امدادرسانی در مدیریت بحران مبتنی بر تحلیل شبکه‌های پیچیده براساس نگاشت میدان‌های شهر قم

فاطمه عباسی[1]، شروین سوری[2] و جواد محمدزاده[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۳۰

چکیده

زمینه و هدف: در هر برهه‌ای از زمان و برای هر کشور، مدیریت بحران نقش عمده‌ای در مواقع حساس و ضروری ایفا می‌کند. هدف این پژوهش بررسی شیوه استفاده از فنون مبتنی بر شبکه‌های پیچیده در شرایط بحرانی و ایجاد گراف از راه‌های ارتباطی بین میدان‌های اصلی شهرها است. این پژوهش سعی دارد تا با بررسی بسته شدن یا از میان رفتن هریک از گره‌های اصلی در گراف، نسبت به تحلیل درست نقشه‌های شهری به شکلی نوین اقدام کند.

روش: روش استفاده شده در این پژوهش پیمایش و پیاده‌سازی یک گراف پیچیده براساس نقشه شهر قم است که به‌دلیل پیچیدگی شهری گزینه مناسبی برای پایلوت یک شبکه پیچیده است. در این پژوهش از نرم‌افزار «سایتواسکیپ۴» در فرایند تحلیل نقشه شهر و همچنین بررسی گراف نگاشت شده از روی نقشه، استفاده شد. داده‌های پژوهش بر مبنای نقشه شهری قم، اطلاعات میادین و وضعیت شهری است که به‌صورت مقطعی جمع‌آوری شد.

یافته‌ها: براساس روش بکار گرفته شده در این پژوهش، میدان‌هایی که نقش کلیدی در مدیریت بحران شهر قم دارند، شناسایی و معرفی شد تا در مواقع ضروری بتوان با درنظرگرفتن اولویت این میدان‌ها، عملیات موثرتری برای کنترل بحران اجرا کرد.

نتایج: با توجه به یافته‌های پژوهش، می‌توان دریافت که روش بکار گرفته شده برای کنترل و مدیریت بحران میدان‌های اصلی شهرها را می‌توان برای خطوط مترو، لوله‌های آبرسانی و گازرسانی، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، حمل‌ونقل و از این دست نیز مورد استفاده قرار داد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت بحران، میدان‌های قم، شبکه‌های پیچیده، نگاشت نقشه مبتنی بر گراف.

❑ **استناد:** عباسی، فاطمه؛ سوری، شروین؛ محمدزاده، جواد (زمستان، ۱۳۹۷). امدادرسانی در مدیریت بحران مبتنی بر تحلیل شبکه‌های پیچیده براساس نگاشت میدان‌های شهر قم. *فصلنامه پژوهش‌های مدیریت انتظامی*، ۱۳(۴)، ۶۱۵-۶۳۸.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار، دانشکده مکاترونیک، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. رایانامه:fatemeh.abbasi13@hotmail.com

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار، دانشکده مکاترونیک، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. رایانامه: shervin.souri@hotmail.com

۳. استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مکاترونیک، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: j.mohammadzadeh@kiau.ac.ir

4. Cytoscape

مقدمه

با توجه به این موضوع که از ۴۰ بلایای طبیعی ثبت شده ۳۰ نوع آن در ایران وجود دارد، به‌عنوان یکی از ۱۰ کشور حادثه‌خیز جهان قلمداد می‌شود و همچنین این مسئله که از ۶۷۸ شهر ایران ۶۶۰ شهر روی کمربند زلزله هستند، اهمیت مدیریت بحران را گوشزد می‌کند (عادلی، ۱۳۹۱، ص۳). یکی از اساسی‌ترین روش‌های مدیریت بحران‌های شهری، مکان‌یابی و ارزیابی استقرار تسهیلات عمومی است که می‌تواند یکی از اصلی‌ترین سیاست‌های اتخاذ شده در شرایط بحرانی باشد (حسینی، ۱۳۸۵، ص ۲) و (علوی، سالاروند، احمدآبادی، فرخی سیس و بسحاق، ۱۳۹۳، ص ۳). مدیریت بحران، فرایند برنامه‌ریزی مسئولان براساس مشاهده و تجزیه و تحلیل جامع است که به‌واسطه ابزارهای موجود صورت می‌گیرد و از وقوع بحران پیشگیری می‌کند. در صورت بروز بحران، مسئولان برای کاهش آثار خسارت، به کمک امدادرسانی سریع و بهبود اوضاع تا رسیدن به سطح وضعیت عادی تلاش می‌کنند. در بحث مدیریت بحران، غافلگیر نشدن و جلوگیری از ایجاد شوک بسیار اهمیت دارد. یکی از راه‌های اصلی پیشگیری از غافلگیری، پیش‌بینی نقاط ضربه‌پذیر و ارائه راهکار متناسب با گلوگاه‌ها است. راهکار مدیریت بحرانی هنگامی می‌تواند اثربخشی داشته باشد که براساس حقایق قطعی و شناخت جامع از محیط ارائه شده باشد (طوسی، ۱۳۹۱، ص ۳). به‌طورکلی، انتخاب مکان مناسب برای ایستگاه‌های امدادرسانی اعم از آتش نشانی، هلال احمر، بسیج و اورژانس، مزایای زیادی را به همراه خواهد داشت که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: کوتاه‌شدن فاصله میان ایستگاه‌های امدادرسانی، واکنش موثرتری ایجاد خواهد کرد؛ حداقل هم‌پوشانی ایستگاه‌های امدادی برای استفاده بهینه از تمام منابع؛ کمک به تعیین تعداد مناسب و مورد لزوم ایستگاه امدادی در هر منطقه با در نظر گرفتن هزینه – فایده و کم‌شدن خسارت‌های ناشی از بحران و کاهش هزینه‌های عملیاتی و ستادی ایستگاه‌ها (رمضانی، ۱۳۹۳، ص ۲).

به‌دلیل اهمیت مذهبی و سیاسی شهر قم، این پژوهش در نظر دارد تا با نگاشت نقشه شهر به شکل یک گراف پیچیده وضعیت میدان‌های شهر را در قالب یک شبکه به هم مرتبط مورد بررسی قرار دهد و با استناد به ساختار شبکه پیچیده بر روی نقاط ضربه‌پذیر، برای مشکل امدادرسانی و انسداد راه‌های شهر در زمان وقوع بحران راهکار ارائه کند. بنابراین پژوهش حاضر در نظر دارد

تا با پاسخگویی به این پرسش‌ها به امدادرسانی هرچه بهتر از طریق میدان‌های کلیدی شهر در زمان‌های بحرانی، کمک کند:

۱. در صورت از دست‌دادن کدام‌یک از گره‌های گراف (میدان‌ها) امدادرسانی دچار تداخل می‌شود (تصادم اتفاق می‌افتد)؟
۲. کدامیک از میدان‌های شهر، کوتاه‌ترین مسیر به سایر میدان‌ها را دارند و یگان‌های امدادرسان از کدام میدان‌ها می‌توانند سریع‌ترین امدادرسانی را داشته باشند؟
۳. بهترین محل‌های استقرار ایستگاه‌های امدادرسانی در کدام میدان‌های شهر هستند؟
۴. کدام مسیرها در صورت مسدودشدن، مشکلات فراوانی را برای امدادرسانی و انجام عملیات پدافندی ایجاد می‌کنند؟

مبانی نظری

در تمام بحران‌هایی که صورت می‌گیرد، بیست و چهار ساعت اول رخداد، تعیین‌کننده قابلیت برای مدیریت اوضاع جدید است و در صورتی که آمادگی و تحلیل اولیه از وضعیت شهر صورت گرفته باشد، فرایند کنترل اوضاع، تسهیل می‌شود (اسکندری، ۱۳۹۱، ص ۱۷). به شکل کلی مدیریت بحران را می‌توان در این موارد خلاصه کرد: ۱- پیش‌بینی بحران‌ها و مخاطرات؛ ۲- پیشگیری از بحران؛ ۳- مهار بحران و ۴- بازگرداندن شرایط به حالت عادی (رمضانی، ۱۳۹۳، ص ۲).

برای به‌دست آوردن گلوگاه‌ها و نقاط ضربه‌پذیر سیستم مورد نظر، لازم است آن را به‌خوبی مدل‌سازی کرد. در دهه اخیر از علوم شبکه برای مدل‌سازی سیستم‌های بزرگ استفاده شده است. در نظریه شبکه‌ها، شبکه پیچیده به گرافی (شبکه) با ویژگی‌های توپولوژیک غیربدیهی گفته می‌شود که این ویژگی‌ها در شبکه‌ها یا گراف‌های ساده مانند گراف‌های تصادفی هرگز رخ نمی‌دهند، اما اغلب در مدل‌سازی سیستم‌های واقعی رخ می‌دهند (کیم و ویلهلم[1]، ۲۰۰۸، ص ۵). به‌تازگی، مطالعه شبکه‌های پیچیده به مطالعه شبکه‌ای از شبکه‌ها تبدیل شده است (بولدیرو، پرشانی، پاول، استنلی و هاولین[2]، ۲۰۱۰، ص ۴). این حوزه از علم به سرعت در حال توسعه

1. Kim & Wilhelm
2. Buldyrev, Parshani, Paul, Stanley & Havlin

است و بسیاری از پژوهشگران در حوزه‌های ریاضیات، فیزیک، زیست‌شناسی، آب و هوا، رایانه، ترافیک، بازاریابی، ارتباطات، امنیت، و تجزیه و تحلیل شبکه‌های اجتماعی درباره شبکه‌های پیچیده پژوهش می‌کنند (موتر و آلبرت[1]، ۲۰۱۲، ص ۴).

پژوهش‌گران، شبکه‌های بیولوژیک و شبکه‌های اجتماعی را بر مبنای یک شبکه پیچیده مبتنی بر گراف مورد بررسی قرار می‌دهند و با شناسایی گره‌های بحرانی به درک درستی از رفتار این شبکه‌ها می‌پردازند. این درک به وجود آمده در اجرای برنامه‌های حفاظت، مداخله و کاهش آسیب‌پذیری کمک شایانی می‌کند. برای مثال یک مهاجم که هدف آن اختلال و قطع ارتباط در شبکه است مورد بررسی قرار می‌گیرد. با استناد به رفتار مهاجم، حمله‌کننده گره‌هایی که کمترین ارتباط را با یکدیگر دارا هستند، حذف کرده و گره‌های محدودتر و اساسی‌تر را مورد هدف قرار می‌دهد. پژوهشگران با بررسی رفتار مهاجم و در نظر گرفتن توپولوژی شبکه‌ها به‌صورت یک گراف خطی و همچنین استفاده از فراروش خوشه‌بندی طیفی، توانستند راهکار مناسبی را برای پیش‌بینی رفتار مهاجم ارائه کنند (فاراموندی، اولیوا، پاسوچی، پنزیری و ستولا[2]، ۲۰۱۷، ص ۱). در سال ۲۰۱۵، پژوهشگران برای بررسی اهمیت شناسایی گره‌های بحرانی دریافتند که حفاظت از سیستم‌های مبتنی بر شبکه‌های پیچیده با شناسایی درست گره‌های بحرانی امکان‌پذیر است. با از دست دادن گره‌های بحرانی توانایی یک سیستم کاهش پیدا کرده و یا به حداقل خواهد رسید. این کاهش توانایی منجر به پراکنده شدن و از دست رفتن موجودیت‌های یک سیستم مبتنی بر شبکه‌های پیچیده خواهد شد. همچنین متوجه شدند که با بررسی سه معیار همگنی، سرعت انتشار و مقیاس انتشار در الگوریتم‌های شناسایی نقاط بحرانی می‌توان مشکلات ناشی از شناسایی آن نقاط را به حداقل رساند و نتایج مطلوب را ارائه کرد (ژین چن[3]، ۲۰۱۵، ص ۷). یکی از حوزه‌های کاری علوم شبکه‌ها، مدل‌سازی شهرهای بزرگ است. اولین بار این روش در سامانه‌های حمل‌ونقل شهری توسط لین و فنگ[4] در شبکه توپولوژی پیچیده انجام شد که در آن پژوهشگران به حمل‌ونقل شهری به‌عنوان یک عامل راهبردی برای زنده ماندن یک کشور در رقابت جهانی اشاره

1. Motter & Albert
2. Faramondi, Oliva, Pascucci, Panzieri & Setola
3. Xin Chen
4. Lin & Yifang

کرده‌اند (لین و یی فنگ، ۲۰۱۳، ص ۱).

مدیریت بحران در ابتدا توسط «رابرت مک فامارا» (وزیر دفاع دولت کندی) در هنگام منازعات موشکی میان آمریکا و کوبا مطرح شد؛ او معتقد بود که راهبرد اصلی آمریکا در این شرایط باید مدیریت بحران باشد. مدیریت بحران در حقیقت فرایند برنامه‌ریزی، عملکرد و اقدامات جزئی است که باید توسط دولت، نهادهای خصوصی و مردم صورت پذیرد (نوری، خزایی، ۱۳۹۶، ص ۶).

در هنگام وقوع هر نوع بحران شهری ایجاد ارتباطات بین نقش‌آفرینان بحران باید به‌شکل درست و علمی مورد بررسی قرار گیرد؛ لزوم ایجاد ارتباطات درست در انواع بحران‌ها می‌تواند از بسیاری از مشکلات پس از بحران جلوگیری کند. این‌که برخی از بحران‌های طبیعی و غیرطبیعی از قالب بحران به قالب فاجعه مهاجرت می‌کند، به‌دلیل نوع سازماندهی جوامع هدف است (تشکری، ۱۳۹۰، ص ۲ و ۳). در هنگام وقوع بحران سه عامل کلیدی مورد اهمیت است اول اهداف مطلوب، دوم محدودیت و فشار زمانی برای تصمیم‌گیری و سوم غافلگیری و ناآگاهی؛ این موارد می‌تواند تصمیم‌گیری درست را در شرایط ناهنجار مختل کند. لازم به توضیح است با آگاهی جامع نسبت به وضعیت موجود می‌توان غافلگیری را به حداقل رساند و در محدودیت زمانی موجود تصمیم درستی را برای انتخاب اهداف درست بکار بست (خان‌محمدی، معمارزاده و وفادار، ۱۳۸۹ ص ۳).

یکی از کلیدی‌ترین مسائل ارتباطی در مدیریت بحران بازشدن راه‌ها برای انجام فعالیت‌های امدادی است، که این مهم با توجه به شرح وظایفی مانند روان‌سازی ترافیک و بازکردن مسیرها، به عهده یگان‌های نیروی انتظامی است و این نیروها باید براساس اولویت و اهمیت مسیرهای کلیدی، نسبت به این امر مهم انجام وظیفه کنند (غلام‌حسینی، ۱۳۹۱، ص ۳)؛ یکی از اصلی‌ترین نیازهای پلیس ایجاد واحدهای سیار اطلاع‌رسانی به مردم در هنگام وقوع بحران است؛ کشور ژاپن به‌عنوان یک تجربه موفق در برنامه‌ریزی و مدیریت بحران ایفای نقش کرده است و پلیس می‌تواند با بازشدن مسیرهای اصلی شهر این مهم را به انجام برساند (کمالی، ۱۳۹۵، ص ۲۳)؛ همچنین هریک از مراکزی که به‌عنوان واحد مدیریت و کنترل بحران در منطقه قرار می‌گیرند حاوی منابع

مورد نیاز نیروهای امدادی و انتظامی شامل لوازم دارویی و درمانی، مواد غذایی، آب، سوخت، اسلحه و چادر هستند که باید در سریع‌ترین زمان ممکن در اختیار یگان‌ها قرار گیرند و این مهم نیازمند تصمیم‌گیری درست برای استقرار این مراکز است (عامریون، تیمورزاده، دلاوری، سیرتی نیر، ۱۳۸۷، ص ۵).

امینی طوسی، نادرنژاد و نجار وظیفه دان (۱۳۸۶) در پژوهش «کاربرد سامانه اطلاعات مکانی در مدیریت حمل‌ونقل و ترافیک» بیان کرده‌اند که تلفیق فناوری اطلاعات و به خصوص شبکه پیچیده پویا با مدیریت شهری و مدیریت بحران را می‌توان به‌عنوان یک سامانه نرم‌افزاری در نظر گرفت که در شرایط مختلف به یاری مدیران خواهد آمد. صابریان، ملک و همراه (۱۳۹۱) در پژوهش «ارایه طبقه‌بندی از انواع گراف دوگان و بکارگیری آن‌ها در بهبود آنالیزهای مسیریابی»، به بررسی سیستم‌های اطلاعات مکانی پرداخته و سیستم‌های اطلاعات مکانی را اولین عامل نگاشت صحیح مختصات شهر در قالب یک شبکه پیچیده معرفی کرده‌اند. نرم‌افزارهای «جی.آی.اس[1]» یکی از نرم‌افزارهای مرسوم در مدیریت شهری است و لزوم استفاده از آن امری اجتناب‌ناپذیر است. نرم‌افزار «جی.آی.اس» مختصات شهری را به‌عنوان یک شبکه در اختیار کاربران سیستم قرار می‌دهد و کاربران با تحلیل نظریه گراف می‌توانند وضعیت شهر را به‌درستی درک کنند، این امر منجر به تولید سیستم‌های اطلاعات مکانی شده است. فرجی سبکبار (۱۳۹۳) در پژوهش «ارائه مدل پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر اهواز با استفاده از مدل مرتب‌سازی گزینه‌ها مبتنی بر پروفایل «اس.اس.پی»» تلفیق علم مدیریت بحران با علم رایانه را از مسائل اساسی مورد بررسی در جهان می‌دانند. بازرگان و امیرفخریان (۱۳۹۶) در یک پژوهش موردی با عنوان «مسیریابی بهینهٔ خودروهای امدادی در زمان وقوع حوادث با استفاده از الگوریتم مسیریابی در جی.آی.اس»، از مدل گراف و شبکه برای مسیریابی بهینه خودروهای امدادی در شهر مشهد بهره برده‌اند. در پژوهش یادشده با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر، توانسته‌اند مسیرهای مناسب حرکت بهینه‌تر خودروهای امدادی را یافته و آن‌ها را به‌سمت بهترین راه مسیردهی کنند. نکته قابل تامل در پژوهش یادشده، بررسی راه‌های مناسب در شرایطی که مسیرها سالم هستند و همچنین بررسی

1. GIS

آن در شرایطی که بهترین مسیرها از بین رفته باشند، بررسی شده است. البته با نگاشت صحیح شهر در قالب یک شبکه پیچیده پویا می‌توان به تحلیل سریع‌تر و پویاتری دست یافت. اندرسون، فرنکن و هلرویک[1] (۲۰۰۶) در پژوهشی باعنوان «شبکه پیچیده رویکردی برای توسعه شهری» لزوم استفاده از علم شبکه‌های پیچیده در فرایندهای مربوط به تحلیل و بررسی شهرها را بیان کرده‌اند. پژوهشگران یادشده معتقدند که ساختارهای جغرافیایی باید در قالب شبکه‌های پیچیده با مقیاس بزرگ مورد بررسی قرار گیرند. این روش از مدل‌سازی، یک ساختار پویا را به ارمغان خواهد آورد که با ترکیب مدل‌سازی سلولی با قوانین «بزرگ مقیاس‌ها»[2] می‌توان خروجی‌های بسیار مناسبی را از گره‌های بحرانی به‌دست آورد. استفاده از شبکه‌های پیچیده پویا در مدل‌سازی جغرافیایی شهری دو امکان کاربردی را برای ما فراهم خواهد کرد، اول ساختاری سلسله‌مراتبی که می‌تواند به‌عنوان یک ساختار تکاملی بسیار کاربردی باشد و دوم بهبود کیفیت پیش‌بینی‌های صورت گرفته از رفتار شبکه‌های شهری که برای کاربردهای اجرایی و ستادی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سان، ژائو یانگ و چانگ[3] (۲۰۱۵) در پژوهشی باعنوان «آنالیز آسیب‌پذیری شبکه حمل‌ونقل ریلی شهر شانگهای» به بررسی این نوع سیستم حمل‌ونقل پرداخته و نتیجه‌گیری کرده‌اند که حمل‌ونقل ریلی در شهرهای بزرگ چین به‌سرعت در حال توسعه است و تبدیل به یک جزء کلیدی در حمل‌ونقل شهری شده است. با این وجود، امنیت و قابلیت اطمینان در عمل، مسئله قابل توجهی است که نمی‌توان آن را نادیده گرفت. در پژوهش یادشده، آسیب‌پذیری‌های شبکه و ایستگاه‌های سیستم حمل‌ونقل شهری براساس نظریه‌های شبکه پیچیده و گراف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. یک مدل ارزیابی آسیب‌پذیری براساس شبکه مترو و جریان مسافر پیشنهاد شده است و با مطالعه موردی مترو شانگهای و داده‌های ترافیکی شبکه‌ای و واقعی در تمام جهان، بررسی انجام شده است. درنهایت مشخص شد که شبکه حمل‌ونقل ریلی شهری نسبت به حملات تصادفی تا حدود زیادی قوی است، اما آسیب‌پذیرترین حملات، مبتنی بر درجه گره و

1. Andersson, Frenken, & Hellervik
2. Big Scales
3. Sun, Zhao Yuhan & Chang

بالاترین حملات مبتنی بر گره متقابل است. ایستگاه‌های مترو با درجه بیشتر در حفظ اندازه شبکه اهمیت بیشتری دارند، و همچنین ایستگاه‌های بین گره‌های بالا برای دسترسی به شبکه و اتصال به مقصد بسیار مهم هستند.

ژی‌فنگ، تیان یانگ، ژنگ و هویی[1] (۲۰۱۵) در پژوهشی باعنوان «راهبردی برای کنترل خطی شبکه‌های پیچیده با توجه به اهمیت کنترل گره‌های یک شبکه در مدل‌های مختلف»، به مسئله شبکه‌های پیچیده براساس نظریه کنترل خطی سیستم‌ها پرداختند. پژوهش ایشان نشان می‌دهد، کنترل جوامع تحت تاثیر ارتباطات میان گره‌ها یا اجزای آن جامعه است. به همین منظور می‌توان در دیدگاه شبکه‌ای با کاهش گره‌ها یا اجزا کم‌اهمیت، تمرکز را بر گره‌های دارای ارتباطات فراوان بالا برد و با استفاده از بررسی موردی شبکه‌های پیچیده بر روی گره‌های کلیدی و مرتب‌سازی گره‌ها براساس درجه اهمیت و هزینه، کنترل مطلق بر رفتار یک شبکه را کاهش داد.

روش پژوهش

رویکرد اجرای پژوهش حاضر، کمی و ازنظر هدف، کاربردی است. شیوه اجرای پژوهش استنتاجی و از نظر جمع‌آوری داده‌ها، پیمایشی است. این پژوهش از نظر زمان، مقطعی محسوب می‌شود. جامعه آماری پژوهش محدود به نقشه شهری قم و میدان‌های موجود در آن است. کلیه داده‌های استفاده شده در پژوهش، مبتنی بر خروجی نرم‌افزار سایتواسکیپ[2] و براساس ورود اطلاعات از نقشه شهری قم است. مفاهیم اولیه و معیارهای مورد بررسی که در این مقاله به‌کار برده شده است، به‌شرح زیر هستند:

۱. n: تعداد گره (راس)های موجود در شبکه؛

۲. u, v, w: هرکدام معرف یک گره در شبکه هستند؛

۳. e_v: تعداد جفت‌هایی که در همسایگی گره v به این گره متصل هستند؛

۴. η: معرف درجه شبکه است؛

1. Xiufeng, Tianyang, Zhang & Huia

2. Cytoscape

۵. $L(u,v)$: کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره u و v را نشان می‌دهد؛

۶. a_{uv}: وزن اتصال بین دو گره u و v؛

۷. میانگین طول کوتاه‌ترین مسیر[1]: کوتاه‌ترین مسیر بین هر زوج گره در شبکه را درنظر بگیرید. در این حالت مقدار متوسط کوتاه‌ترین طول مسیر در شبکه را میانگین طول کوتاه‌ترین مسیر آن شبکه می‌گویند.

۸. گریز از مرکز گره V: فاصله دورترین مسیر ساده بدون دور هر گره در شبکه از گره V را خروج از مرکز V گویند.

۹. قطر شبکه[2]: بزرگترین اندازه گریز از مرکز گره‌های شبکه، قطر شبکه نام دارد.

۱۰. شعاع شبکه: به کوچک‌ترین اندازه گریز از مرکز گره‌های شبکه، شعاع شبکه گویند.

۱۱. اتصال گره[3] v: مجموع وزنی تمام همسایگان گره V از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. همسایگان گره V مجموعه تمام گره‌هایی است که به گره V نزدیک و شامل خود گره V هستند. در شبکه بدون وزن، اتصال گره V از مجموع تعداد همسایگانی که به‌طور مستقیم به V متصل هستند به‌دست می‌آید.

$$k_v = \sum_{v \neq u} a_{vu} \qquad (۱)$$

۱۲. چگالی شبکه[4]: تعداد کل اتصالات موجود در شبکه تقسیم بر تعداد کل اتصالات ممکن در یک شبکه کامل (که بین هر دو گره حتماً اتصالی موجود است) را چگالی شبکه می‌نامند. واضح است هرچه شبکه‌ای به شبکه کامل نزدیک‌تر باشد، چگال‌تر است. چگالی شبکه را می‌توان از رابطه ۲ به‌دست آورد.

$$N_d = \frac{\sum_{i} \sum_{i+j} a_{ij}}{\frac{n(n-1)}{2}} \qquad (۲)$$

۱۳. مرکزیت شبکه[5]: مرکزیت از درجه گره‌های مختلف در شبکه به‌دست می‌آید. یعنی، چه

---

1. Average Shortest Paths Length (ASPL)
2. Network Diameter (D)
3. Connectivity of Node (k_v))
4. Network Density (N_d)
5. Network centrality (N_c)

تعداد گره‌ها با یک گره مجاور هستند؟ مرکزیت یک شبکه از رابطه زیر به‌دست می‌آید. هرچه ساختار و توپولوژی یک شبکه بیشتر به ستاره شبیه باشد، یعنی از یک گره به تمامی گره‌ها اتصال وجود داشته باشد، N_c به عدد یک نزدیک‌تر و هرچه شبکه اتصالات کمتری داشته باشد، N_c به عدد صفر نزدیک‌تر می‌شود. مرکزیت شبکه از رابطه ۳ به‌دست می‌آید:

$$N_c = \frac{n}{n-2}\left(\frac{n}{n-1} - N_d\right) \qquad (۳)$$

۱۴. ناهمگونی شبکه[1]: ضریب واریانس توزیع اتصالات که به‌وسیله رابطه زیر به‌دست می‌آید، ناهمگونی شبکه نامیده می‌شود. این مقدار روند یک شبکه که گره‌هایی با اتصالات بسیار زیاد دارد را نشان می‌دهد. ناهمگونی شبکه از رابطه ۴ به‌دست می‌آید:

$$N_h = \frac{\sqrt{\text{var}\,iance(k)}}{mean(k)} \qquad (۴)$$

۱۵. ضریب خوشه‌بندی[2] گره v: روند جریان گره‌ها در خوشه را نشان می‌دهد که شواهد نشان می‌دهد در دنیای واقعی گره‌ها تمایل دارند به‌سمت خوشه‌شدن با تراکم بالا پیش بروند. ضریب خوشه‌بندی به‌وسیله رابطه ۵ به‌دست می‌آید:

$$C_v = \frac{2e_v}{\left(k_v\left(k_v - 1\right)\right)} \qquad (۵)$$

۱۶. مرکزیت استرس گره[3] v: تعدادِ کوتاه‌ترین مسیرهایی است که از گره می‌گذرند.

۱۷. مرکزیت بینابینی گره[4] v: مرکزیت بینابینی از رابطه ۶ به‌دست می‌آید که در آن u و w گره‌ها، نشان‌دهنده تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای از u به w است که از v می‌گذرد. در این صورت گره v می‌تواند کنترل ارتباط بین سایر گره‌ها را در دست بگیرد و یا حتی می‌تواند ارتباط بین بقیه گره‌ها را حذف کند.

$$C_b(v) = \sum_{u \neq w \neq v} \sigma_{uw}(v) \qquad (۶)$$

---

1. Network Heterogeneity (N_h)
2. Clustering Coefficient (C_v)
3. Stress Centrality ($C_s(v)$)
4. Betweenness Centrality ($C_b(v)$)

۱۸. مرکزیت نزدیکی[1] گره v: این مفهوم به این معنی است که مجموع فاصله یک گره از گره دیگر در مقایسه با بقیه گره‌ها کمتر است. در این حالت گره در مرکز توجه سایر گره‌ها قرار دارد و نزدیکی فاصله سبب می‌شود تا گره بتواند سریع تر با سایر گره‌ها تعامل داشته باشد. رابطه ۷ محاسبه مرکزیت نزدیکی گره را نشان می‌دهد، به این صورت که در آن n_L نشان دهنده تعداد گره‌هایی است که از گره v قابل دسترسی هستند و $L(v,u)$ بیانگر آن آن گره‌ها است (محمدزاده، گنج تابش و نوروزی دالینی[2]، ۲۰۱۴. ص ۸-۱۰) .

$$C_c(v) = \frac{n_L}{\sum_{u \in v} L(v,u)} \qquad (۷)$$

در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار سایتواسکیپ، اطلاعات نقشه شهر قم که از پایگاه‌اطلاع‌رسانی شهرداری قم دریافت شده است، به گراف، نگاشت شده است. کلیه داده‌های استفاده شده در نرم‌افزار از روی نقشه این شهر جمع‌آوری شد. نرم‌افزار سایتواسکیپ یک پلت‌فرم متن باز برای نمایش‌دادن شبکه تعامل مولکولی و مسیرهای بیولوژیکی و یکپارچه‌سازی این شبکه‌ها با حاشیه‌نویسی، پروفایل بیان ژن و دیگر حالت‌های داده است. اگرچه سایتواسکیپ در اصل برای پژوهش‌های بیولوژیکی طراحی شده، اما در حال حاضر به‌عنوان یک پلت‌فرم عمومی برای تجزیه و تحلیل شبکه‌های پیچیده و نمایش آن‌ها به‌کار می‌رود. توزیع هسته سایتواسکیپ یک مجموعه اولیه از امکانات را برای ادغام داده‌ها، تجزیه و تحلیل، و نمایش آن‌ها فراهم می‌کند. (بی‌نام، ۲۰۰۱). همچنین فرایندهای نگاشت گراف به‌شرح زیر انجام شد:

۱. انتخاب گره‌های گراف از روی نقشه شهر؛
۲. ثبت اطلاعات گره‌ها در نرم‌افزار سایتواسکیپ؛
۳. ترسیم گراف به‌دست آمده از نقشه شهر؛
۴. نمایش خروجی کوتاه‌ترین مسیرها؛
۵. نمایش خروجی تصادم از دست رفتن گره‌ها؛

---

1. Closeness Centrality ($C_c(v)$)
2. Mohammadzadeh, Ganjtabesh & Nowzari-Dalini

۶. نمایش خروجی گره‌های با بیشترین یال؛
۷. بررسی کلی گراف پیچیده حاصل شده؛
۸. تحلیل نتایج و تطابق آن با نقشه اصلی؛
۹. نتیجه‌گیری و مستندسازی فرایندهای اجرا شده.

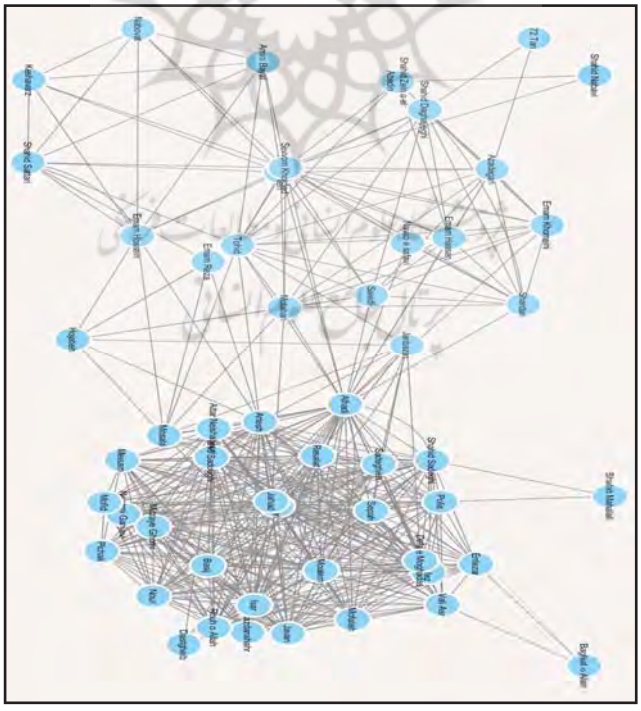
یافته‌ها

تعریف مسئله و انتخاب نقشه مورد نظر برای تحلیل: در این پژوهش یک سیستم امدادرسانی مدنظر است که در این سیستم، تعدادی مرکز ارائه خدمات در محل‌های مختلف شهر بنا می‌شود تا نیازهای مردم بحران‌دیده را برطرف کرده و به کمک‌رسانی بپردازد. با در نظر گرفتن عدم قطعیت و محدودیت‌های منابع در شرایط بحرانی، هدف ما تحلیل ارتباط بین میدان‌ها و درنهایت ارائه پیشنهاد برای استقرار بهتر ایستگاه‌ها و بهینه‌سازی خدمات‌رسانی برای افراد مورد نیاز است. شهر قم به‌دلیل دارابودن پیچیدگی خیابان‌ها و تعدد میدان‌ها، به‌عنوان مدل پژوهش انتخاب شد و نقشه آن مطابق تصویر ۱، به یک گراف، نگاشت می‌شود. در حقیقت هریک از میدان‌ها به‌عنوان یک گره در قالب تصویر ۲ نگاشت و قابل نمایش است که درک مفهومی از تحلیل مبتنی بر گراف را فراهم می‌آورد. با استفاده از تحلیل نرم‌افزار، مقادیر به‌شرح جدول ۱ به‌دست آمد.

جدول ۱. مقادیر تحلیلی نرم‌افزار از شبکه

ضریب خوشه‌بندی	۰/۸۱۴	تعداد یال‌ها	۴۸۸
تعداد مولفه‌ها	۱	تعداد گره‌ها	۵۴
قطر شبکه	۴	چگالی شبکه	۰/۳۳۱
شعاع شبکه	۲	ناهمگونی شبکه	۰/۵۵۹
مرکزیت شبکه	۰/۴۲۱	گره‌های مجزا	۰
کوتاه‌ترین مسیر	۲۸۶۲ (٪۱۰۰)	تعداد حلقه‌ها	۰
مشخصه طول مسیر	۱/۹۰۷	جفت گره‌های چند لبه‌ای	۱۵
میانگین تعداد همسایگی‌ها	۱۷/۵۱۹	زمان تحلیل	۰/۰۲

شکل ۱. نقشه قائم الزاویه شهر قم



شکل ۲. گراف نگاشت میدان‌های شهر قم

باتوجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان به پرسش‌هایی پژوهش، پاسخ داد:

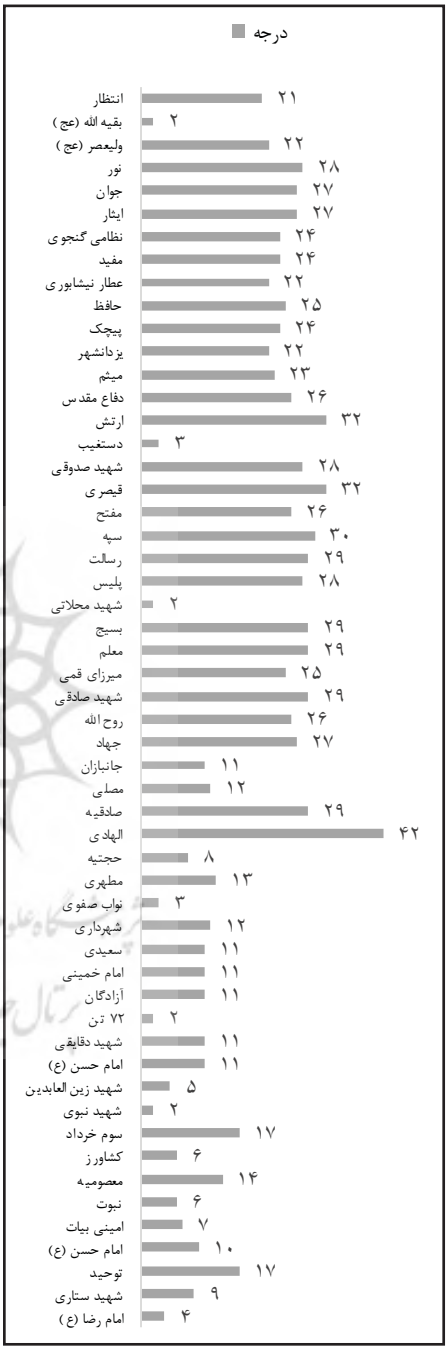
تحلیل گراف به‌دست آمده از نقشه شهری قم

در شکل ۲، وضعیت ارتباط بین نقاط اصلی شهری (میدان‌های اصلی شهر) نمایش داده شده است که می‌تواند خروجی کلی گراف از شهر قم باشد. این گراف اولین خروجی برای آغاز فرایند تحلیل است و می‌تواند دید کلی از نگاشت نقشه‌های قائم‌الزاویه را ایجاد کند. لازم به توضیح است که با ورود اطلاعات در تحلیل اولیه، پژوهشگر می‌تواند کلیه پاسخ‌ها و خروجی‌های خود را از نرم‌افزار دریافت کرده و براساس آن‌ها به سوالات طرح پژوهشی پاسخ دهد. مطابق شکل ۳ مشخص می‌شود میدان‌های اصلی شهر که درصورت ازدست‌رفتن آن‌ها فرایند امدادرسانی دچار مشکل می‌شود (و البته این موضوع با توجه به گراف‌های مربوطه به‌وضوح مشخص است) به‌ترتیب براساس اولویت مرکزیت شبکه در کل گراف (شهر قم) به‌شرح زیر است: میدان الهادی با بالاترین سطح مرکزیت شبکه، میدان ارتش، میدان سوم خرداد و میدان توحید.

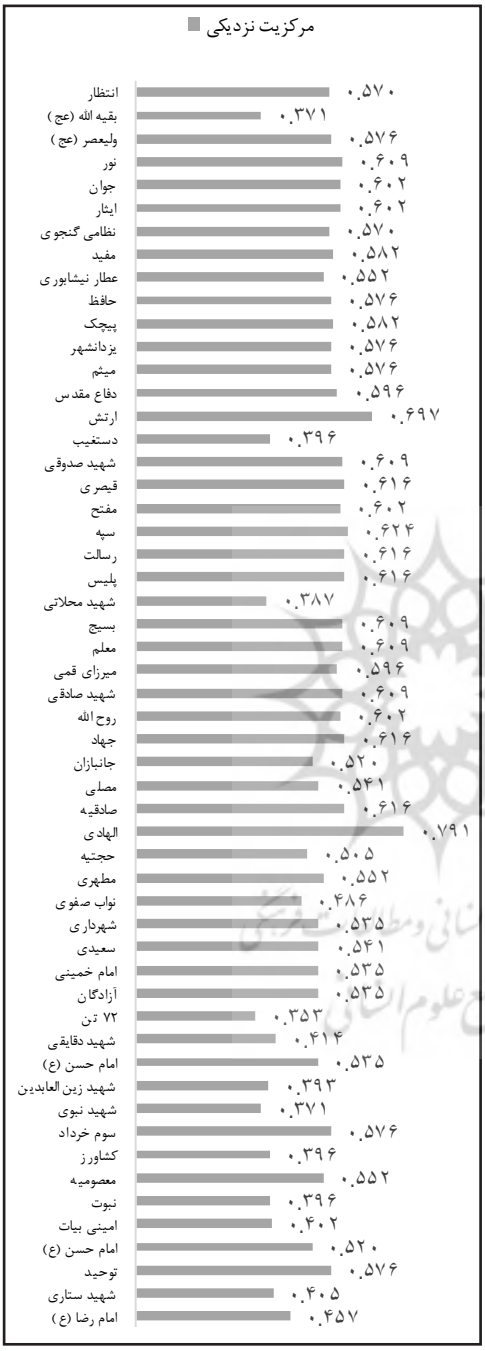
میزان مرکزیت این میدان‌ها مشخص می‌کند که بالاترین تعداد میدان‌ها مجاور با هریک از این میدان‌ها، به‌ترتیب اولویت، بیشترین تعداد مجاورت در میدان‌ها هستند و درصورتی‌که این میدان‌ها از دست برود، بخش عمده‌ای از ارتباط با سایر بخش‌های شهر دچار مشکل می‌شود. در زمان وقوع بحران، یکی از فرایندهای اساسی مورد توجه، امدادرسانی از سایر شهرها به شهر بحران‌دیده است؛ مطابق نقشه شهر قم، سه راه اصلی برای ورود به شهر و امدادرسانی و درنهایت خروج از شهر و حرکت به‌سمت شهر بعدی وجود دارد که یگان‌های امدادی باید از طریق آن وارد شهر شده و خارج شوند. با بررسی برخی گزارش‌های لازم و تحلیل گراف که مطابق با پرسش‌های مطرح شده در این مقاله دریافت شده‌اند، چهار سوال اصلی پژوهش در ادامه پاسخگویی می‌گردند. در ضمن کلیه پاسخ‌ها، از روی مدل‌های دریافت شده از نرم‌افزار قابل ارزیابی هستند و در بخش تصاویر می‌توان آن‌ها را مشاهده کرد.

۱. کدامیک از میدان‌های شهر، کوتاه‌ترین مسیر به سایر میدان‌ها را دارند و یگان‌های امدادرسان از کدام میدان‌ها می‌توانند سریع‌ترین امدادرسانی را داشته باشند؟

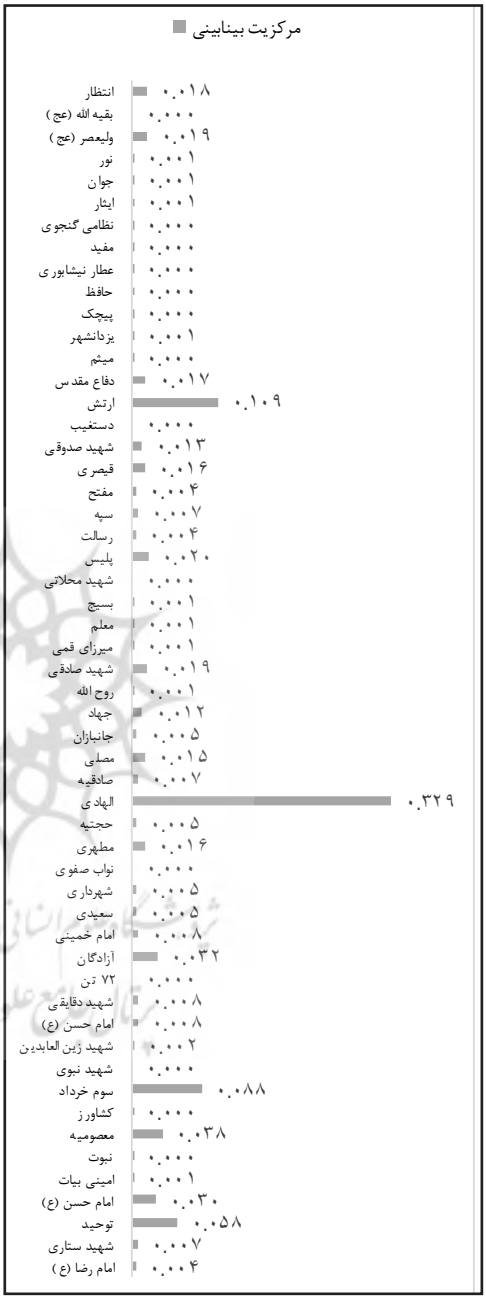
در تصویر شماره ۴ کمترین میانگین کوتاه‌ترین مسیر مشخص است که در آن، ترتیب اولویت



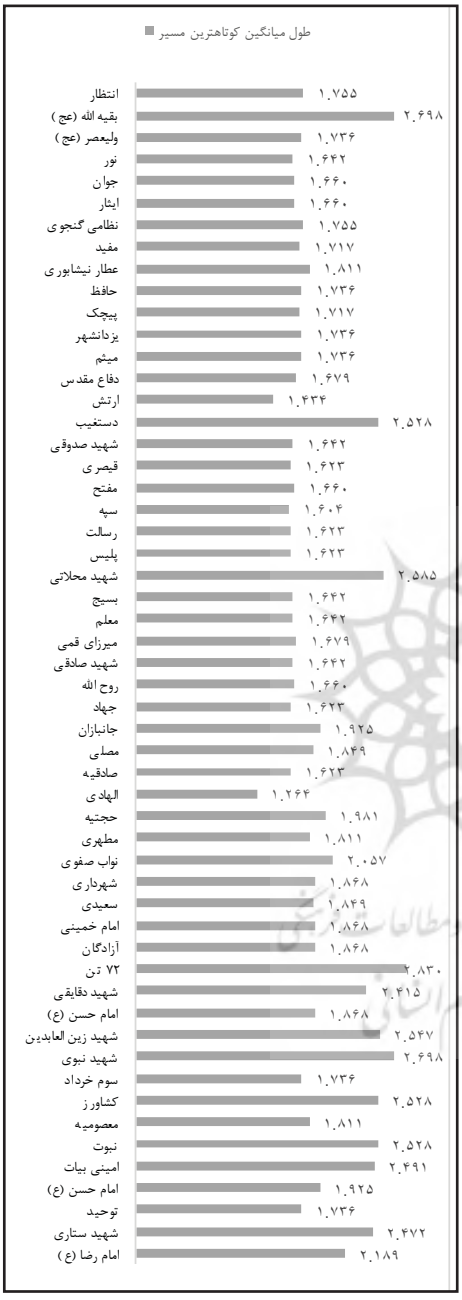
تصویر ۳. نمودار مرکزیت بینابینی گره‌ها



تصویر ۴. نمودار میانگین کوتاهترین مسیر گره‌ها در شبکه



تصویر ۵. نمودار درجه های گره‌ها در شبکه



تصویر ۶. نمودار مرکزیت نزدیکی گره‌ها در شبکه

میدان‌های دارای کمترین میانگین فاصله را می‌توان یافت. درصورتی‌که دسترسی به این میدان‌ها از دست برود، راه پشتیبان براساس این میانگین مشخص می‌شود. مطابق نقشه اصلی شهر، سه راه اصلی برای ورود و خروج به شهر وجود دارد:

- راه اصلی ورود یگان‌های امدادرسان از میدان ۷۲ تن به میدان آزادگان، پس از آن میدان ارتش و درنهایت خروج از شهر است.
- راه دوم امدادرسانی به شهر از میدان کشاورز به‌سمت میدان سوم خرداد، پس از آن میدان الهادی و میدان انتظار است که به‌عنوان راهکار دوم امدادرسانی در نظر گرفته می‌شود.
- راه سوم از ورودی راه قدیم تهران است که درحقیقت به‌شکل مورب از شهر عبور می‌کند که از میدان امام حسن آغاز شده و پس از آن میدان الهادی و میدان انتظار و درنهایت میدان بقیه الله است که به‌عنوان سومین راه ورود و خروج از شهر در نظر گرفته می‌شود.

درصورتی‌که در راه نقل‌وانتقال یگان‌های امدادی در جریان امدادرسانی مشکلی به‌وجود بیاید و در نتیجه یگان‌های امدادی نیاز به تغییر مسیر داشته باشند، مطابق تصویر ۴، کوتاه‌ترین مسیرها برای عبور مشخص شده‌اند و با تغییر یک گره از گراف، مسیر دوباره بازیابی می‌شود که در حقیقت تغییر شبکه به‌صورت پویا صورت می‌گیرد.

۲. بهترین محل‌های استقرار ایستگاه‌های امدادرسانی در کدام میدان‌های شهر است؟

مطابق تصویر شماره ۵ مشخص شده است که بهترین محل‌ها برای استقرار ایستگاه‌های امدادرسانی میدان‌های زیر هستند که با دارابودن بالاترین درجه ارتباطی، قابلیت ارتباط با کلیه شهر را دارا بوده و درصورت ازدست‌رفتن میدان‌های اصلی شهر، امدادرسانی امکان‌پذیر است و فرایند امدادرسانی دچار مشکل نمی‌شود؛ میدان الهادی با دارابودن بالاترین ارتباط، بهترین مکان استقرار ایستگاه امدادرسانی است و پس از آن میدان‌های ارتش و قیصری در رتبه دوم ارتباط با سایر نقاط شهر قرار می‌گیرند. سایر میدان‌ها مطابق تصویر ۵ قابل ارزیابی و اولویت‌بندی هستند.

۳. در صورت ازدست‌دادن کدام یک از گره‌های گراف (میدان‌ها)، امدادرسانی دچار تداخل می‌شود (تصادم اتفاق می‌افتد)؟

با توجه به تصویر شماره ۶، میدان‌های ارتش، سپه، رسالت، پلیس و جهاد مطابق با نمودار

تصویر شماره ۶ می‌توانند در روند انتقال یگان‌های امدادی درصورت انسداد، مشکلات جدی ایجاد کنند.

۵. کدام مسیرها درصورت مسدودشدن مشکلات فراوانی را برای امدادرسانی و انجام عملیات پدافندی ایجاد می‌کنند؟

از تحلیل‌های به‌دست آمده در شکل ۶ واضح است که راه‌های اصلی شهر برای امدادرسانی سه راه ورودی و خروجی از شهر است که درصورت انسداد آن‌ها و نبود مسیر پشتیبان، امدادرسانی با سرعت کمتر و با صرف زمان بیشتری صورت خواهد پذیرفت. لازم به ذکر است با توجه به راهبردی بودن میدان الهادی، امکان انسداد مسیرهای منجر به این میدان کمتر است زیرا در تمامی ساختارهای حرکتی امکان تغییر مسیر وجود دارد.

-راه اصلی ورود از میدان ۷۲ تن به میدان آزادگان پس از آن میدان ارتش و درنهایت خروج از شهر است.

- راه دوم ورود به شهر از میدان کشاورز به میدان سوم خرداد پس از آن میدان الهادی و میدان انتظار است.
- راه سوم از ورودی راه قدیم تهران است که در حقیقت به شکل مورب از شهر عبور می‌کند که از میدان امام حسن آغاز شده و پس از آن میدان الهادی و میدان انتظار و درنهایت میدان بقیه الله است.

لازم به توضیح است که بالابودن تعداد درجات در هر میدان، نشان‌دهنده ارتباط بیشتر با سایر بخش‌های شهر است. هر ایستگاه امدادی که به فراخور فعالیت امدادرسانی خود نیازمند نقل‌وانتقال در بخش‌های مختلف شهر باشد، باید در نقاطی از شهر که بیشترین ارتباط با بخش‌های مختلف را دارند، مستقر شوند.

برای بررسی بهتر و انتخاب درست‌تر یک گره می‌توان تعداد درجه گره‌ها در همسایگی آن را به‌عنوان اولویت دوم بررسی کرد. هرچه درجه گره‌ها در همسایگی گره اصلی ما بیشتر باشد، سطح گسترده‌تری از شهر در پوشش امدادرسانی قرار می‌گیرد. میزان درجه گره‌ها در همسایگی میدان مورد نظر می‌تواند از تلفیق نمودار همسایگی و نمودار درجات، در اختیار فرماندهان مدیریت

بحران قرار گیرد.

در راستای درک هرچه بیشتر تحلیل‌های صورت گرفته، نکات زیر می‌تواند به مدیریت بحران کمک کند:

۱) در صورت وقوع زلزله و تخریب ساختمان‌های قدیمی در میدان‌های یادشده در بخش «بیشترین مرکزیت»، امکان تردد از این میدان‌ها وجود نخواهد داشت. به‌همین دلیل امدادرسانی به سایر نقاط شهر با سرعت بسیار کمتری صورت خواهد پذیرفت و باید با افزایش راه‌های ارتباطی غیر از این میدان‌ها، از وقوع فاجعه پیشگیری کرد.

۲) همچنین با استناد به بخش «مرکزیت نزدیکی گره‌ها» و با در نظر گرفتن این مهم که شریان‌های حیاتی اصلی به‌ترتیب خیابان‌های منتهی به کدام میدان‌ها هستند، - در زمان وقوع بحران‌هایی مانند جنگ و یا آتش‌سوزی‌های بزرگ – باید گروه مدیریت بحران در اسرع وقت نسبت به بازسازی و توسعه این شریان‌های حیاتی اقدام کند و همچنین برای حفظ کاربردپذیری هریک از آن‌ها اقدامات پیشگیرانه‌ای صورت پذیرد.

۳) در بخش «کوتاه‌ترین مسیرها»، اولویت‌بندی مشخصی برای تغییر مسیر یگان‌های امدادی مدون شده است و لازم است تا در شرایط قبل از وقوع بحران (پیشگیری) و هنگام بحران (اقدام)، آگاهی جامعی از مسیرهای پشتیبان در اختیار گروه عملیات و پشتیبانی قرار گیرد.

۴) مدیران بحران با نگاه دقیق به بخش «درجه‌های گره» متوجه می‌شوند که نقشه مدیریت بحران شهر را چگونه ترسیم کرده و مهره‌های کلیدی خود را در عملیات با چه ترکیبی قرار دهند.

۵) بخش «درجه‌های گره» به مدیران کمک می‌کند تا بتوانند میدان‌های کلیدی و مهم (از لحاظ بیشترین مسیر منتهی به آن‌ها) را شناسایی و نسبت به استقرار امکانات و تجهیزات بهتر تصمیم‌گیری کنند.

۶) و در انتها با بررسی اجمالی بخش نگاشت شهری قم متوجه این نکته خواهیم شد که نقشه میدان‌های شهر می‌تواند مانند یک گراف پیچیده در نظر گرفته شود و تحلیل مدیریتی شهر می‌تواند بر مبنای نظریه گراف صورت پذیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، می‌توان بیان کرد که نگاه مدیریت بحران می‌تواند با سیستمی‌شدن و استفاده از ادراک ماشینی، به‌شکل قابل توجهی گسترش پیدا کرده و بر مبنای الگوریتم‌های موجود دارای پیش‌بینی مبتنی بر قطعیت شود. در ادامه مقادیر تحلیلی به‌دست آمده به شرح زیر ارائه می‌شود:

۱) ضریب خوشه‌بندی شبکه ۰/۸۱۴ به‌دست آمد که با توجه با نزدیک‌بودن این عدد به مقدار ۱، نشانگر این مفهوم است که گره‌های این شبکه تمایل بالایی برای خوشه‌بندی با تراکم بالا را دارند. با استناد به این موضوع، میدان‌های شهر قم دسترسی بالایی را به سایر میدان‌ها دارند.

۲) با توجه به این‌که عدد ۱ برای تعداد مولفه‌های این شبکه به‌دست آمده است، بدیهی است که از هر نقطه به نقطه دیگر حتما یک راه وجود دارد. به این معنی که از هر میدان شهر راهی برای رسیدن به میدان دیگر وجود دارد و شبکه هم‌بند است. در جدول ۱ تعداد گره‌های مجزا عدد ۰ را نشان می‌دهد که با استناد به عدد تعداد مولفه‌ها، کاملا بدیهی است و بیانگر این موضوع است که گرهِ تنها، یا به‌عبارتی میدانی نداریم که از هیچ میدان به آن راه نباشد.

۳) قطر شبکه، ۴ به‌دست آمد. این نتیجه نشان می دهد که دورترین دو نقطه شهر حداکثر با چهار راه، قابل دسترسی است. پس می‌توان شهر قم را یک جهان کوچک[1] در نظر گرفت (تراورز و میلگرام[2]، ۱۹۶۷، ص ۳). جهان کوچک یک نظریه از شبکه است که معین می‌کند از هر گره از شبکه به گره دیگر حداکثر ۶ گره فاصله وجود خواهد داشت. شبکه‌های جهان کوچکِ دیگر مانند فیس‌بوک، شبکه زیستی و ترافیک نیز از همین قاعده پیروی می‌کنند. هر چند که شهر قم یک کلان‌شهر محسوب می‌شود اما با نگاشت درست آن به‌صورت یک شبکه پیچیده، جهان کوچک بودن این شهر اثبات می‌شود.

۴) شعاع شبکه، ۲ به‌دست آمد که نشان می دهد گریز از مرکز شبکه دو گره است. گریز از مرکز یک گره به‌معنی فاصله دورترین گره نسبت به آن در شبکه است؛ پس شعاع یک شبکه

---

1. small world
2. Travers and Milgram

هم‌بند برابر با طول کمترین مقدار گریز از مرکز آن است. با استناد به تعریف گریز از مرکز و همچنین عدد به‌دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که از هر میدان در مرکز کانونی شهر با حداکثر دو میدان می‌توان به دورترین نقطه شهر رسید.

۵) مرکزیت شبکه در جدول مقدار ۰/۴۲۱ به‌دست آمد. مرکزیت شبکه، تعداد مجاورت هر گره با سایر گره‌ها را تعیین می‌کند. یعنی هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، یعنی از هر گره به همه گره‌ها اتصال وجود دارد. باتوجه به نزدیک‌بودن عدد به‌دست آمده به ۰/۵، یعنی ارتباطات بین میادین شهر در حالت مطلوبی قرار دارد. این عدد معرف این مفهوم است که توپولوژی شبکه نزدیک به توپولوژی ستاره است که در نتیجه تعداد حلقه‌های شبکه ۰ می‌شود.

۶) عدد به‌دست آمده در میانگین تعداد همسایگی، ۱۷/۵۱۹ است و باتوجه به تعداد کل گره‌های شبکه، هر گره به‌طور میانگین با یک‌سوم گره‌های دیگر در ارتباط است.

۷) تعداد یال‌های شبکه، ۴۸۸ است که بیانگر تعداد راه‌های موجود در این شبکه بوده و این راه‌ها در شرایط مختلف می‌توانند به‌صورت بهینه مورد استفاده قرار گیرند.

۸) تعداد گره‌های این شبکه (تعداد میدان‌های شهر قم) برابر ۵۴ است که هرکدام از این گره‌ها می‌تواند به‌عنوان یک هاب، ارتباط بین سایر گره‌ها را فراهم کند.

۹) چگالی به‌دست آمده برای شهر قم عدد ۰/۳۳۱ است که نشان‌دهنده میزان تکامل شبکه است. هرچه چگالی به‌دست آمده به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد شبکه کامل‌تر خواهد بود، بنابراین شهر قم یک گراف کامل نیست.

پیشنهادها

در این مقاله سعی شد تا لزوم استفاده از روش گراف و بررسی شبکه‌های پیچیده در بررسی و تحلیل نقشه شهرها و پیش‌بینی شرایط بحرانی مورد بررسی قرار گیرد. درنهایت نقاط بحرانی موجود در نقشه مورد آزمایش بررسی شد و مکان‌های مناسب برای استقرار مراکز امدادی پیشنهاد شد.

با استفاده جامع‌تر از شبکه‌های پیچیده در مراکز مدیریت بحران استان‌ها و با نگاه کامل‌تری در کل کشور، می‌توان نسبت به توسعه فرایندهای مدیریت بحران، تصمیم‌های جامعی گرفته و با

بهره‌گیری از فناوری‌های موجود در این حوزه شرایط بحرانی بهبود یابد. همچنین در این پژوهش با تحلیل انواع گزارش‌ها، امکان بررسی جامع‌تری برای سایر پژوهشگران فراهم شده تا بتوان با دیدگاه‌ها و نظریه‌های مختلف، این مهم را بررسی و مطابق با معیارها و مفاهیم علمی شبکه‌های پیچیده، فرایند مدیریت بحران را ساده‌تر کرد

در پژوهش‌های آتی پژوهشگران می‌توانند درخصوص توسعه سامانه‌های هوشمند نقل و انتقالات مبتنی بر شبکه‌های پیچیده پویا، فعالیت کرده و برای گسترش تحلیل‌های هوشمند در سامانه‌های مسیریابی، مدیریت بحران و نقل‌وانتقالات، گام‌های توسعه‌ای را بردارند.

منابع

حسینی، سیدحسین. (۱۳۸۵). بحران چیست و چگونه تعریف می‌شود؟ *فصلنامه امنیت*، ۵(۱۸)، صص ۷-۵۱. قابل بازیابی از:http://www.magiran.com/view.asp?Type=pdf&ID=424403&l=fa

علوی، سیدعلی؛ سالاروند، اسماعیل؛ احمدآبادی، علی؛ فرخی سیس، سعیده و بسحاق، محمدرضا. (۱۳۹۳). تحلیل فضا-مکانی عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی بر پایه مدیریت بحران با استفاده از روش تلفیقی MCDM و تحلیل شبکه. *فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران*، ۱(۲)، صص ۵۷-۶۵. قابل بازیابی از:
http://joem.ir/article_2781_0.html

طوسی، محمدرضا. (۱۳۹۱). *مدیریت بحران و ایمن سازی صنایع و معادن (آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری)*. تهران: مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران.

رمضانی، علی (۱۳۹۳). *نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در مدیریت بحران. دفتر فناوری اطلاعات استانداری قم*. قابل بازیابی از:http://www.ghom.ir/uploads/IT%20in%20Crisis%20Management.doc

اسکندری، حمید. (۱۳۹۱). *دانستنی‌های پدافند غیرعامل (ویژه مدیران و کارشناسان)*. چاپ هشتم. تهران: بوستان حمید.

نوری، محمد و خزایی، هوشنگ. (۱۳۹۶). نقش ارتباطات در مدیریت بحران‌های شهری با رویکرد انتظامی. *پژوهش‌های مدیریت انتظامی (مطالعات مدیریت انتظامی)*، ۱۲(۴)، صص ۶۸۳ – ۷۰۴. قابل بازیابی از:
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=316494

تشکری، محمود (۱۳۹۰). ارتباطات در بحران. *پژوهش‌های مدیریت انتظامی (مطالعات مدیریت انتظامی)*، ۶(۲)، صص ۲۹۶-۳۲۳. قابل بازیابی از:.https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=174752

خان محمدی، سهراب؛ معمارزاده، غلامرضا و وفادار، حسین. (۱۳۸۹). تبیین ابعاد و مولفه‌های بحران انتظامی. *پژوهش‌های مدیریت انتظامی (مطالعات مدیریت انتظامی)*. ۵(۱)، صص ۱۰۱ – ۱۱۷. قابل بازیابی از:
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=127611.

غلام‌حسینی، اسماعیل. (۱۳۹۱). بررسی نقش و جایگاه نیروی انتظامی در مدیریت بحران‌های طبیعی (مطالعه موردی: بحران سفید، بحران برف ۱۳۸۳ گیلان). *پژوهش‌های مدیریت انتظامی (مطالعات مدیریت انتظامی)*. ۷(۴)، صص ۵۴۹-۵۶۸. قابل بازیابی از:https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=187502

کمالی، یحیی. (۱۳۹۵). مطالعه مقایسه ای آمادگی و واکنش پلیس در مدیریت بحران‌های طبیعی در ایران، ژاپن و هند.

پژوهش‌های مدیریت انتظامی (مطالعات مدیریت انتظامی). ۱۱(۳)، صص ۳۷۰-۳۹۴. قابل بازیابی از: https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=316857.

عامریون، احمد؛ تیمورزاده، احسان؛ دلاوری، عبدالرضا و سیرتی نیر، مسعود. (۱۳۸۸). ارزیابی نظرات مدیران سه بیمارستان نظامی منتخب شهرهای مرزی کشور درخصوص بحران‌های منطقه در سال ۱۳۸۷. *پژوهش‌های مدیریت انتظامی (مطالعات مدیریت انتظامی)*. ۴(۲)، صص ۲۰۳ – ۲۰۸. قابل بازیابی از: https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=104838

امینی طوسی، وحید؛ نادرنژاد، مسعود و نجار وظیفه دان، آلا. (۱۳۸۶). *کاربرد سامانه اطلاعات مکانی در مدیریت حمل‌ونقل و ترافیک*. اولین همایش GIS شهری، دانشگاه شمال. قابل بازیابی از: https://www.civilica.com/Paper-CUG01-CUG01_030.html

صابریان، جواد؛ ملک، محمدرضا و همراه، مجید. (۱۳۹۱). ارایه طبقه‌بندی از انواع گراف دوگان و بکارگیری آن‌ها در بهبود آنالیزهای مسیریابی. *مهندسی حمل‌ونقل*، ۴(۲)، صص ۱۳۷-۱۵۰. http://jte.sinaweb.net/article_3229.html

فرجی‌سبکبار، حسنعلی؛ امیدی‌پور، مرتضی؛ مدیری، مهدی و بسطامی‌نیا، امیر. (۱۳۹۳). ارائه مدل پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر اهواز با استفاده از مدل مرتب‌سازی گزینه‌ها مبتنی بر پروفایل (SSP). *فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران*، ۳(۲)، صص ۴۵-۵۶. قابل بازیابی از: http://www.joem.ir/article_12751.html

بازرگان، مهدی؛ امیرفخریان، مصطفی. (۱۳۹۶). مسیریابی بهینهٔ خودروهای امدادی در زمان وقوع حوادث با استفاده از الگوریتم مسیریابی در GIS (مطالعه موردی: شهر مشهد). *فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جغرافیایی*، ۳۲(۳)، صص ۳۵-۵۱. قابل بازیابی از:http://georesearch.ir/article-1-125-fa.html

عادلی، علیرضا. (۱۳۹۱). ارزیابی عملکرد نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران در برقراری نظم و امنیت شهرستان بم با رویکرد مدیریت بحران. *پژوهش‌های مدیریت انتظامی (مطالعات مدیریت انتظامی)*. ۷(۲)، صص ۲۵۳-۲۸۱. قابل بازیابی از: https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=182012

Kim, J., & Wilhelm, T. (2008). What is a complex graph? Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 387(11). Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.physa.2008.01.015

Buldyrev, S. V., Parshani, R., Paul, G., Stanley, E, & Havlin, S. (2010). Catastrophic cascade of failures in interdependent networks. Nature, 464, pages 1025–1028. Retrieved from: https://doi.org/10.1038/nature08932

Motter, Adilson. E., & Albert, Réka. (2012). Networks in motion. Physics Today, (65), pp 43-48. Retrieved from: https://doi.org/10.1063/PT.3.1518.

Faramondi L, Oliva G, Pascucci F, Panzieri S & Setola R. (2016). Critical Node Detection based on Attacker Preferences. IEEE, 4th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED). DOI: 10.1109/MED.2016.7535859.

Xin Chen. (2015). Critical nodes identification in complex systems. Complex & Intelligent Systems, 1(1–4), pp 37–56. Retrieved from: https://doi.org/10.1007/s40747-016-0006-8

Lin Jingyi, Ban Yifang. (2013). Complex Network Topology of Transportation Systems. Transport Reviews, 33(6), pp 658-685. Retrieved from: https://doi.org/10.1080/01441647.2013.848955.

Andersson, C., Frenken, K., & Hellervik, A. (2006). A complex network approach to urban growth. Environment and Planning A, 38(10), pp 1941-1964. Retrieved from: https://doi.org/10.1068/a37418.

Sun Daniel (Jian), Zhao Yuhan, Lu Qing-Chang (2015). Vulnerability Analysis of Urban Rail Transit Networks: A Case Study of Shanghai, China. Sustainability, 7(6), pp 6919-6936. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/su7066919

Xiufeng, p, Tianyang, Lv, Xizhe, Zh & Huia, Ma. (2015). Strategy for community control of complex networks. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 421, pp 98-108. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.10.081

Mohammadzadeh, J., Ganjtabesh, M., & Nowzari-Dalini, A. (2014). Topological properties of RNA variation networks over the space of RNA shapes. MATCH Commun. Math. Comput. Chem, 72, pp 501–518. Retrieved from: match.pmf.kg.ac.rs/electronic_versions/Match72/n2/match72n2_501-518.pdf

anonymous. (2001). what is Cytoscape? Retrieved from: https://cytoscape.org/what_is_cytoscape.html

Travers, J. and Milgram, S. (1969). An Experimental Study of the Small World Problem. Sociometry, 32, pp 425-443. Retrieved from: http://dx.doi.org/10.2307/278654

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی