فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و دوم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۶، شماره پیاپی ۱۲۶

مهدی بازرگان، دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر مصطفی امیرفخریان، استادیار برنامه ریزی و مدیریت گردشگری، جهاد دانشگاهی مشهد

M. Bazargan
Dr. M. Amirfakhriyan
amirfakhriyan @yahoo.com

مسیریابی بهینهٔ خودروهای امدادی در زمان وقوع حوادث با استفاده از الگوریتم مسیریابی در GIS مطالعه موردی: شهر مشهد

دریافت مقاله: ۹۶/۴/۱۲ پذیرش نهایی: ۹۶/۷/۲۲

DOI: 10.18869/acadpub.geores.32.3.35

چکیده

امروزه مدیریت و برنامه‌ریزی برای کاهش آثار مخرب ناشی از وقوع بحران‌ها به یکی از چالش‌های اصلی دولت‌ها تبدیل‌شده است. برنامه‌ریزی برای پیشگیری از وقوع حوادث از یک سو و تصمیم‌گیری‌های درست برای کاهش آثار ناشی از وقوع بحران از سوی دیگر اهداف کلیدی مدیریت بحران هستند. مسئله کوتاه‌ترین مسیر همیشه یکی از کاربردی‌ترین مسائل در آنالیزهای مکانی در حمل‌ونقل و همچنین سیستم‌های خدماتی مکان مبنا بوده است. با توسعه و پیشرفت روزافزون این سیستم‌ها با توجه به پیچیدگی‌های مدل‌های ریاضی و ساختار شبکه‌ای، الگوریتم‌های مختلفی برای مسیریابی بهینه با توجه به پارامترها و خصوصیات و ساختار شبکه ارائه‌شده است. لذا پژوهش حاضر به مسیریابی خودروهای امدادی (آتش‌نشانی و اورژانس) با فرض احتمال سالم بودن و همچنین خرابی مسیرهای ارتباطی در زمان وقوع بحران در شهر مشهد پرداخته است. روش تحقیق در این پژوهش، توصیفی- تحلیلی بوده و برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار ArcGIS و دستور تحلیل شبکه استفاده‌شده است. در تحقیق حاضر برای مسیریابی تسهیلات امدادی، شش مکان مهم به لحاظ جمعیتی و استراتژیک (پایانه مسافربری، صداوسیما، دانشگاه فردوسی، هتل پارس، نمایشگاه بین‌المللی و ایستگاه مترو طبرسی) انتخاب‌شده است. نتایج تحقیق حاکی از آن است که در صورت سالم بودن مسیرهای ارتباطی به طور میانگین اورژانس در فاصله زمانی ۵/۹ دقیقه و آتش‌نشانی در فاصله زمانی ۴ دقیقه به محل وقوع حوادث (مکان‌های تعیین‌شده) خواهند رسید؛ اما با در نظر گرفتن احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی این زمان برای اورژانس ۹/۹ دقیقه و برای آتش‌نشانی ۷/۶ دقیقه خواهد بود.

واژگان کلیدی: الگوریتم‌های مسیریابی، مدیریت بحران، امدادرسانی، تحلیل شبکه، شهر مشهد

مقدمه

رشد سریع و لجام‌گسیختهٔ شهرنشینی منجر به درهم‌ریزی نظام توزیع خدمات و نارسایی سیستم خدماتی شده است که امروزه در شبکهٔ شهری ایران قابل‌درک است. از طرفی این توسعه‌های شهری، افزایش مسیرها و ارتباطات را به دنبال داشته که نقش جابجایی را پررنگ‌تر می‌کند. آن چه در این میان، اهمیت بیشتری می‌یابد، مسیریابی و مدیریت و هدایت حرکت در این مسیرها است که از یک‌سو روان‌سازی و نظم را در پی داشته و از سوی دیگر در شرایط اضطرار، نیازها را مرتفع سازد (سرگلزائی و وفائی‌نژاد، ۱۳۹۶: ۲۳۲). یکی از جنبه‌های مهم و قابل‌توجه در برنامه‌ریزی شهری، تأکید و توجه به آسیب‌پذیری شهر در مقابل مخاطرات طبیعی است؛ زیرا در شهر با توجه به حجم بالای سرمایه‌گذاری و مکان‌گزینی بسیاری از تأسیسات و

ابزارهای اقتصادی و اجتماعی جامعه جلب توجه بیشتری را طلب می‌کند، چراکه در صورت بروز این حوادث، تلفات و خسارات مالی و جانی زیادی به دنبال خواهد داشت. این موضوع، با توجه به افزایش هشت برابری جمعیت شهرنشین در طی ۵۰ سال اخیر در ایران و از سوی دیگر قرارگیری شهرها بر پهنه‌های سست و ناپایدار (با توجه به موقعیت قرارگیری ایران بر روی کمربند جهانی زلزله)، اهمیتی حیاتی می‌یابد (بمانیان و بهرام‌پور، ۱۳۹۱: ۵۲-۵۱). در زمان وقوع حوادث، یکی از نیازهای مبرم و اساسی در یک عملیات امدادرسانی در سطح وسیع، بهره‌وری کامل و بیشینه از تمامی پتانسیل‌ها و امکانات موجود است و به‌علاوه شناخت کامل از فاکتورها و عوامل تأثیرگذار در شرایط قبل، حین و بعد از بحران، تأثیر به‌سزایی در بهبود کیفی و کمی فعالیت‌ها و عملیات امدادرسانی خواهد داشت (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۸). یکی از راهکارهای مدیریت بحران برای مواجهه با آسیب‌های ناشی از مخاطرات طبیعی در سکونتگاه‌های شهری توجه به شریان‌های حیاتی می‌باشد (Cirianni and et al, 2012: 29). اهمیت نقش حیاتی شبکه‌های ارتباطی به‌ویژه بعد از زلزله‌های کوبه‌ی ژاپن و سانفرانسیسکوی آمریکا بیشتر مورد توجه قرار گرفت (Tzeng and Chen, 1998: 230). مدیران در مدیریت بحران، یکی از دلایل گسترده شدن ابعاد زلزله را عدم امدادرسانی به موقع ناشی از آسیب‌دیدگی معابر بیان کرده‌اند (احدنژاد روشتی و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۸). چیزی که بیش از همه اهمیت دارد، نجات دادن جان انسان‌ها در برابر رخدادهای طبیعی و نقش شبکه‌های ارتباطی ازجمله راه‌ها و مسیرهای بین ساختمان‌های تخریب‌شده در امدادرسانی و کمک به مجروحین است که نمی‌توان آن را انکار کرد (شیعه و همکاران، ۱۳۸۹: ۳۶). در شرایط بحرانی GIS می‌تواند نقش حیاتی در مدیریت بحران ایفا نماید به طوری که با استفاده از آن می‌توان مکان دقیق وقوع حوادث را تعیین و بهترین و کوتاه‌ترین مسیر را برای امدادرسانی مشخص نمود تا در سریع‌ترین زمان ممکن امدادرسانی صورت پذیرد (محرابی، ۱۳۹۳: ۵۳). در این زمینه قابلیت‌های تجزیه‌وتحلیل شبکه در GIS ازجمله محاسبه کوتاه‌ترین مسیر می‌تواند بسیار مفید واقع شود. در به‌کارگیری سیستم‌های اطلاعات مکانی برای مسیریابی، بخصوص مسیریابی خودروهای آتش‌نشانی و آمبولانس‌ها، روش‌هایی که در آن‌ها بهترین مسیر بر اساس زمان سفر پویا انتخاب می‌شود، بیش از پیش مورد توجه قرارگرفته‌اند. برای حل این‌گونه مسائل لازم است که وزن یال‌های شبکه جهت قرارگیری در محاسبات کوتاه‌ترین مسیر برابر زمان سفر یال باشد. محاسبه زمان عبور از هر یال بسیار پیچیده است، زیرا مسائلی از قبیل طول یال، ترافیک موجود در یال، عرض یال، نوع وسیله نقلیه، نوع پوشش راه و... در آن تأثیرگذار هستند؛ بنابراین در این نوع مسائل به علت تغییر زمان سفر یال‌ها در طول مسیر نمی‌توان بهترین مسیر را با استفاده از الگوریتم‌های کوتاه‌ترین مسیر استاتیک تعیین کرد و استفاده از الگوریتم‌های پویا موردنیاز است. الگوریتم دیکسترا[1]، مشهورترین الگوریتم برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر از یک مبدأ روی گراف وزن‌دار می‌باشد (Zhan, 1977: 69). یکی از مسائل بسیار مهم در زندگی پرشتاب امروزی و به‌ویژه در امور مدیریت شهری، جلوگیری از اتلاف زمان و انرژی است تا بتوان ضمن ارائه بهتر و سریعتر خدمات، از اتلاف هزینه‌های کلان نیز پیشگیری نمود. گسترش علم در حوزه شهری با تمرکز بر روی این دیدگاه و با تلفیق علوم پیشرفته رایانه‌ای، می‌تواند از المان‌هایی مانند هوش مصنوعی بهره‌مند شود. کاهش زمان نقل‌وانتقال، منجر به افزایش سطح خدمات‌دهی به شهروندان و جلب رضایت آنان می‌شود که این امر، در بخش امدادرسانی و در مواقع بحرانی به شکل پررنگتری نمود می‌یابد. به این منظور، استفاده و اصلاح الگوریتم‌های مسیریابی نوین و بومی‌سازی آن در بخش شهری با توجه به وسعت و گستردگی شهرها، می‌تواند موارد مذکور را به شکل بهینه و مؤثرتری در بخش مدیریت شهری و امدادرسانی، ساماندهی کند (ذوالفقاری و کرکه‌آبادی، ۱۳۹۲: ۲۰). تاکنون در زمینه مسیریابی خودروهای امدادی، پژوهش‌های زیادی انجام‌شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره‌شده است. در زمینه مسیریابی خودروهای امداد شهری، گلدبرگ[2]

1. Dijkstra's algorithm
2. Goldberg

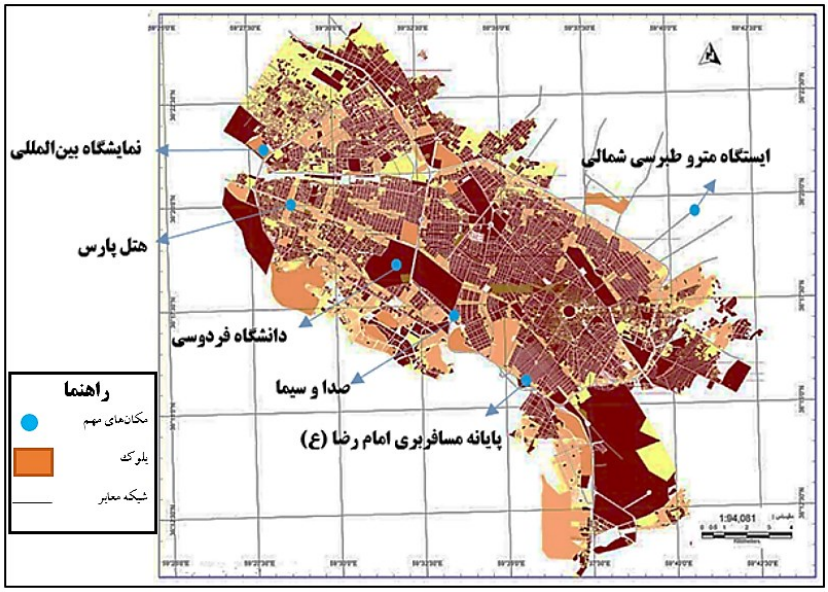
و لیستوسکی[1] (۱۹۹۴)، به بررسی مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر مسیریابی خودروهای امداد پرداختند. در این تحقیق که از نتایج مصاحبه با متخصصین و رانندگان خودروهای امداد شهری حاصل شد، فاکتورهایی از قبیل زمان، مسافت، کیفیت راه و نوع راه تعیین شدند. در این تحقیق از مصاحبه با پرسنل خودروهای امداد شهری اعم از پلیس، آتش‌نشانی و اورژانس بهره گرفته‌شده و با ۷۰ درصد استقبال از این سیستم مواجه شده‌اند. نیسانی[2] و همکاران (۲۰۰۶)، در تحقیق خود به مسیریابی خودروهای اورژانس پس از وقوع بحران بر اساس نقاط برجستهٔ شهری پرداختند. در این مسیریابی، شاخص مبنا فاکتورهای مؤثر بر برجسته شدن نقاط بررسی شد و میزان برجستگی نقاط با تحلیل‌های آماری ازجمله آزمون‌های توزیع نرمال و اشتباهات بررسی شد. در تحقیق دیگری، جوتشی و همکاران (۲۰۰۶)، مسیریابی خودروهای امداد شهری را در مواقع پس از وقوع بحران (زلزله، سیل و...) را از هنگام اعزام تا پایان ارائه خدمت، در شهر لس‌آنجلس بررسی نمودند. در این تحقیق فاکتورهای به ظاهر کم اهمیت ولی به واقع تأثیرگذاری چون میزان تعویق دررسیدن به محل حادثه و بیمارستان محاسبه شد. موسولینو[3] و همکاران (۲۰۱۲)، نیز این نوع مسیریابی را برای خودروهای اورژانس و امداد در مواقع بحرانی در ایتالیا انجام دادند. در این تحقیق با در اختیار داشتن داده‌های ثابت و پویای ترافیکی، بهترین مسیر برای خودروی امداد طراحی شد. از مزایای پژوهش انجام‌شده، می‌توان تهیهٔ چارچوبی را برای محاسبهٔ تغییرات زمان سفر در شرایط مختلف جاده و ساعات مختلف شبانه‌روز، نام برد. علاوه بر تحقیقات خارجی، در داخل نیز مسئله مسیریابی از اهمیت خاصی برخوردار است و در سال‌های اخیر، محققان بسیاری به مطالعه و بررسی در این زمینه پرداخته‌اند. ذوالفقاری و کرکه‌آبادی (۱۳۹۲)، در تحقیقی به مسیریابی هوشمند اکیپ‌های امدادی با استفاده از الگوریتم‌های تئوری بازی‌ها در شهر سمنان پرداختند. زمان رسیدن به محل حادثه توسط گروه‌های امدادی با استفاده از مسیریابی انجام‌شده توسط برنامه ArcGIS نیز با الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچه و تئوری بازی‌ها به ترتیب ۳ دقیقه و ۵ ثانیه، ۳ دقیقه و ۱۵ ثانیه و ۲ دقیقه و ۴۲ ثانیه به دست آمد. خیراللهی و نادی (۱۳۹۵) در مقاله‌ای تحت عنوان تلفیق معیارهای کیفی و کمی با استفاده از مدل‌های مکان مبنا به‌منظور مسیریابی بهینهٔ خودروهای اورژانس در محیط‌های شهری به تحقیق پرداختند. در این تحقیق از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک برای انتخاب مسیر بهینه وسایل نقلیه اورژانس استفاده شد و نتایج آن با الگوریتم معمول مسیریابی دیکسترا مقایسه شد. بر مبنای مقایسهٔ انجام‌شده روش ارائه‌شده در این مقاله نسبت به روش‌های سادهٔ فعلی برتری قابل ملاحظه‌ای داشت. همچنین در تحقیق دیگری، ارکات و همکاران (۱۳۹۴)، به مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات اورژانسی با فرض احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی در زمان بحران پرداخته‌اند. آن‌ها مسئله مسیریابی تسهیلات اضطراری را با در نظر گرفتن احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی و ازدحام تسهیلات اورژانسی در زمان وقوع بحران و با استفاده از یک مدل ریاضی دوهدفه فقط به‌صورت یک مدل ریاضی ارائه کردند. نوآوری این تحقیق نسبت به تحقیقات پیشین، استفاده از الگوریتم‌های مسیریابی تحلیل شبکه در GIS، به‌منظور شبیه‌سازی مسیرهای بهینه برای خودروهای امدادی (اورژانس و آتش‌نشانی) با احتمال سالم بودن مسیرهای ارتباطی و همچنین با فرض احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی به وسیله ریزش پل‌های (غیرهمسطح)، تخریب ساختمان‌های بلند مرتبه، انفجار پمپ بنزین، ایستگاه‌های تقلیل فشار (T.B.S) و... و همچنین محاسبه زمان رسیدن خودروهای امدادی به محل حوادث در هر دو احتمال می‌باشد. انتخاب مسیر مناسب برای رسیدن تسهیلات امدادی (اورژانسی) مانند خودروهای آمبولانس و آتش‌نشانی و... از محل استقرار برای خدمات‌رسانی به آسیب‌دیدگان ازجمله تصمیم‌گیری‌های مهم، در مدیریت آثار مخرب ناشی از وقوع بحران است (ارکات و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۷-۹۶)؛ زیرا رسیدن سریع خودروهای امدادی به محل حادثه و انجام کمک‌های اولیهٔ موردنیاز درصحنهٔ حادثه، سهم بسیار زیادی در کاهش مرگ‌ومیر دارد (Lee et al, 2014: 11348-11370). در این بین هر یک از کمان‌های شبکه (شبکهٔ معابر)، ممکن است در زمان وقوع بحران، به علت ریزش پل‌ها

1. Listowsky
2. Neysani
3. Musolino

و تونل‌ها، تخریب ساختمان‌ها و... مسدود یا خراب باشند و امکان تردد از آن‌ها میسّر نباشد (ارکات و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۷-۹۶). لذا با توجه به شرایط بحرانی در کمترین زمان ممکن باید نزدیک‌ترین مسیر قابل تردد تا محل وقوع حادثه، برای خدمات-رسانی به آسیب‌دیدگان انتخاب شود. بر همین اساس در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از الگوریتم‌های مسیریابی تحلیل شبکه[1] در GIS به مسیریابی بهینه خودروهای امدادی (اورژانس و آتش‌نشانی) در زمان وقوع حوادث، به‌منظور کاهش تلفات انسانی در شهر مشهد پرداخته شود.

روش تحقیق

پژوهش حاضر بر اساس هدف، در زمرهٔ پژوهش‌های کاربردی قرار دارد و بر حسب روش‌شناسی، توصیفی- تحلیلی می-باشد. برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات از روش اسنادی- کتابخانه‌ای استفاده‌شده است. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و اطلاعات از نرم‌افزار ArcGIS و مدل Network Analysis استفاده‌شده است. همچنین برای مسیریابی تسهیلات اورژانسی (آتش‌نشانی و اورژانس)، شش مکان مهم به لحاظ جمعیتی و استراتژیک (پایانه مسافربری، صداوسیما، دانشگاه فردوسی، هتل پارس، نمایشگاه بین‌المللی و ایستگاه مترو طبرسی)، در نزدیک گسل در شهر مشهد انتخاب گردید.



شکل ۱- تعیین مکان‌های مهم برای مسیریابی در شهر مشهد

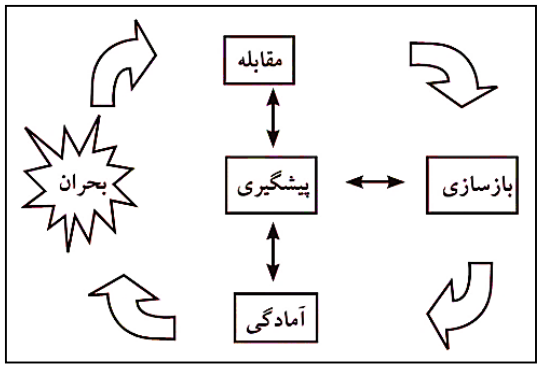
چارچوب نظری تحقیق

مدیریت بحران

بحران عبارت است از واقعه پیش‌بینی‌نشده‌ای که به دلیل اضطرار و فوریت آن باید مورد توجه فوری قرار گیرد زیرا عدم توجه و رسیدگی به آن به وخیم‌تر شدنش می‌افزاید. بنا به تعریفی که بورتون[2] و کیتز[3] در سال ۱۹۶۴ ارائه داده‌اند، بحران طبیعی را ناشی از فشار غیرمنتظره و شدیدی که عناصر فیزیکی طبیعت به انسان وارد می‌کنند تعریف کرده‌اند. بحران در حقیقت به زمان و موقعیتی اشاره دارد که تصمیم‌گیری در آن مهم و حیاتی تلقی می‌شود چراکه در آن با موقعیتی فوری، اضطراری و استرس‌زا روبه‌رو هستیم (اصغری زمانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۵۰). یکی از مسائل مهمی که در سال‌های اخیر در تمامی کشورها و ازجمله ایران بدان پرداخته‌شده است، مسئلهٔ مدیریت بحران است. مدیریت بحران را می‌توان قانون و قاعده‌ای برای جلوگیری کردن و یا

1. Network Analysis
2. burton
3. kates

مواجه‌شدن با ریسک‌های احتمالی وقوع هر بحران طبیعی و غیرطبیعی تعریف کرد. درواقع مدیریت بحران مجموعه‌ای از فرآیندها را قبل، حین و پس از وقوع هر بحران پیش‌بینی و برنامه‌ریزی می‌کند تا بتواند تا حد ممکن از تلفات مالی و انسانی هر بحران جلوگیری کند و یا آن‌ها را کاهش دهد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۲). هر نظام مدیریت بحران شامل یک چرخه با چهار فاز مختلف است که عبارتند از:



شکل ۲- چرخه سیستم مدیریت جامع بحران

منبع: (پور موسوی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۴)

شبکه معابر شهری

شبکه‌های ارتباطی به‌عنوان اسکلت سازنده شهر، نقش کاملاً کلیدی در کاهش آسیب‌پذیری ناشی از بحران‌ها را بر عهده‌دارند. علاوه بر این، بستر لازم را برای عملیات مختلف نجات و بازسازی فراهم می‌نماید. برعکس در صورت کارایی کم و یا در صورت مسدود شدن هر یک از مسیرها (حتی مسیرهای فرعی)، میزان آسیب‌پذیری را مضاعف می‌سازد و احتمال دارد بازگشت به وضعیت عادی چندان میسر نباشد. برای مثال می‌توان از منطقه گلدیان رودبار نام برد. در این شهر در اثر شکستگی جاده اصلی برای مدت مدیدی امکان امدادرسانی وجود نداشت. در محله لویه نیز به علت دوری از مرکز شهر و انسداد جاده ارتباطی (در اثر ریزش کوه)، امدادرسانی و تخلیه مجروحین تا ۲۴ ساعت بعد از وقوع زلزله مقدور نبود. به همین دلیل تعدادی از افراد مصدوم و مجروح جان خود را در زیر آوار از دست دادند (اصغری زمانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۵۱). یکی از مباحث مهم در بحث شبکه‌ها، نظریه توسعه زیرساخت‌های بحرانی است که نظریه شبکه آزاد مقیاس دار[1] پیشنهادشده توسط آلبرت لازلو باراباس[2] است. این نظریه بیان می‌کند که چگونه بخش‌های زیرساخت خطرناک درگذشته رشد پیداکرده و در زمان حال به رشد خود ادامه می‌دهد. این نظریه فقط چگونگی به انجام رسیدن بیشتر بخش‌ها را بیان نمی‌کند بلکه در کنار آن‌یک اساس و پایه‌ای را برای تحلیل آسیب‌پذیری بنا می‌کند زیرا (این نظریه) تراکم و اشباع دارائی‌هایی که ممکن است مورد یک تهاجم هدفمند قرار گیرد را آشکار می‌سازد (Lewis, 2006: 71). اگرچه جلوگیری از وقوع بحران امکان‌پذیر نیست ولی کاهش آسیب‌های ناشی از آن ممکن است. چیزی که بیش از همه اهمیت دارد نجات دادن جان انسان‌ها در برابر این رخداد طبیعی و انسان‌ساخت، نقش شبکه-های ارتباطی ازجمله راه‌ها و مسیرهای بین ساختمان‌های تخریب‌شده، در امدادرسانی و کمک به مجروحین است که نمی‌توان آن را انکار کرد (شیعه و همکاران، ۱۳۸۹: ۳۵). به طور کلی شبکه ارتباطی، مجموعه‌ای برای عبور و مرور وسایل نقلیه موتوری، دوچرخه و پیاده است. با این تعریف، طبیعی است که شبکه راه‌ها در کاهش آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات نقش کلیدی دارند. علاوه بر امکان گریز از موقعیت‌های خطرناک و تسهیل امدادرسانی به مصدومان، بستر لازم برای عملیات مختلف نجات و بازسازی فراهم می‌نمایند. در اغلب مناطق بحران‌زده، تعداد تلفات الزاماً ناشی از خود سانحه نیست بلکه؛ مشکل عمده به قفل یا

1. Scale-free network theory
2. Albert Laszlo Barabbas

مسدود شدن شبکه راه‌ها برمی‌گردد؛ بنابراین نقش شبکه راه‌ها در مدیریت بحران از دو جنبه دارای اهمیت است. جنبه اول، تأثیرات نامطلوب بحران بر بهره‌برداری از شبکه راه‌ها و دیگری در کاهش آسیب‌های ناشی از بحران ایجادشده و خدمات‌رسانی به مناطق آسیب‌دیده است (زنگنه، ۱۳۹۵: ۱۱۶).

نقش شبکه‌های ارتباطی در زمان وقوع بحران

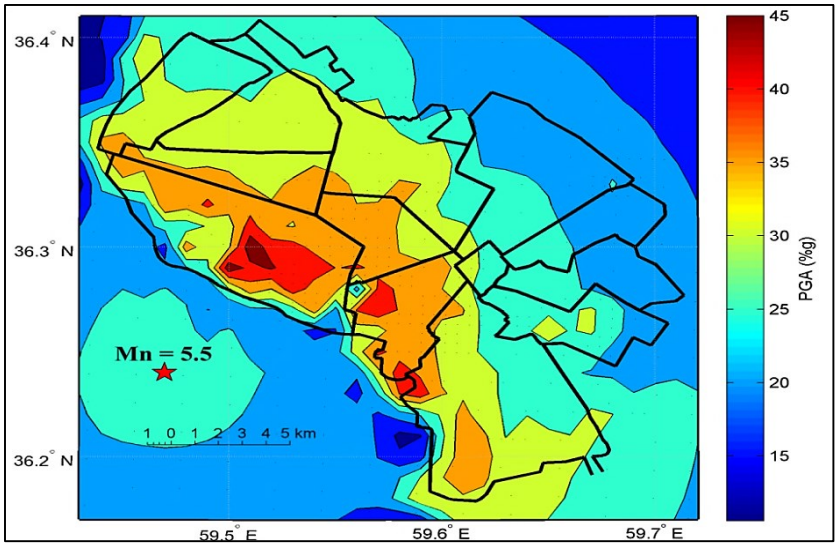
اولین موضوع در رابطه با شبکه ارتباطی و دسترسی‌ها در مقابله با زلزله به سلسله‌مراتب آن‌ها ارتباط پیدا می‌کند که از بالاترین سطح در مقیاس منطقه و شهر تا دسترسی به واحدهای مسکونی قابل ملاحظه است. بنابراین اولین موضوع و اصل مرتبط با شبکه ارتباطی، وجود دسترسی‌های متنوع و متعدد باکیفیت مناسب به شهر است. آسیب‌پذیری شبکه به ساختار فضایی شبکه پرداخته و در زمینه تخلیه عمومی کاربرد دارد تا قسمت‌هایی از ساختار شهری که آسیب‌پذیر هستند، مشخص شود. این آسیب‌پذیری مربوط به ساختار شبکه، طبیعت و ترافیک مربوط است (Husdal, 2006: 6). آسیب‌پذیری ساختار به خود شبکه ارتباطی و عوامل مرتبط با آن مانند توپولوژی و شکل هندسی آن مربوط است. طبیعت محیط‌زیست و تأثیر آن به شبکه ارتباطی مربوط می‌شود و جریان رفت‌وآمد در شبکه به‌ویژه در ساعت اوج را شامل می‌شود. البته این عوامل دقیق، ولی کارایی تخلیه در این سه عبارت را به‌سختی می‌توان تخمین زد. طیف وسیعی از عوامل مختلف در تخلیه مؤثر هستند. شناختن ضعف، بحران و آسیب‌پذیری نواحی آسیب‌پذیر شبکه اهمیت زیادی دارد. به‌ویژه در نواحی که آسیب‌پذیری کل شبکه را از کار می‌اندازد. بامطالعه شبکه می‌توان قسمت‌های آسیب‌پذیر در زمان تخلیه را مشخص کرد. در این میان سهولت دسترسی نقش حیاتی دارد (Miriam, Shulman, 2008: 18). با این وجود در مورد آسیب‌پذیری شبکه دیدگاه‌های مختلفی بیان‌شده است. بسیاری از این دیدگاه‌ها به تخریب شبکه و یا نواحی که مستعد آسیب‌پذیری هستند، متمرکزشده است (Taylor et al, 2006: 30). به شبکه‌های (ارتباطی) از طریق روش‌های بهینه مقایسه سناریوهای شکست برای پیدا کردن بهترین حالت ممکن شبکه پرداخته است (Shen, 2006: 40). شناسایی موقعیت‌های حیاتی، رویکردی برای ارزیابی احتمالات مختلف تنزل شبکه در یک رویداد است (Taylor et al, 2006: 30). موقعیت‌های حیاتی یک ناحیه در یک شبکه به‌جایی گفته می‌شود که تنزل یا ازکارافتادن شبکه، بیشترین تأثیر را بر جریان دسترسی در شبکه داشته باشد (Miriam, Shulman, 2008: 18). دو مفهوم که در آسیب‌پذیری شبکه مورداستفاده قرار می‌گیرد، افزونگی[1] و انعطاف‌پذیری[2] است. افزونگی در حالت کلی جایی است که در آن مسیرهای مختلفی بین مبدأ و مقصد وجود دارد (Sohn, 2006: 67). بیشتر راه‌ها ممکن است هزینه زیادی دربر داشته باشد. ولی از دیدگاه ایمنی شبکه‌های افزونه راه مفر بیشتری را امکان‌پذیر می‌سازد. بنابراین وقتی راهی غیر قابل استفاده باشد، گزینه‌های مختلفی برای فرار وجود خواهد داشت. رویکرد دیگر برای کاهش آسیب‌پذیری محدود کردن مسیرهای دوراهی و ترکیبی در تخلیه است. تا اینکه جریان ترافیک پیوسته باشد و کمک و تسهیل حرکت مؤثر مردم خارج از محدوده است (Cova, Johnson, 2003: 33). این روش در شهرهایی با مساحت زیاد و گسترده کارایی ندارد. در داخل یک واحد همسایگی مردم اطلاعات زیادی از چیزهایی که هست، دارند. به همین خاطر کنترل کردن آن‌ها آسان است. ولی در یک شهر گسترده استفاده از این روش ممکن نیست (Miriam, Shulman, 2008: 18). ترافیک عملیات نجات، سوخت و آب‌رسانی، تخلیه نظامی منطقه و کمک‌های برون‌شهری در زمان بحران، نیاز به شریان‌های ارتباطی را افزایش می‌دهد. جمع‌آوری اطلاعات راه‌ها، شناخت شاهراه‌های حیاتی و توزیع آن‌ها با توجه به جمعیت منطقه، همین‌طور بررسی امکانات و توانایی‌های موجود و اولویت‌بندی آن‌ها مهم‌ترین مرحله در مدیریت ترافیک، در ساعت‌های اولیه پس از وقوع زلزله می‌باشند. ابتدا طراحی شبکه شاهراه‌های حیاتی با توجه به تمرکز جمعیت و نیاز به کمک‌رسانی انجام‌شده و

1. Redundancy
2. Flexibility

با تغییر وضعیت منطقه و گزارش‌های رسیده باید تغییر نماید (رشیدی فرد و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۹). از طریق طراحی شاهراه‌های حیاتی با توجه به اولویت‌های امدادرسانی و مدیریت به وسیله تجهیزات پیشرفته ازجمله GIS و تجهیزات دیداری می‌توان حداکثر کارایی را در عملیات نجات انتظار داشت. شاهراه‌های حیاتی دسته‌بندی آن‌ها و نوع ارتباط آن‌ها با فاکتورهای استراتژیک و آبشاری یا بروز نمودن اطلاعات ترافیک موردنیاز از مسایل حائز اهمیت مدیریت بحران می‌باشد (ثنایی نژاد، ۱۳۸۵: ۵۲-۵۱).

اثرات زلزله بر شبکه حمل‌ونقل

زلزله یکی از حوادث مهیب عصر حاضر است که باعث تخریب بسیاری از سازه‌های ساخت دست انسان می‌شود و هزینه‌های فراوانی بر دوش بشر وارد می‌کند. یکی از این سازه‌ها، شبکه‌های حمل‌ونقل می‌باشد که سالم ماندن آن‌ها پس از وقوع زلزله نقش مهمی در امدادرسانی خواهد داشت. تجربیات بعد از وقوع زلزله نشان داده است که در اثر زلزله پل‌ها، تونل‌ها و دیواره‌ها به دلیل طرح سازه‌ای مناسب چندان صدمه‌ای ندیده‌اند که به طور جدی موجب مسدود شدن راه شوند، ولی مسئله اساسی ریزش سنگ یا ناپایداری جدار ترانشه‌ها در محدوده اثر زلزله بر روی راه بوده است. به این ترتیب که سنگ‌های فراوانی که حتی قطعات بسیار بزرگ نیز در میان آن‌ها یافت می‌شوند بر روی دامنه کوه مشرف‌به راه غلتیده و انبوهی از سنگ و خاک را بر روی راه انباشته‌اند. راه در نقاط مختلفی کاملاً بسته می‌شود و عملاً امدادرسانی برای مدتی نسبتاً طولانی از طریق راه غیر ممکن می‌شود. برداشتن و حمل مصالح و پاک کردن سطح راه و حتی با به‌کارگیری ماشین‌های راهسازی و باوجود بسیج کامل راهداران مدتی به طول می‌انجامد. در مورد تونل‌ها به خصوص تونل‌هایی که با مصالح سنگی پوشش شده‌اند، اثرات زلزله محدود به ریزش سردر تونل‌ها و افتادن برخی از مصالح سنگی پوشش بوده است. در مورد پل‌ها، حرکت‌های طولی یا عرضی عرشه یا ایجاد ترک‌هایی در پل‌های طاقی سنگی بوده است و یا ترک‌هایی در پایه‌های کناری پل‌ها مشاهده‌شده است؛ بنابراین آسیب‌پذیری حداقلی شبکه حمل‌ونقل پس از وقوع زلزله نقش بسیار مهمی در بهبود و تسریع امدادرسانی به آسیب‌دیدگان دارد و می‌تواند خسارات جانی و مالی را کاهش دهد (نژاد اکبری راوری و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۷-۶۶).



شکل ۳- بیشینه شتاب زمین بر اساس شبیه‌سازی رویداد زمین‌لرزه فرضی به بزرگی ۵/۵ در مجاور شهر مشهد *PGA*

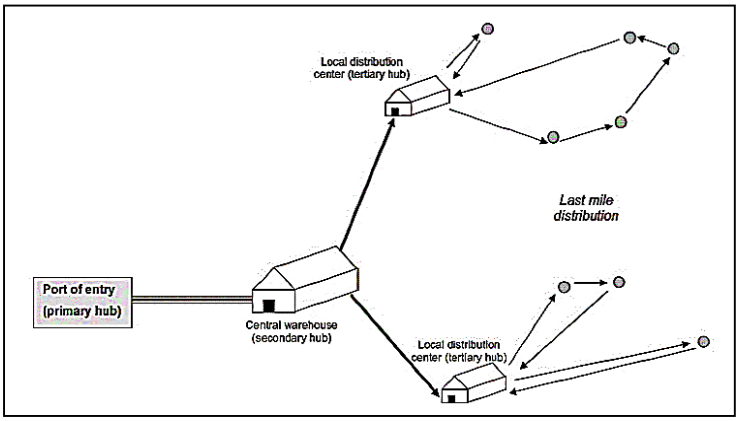
منبع: (سازمان فاوا، شهرداری مشهد، ۱۳۹۳: ۱۵)

مدل لجستیک امدادرسانی

لجستیک هستهٔ اصلی هر عملیات امدادرسانی است. به‌ویژه لجستیک امدادرسانی توجه زیادی را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است (Balcik, Beamon, 2008: 101). مؤسسه فریتز که به منزلهٔ یک سازمان غیرانتفاعی در حوزهٔ لجستیک امدادرسانی در شهر سان‌فرانسیسکو فعالیت می‌کند، تعریف جامع و منحصربه‌فرد زیر را برای لجستیک امدادرسانی ارائه کرده است. لجستیک امدادرسانی عبارت از فرایند برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و پایش جریان و ذخیرهٔ مؤثر و با هزینهٔ مناسب کالا، مواد و اطلاعات مرتبط، از نقطهٔ ارسال تا لحظهٔ رسیدن آن‌ها به دست مصرف‌کنندگان برای کاهش و التیام درد افراد حادثه‌دیده است. این عملیات دامنه‌ای از فعالیت‌ها همچون آمادگی، برنامه‌ریزی، تدارکات، حمل‌ونقل، انبارداری، رهگیری و ردیابی و ترخیص گمرکی را شامل می‌شود. درواقع فعالیت‌های شمرده‌شده در تعریف بالا، همگی جزء فعالیت‌های اصلی در دو فاز آمادگی و پاسخ از چرخهٔ مدیریت بحران هستند. میزان و حجم فعالیت‌های لجستیکی در این دو فاز به حدی است که تقریباً ۸۰ درصد از فعالیت‌های امدادرسانی را شامل می‌شود (Overstreet et al, 2011: 114). برای کاهش تلفات انسانی در یک عملیات امدادرسانی، نیروهای امدادی (آمبولانس و آتش‌نشانی) باید در سریع‌ترین زمان و بلافاصله بعد از وقوع زلزله به محل حادثه اعزام شوند. یک مشکل اساسی که معمولاً بعد از وقوع زلزله ایجاد می‌شود، خرابی و ویرانی بخشی از زیرساخت‌های شبکهٔ حمل‌ونقل است. هنگامی که این بحران رخ می‌دهد، ممکن است درصدی از خیابان‌ها و مسیرهای موجود در شبکهٔ شهری قابل‌دسترسی نباشند. این مسئله مهم مشکلات زیادی را برای رسیدن نیروهای امدادی به مناطق حادثه‌دیده ایجاد می‌کند. در این میان، نظام اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به منزلهٔ ابزاری برای حصول داده‌های مبتنی بر زمان واقعی جهت انجام عملیات امدادرسانی استفاده شود. یک موضوع مهم در لجستیک امدادرسانی بر خلاف لجستیک تجاری، زمان استاندارد امدادرسانی است. یک مدل لجستیک امدادرسانی مؤثر و کارا باید با تمرکز بر اعزام نیروهای امدادی (آمبولانس و آتش‌نشانی) در زمان استاندارد امدادرسانی، موجب کاهش تلفات انسانی شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۳). با توجه به مطالعاتی که در فاز حل مسئله لجستیک امدادرسانی صورت می‌پذیرد، الگوریتم‌های فرا ابتکاری دارای این قابلیت هستند که در مدت زمانی کوتاه، جواب قابل قبول نزدیک به بهینه‌ای تولید نمایند (Clarke, Wright, 1964: 568). مدل ریاضی لجستیک امدادرسانی به‌صورت یک مدل عملیاتی مکان‌یابی- مسیریابی به‌صورت برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط رابطه‌نویسی می‌شود که عبارت است از:

$$min\, z = \sum_{n\in N}.\sum_{m\in M}.\sum_{k\in K} t_{nm}\, x_{nmk} + \sum_{g\in G} p_g\, y_g + fc \sum_{i\in I} \delta_i \qquad (۱)$$

شکل ۴، یک زنجیرهٔ لجستیک امدادرسانی را نمایش می‌دهد.



شکل ٤- زنجیرهٔ لجستیک امدادرسانی

منبع: (Balcik and Beamon, 2008: 51)

نقش GIS در مسیریابی بهینه

سیستم‌های اطلاعات مکانی در طراحی مسیر بهینه، سیستمی کارآمد برای تصمیم‌گیری و مشاورهٔ کارشناسان در طراحی مسیر است؛ زیرا GIS قابلیت‌های مهمی برای تجزیه‌وتحلیل اطلاعات، نظارت، پردازش، مدیریت و برنامه‌ریزی فراهم می‌کند. در طراحی مسیر بهینه به‌وسیلهٔ GIS، می‌توان عوامل مؤثری همچون عوامل فنی و مهندسی، اقتصادی و محیط زیستی را مدل‌سازی نموده و با استفاده از الگوریتم‌های موردنیاز، مسیر بهینه را تعیین نمود. در طراحی مسیر بهینه به‌وسیله GIS، برای کاربردهای مختلفی ازجمله راه‌سازی، خطوط نفت و گاز، خودروهای اورژانس، آتش‌نشانی، پلیس و... از الگوریتم‌های کوتاه‌ترین مسیر استفاده می‌شود (سلمان‌ماهینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۹). دربارهٔ تعیین کوتاه‌ترین مسیر، الگوریتم‌های مختلفی ارائه‌شده است که هر یک کارایی خاص خود را دارد که در تحقیق حاضر، از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر بر روی سطح شبکه استفاده‌شده است.

گراف

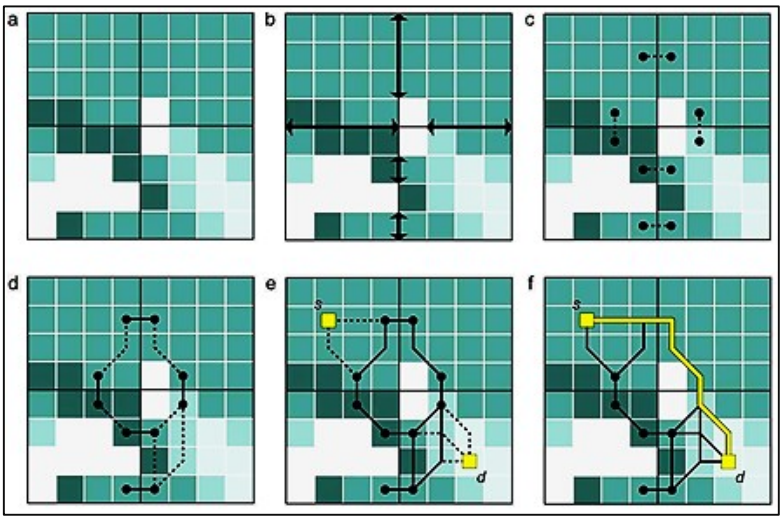
گراف مجموعه‌ای متشکل از رئوس یا گره‌ها و ارتباطات بین آن‌هاست. مفهوم گراف در سال ۱۷۳۶ توسط اویلر و با طرح راه‌حلی برای مسئله پل‌های کونیگسبرگ ارایه شد و به تدریج توسعه یافت (Barnett, 2008: 197-214). سیستم‌های اطلاعات مکانی در زمینه مدیریت و طراحی بهینه تسهیلاتی چون حمل‌ونقل، دارای قابلیت‌های فراوانی هستند (Harary,1994: 1). قابلیت-های تجزیه‌وتحلیل شبکه در سیستم‌های اطلاعات مکانی ازجمله محاسبه کوتاه‌ترین مسیر یکی از مهم‌ترین این قابلیت‌هاست. تاکنون در زمینه استفاده از آنالیزهای شبکه در طراحی سیستم‌های حمل‌ونقل، تحقیقات بسیاری انجام‌گرفته است (Saberian et al, 2010: 67). مبنای انجام آنالیزهای شبکه در GIS، تئوری گراف است.

الگوریتم‌های مسیریابی بر مبنای تکنیک‌های هوش مصنوعی

هسته اصلی سیستم‌های مسیریابی مبتنی بر هوش مصنوعی، محاسبات کوتاه‌ترین مسیر بر اساس شرایط جاری (اطلاعات در زمان واقعی) است. در نظریه گراف‌ها، مسئله یافتن کوتاه‌ترین مسیر، درواقع مسئله یافتن مسیری بین دو رأس (گره) است، به‌گونه‌ای که مجموع وزن یال‌های تشکیل‌دهندهٔ آن، کمینه شود. در این حالت رأس‌ها نشان‌دهندهٔ مکان‌ها و یال‌ها نشان‌دهندهٔ بخش‌های مسیر هستند که برحسب زمان لازم برای طی کردن آن‌ها وزن‌گذاری شده‌اند. از نتایج این الگوریتم‌ها، تصمیم‌گیری‌های مسیریابی در شبکه حمل‌ونقل شهری شامل استراتژی‌های مؤثر انتخاب مسیر در تطبیق با شرایط ترافیکی و گزینه‌های مختلف طی مسیر، برای خودروها به‌ویژه خودروهای امدادی است (ذوالفقاری و کرکه‌آبادی، ۱۳۹۲: ۲۲-۲۱).

مسئله کوتاه‌ترین مسیر همیشه یکی از کاربردی ترین مسائل در آنالیزهای مکانی در حمل‌ونقل و همچنین سیستم‌های خدماتی مکان مبنا بوده است. با توسعه و پیشرفت روزافزون این سیستم‌ها با توجه به پیچیدگی‌های مدل‌های ریاضی و ساختار شبکه‌ای، الگوریتم‌های مختلفی برای مسیریابی بهینه با توجه به پارامترها و خصوصیات و ساختار شبکه ارائه‌شده است. الگوریتم‌های مسیریابی به دو دسته اصلی الگوریتم‌های ماتریسی و الگوریتم‌های با ساختار درختی تقسیم بندی می‌شوند. الگوریتم‌های ماتریسی، کوتاه‌ترین فاصله بین همه جفت رأس‌ها در شبکه را با عملیات تکراری پیدا می‌کنند. اساس کار این الگوریتم‌ها این است که شبکه را به‌صورت یک ماتریس در نظر می‌گیرند؛ اما الگوریتم‌های با ساختار درختی کوتاه‌ترین مسیر را از رأس مبدأ به سایر رأس‌ها می‌یابند. در این الگوریتم‌ها، درختی از کوتاه‌ترین مسیرها با شاخه‌هایی منشعب شده از مبداء تولید می‌شود. از الگوریتم-

های درختی می‌توان به الگوریتم Dijkstra's[۱]، الگوریتم Bellman-Ford[۲] و الگوریتم A*[۳] و از الگوریتم‌های ماتریسی می‌توان به الگوریتم Floyd-Warshall[۴] و الگوریتم Johnson's[۵] اشاره کرد. نوع دیگری از الگوریتم‌ها مثل K-Shortest Path[۶] جهت تعیین مجموعه جواب از چندین مسیر ممکن از یک مبدأ به یک مقصد به کار می‌رود. با اعمال پارامترها و شرایط مسیر بهینه، مسیر نهایی از میان مجموعه جواب الگوریتم استخراج می‌شود (Zhan,1977, 69-82).



شکل ۵- فرآیند مسیریابی با استفاده از الگوریتم مسیریابی

منبع: (Antikainen, 2013: 1002)

الگوریتم دیکسترا

یکی از الگوریتم‌های معروف برای محاسبه کوتاه‌ترین مسیر، الگوریتم دیکسترا است که توسط ادگار دیکسترا یکی از پیشگامان علوم رایانه در سال ۱۹۵۹ برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر در یک گراف ارائه داد (Zhan, 1977: 69-82). همان طور که پیشتر بیان شد، در این الگوریتم از روش ساختار درختی استفاده‌شده است (Husdal, 2006:1). این الگوریتم در هر مرحله، انتخابی بهینه انجام می‌دهد. روند انجام الگوریتم دیکسترا در زیر بیان‌شده است (شکل ۶).

i=0 و $S=\{V0\}$ و $l(V0)=0$ و برای هر $l(vi)=\infty, Vi$

برای هر $Vi \in \bar{S}$، $l(Vi)$ با استفاده از رابطه $\min\{l(V), l(Vi-1)+Wvi-lvi\}$ تعیین می‌شود. اگر Vi رأسی باشد که کمترین مقدار را می‌دهد خواهیم داشت، $S = S \cup \{Vi\}$.

اگر $i=n-1$ توقف کن، اگر $i<n-1$ آنگاه قرار بده $i=i+1$ و به مرحله یک برگردد.

---

۱. الگوریتم دیکسترا یکی از الگوریتم‌های پیمایش گراف است که مسئلهٔ کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ واحد را برای گراف‌های وزن‌دار که یال با وزن منفی ندارند، حل می‌کند.

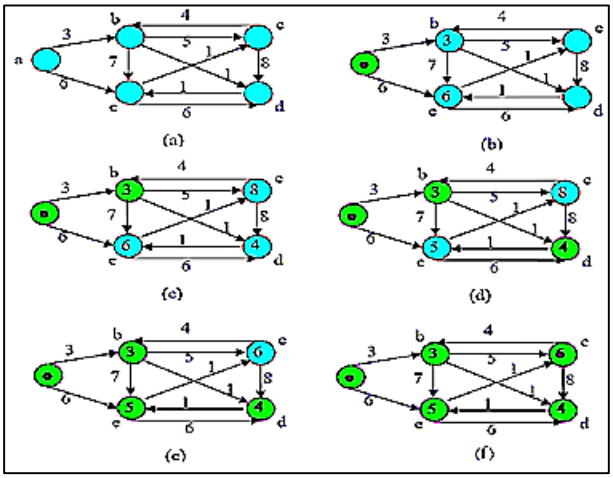
۲. الگوریتم بلمن-فورد، الگوریتم پیمایش گراف است که مسئلهٔ کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ واحد را برای گراف‌های وزن‌داری که وزن یال‌ها ممکن است منفی باشد حل می‌کند.

۳. الگوریتم A* یک الگوریتم کامپیوتری است که به طور وسیع در پیمایش گراف و یافتن مسیر بین دو نقطه که گره نامیده می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴. الگوریتم فلوید-وارشال، یک الگوریتم تحلیل گراف برای پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر در یک گراف جهت‌دار و وزن‌دار می‌باشد.

۵. الگوریتم جانسون، الگوریتمی برای پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر بین تمام جفت‌های رأسی در گراف‌های پراکنده جهت‌دار است.

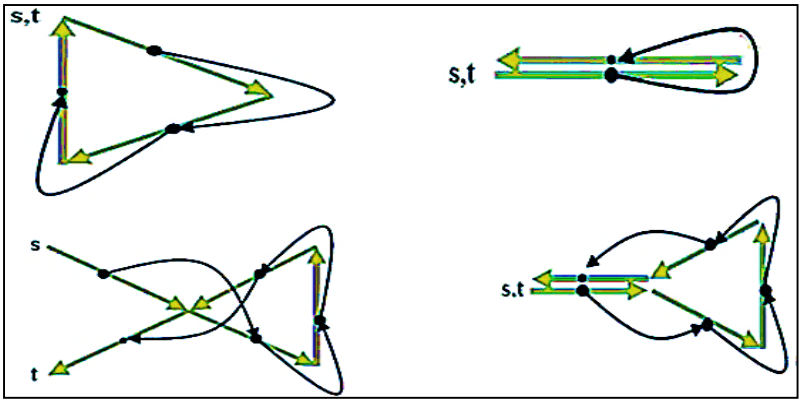
۶. کوتاه‌ترین مسیر



شکل ٦- چگونگی اجرای الگوریتم دیکسترا روی ٥ رأس

منبع: (صابریان و همراه، ۱۳۸۸: ۴)

الگوریتم دیکسترا به گرافی وزن‌دار نیاز دارد که وزن یال‌ها در آن غیر منفی باشند. در الگوریتم دیکسترا فواصل به‌صورت تابع وزن w از مجموعه یال‌های E به اعداد حقیقی مثبت R+ ارائه می‌شوند. تابع وزن هدف اضافی t: N →R+ برای ذخیره فواصل حداقل از گره شروع s به هر گره در گراف به کار می‌رود (وربویز و داکم، ۱۳۹۲: ۲۸۶).

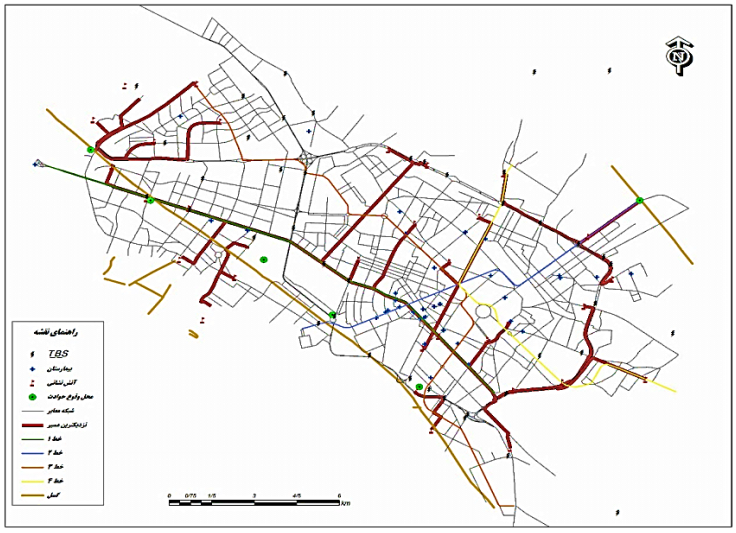


شکل ۷- مشکلات مسیریابی برای الگوریتم دیکسترا و راه‌حل دوگان خطی آن

منبع: (Winter, 2002: 345)

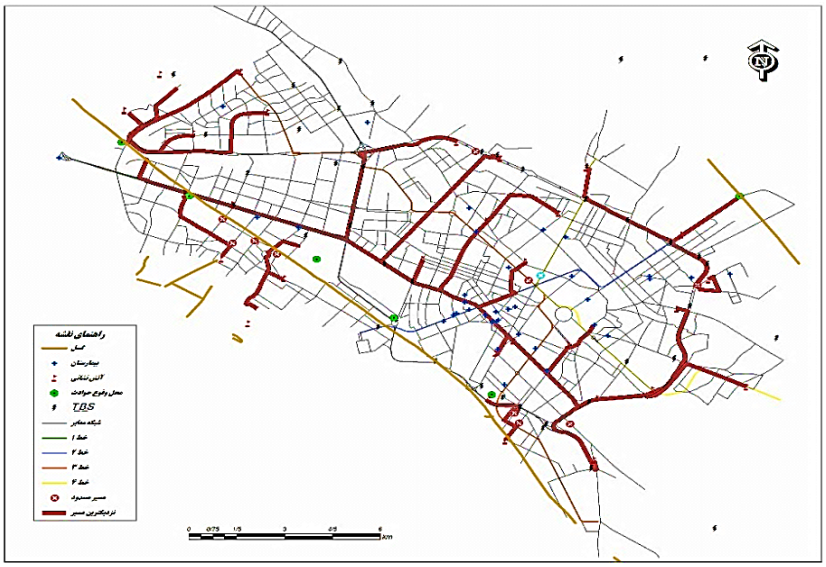
یافته‌های تحقیق

پیاده‌سازی مدل لجستیک امدادرسانی بر روی شبکهٔ حمل‌ونقل شهری مشهد با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS انجام‌گرفته است. شبکهٔ حمل‌ونقل شهری مشهد دارای ۱۸۴۶ مسیر یا کمان و ۱۲۱۴ نقطهٔ تقاطع یا گره می‌باشد. شکل ۸ کوتاه‌ترین مسیر دسترسی آتش‌نشانی به محل وقوع حوادث، با فرض سالم بودن مسیرهای ارتباطی در شهر مشهد را نشان می‌دهد. از بین ۶ مکان مهم (پایانه مسافربری، صداوسیما، دانشگاه فردوسی، هتل پارس، نمایشگاه بین‌المللی و ایستگاه مترو طبرسی) که انتخاب‌شده است، پایانه مسافربری امام رضا (ع) با ۲/۲ دقیقه کمترین زمان دسترسی و ایستگاه مترو طبرسی شمالی با ۶/۲ دقیقه، بیشترین زمان دسترسی است که آتش‌نشانی می‌تواند از نزدیک‌ترین مسیر به محل وقوع حادثه برسد. همچنین میانگین زمان دسترسی در ۶ مکان ۴ دقیقه می‌باشد.



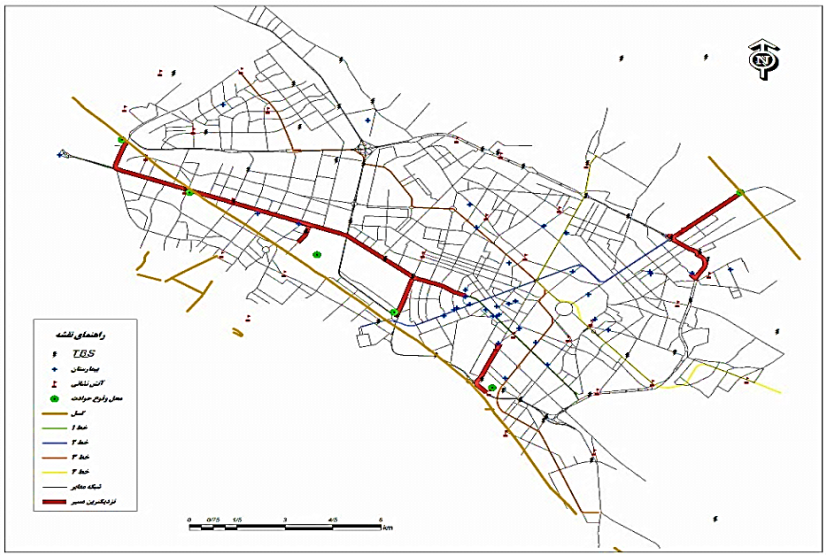
شکل ۸- کوتاه‌ترین مسیر دسترسی آتش‌نشانی به محل وقوع حوادث با فرض سالم بودن مسیرهای ارتباطی

همان طورکه در شکل ۹ مشاهده می‌شود با فرض احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی در زمان وقوع بحران، به علت ریزش پل‌ها و تونل‌ها، تخریب ساختمان‌ها و گسل، ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز (T.B.S) و... بعضی از مسیرها ممکن است مسدود یا خراب باشند و امکان تردد از آن‌ها ممکن نخواهد بود. لذا مسیرهای جایگزین با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر انتخاب گردید؛ که در این بین میانگین زمان دسترسی آتش‌نشانی از ۴ دقیقه به ۷/۶ دقیقه افزایش می‌یابد.



شکل ۹- کوتاه‌ترین مسیر دسترسی آتش‌نشانی به محل وقوع حوادث با فرض خرابی مسیرهای ارتباطی

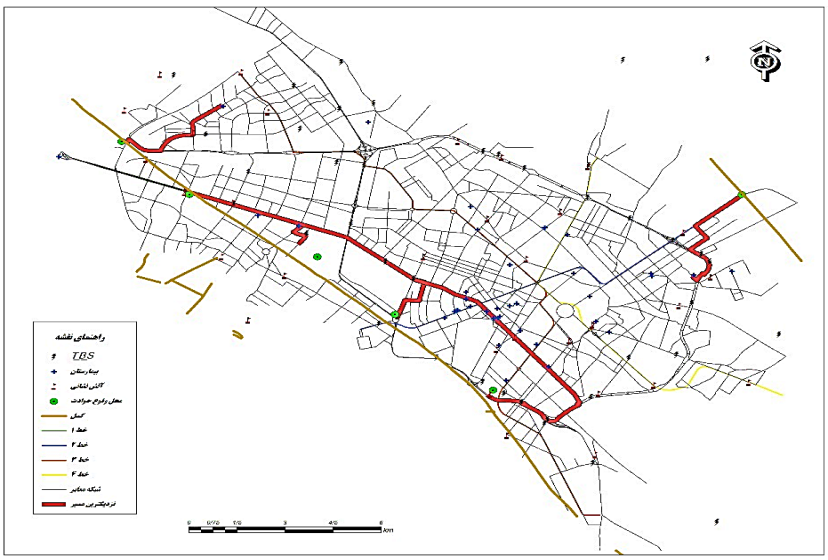
شکل ۱۰ کوتاه ترین مسیر دسترسی اورژانس را به محل وقوع حوادث، با فرض سالم بودن مسیرهای ارتباطی در شهر مشهد نشان می‌دهد. دانشگاه فردوسی بازمان ۵/۲ دقیقه کمترین زمان دسترسی و ایستگاه مترو طبرسی شمالی بازمان ۷/۴ دقیقه بیشترین زمان را برای رسیدن اورژانس در بین ۶ مکان تعیین‌شده دارا می‌باشند.



شکل ۱۰- کوتاه‌ترین مسیر دسترسی اورژانس به محل وقوع حوادث
با فرض سالم بودن مسیرهای ارتباطی

شکل شماره ۱۱ کوتاه‌ترین مسیر دسترسی اورژانس را به محل وقوع حوادث، با فرض احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی نشان

می‌دهد. هتل پارس با ۱/۵ دقیقه کمترین زمان تغییر را با فرض احتمال سالم بودن و همچنین خرابی مسیرهای ارتباطی را دارد و پایانه مسافربری امام رضا (ع) با ۶/۲ دقیقه بیشترین زمان تغییر را دارد؛ و هتل پارس با ۷/۲ دقیقه کمترین زمان دسترسی و ایستگاه مترو طبرسی شمالی نیز بازمان ۱۲/۳ دقیقه بیشترین زمان دسترسی را دارا هستند. همچنین میانگین زمان دسترسی در ۶ مکان تعیین‌شده از ۵/۹ دقیقه با فرض احتمال سالم بودن مسیرها، به ۹/۹ دقیقه با فرض خرابی مسیرهای افزایش‌یافته است.



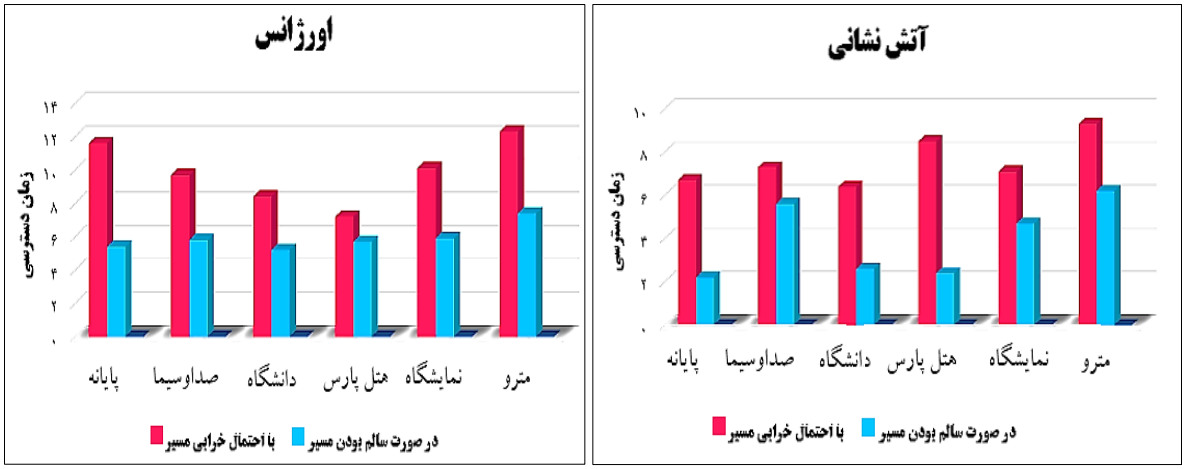
شکل ۱۱- کوتاه‌ترین مسیر دسترسی اورژانس به محل وقوع حوادث
با احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی

جدول ۱ میانگین زمان دسترسی به محل وقوع حوادث را با احتمال سالم بودن و همچنین با احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی نشان می‌دهد. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که با احتمال سالم بودن مسیرهای ارتباطی، کمترین زمان دسترسی اورژانس به دانشگاه فردوسی بازمان ۵/۲ دقیقه و بیشترین زمان هم ۷/۴ دقیقه به ایستگاه مترو طبرسی خواهد بود. کمترین زمان دسترسی آتش‌نشانی به پایانه مسافربری امام رضا (ع) بازمان ۲/۲ دقیقه و بیشترین زمان دسترسی به ایستگاه مترو طبرسی بازمان ۶/۲

دقیقه خواهد بود. همچنین میانگین زمان دسترسی اورژانس به محل وقوع حوادث با احتمال سالم بودن مسیرهای ارتباطی، ۵/۹ دقیقه و میانگین زمان دسترسی آتش‌نشانی ۴ دقیقه خواهد بود. همچنین میانگین زمان دسترسی اورژانس به محل وقوع حوادث با احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی، ۹/۹ دقیقه و میانگین زمان دسترسی آتش‌نشانی نیز ۷/۶ دقیقه خواهد بود.

جدول ۱- میانگین زمان دسترسی (دقیقه) به محل وقوع حوادث با احتمال سالم بودن و خرابی مسیرهای ارتباطی

ردیف	محل وقوع حوادث	در صورت سالم بودن مسیرهای ارتباطی		با احتمال فرض خرابی مسیرهای ارتباطی	
		اورژانس	آتش‌نشانی	اورژانس	آتش‌نشانی
۱	پایانه مسافربری امام رضا (ع)	۵/۴	۲/۲	۱۱/۶	۶/۷
۲	صداوسیما	۵/۸	۵/۶	۹/۷	۷/۳
۳	دانشگاه فردوسی مشهد	۵/۲	۲/۶	۸/۴	۶/۴
۴	هتل پارس	۵/۷	۲/۴	۷/۲	۸/۵
۵	نمایشگاه بین‌المللی مشهد	۵/۹	۴/۷	۱۰/۱	۷/۱
۶	ایستگاه مترو طبرسی شمالی	۷/۴	۶/۲	۱۲/۳	۹/۳
	میانگین زمان دسترسی (دقیقه)	۵/۹	۴/۰	۹/۹	۷/۶



شکل ۱۲- زمان دسترسی اورژانس و آتش‌نشانی به مکان‌های تعیین‌شده

نتیجه‌گیری

وقوع حوادث ناگهانی همانند بلایای طبیعی و یا بروز جنگ‌ها و حملات نظامی خسارات مالی و جانی بسیاری را به دنبال دارد. باوجودآن که در مطالعات بسیاری به بررسی ابعاد گوناگون مسائل مرتبط با مدیریت بحران پرداخته‌شده است، به سبب اهمیت و تأثیر برنامه‌ریزی در پیشگیری از چنین وقایعی و یا مدیریت آن‌ها، مدیریت بحران همچنان به‌صورت یک حوزهٔ جذاب مطالعاتی مطرح بوده است. در تحقیق حاضر به پیاده‌سازی الگوریتم‌های مسیریابی تحلیل شبکه در مدیریت بحران به‌منظور مسیریابی تسهیلات امدادرسانی با فرض احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی در زمان بحران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در شهر مشهد پرداخته شد. در زمان وقوع حوادث امکان دارد برخی از مسیرهای ارتباطی به دلیل وجود پل‌ها، نزدیکی به گسل، نزدیکی به ایستگاه‌های گاز (T.B.S) و... خراب شوند و امدادرسانی با مشکل روبرو شود. لذا باید در این هنگام نزدیک‌ترین مسیرهای ارتباطی سالم برای رسیدن نیروهای امدادی به محل وقوع حوادث انتخاب شود که در این صورت زمان رسیدن نیروهای امدادی به محل وقوع حوادث افزایش می‌یابد. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که میانگین زمان رسیدن نیروهای آتش‌نشانی به محل وقوع

حوادث (در ۶ مکان تعیین‌شده در تحقیق) با احتمال سالم بودن مسیرهای ارتباطی، ۴ دقیقه و با احتمال خراب بودن مسیرهای ارتباطی، ۷/۶ دقیقه خواهد بود که ۳/۶ دقیقه با فرض احتمال خرابی مسیرها به طور میانگین نیروهای آتش‌نشانی دیرتر به مکان‌های تعیین‌شده خواهند رسید. همچنین زمان رسیدن اورژانس با فرض احتمال سالم بودن مسیرها، ۵/۹ دقیقه و با فرض احتمال خراب بودن مسیرها، ۹/۹ دقیقه خواهد بود؛ که تغییر زمان برای رسیدن اورژانس با فرض احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی ۴ دقیقه است.

منابع و مآخذ

- احدنژاد روشتی، محسن، روستایی، شهریور، کاملی‌فر، محمدجواد (۱۳۹۴)، ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه معابر شهری در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران (مطالعه موردی: منطقه ۱ شهر تبریز)، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۴، شماره ۹۵، صص ۳۷-۵۰.
- احمدی، مرتضی، سیفی، عباس، قرهی، علیرضا (۱۳۹۲)، مدل لجستیک امدادرسانی برای کاهش تلفات پس از زلزله در ابعاد بسیار بزرگ و واقعی، دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره چهارم، صص ۶۴-۵۱.
- ارکات، جمال، زمانی، شکوفه، قدس، پرک (۱۳۹۴)، مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات اورژانسی با فرض احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی در زمان بحران، دو فصلنامه مدیریت بحران، شماره هشتم، صص ۱۰۶-۹۵.
- اصغری زمانی، اکبر، بابایی اقدم، فریدون، میرآلانق، سید محمد (۱۳۹۵)، ارزیابی سطح کارایی شبکه معابر به هنگام بروز حوادث غیرمترقبه در مناطق حاشیه‌نشین (مطالعه موردی: مناطق حاشیه‌نشین شمال شهر تبریز)، نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره هفتم، شماره بیست و پنجم، صص ۱۵۸- ۱۴۱.
- بهرام پور، مهدی، بمانیان، محمدرضا (۱۳۹۱)، تبیین الگوی جانمایی پایگاه‌های مدیریت بحران با استفاده از GIS (نمونه موردی: منطقهٔ ۳ شهر تهران)، دوفصلنامه مدیریت بحران، شماره اول، صص ۵۹-۵۱.
- پورموسوی، سیدموسی، فیروزپور، آرمین، دارانی، مسعود (۱۳۹۱)، نقش جامعه محلی در بهبود عملکرد نظام مدیریت بحران، فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره دوم، شماره اول، صص ۴۲- ۳۲.
- ثنایی‌نژاد، فرج (۱۳۸۵)، کاربرد GIS با استفاده از ARC/INFO در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، انتشارات جهاد دانشگاهی تهران.
- حبیبی، کیومرث، سرکارگر اردکانی، علی، یوسفی، زاهد، صفدرنژاد، مجتبی (۱۳۹۲)، پیاده‌سازی الگوریتم‌های سلسله مراتبی/ فازی جهت تعیین آسیب‌پذیری چند عاملهٔ هستهٔ مرکزی شهرها (مطالعه موردی: منطقهٔ ۶ تهران)، دوفصلنامه مدیریت بحران، شماره دوم، صص ۷۶- ۶۷.
- خیراللهی، مصطفی، نادی، سعید (۱۳۹۵)، تلفیق معیارهای کیفی و کمی با استفاده از مدل‌های مکان مبنا به‌منظور مسیریابی بهینه‌ی خودروهای اورژانس در محیط‌های شهری، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۵، شماره ۱۰۰، صص ۵۹-۴۵.
- ذوالفقاری، اکرم، کرکه‌آبادی، زینب (۱۳۹۲)، مسیریابی هوشمند اکیپ‌های امدادی با استفاده از الگوریتم تئوری بازی‌ها نمونه موردی: شهر سمنان، مهندسی حمل‌ونقل، سال پنجم، شماره اول، صص ۳۲-۱۹.
- رشیدی‌فرد، سیدنعمت‌الله، محیط، محمد، قیسوندی، آرمان، دانشی، سید صمد (۱۳۹۳)، مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شبکه‌های ترافیکی درون‌شهری جهت امدادرسانی در زمان وقوع زلزله (مطالعه موردی: شهر ده دشت: استان کهگیلویه و بویراحمد)، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۳، شماره ۹۰، صص ۵۳-۴۸.
- زنگنه، محمد (۱۳۹۵)، ارزیابی و تحلیل مخاطرات و راهکارهای پدافند غیرعامل در شبکه راه‌های استان البرز با استفاده از روش‌های IHWP و SWOT، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۵، شماره ۹۸، صص ۱۲۸-۱۱۳.
- سازمان فاوای شهرداری مشهد (۱۳۹۳)، سامانه مدیریت بحران زلزله شهر هوشمند مشهد، گزارش تحقیقاتی، شماره نشر ۱۰۱.
- سرگلزائی، عالیه، وفائی‌نژاد، علیرضا (۱۳۹۶)، یافتن کوتاه‌ترین مسیر شبکه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته در سیستم اطلاعات مکانی، نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ششم، شماره ۴، صص ۲۳۹-۲۳۱.

- سلمان ماهینی، عبدالرسول، عابدیان، سحر، علیزاده، افشین، خراسانی، نعمت‌اله (۱۳۹۴)، استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر در مسیریابی جاده‌ای در شهرستان‌های کردکوی، بندرگز و گلوگاه، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال پنجم، شماره ۱۵،صص ۹۰-۷۷.
- شیعه، حبیبی، ترابی، اسماعیل، کیومرث، کمال (۱۳۸۹)، بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی شهرها در مقابل زلزله با استفاده از GIS, IHWP، باغ نظر، شماره سیزده، سال هفتم، صص ۷۸-۳۵.
- صابریان، جواد، همراه، مجید (۱۳۸۸)، بهبود اجرای الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های شهری، همایش ژئوماتیک.
- محرابی، ناهید (۱۳۹۳)، نقش کاربردی ابزارهای فن‌آوری ارتباطات و اطلاعات در مدیریت بحران، مجله دانشکده پیراپزشکی ارتش جمهوری اسلامی ایران، دوره ۹، شماره ۱، صص ۵۳-۴۸.
- نژاداکبری راوری، زهره، خواهنده کارنما، اسدالله، صادقی، زین‌العابدین، حسینی، زهرا (۱۳۹۳)، اولویت‌بندی مسیرهای تخلیه اضطراری پیشنهادی شهر کرمان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، فصلنامه دانش انتظامی، دوره پنجم، شماره هشتم، صص ۷۸-۶۳.
- وربویز، مایکل، داکم، مت (۱۳۹۲)، سیستم‌های اطلاعات مکانی از دیدگاه محاسباتی، ترجمه: رحیم علی عباسپور، مینا خالصیان، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- Antikainen, H. (2013), Using the Hierarchical Pathfinding A* Algorithm in GIS to Find Paths through Rasters with Nonuniform Traversal Cost, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2013, Vol.2, pp.996-1014.
- Balcik, B., Beamon, B.M. (2008), Facility location in humanitarian relief, International Journal of Logistics, 11(2), pp.101-121.
- Barnett, J. H. (2008), Early writings on graph theory: Euler circuits and the Konigsberg bridge problem, Mathematical Association of America, B. Hopkins, ed., Washington, DC., pp.197-214.
- Ciriannia, F., Fontea, F., Leonardia, G., Scopellitia, F. (2012), Analysis of Lifelines Transportation Vulnerability, SIIV 5th International Congress-Sustainability of Road Infrastructures, Published by Elsevier Ltd, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol.53, pp. 29 -38.
- Clarke, G., Wright, J. (1964), Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, Operations research, Vol.12, No.4, pp. 568-581.
- Cova, T., Johnson, J. (2003), A Network Flow Model for Lane-Based Evacuation Routing, Transportation Research Part A, Vol.37, pp. 579-604.
- Goldberg, R., Listowsky, P. (1994), Critical factors for emergency vehicle routing Expert systems, Expert systems with applications, Vol.7, No. 4, pp.589-602.
- Harary, F. (1994), Graph theory, Colorado: Westview Press.
- Husdal, J. (2006), Transport Network Vulnerability: Which Terminology and Metrics Should We Use? Paper presented at the NECTAR Cluster 1 Seminar, Norway: pp.1-9.
- Jotshi, A., Gong, Q., Batta, R. (2006), Dispatching and Routing of Emergency Vehicles in Disaster Mitigation using Data Fusion, Air Force Office of Scientific Research (AFOSR).
- Lee, C., Huang, C., Hsiao, T., Wu, C. (2014), Impact of Vehicular Networks on Emergency Medical Services in Urban Areas, International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol.11, pp.11348-11370.
- Lewis, T. G. (2006), critical infrasturcture protection in homeland security: defending a networked nation, published by john wiley sons, Inc.
- Miriam, H., Shulman, L. (2008), Estimating Evaluation Vulnerability of Urban Transportation Systems Using GIS, a thesis submitted to the Department of Geography in conformity with the requirements for the degree of Master of Arts, Queen's University Kingston, Ontario, Canada.
- Musolino, G., Antonio, P., Rindone, C., Vitetta, A. (2002), Travel time forecasting and dynamic routes design for emergency vehicles, Procedia - Social and Behavioral Sciences Vol.87, pp.193-202.
- Neysani Samani, N., Delavar, M. R., Chrisman, N., Malek, M. R. (2013), Spatial Relevancy Algorithm for Context-Aware Systems (SRACS) In Urban Traffic Networks Using Dynamic Range Neighbor Query And Directed Interval Algebra, Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, Vol.5, pp.605-619.
- Overstreet, R.E., Hall, D., Hanna, J.B., Kelly Rainer, R. (2011), Research in humanitarian logistics, Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, Vol.1, No.2, pp.114-131.
- Saberian, J., Mesgari, M. S., Shirzadi Babakan, A. (2010), A new method for planning of urban bus transportation paths using of GIS, Journal of Transportation Research, Vol.7, No.1, pp.67-78.
- Shen, W., Nie, Y., Zhang, H. (2007), A Dynamic Network Simplex Method for Designing Emergency Evacuation Plans, Transportation Research Board, TRB 2007 Annual Meeting, Paper, 07-2419, pp.1-25.
- Sohn, J. (2006), Evaluating the Significance of Highway Network Links under the Flood Damage: An Accessibility Approach, Transportation Research Part A, Vol.40, pp.491-506.
- Taylor, M., Sekhar, S., D'Este, G. (2006), Application of Accessibility Based Methods for Vulnerability Analysis of Strategic Road Networks, Network Spatial Economy, Vol.6, pp. 267-291.
- Tzeng, G. H., Chen, Y. W. (1998), implementing an effective schedule for reconstructing post-earthquake road network based on asymmetric traffic assignment-an application of genetic algorithm, International Journal of Operations and Quantitative Management, Vol.4, No.3, pp. 229-46.

- Winter, S. (2002), Modeling the costs of turns in route planning, GeoInformatica, Vol.6, No.4, pp.345-360.
- Zhan, B. (1977), The fastest shortest path algorithms on real road networks: Data structure and Procedure, Journal of Geographic Information and Decision Analysis, Vol.1, No.1, pp.69-82.