فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال نوزدهم، دوره دوم، شماره ۷۱، تابستان ۱۴۰۱

مدل‌سازی پویای برخی سیاست‌های مدیریتی در تخلیه اضطراری

مقاله علمی – پژوهشی

امیررضا ممدوحی*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیطزیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
مهدی شریعتی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیطزیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
محسن ناظمی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیطزیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
محمدحسین عباسی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیطزیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: armamdoohi@modares.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۵
صفحه ۱۴۸-۱۳۵

چکیده

منظور از تخلیه اضطراری، انتقال جمعیت در یک زمان محدود از یک ناحیه به ناحیه دیگر در زمان بحران است. هدف اصلی این فرایند، انتقال مردم به خارج از محدوده بحران با حداکثر سرعت ممکن است. لذا به‌کارگیری سیاست‌های مدیریتی جهت کاهش زمان تخلیه از محدوده خطر می‌تواند نقشی حیاتی در کمینه کردن پیامدهای منفی بحران‌ها داشته باشد. هدف پژوهش جاری، مدل‌سازی جهت بررسی تأثیر برخی سیاست‌های مدیریتی شامل تغییر جهت خیابان، تعیین مسیرهای بهینه تخلیه و فازبندی تخلیه و پیاده‌سازی آن برای شبکه سوفالز جهت تحلیل نحوه عملکرد شبکه بعد از اجرای سیاست‌های پیشنهادی است. ازجمله نوآوری‌های این پژوهش، استفاده از تخصیص ترافیک پویا و ابزار شبیه‌سازی است که برخلاف رویکرد مطالعات پیشین است که از مدل‌های ریاضی معمول و روش‌های ابتکاری با فرض ثبات شرایط ترافیک و تخصیص ترافیک ایستا استفاده کردند. در این پژوهش، فرآیند تخلیه‌ی اضطراری برای نمونه موردی شبکه سوفالز و با هدف کمینه کردن زمان تخلیه اضطراری در نرم‌افزار ویزوم شبیه‌سازی شده است. یافته‌های سناریوهای مختلف نشانگر آن است که حجم تقاضا و فازبندی تخلیه (در قالب تابع توزیع تقاضا) ازجمله عوامل مؤثر در زمان تخلیه اضطراری است اما تقاضای تخلیه نسبت به نوع تابع توزیع تقاضا دارای تاثیر بیشتری است. همچنین، اعمال سیاست‌های پیشنهادی (تحت سناریوهای مختلف احجام تقاضا و فازبندی‌های تخلیه) باعث کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی در زمان تخلیه شبکه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تخلیه، مدیریت بحران، مدیریت ترافیک، تخصیص پویا، شبیه‌سازی رایانه‌ای

۱- مقدمه

بلایای طبیعی شدید (زلزله، طوفان، آتش‌سوزی، سونامی و غیره) و غیرطبیعی (حملات تروریستی، مسائل سیاسی، جنگ و غیره) ممکن است با هشدار کمی جامعه را موردحمله قرار دهند و خسارات و تلفات زیادی را به بار آورند (Wang, 2020). هدف اصلی واکنش اضطراری، فراهم کردن سرپناه و کمک به افراد آسیب‌دیده در اسرع وقت است. برای دستیابی به این هدف، برخی از تحقیقات مربوط به واکنش اضطراری بر این موضوع متمرکز هستند که چگونه می‌توان از مردم در مناطق امن با موارد امدادی لازم حمایت کرد و یا چگونه می‌توان آن‌ها را به مکانی امن در کمترین زمان ممکن منتقل کرد (Davoodi and Goli, 2019; Liu, Cui and Zhang, 2019; Zhang et al., 2019). با افزایش جمعیت در مسیر وقوع این بحران‌های طبیعی یا دست‌ساز بشر، خطر ناشی از بروز آن‌ها بیشتر احساس می‌شود. اتفاقات اضطراری منطقه‌ای بر اساس منبع خطر به دو گروه طبیعی یا انسان‌ساز و نیز بر طبق دسترسی زمان هشدار، به

کوتاه‌مدت و درازمدت تقسیم‌بندی می‌شوند. بحران‌های طبیعی، شامل طوفان، سونامی، سیل، زلزله و آتش‌سوزی و خطرات انسان‌ساز شامل انفجار مواد خطرناک، خرابی نیروگاه‌های هسته‌ای یا تجهیزات شیمیایی و حملات تروریستی است (Muhammad et al., 2021). تخلیه با زمان اطلاع‌رسانی کوتاه مربوط به بحران‌هایی همچون طوفان‌ها، سیلاب‌ها و آتش‌سوزی در جنگل‌ها است که در آن‌ها بین ۲٤ تا ۷۲ ساعت فرصت برای تعیین تدابیر تخلیه وجود دارد. در مقابل تخلیه‌های فوری که بحران‌هایی غیرقابل‌انتظار و بزرگ همچون زلزله، عملیات تروریستی و حملات شیمیایی و میکروبی است (Fahad et al., 2019; Clark, Hagelman and Dixon, 2020). بنا بر مطالب ارائه‌شده، ممکن است چنین بلایایی زیرساخت‌های حمل‌ونقل یک منطقه را تخریب کرده و پویایی و قابلیت تحرک را از آن سلب کند. به همین دلیل مدیریت اثربخش منابع و تجهیزات حمل‌ونقل در شرایط اضطراری امری ضروری است (اسکندری و همکاران، ۱۳۸۸).

مطالعات مربوط به تخلیه اضطراری در سال‌های اخیر به‌خصوص پس از حمله‌ی ۱۱ سپتامبر اهمیت خاصی یافته و تمرکز قابل‌توجهی روی تخلیه‌ی درون‌شهری قرارگرفته است. هدف اصلی تخلیه، انتقال مردم به خارج از محدوده‌ی در معرض خطر با حداکثر سرعت ممکن جهت کاهش تلفات است (Veronica, Rau and Arif, 2021; Gobbin, Khosravi and Barenhagen, 2021). لذا کاهش زمان تخلیه از محدوده خطر می‌تواند نقشی حیاتی در کمینه کردن آثار منفی بحران‌ها داشته باشد. تقاضای ترافیک در دوره زمانی خیلی کوتاه بعد از شروع تخلیه، به‌خصوص در هنگام حملات تروریستی، افزایش می‌یابد و سفرهای درون‌ناحیه‌ای متعدد ممکن است باعث تراکم ترافیک در تمامی جهات گردد. مسئله‌ی مهم دیگر تغییر رفتار مردم در مقایسه با حالت عادی است. ممکن است رانندگان رفتاری مضطرب و پرخاشگر نسبت به حالت عادی از خود نشان دهند که این امر می‌تواند باعث افزایش تصادفات و درنتیجه کاهش ظرفیت مسیرهای تخلیه نسبت به حالت عادی شود. کاهش عرضه می‌تواند در اثر تصادفات و عدم رعایت مقررات نظیر پارکینگ‌های حاشیه‌ای ممنوع و تخریب تسهیلات یا امکانات کنترل ترافیک باشد که در نظرگیری و مدل‌سازی این عوامل نیز نقش بسیار مهمی در هدایت و مدیریت فرآیند تخلیه دارد (نصیری و ادریسی، ۱۳۸۷). شرایط ذکرشده این مطلب را روشن می‌سازد که مدیریت تخلیه اضطراری با استفاده از ابزارهای مدیریت ترافیک در حین بروز یک فاجعه امری ضروری است (Hartama et al., 2021).

به هنگام وقوع شرایط اضطراری، ازآنجاکه مسیرهای خروجی شبکه‌ی حمل‌ونقل، برای تخلیه‌ی اضطراری دارای ظرفیت کافی نیست و اقدام افزایش ظرفیت از طریق ایجاد زیرساخت جدید بسیار هزینه‌بر است، لذا استفاده‌ی بهینه از ظرفیت موجود توصیه می‌شود. به‌منظور بهینه‌سازی فرآیند تخلیه از سیاست‌های مدیریتی مختلفی نظیر تغییر جهت خیابان‌ها، تعیین مسیرهای بهینه‌ی تخلیه، فازبندی تخلیه، تغییر زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی، اطلاع‌رسانی از طریق تابلوهای پیام متغیر، تأمین ناوگان حمل‌ونقل همگانی (Gao, Nayeem and Hezam, 2019) برای افراد فاقد وسیله‌ی نقلیه‌ی شخصی و نیز حضور نیروهای پلیس استفاده می‌شود (Hartama et al., 2021). ازجمله معمول‌ترین استراتژی‌های مورداستفاده در تخلیه برای مدیریت ترافیک استفاده از تغییر جهت و تخلیه تدریجی است. تغییر جهت به‌طورمعمول در طول ساعات اوج مورداستفاده قرار می‌گیرد. تکنیک‌های تغییر جهت جریان شامل تغییر جهت یک، دو و تمامی خطوط مسیر است. به‌طورکلی، اجرای تغییر جهت جریان در حین فرآیند تخلیه شامل تبدیل کردن تمام خطوط ورودی به خروجی از ناحیه بحران است. پس از تغییر جهت، خطوط خروجی به‌طورکلی یک مسیر شلوغ است و خط ورودی یک مسیر نسبتاً خالی است (Dixit and Wolshon, 2014). هدف در این پژوهش، بررسی عملکرد شبکه در ناحیه تأثیر بحران، قبل و بعد از تغییر جهت مسیرهای منتهی به ناحیه بحران از طریق شبیه‌سازی تخلیه‌ی شبکه در نرم‌افزار رایانه‌ای و به دست آوردن حداقل زمان موردنیاز برای تخلیه و تعیین مسیرهای بهینه و فازبندی تخلیه است. ازجمله نوآوری‌های این پژوهش نیز به‌کارگیری ابزارهای تخصیص ترافیک پویا (برخلاف استفاده از روش‌های تخصیص ایستا در مطالعات پیشین) و شبیه‌سازی ترافیکی (برخلاف استفاده از مدل‌های ریاضی معمول و روش‌های ابتکاری) به‌عنوان جایگزینی ارزشمند جهت

توسعه برنامه‌ریزی پویای تخلیه اضطراری و ابزاری مناسب جهت تعیین تدابیر بهینه توسط تصمیم گیران است. به‌عنوان فرضیه موردبررسی در پژوهش جاری، انتظار می‌رود به هنگام بحران‌هایی که نیازمند تخلیه فوری مردم است، با اعمال سیاست‌های مدیریتی (تغییر جهت خیابان‌ها، فازبندی تخلیه و تعیین مسیرهای تخلیه)، زمان تخلیه افراد جهت رسیدن به پناهگاه از پیش تعیین‌شده، کاهش می‌یابد و تلفات کمتری ایجاد می‌شود. در بخش بعد این مقاله، مروری بر ادبیات پژوهش درزمینه‌ی تخلیه اضطراری می‌شود. در بخش ۳، روش‌شناسی پژوهش و در بخش ٤، یافته‌های پژوهش و بحث ارائه می‌شود. درنهایت نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای مطالعات آینده در بخش ۵ مطرح می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

رشد بحران‌های طبیعی و انسانی در سال‌های اخیر، سبب شده است مسئله‌ی برنامه‌ریزی تخلیه اضطراری بیشتر موردتوجه قرار گیرد. تحقیقات نشان داده است که فرآیند تخلیه، با توجه به زمان تخلیه و میزان اختلال ترافیکی، به یک برنامه‌ریزی دقیق نیاز دارد (Urbina and Wolshon, 2003; Zyryanov and Feofilova, 2017). ازاین‌رو، محققین به‌منظور بررسی فرآیند تخلیه‌ی اضطراری، مدل‌های عددی گوناگونی ارائه کردند.

در پژوهش‌های داخلی در این زمینه، ناصری و مهدی پور (۱۳۹٦) به یافتن مسیر بهینه و فرایند تخلیه همراه با بیشینه‌سازی جریان برای بررسی عملکرد مناسب شبکه حمل‌ونقل در شرایط اضطراری پرداختند. آن‌ها از روش برنامه‌ریزی ریاضی جهت مطالعه یک شبکه فرضی استفاده کردند. ازجمله محدودیت‌های روش پیشنهادی آن‌ها تفاوت وضعیت رفتار متغیرهای برنامه‌ریزی با شرایط واقعی شبکه در شبیه‌سازی و ساده‌سازی‌های صورت گرفته است. فراهانی و همکاران (۱۳۹۷) نیز به مکان‌یابی پناهگاه به‌منظور بیشینه‌سازی جریان تخلیه افراد از ناحیه بحران پرداختند. مدل مورداستفاده، دو مدل غیرخطی در حالت ایستا و پویا و با رویکرد شبکه جریان مدل‌سازی بود. علاوه بر این یک مدل استوار پویا برای مسئله تخلیه–مکان‌یابی به‌منظور دخیل کردن عدم قطعیت مربوط به ظرفیت مسیرها در هنگام وقوع بحران نیز توسعه دادند. نژاد اکبری راوری و همکاران (۱۳۹۳) با در نظر گرفتن شاخص‌های مؤثر، به شناسایی و تعیین مسیرهای تخلیه اضطراری شهر کرمان پرداخته و سپس این مسیرها را با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی نمودند. برای اولویت‌بندی مسیرهای تخلیه اضطراری از هشت معیار شامل عرض و طول مسیر پس از وقوع زلزله، مراکز سوخت‌رسانی، وجود پل در مسیر، خطوط اصلی گاز، خطر روانگرایی، پست برق و قنات استفاده کردند. نصیری و ادریسی (۱۳۸۷) نیز فرمول‌بندی مدل تخلیه شبکه حمل‌ونقل را توسط مدل تخصیص پویا پیشنهاد کردند. نتایج مدل در شبکه فرضی نشانگر مناسب بودن روش تغییر جهت خیابان‌ها به علت کم بودن هزینه اجرا و راحتی آن است. ازجمله محدودیت‌ها این مدل عدم در نظر گرفتن شرایط ترافیکی و پاسخ رفتاری افراد و همچنین زمان بالای حل مدل ریاضی بود. ادریسی، زینی و آدرسی (۱۳۹۲) نیز مروری بر روش‌های مختلف مدل‌سازی تقاضای سفر برای تخلیه شبکه حمل‌ونقل انجام دادند و دریافتند که تخمین تقاضای سفر بایستی به‌صورت پویا برای تخلیه شبکه حمل‌ونقل در زمان وقوع بحران بررسی شود. درنهایت اظهار داشتند که نتایج رویکرد ترتیبی نسبت به حالت هم‌زمان به واقعیت نزدیک‌تر و دارای پیچیدگی کمتری است. اسکندری، تهم و اسکندری (۱۳۸۸) مروری جامع بر شبیه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل و ترافیک در عملیات تخلیه اضطراری کردند. علاوه بر یافتن شبیه‌سازی ترافیکی به‌عنوان بهترین روش جهت بررسی تخلیه شبکه حمل‌ونقل در شرایط اضطراری، بر این باورند که ایجاد یک مدل شبیه‌سازی پویا به مدیران بحران کمک کرده تا با مدنظر قرار دادن شرایط محلی و توانایی‌های سیستم‌های ترافیکی مدت‌زمان تخلیه و تلفات را کاهش دهند. همچنین استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، امکان دستیابی به اطلاعاتی همچون ظرفیت قابل‌استفاده جاده‌ها و مکان احتمالی گلوگاه‌های ترافیکی را فراهم می‌آورد.

در زمینه پژوهش‌های بین‌المللی نیز شرالی و همکاران (Sherali et al., 1991)، یک مدل مکان‌یابی پناهگاه را با هدف کمینه‌سازی زمان تخلیه کل سیستم ارائه کردند. کونگسوم سَکسُکول و همکاران (Kongsomsaksakul et al., 2005)، با حذف فرض مسیرهای بهینه سیستم، یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی ارائه کردند که مکان بهینه پناهگاه را برای تخلیه در مواجه با سیل تعیین می‌کند. مسئله‌ی سطح

بالا، تعداد و مکان پناهگاه‌ها را از بین مجموعه‌ی بالقوه‌ای از آن‌ها تعیین می‌کند و در مسئله‌ی سطح پایین، تخلیه شوندگان مکان خود را انتخاب می‌کنند و کوتاه‌ترین مسیر برای آن‌ها تعیین می‌شود. همچنین در مطالعه (Nath et al., 2020) نیز به مکان‌یابی تسهیلات و مسئله تغییر جهت کمان‌ها جهت کاهش بیشتر زمان تخلیه با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط پرداخته شده است. وانگ (۲۰۲۰) نیز یک مدل کمینه کردن هزینه جریان دوسطحی تصادفی به‌منظور تخلیه افراد بحران‌زده به مناطق امن پیشنهاد داد. چیو و ژنگ (Chiu and Zheng, 2007)، یک مدل تخلیه‌ی پویا را بر مبنای مدل انتقال سلول (Daganzo, 1994) پیشنهاد دادند. این مدل هنگامی‌که در مواجهه با حوادث غیرمترقبه برای گروه‌های چند اولویتی به کار گرفته شود، به‌صورت هم‌زمان، حرکت، تخصیص ترافیک و برنامه‌ریزیِ زمان عزیمت[1] را در برمی‌گیرد. در پژوهش یان و همکاران (Yuan et al., 2006) از یک تکنیک مدل‌سازی استفاده شد که در آن تنها یک گره مقصد مصنوعی وجود دارد. در هر دو پژوهش پیشین، فرض بر رفتار بهینه سیستم (مشارکتی) بوده است. در مطالعه‌ای دیگر به مسیریابی و زمان‌بندی شبکه مسیرهای تخلیه از یک ساختمان شهری به مناطق مجاورش با استفاده از رویکرد ترکیبی مرکزی[2] پرداختند. الگوریتم مورداستفاده ظرفیت گره‌ها و کمان‌ها را در شبکه پویا جهت مسیریابی و برنامه‌ریزی، در یک محیط قطعی در نظر می‌گیرد. درنهایت نتایج کلیدی نشانگر کارآمدی این رویکرد و الگوریتم در مسئله مسیریابی و برنامه‌ریزی تخلیه است (Osman and Ram, 2017). در مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۱۸) نیز به بررسی مسئله تخلیه چند-مبداء، چند مقصدِ پرداخته شده است که در ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط توسعه داده شده و سپس بر اساس k-نزدیک‌ترین مسیر و تعادل کاربر، الگوریتمی چندجمله‌ای ارائه شده است.

مدل‌های دیگر، به استفاده از تدابیر ویژه (مانند تغییر جهت جریان ترافیک و تخلیه‌ی زمان‌بندی‌شده) برای کاهش[3] ترافیک در طول تخلیه‌ها پرداختند. تئودولو و ولشان (Theodoulou and Wolshon, 2004) تغییر جهت جریان ترافیک را با استفاده از شبیه‌سازیِ خرد ارزیابی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد کل جریان خروجی تخلیه شوندگان می‌تواند تا ۵۳ درصد افزایش یابد. بهبود قابل‌توجه در زمان تخلیه، در پژوهش تیودیس و زیلیاسکوپولوس (Tuydes and Ziliaskopoulos, 2006) نیز گزارش شد. این پژوهشگران به‌منظور یافتن استراتژی تغییر جهت جریان ترافیکِ بهینه سیستم از جست‌وجوی ممنوعه[4] ابتکاری استفاده کردند. هارتما و همکاران (۲۰۲۰) نیز به ارائه راهکار تغییر جهت جریان ترافیک پرداختند و بر اساس نتایج دریافتند که این رویکرد موجب افزایش تعداد افراد منتقل‌شده به پناهگاه‌ها خواهد شد. در مطالعه کلارک و همکاران (۲۰۲۱) نیز به بررسی تأثیر تغییر جهت جریان ترافیک در پاسخ به طوفان‌های گرمسیری تگزاس با استفاده از GIS پرداخته شده است. بایتی و مهمسانی (Sbayti and Mahmassani, 2006) سعی کردند با استفاده از تخلیه‌ی زمان‌بندی‌شده، کارآمدی تخلیه اضطراری را بهبود بخشند. در تخلیه‌ی زمان‌بندی‌شده، زمان شروع سفر، مکان پناهگاه و مسیرهای تخلیه به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که زمان پاک‌سازیِ شبکه[5] (تخلیه‌ی کامل) کمینه شود. همچنین فرض می‌شود تخلیه شوندگان از دستورالعمل‌های تخلیه پیروی می‌کنند.

پس از بررسی مطالعات پیشین می‌توان دریافت که سیر صعودی مدل‌ها از تخمین غیرمنطقی زمان‌های تخلیه، با استفاده از مدل نرخ پراکندگی توسط یک فرمول هم‌فزون ساده استفاده کرده و همچنین بیشتر از تخصیص ایستا، فرمول‌بندی ریاضی و روش‌های ابتکاری استفاده شده است. همچنین در رابطه با مدل‌های برنامه‌ریزی تخلیه‌ی فوق، مشاهده می‌شود در همه‌ی مدل‌های موجود (یا حداقل به‌عنوان بخشی از مدل)، رفتار بهینه سیستم فرض شده است. اگرچه فرض رفتار بهینه سیستم، جای سؤال دارد (Alsnih and Stopher, 2004) اما جواب مدل‌های بهینه سیستم می‌تواند یک جواب اولیه باارزش را برای مسئله‌ی برنامه‌ریزی تخلیه‌ی اضطراری مهیا کند. نکته قابل‌توجه دیگر در ارتباط با مطالعات، استفاده از روش تخصیص پویا برای مدیریت بحران است که کمتر از روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی، در مسائل واقعی به علت بار محاسباتی بیشتر این‌گونه مدل‌ها نسبت به مدل‌های تحلیلی استفاده شده است. با توجه به قدرت بیشتر مدل‌های مبتنی بر شبیه‌سازی در مدل‌سازی دقیق‌تر جریان ترافیک و وقوع پدیده‌های تصادفی در شبکه حمل‌ونقل، استفاده ازاین‌گونه مدل‌ها در شرایط

خاص و با یک سری از فرض‌های ساده کننده با توجه به قابلیت‌های آن‌ها می‌تواند موردتوجه قرار گیرد. با توجه به محدودیت‌ها و شکاف‌های مطالعات پیشین، ازجمله نوآوری‌های این پژوهش می‌توان به این موضوع اشاره کرد که مدل‌های موجود غالباً بر اساس تخصیص ترافیک ایستا، مدل‌های ریاضی معمول و روش‌های ابتکاری بوده که در آن شرایط ترافیکی در طول دوره شبیه‌سازی ثابت در نظر گرفته می‌شود. ولی با توجه به اینکه فرآیند تخلیه رخدادی پویا و ناپایدار است، تخصیص ترافیک پویا که جریان و زمان سفر پویا را پیش‌بینی می‌کند و ابزار شبیه‌سازی ترافیکی جهت بررسی سناریوهای مختلف، می‌تواند جایگزینی ارزشمند جهت توسعه‌ی برنامه‌ریزی‌های پویای تخلیه و ابزاری مناسب برای تعیین تدابیر بهینه در نظر گرفته شود.

۳- روش‌شناسی پژوهش

تحلیل شبکه در زمان بحران با توجه به اثرات آن همچون هجوم تقاضا به شبکه در دوره زمانی کوتاه و رفتار آشوبناک کاربران نیازمند در اختیار داشتن اطلاعات دقیق وضعیت شبکه در طول زمان است (ادریسی و همکاران، ۱۳۹۲)؛ بنابراین استفاده از روش تخصیص ترافیک ایستا به علت ارایه نتایج نهایی بارگذاری ماتریس تقاضا بر روی شبکه، مناسب نیست. در مقابل، روش تخصیص ترافیک پویا[۶] نحوه انتشار جریان[۷] در کمان‌های شبکه و شکل‌گیری و از بین رفتن صف‌های موقت[۸] را در طول مدت‌زمان بارگذاری شبکه نشان می‌دهد. در این روش می‌توان سهم تقاضا از ماتریس مبدأ- مقصد را در بازه‌های زمانی کوچک‌تر از یک ساعت تعیین کرد. علاوه‌براین، تخصیص ترافیک پویا باعث می‌شود تا در صورت پس زدن ترافیک[۹] دریکی از کمان‌های شبکه، حجم جریان به کمان‌های مجاور انتقال‌یافته و کاربران تغییر مسیر دهند. به‌عبارت‌دیگر، مدل انتخاب مسیر وابسته به زمان بوده و با توجه به حجم جریان و زمان سفر کمان‌ها به‌هنگام می‌شود. ورودی‌های مسئله تخلیه اضطراری با استفاده از تخصیص پویا شامل نواحی ترافیکی به همراه گراف جهت‌دار شبکه (عرضه)، نمودار اساسی کمان‌ها (عرضه)، ماتریس تقاضای مبدأ- مقصد و پروفیل تقاضا در طول دوره شبیه‌سازی است.

فرض‌های شبیه‌سازی شبکه عبارتند از:

۱- در هر سناریو، تنها یک ناحیه ترافیکی دچار بحران شده و اقدام به تخلیه می‌شود.

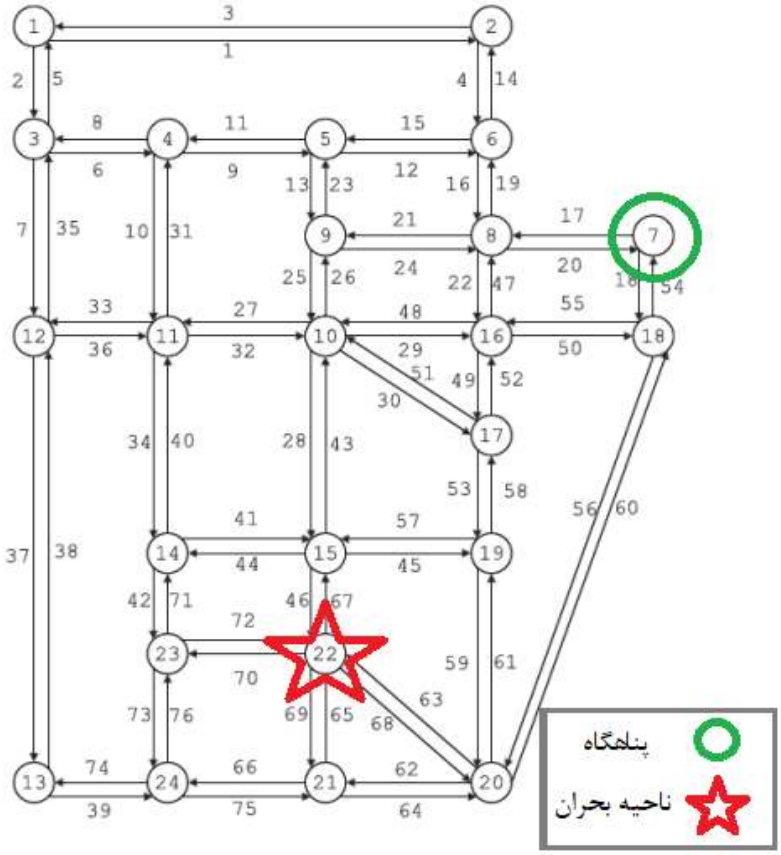
۲-تخلیه شوندگان از ناحیه بحران به یک ناحیه ترافیکی با ظرفیت پناهگاه نامحدود و از پیش تعیین‌شده انتقال می‌یابند.

۳-تقاضای تخلیه از ناحیه‌ی بحران به پناهگاه مشخص است.

٤-ظرفیت کمان‌ها تحت تأثیر سناریو نبوده و ثابت است.

۵- ناحیه‌ی بحران با ناحیه‌ی پناهگاه متفاوت است.

پس از اعمال مراحل ایجاد و تفکیک سفر (با فرض‌های بالا)، مراحل توزیع و تخصیص تقاضای تخلیه به‌صورت هم‌زمان انجام می‌گیرد که طی آن کوتاه‌ترین مسیر برای رسیدن به پناهگاه (تخصیص تقاضا به کمان‌ها و تعیین حجم کمان‌ها) مشخص می‌شود. جهت تحلیل نتایج و ارزیابی سناریوهای مختلف سیاست‌های مدیریتی، عملکرد شبکه بر اساس شاخص‌های مرتبط، شامل زمان سفر و سرعت متوسط وسایل نقلیه برای دو برهه زمانی پیش و پس از اعمال سیاست بررسی و مقایسه می‌شود. جهت شبیه‌سازی و پیاده‌سازی مفاهیم پیشنهادی و آشنایی با چالش‌های مربوطه، شبکه سوفالز به‌عنوان نمونه موردی پژوهش جاری با ۷٦ کمان و ۲٤ گره انتخاب شد (شکل ۱). در سناریو موردنظر، فرض می‌شود که ناحیه ۲۲ دچار بحران شده و ساکنین آن حداکثر یک ساعت فرصت دارند تا به پناهگاه (از پیش تعیین‌شده) واقع در ناحیه ۷ منتقل شوند. علت انتخاب این دو ناحیه این است که بر اساس مشخصات شبکه سوفالز، ناحیه ۲۲ و ۷ دارای بیشترین مقدار تولید و جذب سفر هستند. در شرایط وقوع بحران، ماتریس تقاضا تغییر کرده و فرض می‌شود جذب سفر ناحیه بحران‌زده صفر شده و تولید سفر ناحیه بحران‌زده، مطابق مطالعه انجی و والر برای ناحیه بحران‌زده یک‌بار ۳۵۰ و بار دیگر ۵۰۵۰ است (Ng and Waller, 2009). وضعیت شبکه در سه حالت شرایط عادی، اعمال سیاست اول پس از بحران (تغییر جهت کمان‌های ورودی به ناحیه بحران‌زده) و اعمال سیاست دوم پس از بحران (اعمال سیاست یکطرفه‌سازی) بررسی می‌شود. در سیاست اول، بلافاصله پس از وقوع بحران، کمان‌های ورودی به ناحیه‌ی ۲۲ بسته شده و جهت آن‌ها به سمت خارج از ناحیه ۲۲ عوض می‌شود و در سیاست دوم، کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه ۲۲ و پناهگاه مدنظر انتخاب شده و سیاست یکطرفه‌سازی کل مسیر اعمال می‌شود.



شکل ۱. شمای کلی شبکه سوفالز[10] به‌عنوان نمونه موردی پژوهش جاری

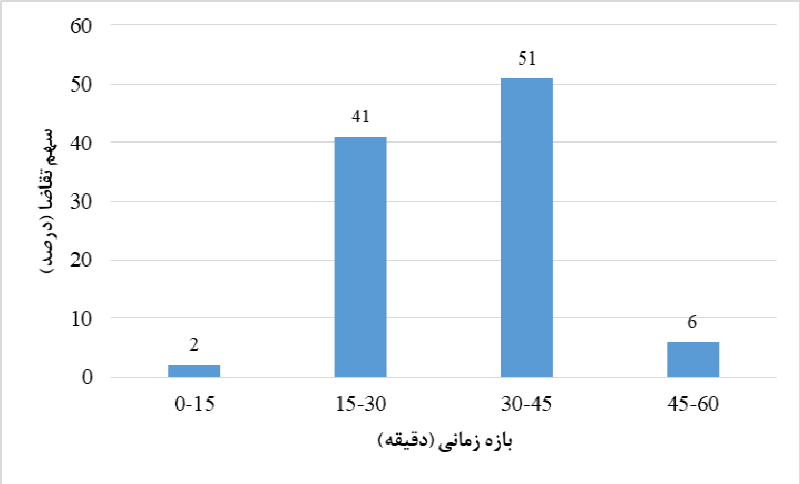
مطالعات پیشین عموماً نشانگر کارآمدی تابع سیگموید به‌عنوان حالتی خاص از تابع لجستیک جهت نمایش زمان عزیمت افراد در تخلیه اضطراری است (Lindell et al., 2002). در این مطالعه نیز از تابع سیگموید جهت توزیع زمانی تقاضای تخلیه برای ناحیه بحران‌زده استفاده شده است. سهم تقاضای تخلیه برای بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای در ساعت وقوع بحران برای شبکه مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین برای تقاضای تخلیه دو حالت کم (۳۵۰ وسیله بر ساعت) و زیاد (۵۰۵۰ وسیله بر ساعت) در نظر گرفته شده است (Ng and Waller, 2009).

٤- یافته‌های پژوهش و بحث

با توجه به تفاوت نحوه واکنش افراد نسبت به انواع بحران‌ها و تأثیر توزیع زمانی تقاضا بر نتایج تخصیص ترافیک پویا، مدل‌سازی مسئله‌ی تخلیه در دو بخش اصلی انجام شده است. در بخش اول فرض بر آن است که تقاضای تخلیه در چهار بازه زمانی ۱۵ دقیقه‌ای و بر اساس توزیع سیگموید انجام شده است. در بخش دوم نیز فرض بر آن بوده که کل تقاضای تخلیه در ۱۵ دقیقه اول وارد شبکه می‌شود. مدل‌سازی هریک از این دو بخش اصلی یک‌بار با تقاضای تخلیه‌ی ۳۵۰ وسیله و بار دیگر با تقاضای تخلیه‌ی ۵۰۵۰ وسیله صورت پذیرفته است.

در جدول ۱، وضعیت شبکه در وضعیت عادی و پس از اعمال سیاست‌های پیشنهادی بیان شده است. بین مبدأ ۲۲ و مقصد ۷، دو مسیر وجود دارد. مسیر اول، شامل سه کمان ٦٨، ٦٠ و ٥٤ است. مسیر اول حجم ترافیک بیشتر و زمان سفر کمتری دارد. با مقایسه سیاست اول (یک‌طرفه‌سازی کمان‌های ورودی به ناحیه بحران) و سیاست دوم (یک‌طرفه‌سازی کامل کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه بحران و پناهگاه) و مسیرهای متناظر مشخص می‌شود که زمان سفر

در هر دو مسیر سیاست دوم کاهش یافته است. ملاحظه می‌شود با اعمال سیاست یک‌طرفه‌سازی و زمان‌بندی تخلیه، زمان تخلیه تا حدود ۱۰ درصد کاهش یافته است. با مقایسه مسیرهای متناظر در هر دو سیاست (جدول ۲)، می‌توان دریافت که مسیرهای جایگزین بیشتری در سیاست دوم به وجود آمده است. ملاحظه می‌شود با اعمال سیاست یک‌طرفه‌سازی و زمان‌بندی تخلیه، زمان تخلیه تا حدود ۲۲ درصد کاهش یافته است. نتیجه مهم دیگر این است که با افزایش تقاضای تخلیه، تغییرات شاخص‌ها بیشتر شده و بهبود چشمگیری حاصل می‌شود.



شکل ۲. توزیع تقاضای تخلیه برای بازه‌های ۱۵ دقیقه در زمان بروز بحران در شبکه (Lindell et al., 2002)

جدول ۱. مشخصات مسیرها در شرایط عادی، پس از اعمال سیاست یک‌طرفه‌سازی کمان‌های ورودی به ناحیه بحران و یک‌طرفه‌سازی کامل کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه بحران و پناهگاه با فرض توزیع سیگموید و تقاضای تخلیه ۳۵۰ وسیله

شرایط	شماره مسیر	حجم (وسیله بر ساعت)	t_0 زمان سفر جریان آزاد (ثانیه)	t_{cur} زمان سفر در شبکه بارگذاری شده (ثانیه)	طول (کیلومتر)
عادی	۱	۴۷	۱۴۰۰	۱۵۰۷	۲۱
	۲	۳	۱۴۰۰	۲۲۲۹	۲۱
سیاست یک‌طرفه‌سازی کمان‌های ورودی به ناحیه بحران (گره ۲۲)	۱	۲۹۶	۱۴۰۰	۱۵۹۸	۲۱
	۲	۵۴	۱۴۰۰	۲۲۲۰	۲۱
سیاست یک‌طرفه‌سازی کامل کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه بحران (گره ۲۲) و پناهگاه (گره ۷)	۱	۳۰۱	۱۴۰۰	۱۴۵۰	۲۱
	۲	۴۹	۱۴۰۰	۲۱۲۸	۲۱

جدول ۲. مشخصات مسیرها در شرایط عادی، پس از اعمال سیاست یک‌طرفه‌سازی کمان‌های ورودی به ناحیه بحران و یک‌طرفه‌سازی کامل کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه بحران و پناهگاه با فرض توزیع سیگموید و تقاضای تخلیه ۵۰۵۰ وسیله

شرایط	شماره مسیر	حجم (وسیله بر ساعت)	t_0 زمان سفر جریان آزاد (ثانیه)	t_{cur} زمان سفر در شبکه بارگذاری شده (ثانیه)	طول (کیلومتر)
عادی	۱	۴۷	۱۴۰۰	۱۵۰۷	۲۱
	۲	۳	۱۴۰۰	۲۲۲۹	۲۱
سیاست یک‌طرفه‌سازی کمان‌های ورودی به ناحیه بحران (گره ۲۲)	۱	۲۱۵۷	۱۴۰۰	۲۱۱۳	۲۱
	۲	۱۰۴۳	۱۴۰۰	۲۴۴۳	۲۱
	۳	۸۲	۱۹۳۳	۳۲۳۱	۲۹
	۴	۳۸۵	۲۱۳۳	۳۱۴۱	۳۲
	۵	۸۱۲	۱۵۳۳	۲۱۹۹	۲۳
	۶	۵۷۲	۱۸۰۰	۲۷۳۲	۲۷
سیاست یک‌طرفه‌سازی کامل کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه بحران (گره ۲۲) و پناهگاه (گره ۷)	۱	۲۲۲۲	۱۴۰۰	۱۶۴۵	۲۱
	۲	۴۶۵	۱۴۰۰	۲۴۱۹	۲۱
	۳	۷۳	۱۹۳۳	۳۲۱۹	۲۹
	۴	۵۲۸	۲۱۳۳	۳۱۴۶	۳۲
	۵	۷۳۱	۱۵۳۳	۱۸۳۲	۲۳
	۶	۱۳۱	۱۴۶۶	۲۰۴۲	۲۲
	۷	۲۳۹	۱۸۰۰	۲۵۹۹	۲۷
	۸	۱۳۸	۲۰۰۰	۲۹۵۸	۳۰
	۹	۳۸۳	۱۸۰۰	۲۷۲۴	۲۷
	۱۰	۱۴۱	۱۹۳۳	۳۲۳۰	۲۹

حال بازه تخلیه فقط به یک ربع اول (یعنی پیش‌بینی وقوع بحران در یک بازه ۱۵ دقیقه‌ای) محدود می‌شود. همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، با اعمال سیاست یک‌طرفه‌سازی و زمان‌بندی تخلیه، زمان تخلیه تا حدود ۱۳ درصد کاهش یافته است. همچنین بر اساس جدول ٤، ملاحظه می‌شود با اعمال سیاست یک‌طرفه‌سازی و زمان‌بندی تخلیه، زمان تخلیه تا حدود ۳۰ درصد کاهش یافته است و کاهش و افزایش حجم در مسیرها به‌وضوح مشاهده گردید. در سیاست یک‌طرفه‌سازی کامل کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه بحران و پناهگاه، مسیرهای جایگزین بیشتری را به وجود آورد. نتیجه مهم دیگر این است که با افزایش میزان تقاضای تخلیه، تغییرات شاخص‌ها بیشتر و بهبود چشمگیری حاصل شد.

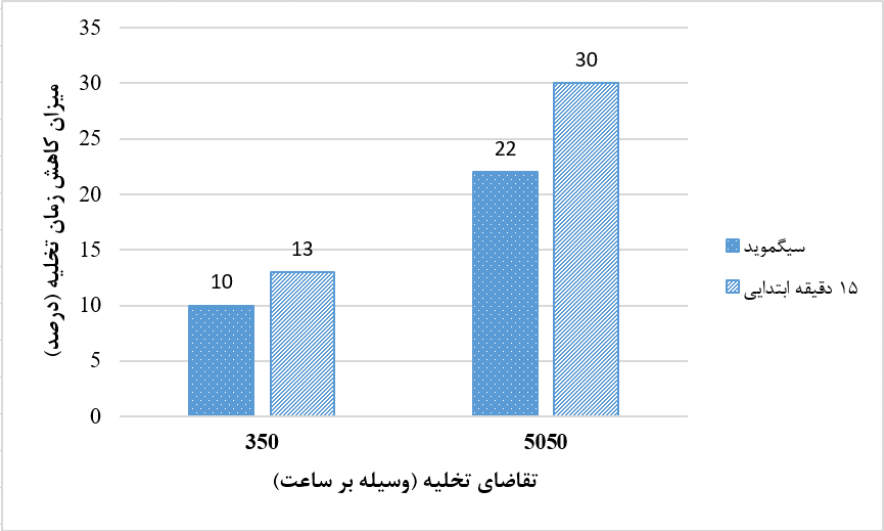
به‌منظور بررسی تأثیر تقاضا و تابع توزیع تخلیه بر میزان کاهش زمان تخلیه، سناریوها پس از شبیه‌سازی مقایسه گردیدند (شکل ۳). می‌توان دریافت که شناسایی تابع توزیع تقاضا نسبت به میزان تقاضای تخلیه دارای اهمیت کمتری است؛ به‌عنوان‌مثال در این شکل مشاهده می‌شود که در ازای یک تقاضای مشخص (۳۵۰ یا ۵۰۵۰) تفاوت چشمگیری در میزان کاهش زمان تخلیه نسبت به تقاضای تخلیه متفاوت در ازای یک تابع توزیع تخلیه (سیگموید یا ۱۵ دقیقه ابتدایی) وجود ندارد. با توجه به موارد مطرح‌شده، می‌توان دریافت که شناسایی هر چه دقیق‌تر تقاضای تخلیه هر منطقه می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش زمان تخلیه داشته باشد؛ چراکه نوسانات در میزان تقاضای تخلیه منجر به تغییرات بیشتری در میزان کاهش زمان تخلیه نسبت به نوع تابع توزیع تقاضا دارد.

جدول ۳. مشخصات مسیرها در شرایط عادی، پس از اعمال سیاست یک‌طرفه‌سازی کمان‌های ورودی به ناحیه بحران و یک‌طرفه‌سازی کامل کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه بحران و پناهگاه با فرض تخلیه‌ی ۱۵ دقیقه‌ای و تقاضای تخلیه ۳۵۰ وسیله

شرایط	شماره مسیر	حجم (وسیله بر ساعت)	t_0 زمان سفر جریان آزاد (ثانیه)	t_{cur} زمان سفر در شبکه بارگذاری شده (ثانیه)	طول (کیلومتر)
عادی	۱	۴۷	۱۴۰۰	۱۵۰۷	۲۱
	۲	۳	۱۴۰۰	۲۲۲۹	۲۱
سیاست یک‌طرفه‌سازی کمان‌های ورودی به ناحیه بحران (گره ۲۲)	۱	۳۲۹	۱۴۰۰	۱۶۷۲	۲۱
	۲	۱۰	۱۵۳۳	۱۸۰۷	۲۳
	۳	۱۱	۱۴۰۰	۲۳۸۴	۲۱
سیاست یک‌طرفه‌سازی کامل کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه بحران (گره ۲۲) و پناهگاه (گره ۷)	۱	۲۱۴	۱۴۰۰	۱۴۶۴	۲۱
	۲	۱۲۰	۱۵۳۳	۱۷۰۷	۲۳
	۳	۱۶	۱۴۰۰	۲۲۷۵	۲۱

جدول ٤. مشخصات مسیرها در شرایط عادی، پس از اعمال سیاست یک‌طرفه‌سازی کمان‌های ورودی به ناحیه بحران و یک‌طرفه‌سازی کامل کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه بحران و پناهگاه با فرض تخلیه‌ی ۱۵ دقیقه‌ای و تقاضای تخلیه ۵۰۵۰ وسیله

شرایط	شماره مسیر	حجم (وسیله بر ساعت)	t_0 زمان سفر جریان آزاد (ثانیه)	t_{cur} زمان سفر در شبکه بارگذاری شده (ثانیه)	طول (کیلومتر)
عادی	۱	۴۷	۱۴۰۰	۱۵۰۷	۲۱
	۲	۳	۱۴۰۰	۲۲۲۹	۲۱
سیاست یک‌طرفه‌سازی کمان‌های ورودی به ناحیه بحران (گره ۲۲)	۱	۱۶۷۱	۱۴۰۰	۲۲۵۷	۲۱
	۲	۲۰۱	۱۹۳۳	۳۵۳۲	۲۹
	۳	۱۲۰۷	۱۴۰۰	۲۶۲۰	۲۱
	۴	۷۷۲	۱۸۰۰	۲۸۹۲	۲۷
	۵	۱۲۰۰	۱۵۳۳	۲۳۲۵	۲۳
سیاست یک‌طرفه‌سازی کامل کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه بحران (گره ۲۲) و پناهگاه (گره ۷)	۱	۱۱۱۵	۱۴۰۰	۱۶۰۴	۲۱
	۲	۲۹۶	۲۳۳۳	۸۹۹	۳۵
	۳	۳۲۱	۱۹۳۳	۳۵۵۲	۲۹
	۴	۷۵۶	۱۴۰۰	۲۵۹۲	۲۱
	۵	۳۶۳	۲۱۳۳	۹۵	۳۲
	۶	۳۸۱	۱۹۸۲	۳۲۴۴	۳۰
	۷	۹۰۹	۱۵۳۳	۱۹۰۸	۲۳
	۸	۴۴۲	۱۴۶۶	۲۳۴۱	۲۲
	۹	۴۶۸	۱۸۰۰	۳۰۳۰	۲۷



شکل ۳. مقایسه میزان کاهش زمان تخلیه در ازای میزان تقاضا و تابع توزیع تقاضای تخلیه مختلف در شبکه آزمایشی

با توجه به عملکرد شبکه در سناریوهای مختلف می‌توان فرضیه پژوهش در رابطه با کاهش زمان تخلیه افراد و تعداد تلفات با اعمال سیاست‌های مدیریتی (تغییر جهت خیابان‌ها، فازبندی تخلیه و تعیین مسیرهای تخلیه) را پذیرفت و این استراتژی را به‌عنوان سیاست مدیریتی مناسبی جهت تخلیه اضطراری در نظر گرفت که هم‌راستا با نتایج مطالعات هارتما و همکاران (۲۰۲۰) و کلارک و همکاران (۲۰۲۱) است.

۵- نتیجه‌گیری

تخلیه اضطراری، فرآیندی است که طی آن شهروندان به هنگام وقوع بحران، محل سکونت خود را ترک کرده و تا زمان رفع خطر در پناهگاه‌های از قبل تعیین‌شده مستقر می‌شوند. سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران سعی دارند تا با یک برنامه‌ریزی دقیق و استفاده‌ی بهینه از ظرفیت‌های موجود شبکه، شهروندان را در کمترین زمان از ناحیه‌ی خطر دور و به یک ناحیه‌ی امن منتقل کنند. از جمله سیاست‌های کارامد در تخلیه اضطراری، تغییر جهت کمان‌های شبکه، تعیین مسیرهای بهینه و فازبندی تخلیه است. هدف این پژوهش، مدل‌سازی جهت بررسی تأثیر برخی سیاست‌های مدیریتی شامل تغییر جهت خیابان، تعیین مسیرهای بهینه تخلیه و فازبندی تخلیه و پیاده‌سازی آن برای شبکه سوفالز جهت تحلیل نحوه عملکرد شبکه بعد از اجرای سیاست‌های پیشنهادی است. برای تعیین سیاست‌های بهینه، سناریوهای مختلف حجم تقاضا و فازبندی تخلیه (در قالب تابع توزیع تقاضا) با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای (در نرم‌افزار ویزوم) برای شبکه سوفالز پیاده‌سازی شد. ازجمله نوآوری‌های این پژوهش به‌کارگیری ابزارهای تخصیص ترافیک پویا (برخلاف استفاده از روش‌های تخصیص ایستا در مطالعات پیشین) و شبیه‌سازی ترافیکی (برخلاف استفاده از مدل‌های ریاضی معمول و روش‌های ابتکاری) به‌عنوان جایگزینی ارزشمند جهت توسعه برنامه‌ریزی پویای تخلیه اضطراری و ابزاری مناسب جهت تعیین تدابیر بهینه توسط تصمیم‌گیران است.

نتایج بیانگر کاهش زمان تخلیه پس از اعمال سیاست دوم (یک‌طرفه‌سازی کامل کوتاه‌ترین مسیر بین ناحیه بحران (گره ۲۲) و پناهگاه (گره ۷)) نسبت به اعمال سیاست اول (یک‌طرفه‌سازی کمان‌های ورودی به ناحیه بحران) و شرایط عادی، به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد است. همچنین با افزایش میزان تقاضای تخلیه، تغییرات شاخص‌ها بیشتر و کاهش چشمگیری (تا ۳۰ درصد) پس از اعمال سیاست دوم حاصل شد. همچنین در شرایطی که تمام تقاضای تخلیه به یک بازه ۱۵ دقیقه‌ای محدود شود، تغییرات آشکاری در حجم مسیرها مشاهده گردید و در سیاست دوم نسبت به سیاست اول، به میزان ۱۰ درصد، مسیرهای جایگزین بیشتری به وجود آمد. از دیگر یافته‌های این پژوهش، اهمیت بیشتر شناسایی میزان تقاضای تخلیه نسبت به تابع توزیع تقاضا است؛ به‌نحوی‌که در ازای یک تقاضای مشخص (۳۵۰ یا ۵۰۵۰)، تفاوت چشمگیری در میزان کاهش زمان تخلیه نسبت به تقاضای

تخلیه متفاوت در ازای یک تابع توزیع تخلیه (سیگموید یا ۱۵ دقیقه ابتدایی) مشاهده نگردید. به‌عنوان سیاستی جهت تسهیل تصمیم‌گیری مدیران بایستی گفت که شناسایی هر چه دقیق‌تر تقاضای تخلیه هر منطقه می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش زمان تخلیه داشته باشد. همچنین به‌عنوان پیشنهاد جهت مطالعات آینده می‌توان به طراحی پرسش‌نامه جهت شناسایی هرچه بهتر انتخاب مسیر شهروندان و حل مسئله تخلیه اضطراری برای بحران‌های جهانی[11] اشاره نمود.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. Departure time
2. Centralized Hybrid Approach
3. Relief
4. Tabu Search
5. Network clearance
6. Dynamic Traffic Assignment
7. Flow Propagation
8. Temporary Queues
9. Spillback
10. ManWo Ng and S.Travis Waller
11. Global Disaster

۷- مراجع

-Alsnih, R., & Stopher, P. R., (2004), "Review of procedures associated with devising emergency evacuation plans". Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1865, No.1, pp. 89-97.

-Chiu, Y. C., & Zheng, H., (2007), "Real-time mobilization decisions for multi-priority emergency response resources and evacuation groups: model formulation and solution". Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 43(6), pp.710-736.

-Clark, A. E., Hagelman, R. R., & Dixon, R. W., (2020), "Modeling a contraflow evacuation method for tropical cyclone evacuations in Nueces County, Texas", Natural Hazards, 103(3), pp.2757-2786.

-Daganzo, C.F., (1994), "The cell transmission model: a simple dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory", Transportation Research Part B, Vol. 28, No. 4, pp. 269–287.

-Daganzo, C.F., (1995), "The cell transmission model, part II: network traffic", Transportation Research Part B, Vol.29, No. 2, pp.79–93.

-Davoodi, S. M. R., & Goli, A., (2019), "An integrated disaster relief model based on covering tour using hybrid Benders decomposition and variable neighborhood search: Application in the Iranian context", Computers & Industrial Engineering, 130, pp.370-380.

-Dixit, V., & Wolshon, B., (2014), "Evacuation traffic dynamics". Transportation research part C: emerging technologies, 49, pp.114-125.

-Edrisi, A., Zeini, M., Adresi, M., (2013), "A comprehensive overview of different methods of modeling travel demand to evacuate the transportation network and suggest the best method for the situation in Iran", The 13th International Conference on Traffic and Transportation Engineering, Tehran, Iran, (In Persian).

-Eskandari, M., Taham, F., Eskandari, H. (2009), "A comprehensive overview of the simulation of transportation and traffic systems in emergency evacuation operations", The 9th Transportation and Traffic Engineering Conference of Iran, Tehran, Iran, (In Persian).

-Fahad, M. G. R., Nazari, R., Bhavsar, P., Jalayer, M., & Karimi, M., (2019), "A decision-support framework for emergency evacuation planning during extreme storm events", Transportation research part D: transport and environment, 77, pp.589-605.

-Farahani, M., Chaharsooghi, M., Nakhaei Kamalabadi, S.I., Teymouri, E., (2018), "Branch and Bound Algorithms for Static and Robust Dynamic Evacuation-Location Problem in Emergency Logistics", Quarterly Journal of Transportation Engineering, 10(1), pp.31-52, (In Persian).

-Gao, X., Nayeem, M. K., & Hezam, I. M., (2019), "A robust two-stage transit-based

based on the maximum flow problem", The 3rd Comprehensive conference on urban management, Tehran, Iran, (In Persian).

-Nasiri, H., Edrisi, A., (2008), "Management of evacuation of transport networks in times of crisis", The 4th National Congress on Civil Engineering, Tehran, Iran, (In Persian).

-Nath, H. N., Pyakurel, U., Dhamala, T. N., & Dempe, S., (2020), "Dynamic network flow location models and algorithms for quickest evacuation planning", Journal of Industrial & Management Optimization.

-Nejhad akbari, Z., Kahandeh karnema, A., Alabedin sadeghi, Z., Hosseini, Z., (2014), "Prioritization of proposed emergency evacuation routes in Kerman using AHP", Quarterly Journal Kerman military knowledge, 1393(8), 63-78, (In Persian).

-Ng, M., & Waller, S. T., (2010), "A computationally efficient methodology to characterize travel time reliability using the fast Fourier transform". Transportation Research Part B: Methodological, 44(10), pp.1202-1219.

-Osman, M. S., & Ram, B., (2017), "Routing and scheduling on evacuation path networks using centralized hybrid approach". Computers & Operations Research, 88, pp.332-339.

-Patil, G. R., Ukkusuri, S. V., (2007), "System-Optimal Stochastic Transportation Network Design", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2029, Washington, D.C., pp. 80–86.

-Poorzahedy, H., & Turnquist, M. A., (1982), "Approximate algorithms for the discrete network design problem", Transportation Research Part B: Methodological, 16(1), pp.45-55.

-Sbayti, H., & Mahmassani, H. S., (2006), "Optimal Scheduling of Evacuation Operations", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No, 1964, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 238-246.

evacuation model for large-scale disaster response". Measurement, 145, pp.713-723.

-Gobbin, A., Khosravi, R., & Bardenhagen, A., (2021), "Emergency evacuation simulation of commercial aircraft", SN Applied Sciences, 3(4), pp.1-13.

-Hartama, D., Mawengkang, H., Zarlis, M., & Sembiring, R. W., (2021), "Model of emergence evacuation route planning with contra flow and zone scheduling in disaster evacuation", Computer Science and Information Technologies, 2(1), pp.1-10.

-Kongsomsaksakul, S., Yang, C., & Chen, A. (2005), "Shelter location-allocation model for flood evacuation planning", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6(1), pp.4237-4252.

-LeBlanc, L. J. &Abdulaal, M., (1984), "A comparison of user optimal and system optimal traffic assignment in transportation network design", Transportation Research B, 18(2), pp. 115–21.

-Lindell, M. K., & Prater, C. S., (2007), "Critical behavioral assumptions in evacuation time estimate analysis for private vehicles": Examples from hurricane research and planning, Journal of Urban Planning and Development, 133(1), pp.18-29.

-Liu, Y., Cui, N., & Zhang, J., (2019), "Integrated temporary facility location and casualty allocation planning for post-disaster humanitarian medical service", Transportation research part E: logistics and transportation review, 128, pp.1-16.

-ManWo Ng, S. Travis Waller, (2009), "The evacuation optimal network design problem: model formulation and comparisons", Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research, Vol 1, pp. 111-119.

-Muhammad, A., De Risi, R., De Luca, F., Mori, N., Yasuda, T., & Goda, K., (2021), "Are current tsunami evacuation approaches safe enough?" Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, pp.1-21.

-Nasei, A., Mehdipour, F., (2017), "A method for planning emergency evacuation of the transportation network

-Wang, L., (2020), "A two-stage stochastic programming framework for evacuation planning in disaster responses", Computers & Industrial Engineering, 145, 106458.

-Yuan, F., Han, L. D., Chin, S., and Hwang, H., (2006), "Proposed Framework for Simultaneous Optimization of Evacuation Traffic Destination and Route Assignment", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No, 1964, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 50-58.

-Zhang, J., Liu, H., Yu, G., Ruan, J., & Chan, F. T., (2019), "A three-stage and multi-objective stochastic programming model to improve the sustainable rescue ability by considering secondary disasters in emergency logistics", Computers & Industrial Engineering, 135, pp.1145-1154.

-Zhang, J., Liu, Y., Zhao, Y., & Deng, T. (2018), "Emergency evacuation problem for a multi-source and multi-destination transportation network: mathematical model and case study", Annals of Operations Research, pp.1-29.

-Zyryanov, V., & Feofilova, A., (2017), "Simulation of evacuation route choice". Transportation Research Procedia, 20, pp.740-745.

-Sherali, H. D., Carter, T. B. & Hobeika, A. G., (1991), "A Location-Allocation Model and Algorithm for Evacuation Planning under Hurricane/Flood Conditions", Transportation Research Part B, Vol. 25, No. 6, pp. 439-452.

-Suwansirikul, C., Friesz, T. L., & Tobin, R. L., (1987), "Equilibrium Decomposed Optimization: A Heuristic for the Continuous Equilibrium Network Design Problem", Transportation Science, Vol. 21, No. 4, pp. 254–263.

-Theodoulou, G., & Wolshon, B., (2004), "Alternative methods to increase the effectiveness of freeway contraflow evacuation", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1865(1), pp.48-56.

-Tuydes, H., & Ziliaskopoulos, A., (2006), "Tabu-based heuristic approach for optimization of network evacuation contraflow", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1964(1), pp.157-168.

-Urbina, E., and Wolshon, B., (2003), "National Review of Hurricane Evacuation Plans and Policies: A Comparisonand Contrast of State Practices", Transportation Research Part A, Vol. 37, pp. 257-275.

-Veronica, Y., Rau, M. I., & Arif, C., (2021), "Range, capacity, and closest evacuation route analysis to tsunami evacuation shelter in Pandeglang Regency Banten Indonesia", In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 622, No. 1, pp. 012042), IOP Publishing.

Dynamic Modeling of Management Policies for Emergency Evacuation

Amir Reza Mamdoohi, Associate Professor, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
Mahdi Shariati, M.Sc., Grad., Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
Mohsen Nazemi, M.Sc., Grad., Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
Mohammadhossein Abbasi, Ph.D. Candidate, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

E-mail: armamdoohi@modares.ac.ir

Received: October 2021- Accepted: May 2022

ABSTRACT
Emergency evacuation is the transfer of population during disasters from one area to another in a limited time. The main objective of this process is to transfer people out of the risky area immediately. Therefore, implementing management policies can play a vital role in minimizing evacuation duration and adverse effects of crises. This paper aims to investigate the impact of some management policies including contra flowing, determining the optimal evacuation routes, and evacuation phasing which have been implemented in Sioux Falls. This paper contributes to the literature by using dynamic traffic assignment and traffic simulation tool unlike previous studies which have used conventional mathematical models and heuristic methods assuming the static traffic assignment. The emergency evacuation process is simulated in Visum aiming to minimize the emergency evacuation time. Results of different scenario simulations indicate that demand and phasing of evacuation (in form of demand distribution function) are among the effective factors, but evacuation demand has a greater importance than type of demand distribution function. Finally, the implementation of the proposed policies (under different scenarios of demand and evacuation phases) will reduce the evacuation time by 10 to 30%.

Keywords: Emergency Evacuation Planning, Crisis Management, Contra Flowing, Dynamic Assignment, Computer Simulation