمعیت پیرامون مسیر (*Cai et al., 2022*) و مواردی نظیر شیب و زمین‌ساخت مسیر (*Abd Rahman et al., 2022*) جزو مهم‌ترین موارد مرتبط با مسیریابی برای تخلیه اضطراری در نظر گرفته شده است.

۴- شناخت محدوده

منطقه ۱ شهرداری اصفهان واقع در بافت مرکزی-تاریخی شهری اصفهان، دارای جمعیتی معادل ۷۸ هزار نفر است؛ بنابراین، این منطقه ۴/۴ درصد از جمعیت شهر اصفهان را در خود جای داده است (مجموع جمعیت شهر برابر با ۱,۷۵۶,۱۲۶ نفر است). به لحاظ مساحت نیز، منطقه مورد مطالعه با مساحتی معادل ۷۹۳/۳۶۱۶ هکتار، ۲/۵ درصد از مساحت کل شهر را به خود اختصاص داده است (مجموع مساحت ۱۵ منطقه شهر اصفهان برابر با ۳۱۳۶۳/۱۸۸ هکتار است).

در ادامه ویژگی‌های مختلف شبکه معابر و ویژگی‌های پیرامونی این شبکه در قالب جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- مناطق شهری و منطقه ۱ شهرداری اصفهان به همراه شبکه معابر

جدول ۱- مختصات و ویژگی‌های شبکه (در شعاع ۱۰۰ متری خیابان)

خیابان	طول مسیر (متر)	عرض مسیر (متر)	تراکم (نفر در هکتار)	نسبت بناهای ۳۰ سال و بیشتر ٪	میانگین تعداد طبقات	نسبت بناهای متروکه، مخروبه و تخریبی ٪	شیب (درصد)
۱	۳۴۵۷	۳۸	۱۵۸/۷	۵۴/۴	۱/۴۴۸	۸/۸	۱/۲
۲	۲۳۸۳	۳۶	۱۸۴/۶	۴۲/۰	۱/۵۷۳	۶/۷	۱/۱
۳	۱۵۱۷	۲۰	۱۱۶/۸	۳۱/۰	۱/۵۵۱	۱۳/۲	۱/۹
۴	۱۳۹۸	۲۵	۱۴۰/۶	۳۳/۲	۲/۰۸۸	۱۰/۱	۱/۳
۵	۱۴۶۶	۳۵	۱۵۰/۸	۳۲/۶	۲/۰۵۸	۵/۸	۱/۳
۶	۱۶۱۴	۲۶	۲۲۰/۳	۴۷/۹	۱/۸۹۱	۱۲/۵	۱/۳
۷	۱۱۹۲	۳۸	۲۰۴/۱	۴۵/۳	۱/۸۴۲	۶/۲	۰/۷
۸	۱۴۴۴	۱۸	۲۲۱/۹	۳۹/۴	۲/۰۳۱	۱۳/۳	۱
۹	۱۹۶۱	۴۷	۱۵۶/۷	۴۳/۴	۱/۹۱۱	۱۰/۴	۱/۱
۱۰	۲۳۳۱	۲۲	۱۸۱/۴	۴۳/۵	۱/۷۹۷	۹/۲	۱/۳
۱۱	۷۷۹	۲۰	۴۵۴/۹	۴۳/۵	۱/۷۹۷	۹/۲	۱/۷
۱۲	۹۱۱/۳	۳۴	۲۲۴/۷	۴۸/۰	۱/۳۸۳	۵/۳	۱/۱
۱۳	۱۱۶۳	۱۷	۲۸۸/۰	۴۷/۹	۱/۳۲۹	۵/۳	۰/۸
۱۴	۳۸۶/۴	۱۸	۲۳۱/۶	۳۲/۱	۱/۳۸۲	۵/۹	۰/۷
۱۵	۳۱۵/۶	۱۸	۲۳۷/۷	۳۱/۶	۱/۴۸۰	۴/۲	۱/۱
۱۶	۱۸۳/۸	۱۸	۲۹۹/۲	۴۰/۸	۱/۴۵۷	۵/۶	۲
۱۷	۴۳۲/۶	۱۹	۱۸۷/۷	۵۵/۴	۱/۴۱۲	۷/۴	۰/۲
۱۸	۱۳۷۰	۳۰	۲۲۸/۸	۵۶/۹	۱/۴۰۳	۹/۴	۱/۱
۱۹	۸۶۴/۴	۳۰	۱۸۲/۱	۴۹/۳	۱/۳۱۸	۷/۷	۱
۲۰	۴۸۲/۲	۱۹	۲۸۷/۶	۵۳/۷	۱/۴۶۱	۱۰/۴	۰/۷
۲۱	۱۵۱۲	۱۶	۲۲۳/۹	۴۲/۳	۱/۹۹۴	۱۰/۱	۱/۶
۲۲	۱۱۰۹	۱۰	۱۸۱/۰	۵۲/۱	۱/۶۶۳	۱۳/۵	۱
۲۳	۱۲۲/۳	۱۸	۳۲۴/۳	۵۸/۳	۱/۶۶۹	۶/۱	۲
۲۴	۱۲۵۳	۱۶	۱۴۸/۵	۵۳/۲	۱/۵۴۸	۱۱/۹	۱/۲
۲۵	۸۳۶/۶	۱۴	۱۷۷/۷	۵۲/۸	۱/۳۹۰	۱۰/۰	۰/۶
۲۶	۶۶۴/۴	۱۶	۲۹۴/۰	۳۲/۷	۱/۷۱۳	۴/۷	۰/۴
۲۷	۹۷۱/۵	۲۹	۲۱۵/۸	۵۱/۴	۱/۵۱۹	۶/۱	۰/۹
۲۸	۵۲۳/۵	۱۸	۲۷۹/۷	۵۶/۷	۱/۳۳۷	۸/۸	۱
۲۹	۹۱۱/۱	۲۱	۲۳۶/۹	۳۶/۰	۱/۴۹۲	۲/۸	۱/۸
۳۰	۳۴۰/۷	۱۶	۲۵۲/۲	۵۲/۲	۱/۴۵۷	۵/۲	۰/۴

ادامه جدول ۱- مختصات و ویژگی‌های شبکه (در شعاع ۱۰۰ متری خیابان)

خیابان	طول مسیر (متر)	عرض مسیر (متر)	تراکم (نفر در هکتار)	نسبت بناهای ۳۰ سال و بیشتر ٪	میانگین تعداد طبقات	نسبت بناهای متروکه، مخروبه و تخریبی ٪	شیب (درصد)
۳۱	۲۷۶/۱	۲۳	۹۱/۶	۴۷/۷	۱/۸۰۰	۱۰/۰	۳/۱
۳۲	۶۸۳/۷	۱۶	۲۷۷/۶	۵۹/۱	۱/۳۶۱	۶/۲	۱/۳
میانگین کل	۱۰۸۹/۲	۲۳/۲	۲۲۰/۷	۴۵/۸	۱/۶	۸/۲	۱/۱

۵- یافته‌ها

۵-۱- مرحله نخست، بی‌مقیاس‌سازی (استفاده از روش آنتروپی، entropy)

در این مرحله، شاخص‌های عددی خیابان‌های منطقه مورد مطالعه در ماتریس وارد شده است. مبنای مسیریابی مورد استفاده طول مسیر (کوتاه‌ترین مسیر) بوده است. شش شاخص عرض مسیر، تراکم جمعیت (معکوس)، نسبت بناهای بالای ۳۰ سال (معکوس)، میانگین تعداد طبقات (معکوس)، نسبت بناهای متروکه، مخروبه و تخریبی (معکوس) اندازه‌گیری و شناسایی شده است (به‌جز شاخص عرض مسیر، سایر موارد در شعاع ۱۰۰ متری در نظر گرفته شده است.

جدول ۲- ماتریس بی‌مقیاس موزون (روش آنتروپی)

خیابان	تراکم جمعیت (نفر در هکتار)	نسبت بناهای ۳۰ سال و بیشتر ٪	میانگین تعداد طبقات	نسبت بناهای متروکه، مخروبه و تخریبی ٪	شیب ٪	عرض مسیر
۱	۰/۰۳۱۵۱۲	۰/۰۲۴۷۵	۰/۰۲۶۹۷۱	۰/۰۲۴۰۵۲	۰/۰۰۸۷۲۵	۰/۰۷۲۴۵۱
۲	۰/۰۲۷۰۸	۰/۰۳۲۰۵۴	۰/۰۲۴۸۳۱	۰/۰۳۱۷۹۴	۰/۰۰۹۵۱۸	۰/۰۶۸۶۳۸
۳	۰/۰۴۲۸۱۴	۰/۰۴۳۳۴۹	۰/۰۲۵۱۸۲	۰/۰۱۶۱۲۶	۰/۰۰۵۵۱	۰/۰۳۸۱۳۲
۴	۰/۰۳۵۵۷۴	۰/۰۴۰۵۴۸	۰/۰۱۸۷۰۸	۰/۰۲۱۰۲۲	۰/۰۰۸۰۵۴	۰/۰۴۷۶۶۵
۵	۰/۰۳۳۱۶	۰/۰۴۱۲۶۴	۰/۰۱۸۹۷۸	۰/۰۳۶۵۱۸	۰/۰۰۸۰۵۴	۰/۰۶۶۷۳۱
۶	۰/۰۲۲۶۹۳	۰/۰۲۸۰۸۷	۰/۰۲۰۶۵۹	۰/۰۱۶۹۵۱	۰/۰۰۸۰۵۴	۰/۰۴۹۵۷۲
۷	۰/۰۲۴۵۰۱	۰/۰۲۹۶۸۹	۰/۰۲۱۲۰۹	۰/۰۳۴۱۹۵	۰/۰۱۴۹۵۷	۰/۰۷۲۴۵۱
۸	۰/۰۲۲۵۳۴	۰/۰۳۴۱۶۹	۰/۰۱۹۲۳۷	۰/۰۱۶	۰/۰۱۰۴۷	۰/۰۳۴۳۱۹
۹	۰/۰۳۱۹۰۱	۰/۰۳۰۹۸۴	۰/۰۲۰۴۴۵	۰/۰۲۰۴۸۱	۰/۰۰۹۵۱۸	۰/۰۸۹۶۱۱
۱۰	۰/۰۲۷۵۶۳	۰/۰۳۰۹۶۱	۰/۰۲۱۷۳۳	۰/۰۲۲۹۶۸	۰/۰۰۸۰۵۴	۰/۰۴۱۹۴۵
۱۱	۰/۰۱۰۹۹۲	۰/۰۳۰۹۶۱	۰/۰۲۱۷۳۳	۰/۰۲۲۹۶۸	۰/۰۰۶۱۵۹	۰/۰۳۸۱۳۲
۱۲	۰/۰۲۲۲۵۵	۰/۰۲۸۰۴۱	۰/۰۲۸۲۴۳	۰/۰۴۰۱۹	۰/۰۰۹۵۱۸	۰/۰۶۴۸۲۵
۱۳	۰/۰۱۷۳۶۵	۰/۰۲۸۰۹	۰/۰۲۹۳۹۱	۰/۰۴۰۰۸۲	۰/۰۱۳۰۸۷	۰/۰۳۲۴۱۲
۱۴	۰/۰۲۱۵۸۹	۰/۰۴۱۹۵۶	۰/۰۲۸۲۵۷	۰/۰۳۶۱۱۴	۰/۰۱۴۹۵۷	۰/۰۳۴۳۱۹
۱۵	۰/۰۲۱۰۳۳	۰/۰۴۲۶۰۹	۰/۰۲۶۳۸۸	۰/۰۵۱۱۷۷	۰/۰۰۹۵۱۸	۰/۰۳۴۳۱۹
۱۶	۰/۰۱۶۷۱۱	۰/۰۳۳۰۰۱	۰/۰۲۶۸۰۶	۰/۰۳۷۷۴۸	۰/۰۵۳۳۹۶	۰/۰۳۴۳۱۹

ادامه جدول ۲- ماتریس بی‌مقیاس موزون (روش آنتروپی)

خیابان	تراکم جمعیت (نفر در هکتار)	نسبت بناهای ۳۰ سال و بیشتر ٪	میانگین تعداد طبقات	نسبت بناهای متروکه، مخروبه و تخریبی ٪	شیب ٪	عرض مسیر
۱۷	۰/۰۲۶۶۳۸	۰/۰۲۴۲۸۴	۰/۰۲۷۶۷	۰/۰۲۸۷۲۱	۰/۰۵۲۳۴۹	۰/۰۳۶۲۲۶
۱۸	۰/۰۲۱۸۵	۰/۰۲۳۶۵۳	۰/۰۲۷۸۴۳	۰/۰۲۲۵۷۱	۰/۰۰۹۵۱۸	۰/۰۵۷۱۹۸
۱۹	۰/۰۲۷۴۵۹	۰/۰۲۷۳۰۷	۰/۰۲۹۶۳۱	۰/۰۲۷۶۶۶	۰/۰۱۰۴۷	۰/۰۵۷۱۹۸
۲۰	۰/۰۱۷۳۸۳	۰/۰۲۵۰۷۴	۰/۰۲۶۷۳۵	۰/۰۲۰۴۷۱	۰/۰۱۴۹۵۷	۰/۰۳۶۲۲۶
۲۱	۰/۰۲۲۳۳۷	۰/۰۳۱۷۷۵	۰/۰۱۹۵۸۷	۰/۰۲۱۱۳۴	۰/۰۰۶۵۴۴	۰/۰۳۰۵۰۶
۲۲	۰/۰۲۷۶۲۵	۰/۰۲۵۸۱۶	۰/۰۲۳۴۹۷	۰/۰۱۵۷۷۵	۰/۰۱۰۴۷	۰/۰۱۹۰۶۶
۲۳	۰/۰۱۵۴۲	۰/۰۲۳۰۶۷	۰/۰۲۳۴۰۹	۰/۰۳۵۰۵۱	۰/۰۵۳۳۹۶	۰/۰۳۴۳۱۹
۲۴	۰/۰۳۳۶۶۴	۰/۰۲۵۲۸۸	۰/۰۲۵۲۳۴	۰/۰۱۷۸۲۸	۰/۰۰۸۷۲۵	۰/۰۳۰۵۰۶
۲۵	۰/۰۲۸۱۳۸	۰/۰۲۵۴۶۲	۰/۰۲۸۱۱	۰/۰۲۱۳۲۲	۰/۰۱۷۴۵	۰/۰۲۶۶۹۲
۲۶	۰/۰۱۷۰۰۹	۰/۰۴۱۰۹۷	۰/۰۲۲۸۰۹	۰/۰۴۵۳۱۹	۰/۰۲۶۱۷۵	۰/۰۳۰۵۰۶
۲۷	۰/۰۲۳۱۷۳	۰/۰۲۶۱۷۸	۰/۰۲۵۷۱۸	۰/۰۳۵۰۷۷	۰/۰۱۱۶۳۳	۰/۰۵۵۲۹۲
۲۸	۰/۰۱۷۸۷۶	۰/۰۲۳۷۴۲	۰/۰۲۹۲۱۲	۰/۰۲۴۱۵	۰/۰۱۰۴۷	۰/۰۳۴۳۱۹
۲۹	۰/۰۲۱۱۰۴	۰/۰۳۷۳۵۵	۰/۰۲۶۱۷۹	۰/۰۷۵۹۴۵	۰/۰۰۵۸۱۷	۰/۰۴۰۰۳۹
۳۰	۰/۰۱۹۸۲۹	۰/۰۲۵۷۷۲	۰/۰۲۶۸۱۸	۰/۰۴۱۰۷	۰/۰۲۶۱۷۵	۰/۰۳۰۵۰۶
۳۱	۰/۰۵۴۶۰۹	۰/۰۲۸۱۹۲	۰/۰۲۱۷۰۲	۰/۰۲۱۲۴۳	۰/۰۰۳۳۷۷	۰/۰۴۳۸۵۲
۳۲	۰/۰۱۸۰۱	۰/۰۲۲۷۸۱	۰/۰۲۸۷۱۱	۰/۰۳۴۵۲	۰/۰۰۸۰۵۴	۰/۰۳۰۵۰۶

جدول ۱- وزن‌های محاسبه شده برای هر یک از شاخص‌ها با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای

عرض مسیر	شیب مسیر	تراکم بناهای تخریبی	میانگین ارتفاع بنا	تراکم بناهای بالای ۳۰ سال	تراکم جمعیت
۰/۲۶۶۲۵	۰/۰۸۳۱۷	۰/۱۸۳۲	۰/۱۴۱۲۵	۰/۱۷۶۵	۰/۱۴۹۶۳

۵-۲- اهمیت شاخص‌ها

در مرحله دوم، به‌منظور شناسایی اهمیت هرکدام از شاخص‌های مورد استفاده، میانگین نظرات کارشناسی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و با استفاده از نرم‌افزار *SuperDecision* محاسبه گردید. در نهایت وزن و اهمیت هرکدام از شش شاخص اصلی پژوهش مشخص شد. بدین‌ترتیب، عرض مسیر، تراکم بناهای تخریبی، تراکم بناهای بالای ۳۰ سال، تراکم جمعیت، ارتفاع بنا و شیب مسیر به‌ترتیب بالاترین امتیازهای ممکن را کسب کرده‌اند.

۵-۳- وزن نهایی شاخص‌ها

پس از مشخص شدن وزن و اهمیت هرکدام از شاخص‌های پژوهش، مقادیر به‌دست‌آمده در ماتریس بی‌مقیاس موزون ضرب گردید و وزن نهایی هرکدام از شاخص‌ها برای هر خیابان مشخص شد. سپس جمع مقادیر شش شاخص (برای هر خیابان) وزن نهایی هر خیابان در شبکه را مشخص نمود.

داده‌های ماتریس ۳۲×۶ مؤلفه‌ای حاصل شده در شبکه اعمال گردید، ابتدا بر مبنای هرکدام از شاخص‌ها مسیر تخلیه به سمت محدوده امن (محدوده امن در نظر گرفته شده، فضای سبز واقع در جنوب منطقه ۱ شهرداری اصفهان

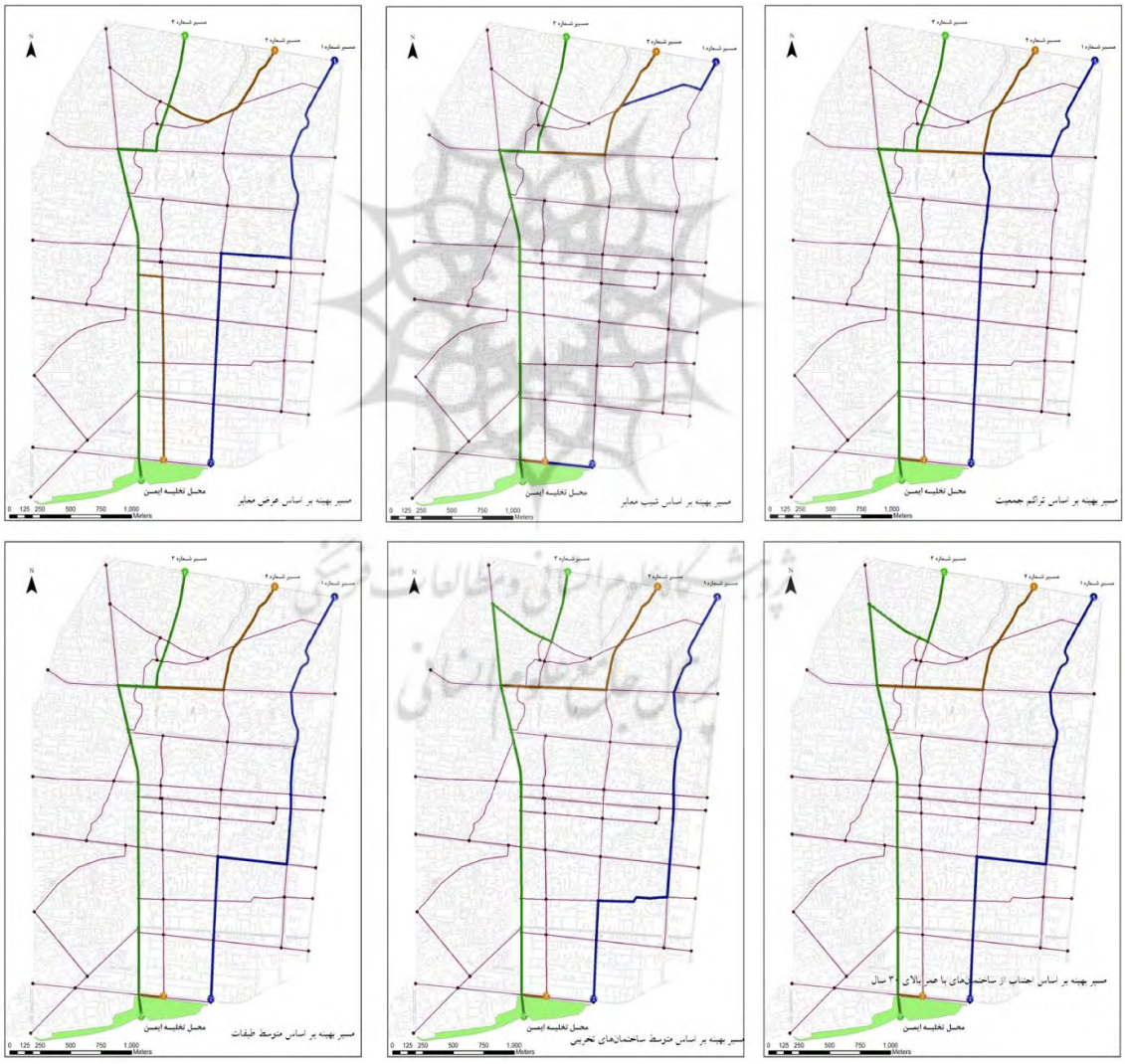
و در کرانه شمالی زاینده‌رود قرار دارد) مشخص گردید. در نهایت با استفاده از شاخص وزن نهایی بهترین مسیر تخلیه با استفاده از مجموع شاخص‌ها ترسیم و شناسایی شد. در ادامه بهترین مسیرهای تخلیه از دورترین حد شمالی و همچنین از بخش غربی و شرقی منطقه به سمت محدوده امن شناسایی و در قالب نقشه ارائه شده است (البته باید توجه نمود که شبکه تولید شده، توانایی تشخیص مسیرهای بهینه تخلیه در هر موقعیتی از شبکه تولید شده را داراست).

جدول ۴- اعمال وزن شاخص‌ها در ماتریس بی‌مقیاس موزون

خیابان	تراکم جمعیت	نسبت بناهای ۳۰ سال و بیشتر	میانگین تعداد طبقات	نسبت بناهای متروکه، مخروبه و تخریبی	شیب	عرض مسیر	وزن نهایی
۱	۰,۰۰۵۸۸۳۵۶۴	۰,۰۰۴۴۷	۰,۰۰۴۸۱۲	۰,۰۰۴۶۰۸	۰,۰۰۱۹۸۱	۰,۰۱۳۶۵۴	۰,۰۳۵۴۰۸
۲	۰,۰۰۵۰۵۶۰۶۷	۰,۰۰۵۷۸۹	۰,۰۰۴۴۳۱	۰,۰۰۶۰۹۱	۰,۰۰۲۱۶۱	۰,۰۱۲۹۳۵	۰,۰۳۶۴۶۳
۳	۰,۰۰۷۹۹۳۷۵۴	۰,۰۰۷۸۲۸	۰,۰۰۴۴۹۳	۰,۰۰۳۰۹	۰,۰۰۱۲۵۱	۰,۰۰۷۱۸۶	۰,۰۳۱۸۴۲
۴	۰,۰۰۶۶۴۲۰۰۴	۰,۰۰۷۳۲۳	۰,۰۰۳۳۳۸	۰,۰۰۴۰۲۷	۰,۰۰۱۸۲۸	۰,۰۰۸۹۸۳	۰,۰۳۲۱۴۱
۵	۰,۰۰۶۱۹۱۳۹۶	۰,۰۰۷۴۵۲	۰,۰۰۳۳۸۶	۰,۰۰۶۹۹۶	۰,۰۰۱۸۲۸	۰,۰۱۲۵۷۶	۰,۰۳۸۴۳
۶	۰,۰۰۴۲۳۶۹۹۲	۰,۰۰۵۰۷۲	۰,۰۰۳۶۸۶	۰,۰۰۳۲۴۷	۰,۶۶۰۶۸۳	۰,۰۰۹۳۴۲	۰,۶۸۶۲۶۷
۷	۰,۰۰۴۵۷۴۵۸۱	۰,۰۰۵۳۶۲	۰,۰۰۳۷۸۴	۰,۰۰۶۵۵۱	۰,۰۰۳۳۹۶	۰,۰۱۳۶۵۴	۰,۰۳۷۳۲۱
۸	۰,۰۰۴۲۰۷۴۱۸	۰,۰۰۶۱۷۱	۰,۰۰۳۴۳۲	۰,۰۰۳۰۶۵	۰,۰۰۲۳۷۷	۰,۰۰۶۴۶۸	۰,۰۲۵۷۲
۹	۰,۰۰۵۹۵۶۳۳۱	۰,۰۰۵۵۹۵	۰,۰۰۳۶۴۸	۰,۰۰۳۹۲۴	۰,۰۰۲۱۶۱	۰,۰۱۶۸۸۸	۰,۰۳۸۱۷۲
۱۰	۰,۰۰۵۱۴۶۳۰۹	۰,۰۰۵۵۹۱	۰,۰۰۳۸۷۸	۰,۰۰۴۴	۰,۰۰۱۸۲۸	۰,۰۰۷۹۰۵	۰,۰۲۸۷۴۹
۱۱	۰,۰۰۲۰۵۲۲۵۱	۰,۰۰۵۵۹۱	۰,۰۰۳۸۷۸	۰,۰۰۴۴	۰,۰۰۱۳۹۸	۰,۰۰۷۱۸۶	۰,۰۲۴۵۰۶
۱۲	۰,۰۰۴۱۵۵۲۵۶	۰,۰۰۵۰۶۴	۰,۰۰۵۰۳۹	۰,۰۰۷۷	۰,۰۰۲۱۶۱	۰,۰۱۲۲۱۷	۰,۰۳۶۳۳۶
۱۳	۰,۰۰۳۲۴۲۲۰۹	۰,۰۰۵۰۷۳	۰,۰۰۵۲۴۴	۰,۰۰۷۶۷۹	۰,۰۰۲۹۷۱	۰,۰۰۶۱۰۸	۰,۰۳۰۳۱۸
۱۴	۰,۰۰۴۰۳۰۹۲۸	۰,۰۰۷۵۷۷	۰,۰۰۵۰۴۲	۰,۰۰۶۹۱۹	۰,۰۰۳۳۹۶	۰,۰۰۶۴۶۸	۰,۰۳۳۴۳۲
۱۵	۰,۰۰۳۹۲۷۰۱۹	۰,۰۰۷۶۹۵	۰,۰۰۴۷۰۸	۰,۰۰۹۸۰۵	۰,۰۰۲۱۶۱	۰,۰۰۶۴۶۸	۰,۰۳۴۷۶۳
۱۶	۰,۰۰۳۱۲۰۱۹۸	۰,۰۰۵۹۶	۰,۰۰۴۷۸۳	۰,۰۰۷۲۳۲	۰,۰۱۱۸۸۵	۰,۰۰۶۴۶۸	۰,۰۳۹۴۴۷
۱۷	۰,۰۰۴۹۷۳۶۰۶	۰,۰۰۴۳۸۵	۰,۰۰۴۹۳۷	۰,۰۰۵۵۰۲	۰,۰۱۱۸۸۵	۰,۰۰۶۸۲۷	۰,۰۳۸۵۱
۱۸	۰,۰۰۴۰۷۹۵۴۴	۰,۰۰۴۲۷۱	۰,۰۰۴۹۶۸	۰,۰۰۴۳۲۴	۰,۰۰۲۱۶۱	۰,۰۱۰۷۷۹	۰,۰۳۰۵۸۳
۱۹	۰,۰۰۵۱۲۶۸۴۶	۰,۰۰۴۹۳۱	۰,۰۰۵۲۸۷	۰,۰۰۵۳	۰,۰۰۲۳۷۷	۰,۰۱۰۷۷۹	۰,۰۳۳۸۰۲
۲۰	۰,۰۰۳۲۴۵۶۸۳	۰,۰۰۴۵۲۸	۰,۰۰۴۷۷	۰,۰۰۳۹۲۲	۰,۰۰۳۳۹۶	۰,۰۰۶۸۲۷	۰,۰۲۶۶۸۸
۲۱	۰,۰۰۴۱۷۰۶۰۳	۰,۰۰۵۷۳۸	۰,۰۰۳۴۹۵	۰,۰۰۴۰۴۹	۰,۰۰۱۴۸۶	۰,۰۰۵۷۴۹	۰,۰۲۴۶۸۷
۲۲	۰,۰۰۵۱۵۷۹۴۵	۰,۰۰۴۶۶۲	۰,۰۰۴۱۹۳	۰,۰۰۳۰۲۲	۰,۰۰۲۳۷۷	۰,۰۰۳۵۹۳	۰,۰۲۳۰۰۵
۲۳	۰,۰۰۲۸۷۹۱۰۱	۰,۰۰۴۱۶۶	۰,۰۰۴۱۷۷	۰,۰۰۶۷۱۵	۰,۰۱۱۸۸۵	۰,۰۰۶۴۶۸	۰,۰۳۶۲۸۹
۲۴	۰,۰۰۶۲۸۵۳۴۵	۰,۰۰۴۵۶۷	۰,۰۰۴۵۰۳	۰,۰۰۳۴۱۵	۰,۰۰۱۹۸۱	۰,۰۰۵۷۴۹	۰,۰۲۶۵
۲۵	۰,۰۰۵۲۵۳۷۱۷	۰,۰۰۴۵۹۸	۰,۰۰۵۰۱۶	۰,۰۰۴۰۸۵	۰,۰۰۳۹۶۲	۰,۰۰۵۰۳	۰,۰۲۷۹۴۴
۲۶	۰,۰۰۳۱۷۵۷۳۶	۰,۰۰۷۴۲۲	۰,۰۰۴۰۷	۰,۰۰۸۶۸۲	۰,۰۰۵۹۴۳	۰,۰۰۵۷۴۹	۰,۰۳۵۰۴۱

ادامه جدول ۴- اعمال وزن شاخص‌ها در ماتریس بی‌مقیاس موزون

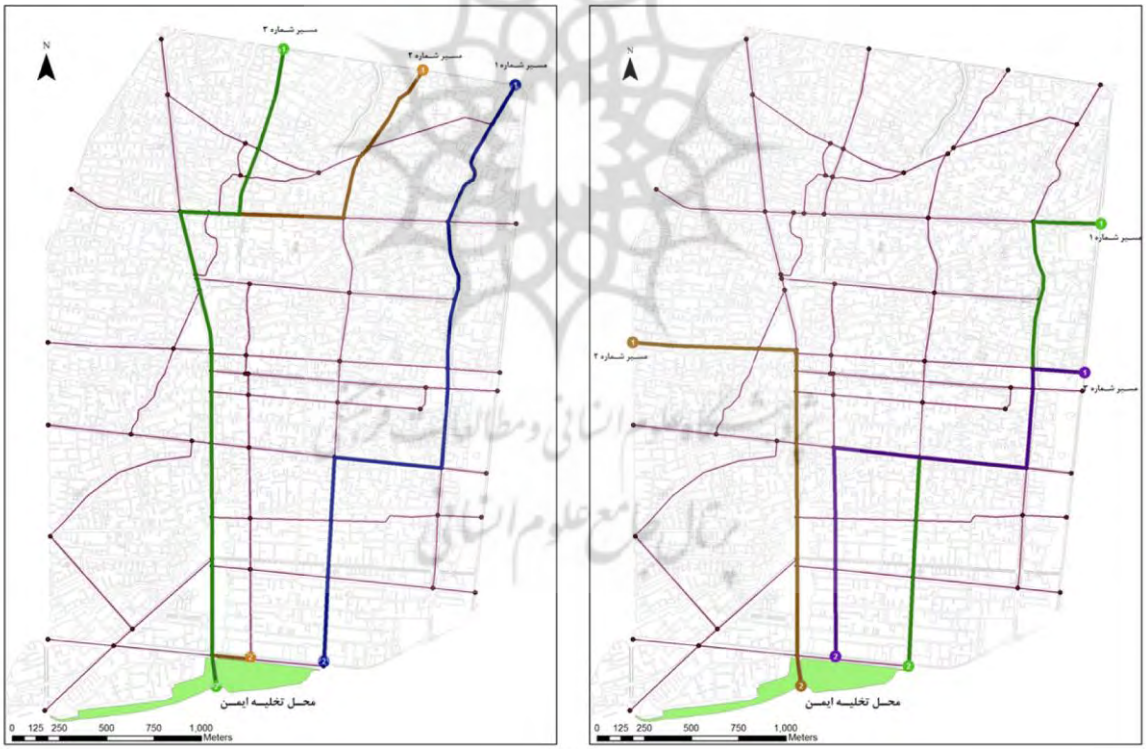
خیابان	تراکم جمعیت	نسبت بناهای ۳۰ سال و بیشتر	میانگین تعداد طبقات	نسبت بناهای متروکه، مخروبه و تخریبی	شیب	عرض مسیر	وزن نهایی
۲۷	۰,۰۰۴۳۲۶۵۸۳	۰,۰۰۴۷۲۷	۰,۰۰۴۵۸۹	۰,۰۰۶۷۲	۰,۰۰۲۶۴۱	۰,۰۱۰۴۲	۰,۰۳۳۴۲۴
۲۸	۰,۰۰۳۳۳۷۵۸۸	۰,۰۰۴۲۸۸	۰,۰۰۵۲۱۲	۰,۰۰۴۶۲۷	۰,۰۰۲۳۷۷	۰,۰۰۶۴۶۸	۰,۰۲۶۳۰۹
۲۹	۰,۰۰۳۹۴۰۳۲۳	۰,۰۰۶۷۴۶	۰,۰۰۴۶۷۱	۰,۰۱۴۵۵	۰,۰۰۱۳۲۱	۰,۰۰۷۵۴۶	۰,۰۳۸۷۷۳
۳۰	۰,۰۰۳۷۰۲۲۹۱	۰,۰۰۴۶۵۴	۰,۰۰۴۷۸۵	۰,۰۰۷۸۶۸	۰,۰۰۵۹۴۳	۰,۰۰۵۷۴۹	۰,۰۳۲۷۰۱
۳۱	۰,۰۱۰۱۹۶۰۸۸	۰,۰۰۵۰۹۱	۰,۰۰۳۸۷۲	۰,۰۰۴۰۷	۰,۰۰۰۷۶۷	۰,۰۰۸۲۶۴	۰,۰۳۲۲۶
۳۲	۰,۰۰۳۳۶۲۷۲۵	۰,۰۰۴۱۱۴	۰,۰۰۵۱۲۳	۰,۰۰۶۶۱۳	۰,۰۰۱۸۲۸	۰,۰۰۵۷۴۹	۰,۰۲۶۷۹۱



شکل ۱- مسیرهای بهینه بر اساس ۶ شاخص (در منطقه ۱ شهرداری اصفهان)

جدول ۵- مسیرهای شمالی-جنوبی، شرقی-غربی

مسیر شمالی-جنوبی	طول کوتاه‌ترین مسیر (متر)	زمان سفر (بر اساس کوتاه‌ترین مسیر) دقیقه	مختصات مبدأ و مقصد
مسیر شماره ۱	۳۶۹۷,۶۹۳۰۴۲	۵،۵۴۶۷۶	- ۶۲۸۴۷۱۵۱۲۷SWS۳۹ ۶۱۸۳۳۱۲۰۷۱SWS۳۹
مسیر شماره ۲	۳۶۹۴,۷۷۵۶۲۶	۵،۵۴۲۰۲	- ۶۲۳۵۷۱۵۲۰۵SWS۳۹ ۶۱۴۴۶۱۲۰۹۴SWS۳۹
مسیر شماره ۳	۳۶۹۷,۴۴۲۵۱۱	۵،۵۴۵۹۲	- ۶۱۶۲۰۱۵۳۱۵SWS۳۹ ۶۱۲۶۳۱۱۹۴۰SWS۳۹
مسیر شرقی-غربی	طول کوتاه‌ترین مسیر (متر)	زمان سفر (بر اساس کوتاه‌ترین مسیر) دقیقه	مختصات مبدا و مقصد
مسیر شماره ۱	۳۲۸۸	۴،۹۲۸۴	- ۶۲۸۴۹۱۴۳۹۲SWS۳۹ ۶۱۸۳۲۱۲۰۴۷SWS۳۹
مسیر شماره ۲	۲۶۴۶	۳،۹۶۹۴۸	- ۶۰۳۷۳۱۳۷۶۳SWS۳۹ ۶۱۲۶۳۱۱۹۴۱SWS۳۹
مسیر شماره ۳	۲۷۹۷	۴،۱۹۵۶۲	- ۶۲۷۶۲۱۳۶۰۲SWS۳۹ ۶۱۴۴۶۱۲۰۹۸SWS۳۹



شکل ۳- مسیر بهینه بر اساس مجموع شاخص‌ها

لازم به ذکر است مشخصات مسیرهای تخلیه اضطراری شناسایی شده در جدول (۵) ارائه شده است. شکل ۳، نمایش‌دهنده مسیرهای بهینه تخلیه اضطراری شمالی-جنوبی و شرقی-غربی، در منطقه ۱ شهرداری اصفهان است.

۴- جمع‌بندی

کشور ایران یکی از بالاترین سطوح آسیب‌پذیری در برابر بلایای با منشأ طبیعی و انسانی را به خود اختصاص داده است. در بین حوادث طبیعی، زلزله یکی از سوانحی است که به دلیل شرایط خاص جغرافیایی، همیشه کشور ایران را تهدید می‌کند. خطرناک بودن بحران وقوع زلزله در کانون-های شهری که مراکز سرمایه‌گذاری اجتماعی- اقتصادی و فرهنگی جامعه ایرانی (و سایر جوامع) است، بسیار بااهمیت‌تر و نیازمند مدیریت بهینه می‌باشد. یکی از راهبردهای اندیشیده شده به‌منظور حفظ جان شهروندان (در هر سطحی از ایمنی و استحکام بنا) مقوله تخلیه اضطراری از ساختمان و منطقه آسیب‌دیده است. پژوهش حاضر در سطح منطقه ۱ شهرداری اصفهان، به‌عنوان یکی از کانون‌های اولیه شکل‌گیری و یکی از مهم‌ترین بافت‌های تاریخی این شهر انجام گرفته است. محدوده مورد اشاره بر اساس مطالعات صورت گرفته دارای سطح و موقعیت نامناسبی از لحاظ شاخص‌های جمعیتی (کاهش جمعیت محدوده) و اجتماعی (نسبت پایین جنسی معادل ۹۵) مواجه است؛ بنابراین برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه این منطقه نیازی ضروری جهت حفظ حیات تاریخی - اجتماعی و اقتصادی کلیّت شهر اصفهان است. در این راستا توجه به امر مدیریت بحران و تخلیه اضطراری اولویت غیرقابل‌انکار محدوده به شمار می-رود. بافت ارگانیک و نفوذپذیری اندک بافت منطقه، در عین دشوار نمودن امر تخلیه ضرورت هر چه بیشتر توجه به تخلیه اضطراری در این محدوده را هر چه بیشتر نمایان می-کند. پژوهش حاضر، شش شاخص عمده، عرض مسیر (مقدار مثبت)، شیب مسیر (معکوس)، نسبت بناهای با عمر بالای ۳۰ سال (معکوس)، نسبت ساختمان‌های متروکه، مخروبه و تخریبی (معکوس)، تراکم جمعیت (معکوس) و میانگین تراکم ساختمانی به‌صورت میانگین تعداد طبقات (معکوس) در زمینه انجام امر تخلیه با اهمیت تشخیص داد و در این راستا از دانش و تخصص کارشناسی نیز مدد گرفت. در ادامه با توجه به مقادیر واقعی هرکدام از شاخص‌ها و مقادیر اهمیت به‌دست‌آمده از دانش کارشناسی (با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای، مقایسات زوجی)، در شبکه‌ای متشکل از سی‌ودو خیابان عمده اعمال گردید. در نهایت با استفاده از بخش تحلیل شبکه‌ای سیستم اطلاعات جغرافیایی در قالب نرم‌افزار *ArcMap10* بر مبنای الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر، اقدام به شناسایی مسیرهای تخلیه از نقاط مختلف شبکه به سمت محدوده امن (فضای سبز واقع در محدوده جنوبی منطقه) با استفاده از هرکدام از شش شاخص به کار رفته در پژوهش نمود. در نهایت مجموع امتیاز شاخص‌ها (برای هر خیابان) مسیر بهینه نهایی جهت تخلیه اضطراری که پوشش‌دهنده ایمنی حداکثری شهروندان بود، شناسایی گردید. در نهایت، مجموعه مباحث و بررسی‌های انجام شده مقدمه‌ای برای ایجاد یک مرکز داده پویا جهت مدیریت بحران (اعم از بحران‌های با منبع طبیعی و انسانی) بوده است. در همین راستا مدل طراحی شده در این پژوهش به‌عنوان مدلی پویا، قابلیت اصلاح، بارگذاری اطلاعات و شاخص‌های جدید و در نهایت بهینه‌سازی و روزآمد نمودن بر اساس اهداف خاص را دارا می‌باشد. به‌گونه‌ای که در صورت نیاز مسیریابی در هنگام وقوع زلزله می‌توان نسبت به فعال نمودن گروه خاصی از شاخص‌ها و در صورت وقوع آتش‌سوزی گروه دیگری از شاخص‌ها را فعال و اولویت‌دار نمود و در نهایت مسیرهای مختلفی از تخلیه را شناسایی نمود. در واقع مسیرهای شناسایی شده صرفاً نمونه‌هایی از قابلیت شناسایی مسیر توسط مدل بوده است و در حقیقت از هر موقعیتی بر روی شبکه می‌توان اقدام به شناسایی مسیر بهینه به موقعیت دیگر (روی شبکه) نمود.

۷- مراجع

[۱] حسین زاده، م.، و احمدی، ع.، و صمدی فروشانی، م. (۱۴۰۰). توسعه مدل پویای مدیریت بحران زلزله در تهران با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم (SD) مخاطرات محیط طبیعی، ۱۰(۲۷)، ۶۷-۹۰.

[۲] حکمت‌نیا، ح.، و موسوی، م.، و سعیدپور، ش.، و رسولی، م. (۱۴۰۰). بازآفرینی بافت‌های ناکارآمد شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله (مطالعه موردی: شهر سقز). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۰(۲۹)، ۸۷-۱۰۶.

[۳] نوروزی، ا. و فرهادی، م. (۱۳۹۶). سنجش آسیب‌پذیری و برنامه‌ریزی راهبردی مدیریت بحران (زلزله) در نواحی روستایی. مدیریت بحران، ۶(۱۱)، ۳۱-۴۵.

[4] Abd Rahman, N., Johari, M.S.M., & Dias, C. (2022). Exploratory study on self-awareness and self-preparedness of Malaysian rail passengers for emergency evacuations. Transportation Engineering, 7, 100105. doi:https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100105

[5] Aigwi, I.E., Filippova, O., Ingham, J., & Phipps, R. (2020). Unintended consequences of the earthquake-prone building legislation: An evaluation of two city centre regeneration strategies in New Zealand's provincial areas. International Journal of Disaster Risk Reduction, 49, 101644. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101644

[6] Aman, D.D., & Aytac, G. (2022). Multi-criteria decision making for city-scale infrastructure of post-earthquake assembly areas: Case study of Istanbul. International Journal of Disaster Risk Reduction, 67, 102668. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102668

[7] Baquedano Juliá, P., Ferreira, T.M., & Rodrigues, H. (2021). Post-earthquake fire risk assessment of historic urban areas: A scenario-based analysis applied to the Historic City Centre of Leiria, Portugal. International Journal of Disaster Risk Reduction, 60, 102287. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102287

[8] Cai, Y., Wang, X., Luo, Y., & Bao, X. (2022). Mission planning of safe approach and emergency evacuation to large slow-rotating space debris. Advances in Space Research, 69(3), 1513-1527. doi:https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.12.022

[9] Celano, F., & Dolšek, M. (2021). Fatality risk estimation for industrialized urban areas considering multi-hazard domino effects triggered by earthquakes. Reliability Engineering & System Safety, 206, 107287. doi:https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107287

[10] Di Ludovico, D., D'Ovidio, G., & Santilli, D. (2020). Post-earthquake reconstruction as an opportunity for a sustainable reorganisation of transport and urban structure. Cities, 96, 102447. doi:https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102447

[11] Ding, N., Ma, Y., Dong, D., & Wang, Y. (2021). Experiment and simulation study of emergency evacuation during violent attack in classrooms. Journal of Safety Science and Resilience, 2(4), 208-221. doi:https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2021.09.002

[12] Giuliani, F., De Falco, A., & Cutini, V. (2020). The role of urban configuration during disasters. A scenario-based methodology for the post-earthquake emergency management of Italian historic centres. Safety Science, 127, 104700. doi:https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104700

[13] Giuliani, F., De Falco, A., & Cutini, V. (2022). Rethinking earthquake-related vulnerabilities of

historic centres in Italy: Insights from the Tuscan area. Journal of Cultural Heritage, 54, 79-93. doi:https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.01.004

[14] Hosseini, O., & Maghrebi, M. (2021). Risk of fire emergency evacuation in complex construction sites: Integration of 4D-BIM, social force modeling, and fire quantitative risk assessment. Advanced Engineering Informatics, 50, 101378. doi:https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101378

[15] Huang, P., Chen, M., Chen, K., Ye, S., & Yu, L. (2022). Study on an emergency evacuation model considering information transfer and rerouting: Taking a simplified H-shape metro station hall as an example. Tunnelling and Underground Space Technology, 124, 104485. doi:https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104485

[16] Jang, S.H., Hwang, H., & Chung, J.-B. (2022). Effects of child pick-up behavior on emergency evacuations. Nuclear Engineering and Technology. doi:https://doi.org/10.1016/j.net.2022.01.035

[17] Saavedra, J., de la Cruz, G.A., & Fernández-Vicente, P. (2021). Neoliberalism of disaster and long-term recovery: The case of the 2010 earthquake in Talcahuano, Chile. International Journal of Disaster Risk Reduction, 61, 102356. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102356

[18] Sharma, S., & Rastogi, B.K. (2021). Earthquake-induced damage scenario simulation. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 23, 100585. doi:https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100585

[19] Tang, P., Xia, Q., & Wang, Y. (2019). Addressing cascading effects of earthquakes in urban areas from network perspective to improve disaster mitigation. International Journal of Disaster Risk Reduction, 35, 101065. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101065

[20] Tang, T.-Q., Yuan, X.-T., Hu, P.-C., & Wang, T. (2022). Modeling and simulating the non-emergency evacuation behavior in a hospital registration hall. Transportmetrica A Transport Science. doi:https://doi.org/10.1080/23249935.2021.1948930

[21] Tang, Y., Xia, N., Lu, Y., Varga, L., Li, Q., Chen, G., & Luo, J. (2021). BIM-based safety design for emergency evacuation of metro stations. Automation in Construction, 123, 103511. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103511

[22] Wang, X., Liu, Z., Loughney, S., Yang, Z., Wang, Y., & Wang, J. (2022). Numerical analysis and staircase layout optimisation for a Ro-Ro passenger ship during emergency evacuation. Reliability Engineering & System Safety, 217, 108056. doi:https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108056.

نشریه علمی-پژوهشی شهر تاب
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

Optimal Routing of Emergency Evacuation in Central Texture of Cities (Case Study: Region 1 of Isfahan Municipality)

Hamidreza Baharlouie Yancheshmeh[1] ; Hassan Ahmadi[2] ; Saber Mohammadpour[3]

1- Master of Science Urban Planning, Department of Urbanism, University of Guilan, Rasht, Iran
2- Associate Professor of Urbanism Department, University of Guilan, Rasht, Iran
3- Assistant Professor of Urbanism Department, University of Guilan, Rasht, Iran

Abtract

Emergency evacuation and identification of optimal evacuation routes is one of the basic dimensions of crisis management that different countries pay attention to it, according to their level of development and foresight. Due to the study gap and insufficient attention of the country's urban management system and the weakness of studies and research in this field, this paper identifies the optimal routes of emergency evacuation in Region 1 of Isfahan Municipality as one of the identity-historical centers and commercial-tourism center of the city. Isfahan has made efforts (in the form of creating a dynamic network that can be used for various types of human-natural crises). In this regard, six main indicators of building quality, population density, building density, building age, path width and path slope were calculated based on scientific background and availability of required data. After that, 32 streets were selected based on the maximum width and maximum coverage of the area, and the status of the mentioned indicators for these streets and the area located within a radius of 100 meters was examined. Then, the mentioned indicators were weighted in the network analysis system and SuperDecision software. After creating the network, the identification of the optimal path based on each of the indicators was tested and 6 unique paths were tested. Based on each of the research indicators, they were identified. Finally, by overlaying the layers, the safest route to emergency evacuation area was identified.

Key Words: Routing, Crisis Management, Downtown, Urban population, Isfahan

* Corresponding author: Hamidreza Baharlouie Yancheshmeh, Iran; Email *hamed@guilan.ac.ir*