



Modeling the Location-Allocation for Determining the Optimal Locations of Refueling Stations and Solving with Developed Heuristic Algorithm

Jafar Bagherinejad * & Maryam Mirzaei

Jafar Bagherinejad, Industrial Engineering, Alzahra University

Maryam Mirzaei, Industrial Engineering-Industrial, Alzahra University

Keywords

Location-allocation,
Proposed heuristic
algorithm,
Network of fuel
distribution,
Path-based approach,
Queue constraint on the
network

ABSTRACT

The purpose of this paper is to determine the optimal locations for refueling stations for vehicles in the urban distribution networks including paths and intersections. In this problem, first, the usual node-based approach for demand and place of facility, was changed into path-based approach. Second, the limitation for service rate of each refueling station was considered as a queue constraint in the network. This research proposes a mathematical model based on two models including “maximal covering” and “flow refueling location” to specify the optimal locations for launching the refueling stations. Corresponding heuristic algorithm in the form of developed greedy algorithm was designed and it was run by using “MATLAB” software to solve the model and the model was able to generate solution by “GAMS” software. In order to demonstrate the efficiency of the proposed algorithm, a numerical example is designed and solved with the use of real data. Based on the findings, there is a little difference between the obtained solutions of GAMS software and that of proposed algorithm. The comparison of solutions of the exact method named “reduction rules” and the algorithm of this study, also confirms the efficiency of the proposed algorithm in finding the optimal location.

© 2016 IUST Publication, IJIEPM Vol. 27, No. 4, All Rights Reserved



مدل سازی مکان یابی - تخصیص در تعیین مکان های بهینه ایستگاه های سوخت گیری و حل به کمک الگوریتم ابتکاری توسعه یافته

جعفر باقری نژاد* و مریم میرزایی

چکیده:

هدف این مقاله، تعیین مکان های بهینه جهت احداث ایستگاه های توزیع سوخت برای وسایل نقلیه شهری در شبکه های شامل مسیرها و تقاطع ها است. در مسئله مورد مطالعه، اولاً نگرش به تقاضا و مکان تسهیل از حالت معمول مبتنی بر گره در شبکه، به حالت مبتنی بر یال در نظر گرفته شد. ثانیاً محدودیت سرویس دهی توسط ایستگاه های سوخت به عنوان یک محدودیت صف (در نظر گرفتن ازدحام) در شبکه لحاظ گردید. در این پژوهش براساس دو مدل ریاضی ماکزیم پوشش و مکان یابی جریان-سوخت، مدل ریاضی برای تعیین مکان های بهینه جهت احداث ایستگاه سوخت، ارائه شد. برای حل مدل، الگوریتم ابتکاری متناظر در قالب الگوریتم حریصانه توسعه یافته، طراحی و با نرم افزار "متلب" اجرا شدو به کمک نرم افزار "گمز" نیز قادر به تولید جواب بود. برای نشان دادن کارایی الگوریتم پیشنهادی به حل عددی مسئله با داده واقعی پرداخته شد. یافته ها حاکی از آنند که، جوابهای حاصل از نرم افزار گمز، دارای اختلاف کمی با جواب های حاصل از الگوریتم ابتکاری توسعه یافته پیشنهادی است و مقایسه جواب های حاصل از روش دقیق "قواعد کاهش" با الگوریتم مذکور، نیز موید کارایی آن در یافتن مکان بهینه است.

کلمات کلیدی

مکان یابی-تخصیص،
الگوریتم ابتکاری پیشنهادی،
شبکه توزیع سوخت،
رویکرد مبتنی بر مسیر(یال)،
محدودیت صف در شبکه

۱. مقدمه

مسئله مکان یابی تسهیلات نوعی مسأله بهینه سازی است که هدف آن انتخاب زیرمجموعه ای از یک مجموعه محل های کاندید برای قراردادن تسهیلات است که بیشترین خدمت دهی یا کمترین هزینه را فراهم سازد [۱]. از آنجایی که این مسائل به دلیل پیچیدگی های محاسباتی در زمره خانواده مسائل NP-Hard می باشند، حل آن ها از راه های عمومی (دقیق) زمان بر و غیرمعمول می باشد [۲]. بطور کلی انتخاب مکان مناسب یا مکان یابی یک تاسیسات خاص در یک منطقه، یکی از مسائل متداول در تصمیم گیری است. این مسائل مخصوصاً در سال های اخیر توجه

تاریخ وصول: ۹۲/۶/۳۰

تاریخ تصویب: ۹۴/۴/۶

*نویسنده مسئول مقاله: جعفر باقری نژاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه الزهراء (س)،
Jbagheri@Alzahra.ac.ir
مریم میرزایی، دانشگاه الزهراء (س)،
maryam.mirzaii@gmail.com

زیادی را به خود جلب نموده است و روش های کمی و کیفی زیادی برای حل آن ها پیشنهاد شده است [۳]. مدل مکان یابی جریان-سوخت، بعنوان طیف جذابی از مسائل مکان یابی-تخصیص، ایستگاه های سوخت را به منظور ماکزیم کردن جریان ترافیکی که می تواند سوخت گیری شود با تعدادی از تسهیلات داده شده مکان یابی می کند. زمانی که مفهوم پوشش در شبکه توزیع، با مفهوم سیستم صف ایجاد شونده در یک مدل مکان یابی مطرح می شود، معمولاً مدل های مکان یابی از حالت صرفاً مکان یابی به حالت های دیگری مانند در نظر گرفتن محدودیت هایی در دنیای واقعی برای نوع تقاضا، میزان تقاضا، محدوده پوشش و غیره توسعه می یابند. به این ترتیب، یک مدل مکان یابی با ترکیبی از چند محدودیت در دنیای واقعی می تواند به جواب های بهتری دست یابد. در این مقاله، مدل توسعه داده شده، ترکیبی از مدل حداکثر پوشش، با در نظر گرفتن محدودیت صف برای طراحی شبکه تامین سوخت وسایل نقلیه در یک شبکه ای متشکل از راه های جاده ای

طیف جذابی از مسائل مکان‌یابی-تخصیص به مدل‌های مکان‌یابی مراکز تامین و توزیع سوخت وسایل نقلیه مربوط می‌شود. مدل مکان‌یابی جریان-سوخت، ایستگاه‌های سوخت را به‌منظور ماکزیمم کردن جریان‌هایی که می‌تواند سوخت‌گیری شود با تعدادی از تسهیلات داده شده مکان‌یابی می‌کند [۴]. مدل مکان‌یابی جریان-سوخت از تقاضاهای مبتنی بر مسیر استفاده می‌کند و به دلیل محدودیت‌هایی که به وسیله محدوده رانندگی وسایل نقلیه تحمیل می‌شود، مسیرهای طولانی تر نیازمند ترکیباتی بیش تر از یک ایستگاه برای سوخت دهی سفرهای رفت و برگشتی خواهد بود. برای این مدل نوعی برنامه ریزی خطی آمیخته-عدد صحیح، فرمول‌بندی شده و انتشار یافته است و می‌تواند به‌منظور کسب یک راه حل بهینه مورد استفاده قرار بگیرد.

با این وجود، به دلیل ضرورت وجود ترکیب‌هایی از ایستگاه‌ها به‌منظور برآورده کردن تقاضاها، برای یک مسئله واقعی با شبکه‌ای با اندازه متوسط و تعدادی معقول مکان کاندید، حل با روش‌های MILP غیرعملی خواهد بود. الگوریتم‌های ابتکاری، به ویژه "حریصانه"، "حریصانه با جایگزینی" و "الگوریتم ژنتیک" برای حل مسئله FRLMⁱⁱ توسعه و بکارگرفته شده است. بکارگیری الگوریتم‌های مذکور نشان داده است که این الگوریتم‌ها در حل مسئله‌های پیچیده FRLM، موثر و کارا هستند. برای حل این مدل، الگوریتم‌های ابتکاری "حریصانه"، "حریصانه با جایگزینی" و "الگوریتم ژنتیک" برای مکان‌یابی ایستگاه‌های سوخت‌گیری هیدروژنی در ایالت فلوریدا توسط "سولیم و مایکل کوبی" در سال ۲۰۱۰، بکارگرفته شده است [۵]. وجود مسائل مرتبط به نفت، مانند قیمت بالای نفت، واردات نفت، آلودگی هوای محلی و آلودگی گازهای گلخانه‌ای، تمایلات فزاینده‌ای را در سوخت جایگزین وسایل نقلیه، شامل بیودیزل، اتانول، هیدروژن، الکتروسیسته و گازهای طبیعی ایجاد کرده است. موانع موفقیت توسعه سوخت جایگزین وسایل نقلیه، از سوختی به سوخت دیگر متفاوت است؛ اما چیزی که تقریباً برای همه انواع سوخت‌های جایگزین مشترک است، فقدان زیرساخت سوخت‌گیری است. مدل مکان‌یابی جریان-سوخت، برای ساخت مسئله مکان‌یابی ایستگاه‌های سوخت-جایگزین در راستای ایجاد زیرساخت اولیه سوخت‌گیری طراحی شده است [۶]. مدل مکان‌یابی جریان-سوخت، یک مدل مکان‌یابی تسهیل است که مکان‌های بهینه‌ی ایستگاه‌ها را با در نظر گرفتن محدوده رانندگی وسیله نقلیه و جریان‌های ترافیک موجود در یک شبکه انتخاب می‌کند. به بیان دیگر، مدل مکان‌یابی جریان-سوخت تعداد ایستگاه معین داده شده‌ای را به‌منظور بیشینه کردن تقاضاهای مبتنی بر مسیر که می‌تواند سوخت‌گیری شود مکان‌یابی می‌کند. آخرین تحقیقاتی که بر روی گسترش این مدل انجام شده است، در زمینه در نظر گرفتن مسیرهای انحرافی بنام DFRLMⁱⁱⁱ در شبکه بوده است [۷].

است. هدف این پژوهش، مدل‌سازی ریاضی مسئله مکان‌یابی-تخصیص برای ایستگاه‌های تامین سوخت و تعیین مکان‌های بهینه برای احداث ایستگاه‌های تامین سوخت برای وسایل نقلیه است. برای این منظور، پس از مدل‌سازی ریاضی، سه الگوریتم ابتکاری برای حل آن‌ها طراحی و ارائه شده است. منظور از ایستگاه تامین سوخت، ایستگاه‌هایی است که برای وسایل نقلیه ای که سوخت محرک آن‌ها از نوع سوخت هیدروژنی، اتانول، بیودیزل، گاز طبیعی یا الکتروسیسته است، به عنوان یک مرکز توزیع سوخت عمل می‌نمایند. این نوع مسئله، از لحاظ مفهوم با مکان‌یابی ایستگاه‌های تامین سوخت فسیلی مانند بنزین، بسیار متفاوت است، از آن جهت که سوخت‌های فسیلی، ماندگاری بیشتری در وسایل نقلیه دارند. اما سوخت‌های غیر فسیلی مانند سوخت‌های فوق‌الذکر، به دلیل اینکه نسبت به سوخت فسیلی مانند بنزین زودتر به مصرف می‌رسند، به این ترتیب، به تعداد ایستگاه‌های بیشتری برای تامین نیاز دارند. به دلیل محدوده پوشش نسبتاً پایین‌تر سوخت‌های غیرفسیلی، تعیین مکان‌های بهینه برای احداث این نوع ایستگاه‌ها با توجه به محدوده‌ی پوششی که سوخت مربوطه می‌تواند داشته باشد و در نهایت طراحی شبکه توزیع کننده‌ی سوخت، اهمیت ویژه‌ای دارد. بررسی این مسئله برای سوختی مانند بنزین که از محدوده‌ی پوشش نسبتاً بالایی برخوردار است، از اهمیتی در سطح پایین‌تر برخوردار است.

نکته‌ی با اهمیت دیگر در این پژوهش، هزینه و خسارات ناشی از به پایان رسیدن سوخت وسیله نقلیه است که مستقل از زمان، روز یا شب، گاهی موجب توقف وسیله نقلیه در بین راه، ایجاد ازدحام، افزایش خطر و احتمال تصادف برای وسایل نقلیه تردد کننده و اتلاف زمان را موجب می‌شود. به عبارت دیگر، به ازای هر توقف وسیله نقلیه به دلیل به پایان رسیدن سوخت قبل از رسیدن به مقصد، وسیله نقلیه، خساراتی شامل اتلاف زمان و هزینه تعمیر شدن برای ادامه راه را متحمل می‌شود. به این ترتیب، طراحی شبکه‌ی توزیع کننده‌ی سوخت در بین جریان ترافیک وسایل نقلیه عبور کننده از معابر شهری، به نحوی که بیشترین جریان ترافیک عبوری از معابر، با توجه به محدوده‌ی پوشش مرکز سوخت مربوطه، پوشش داده شود و همچنین کمترین هزینه و خسارت به دلیل توقف‌های ناشی از اتمام سوخت وسیله نقلیه، به شبکه تحمیل شود، حائز اهمیت است. با نگاه به این مسئله از نگرش یک سیستم صف، این شبکه‌ی توزیع کننده‌ی سوخت، در واقع یک سیستم صف است، که به نوع خود، اگر درست طراحی نشود، می‌تواند باعث ایجاد ازدحام در مسیرها و معابر گردد. معابر مورد تحقیق و استفاده در این پژوهش، خیابان‌های اصلی بخشی از شهر تهران است که پس از اندازه‌گیری مسافت‌های بین تقاطع‌های این خیابان‌ها، تبدیل به یک شبکه توزیع سوخت شامل یال‌ها (خیابان‌های اصلی) و گره‌ها (مکان تقاطع بین خیابان‌ها) می‌شود.

زمانی معقول هستند [۵]. بهترین و شناخته شده ترین مدل‌های مکان‌یابی تسهیل مانند میانه، پوشش، مرکز و مدل‌های هزینه- ثابت، همگی تقاضا برای تسهیلات را به گونه‌ای فرض می‌کنند که این تقاضاها در نقاط معینی قرار گرفته‌اند. هزینه بطور کلی به کمک فاصله این نقاط تقاضا به نزدیک ترین تسهیلات سنجیده شده است. برای مسائلی که کالاها یا خدمات "در مسیر" در طول یک سفر فراهم می‌شود، مانند دستگاه‌های خودپرداز، فست فودها یا پمپ بنزین، واقع بینانه تر این است که تقاضاها به عنوان جریان‌های روی یک شبکه، مدل شوند. اولین مدل مکان‌یابی مبتنی بر جریان به نام "مدل مکان‌یابی کسب-جریان" در سال ۱۹۹۰ توسط هادسون توسعه یافته است [۹]. در FCLM^{۱۱} یا مدل مشابه "مکان‌یابی متوقف کننده-جریان" که در سال ۱۹۹۲ توسط برمان و همکارانش توسعه یافته، تقاضاها به عنوان جریان‌هایی که در مسیرهای (معمولاً کوتاهترین مسیر) از پیش تعیین شده، بین یک مبدا و مقصد (O-D) سفر می‌کنند، تعریف می‌شوند [۱۰]. مدل FCLM، اساساً یک مسئله حداکثر پوشش مبتنی بر جریان است، که تعداد p تسهیلات را برای بیشینه کردن حجم جریان گرفته شده یا متوقف شده توسط یک تسهیل، در هرجایی در طول مسیر جریان، مکان‌یابی می‌کند.

مدل مکان‌یابی جریان-سوخت که در سال ۲۰۰۵ توسط کوبی و لیم توسعه یافت، گسترش یافته ی مدل FCLM است. مدل مکان‌یابی جریان-سوخت، تعداد p تسهیل سوخت‌گیری را برای بیشینه کردن تعداد سفرهایی که می‌تواند سوخت‌گیری شود، مکان‌یابی می‌کند. برای مدل‌سازی تقاضای مربوط به ایستگاه‌های سوخت دهی تقاضا مبتنی بر جریان انتخاب شده است، زیرا اعتقاد بر این است که مصرف کننده‌ها به طور کلی، وسایل نقلیه خود را به هنگام سفر برای کار، خرید یا سایر فعالیت‌ها، سوخت دهی می‌کنند. معمولاً اینکه مصرف کننده‌ها تنها برای سوخت‌گیری سفر کنند خیلی مرسوم نیست، به همین علت مدل مذکور از مدل‌های تقاضای مبتنی بر نقطه مانند مدل p - میانه واقع گرایانه تر می‌باشد. تفاوت اصلی بین FRLM و FCLM، این است که در FCLM، اگر حداقل یک تسهیل هرجایی در طول مسیر جریان قرار گرفته باشد، جریان پوشش می‌یابد. در FRLM، از سوی دیگر، بسته به فاصله مسیر و بیشترین محدوده رانندگی که وسایل نقلیه دارند (محدوده پوشش مفروض)، ترکیبی از دو تسهیل یا بیشتر ممکن است برای سوخت دهی و پوشش دادن به جریان، مورد نیاز باشد به طوری که سوخت وسیله نقلیه به پایان نرسد. ایجاب بکارگیری ترکیبی از تسهیلات به منظور برآورده کردن تقاضا در میان مدل‌های مکان‌یابی-تسهیل یک ویژگی نسبتاً منحصر به فرد است و از الگوریتم‌های ابتکاری ای که برای چنین مسائلی در گذشته توسعه یافته باشد، آگاهی وجود ندارد [۵]. یکی از الگوریتم‌های ابتکاری که برای حل اینگونه مسائل مکان‌یابی توسعه

در این مقاله، براساس دو مدل ریاضی ماکزیمم پوشش و مدل مکان‌یابی جریان-سوخت، مدل ریاضی برای تعیین مکان‌های بهینه جهت احداث ایستگاه سوخت با در نظر گرفتن ازدحام در شبکه، ارائه شده است.

پس از آن، با اقتباس از مفهوم الگوریتم ابتکاری حریمانه، الگوریتم ابتکاری جهت حل مدل ارائه شده، طراحی و ارائه شده است. منطقه‌ای از شهر تهران برای طراحی شبکه متشکل از گره‌ها و یال‌ها انتخاب شده و پس از انتقال خیابان‌های اصلی و تقاطع‌هایشان به یال‌ها و گره‌ها در شبکه، شبکه مورد نظر برای حل عددی آماده می‌شود. دو مولفه مسافت بین گره‌ها (طول یال‌ها) و میزان جریان ترافیک عبوری از یال‌ها، برای حل عددی شبکه، باید سنجیده شوند.

در نهایت، به کمک الگوریتم ابتکاری ارائه شده، شبکه طراحی شده حل شده و نتایج آن تحلیل می‌شود. نوآوری اصلی مقاله، تلفیق دو مدل ماکزیمم پوشش و مدل مکان‌یابی جریان-سوخت به همراه در نظر گرفتن محدودیت صف و ارائه یک مدل ریاضی جدید در زمینه مکان‌یابی ایستگاه‌های توزیع سوخت در شبکه متشکل از یال‌ها و گره‌ها است. همچنین در نظر گرفتن تقاضا و مکان تسهیل خدمت‌دهنده به صورت مبتنی بر مسیر و ارائه الگوریتم ابتکاری با شرایط مذکور، از دیگر نوآوری‌های این مقاله است. در ادامه، ابتدا مدل‌سازی ریاضی و شرح تابع هدف و محدودیت‌های مربوطه ارائه می‌گردد و پس از آن گام‌های الگوریتم طراحی شده شرح داده می‌شود. در نهایت، الگوریتم طراحی شده در مسیرها و تقاطع‌های بخشی از شهر تهران، بکار گرفته شده و نتایج آن بیان شده است. گزارش نتایج و پیشنهادات برای تحقیقات آتی در بخش جمع‌بندی بیان شده است.

۲. مبانی نظری مکان‌یابی جریان سوخت

فرمول‌بندی مدل مکان‌یابی جریان-سوخت توسط کوبی و لیم به شکل یک برنامه ریزی خطی آمیخته-عدد صحیح، انجام شده است. مدل برنامه ریزی خطی آمیخته-عدد صحیح نیازمند یک زیرمدل است تا از طریق خارجی همه ترکیبات تسهیلاتی را که هر مسیری می‌تواند سوخت دهی کند، پیش‌تولید نماید. حتی برای شبکه‌های با اندازه متوسط، الگوریتم به ارزیابی تعداد عظیمی از ترکیبات تسهیلات در طول مسیرهای با گره‌های زیاد، نیاز دارد. درحالیکه برنامه ریزی خطی آمیخته-عدد صحیح در کسب جواب‌های بهینه برای شبکه‌های کوچک، موثر است؛ حتی پیش‌تولید شدن ترکیبات برای شبکه‌های بزرگتر غیرعملی است، چه برسد به حل برنامه ریزی خطی آمیخته-عدد صحیح مربوط به آن. الگوریتم‌های ابتکاری، نیازی به پیش‌تولید ترکیب تسهیلاتی که می‌تواند مسیرها را سوخت دهی کند، ندارند و قادر به حل مدل مکان‌یابی جریان-سوخت برای شبکه‌های واقعی در طول یک بازه

الگوریتم ژنتیک، که در پی فرآیند تکاملی مدل‌سازی شده است کاملاً متفاوت عمل می‌کند [۱۷ و ۱۸]. الگوریتم ابتدا با چندین مجموعه از جواب‌های تولید شده تصادفی، بنام کروموزوم آغاز می‌شود. با شبیه‌سازی تکرارهای تصادفی ژن‌ها در دنیای طبیعی، جواب‌های جدیدتر و عموماً بهتر از جواب‌های قبلی تولید می‌شوند. برای اولین بار، اجرای الگوریتم ژنتیک برای حل کردن مسئله P-میان در سال ۱۹۸۶ انجام شد [۱۹]. آن‌ها جواب‌های کروموزوم را به عنوان یک رشته از n رقم صفر و یک (یعنی صفر یا یک، یک نشان دهنده‌ی تسهیلی است که ساخته شده در مکان متناظر) رمزگذاری کردند. از آنجاییکه چنین رمزگذاری‌هایی ضمانت نمی‌کند که p تعداد از تسهیلات انتخاب شده است، یک تابع جریمه برای اعمال کردن محدودیت تسهیل- ثابت شده بکارگرفته شده است. همچنین از الگوریتم ژنتیک برای حل کردن مسئله P-میان، استفاده شده است اما آن‌ها جواب را به عنوان یک لیست از p تسهیل‌کننده رمزگذاری کردند، که تضمین می‌کند که p تسهیل همیشه انتخاب شده است [۲۰]. به جای استفاده از یک عملگر استاندارد متقاطع، آن‌ها از روش ابتکاری حذف کردن حریصانه برای تولید جواب بچه یا کروموزوم استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که عملکرد الگوریتم ژنتیک آن‌ها در مقایسه با دیگر ابتکاری‌ها مانند شبیه‌سازی تبرید و ابتکاری گاما، بهتر است. الگوریتم ژنتیک در مسئله مکان‌یابی تسهیل برای P-میان و برای مسائل هزینه-ثابت و ماکزیم پوشش نیز کاربرد دارد [۲۱ و ۲۲].

۳. مدل‌سازی ریاضی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های

تامین سوخت - تقاضای یال محور - ایستگاه یال محور

در این بخش، روابط ریاضی مربوط به مدل‌سازی مسئله به شرح زیر بیان می‌گردد. رابطه (۱)، معرف تابع هدف این مدل است که جریان پوشش یافته توسط ایستگاه‌های تامین‌کننده را ماکزیم می‌نماید. همانطور که مشاهده می‌گردد، این تابع هدف مفهوم ماکزیم پوشش را دارد اما مانند مدل مکان‌یابی حداکثر پوشش، سعی در ماکزیم نمودن تعداد گره‌های پوشش یافته را ندارد، بلکه در این مدل هدف بیشینه نمودن جریان‌های پوشش یافته است که این الزاماً با بیشینه نمودن گره‌های پوشش یافته برابر نیست، زیرا که در رویکرد جریان محور مورد مطالعه در این مقاله، هر مسیر دارای یک جریان ترافیک عبوری است و ممکن است بطور مثال از پنج مسیر تنها دو مسیر پوشش یابد اما مسیرهای تحت پوشش دارای جریان بیشتر یا همان تقاضای بیشتری هستند که این مفهوم با تحت پوشش قراردادن هرچه بیشتر مسیرها متفاوت است. مسئله ماکزیم پوشش قصد دارد که بیشترین گره‌ها پوشش یابد اما مسئله مکان‌یابی جریان-سوخت قصد دارد که بیشترین جریان ترافیکی پوشش یابد که این می‌تواند از بیشترین تعداد مسیرهای تحت پوشش، مستقل باشد. رابطه (۲) نشان دهنده‌ی

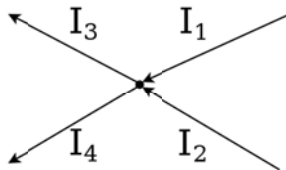
یافت، الگوریتم "جایگزینی راس" است، که تسهیلات را از مجموعه "غیر انتخاب شده" به مجموعه "انتخاب شده" تا زمانیکه یک جواب بهینه محلی بدست آید تعویض می‌کند [۱۱]. به دلیل اینکه الگوریتم جایگزینی راس، فاقد مکانیزمی برای خارج شدن از بهینگی محلی است، اغلب چندین دفعه با استفاده از مجموعه‌های اولیه تصادفی متفاوت تولید شده از تسهیلات انتخاب شده اجرا می‌شود، که شانس بدست آوردن جواب بهینه سراسری را افزایش می‌دهد.

الگوریتم متداول دیگری که برای حل مسائل مکان‌یابی بکارگرفته شده الگوریتم "حریصانه" است [۱۲]. الگوریتم حریصانه اولین تسهیلی را که هدف را بهینه می‌کند، پیدا می‌کند، این تسهیل را به مجموعه انتخاب شده اضافه می‌کند و به عنوان تسهیل بعدی انتخاب می‌کند و آن تسهیلی که ترکیب شده با تسهیلات انتخاب شده ی قبلی، هدف را بهینه خواهد کرد. سپس آن تسهیل را به مجموعه انتخاب شده اضافه می‌کند و این کار را تا زمانیکه تعداد مطلوب تسهیلات انتخاب شوند، تکرار می‌کند. این الگوریتم "حریصانه" نامیده شده زیرا یک تسهیل را بر اساس اینکه در هر تکرار، بهترین چیست، بدون نگاه به آینده، انتخاب می‌کند. نوع دیگری از الگوریتم حریصانه، الگوریتم "حریصانه با جایگزینی" نامیده شده، که برای جایگزین کردن تسهیلات دیگر در مجموعه انتخاب شده با تسهیلات از مجموعه غیرانتخاب شده، پس از اینکه هر تسهیل جدید اضافه شده است، تلاش می‌کند. اگر یک جایگزینی، جواب را بهبود دهد، الگوریتم جایگزینی را حفظ می‌کند. از الگوریتم‌های "حریصانه" و "حریصانه با جایگزینی" در سال ۱۹۷۳، به منظور حل مدل ماکزیم-پوشش، استفاده شده است [۱۳]. همچنین برای حل کردن مسئله پوشش-مجموعه نیز بکارگرفته است [۱۴]. هادسون از الگوریتم ابتکاری حریصانه برای اجرای FCLM استفاده کرده است و جواب‌هایی را بدست آورده که هرگز زیر ۹۹/۴٪ از جواب بهینه نیفتاده است، به هر حال، او باور داشت که کارایی الگوریتم به نحوه ساختار جریان شبکه مربوط می‌شود [۹]. هادسون و همکارانش همچنین الگوریتم‌های "حریصانه" و "جایگزینی راس" را برای حل کردن FCLM در یک شبکه جاده ای شهری واقعی مقایسه کردند و دریافتند که هر دو الگوریتم بسیار استوار هستند، اما الگوریتم جایگزینی راس به مراتب به محاسبات بیشتری احتیاج دارد [۱۵]. اخیراً، الگوریتم‌های ابتکاری با مکانیزمی برای خارج شدن از بهینگی محلی برای حل کردن مسائل مکان‌یابی بکارگرفته شده اند. بطوریکه شانس بهتری برای بدست آوردن جواب بهینه سراسری وجود دارد [۱۶]. "جستجوی ممنوع" و "شبیه سازی تبرید" براساس الگوریتم جایگزینی راس هستند اما هر کدام مکانیزم‌های متفاوتی برای خارج شدن از بهینگی محلی دارند.

می‌دهد. در این شبکه، فرض شده است که جریان عبور کننده از هر تقاطع برابر مجموع نصف جریان‌های واردشونده از هر یال می‌باشد. اعداد داخل پرانتز، بیانگر جریان ترافیک وسایل نقلیه عبوری است، که برای شبکه‌یال محور بر روی یال‌ها و برای شبکه مبتنی بر گره بر روی گره‌ها در شکل‌های شماره (۳) و (۴)، درج شده است. اعداد بدون پرانتز مندرج روی یال‌ها بیانگر مسافت بین دو گره است.

۴-۱. قوانین کیرشهف و تحلیل چگونگی تبدیل شبکه‌یال محور به گره محور

کیرشهف آلمانی در زمینه حل مدارهای الکتریکی پایداری انرژی را به کمک گرفت و دو راه حل را ارائه داد که امروز به قوانین کیرشهف مشهور هستند. قانون اول کیرشهف که قانون گره یا جریان‌ها نامیده می‌شود همان اصل بقا بار الکتریکی و قانون دوم همان پایداری انرژی است. کیرشهف، هر قسمت از مدار را که در آن یک جریان جاری است شاخه و محل برخورد چند شاخه را گره نامیده و قوانین خود را به شرح روابط زیر بیان داشت. قانون اول کیرشهف (قانون گره یا قانون جریان‌ها): مجموع جریان‌های ورودی به هر گره مدار برابر مجموع جریان‌های خروجی از آن گره است.



شکل ۱. بیان شماتیک قانون اول کیرشهف در یک مدار الکتریکی

$$\sum I_{in} = \sum I_{out} \rightarrow I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

قانون دوم کیرشهف (قانون حلقه یا ولتاژها):

جمع جبری اختلاف پتانسیل‌ها در یک مدار بسته صفر است.

$$\sum_{closed} \Delta V = 0$$

با در نظر گرفتن قانون اول کیرشهف در شبکه ترافیک طراحی شده، برای تبدیل جریان ترافیک وسایل نقلیه عبوری از حالت یال محور به گره محور، می‌توان یال‌های شبکه را مانند شاخه‌های یک مدار الکتریکی در نظر گرفت و تقاطع‌های مسیرهای عبوری را به عنوان گره‌های شبکه الکتریکی دانست. با این تفسیر، مجموع جریان وسایل نقلیه عبوری از یال‌های وارد شونده به گره A باید برابر با مجموع جریان وسایل نقلیه عبوری از یال‌های خارج شونده باشد. به این ترتیب، مسیر عبوری بین دو گره با همان یال واصل بین دو

محدودیت تعداد ایستگاه توزیع سوختی است که می‌تواند در شبکه استقرار یابد، در این مدل این متغیر روی یال OD تعریف می‌گردد. رابطه (۳) بیانگر محدودیت صف تشکیل شونده در ایستگاه توزیع سوخت است، در اینجا، مجموع جریان‌های مسیرهای تحت پوشش برای هر ایستگاه (یال OD) باید از λ_{max} (حداکثر جمعیت مشتریان بالقوه برای هر ایستگاه) تعریف شده، مساوی یا کوچکتر باشد. رابطه (۴) بیان می‌کند که اگر یال OD به عنوان تحت پوشش انتخاب شود، حتماً ایستگاه تامین کننده ای وجود دارد که به عنوان پوشش دهنده انتخاب شود. رابطه (۵) صفر و یک بودن متغیرهای OD و $O'D'$ را نشان می‌دهد.

$$MaxZ = \sum_{OD=1}^m f_{OD} \cdot y_{OD}$$

$$s.t: \sum_{O'D'=1}^n x_{O'D'} = k$$

$$\sum_{OD=1}^m f_{OD} \cdot y_{OD} \leq \lambda_{max_{OD}}$$

$$\sum_{O'D'=1}^n a_{OD,O'D'} \cdot x_{O'D'} \geq y_{OD}, \forall OD = 1, \dots, n$$

$$x_{O'D'}, y_{OD} \in \{0, 1\}, \forall OD = 1, \dots, m; O'D' =$$

اندیس OD: اندیس یال تحت پوشش

اندیس $O'D'$: اندیس یال پوشش دهنده به عنوان ایستگاه تامین کننده سوخت

f_{OD} : تقاضای یال OD

$\lambda_{max_{OD}}$: بیشترین مقدار ظرفیت قابل سرویس دهی توسط

هر ایستگاه

(۱)

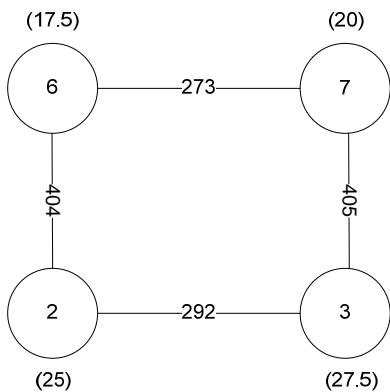
$$x_{O'D'} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

$$a_{OD,O'D'} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

برعکس با استفاده از

ترتیب زیر

نکته مهمی که باید در مقایسه شبکه طراحی شده در دو حالت مبتنی بر گره و مبتنی بر یال در نظر داشت، این است که مجموع جریان عبوری از شبکه در هر دو حالت باید یکسان باشد، تا مقایسه کردن دو رویکرد معنادار شود. شکل‌های شماره (۱)، (۲)، (۳) و (۴) و محاسبات مربوطه، نحوه نگرش هر دو رویکرد را نشان



شکل ۴. جریان مبتنی بر یال

شکل شماره (۳) و (۴) تفاوت این دو دیدگاه را نشان می‌دهد.

۵. الگوریتم حریمانه، تقاضای یال محور، ایستگاه یال

محور، با اعمال محدودیت صف

در اینجا، الگوریتم به نحوی طراحی می‌گردد که علاوه بر اینکه تقاضای بر روی یال مستقر می‌باشد، مکان ایستگاه نیز روی یال‌های شبکه انتخاب گردد؛ با این رویکرد، فرضیات شبکه واقعی تر می‌گردد، یعنی مکان بهینه برای احداث ایستگاه تامین کننده سوخت، به گره‌های شبکه (تقاطع‌های خیابان‌ها) محدود نمی‌شود؛ بلکه در این حالت، مکان‌های کاندید جهت احداث ایستگاه در واقع یال‌های شبکه هستند و محاسبات شاخص برای انتخاب، با دو حالت قبل متفاوت است. گام های الگوریتم طراحی شده و نحوه محاسبات در هر مرحله، به شرح ذیل بیان می‌گردد.

گام ۱- ماتریس فاصله خط واصل بین گره‌ها و ماتریس جریان ترافیک عبوری بین گره‌ها

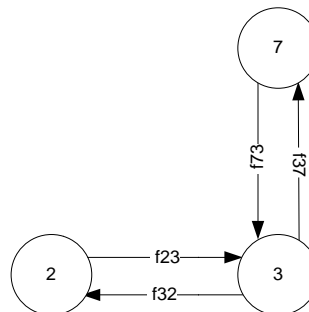
ماتریس فواصل خط واصل بین گره‌ها، فاصله ای را که بین هر دو گره ی واصل بهم وجود دارد را نشان می‌دهد. همچنین ماتریس جریان ترافیک عبوری بین گره‌ها، جریان وسایل نقلیه عبورکننده از هر یال را نشان می‌دهد. متقارن بودن جریان ترافیک بین دو گره واصل، جزء فرضیات این الگوریتم در نظر گرفته شده است.

$$\begin{matrix}
 & 1 & 2 & 3 & \dots & n \\
 \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \cdot & a & b \\ a & \cdot & \\ b & & \cdot \\ \vdots & & & \cdot \\ n & & & & \cdot \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

ماتریس فاصله خط واصل بین گره‌ها:

ماتریس جریان ترافیک عبوری بین گره‌ها:

گره، دارای دو راه عبور به اصطلاح دوطرفه فرض می‌شود؛ که یک راه برای ورود و یک راه برای خروج فرض می‌شود. با این فرضیات، جریان وارد شونده از هر یال متصل به گره، برابر با نصف جریان عبوری روی یک یال در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲. تفسیر شماتیک قانون اول کیرشهف در شبکه

ترافیک طراحی شده در این پژوهش، برای گره ۳

تفسیر قانون اول کیرشهف برای جریان ترافیک وسایل نقلیه عبوری از گره ۳:

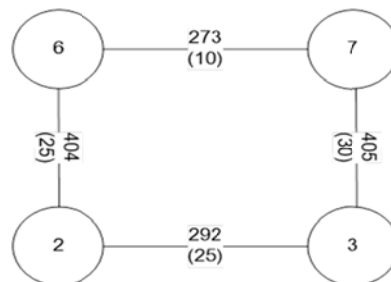
$$f_3 : f_{22} + f_{72} = f_{27} + f_{23}$$

درواقع بین هر دو گره، دو یال فرض شده است. ساختار این دو یال شبیه هم فرض شده است. برای جلوگیری از محاسبه مضاعف جریان به هنگام تبدیل جریان روی یال به جریان روی گره، باید نصف جریان در حال حرکت بر روی یال را برای محاسبه جریان ورودی به گره در نظر گرفت. به این ترتیب، جریان تقاطع شماره ۳ از شکل شماره (۲) مطابق ذیل محاسبه خواهد شد:

$$f_3 : f_{22} + f_{72} = f_{27} + f_{23}$$

$$f_3 : 12/5 + 15 = 15 + 12/5$$

$$f_3 = \frac{f_{3-7}}{2} + \frac{f_{3-2}}{2} = 27/5$$



شکل ۳. جریان مبتنی بر گره

خیر، در صورتیکه گره ۱ بتواند گره ۲ را تحت پوشش قرار دهد مقدار درایه ی متناظر یعنی $a_{۲۱}$ برابر یک خواهد شد و در صورتیکه گره ۱ نتواند گره ۲ را تحت پوشش قرار دهد مقدار درایه ی متناظر یعنی $a_{۲۱}$ برابر صفر خواهد شد.

$$\begin{matrix} & ۱ & ۲ & ۳ & \dots & n \\ \begin{matrix} ۱ \\ ۲ \\ ۳ \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} ۱ & ۰ & ۱ \\ ۰ & ۱ & \\ ۱ & & ۱ \\ & & & ۱ \\ & & & & ۱ \end{bmatrix} \end{matrix}$$

ماتریس پوشش:

گام ۴- تشکیل ماتریس اتصالات گره‌ها

در این مرحله، پایگاه داده ای از گره‌های متصل به هم که نشان دهنده یال‌های موجود در شبکه است، تشکیل می‌یابد. به این ترتیب، پایگاه داده ای مانند جدول (۱) برای کل شبکه ایجاد می‌گردد؛ که نشان دهنده اطلاعات یال‌های موجود در شبکه است. در واقع در این ماتریس، اطلاعات هر یال شامل اطلاعات گره ابتدایی و انتهایی آن مشخص می‌گردد.

گام ۵- محاسبه شاخص برای همه یال‌های شبکه

در این مرحله، شاخص مورد تعریف به شرح ذیل برای هر یال محاسبه می‌گردد. باتوجه به اینکه هر یال دارای یک گره ابتدایی و یک گره انتهایی (گره‌های مبدا و مقصد) است، محاسبه فاصله یال‌ها از یکدیگر، از طریق محاسبه طول هر یال از هر یک از گره‌های ابتدایی و انتهایی یال مورد نظر حساب می‌شود. برای مثال، برای بخشی از شبکه برای یال ۱-۲، نحوه محاسبه فاصله‌ها و تعیین یال‌های تحت پوشش شرح داده می‌شود.

جدول ۱. ماتریس اتصالات گره‌ها

از	به	یال
۱	۲	۱-۲
۱	۵	۱-۵
۲	۱	۲-۱
۳۵	۲۹	۳۵-۲۹
۳۵	۳۴	۳۵-۳۴

الگوریتم به این نحو طراحی می‌شود که باتوجه به پایگاه داده تعریف شده در ماتریس $StrDB^i$ ، گره‌های واصل مستقیم به دو گره ابتدایی و انتهایی یال ۱-۲، مشخص و تعریف شده هستند. با توجه به الگوریتم ارائه شده در این پایان نامه، گره‌های متصل به مبدا و مقصد یال ۱-۲، در ماتریس $StrDB$ موجود هستند، جستجو به این ترتیب انجام می‌شود که گره‌های متصل به گره ۱ بررسی می‌شود، گره‌های متصل به گره ۱، گره شماره ۵ است؛ الگوریتم، مسافت بین گره ۱ تا ۵ را از اطلاعات ورودی فرامی

$$\begin{matrix} & ۱ & ۲ & ۳ & \dots & n \\ \begin{matrix} ۱ \\ ۲ \\ ۳ \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} ۰ & f_{۱۲} & f_{۱۳} \\ f_{۲۱} & ۰ & \\ f_{۳۱} & & ۰ \\ & & & \ddots \\ & & & & ۰ \end{bmatrix} \end{matrix}$$

گام ۲- محاسبه کوتاهترین مسیر و ضبط آن

محاسبه کوتاهترین مسیر بین گره‌ها در حالتی که تعداد گره‌ها کم باشد بسیار ساده است اما هنگامیکه تعداد گره‌ها زیاد می‌شود در واقع شبکه پیچیده تر شده و تعداد مسیرهایی که بین دو گره وجود دارد زیاد شده و به دنبال آن محاسبه کوتاهترین مسیر بین دو گره طولانی تر خواهد شد. به این ترتیب محاسبه کوتاهترین مسیر باید از طریق الگوریتم شناخته شده ای به نام "الگوریتم کوتاهترین مسیر" کد نویسی و محاسبه شود. الگوریتم کوتاهترین مسیر، ماتریس فاصله خط واصل بین گره‌ها را به ماتریس کوتاهترین فاصله بین گره‌ها تبدیل می‌نماید. همچنین از این الگوریتم می‌توان برای تولید ماتریس جریان ترافیک عبوری کوتاهترین مسیر بین گره‌ها استفاده کرد. به این ترتیب، پس از محاسبه کوتاهترین مسیر بین گره‌ها، کوتاه ترین مسیر ضبط می‌شود و در حافظه الگوریتم نگه داشته می‌شود. ماتریس جریان ترافیک عبوری کوتاهترین مسیر بین گره‌ها، در واقع نشان می‌دهد که جریان ترافیک عبوری از کوتاهترین مسیر بین هر دو گره چه میزان است.

$$\begin{matrix} & ۱ & ۲ & ۳ & \dots & n \\ \begin{matrix} ۱ \\ ۲ \\ ۳ \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} ۰ & a & b \\ a & ۰ & \\ b & & ۰ \\ & & & \ddots \\ & & & & ۰ \end{bmatrix} \end{matrix}$$

ماتریس کوتاهترین فاصله بین گره‌ها:

ماتریس جریان ترافیک عبوری از کوتاهترین فاصله بین گره‌ها:

$$\begin{matrix} & ۱ & ۲ & ۳ & \dots & n \\ \begin{matrix} ۱ \\ ۲ \\ ۳ \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} ۰ & f_{۱۲} & f_{۱۳} \\ f_{۲۱} & ۰ & \\ f_{۳۱} & & ۰ \\ & & & \ddots \\ & & & & ۰ \end{bmatrix} \end{matrix}$$

گام ۳- ماتریس پوشش

در این مرحله، بر اساس محدوده‌ی پوشش تعریف شده در شبکه‌ی طراحی شده، الگوریتم طوری طراحی می‌شود که ماتریس کوتاهترین مسیر را به ماتریس پوشش تبدیل می‌نماید. به این ترتیب، بررسی می‌شود که هر گره، با توجه به میزان کوتاهترین فاصله ای که با گره‌های دیگر دارد آیا می‌تواند بر اساس محدوده‌ی پوشش تعریف شده، گره‌های دیگر را تحت پوشش خود قرار دهد یا

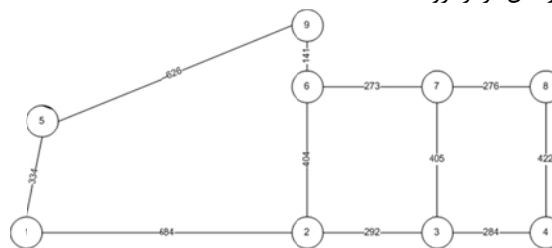
تمامی یال‌های موجود در شبکه بررسی می‌شوند. به دلیل وجود مسیرهای مختلف که از روی هر گره عبور می‌کند. به طور مثال، برای تشریح دو نوع جستجوی طراحی شده در این الگوریتم، بخشی از شبکه مورد مطالعه در شکل شماره (۵) بررسی می‌شود. یال مورد نظر، یال ۵-۱ است. این یال متشکل از دو گره ۱ و ۵ است. به این ترتیب جستجوی اولیه و ثانویه برای هر دو گره باید انجام شود.

جستجوی اولیه: در جستجوی اولیه، کوتاهترین مسیر بین تمامی نقاط موجود در شبکه (۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۸ و ۹) با گره ۱ از کوتاهترین مسیر محاسبه شده در مراحل قبلی خوانده شده و بررسی می‌شود که آیا در محدوده پوشش قرار دارد یا خیر. در صورتی که کوتاهترین مسیر بین گره ۲ تا ۵ در محدوده پوشش باشد، کلیه یال‌های موجود در این کوتاهترین مسیر تحت پوشش قرار می‌گیرند. به این ترتیب کوتاهترین مسیر بین گره ۳ تا گره ۱، گره ۴ تا گره ۱، گره ۵ تا گره ۱، ... و گره ۹ تا گره ۱، بررسی شده و در صورت رعایت محدوده پوشش، کلیه یال‌های موجود در کوتاهترین مسیر، به عنوان یال تحت پوشش شناسایی می‌گردد. مشابه این جستجو برای گره ۵ به عنوان یکی دیگر از گره‌های یال ۵-۱، انجام می‌گردد.

جستجوی ثانویه: جستجوی ثانویه برای گره‌های انتهایی مسیرهایی که تحت پوشش قرار گرفته اند، انجام می‌شود. به این ترتیب، برای گره‌های ۲، ۳، ۵ و ۹، جستجوی ثانویه انجام می‌شود. برای این منظور، به اندازه یک یال جلوتر، برای تمام گره‌های متصل به گره‌های انتهایی مورد نظر، بررسی می‌شود که آیا پوشش تحقق می‌یابد یا خیر.

برای تمامی یال‌های موجود در شبکه، جستجوی اولیه و ثانویه انجام می‌شود و پس از آن تمامی یال‌های تحت پوشش

خواند و در صورتیکه مسافت، فاصله مجاز پوشش را رعایت کند، فاصله بین گره ۱ تا ۵ را حفظ می‌کند و به جستجو ادامه می‌دهد. جستجوی ثانویه برای گره‌های متصل به گره ۵، اتفاق می‌افتد. در جستجوی ثانویه فاصله تمامی مسیرهای واصل به گره ۵، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورتیکه مجموع فاصله بین گره‌های واصل به گره ۵ و مسافت یال ۵-۱، در محدوده پوشش قرار گیرد، جستجو ادامه می‌یابد. در غیر این صورت جستجو ادامه نمی‌یابد و مسیرهای تحت پوشش قبلی به عنوان یال‌های تحت پوشش در نظر گرفته می‌شوند و برای محاسبه شاخص کاندید می‌شوند. مشابه همین روال، برای گره ۲، انجام می‌شود. جستجوی ثانویه برای تمام گره‌های متصل به گره‌های مبدا و مقصد برای یال مربوطه بررسی می‌شود و تنها زمانی جستجو در هر مسیر توقف می‌یابد که مجموع فاصله یال‌های متصل به گره‌های مبدا یا مقصد از محدوده پوشش فراتر نرود.



شکل ۵. بخشی از شبکه مورد مطالعه برای تشریح نحوه محاسبات در الگوریتم طراحی شده

یک یال زمانی تحت پوشش قرار می‌گیرد که فاصله آن یال تا مبدا یا مقصد مورد نظر، در محدوده پوشش قرار بگیرد؛ در غیر این صورت پوشش انجام نمی‌شود. به این ترتیب برای اینکه یک یال تحت پوشش قرار بگیرد نیازی نیست که محدوده پوشش را از مبدا و مقصد یال مورد نظر رعایت کند، بلکه رعایت محدوده پوشش از تنها یکی از مبدا یا مقصد، کافی است.

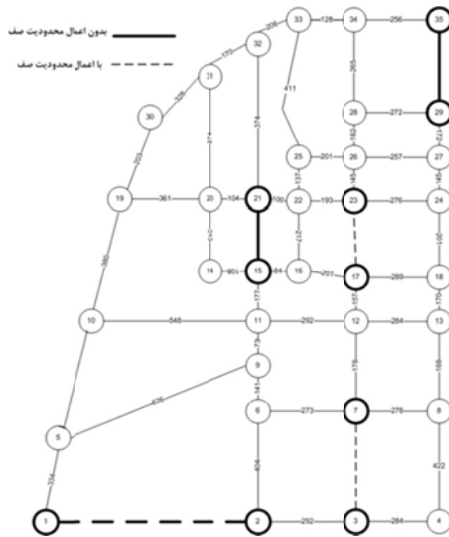
جستجوی اولیه: در جستجوی اولیه، محدوده پوشش برای کوتاهترین مسیر بین تمام گره‌های شبکه با گره مبدا یا مقصد بررسی می‌شود؛ در صورتیکه کوتاهترین مسیر بین گره ۱ از شبکه با گره مبدا یا مقصد مورد نظر، در محدوده پوشش قرار بگیرد، تمامی یال‌های موجود در آن کوتاهترین مسیر، تحت پوشش قرار می‌گیرند.

جستجوی ثانویه: علت طراحی جستجوی ثانویه، وجود یال‌هایی است که در کوتاهترین مسیر بین گره‌ها حضور ندارند و ممکن است برای بررسی شدن ظاهر نشوند؛ به همین علت، برای تمام نقاط انتهایی که تمام یال‌های قبل از آن، تحت پوشش قرار گرفته اند، جستجوی ثانویه به نحوی انجام می‌گردد که یک یال جلوتر را برای تمام نقاط متصل به نقطه انتهایی بررسی می‌شود؛ در صورتی که در محدوده پوشش قرار بگیرد، به عنوان یال تحت پوشش شناخته شده و در غیر این صورت پوشش نمی‌یابد. به این ترتیب

جدول ۲. جستجوی اولیه برای گره ۱ با محدوده پوشش

معادل ۱۰۰۰ واحد مسافت

شماره گره	کوتاهترین مسیر	طول کوتاهترین مسیر	وضعیت پوشش انتهایی	گره	یک یال جلوتر
۲	۱-۲	۶۸۴	✓	۲	۳-۲ و ۶-۲
۳	۱-۲-۳	۹۷۶	✓	۳	۴-۳ و ۷-۳
۴	۱-۲-۳-۴	۱۲۶۰	×	-	-
۵	۱-۵	۳۳۴	✓	۵	۹-۵
۶	۱-۲-۶	۱۰۸۸	×	-	-
۷	۱-۲-۶-۷	۱۳۶۱	×	-	-
۸	۱	۱۶۳۷	×	-	-
۹	۱-۵-۹	۹۶۰	✓	۹	۶-۹



شکل ۶. جواب‌های حاصل از الگوریتم ارائه شده-بدون محدودیت صف و با محدودیت صف

۷. تحلیل نتایج

در این مقاله، مدل‌سازی، طراحی الگوریتم ابتکاری برای مدل ارائه شده و حل شبکه، انجام شده است. مطابق با گام‌های شرح داده شده در الگوریتم پیشنهادی، مسافت بین گره‌ها و جریان عبوری وسایل نقلیه بین گره‌ها مشخص شده و به عنوان ماتریس ورودی در الگوریتم بکار گرفته می‌شود. رویکرد مبتنی بر گره، جریان عبوری را بر روی گره‌ها در نظر می‌گیرد و منظور از پوشش کامل در این رویکرد به معنای پوشش کامل جریان عبوری از گره‌ها است. در حالیکه برای مدل‌سازی واقعی تر مسئله، جریان بر روی مسیر یا همان یال‌های شبکه می‌تواند در نظر گرفته شود، در این حالت به اصطلاح یال محور، منظور از پوشش کامل، پوشش کامل جریان‌های عبوری از یال‌های شبکه است.

در رویکرد گره محور، در صورتیکه وسیله نقلیه از گره ای عبور نکند در واقع جریان عبوری آن وسیله نقلیه در شبکه در نظر گرفته نمی‌شود. این در حالی است که جریان بر روی یال‌ها شامل تمامی جریان‌های عبوری از یال‌ها است. در حالت گره محور، فرض مسئله این است که جریان‌های مستقر روی گره‌ها قرار است پوشش داده شود این در حالی است که وسایل نقلیه عبوری در شبکه بر روی یال‌ها جریان دارند و فرض جریان بر روی گره، غیر منطقی بنظر می‌رسد و رویکرد یال محور، مسئله را به طور واقعی تر مدل‌سازی می‌نماید. در حالت گره محور، جریان بر روی گره و ایستگاه انتخابی هم بر روی گره، اما در حالت یال محور، جریان بر روی یال‌های شبکه و ایستگاه انتخابی بر روی گره‌های شبکه در نظر گرفته شده است. همچنین محدود کردن مکان ایستگاه تامین کننده به حالت گره محور، مسئله را از حالت واقعی کمی دورتر می‌کند. برای نزدیک کردن مسئله و نتایج حل حاصل از الگوریتم، به دنیای

و پوشش نیافته شناسایی و تعیین می‌شوند. در نهایت، یال با بیش ترین پوشش شناسایی شده و ماتریس جریان ترافیک عبوری از یال‌ها به روز رسانی شده و یال‌های پوشش یافته از ماتریس جریان حذف می‌شوند.

۶. حل عددی مسئله با یک مدل حقیقی

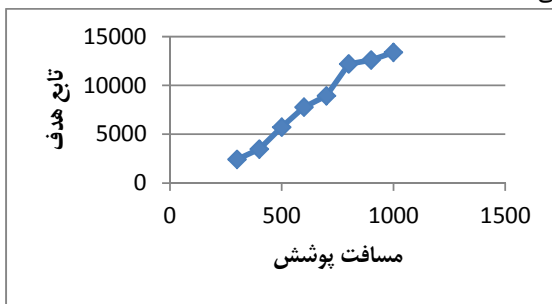
برای نشان دادن کارایی الگوریتم پیشنهادی به حل عددی مسئله پرداخته شد. در این رابطه به کمک الگوریتم ارائه شده، مسیرها و تقاطع‌های بخشی از شهر تهران را به منظور تشکیل یک شبکه، انتخاب کرده و اطلاعات آن که شامل مسافت بین گره‌ها و جریان ترافیک عبوری روی مسیرها است، به عنوان ورودی های الگوریتم، وارد الگوریتم شدند. جدول (۳) و شکل شماره (۶)، خلاصه نتایج بدست آمده از الگوریتم را نشان می‌دهد.

باتوجه به اینکه برای اجرا در یک مطالعه حقیقی نیاز به برآورد صحیح از مسافت و جریان ترافیک در خیابان لازم است، لذا مطالعه و انجام آزمایش روی بخشی از خیابان‌های شهر تهران که شامل ۳۵ گره و ۵۵ یال شد انجام گرفت. پارامتر مسافت با دقت بالایی از نقشه آنلاین شهر تهران اندازه گیری شده است ولی میزان جریان ترافیک به دلیل عدم دسترسی به داده های حقیقی به صورت تقریبی در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. خلاصه نتایج حل شبکه به کمک الگوریتم توسعه یافته

حالت	بدون محدودیت صف	با اعمال محدودیت صف
شماره یال تامین کننده از الگوریتم	۲۹-۳۵، ۱-۲، ۱۵-۲۱	۱۷-۲۳، ۳-۷، ۱-۲
تقاضا یال محور و ایستگاه تامین کننده یال محور، برای محدودی مسافت پوشش معادل ۱۰۰۰ و $C'_{OD} = 5$ برای جریان پوشش نیافته، برای شبکه ۳۵ گره ای برای $K=3$.		

می‌شود، مقدار جریان پوشش یافته در شبکه کاهش می‌یابد. به بیان دیگر با کاهش محدوده پوشش (مسافتی که یک اتوموبیل با فرض داشتن حداقل سوخت لازم برای حرکت می‌تواند بپیماید و پس از اتمام سوخت متوقف می‌شود)، مقدار تابع هدف نیز کاهش یافته است و در واقع برای رسیدن به پوشش کامل مقدار K نیز افزایش می‌یابد. کاهش مقدار تابع هدف به دلیل کاهش محدوده پوشش، منطقی بنظر می‌رسد زیرا که هرچه محدوده پوشش کاهش می‌یابد طبیعتاً مقدار جریان ترافیک بیشتری در شبکه متوقف مانده و قابل پوشش دادن نیست، به همین ترتیب با افزایش محدوده پوشش، توان پوشش دهی در شبکه افزایش می‌یابد. شکل شماره (۷) میزان حساسیت مدل به پارامتر مسافت پوشش را نشان می‌دهد.



شکل ۷. نمودار میزان حساسیت مدل به پارامتر مسافت پوشش

میزان حساسیت مدل به پارامتر λ_{max} بیشتر بوده، به این نحو که هرچه λ_{max} کاهش یافته، جریان‌های پوشش نیافته در شبکه افزایش می‌یابد و این امر نیز منطقی بنظر می‌رسد زیرا وقتی λ_{max} کاهش می‌یابد در واقع بیشترین مقدار ظرفیت قابل سرویس دهی توسط هر ایستگاه کاهش می‌یابد، به این ترتیب شبکه با ظرفیت سرویس دهی پایین‌تر در هر ایستگاه، توانایی پوشش دهی همه یال‌ها را در یک تعداد ایستگاه تامین کننده معین ندارد و جریان ترافیک تحت پوشش کاهش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش λ_{max} در واقع توان سرویس دهی بیشتر از مقدار طول صف در ایستگاه‌ها شده و تغییری در مقدار تابع هدف مشاهده نمی‌شود که این بی‌تغییر بودن نیز منطقی بنظر می‌رسد. شکل شماره (۸) میزان حساسیت مدل به پارامتر حداکثر ظرفیت سرویس دهی هر ایستگاه (λ_{max}) را نشان می‌دهد.

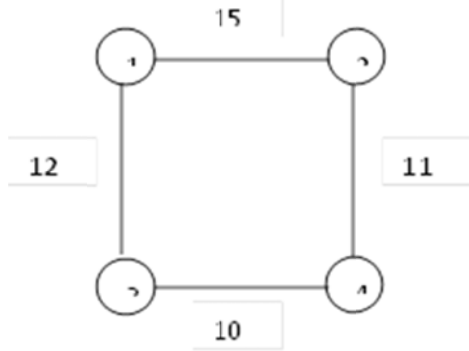
واقعی، بهتر است مکان ایستگاه تامین کننده سوخت از گره‌ها/ تقاطع‌های خیابان) به یال‌ها (خیابان‌ها) انتقال یابد. همچنین در مورد اعمال محدودیت صف در این مدل می‌توان گفت که بدون اعمال محدودیت صف، جواب بدست آمده از حل شبکه در واقع تعداد ایستگاه و مکان ایستگاه‌های تامین سوخت را بدون توجه به ایجاد ازدحام و شلوغی نامطلوب در ایستگاه، تعیین می‌نماید؛ به این معنی که شبکه پوشش کامل پیدا می‌نماید اما جواب بدست آمده یک شبکه‌ی ایده آل برای سوخت رسانی را فراهم نکرده است زیرا به دلیل ایجاد ازدحام در مکان سرویس دهی، شبکه از لحاظ یک سیستم صف، ایده آل بنظر نمی‌رسد. برای این منظور، برای جلوگیری از ایجاد ازدحام در ایستگاه‌های سرویس دهی و توزیع مناسب جریان وسایل نقلیه بین ایستگاه‌ها، محدودیت صف ایجاد شونده با تعیین حداکثر ظرفیت قابل پوشش یا به عبارتی حداکثر جریان عبوری قابل پوشش، می‌تواند تضمین نماید که ضمن پوشش جریان، ازدحام و شلوغی نامطلوب در ایستگاه ایجاد نخواهد شد.

جدول (۳) و شکل (۶) خلاصه‌ای از نتایج حل شبکه ۳۵ گره‌ای مورد مطالعه، برای محدوده‌ی مسافت پوشش معادل ۱۰۰۰ واحد، برای مدل ارائه شده در حالت‌های بدون محدودیت صف و با اعمال محدودیت صف، را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج حل با تعداد ایستگاه‌های برابر، معادل ۳ ایستگاه (۳ یال منتخب جهت احداث ایستگاه) در هر دو حالت بدون محدودیت صف و با اعمال محدودیت صف را نتیجه داده است.

نکته‌ی دیگری که از جواب‌های بدست آمده می‌توان مشاهده نمود این است که در حالت بدون محدودیت صف، در هر تعداد تسهیل معین، تعداد یال‌های پوشش نیافته‌های کمتری وجود دارد؛ یعنی بدون در نظر گرفتن محدودیت صف، تامین کنندگان سعی در تامین هر چه بیشتر تقاضاها بدون توجه به ایجاد ازدحام در شبکه، دارند، که این مغایر با یک سیستم صف مطلوب است. در نهایت اینکه جواب‌های بدست آمده با احتساب محدودیت صف، شبکه‌ی ایده آلی را برای تامین سوخت وسایل نقلیه فراهم می‌سازد. به این ترتیب، جواب‌های کسب شده با اعمال محدودیت صف، دارای ارجحیت است. همچنین در مقایسه جریان مبتنی بر گره و یا مبتنی بر یال، با این فرض مسئله که قرار است جریان‌های عبوری از یال‌های شبکه تامین شود و تقاضا در این نوع شبکه در حال حرکت است نه در حال سکون، در نتیجه، جواب‌های رویکرد یال محور (در حال حرکت) منطقی‌تر از رویکرد گره محور (در حال سکون) است.

۸. تحلیل حساسیت

نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که با فرض ثابت بودن پارامترهای λ_{max} ، K و C'_{OD} هرچه قدر محدوده پوشش کمتر



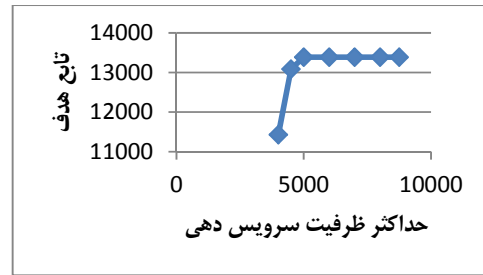
شکل ۹. شبکه مورد مطالعه برای مقایسه جواب‌های الگوریتم و حل دقیق، مسافت پوشش معادل ۱۴ واحد

جدول ۴. خلاصه نتایج حل شبکه به کمک الگوریتم توسعه یافته و حل به کمک روش دقیق

حل دقیق به کمک قواعد کاهش	
تعداد تسهیل	یال انتخابی (جواب)
۱	$x_{12} = 0, x_{24} = 0, x_{34} = 1, x_{31} = 0$
۲	$x_{12} = 1, x_{24} = 0, x_{34} = 1, x_{31} = 0$
۳	-
۴	-
حل به کمک الگوریتم ابتکاری	
تعداد تسهیل	یال انتخابی (جواب)
۱	۴-۳
۲	۴-۳ و ۱-۲
۳	-
۴	-

از دیگر نقاط ضعفی که می‌توان به حل صرفاً مکان‌یابی ایستگاه‌های سوخت اشاره نمود، در نظر نگرفتن این مدل به عنوان یک سیستم صف است، که نادیده گرفتن آن می‌تواند منجر به خسارت‌ها، هزینه‌ها و اتلاف زمان شود. این در حالی است که می‌توان با طراحی این شبکه با در نظر گرفتن محدودیت صف ایجاد شونده در سیستم صف ایده آل، از بوجود آمدن حوادث و خسارت‌های ناشی از آن جلوگیری کرد.

نوآوری دیگری که در این پژوهش در نظر گرفته شده است، رویکرد جریان محور بودن تقاضا و مکان تسهیل خدمت‌دهنده در شبکه است. در مدل‌های کلاسیک مکان‌یابی، تقاضا به طور قطعی بر روی نقاط مشخصی تعریف می‌شود، این نوع نگرش بیشتر برای انبارها، فروشگاه‌ها و موارد دیگری مناسب است که تقاضا در حقیقت



شکل ۸. نمودار میزان حساسیت مدل به پارامتر حداکثر ظرفیت سرویس دهی هر ایستگاه (λ_{max})

۸. اعتبارسنجی مدل

مقایسه بین حل دقیق بدست آمده از روش‌های دقیق مانند حل با قواعد کاهش، با جواب‌های کسب شده از الگوریتم ابتکاری توسعه یافته نشان می‌دهد که در ابعاد کوچک، جواب‌های الگوریتم به حل دقیق بسیار نزدیک است، اما در مورد ابعاد بزرگتر مساله به طور قطع نمی‌توان اظهار نظر نمود. الگوریتم ابتکاری مبتنی بر یال ارائه شده در این مقاله با شبکه‌ای متشکل از ۵۵ یال در یک شبکه واقعی قادر به تولید حل بوده، نتایج تست نشان داده است که الگوریتم ارائه شده برای بیشتر از این متعداد یال نیز قادر به تولید جواب می‌باشد. شکل شماره (۹) و جدول (۴)، نتایج تست شبکه در ابعاد کوچک و مقایسه با حل دقیق را نشان می‌دهد. همچنین مدل ریاضی ارائه شده توسط نرم افزار گمز نسخه ۲۳.۶ اعتبارسنجی شده است و قادر به تولید حل می‌باشد. همچنین جواب‌های حاصل از نرم افزار گمز برای حل مدل، دارای اختلاف کمی با جواب‌های حاصل از الگوریتم است؛ که البته این می‌تواند به لزوماً بهینه نبودن جواب‌های الگوریتم‌های مبتنی بر الگوریتم حریصانه اشاره داشته باشد.

۹. جمع‌بندی و پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی

در این مقاله، سعی شده است تا با تلفیق مفاهیم مکان‌یابی، طراحی شبکه تامین سوخت وسایل نقلیه با دید یک سیستم صنعتی و همچنین مفهوم سیستم صف، گامی نو در ارائه ی یک مسئله ی جدید در حوزه ی مکان‌یابی در مسائل مهندسی صنایع برداشته شود.

مدل‌ها و روش‌های ابتکاری حل ارائه شده در این مقاله، برای تعیین مکان‌های بهینه احداث ایستگاه‌های تامین سوخت در یک شبکه از مسیرهای جاده ای است. معمولاً برای حل مسائلی مشابه به این مسئله البته با این دیدگاه که تقاضای شبکه بر روی گره‌ها مستقر است مانند انبارها و فروشگاه‌ها، از مدل‌های معروف مکان‌یابی مانند p-میانه، p-مرکز استفاده می‌کنند با این فرض که تقاضا بر روی نقاط مشخصی استوار است؛

بودن مفاهیم اولیه آن با مدل‌های ارائه شده در این پایان نامه، برای مقایسه جواب‌ها پیشنهاد می‌گردد.

پی‌نوشت

1. Mixed-integer linear program
2. Flow refueling location model
3. Deviation-flow refueling location model
4. Flow capturing location model
5. Origin-Destination
6. Street Data Base

مراجع

- [۱] سیدحسینی، سیدمحمد، حیدری، روح‌اله، حیدری، طاهره، "حل مساله مکان‌یابی پایانه‌های شبکه اتوبوس‌رانی درون‌شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک" نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران، (پاییز ۱۳۸۸)، جلد ۲۰، شماره ۳، صفحه ۷۵-۸۶.
- [۲] تقوی‌فرد، محمدتقی، شهسواری، آرین، "ارائه یک مدل ریاضی جهت حل مساله مکان‌یابی-تخصیص چندهدفه با استفاده از روش فوق‌ابتکاری شبیه‌سازی تبرید (SA)" نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران، (زمستان ۱۳۸۷)، جلد ۱۹، شماره ۴، صفحه ۹۳-۱۰۵.
- [۳] محسنی، نصیر، بهزادیان، کوروش، اردشیر، عبدالله، "مکان‌یابی محل ساخت پل با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی در GIS" نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران، (بهار ۱۳۹۰)، جلد ۲۲، شماره ۱، صفحه ۱۲-۲.
- [4] Capar Ismail., Kuby Michael., "An efficient formulation of the flow refueling location model for alternative-fuel stations", IIE Transactions. (2012), Vol. 44, No. 8.
- [5] Lim Seow., Kuby Michael., "Heuristic algorithms for siting alternative-fuel stations using the Flow-Refueling Location Model", European Journal of operational research, (2010), No. 204, pp. 51-61.
- [6] Kuby Michael., Lim Seow., "The flow-refueling location problem for

متمركز بر روی یک نقطه مشخص است، در حالیکه در مسئله‌ی مورد مطالعه در این مقاله، مفهوم تقاضا به وسایل نقلیه عبور کننده از جاده‌های یک شهر اتلاق می‌شود که با توجه به میزان سوختی که در مخزن خود دارند، می‌توانند ادامه مسیر بدهند و به مقصد برسند. درواقع تقاضا، به عنوان جریان ترافیک عبوری روی یال‌های شبکه تعریف می‌شود نه تقاضای مستقر بر روی گره‌های شبکه. برای مدل‌سازی و حل چنین مسئله‌ای، اساساً در نظر گرفتن تقاضا بر روی گره بی‌مفهوم و غیر منطقی بنظر می‌رسد. الگوریتم طراحی شده در این پژوهش، مکان بهینه ایستگاه‌های تامین کننده سوخت را محدود به گره‌های شبکه نمی‌کند، بلکه ایستگاه‌های توزیع کننده سوخت بر روی یال‌های شبکه مستقر می‌شوند که این خیلی منطقی‌تر از استقرار ایستگاه‌های توزیع کننده سوخت بر روی تقاطع‌های (گره‌های) یک شبکه متشکل از خیابان‌های شهری است.

پس از حل مدل به کمک الگوریتم ارائه شده برای شبکه ۳۵ گره‌ای طراحی شده برای بخشی از شهر تهران، جواب بهینه شامل ۳ ایستگاه جهت احداث ایستگاه توزیع سوخت است. مقایسه جواب‌های بدست آمده در دو حالت بدون در نظر گرفتن محدودیت صف و با در نظر گرفتن آن، نشان می‌دهد که در حالت بدون محدودیت صف، تقاضاها بدون توجه به صف ایجاد شونده و ایجاد ازدحام در شبکه صرفاً تحت پوشش قرار می‌گیرند، این در حالی است که با اعمال محدودیت صف در الگوریتم، ایستگاه‌هایی که توانایی پوشش دادن بالایی دارند از تمام توان خود برای پوشش دادن ایستگاه استفاده نمی‌کنند و حد ظرفیتی که هر ایستگاه می‌تواند در صورت رعایت محدوده‌ی پوشش، تحت پوشش قرار دهد با توجه به ظرفیت جمعیت مشتریان بالقوه وارد شونده به هر ایستگاه تعریف می‌شود. به این ترتیب الگوریتم با انتخاب ایستگاه‌هایی که می‌توانند ضمن رعایت محدوده‌ی پوشش و محدودیت صف ایجاد شونده، بیشترین تقاضا را تحت پوشش قرار دهند، عمل می‌کند. در زیر مواردی برای پژوهش‌های آتی مرتبط پیشنهاد می‌گردد.

۱- نکته‌ای که می‌تواند این مدل را به واقعیت نزدیکتر نماید، در نظر گرفتن تقاضا به عنوان یک پارامتر فازی و یا احتمالی است؛ حقیقت این است که جریان ترافیک عبوری از جاده‌ها در واحد زمان را به طور قطعی نمی‌توان با یک عدد در نظر گرفت، بلکه بستگی به ساعات مختلف در روز، می‌تواند این جریان به حالت اعداد فازی بیان گردد.

۲- در این مقاله، یک الگوریتم ابتکاری برای مسئله مورد پژوهش ارائه شده است. پیشنهاد می‌گردد که از الگوریتم فراابتکاری که مفاهیم پایه‌ای آن مبتنی بر مسیر باشد یا به نوعی بتوان آن را به مبتنی بر مسیر تبدیل نمود، برای مقایسه جواب استفاده گردد. استفاده از الگوریتم فراابتکاری کلونی مورچگان به دلیل نزدیک

- network: Edmonton, Canada”, European Journal of Operational Research, (1996), Vol. 90, pp. 427-443.
- [16] Rolland E., Schilling D.A., & Current J.R., “An efficient tabu search procedure for the p-median problem” European Journal of Operational Research, (1996), Vol. 96, pp. 329-342.
- [17] Mitchell Melanie., An Introduction to Genetic Algorithms. The MIT Press Cambridge
- [18] Holland John. H., Adaptation in Natural and Artificial Systems , University of Michigan Press, Ann Arbor , (1975).
- [19] Hosage C.M., Goodchild M.F.,” Discrete space location-allocation solutions from genetic algorithms” Annals of Operations Research, (1986), Vol. 39 , pp. 157-173.
- [20] Alp O., Erkut E., Drezner Z., “An efficient genetic algorithm for the p-median problem” Annals of Operations Research, (2003), Vol. 122, pp. 21-42.
- [21] Correa E.S., Steiner M.T.A., Freitas A.A., & Carnieri C., “A genetic algorithm for solving a capacitated p-median problem” Numerical Algorithms, (2004), Vol. 35 , pp. 373-388.
- [22] Jaramillo J.H., Bhadury J., & Batta R., “On the use of genetic algorithms to solve location problems” Computers & Operations Research, (2002), Vol. 29, pp. 761-779.
- alternative-fuel vehicles” , Socio-Economic Planning Sciences, ,(2005), Vol. 391, pp. 25-45.
- [7] Kim Jong. Geun., Kuby Michael., “The deviation-flow refueling location model for optimizing a network of refueling stations”, International Journal of hydrogen energy, ,(2012), Vol. 37 pp. 5406-5420.
- [8] Kim Jong.Geun.,Kuby Michael., “ A network transformation heuristic approach for the deviation flow refueling location model “, Computers & Operations Research, (2013) Volume 40, No. 4, pp. 1122-1131.
- [9] Hodgson M.J., “A flow capturing location-allocation model”., Geographical Analysis, (1990), Vol. 22, pp. 270-279.
- [10] Berman O., Larson R., & Fouska N., “Optimal location of discretionary service facilities “, Transportation Science, (1992), Vol. 26, pp. 201-211.
- [11] Teitz M.B., Bart P., “Heuristic methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph”, Operations Research,(1968), Vol. 16 , pp. 955-961.
- [12] Daskin Mark.S., “Network and Discrete Location Analysis”, John Wiley and Sons, New York, (1995).
- [13] Church Richard., Revelle Charles., “The maximal covering location problem” Papers in Regional science, (1973), Vol. 32 , pp. 101-118.
- [14] Chvatal V., “A greedy heuristic for the set-covering problem”, Mathematics of Operations Research, (1979), Vol. 4, No. 3, pp. 233-235.
- [15] Hodgson M.J., Rosing K.E., & Storrier A.L.G., “Applying the flow-capturing location-allocation model to an authentic