

مقاله پژوهشی

ارائه مدل مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در شبکه‌های کوچک و متوسط

شیدا روشنخواه، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

سید احسان سید ابریشمی (مسئول مکاتبات)، استادیار، گروه برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

حسن جوانشیر، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی

E-mail: seyedabrishami@modares.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶ پذیرش: ۹۸/۰۵/۱۲

چکیده

در پژوهش حاضر، هدف، طراحی یک مسئله مسیریابی خودروهای امدادی بر روی شبکه‌های کوچک و متوسط و حل این مسئله با استفاده از الگوریتم پیشنهادی است. تفاوت اساسی مسیریابی خودروهای امدادی با سایر مسائل مسیریابی مطرح شده در مرور ادبیات، استفاده از فاصله بر روی شبکه به جای فاصله هوایی، محدودیت زمان لازم برای حل مسئله، تک‌طرفیتی بودن وسایل نقلیه و عدم اجبار بازگشت وسیله نقلیه به مبدأ اولیه است. ورودی‌های مسئله شبکه حمل و نقل، تعداد و محل وسایل نقلیه، بیمارستان‌ها و درخواست‌های امدارسانی، تابع هدف مسئله، کمینه کردن مجموع زمان سفر کل وسایل نقلیه به علاوه زمانی است که آخرین درخواست پاسخ داده می‌شود و خروجی مسئله ترتیب پاسخ‌گویی به درخواست‌ها و تخصیص وسایل نقلیه و بیمارستان به هر درخواست است. ۱۳۸ مثال تصادفی بر روی شبکه کوچک با ۷ گره و ۷۵ مثال بر روی شبکه متوسط سوئالز با ۲۴ گره و ۷۶ گمان تولید شد. برای کاهش زمان حل مسئله، ابتدا با ثابت نگه داشتن ترتیب پاسخ‌گویی به درخواست‌ها، تعداد پاسخ‌های امکان‌پذیر مسئله کاهش یافت. برای این منظور، سه سناریوی متفاوت ترتیب پاسخ‌گویی به درخواست‌ها بر روی مثال‌های تولید شده بررسی شد. بر اساس نتایج، مرتب کردن درخواست‌ها بر اساس فاصله از نزدیک‌ترین وسیله نقلیه پاسخ‌های بهتری داشت. در گام بعدی، یک الگوریتم پیشنهادی ارائه شد. نتایج نشان داد که الگوریتم پیشنهادی قادر است در کمتر از ۱ ثانیه به پاسخ نهایی دست یابد که برای برنامه‌ریزی درخواست‌های امدادی، مناسب است. حل دقیق مسئله بسته به ابعاد آن تا ۱۷۷۰ ثانیه زمان نیاز دارد. اختلاف میان پاسخ تولید شده توسط الگوریتم پیشنهادی و پاسخ دقیق مسئله در بیش از ۸۰ درصد مثال‌های شبکه کوچک و بیش از ۵۰ درصد مثال‌های شبکه متوسط، کمتر از ۱۰ درصد و در بیش از ۹۴ درصد مثال‌های شبکه کوچک و بیش از ۸۹ درصد مثال‌های شبکه متوسط، کمتر از ۳۰ درصد است. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ابتکاری ارائه شده از نظر زمان حل و کیفیت پاسخ دارای عملکرد مناسبی در شبکه‌های کوچک است.

واژه‌های کلیدی: خودروهای امدادسان، شبکه، مسئله بهینه‌سازی، مسیریابی

۱. مقدمه

امروزه در شهرها کوشش‌های بسیاری برای ارتقاء کیفیت پاسخ‌گویی به انواع درخواست‌های امدادرسانی صورت می‌گیرد. از جمله این کوشش‌ها، افزایش پایگاه‌های پاسخ‌گویی مانند ایستگاه‌های آتش‌نشانی، پایگاه‌های اورژانس و ... و همچنین افزایش تعداد دستگاه‌های وسایل نقلیه امدادی مانند وسیله نقلیه آتش‌نشانی و آمبولانس است.

طراحی و حل مسئله مربوط به پاسخ‌گویی به درخواست‌های ارسال آمبولانس، می‌تواند تاثیر بسزایی در افزایش مطلوبیت ارائه خدمات به تقاضای مربوط باشد. این امر که در پژوهش حاضر مدنظر نویسندگان است، با پیچیدگی‌های بسیاری روبه‌رو است. در پژوهش حاضر کوشش شده است که با در نظر گرفتن این پیچیدگی‌ها و ملزومات، مسئله ریاضی متناسب طراحی و حل شود. تعداد زیاد درخواست‌های امدادرسانی و تفاوت در محل قرارگیری هر درخواست از جمله مواردی است که کوشش شده است در مسئله طراحی شده در این پژوهش مدنظر قرار گیرد.

علاوه بر آن، تمامی وسایل نقلیه امدادرسان موجود در یک نقطه متمرکز نیستند و می‌توانند از نقاط مختلف و طی مسیرهای گوناگون با طول و زمان سفرهای متفاوت به محل موردنظر برسند و در صورت لزوم، از آن نقطه به سمت مقاصد یا درخواست‌های دیگر حرکت کنند. این موضوع نیز در مسئله طراحی شده در این پژوهش مدنظر قرار گرفته است.

از طرفی، دیر رسیدن به محلی که در آن نیاز به امداد وجود دارد می‌تواند هزینه‌های جانی و مالی بسیاری در پی داشته باشد. بنابراین پاسخ‌گویی سریع و بموقع به تمامی درخواست‌ها نیز ضروری است. برای تعیین مسیر بهینه با مد نظر قرار دادن الزامات بیان شده، می‌توان یک الگوریتم حل مسئله ارائه داد که این موضوع

از جمله نکاتی است که در الگوریتم حل ارائه شده در این پژوهش مورد نظر بوده است.

الگوریتم ارائه شده در این پژوهش سعی بر آن دارد که بهترین ترکیب تخصیص آمبولانس‌ها به درخواست‌ها، ترتیب پاسخ‌گویی به درخواست‌ها، بیمارستان اختصاص یافته به هر درخواست و همچنین بهترین مسیر برای هر آمبولانس را جهت کمینه کردن زمان پاسخ‌گویی به تمامی درخواست‌ها به دست آورد.

لازم است این الگوریتم به گونه‌ای ارائه گردد که بتوان در کم‌ترین زمان به بهترین پاسخ ممکن رسید. از آنجایی که مسائل مسیریابی وسایل نقلیه از نوع مسائل ان-پی سخت هستند، رسیدن به جواب دقیق در آن‌ها تقریباً غیرممکن است. بنابراین تمامی الگوریتم‌های حل ارائه شده روش حل غیردقیق ارائه می‌دهند و کوشش بر بهتر کردن پاسخ‌های نهایی بدست آمده می‌کنند. علاوه بر آن، تلاش بر آن است که پاسخ بهتر در مدت زمان کم‌تر به دست بیاید.

بنابراین، هدف اصلی پژوهش حاضر یافتن بیمارستان، وسیله نقلیه و مسیر مناسب برای انتقال بیماران به بیمارستان با استفاده از آمبولانس‌های حاضر در شبکه، در کوتاهترین زمان ممکن است. برای رسیدن به این هدف، ابتدا صورت مسئله‌ای مناسب طراحی می‌شود و سپس الگوریتم حل مربوط به آن با هدف یافتن بهترین پاسخ در کمترین زمان ارائه می‌گردد.

از جمله ویژگی‌های بیماران در این مسئله که منجر به تفاوت آن با مسائل مربوط به توزیع کالا می‌شود، آن است که اولاً هر خودرو تنها ظرفیت یک بیمار را دارد، دوم آن که لازم است حمل بیمار و رساندن آن به بیمارستان در کوتاهترین زمان ممکن صورت گیرد. بنابراین نمی‌توان مانند سایر مسائل توزیع کالاهای عام، پس از سوار کردن یک بیمار بر وسیله، به سراغ بیمار بعدی رفت چرا که در این صورت هم محدودیت تک‌طرفیتی بودن آمبولانس

۲. مرور ادبیات

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در سال ۱۹۵۹ توسط دنتزیگ و رامسر مطرح شد [Caric and Gold, 2008]. از انواع دیگر مسائل مسیریابی وسایل نقلیه، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه است که نخستین بار در سال ۱۹۵۹ توسط دنتزیگ و رامسر ارائه گردید [Dantzig and Ramser, 1959].

تلاش‌ها برای طراحی مسائل مسیریابی کاربردی‌تر ادامه یافت و در سال ۱۹۸۰ نوعی از مسائل مسیریابی بهینه وسایل نقلیه تحت عنوان مسئله درخواست سرویس تلفنی مطرح شد که برای حل مسئله سرویس تلفنی برای افراد ناتوان بود به طوری که هزینه سفر (زمان سفر) برای وسایل نقلیه و زمان داخل وسیله و زمان انتظار فرد ناتوان کمینه شود [Cordeau and Laporte, 2003]. در سال ۱۹۸۸ مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی مطرح شد که در آن برای وسایل نقلیه محدودیت زمان سفر نیز مد نظر قرار گرفت [El-Sherbeny, 2010].

در سال ۲۰۱۱ پارا مسئله‌ای طراحی نمود که در آن تنوع درخواست‌ها و نوع وسیله نقلیه امدادی ارسالی دخالت دارد. در این مسئله تعداد درخواست‌ها از ۱۶ الی ۴۸ و تعداد وسایل نقلیه امدادی ۲ الی ۴ منظور شده‌اند [Parragh, 2011].

در سال ۲۰۱۲ جیاسی و همکارانش مسئله سرویس تلفنی برای حل مسئله مسیریابی آمبولانس‌های مربوط به بیمارستان حبیب بورقیه را طراحی و حل نمودند. سفر تمامی آمبولانس‌ها از محل بیمارستان آغاز و به همان‌جا ختم می‌شود و مساله برای بیشینه کردن تعداد درخواست‌های پاسخ داده با ناوگان مشخص شده طراحی شده است [Jlassi J., Euch J. and Chabchoub, 2012].

رعایت نشده و هم زمان رساندن بیمار به بیمارستان افزایش می‌یابد. سوم آن که، مسیریابی آمبولانس به گونه‌ای صورت می‌گیرد که بیماران به نزدیکترین بیمارستان موجود رسانده شوند و مقصد از پیش تعیین شده‌ای برای آنان وجود ندارد؛ این در حالی است که در مسائل مربوط به مسیریابی کالاهای عام، عموماً مقصد هر کالا از قبل مشخص است و لازم است کالا به همان نقطه مشخص رسانده شود.

بنابراین با توجه به آن که مسائل مسیریابی موجود در ادبیات غالباً تلاش نموده‌اند با استفاده از الگوریتم‌های حل مسائل مربوط به توزیع کالا، نسبت به حل مسائل مسیریابی آمبولانس اقدام نمایند و همچنین مسیریابی آمبولانس بعضاً برای حمل بیماران غیر اورژانسی مانند حمل معلولین و سالمندان به ار رفته است، ارائه یک مسئله مسیریابی آمبولانس مشخصاً برای بیماران اورژانسی و و ارائه یک روش حل نوین برای حل این مسئله، از جمله موضوعاتی است که در ادبیات موجود کمتر به آن پرداخته شده است.

در پژوهش حاضر، علاوه بر الگوریتم حل پیشنهادی که یک روش حل غیردقیق است، مسئله طراحی شده با استفاده از روش حل دقیق نیز حل می‌شود تا بتوان با استفاده از نتایج آن، روش حل پیشنهادی را اعتبارسنجی نمود.

در نهایت مسئله و روش حل مورد نظر برای مثال‌های متعدد تولید شده بر روی شبکه کوچک فرضی و شبکه متوسط شهر سو فالز پیاده‌سازی می‌شود. پاسخ بهینه دقیق تمامی مثال‌ها نیز به دست می‌آید و با پاسخ بدست آمده از الگوریتم حل پیشنهادی مقایسه می‌گردد.

در ادامه پس از اشاره به ادبیات مرتبط با موضوع پژوهش، به تشریح روش‌شناسی و نتایج بدست آمده پرداخته شده است.

ظرفیت Q بیش از یک مسافر است. همچنین مانند تمامی مسائل مشابه خود، تمامی سفرهای همه وسایل نقلیه از یک محل آغاز می شود و به همان جا ختم می شود. در این مسئله نیز تابع هدف کمینه کردن زمان کل سفر وسایل نقلیه است. هدف کلی پژوهش نیز نزدیک شدن به پاسخ بهینه به اندازه قابل قبول در زمان مناسب برای شبکه های بزرگ است. مطالعه موردی این پژوهش شبکه فرضی با حداکثر ۱۶۰۰۰ درخواست است. [Muelas, LaTorre and Peña, 2015]

در سال ۲۰۱۶، صبحی و همکارانش مسیریابی وسایل نقلیه برای توزیع کمک های امدادی را با هدف کاهش زمان سفر کل وسایل نقلیه با پنجره زمانی سخت انجام دادند. در این نوع مسائل مسیریابی، مقدار تابع هدف مسئله علاوه بر کمینه شدن، باید در یک بازه زمانی ازپیش تعریف شده نیز جای بگیرد که به این بازه زمانی، پنجره زمانی گفته می شود. محدودیت های مربوط به پنجره های زمانی سخت قابل آزادسازی نیستند و حتما باید شرط تعیین شده ارضاء گردد. [Sabuhi and Bozorgi, 2017]

در سال ۲۰۱۸، اعتباری و همکارانش مسئله مسیریابی-موجودی سبز را با در نظر گرفتن وسایل نقلیه هیبریدی و با استفاده از الگوریتم جستجوی همسایگی بزرگ حل کردند و برای اعتبارسنجی، نتایج به دست آمده توسط الگوریتم را با نتایج حل دقیق مقایسه کردند [Etebari and Dashtiyan, 2018]

در سال ۲۰۱۷، معماری و همکارانش مدل مکان یابی-مسیریابی با در نظر گرفتن رضایت مشتری و دریافت و تحویل همزمان را با استفاده از دو الگوریتم ابتکاری و فراابتکاری ژنتیک و با در نظر گرفتن پنجره زمانی سخت برای پاسخ به مشتریان حل نمودند. مدل برای شبکه های با ابعاد کوچک حل شد و کارایی الگوریتم پیشنهادی برای شبکه بزرگ بررسی شد [Memari, Prtoyi, July and Tavakoli, 2017]

در سال ۲۰۱۳ کرچلر و همکارانش مسئله ای برای حل یک نمونه موردی فرضی پرکاربرد که در سال ۲۰۰۳ توسط کوردئو و لاپورته ارائه شد طراحی کردند. این نمونه شامل ۲۰ سناریو با ۲۴ الی ۱۴۴ درخواست است [Cordeau J. F. and Laporte, 2007]. در این مطالعه هدف کمینه نمودن هزینه سفر وسایل نقلیه امدادی برای پاسخ گویی به درخواست ها و همچنین بیشینه کردن تعداد درخواست های پاسخ داده شده و کمینه کردن زمان داخل وسیله بیماران است [Kirchler and Wolfer Calvo, 2013]

در سال ۲۰۱۵ ژنگ و همکارانش سعی در طرح یک الگوریتم برای حل مسئله ای نمودند که در آن ابتدا تعداد بیماران که می توان با تعداد معلوم وسیله نقلیه به آن ها خدمات داد بیشینه شود و سپس هزینه (زمان سفر) کمینه گردد. برای حل مسئله، الگوریتم ممتیک به کار رفته است که نوع پیشرفته ای از الگوریتم ژنتیک است. الگوریتم برای سناریوی فرضی دو وسیله نقلیه، یک بیمارستان و ۱۳ درخواست اجرا شده است [Zhang, Liu and Lim, 2015]

در سال ۲۰۱۵ لیو و همکارانش کوشش کردند مسئله ای طراحی کنند که به واقعیت نزدیک تر باشد. به این منظور، آن ها موضوع های مدیریت نیروی انسانی، درخواست های متنوع و ظرفیت قابل تنظیم وسایل نقلیه را به صورت همزمان در نظر گرفتند. تابع هدف این مطالعه کمینه کردن کل زمان سفر وسایل نقلیه است. برای آزمایش مسئله طراحی شده وروش حل ارائه شده، مثال هایی با تعداد درخواست های کم تر از ۲۲ بر پایه اطلاعات واقعی یک مرکز ارائه خدمات سرویس تلفنی آمبولانس غیر اورژانسی در هنگ کنگ تولید شد. [Liu, Luo, and Lim, 2015]

در سال ۲۰۱۵ مولاس و همکارانش روش حل جستجوی همسایگی متغیر توزیع شده را برای حل مسئله درخواست سرویس تلفنی در مقیاس بزرگ ارائه دادند. در این مسئله هر وسیله ای دارای

مقاله پژوهشی : ارائه مدل مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در شبکه‌های کوچک و متوسط

در ادامه، تلاش‌های مربوط به مسیریابی وسایل نقلیه به مسیریابی وسایل نقلیه با اطلاعات تصادفی، مسیریابی وسایل نقلیه با اطلاعات پویا و تصادفی، مسیریابی وسایل نقلیه پویا با اطلاعات تصادفی درخواست‌ها [Ritzinger, Puchinger, and Hartl, 2016] رسیده است که کوشش دارد مسائل طراحی شده را کاربردی‌تر نماید. در این نوع مسائل، محل درخواست‌ها از ابتدا مشخص نیست و در طول سفر وسایل نقلیه، ممکن است درخواست‌های جدیدی ثبت شود و بنابراین نیاز به مسیریابی مجدد برای هر وسیله وجود خواهد داشت.

در سال ۲۰۱۶ کرجی سیستمی طراحی کرد که در آن با استفاده از مسئله کلاسیک مسیریابی وسایل نقلیه و محیط نقشه گوگل، کاربران می‌توانند با مشخص کردن محل دپوی مرکزی و محل هر درخواست بر روی نقشه، بهترین مسیر تخصیص یافته به هر وسیله نقلیه را بدست آورند [Kirci, 2016].

در سال ۲۰۱۷ چیمن و همکارانش به طراحی یک مسئله مسیریابی و حل آن با تاکید بر ظرفیت محدود سوخت وسیله و کاهش آلایندگی وسیله نمودند. در مسئله طراحی شده توسط این پژوهشگران، یک وسیله نقلیه با ظرفیت سوخت محدود و مصرف سوخت مشخص، باید پیش از بازگشتن به مبدا اولیه خود، به تعداد مشخصی مقصد مراجعه نماید و در صورت پاسخگونی بودن سوخت خود، باید علاوه بر مقاصد معلوم، به یکی از محل‌های سوختگیری موجود نیز مراجعه نماید. پژوهشگران تلاش نمودند با ارائه یک روش حل ابتکاری، طول کل مسیر طی شده توسط وسیله نقلیه را کمینه نمایند. در این مسئله فواصل گره‌ها و طول مسیر طی شده توسط وسیله بر پایه فاصله هوایی محاسبه می‌گردد [Cimen and Soysal, 2017].

در سال ۲۰۱۵ تالاریکو و همکارانش مسئله پاسخگویی به درخواست‌های درمان در محل و انتقال به بیمارستان ارسال شده از

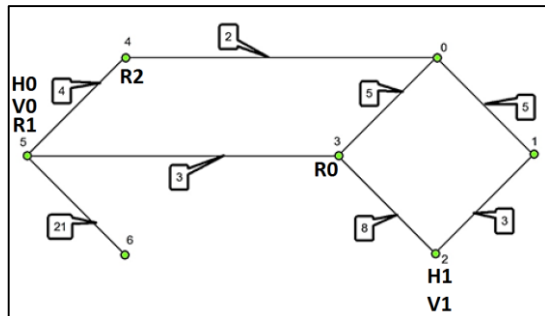
فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

نقاط گوناگون را به زبان ریاضی درآوردند. در مسئله طراحی شده هدف کاهش زمان پایان پاسخگویی به تمامی درخواست‌ها است. بنابراین تابع هدف کمینه نمودن زمان ارسال آمبولانس، درمان در محل و انتقال به بیمارستان است. اطلاعات ورودی موقعیت بیمار، زمان درمان در محل، زمان سفر کمان‌ها، نوع بیمار که نیاز به درمان در محل دارد یا انتقال به بیمارستان، ظرفیت بیمارستان، محل قرارگیری آمبولانس، محل بیمارستان و خروجی مسئله مسیر حرکت هر آمبولانس است. مسئله طراحی شده از الگوی کلی مسئله فروشنده دوره‌گرد به عنوان پایه اولیه استفاده کرده است. محققان مسئله طراحی شده را با استفاده از روش جستجوی محلی (همسایگی) بزرگ حل کرده‌اند. در این مطالعه تابع هدف کمینه نمودن مجموع وزنی زمان اتمام همه درخواست‌ها است به طوری که درخواست‌های قرمز دارای وزن بیشتری نسبت به درخواست‌های سبز باشند. این وزندهی باعث می‌شود درخواست‌هایی که شدت یا فوریت آن‌ها بیشتر است، سریع‌تر پاسخ داده شوند. مثال حل شده در این مطالعه شامل ۳ درخواست قرمز، ۷ درخواست سبز، ۲ بیمارستان با ظرفیت ۳ بیمار و ۳ آمبولانس است [Talarico, Meisel and Sörensen, 2015].

در واقع مطالعه اخیر را می‌توان نزدیک‌ترین مطالعه به موضوع پژوهش حاضر دانست. تفاوت اصلی میان پژوهش حاضر و این مطالعه، طراحی صورت مسئله و الگوریتم حل بر مبنای شبکه حمل و نقل و زمان سفر بر روی شبکه است. در حالی که در مطالعه تالاریکو، زمان سفر متناسب با فاصله هوایی نقاط منظور شده است و وسایل نقلیه به جای حرکت بر روی شبکه حمل و نقل، بر روی خطوط مستقیم متصل‌کننده نقاط حرکت می‌کنند. خلاصه مهمترین مطالعات بررسی شده در بالا در جدول ۱ نشان داده شده است.

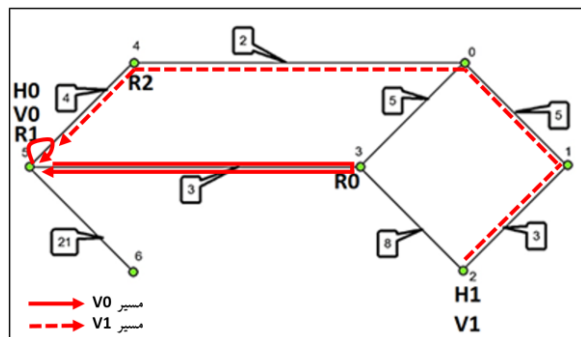
از آنجایی که در دنیای واقعی، سفرهای صورت گرفته بر روی شبکه حمل و نقل انجام می‌شود، طراحی و حل مسئله بر پایه شبکه

شکل ۱ صورت یک مسئله فرضی را نشان می‌دهد. در این مثال، ۳ درخواست در گره‌های ۳، ۴ و ۵ و وسیله ۲ و بیمارستان در گره‌های ۲ و ۴ قرار دارند.



شکل ۱. مثالی از صورت مسئله مورد مطالعه

یک پاسخ احتمالی برای مثال بالا آن است که وسیله $V0$ ابتدا درخواست $R1$ را به بیمارستان $H0$ و سپس درخواست $R0$ را به بیمارستان $H0$ منتقل کند. وسیله $V1$ نیز درخواست $R2$ را به بیمارستان $H0$ منتقل نماید. این پاسخ به صورت گرافیکی در شکل ۲ نشان داده شده است. در این صورت، زمان سفر وسیله $V0$ برابر ۶ و زمان سفر وسیله $V1$ برابر ۱۴ واحد زمانی خواهد بود. لازم به ذکر است که هر وسیله برای سفر میان هر مبدا و مقصد از کوتاهترین مسیر موجود بر روی شبکه بهره می‌برد.



شکل ۲. یکی از پاسخ‌های امکان‌پذیر برای مثال شکل ۱

حمل و نقل نسبت به مسائلی که بر پایه فاصله هوایی طراحی و حل می‌شوند، به واقعیت نزدیکتر خواهد بود. همچنین حذف الزام بازگشت وسیله نقلیه به نقطه آغازین، می‌تواند در کاهش مقدار پاسخ بهینه مسئله تاثیر بسزایی داشته باشد. علاوه بر آن، از تفاوت‌های عمده مسائل مسیریابی خودروهای امدادی با سایر مسائل مسیریابی خودروهای حمل کالا، تک‌ظرفیتی بودن وسیله نقلیه است. این مطالعه با در نظر گرفتن شبکه حمل و نقل و با حذف محدودیت‌هایی همچون الزام بازگشت وسیله نقلیه به محل آغاز سفر خود، گامی در جهت پیشبرد مطالعات گذشته برداشته است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

برای ارائه الگوریتم مسیریابی وسایل نقلیه، ابتدا باید مسئله مسیریابی مورد نظر تعریف گردد. در این بخش صورت مسئله‌ای که قرار است با الگوریتم پیشنهادی حل گردد مشخص می‌شود. تعریف مسئله موردنظر در این مطالعه به صورت زیر است:

فرض می‌شود چندین درخواست برای ارسال آمبولانس به صورت همزمان ثبت می‌گردد. در این لحظه، تعدادی آمبولانس خالی و آماده به کار و چندین بیمارستان در سطح شبکه برای پذیرش بیماران وجود دارند. تمامی درخواست‌ها باید توسط آمبولانس‌های ارسالی به بیمارستان منتقل گردند. صورت مسئله، نحوه تخصیص آمبولانس‌ها به درخواست‌ها و نحوه انتخاب بیمارستان برای انتقال بیمار است.

در واقع صورت مسئله شامل سه بخش است:

۱. کدام آمبولانس برای پاسخ‌گویی به کدام درخواست اعزام گردد؟
۲. هر درخواست به کدام بیمارستان منتقل گردد؟
۳. هر وسیله با طی کدام مسیر درخواست‌ها را به بیمارستان‌ها منتقل می‌کند؟

مسئله باید به گونه‌ای طراحی و حل شود که در کمترین زمان به بهترین پاسخ برای پاسخ‌گویی به سوالات بالا برسد. برای مثال،

مقاله پژوهشی : ارائه مدل مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در شبکه‌های کوچک و متوسط

جدول ۱. مطالعات اخیر در خصوص مسیریابی وسایل نقلیه

ردیف	عنوان	محل و سال چاپ	تابع هدف	ویژگی‌های مساله	مطالعه موردی	نتایج
۱	مسائل درخواست سرویس تلفنی و حمل و نقل اورژانسی در سرویس‌های آمبولانس	Computer Science and Engineering ۲۰۱۲	بیشینه کردن تعداد درخواست‌های پاسخ داده شده	• روش حل بر پایه فروشنده دوره‌گرد. • تمامی سفرها از محل بیمارستان آغاز و به همان جا ختم می‌شود • سفرها بر مبنای فاصله هوایی صورت می‌گیرد	درخواست‌های ثبت شده برای بیمارستان حبیب بورقیه	مسیر هر وسیله نقلیه
۲	ارائه یک الگوریتم ممتیک برای حمل و نقل بیماران	omega, the international journal of management science ۲۰۱۵	بیشینه کردن تعداد درخواست‌های پاسخ داده شده و سپس کمینه کردن هزینه (زمان سفر) این خدمات	• هر وسیله نقلیه چندین سفر کوتاه دارد. • زمان ضدغفونی آمبولانس‌ها بین هر دو سفر • زمان استراحت پرسنل • تمامی سفرهای وسایل نقلیه از محل بیمارستان آغاز و به همان جا ختم می‌شود • سفرها بر مبنای فاصله هوایی صورت می‌گیرد	سناریوی فرضی دو وسیله نقلیه، یک بیمارستان و ۱۳ درخواست	بهبود پاسخ‌ها در مسائل با اندازه متوسط
۳	ارائه یک الگوریتم شاخه و کران برای برای مسئله درخواست سرویس تلفنی در شرایط واقعی	Transportation Research Part B ۲۰۱۵	کمینه کردن کل زمان سفر وسایل نقلیه	• در نظر گرفتن مدیریت نیروی انسانی، درخواست‌های متنوع و ظرفیت قابل تنظیم وسایل نقلیه		نزدیکتر شدن مسئله به دنیای واقعی
۴	مسیریابی آمبولانس برای پاسخ‌گویی به حوادث با گروه‌های بیماران	Computers & Operations Research ۲۰۱۵	کمینه نمودن مجموع وزنی زمان اتمام همه درخواست‌ها	• استفاده از آمبولانس‌های موجود در بیمارستان‌های گوناگون • ارائه خدمات درمان در محل و انتقال به بیمارستان • در نظر گرفتن زمان درمان در محل، آماده سازی بیمار برای حمل، زمان انتقال آمبولانس به محل موقعیت بیمار و زمان حمل بیمار به بیمارستان • سفرها بر مبنای فاصله هوایی صورت می‌گیرد	مثال‌های فرضی با تعداد درخواست کم‌تر از ۲۲ بر پایه اطلاعات واقعی یک مرکز ارائه خدمات سرویس تلفنی آمبولانس غیر اورژانسی در هنگ‌کنگ	مسیر هر آمبولانس و زمان پاسخ‌گویی به هر درخواست
۵	مسئله درخواست تلفنی سرویس با کاربران و وسایل نقلیه متنوع	Transportation Research Part C ۲۰۱۱	کمینه کل هزینه سفر وسیله نقلیه امدادی در شبکه و	انواع درخواست‌ها مانند درخواست صندلی چرخ‌دار، برانکارد یا صندلی ویژه شرکت‌های ارائه دهنده انواع خدمات امدادی	مثال‌های فرضی با تعداد درخواست ۱۶ الی ۴۸ و	مسیر هر وسیله نقلیه

ردیف	عنوان	محل و سال چاپ	تابع هدف	ویژگی‌های مساله	مطالعه موردی	نتایج
			کمینه نمودن زمان انتظار بیمار در داخل وسیله	شاخص ارزیابی کیفیت ارائه خدمات: زمان داخل وسیله و زمان انتظار بیمار تمامی سفرها به نقطه آغاز سفر ختم می‌شود	تعداد وسایل نقلیه امدادی ۲ الی ۴	
۶	الگوریتم جستجوی ممنوعه جزء به جزء برای مسئله درخواست سرویس تلفنی	Transportation Research Part B ۲۰۱۳	کمینه نمودن هزینه سفر وسایل نقلیه امدادی و بیشینه کردن تعداد درخواست‌های پاسخ داده شده و رضایت مسافران	بیشینه کردن میزان رضایت مسافران از طریق کمینه کردن زمان داخل وسیله بیماران پاسخ اولیه تولید شده از کیفیت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار باشد تمامی سفرها به نقطه آغاز سفر ختم می‌شود	مثال‌های فرضی با ۲۴ الی ۱۴۴ درخواست	مسیر هر وسیله نقلیه روش حل به خوبی روش حل جستجوی ممنوعه، بهتر از الگوریتم ژنتیک بهتر از جستجوی همسایگی متغیر در زمان‌های کوتاه (۶۰ ثانیه) و ضعیف‌تر از آن در زمان طولانی حل مساله.
۷	ارائه روش جستجوی همسایگی متغیر توزیع شده برای بهینه‌سازی مسئله درخواست سرویس تلفنی در مقیاس بزرگ	Transportation Research Part C ۲۰۱۵	• کمینه کردن زمان سفر کل وسایل نقلیه • بهینه‌سازی مسئله درخواست سرویس تلفنی برای شبکه‌های بزرگ	مسئله کلاسیک درخواست سرویس تلفنی مسئله در مقیاس بزرگ	شبکه فرضی با حداکثر ۱۶۰۰۰ درخواست	کاهش قابل توجه زمان بهینه‌سازی برای شبکه بزرگ بهبود کیفیت پاسخ شبکه‌های کوچک‌تر
۸	ارائه یک الگوریتم بهینه‌سازی برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با ظرفیت محدود و پنجره زمانی	Sadhana ۲۰۱۶	کمینه کردن زمان سفر کل وسایل نقلیه	قابلیت تعیین مبداء و مقاصد توسط کاربران در سیستم گرافیکی	-	بهترین مسیر میان مبداء مرکزی و مقاصد تعیین شده توسط کاربر
۹	مسیریابی و زمان‌بندی وسایل حمل و نقل برای توزیع کمک‌های امدادی با در نظر گرفتن تحویل جزئی و انبار چندگانه	فصلنامه مهندسی حمل و نقل ۲۰۱۶	کمینه کردن زمان سفر کل وسایل نقلیه با پنجره زمانی سخت	مقدار تابع هدف مسئله علاوه بر کمینه شدن، باید در یک بازه زمانی ازپیش تعریف شده نیز جای بگیرد	منطقه چهار شهر تهران	مسیریابی و زمان‌بندی همزمان وسایل حمل و نقل جهت توزیع اقلام امدادی

مقاله پژوهشی : ارائه مدل مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در شبکه‌های کوچک و متوسط

ردیف	عنوان	محل و سال چاپ	تابع هدف	ویژگی‌های مساله	مطالعه موردی	نتایج
۱۰	مدلسازی مسئله مسیریابی-موجودی سبز با در نظر گرفتن وسایل نقلیه هیبریدی و حل آن توسط الگوریتم جستجوی همسایگی بزرگ	فصلنامه مهندسی حمل و نقل ۲۰۱۷	کمینه کردن هزینه‌های ثابت سفر وسیله نقلیه و هزینه-های نگهداری	در هر دوره هر وسیله نقلیه بیشتر از یکبار به یک مشتری مراجعه نخواهد کرد ظرفیت محدود ظرفیت محدود انبار	شبکه فرضی با ۴ تا ۸۰ مشتری، ۲ تا ۸ جایگاه سوخت و ۱ تا ۱۰ وسیله نقلیه	مسیر هر وسیله نقلیه دو الگوریتم حل که یکی در زمان حل و دیگری در مقدار تابع هدف برتری دارند
۱۱	مسئله مسیریابی وابسته به زمان برای وسیله نقلیه سبز با سرعت تصادفی وسیله: یک الگوریتم پویای تقریبی	Transportation Research Part D ۲۰۱۷	کمینه کردن طول کل مسیر طی شده توسط وسیله	ظرفیت محدود سوخت وسیله و کاهش آلاینده‌گی وسیله پیش از بازگشتن به مبدا، به تعداد مشخصی مقصد مراجعه نماید و در صورت پاسخگونی بودن سوخت خود، به یکی از محل‌های سوختگیری نیز مراجعه نماید فواصل گره‌ها و طول مسیر طی شده توسط وسیله بر پایه فاصله هوایی	شبکه فرضی با ۱۵ گره	سرعت وسایل نقلیه در مسیرهای به دست آمده، زمان سفر، میزان سوخت مصرفی و هزینه سفر تاثیرگذار است زمان محاسبات الگوریتم نسبتاً کوتاه است
۱۲	توسعه مدل مکان‌یابی-مسیریابی با در نظر گرفتن رضایت مشتری و دریافت و تحویل همزمان	فصلنامه مهندسی حمل و نقل ۲۰۱۸	کمینه کردن مجموع مسافت طی شده توسط تمامی وسایل نقلیه و کمینه سازی هزینه ایجاد انبارها	هر مشتری باید توسط یک وسیله نقلیه ملاقات شود ملاقات مشتری در پنجره زمانی سخت محدودیت در مسافت طی شده توسط یک وسیله بین انبارها حمل و نقل صورت نمی‌گیرد	مسائل فرضی با ۲۰ تا ۷۰ مشتری، ۴ تا ۳۰ انبار و ۳ تا ۲۵ وسیله	مکان‌یابی بهترین مکان‌ها برای ایجاد انبار زمانبندی و برنامه حرکت وسایل نقلیه
۱۳	ارائه مدل مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در شبکه‌های کوچک و متوسط	مقاله حاضر	کمینه کردن هزینه کل سفر وسایل نقلیه و کمینه کردن زمان اتمام پاسخ‌گویی به آخرین درخواست	ظرفیت وسایل نقلیه یک بیمار است الزامی به بازگشت وسیله نقلیه به نقطه آغازین وجود ندارد سفرهای وسیله نقلیه بر روی شبکه حمل و نقل انجام می‌شود. فواصل نقاط و گره‌ها بر پایه شبکه حمل و نقل محاسبه می‌شود.	• شبکه فرضی با ۷ گره • شبکه شهر سوافالز	مسیر هر آمبولانس زمان پاسخ‌گویی به هر درخواست زمان به پاسخ رسیدن الگوریتم ابتکاری کوتاه است پاسخ‌های الگوریتم ابتکاری به پاسخ بهینه نزدیک است

۳-۱ فرض‌های مسئله

- مسئله مورد نظر این مطالعه دارای فرض‌هایی به شرح زیر است:
۱. هر آمبولانس به اندازه یک بیمار ظرفیت دارد.
 ۲. هر آمبولانس می‌تواند بعد از به مقصد رساندن یک بیمار، بلافاصله برای پاسخ‌گویی به درخواست بعدی اعزام گردد.
 ۳. بیمارستان‌ها ظرفیت کافی برای پاسخ‌گویی به تمام درخواست‌ها را دارند.
 ۴. درخواست‌ها به صورت همزمان ثبت می‌شوند و اولویتی نسبت به هم ندارند.
 ۵. زمان انتقال بیمار به وسیله و انتقال بیمار از وسیله به بیمارستان بسیار ناچیز است.

۳-۲ تعریف متغیرها

متغیرهای مورد استفاده در صورت و روش حل مسئله به شرح زیر است:

مجموعه‌ها

- $\{N\}$: مجموعه کل گره‌های شبکه.
- $\{L\}$: مجموعه کل کمان‌های شبکه
- $\{R\}$: مجموعه کل درخواست‌ها
- $\{V\}$: مجموعه کل وسایل نقلیه
- $\{H\}$: مجموعه کل بیمارستان‌ها
- $\{NVR\}$: مجموعه نزدیک‌ترین وسیله به هر درخواست (مجموعه‌ای است که به تعداد درخواست‌ها عضو دارد و هر عضو آن، فاصله میان نزدیک‌ترین وسیله و عضو متناظر آن در مجموعه درخواست‌ها است).
- $\{O\}$: مجموعه توابع هدف

پارامترها

V : تعداد کل وسایل نقلیه (آمبولانس‌ها) موجود

T_{vi} : زمان سفر کل وسیله نقلیه i

N : تعداد گره‌ها

N_i : شماره گره

L : تعداد کمان‌ها

t_i : زمان سفر کمان‌ها

t_{ij} : زمان کوتاه‌ترین مسیر میان هر زوج گره i و j

R : تعداد درخواست‌ها

V : تعداد وسایل نقلیه (آمبولانس)

H : تعداد بیمارستان‌ها

R_i : شماره درخواست

POS_{R_i} : محل درخواست R_i

V_i : شماره وسیله (آمبولانس)

POS_{V_i} : محل وسیله V_i (آمبولانس)

H_i : شماره بیمارستان

POS_{H_i} : محل بیمارستان H_i

T_{rv} : فاصله زمانی هر درخواست از هر وسیله

T_{rh} : فاصله زمانی هر درخواست از هر بیمارستان

متغیرهای تصمیم

H_{R_i} : بیمارستان تخصیص یافته به هر درخواست R_i

V_{R_i} : وسیله تخصیص یافته به هر درخواست R_i

T_{V_i} : زمان سفر هر وسیله نقلیه V_i

T_{R_i} : زمان اتمام پاسخ‌گویی به هر درخواست R_i

O : تابع هدف

۳-۳ صورت مسئله

مسئله مسیریابی خودروهای امدادی به صورت یک مسئله بهینه‌سازی طراحی شده است. صورت این مسئله به صورت زیر است.

۱. کمینه کردن هزینه کل سفر وسایل نقلیه: جمله نخست تابع هدف نشان‌دهنده مجموع زمان سفر کل وسایل نقلیه موجود است. زمان سفر وسیله نقلیه همواره به عنوان نماینده مناسبی از هزینه سفر وسیله نقلیه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲. کمینه کردن زمان اتمام پاسخ‌گویی به آخرین درخواست: جمله دوم تابع هدف نشان‌دهنده زمانی است که آخرین وسیله نقلیه به کار خود پایان می‌دهد. به عبارت دیگر، این جمله نشان‌دهنده زمانی است که آخرین بیمار به بیمارستان می‌رسد. با کمینه کردن این مقدار، در واقع سرعت پاسخ‌گویی به درخواست‌ها افزایش می‌یابد. روابط ۲ الی ۲۲ محدودیت‌های مسئله را نشان می‌دهد. رابطه ۲ بدین معناست که تعداد گره‌های شبکه می‌تواند هر مقدار صحیح مثبت بیشتر یا مساوی ۳ باشد. مجموعه روابط ۳ گویای آن است که شماره هر گره (N_i) با یک عدد منحصر بفرد صحیح بزرگ‌تر یا مساوی صفر تعریف می‌شود. رابطه ۴ بدان معناست که تعداد کمان‌ها (L) می‌تواند هر مقدار صحیح بیشتر یا مساوی ۳ باشد. مجموعه روابط ۵ گویای آن است که شماره هر کمان (L_i) با یک عدد منحصر بفرد صحیح بزرگ‌تر یا مساوی صفر تعریف می‌شود. مجموعه روابط ۶ نشان می‌دهد که زمان سفر هر کمان (t_i) می‌تواند هر مقدار بزرگ‌تر یا مساوی صفر باشد. مجموعه روابط ۷ گویای آن است که زمان کوتاه‌ترین مسیر میان هر جفت گره (t_{ij}) می‌تواند هر مقدار بزرگ‌تر یا مساوی صفر باشد. رابطه ۸ نشان می‌دهد که تعداد درخواست‌ها (R) می‌تواند هر مقدار صحیح بزرگ‌تر یا مساوی ۱ باشد. رابطه ۹ نشان می‌دهد که تعداد وسایل نقلیه (V) می‌تواند هر مقدار صحیح بزرگ‌تر یا مساوی ۱ باشد. رابطه ۱۰ نشان می‌دهد که شماره هر درخواست (R_i) با یک عدد منحصر بفرد صحیح و بزرگ‌تر یا مساوی صفر تعریف می‌شود. مجموعه روابط ۱۱ گویای آن است که

$$\text{minimize } \sum_{i=0}^{V-1} T_{v_i} + \max_{v_i} \{T_{v_i}\} \quad (1)$$

Subject to:

$$N \geq 3. \quad N \in \mathbb{N}^+ \quad (2)$$

$$N_i \geq 0. \quad N_i \in \mathbb{Z}^+. \quad N_i \neq N_j \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$L \geq 3. \quad L \in \mathbb{N}^+ \quad (4)$$

$$L_i \geq 0. \quad L_i \in \mathbb{Z}^+. \quad L_i \neq L_j \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$t_l \geq 0. \quad t_l \in \mathbb{R}^+. \quad l \in \{L\} \quad (6)$$

$$t_{ij} \geq 0. \quad t_{ij} \in \mathbb{R}^+. \quad i \& j \in \{N\} \quad (7)$$

$$R \geq 1. \quad R \in \mathbb{N}^+ \quad (8)$$

$$V \geq 1. \quad V \in \mathbb{N}^+ \quad (9)$$

$$H \geq 1. \quad H \in \mathbb{N}^+ \quad (10)$$

$$0 \leq R_i \leq R - 1. \quad R_i \in \mathbb{Z}^+. \quad R_i \neq R_j \quad \forall i, j \quad (11)$$

$$0 \leq POS_{R_i} \leq N - 1. \quad POS_{R_i} \in \{N\} \quad (12)$$

$$0 \leq V_i \leq V - 1. \quad V_i \in \mathbb{Z}^+. \quad V_i \neq V_j \quad \forall i, j \quad (13)$$

$$0 \leq POS_{V_i} \leq N - 1. \quad POS_{V_i} \in \{N\} \quad (14)$$

$$0 \leq H_i \leq H - 1. \quad H_i \in \mathbb{Z}^+. \quad H_i \neq H_j \quad \forall i, j \quad (15)$$

$$0 \leq POS_{H_i} \leq N - 1. \quad POS_{H_i} \in \{N\} \quad (16)$$

$$0 \leq V_{R_i} \leq V - 1. \quad V_{R_i} \in \mathbb{Z}^+ \quad (17)$$

$$0 \leq H_{R_i} \leq H - 1. \quad H_{R_i} \in \mathbb{Z}^+ \quad (18)$$

$$T_{V_i} \geq 0. \quad T_{V_i} \in \mathbb{R}^+ \quad (19)$$

$$T_{rv} \geq 0. \quad T_{rv} \in \mathbb{R}^+. \quad r \in \{R\}. \quad v \in \{V\} \quad (20)$$

$$T_{rh} \geq 0. \quad T_{rh} \in \mathbb{R}^+. \quad r \in \{R\}. \quad h \in \{H\} \quad (21)$$

$$T_{R_i} \geq 0. \quad T_{R_i} \in \mathbb{R}^+. \quad T_{R_i} = T_{R_i V_{R_i}} + T_{R_i H_{R_i}} \quad (22)$$

رابطه ۱ نشان‌دهنده تابع هدف مسئله است که در آن دو هدف

اصلی مورد نظر قرار گرفته است:

۳-۴ روش حل مسئله

برای حل مسئله طراحی شده، دو راه وجود دارد. روش حل دقیق و روش حل غیردقیق. در روش نخست، با استفاده از شمارش تمامی پاسخ‌های امکان‌پذیر مسئله و مقایسه تمامی این پاسخ‌ها با یکدیگر، بهترین پاسخ مربوط به مسئله به دست می‌آید. تعداد کل پاسخ‌های امکان‌پذیر در مسئله طراحی شده، با استفاده از رابطه ۲۳ بدست می‌آید.

$$(H \times K)^R \times R! \quad (23)$$

در رابطه بالا، R تعداد درخواست، V تعداد وسیله و H تعداد بیمارستان است. برای مثال، در صورتی که در صورت مسئله ۴ درخواست، ۴ وسیله و ۴ بیمارستان وجود داشته باشد، تعداد کل پاسخ‌های امکان‌پذیر مسئله برابر با ۱,۵۷۲,۸۶۴ خواهد بود. در روش حل دقیق اگرچه پاسخ بدست آمده، دقیق است و کاربر اطمینان دارد که این پاسخ، بهترین نوع تخصیص وسیله نقلیه و بیمارستان به درخواست‌ها است، به دلیل تعداد بالای پاسخ‌های امکان‌پذیر و زمان بالای حل مسئله، این روش نمی‌تواند برای حل مسئله مسیریابی خودروهای امدادی مورد استفاده قرار گیرد.

الگوریتم حل ارائه شده در این پژوهش، برای رسیدن به پاسخی است که تا جای ممکن به پاسخ بهینه نزدیک باشد و در عین حال، زمان حل مسئله کاهش یابد تا با ماهیت مسئله مسیریابی آمبولانس برای خدمات‌رسانی به بیماران و درخواست‌های اورژانسی همخوانی داشته باشد. در ادامه روش حل پیشنهادی و زمان حل مسئله و مزایای استفاده از این روش حل به تشریح توضیح داده شده است.

در این مطالعه رسیدن به یک روش حل ابتکاری، ابتدا کوشش شد تعداد پاسخ‌های امکان‌پذیر کاهش یابد. برای این کار، در گام نخست روش حل مسئله، ترتیب پاسخ‌گویی به درخواست‌ها مشخص می‌گردد و تا انتهای حل ثابت می‌ماند. به عبارت دیگر، در

معناست که محل هر درخواست (POS_{Ri}) می‌تواند هر مقدار بزرگ‌تر یا مساوی صفر و کوچک‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین شماره گره باشد. مجموعه روابط ۱۳ نشان‌دهنده آن است که شماره هر وسیله (V_i) با یک عدد منحصر بفرد صحیح و بزرگ‌تر یا مساوی صفر تعریف می‌شود. مجموعه روابط ۱۴ نشان‌دهنده آن است که محل هر وسیله (POS_{Vi}) می‌تواند هر مقدار بزرگ‌تر یا مساوی صفر و کوچک‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین شماره گره باشد. مجموعه روابط ۱۵ نشان‌دهنده آن است که شماره هر بیمارستان (H_i) با یک عدد منحصر بفرد صحیح بزرگ‌تر یا مساوی صفر تعریف می‌شود. مجموعه روابط ۱۶ گویای آن است که محل هر بیمارستان (POS_{Hi}) می‌تواند هر مقدار بزرگ‌تر یا مساوی صفر و کوچک‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین شماره گره باشد. مجموعه روابط ۱۷ گویای آن است که وسیله تخصیص یافته به هر درخواست (H_{Ri}) می‌تواند هر مقدار صحیح بزرگ‌تر یا مساوی صفر و کوچک‌تر از بزرگ‌ترین شماره بیمارستان باشد. مجموعه روابط ۱۸ گویای آن است که بیمارستان تخصیص یافته به هر درخواست (V_{Ri}) می‌تواند هر مقدار صحیح بزرگ‌تر یا مساوی صفر و کوچک‌تر از بزرگ‌ترین شماره وسیله باشد. مجموعه روابط ۱۹ نشان می‌دهد که زمان سفر هر وسیله نقلیه (T_{Vi}) می‌تواند هر مقدار بزرگ‌تر یا مساوی صفر باشد. مجموعه روابط ۲۰، ۲۱ و ۲۲ به ترتیب نشان می‌دهد که فاصله زمانی هر درخواست از هر وسیله (T_{IV})، فاصله زمانی هر درخواست از هر بیمارستان (T_{IH}) و زمان اتمام پاسخ‌گویی به هر درخواست (T_{Ri}) می‌تواند هر مقدار بزرگ‌تر یا مساوی صفر باشد. حل مسئله نوعی روش pickup & delivery خواهد بود که در آن هر بیمار پس از pickup، با توجه به تابع هدف و محدودیت‌های مسئله به مناسب‌ترین بیمارستان فرستاده می‌شود (delivery). در بخش بعدی جزئیات روش حل مسئله شرح داده شده است.

گام نخست مشخص می‌گردد که مثلاً a, b, c و d به همین ترتیب پاسخ داده شوند. یعنی ابتدا وسیله و بیمارستان مناسب به درخواست a تخصیص یابد، سپس محل وسایل نقلیه به‌روزرسانی گردد، سپس وسیله و بیمارستان به درخواست b تخصیص یابد، محل وسایل نقلیه به‌روزرسانی گردد و این فرایند تا درخواست d ادامه یابد. با حذف ترتیب‌های مختلف پاسخ‌گویی به درخواست‌ها، تعداد پاسخ‌های امکان‌پذیر کاهش می‌یابد و از رابطه ۲۴ بدست می‌آید.

$$(H \times K)^R \quad (24)$$

در رابطه بالا، R تعداد درخواست، V تعداد وسیله و H تعداد بیمارستان است. بر اساس این رابطه، برای مسئله با 4 درخواست، 4 وسیله و 4 بیمارستان، تعداد کل پاسخ‌های امکان‌پذیر مسئله برابر با $65,536$ خواهد بود. این موضوع تاثیر بسزایی در کاهش زمان پاسخ‌گویی به مسئله دارد. ترتیب‌های متفاوتی می‌توان برای پاسخ‌گویی به درخواست‌ها در نظر گرفت. تفاوت در ترتیب پاسخ‌گویی به درخواست‌ها می‌تواند در پاسخ نهایی به دست آمده موثر باشد. در پژوهش حاضر، ۳ سناریوی ترتیب متفاوت به

شرح زیر برای پاسخ‌گویی به درخواست‌ها مورد آزمون قرار گرفته است:

۱. ترتیب تصادفی: در این سناریو، ترتیب پاسخ‌گویی به درخواست‌ها به صورت تصادفی انتخاب می‌شود.

۲. به ترتیب نزدیکترین وسیله: در این سناریو، درخواست‌ها به ترتیب صعودی فاصله از نزدیک‌ترین وسیله پاسخ داده می‌شوند: بدین معنا که ابتدا درخواستی که فاصله‌اش از نزدیکترین وسیله به خود، کمتر از همه باشد، پاسخ داده می‌شود.

۳. به ترتیب نزدیکترین بیمارستان: در این سناریو، درخواست‌ها به ترتیب صعودی فاصله از نزدیک‌ترین بیمارستان پاسخ داده می‌شوند: بدین معنا که ابتدا درخواستی که فاصله‌اش از نزدیکترین بیمارستان به خود، کمتر از همه باشد، پاسخ داده می‌شود.

سه روش حل مسئله بر مبنای هریک از این سه سناریو برای حل مسئله طراحی شد. مراحل کلی روش حل مسئله برای مسئله با دو درخواست به صورت زیر است:

۱. دریافت ورودی‌های مسئله شامل ماتریس شبکه ($\{Network\}$) (تشکیل شده توسط مجموعه گره‌ها ($\{N\}$) و مجموعه کمان‌ها

($\{L\}$))، مجموعه درخواست‌ها ($\{R\}$)، مجموعه وسایل نقلیه ($\{V\}$) و مجموعه بیمارستان‌ها ($\{H\}$).

۲. چیدن درخواست‌ها به ترتیب مورد نظر در سناریو

۳. درخواست اول ($r = 0$)

۳.۱. اختصاص بیمارستان اول ($h = 0$) به درخواست.

۳.۱.۱. اختصاص وسیله اول ($v = 0$) به درخواست.

۳.۱.۲. درخواست بعدی ($r = 1$)

۳.۱.۲.۱. اختصاص بیمارستان اول ($h = 0$) به درخواست

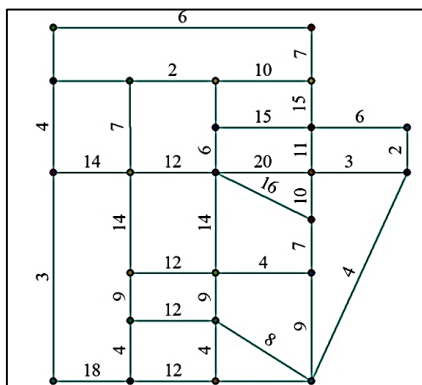
۳.۱.۲.۱.۱. اختصاص وسیله اول ($v = 0$) به درخواست.

۳.۱.۲.۱.۱.۱. درخواست اول ($r = 0$)

- ۳,۱,۲,۱,۱,۱. انتقال وسیله به محل درخواست (POS_{Ri}) و انتقال آن به بیمارستان تخصیص داده شده به همان درخواست (POS_{Hri})
- ۳,۱,۲,۱,۱,۲. محاسبه زمان سفر وسیله برای انتقال از موقعیت فعلی خود (POS_{Vi}) به موقعیت درخواست (POS_{Ri}) و انتقال از موقعیت درخواست به موقعیت بیمارستان تخصیص یافته به درخواست (POS_{Hri})
- ۳,۱,۲,۱,۱,۳. ذخیره زمان اتمام پاسخ‌گویی به درخواست (T_{Ri})
- ۳,۱,۲,۱,۱,۴. ذخیره زمان سفر کل وسیله نقلیه (T_{Vi})
- ۳,۱,۲,۱,۱,۵. تغییر موقعیت وسیله نقلیه به موقعیت بیمارستانی که درخواست را به آن انتقال داده است.
- ۳,۱,۲,۱,۱,۶. درخواست بعدی
- ۳,۱,۲,۱,۱,۲. تکرار مرحله ۳,۱,۲,۱,۱ تا پایان درخواست‌ها
- ۳,۱,۲,۱,۱,۳. محاسبه مجموع زمان سفر کل وسایل نقلیه ($\sum_{i=0}^{V-1} T_{vi}$)
- ۳,۱,۲,۱,۱,۴. یافتن درخواستی که زمان اتمام پاسخ‌گویی به آن بیشتر از همه درخواست‌هاست ($\max_{vi}\{T_{vi}\}$)
- ۳,۱,۲,۱,۱,۵. محاسبه و ذخیره تابع هدف (مجموع مقادیر محاسبه شده در مراحل ۳,۱,۲,۱,۳ و ۳,۱,۲,۱,۴)
- ۳,۱,۲,۱,۱,۶. وسیله بعدی
- ۳,۱,۲,۱,۱,۲. تکرار مرحله ۳,۱,۲,۱,۱ تا پایان وسایل نقلیه
- ۳,۱,۲,۱,۳. بیمارستان بعدی
- ۳,۱,۲,۲. تکرار مرحله ۳,۱,۲,۱ تا پایان بیمارستان‌ها
- ۳,۱,۲,۳. وسیله بعدی
- ۳,۱,۳. تکرار مرحله ۳,۱,۲ تا پایان وسیله‌ها
- ۳,۱,۴. بیمارستان بعدی
- ۳,۲. تکرار مرحله ۳,۱ تا پایان بیمارستان‌ها
۴. یافتن کمترین مقدار تابع هدف ذخیره شده در مرحله ۳,۱,۲,۱,۵
۵. معرفی حالتی از تخصیص بیمارستان و وسیله نقلیه به درخواست‌ها که کمترین مقدار تابع هدف را داشته باشد.

مقاله پژوهشی: ارائه مدل مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در شبکه‌های کوچک و متوسط

گره و ۷۶ کمان است و به عنوان شبکه متوسط مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۴. شبکه شهر سوافلز (شبکه متوسط) برای اجرای الگوریتم پیشنهادی

۳-۶ پیاده‌سازی روش حل

همانطور که در بند پیشین اشاره شد، دو نوع شبکه کوچک و متوسط برای پیاده‌سازی روش حل ابتکاری پیشنهادی ارائه شده است. مثال‌های تولید شده بر روی شبکه کوچک به تعداد ۲ الی ۹ درخواست، ۲ الی ۴ بیمارستان و ۲ الی ۴ وسیله نقلیه دارند. در کل ۴۶ نوع به جهت تعداد درخواست، وسیله نقلیه و بیمارستان و از هر نوع، ۳ مثال به جهت محل قرارگیری درخواست‌ها، وسایل نقلیه و بیمارستان‌ها (مجموعاً ۱۳۸ مثال) بر روی شبکه کوچک تولید شد. سه سناریوی متفاوت ترتیب درخواست‌ها برای تمامی مثال‌ها اجرا شد و نتایج به صورت نشان داده شده در جدول ۲ به دست آمد. ملاحظه می‌گردد که سناریوی دوم در میان سه سناریوی عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۲. مقایسه نتایج بدست آمده توسط سه سناریوی حل دقیق

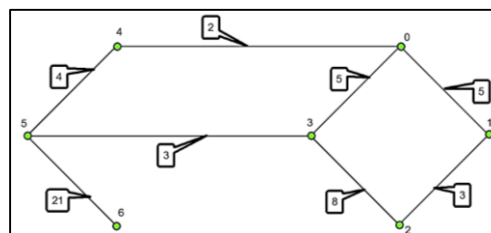
مسئله در مثال‌های شبکه کوچک		
تعداد	درصد	
۸۶	۶۲/۳	هر سه سناریو به پاسخ یکسان رسیدند
۹	۶/۵	سناریوی ۱ به پاسخ بهتری رسید
۴۱	۲۱/۷	سناریوی ۲ به پاسخ بهتری رسید
۲	۱/۵	سناریوی ۳ به پاسخ بهتری رسید
۱۳۸	۱۰۰	کل

درمورد فرایند حل مسئله معرفی شده در بالا، باید به نکات زیر توجه نمود:

- این فرایند برای صورت مسئله با دو درخواست است. تعداد بیشتر درخواست‌ها منجر به تعداد حلقه‌های بیشتر در فرایند می‌گردد.
- مرحله دوم فرایند بالا شامل یک زیربرنامه است که طی آن درخواست‌ها را بر مبنای یکی از سه سناریوی موردنظر مرتب می‌کند.
- این فرایند یک فرایند شمارشی است که مقدار تابع هدف را برای تمامی پاسخ‌های امکان‌پذیر محاسبه و با یکدیگر مقایسه می‌کند. در نهایت حالتی که مقدار تابع هدف آن از همه کمتر باشد را به عنوان پاسخ نهایی معرفی می‌کند.

۳-۵ تولید مثال برای پیاده‌سازی روش حل

برای آزمودن سه سناریوی پیشنهادی، لازم است مثال‌هایی بر روی شبکه تولید شود و الگوریتم بر روی مثال‌های تولیدشده اجرا شود. برای این منظور، یک شبکه کوچک شامل ۷ گره و ۱۶ کمان مورد استفاده قرار گرفته است. شکل و زمان سفر کمان‌های این شبکه به صورت کاملاً تصادفی تولید شده است. شکل ۳ نمونه‌ای از شبکه کوچک تولید شده برای اجرای الگوریتم را نشان می‌دهد. در این شکل، زمان سفر هر کمان نشان داده شده است.



شکل ۳. شبکه کوچک تولیدشده به طور تصادفی برای اجرای الگوریتم پیشنهادی

علاوه بر آن، شبکه شهر سوافلز به عنوان شبکه متوسط، مطابق شکل ۴ مورد استفاده قرار گرفت. شبکه شهر سوافلز در کشور آمریکا دارای ۲۴

برای بدست آوردن پاسخ مسیریابی خودروهای امدادی زمان مناسبی نیست. یکی از روش‌های کاهش زمان حل مسئله، حل غیردقیق مسئله است. در این روش، ساز و کاری ابداع می‌شود که در زمان قابل قبول، پاسخی برای مسئله پیدا کند که تا جای ممکن به پاسخ دقیق نزدیک باشد. این دسته از روش‌ها به صورت ابتکاری طراحی می‌شوند و هرچه زمان رسیدن به پاسخ کمتر و پاسخ به دست آمده به پاسخ نهایی نزدیکتر باشد، روش مناسب‌تر شناخته می‌شود.

با توجه به نتایج بدست آمده در گام پیشین مبنی بر پاسخ‌های بهتر سناریوی دوم، روش ابتکاری حل مسئله بر مبنای این سناریو ارائه می‌شود. شکل ۵ و شکل ۶ روندنمای روش ابتکاری ارائه شده را نشان می‌دهند. هدف اصلی الگوریتم ابتکاری ارائه شده آن است که بتوان در کوتاهترین زمان به بهترین پاسخ ممکن دست یافت. این الگوریتم حل با توجه به شرایط خاص مسئله طراحی شده در همین پژوهش ارائه شده است و یک روش ابتکاری برای حل مسئله آن-پی سخت تعریف شده در بالا است.

الگوریتم کار خود را با دریافت ورودی‌های مسئله، یعنی ماتریس شبکه و مجموعه درخواست‌ها، وسایل نقلیه و بیمارستان‌ها آغاز می‌کند. در گام بعدی، الگوریتم فاصله درخواست‌ها از وسایل نقلیه را محاسبه می‌کند تا نزدیک‌ترین وسیله به هر درخواست را پیدا کند. درخواست‌ها به ترتیب صعودی فاصله از نزدیک‌ترین وسیله مرتب می‌شوند تا توسط الگوریتم بررسی شوند.

در گام بعدی، به هر درخواست نزدیک‌ترین بیمارستان موجود تخصیص داده می‌شود. سپس الگوریتم از درخواست نخست، یعنی درخواست شماره صفر شروع می‌کند. نزدیک‌ترین وسیله به این درخواست را برای پاسخ‌گویی به آن تعیین می‌کند و محاسبه می‌کند که در صورتی که این وسیله به سمت درخواست اعزام شود و آن را به بیمارستان مربوط انتقال دهد، چقدر زمان صرف خواهد شد. واضح است که پس از پاسخ‌گویی به درخواست، وسیله دیگر در محل اولیه خود

برای شبکه متوسط، مثال‌هایی تصادفی با ۴ الی ۹ درخواست، ۲ الی ۴ بیمارستان و ۲ الی ۴ وسیله نقلیه تولید شد. در کل ۷۵ مثال شامل ۲۵ نوع (از نظر تعداد درخواست، بیمارستان و وسیله نقلیه) و از هر نوع، ۳ مثال (از نظر محل قرارگیری درخواست، بیمارستان و وسیله نقلیه) تولید شد و روش حل مسئله بر روی آن پیاده‌سازی شد. سه سناریوی متفاوت ترتیب درخواست‌ها برای تمامی مثال‌ها اجرا شد و نتایج به صورت نشان داده شده در جدول ۳ به دست آمد. ملاحظه می‌گردد که سناریوی دوم در میان سه سناریوی عملکرد بهتری داشته است.

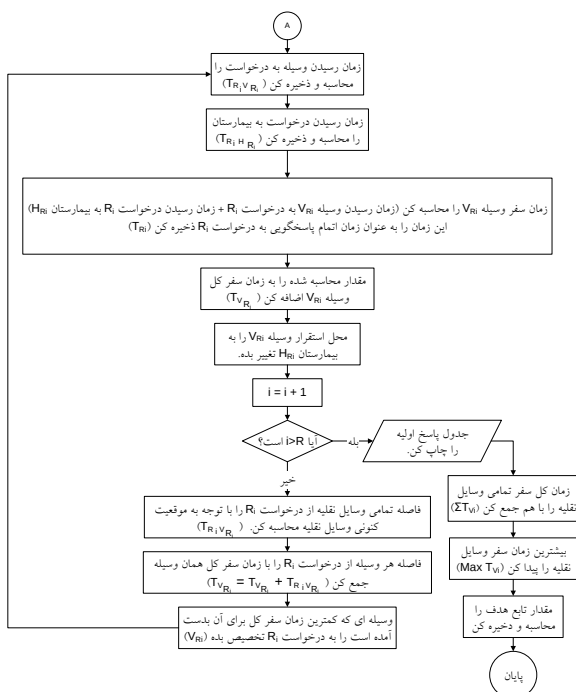
جدول ۳. مقایسه نتایج بدست آمده توسط سه سناریوی حل دقیق

مسئله در مثال‌های شبکه متوسط		
تعداد	درصد	
۲۲	۲۱/۳	هر سه سناریو به پاسخ یکسان رسیدند
۵	۶/۷	سناریوی ۱ به پاسخ بهتری رسید
۵۲	۶۹/۳	سناریوی ۲ به پاسخ بهتری رسید
۲	۲/۷	سناریوی ۳ به پاسخ بهتری رسید
۷۵	۱۰۰	کل

فرایند معرفی شده در بالا پاسخ دقیق مسئله را بدست می‌آورد. یافتن این پاسخ دقیق به علت تعداد بالای پاسخ‌های امکان‌پذیر نیازمند زمان زیادی است. این فرایند با استفاده از زبان برنامه‌نویسی جاوا در محیط نرم‌افزاری NetBeans IDE 8.2 کد نویسی شد و با استفاده از رایانه شخصی corei7 با ram 6 و سیستم عامل windows 7-64g و نسخه ۸,۰ جاوا برای مثال‌های تولید شده اجرا شد.

زمان مورد نیاز برای بدست آمدن پاسخ دقیق برای مثال‌های شبکه کوچک توسط هر یک از سه سناریوی حل دقیق پیشنهادی ۲ الی ۸۱۰ ثانیه و برای مثال‌های شبکه متوسط ۴۱ الی ۱۷۷۰ ثانیه است. با بیشتر شدن تعداد پاسخ‌های امکان‌پذیر مسئله به دلیل افزایش تعداد درخواست‌ها، وسایل نقلیه یا بیمارستان‌ها، زمان حل مسئله نیز بیشتر می‌گردد. بدیهی است که زمان ۸۱۰ ثانیه (۱۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه) برای شبکه کوچک و ۱۷۷۰ ثانیه (۲۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه) برای شبکه متوسط،

مقاله پژوهشی: ارائه مدل مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در شبکه‌های کوچک و متوسط



شکل ۶. ادامه الگوریتم پیشنهادی حل مسئله

۴. اعتبار سنجی پاسخ بدست آمده توسط الگوریتم

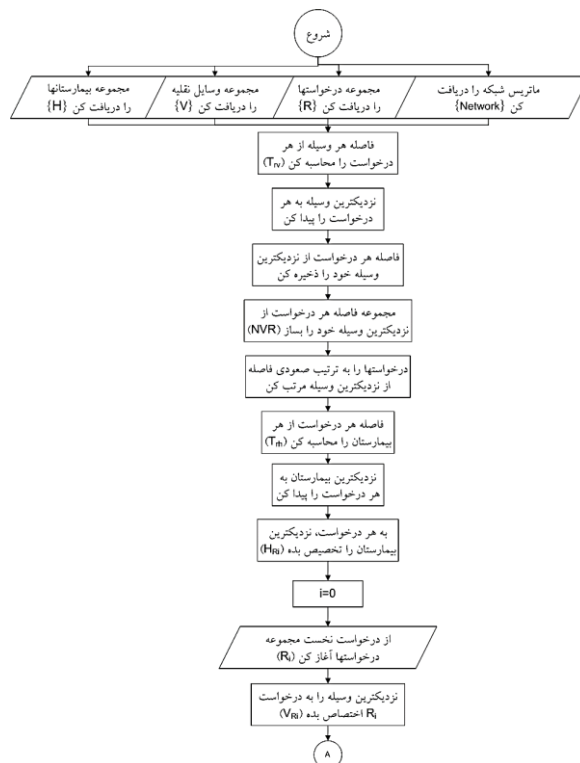
پیشنهادی و یافته‌ها

برای درک عملکرد الگوریتم حل مسئله پیشنهادی، پاسخ‌های بدست آمده برای تمامی ۱۳۸ مثال شبکه کوچک و ۷۵ مثال شبکه متوسط، با پاسخ دقیق بدست آمده توسط الگوریتم حل دقیق مقایسه گشت.

نکته جالب توجه درمورد الگوریتم پیشنهادی آن است که زمان اجرای آن برای مثال‌های تولید شده همواره کمتر از ۵ ثانیه است. این در حالی است که برای اجرای الگوریتم حل دقیق بسته به تعداد درخواست‌ها، آمبولانس‌ها و بیمارستان‌ها ۲ الی ۸۱۰ ثانیه برای شبکه کوچک و ۴۱ الی ۱۷۷۰ ثانیه برای شبکه متوسط زمان نیاز است.

اختلاف میان پاسخ بدست آمده توسط الگوریتم و پاسخ دقیق در ۱۳۸ مثال تولید شده بر روی شبکه کوچک در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در ۸۱ درصد موارد اختلاف میان پاسخ

نیست و حالا در محل بیمارستان مربوط به درخواستی است که پاسخ داده. بنابراین محل یکی از وسایل نقلیه و شرایط مسئله تغییر کرده است. الگوریتم پس از پاسخ‌گویی به هر درخواست، شرایط مسئله را بر این پایه برورسانی می‌کند. در این گام الگوریتم به سراغ درخواست بعدی می‌رود. از میان تمامی وسایل نقلیه، وسیله‌ای را که زودتر از همه به این درخواست می‌رسد را پیدا می‌کند و به آن درخواست تخصیص می‌دهد. این فرایند انقدر تکرار می‌شود که تمامی درخواست‌ها پاسخ داده شوند. درنهایت، مشخص می‌گردد که چه وسیله‌ای، کدام درخواست را به کدام بیمارستان انتقال می‌دهد و ترتیب پاسخ‌گویی به درخواست‌ها به چه صورت است. الگوریتم زمان سفر کل تمام وسایل نقلیه و همچنین بیشینه زمان سفر وسایل نقلیه (زمانی که آخرین درخواست به بیمارستان می‌رسد) را محاسبه می‌کند.



شکل ۵. الگوریتم پیشنهادی حل مسئله

۵. تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت به معنای بررسی تاثیر تغییرات یکی از پارامترهای ورودی مسئله بر خروجی آن است. مسئله طراحی شده در این پژوهش، شامل سه پارامتر ورودی درخواست، وسیله و بیمارستان است. درخواست‌ها در واقع نقش تقاضا و وسیله‌ها و بیمارستان‌ها نقش عرضه را ایفا می‌کنند.

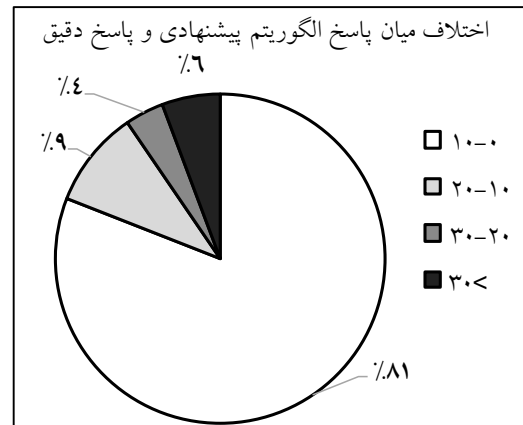
در این بخش تاثیر اضافه شدن یک واحد عرضه، یعنی اضافه شدن یک بیمارستان یا یک وسیله و همچنین تاثیر اضافه شدن یک واحد تقاضا یعنی اضافه شدن یک درخواست بر مقدار تابع هدف بیان می‌گردد. برای انجام تحلیل حساسیت، از مثال‌های تولید شده و حل شده در همین پژوهش استفاده شد. برای هر یک از این مثال‌ها، الگوریتم تحلیل حساسیت اجرا شد و نتایج ذخیره گشت.

نحوه عملکرد الگوریتم تحلیل حساسیت بدین صورت است که اطلاعات مثال شامل محل درخواست‌ها، بیمارستان‌ها و وسیله‌ها را دریافت می‌کند و مقدار تابع هدف را برای آن محاسبه می‌نماید. این مقدار، مقدار پایه تابع هدف است. سپس به نوبت یک وسیله، یک بیمارستان یا یک وسیله به آن اضافه می‌نماید و میزان تغییرات تابع هدف نسبت به حالت پایه را محاسبه و گزارش می‌کند.

از آنجایی که محل اضافه شدن درخواست، بیمارستان یا وسیله بر مقدار تابع هدف تاثیر می‌گذارد، الگوریتم پارامتر اضافه شده را در یکایک گره‌های شبکه قرار می‌دهد و اختلاف تابع هدف با حالت پایه را گزارش می‌کند. بنابراین میزان تغییرات تابع هدف دارای یک بازه خواهد بود که کف و سقف این بازه در نمودارهای شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

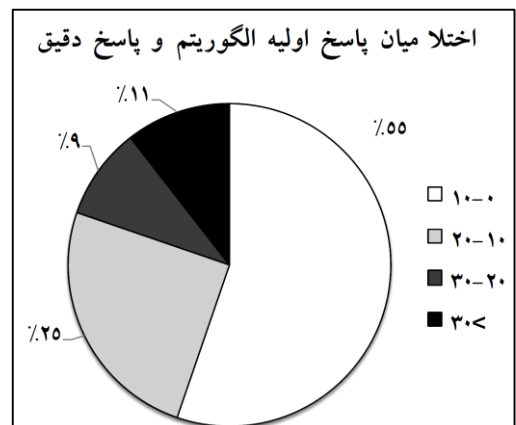
نمودار شکل ۹ نشان‌دهنده تاثیر اضافه شدن یک درخواست بر مقدار تابع هدف است. ملاحظه می‌گردد که بسته به محل اضافه شدن درخواست بر روی شبکه، در افزایش تعداد درخواست‌ها از ۳ به ۴، مقدار پاسخ بدست آمده توسط الگوریتم حل مسئله می‌تواند تا ۱۷ برابر افزایش یابد. در حالی

الگوریتم و پاسخ دقیق مسئله کم‌تر از ۱۰ درصد است. همچنین ملاحظه می‌گردد که تنها در ۶ درصد موارد اختلاف میان پاسخ الگوریتم و پاسخ دقیق بیش از ۳۰ درصد است.



شکل ۷. فراوانی اختلاف میان پاسخ الگوریتم و پاسخ دقیق مثال‌های تولیدشده بر روی شبکه کوچک در بازه‌های مختلف

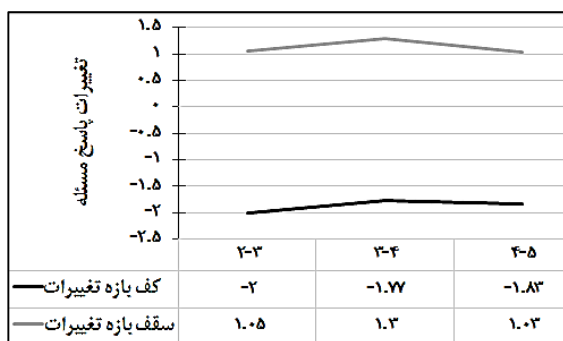
اختلاف میان پاسخ بدست آمده توسط الگوریتم و پاسخ دقیق در ۷۵ مثال تولید شده بر روی شبکه متوسط در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در ۵۵ درصد موارد اختلاف میان پاسخ الگوریتم و پاسخ دقیق مسئله کم‌تر از ۱۰ درصد است. همچنین ملاحظه می‌گردد که تنها در ۱۱ درصد موارد اختلاف میان پاسخ الگوریتم و پاسخ دقیق بیش از ۳۰ درصد است.



شکل ۸. فراوانی اختلاف میان پاسخ الگوریتم و پاسخ دقیق مثال‌های تولیدشده بر روی شبکه متوسط در بازه‌های مختلف

مقاله پژوهشی: ارائه مدل مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در شبکه‌های کوچک و متوسط

آمده توسط الگوریتم حل مسئله می‌تواند تا $1/77$ برابر کاهش یابد. در حالی که در صورت اضافه شدن همان یک بیمارستان در محلی نامناسب، مقدار پاسخ مسئله می‌تواند حتی تا $1/3$ برابر افزایش یابد. همچنین افزایش تعداد بیمارستان‌ها از ۲ به ۳، در صورتی که محل بیمارستان به درستی انتخاب نشود، می‌تواند بر مقدار پاسخ بدست آمده بی‌تاثیر باشد.



شکل ۱۱. تاثیر افزایش یک بیمارستان به صورت مسئله در پاسخ بدست آمده توسط الگوریتم

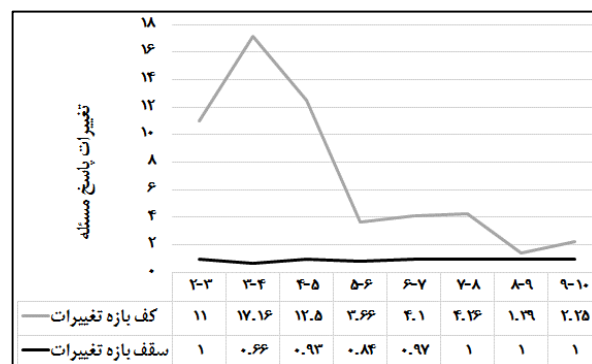
مهمترین نتیجه مدیریتی به دست آمده از تحلیل حساسیت مثال‌های حل شده در این پژوهش آن است که افزایش عرضه لزوماً باعث بهتر شدن شرایط و کاهش مقدار تابع هدف نمی‌شود و انتخاب محل استقرار بیمارستان یا وسیله در شبکه می‌تواند موجب افزایش یا کاهش مقدار تابع هدف شود.

۶. نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش تخصیص وسایل نقلیه امدادی و بیمارستان به درخواست‌های همزمان با کمینه سازی کل زمان پاسخ‌گویی به درخواست‌ها با اضافه زمان اتمام پاسخ‌گویی به آخرین درخواست بر روی شبکه‌های کوچک است. در واقع با در نظر گرفتن این دو جمله در تابع هدف، مساله به دنبال کمینه کردن هزینه کل سفر و بیشینه کردن سرعت اتمام پاسخ‌گویی به درخواست‌ها است. برای این منظور ابتدا صورت مسئله شامل پارامترها، متغیرهای تصمیم، محدودیت‌ها و تابع هدف طراحی شد.

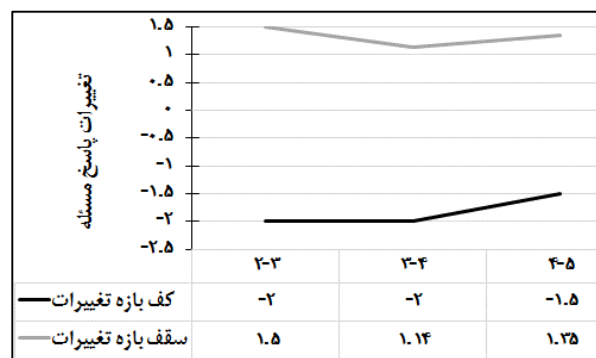
پس از طراحی صورت مسئله، فرایند چگونگی حل مسئله ارائه شد. روش پیشنهادی برای حل مساله روشی ابتکاری است که در دو گروه مثال شامل

که در مثال‌های دارای ۸ درخواست، افزودن یک درخواست، مقدار پاسخ را حداکثر $1/39$ برابر افزایش داده است.



شکل ۹. تاثیر افزایش یک درخواست به صورت مسئله در پاسخ بدست آمده توسط الگوریتم

نمودار شکل ۱۰ نشان‌دهنده تاثیر اضافه شدن یک وسیله بر مقدار تابع هدف است. ملاحظه می‌گردد که بسته به محل اضافه شدن وسیله بر روی شبکه، در افزایش تعداد وسیله‌ها از ۲ به ۳ یا از ۳ به ۴، مقدار پاسخ بدست آمده توسط الگوریتم حل مسئله می‌تواند تا ۲ برابر کاهش یابد. در حالی که در صورت اضافه شدن همان یک وسیله در محلی نامناسب، مقدار پاسخ مسئله می‌تواند حتی تا $1/5$ برابر افزایش یابد.



شکل ۱۰. تاثیر افزایش یک وسیله به صورت مسئله در پاسخ بدست آمده توسط الگوریتم

نمودار شکل ۱۱ نشان‌دهنده تاثیر اضافه شدن یک بیمارستان بر مقدار تابع هدف است. ملاحظه می‌گردد که بسته به محل اضافه شدن بیمارستان بر روی شبکه، در افزایش تعداد بیمارستان‌ها از ۳ به ۴، مقدار پاسخ بدست

۱. اختلاف میان پاسخ تولید شده توسط الگوریتم پیشنهادی و پاسخ دقیق مسئله در بیش از ۸۰ درصد مثال‌های شبکه کوچک، کمتر از ۱۰ درصد است.

۲. اختلاف میان پاسخ تولید شده توسط الگوریتم پیشنهادی و پاسخ دقیق مسئله در بیش از ۵۵ درصد مثال‌های شبکه متوسط، کمتر از ۱۰ درصد است.

۳. اختلاف میان پاسخ تولید شده توسط الگوریتم پیشنهادی و پاسخ دقیق مسئله در بیش از ۹۴ درصد مثال‌های شبکه کوچک کمتر از ۳۰ درصد است.

۴. اختلاف میان پاسخ تولید شده توسط الگوریتم پیشنهادی و پاسخ دقیق مسئله در بیش از ۸۹ درصد مثال‌های شبکه متوسط کمتر از ۳۰ درصد است.

۵. زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی در مثال‌های تولید شده همواره کمتر از ۵ ثانیه بوده است. درحالی که برای حل دقیق این مثال‌ها بسته به ابعاد مسئله برای شبکه‌های کوچک تا ۸۱۰ ثانیه و برای شبکه‌های متوسط تا ۱۷۷۰ زمان نیاز است. در مسیریابی خودروهای امدادرسان، به دلیل اضطراری بودن شرایط، پایین بودن زمان حل مسئله موضوع بسیار مهمی است.

۶. افزایش عرضه (افزایش تعداد بیمارستان‌ها یا وسیله‌ها) لزوماً باعث کاهش زمان پاسخ‌گویی به درخواست‌ها نمی‌شود و محل نامناسب اضافه شدن بیمارستان یا وسیله بر روی شبکه می‌تواند حتی موجب افزایش پاسخ نهایی گردد.

در خصوص پیشبرد اهداف موردنظر این پژوهش می‌تون در مطالعات آینده به موارد زیر پرداخت:

۱. طراحی و حل مسئله مشابه برای شبکه‌های متوسط و بزرگ
۲. ارائه الگوریتم حل پیشرفته‌تر برای نزدیک‌تر شدن به پاسخ بهینه در مدت زمان کمتر

گروه مثال‌های شبکه کوچک و گروه مثال‌های شبکه متوسط به کار گرفته شد.

گروه مثال‌های شبکه کوچک شامل ۱۳۸ مثال بر روی شبکه با ۷ گره و ۱۶ کمان، ۲ الی ۹ درخواست، ۲ الی ۴ بیمارستان و ۲ الی ۴ وسیله نقلیه است.

گروه مثال‌های شبکه متوسط شامل ۷۵ مثال بر روی شبکه با ۲۴ گره و ۷۶ کمان، ۴ الی ۹ درخواست، ۲ الی ۴ بیمارستان و ۲ الی ۴ وسیله نقلیه است.

تمامی ۲۱۳ مثال تولید شده بر روی شبکه کوچک و متوسط با استفاده از روش حل پیشنهادی حل شدند.

از آنجایی که روش حل پیشنهادی یک روش ابتکاری است که هدف آن این است که در زمان کوتاه تا جای ممکن به پاسخ بهینه نزدیک شود، پاسخ بدست آمده توسط این روش حل لزوماً پاسخ بهینه واقعی مسئله نیست. بنابراین یک الگوریتم حل دقیق نیز برای به دست آوردن پاسخ بهینه واقعی مسئله نوشته شد که در آن محدودیتی برای زمان حل وجود ندارد و تمامی پاسخ‌های امکان‌پذیر مسئله بررسی می‌شوند و پاسخ بهینه به دست می‌آید. تمامی ۲۱۳ مثال علاوه بر روش حل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم حل دقیق نیز حل شدند.

برای اعتبارسنجی روش حل پیشنهادی، پاسخ بدست آمده با استفاده از الگوریتم حل پیشنهادی در مثال‌ها با پاسخ دقیق مسئله مقایسه گشت. همچنین الگوریتم حل مسئله بر روی تمامی ۲۱۳ مثال تحلیل حساسیت شد. بدین معنا که با استفاده از الگوریتم تحلیل حساسیت، تعداد درخواست‌ها، وسیله‌ها یا بیمارستان‌ها به صورت جداگانه و بر روی هر مثال یک واحد افزایش یافت. این درخواست، بیمارستان یا وسیله اضافه شده به نوبت بر روی هریک از گره‌های شبکه قرار گرفت و مسئله دوباره حل شد. تاثیر افزایش یک واحد تقاضا (درخواست) و یک واحد عرض (بیمارستان یا وسیله) بر پاسخ نهایی مسئله تحلیل شد.

در نهایت، نتایج زیر در پژوهش حاضر بدست آمد:

- Cordeau, J. F. and Laporte, G. (2007) "The dial-a-ride problem: models and algorithms", Annals of Operations Research, Vol. 153, No. 1, pp. 29-46
- Cimen, M. and Soysal, M. (2017) "Time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle speeds: An approximate dynamic programming algorithm", Transportation Research Part D, Vol. 54, pp. 82-98
- Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959) "The truck dispatching problem", Management science, Vol. 6, No. 1, pp. 80-91
- El-Sherbeny, N. A. (2010) "Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods", Journal of King Saud University (Science), No. 22, pp. 123-131
- Jlassi, J., Euch, J. and Chabchoub H. (2012) "Dial-a-Ride and Emergency Transportation Problems in Ambulance Services", Computer Science and Engineering, Vol. 2, No. 3, pp. 17-23
- Kirchler, D. and Wolfer Calvo, R. (2013) "A granular tabu search algorithm for the dial-a-ride problem", Transportation Research Part B, Vol. 56, pp. 120-135
- Kirci, P. (2016) "An optimization algorithm for a capacitated vehicle routing problem with time windows", Sadhana Academy proceedings in Engineering Science, Vol. 41, No. 5, pp. 519-52
۳. اعمال محدودیت برای زمان سفر کل وسایل نقلیه برای پاسخ‌گویی سریع‌تر به درخواست‌ها
۴. در نظر گرفتن محدودیت پذیرش بیمار در بیمارستان‌ها
۵. در نظر گرفتن ماهیت پویای درخواست‌های ثبت شده و اضافه شدن درخواست‌های جدید در حین حل مسئله
۶. انجام مسیریابی پویا با زمان سفرهای متغیر برای کمان‌های شبکه که به صورت پیوسته به‌روزرسانی می‌گردند به جای انجام مسیریابی ایستا با استفاده از زمان سفرهای ثابت برای کمان‌ها

۶. مراجع

- اعتباری، ف. و دشتیان، ز. (۱۳۹۷) "مدلسازی مسئله مسیریابی-موجودی سبز با در نظر گرفتن وسایل نقلیه هیبریدی و حل آن توسط الگوریتم جستجوی همسایگی بزرگ"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، انتشار آنلاین
- معماری، پ.، پرتویی، م.، جولای، ف. و توکلی مقدم، ر. (۱۳۹۶) «توسعه مدل مکان‌یابی- مسیریابی با در نظر گرفتن رضایت مشتری و دریافت و تحویل همزمان»، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، انتشار آنلاین
- صبحی، ف. و بزرگی امیری، الف. (۱۳۹۶) «مسیریابی و زمان‌بندی وسایل حمل و نقل برای توزیع کمک‌های امدادی با در نظر گرفتن تحویل جزئی و انبار چندگانه»، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۹، شماره ۱
- Caric, T. and Gold, H. (2008) "Vehicle routing problem", Vienna: I-Tech Education and Publishing KG

- Cordeau, J. F. and Laporte, G. (2003) "A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem", Transportation Research Part B, *Vol. 37, No. 6, pp. 579-594

- Ritzinger, U., Puchinger, J. and Hartl R. F. (2016) “A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems”, International Journal of Production Research (online), Vol. 54, No. 1, pp. 215-231
- Talarico, L., Meisel, F. and Sörensen K. (2015) “Ambulance routing for disaster response with patient groups”, Computers & Operations Research, No. 56, pp. 120-133
- Zhang, Z., Liu, M. and Lim, A. (2015) “A Memetic Algorithm for the Patient Transportation Problem”, Omega-the International Journal of Management Science, No. 54, pp. 60-71
- Liu, M., Luo Z. and Lim, A. (2015) “A branch-and-cut algorithm for a realistic dial-a-ride problem”, Transportation Research Part B, No. 81, pp. 267-288
- Muelas, S., LaTorre, A. and Peña, J. (2015) “A distributed VNS algorithm for optimizing dial-a-ride problems in large-scale scenarios”, Transportation Research Part C, No. 54, pp. 110–130
- Parragh, S. N. (2011) “Introducing heterogeneous users and vehicles into models and algorithms for the dial-a-ride problem”, Transportation Research Part C, Vol. 19, No.5, pp. 912-930

شیدا روشنخواه، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۰ از دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ره) قزوین و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات اخذ نمود. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان مطالعات شبکه است.



سید احسان سید ابریشمی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه صنعتی شریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۸۴ از همان دانشگاه اخذ نمود. در سال ۱۳۸۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران- مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل از دانشگاه صنعتی شریف گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان، ارزیابی پروژه‌های حمل و نقل، مطالعات شبکه و مدلسازی تقاضا است و در حال حاضر عضو هیات علمی در دانشگاه تربیت مدرس است.



حسن جوانشیر، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع- تولید صنعتی را در سال ۱۳۶۶ و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع- مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۰ اخذ نمود. در سال ۱۳۸۴ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع- مهندسی صنایع از دانشگاه صنعتی شریف گردید. ایشان در حال حاضر عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، دانشکده مهندسی صنایع است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه وی، الگوریتم‌های فرا ابتکاری و کاربرد آنها، برنامه‌ریزی حمل و نقل و کاربردهای آن و تحقیق در عملیات است.

