

کاهش مصرف سوخت در مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ترافیک شهری، مطالعه موردی: یک شرکت توزیع در اصفهان

مهدی علینقیان (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
منصوره نادری‌پور، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

E-mail: alinaghian@cc.iut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۹

چکیده

حمل و نقل بخش قابل توجهی از تولید ناخالص ملی هر کشوری را به خود اختصاص می‌دهد و بخش بزرگی از مصرف سوخت در این حوزه رخ می‌دهد. به همین دلیل در سال‌های اخیر توجه زیادی به کاهش مصرف سوخت در مسیریابی وسائط نقلیه صورت گرفته است. مساله مسیریابی وسائط نقلیه، از جمله مسائل مهم مدیریت در زمینه توزیع و لجستیک است. در این مقاله به طور جامع به بررسی عوامل مؤثر در مصرف سوخت در مسیریابی وسائط نقلیه پرداخته شده و با در نظر گرفتن عواملی همچون بار و سرعت وسیله نقلیه، مسافت طی شده، شیب جاده و ترافیک شهری به بهینه‌سازی مصرف سوخت در مسیریابی وسائط نقلیه پرداخته شده است، به این منظور، با توجه به عوامل ذکر شده یک مدل ریاضی غیرخطی به منظور کاهش مصرف سوخت ارائه گردیده است. با توجه به NP-hard بودن مساله مطرح شده، به منظور حل مدل پیشنهادی، یک الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته ارائه و با الگوریتم کرم شب‌تاب پایه مقایسه شده است. نتایج نشان‌دهنده کارایی مناسب الگوریتم پیشنهادی است. این الگوریتم به طور متوسط ۲/۵۵ درصد بهتر از الگوریتم پایه عمل کرده است. از سوی دیگر مدل جدید به طور میانگین سبب کاهش ۱۳ درصد در مصرف سوخت در مثال‌های نمونه گردیده است. در نهایت به منظور بررسی تأثیر مدل پیشنهادی یک مطالعه موردی در شهر اصفهان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج کاهش ۱۵ درصد مصرف سوخت در یک روز را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل، مساله مسیریابی وسائط نقلیه، مسیریابی شهری با توجه به ترافیک، مصرف سوخت، الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته

۱. مقدمه

ترافیک در طی روز تغییر می‌کند که نمونه‌هایی از این وضعیت را می‌توان در مراکز اصلی شهرها مشاهده نمود. در نتیجه در مناطق شهری و در ساعت‌های پرازدحام، سرعت سفر به طور اساسی کاهش می‌یابد و زمان سفر در طول روز، با توجه به تراکم در مدت ساعت‌های پرازدحام تغییر می‌کند [Kuo, 2010].

راکها و همکاران اشاره کردند که مدل‌های بسیاری از تولید آلاینده‌ها و انرژی در دسترس هستند و در روش مدل کردن، ساختار و داده‌های مورد نیاز اختلاف دارند [Rakha, Ahn and Trani, 2003]. مدل‌های تولید آلاینده‌ها به دو دسته عمده مدل‌های ماکروسکوپی و مدل‌های میکروسکوپی تقسیم می‌شوند. مدل‌های میکروسکوپی مدل‌های تحلیلی هستند و بر اساس ویژگی‌های موتور و محیط به تخمین میزان تولید آلاینده‌ها می‌پردازند. مشخصه بارز مدل‌های ماکروسکوپی این است که داده‌هایشان بر پایه اندازه‌گیری‌های جاده‌ای به دست آمده‌اند و از دنیای واقعی نشأت گرفته‌اند. مدل‌های ماکروسکوپی به مدل‌های تولید آلاینده بر پایه رگرسیون نیز معروف هستند [Demir, Bektas and Laporte, 2013]. در این مقاله یک مدل جامع ماکروسکوپی به منظور کمینه کردن مصرف سوخت با توجه به عوامل سرعت، مسافت طی شده، شیب جاده و بار وسیله نقلیه در مسیریابی شهری که مباحث ترافیکی در آن مطرح است، ارائه می‌گردد. با توجه به دانش نویسندگان تاکنون مقاله‌ای که تمامی عوامل مؤثر فوق در میزان مصرف سوخت را در مساله مسیریابی وسائط نقلیه با توجه به مدل ماکروسکوپی در نظر گرفته باشد ارائه نشده است. مزیت این مقاله این است که در آن به عوامل مختلف مؤثر بر سوخت مصرفی (بار و سرعت وسائط نقلیه، مسافت طی شده و شیب جاده) به طور جامع پرداخته شده است. همچنین یک الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری کرم شبتاب برای حل مساله پیشنهاد شده است و در نهایت به منظور بررسی تأثیر مدل بر سوخت مصرفی یک مطالعه موردی در نظر گرفته شده و نتایج حاصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

حمل و نقل^۱ اثرات زیانباری بر محیط زیست دارد که از میان آنها می‌توان به اسیدی‌سازی، اثرات سمی بر روی اکوسیستم و بشر و سروصدا اشاره کرد. در این میان گازهای گلخانه‌ای (GHG) به خصوص دی‌اکسید کربن (CO₂) بیشتر نگران‌کننده هستند و اثراتی مانند آلودگی و نازک‌شدن لایه اوزون را بر روی جامعه بشری دارند [Bektas and Laporte, 2011].

مساله مسیریابی وسائط نقلیه^۲ اولین بار توسط دانتزیگ و رامسر [Dantzig and Ramser, 1959] مطرح گردید. در ادامه کلارک و رایت [Clarke and Wright, 1964] الگوریتم صرفه‌جویی^۳ را برای حل VRP پیشنهاد دادند که مبنای بسیاری از تحقیقات بعدی قرار گرفت. محققان بسیاری بر مساله VRP مطالعه داشته‌اند و روش‌های حل متفاوتی را برای این مساله ارائه کرده‌اند. در مساله مسیریابی وسائط نقلیه پایه در یک گراف کامل $G = (N, A)$ ، $N = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ به عنوان مجموعه گره‌ها و A به عنوان مجموعه کمان‌ها بین هر دو گره تعریف می‌شود که در آن گره‌ها مشتریان و یال‌ها مسیر بین مشتریان را نشان می‌دهند. چندین وسیله نقلیه بطور همزمان از انبار شروع به حرکت کرده، بعد از ملاقات کردن گره‌های تقاضا (مشتریان) به انبار باز می‌گردند، به شرط آن‌که هر گره فقط یک‌بار و توسط یکی از این وسائط نقلیه ملاقات شود و هر وسیله نقلیه بیشتر از ظرفیت خود در طول مسیر بارگذاری نکند. مساله مسیریابی وسائط نقلیه نقش بسیار مهمی در لجستیک و توزیع کالا دارد و ثابت شده است که این مساله از دسته مسائل NP-hard است [Lawrence Bo-din, 1981]. این مساله در پی آن است تا با مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی به گونه‌ای عمل کند که مسافت طی شده، زمان کل سفر، تعداد وسائط نقلیه، جریمه‌های دیرکرد و در نهایت تابع هزینه حمل و نقل، کمینه و رضایت مشتریان حداکثر شود. بسیاری از تحقیقات در رابطه با VRP فرض می‌کنند که سرعت سفر یا زمان سفر در بین مکان‌های مرتبط به هم (مراکز توزیع و مغازه‌های خرده فروش) ثابت هستند [Malandraki and Daskin, 1992]، در صورتی‌که در برخی از موقعیت‌ها حجم

۲. مرور ادبیات موضوع

مساله مسیریابی وسائط نقلیه وابسته به زمان^۱ یکی از دسته مسائل مسیریابی وسائط نقلیه است که علی رغم کاربردی بودن، در ادبیات موضوع کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. در حقیقت در مناطق پرتراکم مانند مراکز شهرها، سرعت سفر (زمان) در طول روز، با توجه به تراکم در مدت ساعت‌های پرازدحام تغییر می‌کند [Fleischmann, Gietz and Gnutzmann, 2004]. مالاندراسکی و داسکین مساله TDVRP و TDTSP^۲ که مساله خاصی از TD-VRP است را در نظر گرفتند. آن‌ها مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط^۳ که شامل پنجره زمانی، ظرفیت وسیله نقلیه و زمان انتظار در محل مشتری است را ارائه کردند. آن‌ها در محاسبه زمان سفر از توابع پله‌ای استفاده کردند و زمان سفر بین دو مشتری را تابعی از فاصله بین دو مشتری و زمانی از روز که سفر اتفاق می‌افتد، در نظر گرفتند. همچنین الگوریتم ابتکاری نزدیک‌ترین همسایگی را پیشنهاد دادند. سپس استفاده از الگوریتم شاخه و برش برای حل مسائل کوچک با تعداد گرهی ۱۰-۲۵ پیشنهاد داده شد [Malandraki and Daskin, 1992]. هیل و بتون یک مساله TDVRP بدون پنجره زمانی را بررسی کردند و یک مدل بر پایه سرعت سفر وابسته به زمان پیشنهاد کردند. نویسندگان همچنین کاربرد روش ابتکاری حریم‌ساز^۴ ساده را برای این مساله بیان کردند [Hill and Benton, 1992]. ایچویا و همکاران مدلی را برای سرعت سفر مساله TDVRP به جای تابع زمان سفر ارائه دادند که جمع وزنی کل زمان و تأخیر را کمینه می‌کرد. آن‌ها روز را به سه بازه زمانی که در آن‌ها سرعت براساس تراکم تغییر می‌کرد، تقسیم کردند. آن‌ها در انتها یک ارزیابی از مدل ارائه شده در محیط‌های پویا و ایستا با الگوریتم جستجوی ممنوع^۵ ارائه نمودند [Ichoua, Gendreau and Potvin, 2003]. حقانی و جانگ زمان سفر را بر اساس یک تابع وابسته به زمان شروع سفر مدل نمودند. همچنین یک الگوریتم ژنتیک^۶ را برای TDVRP پیشنهاد کردند که توسط الگوریتم دقیق برای مثال‌های تا حد ۳۰ مشتری صحه‌گذاری شد [Haghani and Jung, 2005]. چن و همکاران مساله TDVRP را توسط برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط حل

کردند و یک الگوریتم ابتکاری را برای حل آن پیشنهاد کردند [Chen, Hsueh and Chang, 2006]. دوناتی و همکاران اهمیت بهینه‌سازی زمان شروع سفر را علاوه بر بهینه‌سازی مسیرها در محیط وابسته به زمان مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که درجه شدنی بودن (تجاوز نکردن از محدودیت زمانی) و بهینه بودن جواب‌ها در مدل سرعت ثابت زمانی که در مفهوم وابسته به زمان استفاده می‌شوند، با افزایش تغییرات موقعیت‌های ترافیکی کاهش می‌یابد [Donati et al. 2008]. هاشیموتو و همکاران هر دو مساله مشخص کردن تورهای وسائط نقلیه در شرایط طول سفر وابسته به زمان و بهینه‌سازی زمان حرکت را مورد بررسی قرار داده و پنجره زمانی را در مدلشان وارد کردند [Hashimoto, Yagiura and Ibaraki, 2008]. بالسیرو و همکاران مساله TD-VRP را با توجه به توزیع زمان سفر پله‌ای بررسی کردند که در آن از ترکیب الگوریتم کلونی مورچگان^۷ و روش ابتکاری جایگذاری^۸ برای مساله TDVRP با پنجره‌ی زمانی استفاده شد [Balseiro, Loiseau and Ramonet, 2011]. ستاک و همکاران مساله مسیریابی وابسته به زمان با پنجره زمانی نرم را با توجه به زمان سفر وابسته به زمان ارائه دادند. ایشان برای حل مدل خود از الگوریتم جستجوی ممنوع استفاده کردند [Setak et al. 2013]. صابریان و سعیدی به منظور یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه در یک شبکه وابسته به زمان یک روش ابتکاری ارائه کردند که در مقایسه با الگوریتم دایجسترا، نتایج مناسبی را به دست می‌آورد. [Saberian and Saïdi, 2010]

در سالهای اخیر توجه زیادی در زمینه کاهش تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی و مصرف سوخت‌های فسیلی صورت پذیرفته است، در این میان لجستیک سبز با اندازه‌گیری تأثیرات زیست‌محیطی استراتژی‌های مختلف توزیع، کاهش مصرف انرژی، مصرف سوخت و تولید آلاینده‌ها سروکار دارد [Sbihi and Eglese, 2007a]. مدل‌های تولید آلاینده‌ها به دو دسته عمده مدل‌های ماکروسکوپی و مدل‌های میکروسکوپی تقسیم می‌شوند. مشخصه بارز مدل‌های ماکروسکوپی این است که داده‌هایشان بر پایه اندازه‌گیری‌های جاده‌ای به دست آمده‌اند و از

[sel and de Kok, 2012]

مدل‌های میکروسکوپیک مدل‌های محاسبه تولید آبی آلاینده‌های گرم (در زمان t) وسیله نقلیه هستند. مدل‌های آبی برای پیش‌بینی دقیق‌تر آلاینده‌های تولید شده حاصل از ترافیک بکار می‌روند. این مدل‌ها وابسته به متغیرهای سینماتیک (جنبشی) وسیله نقلیه مانند سرعت و شتاب هستند. از جمله تحقیقاتی که از این‌گونه مدل‌ها برای محاسبه میزان آلاینده‌های تولید شده استفاده شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

پالمر مدل‌های تولید آلاینده CO₂ را در مسیریابی وسائط نقلیه با پنجره زمانی مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان‌دهنده کاهش ۵٪ تولید آلاینده در هدف کمینه کردن این آلاینده در مقایسه با زمان سفر است [Palmer, 2007]. اورکوهارت و همکاران مساله VRPTW را برای یافتن جوابهای با تولید CO₂ پایین با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی حل کردند. نویسندگان تجزیه و تحلیلی میان میزان صرفه‌جویی CO₂، مسافت طی شده و تعداد وسائط نقلیه مورد نیاز انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که صرفه‌جویی تا حد ۱۰٪ با توجه به مساله نمونه و معیار رتبه‌بندی استفاده شده در الگوریتم تکاملی قابل دستیابی است [Urquhart, Hart and Scott, 2010b]. بکتاس و لاپورته مدل PRP را با یا بدون پنجره زمانی با تابع هدف جامع کمینه کردن هزینه تولید آلاینده‌های کربن، هزینه‌های رانندگان و مصرف سوخت توسعه دادند. هر چند مدل آن‌ها فرض کرد که حداقل سرعت در ۴۰ km/h است، این فرض برخلاف موقعیت‌های متراکم است [Bektas and Laporte, 2011]. دمیر و همکاران سرعت بهینه رانندگی را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که کاهش تولید آلاینده‌ها می‌تواند توسط تغییر سرعت در شبکه روی دهد. قابل ذکر است سرعت بهینه در یک حد مطمئن و طبق محدودیت‌های سرعت و ترافیک تغییر می‌کند [Demir, Bektas and Laporte, 2012]. فرانسسچتی و همکاران هزینه‌های راننده، مصرف سوخت و تولید آلاینده CO₂ را تحت شرایط تراکم ترافیک مورد بررسی قرار دادند. نویسندگان موقعیت‌هایی را بررسی کردند که بهتر است وسیله نقلیه برای دوری از تراکم ترافیک در محل‌های مشخصی منتظر بماند تا از تراکم

دنیای واقعی نشأت گرفته‌اند. از جمله تحقیقاتی که از مدل‌های ماکروسکوپیک برای محاسبه میزان آلاینده‌های تولید شده استفاده کرده‌اند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

کیم و همکاران ارتباط بین هزینه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای و تولید آلاینده CO₂ را بررسی کردند. در مطالعه ایشان تولید آلاینده CO₂ به عنوان تابعی از سرعت سفر و مسافت پیموده شده تخمین زده شد [Kim, Janic and Vanwee, 2009]. مادن و همکاران مساله TDVRP را با تراکم مورد بررسی قرار دادند. ایشان ۷٪ کاهش تولید آلاینده CO₂ را که بعد از مسیریابی بر طبق سرعت متنوع زمانی مشاهده شد گزارش کردند. هرچند مدل آن‌ها به کمینه کردن زمان سفر بیشتر از کمینه کردن آلاینده تولید شده تأکید داشت [Maden, Eglese and Black, 2010]. فیگیلوزی هدف کمینه کردن تولید آلاینده‌ها و مصرف سوخت را مطالعه کرد. وی مساله تولید آلاینده‌ها در مسیریابی وسائط نقلیه^{۲۲} را به عنوان توسعه‌ای از مساله TDVRP مورد بررسی قرار داد. هدف EVRP کمینه کردن هزینه‌های تولید آلاینده است که به صورت نسبتی از تولید گازهای گلخانه‌ای (GHG) و تابعی از سرعت سفر و مسافت طی شده است. نویسندگان با سه طبقه ترافیکی غیر متراکم، تاحدی متراکم و موقعیت‌های ترافیکی متراکم کار کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که سفر در مناطق غیرمتراکم به دلیل بالا بودن سرعت وسائط نقلیه سبب تولید آلاینده کمتر می‌گردد. البته در بعضی از مواقع تناقض نیز دیده می‌شود. همچنین ۲۰٪ کاهش در تولید آلاینده‌ها توسط بهینه کردن زمان‌های حرکت امکان‌پذیر است [Figliozzi, 2010]. جبلی و همکاران زمان سفر و تولید آلاینده CO₂ را در مساله TDVRP با توجه به محدود کردن سرعت وسیله نقلیه در نظر گرفتند. ایشان رانندگی در مناطق متراکم را که سبب کاهش سرعت و در نتیجه آن افزایش CO₂ تولید شده می‌شود مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع، کاهش به طور متوسط ۱۱/۲٪ در تولید آلاینده CO₂ به دست آمد که نیازمند افزایش زمان سفر ۱۴/۸٪ برای سرعت‌های زیر ۹۰ (km/h) بود. به علاوه افزایش ۴/۷٪ در زمان سفر باعث کاهش ۳/۷٪ در CO₂ گردید [Jabali, Van Woen-]

۳. تعریف مساله

مساله مسیریابی وسائط نقلیه پایه را می‌توان به صورت یک گراف کامل $G = (N, A)$ ، $N = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ به عنوان مجموعه گره‌ها و A به عنوان مجموعه کمان‌ها بین هر دو گره تعریف کرد که در آن گره‌ها مشتریان و یال‌ها مسیر بین مشتریان را نشان می‌دهند و گره صفر گره مبدا را نشان می‌دهد. هر مشتری تقاضای d_i دارد و $d_0 = 0$ است. تابع هدف در این مساله، کمینه کردن هزینه توسط وسائط نقلیه است، با توجه به اینکه:

(۱) هر مشتری دقیقاً یکبار و توسط یک وسیله نقلیه ملاقات می‌شود.

(۲) همه وسائط نقلیه، سفرشان در یک مکان (مبدأ) شروع می‌شود و پایان می‌پذیرد.

(۳) تقاضای کل هر مسیر کمتر از ظرفیت وسیله نقلیه (Q) تخصیص داده شده به آن مسیر است.

همانطور که بیان شد، با توجه به دانش نویسندگان در ادبیات مسیریابی وسائط نقلیه تاکنون توجه جامعی به عوامل تأثیرگذار سرعت، بار، مسافت طی شده و شیب جاده در مصرف سوخت در مسیریابی وسائط نقلیه صورت نگرفته است و هریک از عوامل به تنهایی مورد توجه قرار گرفته شده‌اند، در صورتی که عوامل ذکر شده بر یکدیگر و در نتیجه مصرف سوخت وسیله نقلیه تأثیر گذارند. بنابراین توجه توأم به عوامل مؤثر بر مصرف سوخت می‌تواند سوخت وسائط نقلیه را کاهش داده و این خود علاوه بر کاهش هزینه‌های سوخت مصرفی باعث کم شدن آلودگی هوا که یکی از نگرانی‌های عمده است، می‌گردد. در این مقاله علاوه بر در نظر گرفتن موارد فوق، توجه به مباحث ترافیکی نیز مد نظر قرار گرفته و با توجه به عوامل ذکر شده سعی در حداقلسازی میزان مصرف سوخت در مساله مسیریابی وسائط نقلیه گردیده است. در مساله مسیریابی وسائط نقلیه وابسته به زمان، زمان سفر از یک گره به گره دیگر به زمان شروع سفر وابسته است. به بیان دیگر کل زمان سفر بین دو مشتری و بین مشتری و مبدأ به فاصله بین گره‌ها و زمانی از روز که سفر آغاز شده بستگی دارد.

تغییر در زمان سفر به دلیل تغییر در تراکم ترافیک در ساعات

دوری کند و هزینه آلاینده‌های تولید شده کاهش یابد. نتایج آن‌ها نشان داد که کاهش ۲۰٪ در هزینه‌های راننده، مصرف سوخت و آلاینده CO_2 قابل دستیابی است [Franceschetti et al. 2013]. در این میان تحقیقاتی نیز وجود دارند که از دو رویکرد عنوان شده استفاده نکرده و از روش‌های خلاقانه به منظور مدل‌سازی بهره برده‌اند، از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

کارا و همکاران مساله کمینه کردن انرژی مسیریابی وسائط نقلیه^{۱۳} را مانند CVRP^{۱۴} با یک تابع هدف جدید هزینه که شامل حاصلضرب کل بار و طول کمان بود، مدل کردند. طبق نظر نویسندگان، این مدل باعث کمینه کردن کل نیاز انرژی و در نهایت کل مصرف سوخت می‌شود، ولی جزئیات فرمول‌نویسی مصرف سوخت تهیه نشد [Kara, Kara and Yetis, 2007]. یانگ و زیایوفنگ مساله مسیریابی وسائط نقلیه را با توجه به مصرف سوخت مدل کردند و در مدلشان میزان مصرف سوخت را تنها به بار وسیله نقلیه ربط دادند. در تابع هدفشان هر دو هدف کمینه کردن مسافت سفر و سوخت وسیله نقلیه را در نظر گرفتند. ایشان پیشنهاد کردند که وسائط نقلیه برای این که مصرف سوخت کمتری داشته باشند در ابتدا مشتریان با تقاضای بیشتر، سپس مشتریان با تقاضای کمتر را سرویس‌دهی کنند [Yong and Xiaofeng, 2009]. کو علاوه بر مسافت سفر و وزن بار، سرعت سفر را نیز به مدل محاسبه مصرف سوخت در مساله TDVRP اضافه کرد [Kuo, 2010]. فرمول‌نویسی مصرف سوخت توسط زیایو و همکاران انجام شد. ایشان یک نرخ مصرف سوخت (FCR) را که تابعی از بار وسیله نقلیه است، به مدل CVRP اضافه کردند (FCVRP) و مدل CVRP را با هدف کمینه کردن مصرف سوخت توسعه دادند. در مقاله ایشان هر دو عامل مسافت طی شده و بار، به عنوان فاکتورهایی که هزینه سوخت را مشخص می‌کنند مورد بررسی واقع شد [Xiao et al. 2012]. نوروزی و همکاران مدلی جدید را برای مساله مسیریابی وسائط نقلیه به منظور کاهش سوخت مصرفی و اندازه ناوگان ارائه دادند. ایشان از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات بهبود یافته به منظور حل مدلشان استفاده کردند [Norouzi, Razmy and Amalnik, 2013].

لوله‌های سوخت رسانی) است. میزان تولید آلاینده‌های خروجی از آگروز نیز وابسته به دمای موتور وسیله نقلیه است که در مجموع با توجه به موارد فوق منشأ ایجاد آلاینده‌ها در وسائط نقلیه را می‌توان در سه وضعیت زیر در نظر گرفت [Hickman et al. 1999]:

۱. تولید آلاینده‌ها در وضعیت گرم موتور: در این حالت تولید آلاینده‌ها برای شرایطی که موتور وسیله نقلیه گرم شده است مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. تولید آلاینده‌ها در وضعیت سرد موتور: معمولاً میزان آلاینده‌های وسیله نقلیه در وضعیت سرد بیشتر از میزان تولید آلاینده‌ها در وضعیت گرم است. این وضعیت میزان اضافه تولید آلاینده‌ها در وسائط نقلیه هنگامی که موتور وسیله نقلیه سرد است را نشان می‌دهد و این نوع تولید آلاینده برای هر سفر یکبار در اول سفر اتفاق می‌افتد.

۳. تولید آلاینده‌های ناشی از تبخیر: دمای موتور، وضعیت و برخی عوامل دیگر سبب می‌گردد تا سوخت و مایعات درون موتور به تدریج در وسائط نقلیه تبخیر شده و ایجاد آلاینده‌ها نمایند. به این وضعیت، تولید آلاینده ناشی از تبخیر اطلاق می‌گردد. با توجه به توضیحات داده شده کل تولید آلاینده‌ها توسط وسائط نقلیه را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود.

$$E = E_{start} + E_{hot} + E_{evaporate} \quad (2)$$

در این معادله E کل آلاینده‌های تولید شده وسیله نقلیه (gt)، E_{hot} ، E_{start} و $E_{evaporate}$ به ترتیب مربوط به تولید آلاینده‌ها در وضعیت گرم موتور، اضافه تولید آلاینده‌ها در وضعیت سرد موتور و تولید آلاینده‌های ناشی از تبخیر (gt) است. به دلیل همبستگی بالای میزان سوخت مصرفی و تولید CO_2 در ادامه میزان تولید این آلاینده مورد بررسی قرار می‌گیرد [Hickman et al. 1999].

۳-۱ آلاینده‌های ایجاد شده در وضعیت گرم موتور

مهم‌ترین وضعیت ایجاد آلاینده‌ها مربوط به وضعیت گرم موتور است، زیرا میزان طی سفر در وسائط نقلیه در این وضعیت بسیار طولانی‌تر از وضعیت سرد است. عوامل تأثیرگذار بر میزان تولید آلاینده‌ها در این وضعیت عبارت‌اند از: سرعت وسیله نقلیه، شیب

مختلف روز رخ می‌دهد. در واقع در محیط شهری مترکم، زمان سفر بین دو گره (مشتری) معمولاً تنها تابعی از فاصله طی شده بین دو گره نیست، زیرا که سرعت وسائط نقلیه ثابت نیست و در طول زمان تغییر می‌کند. تغییرات سرعت ناشی از دو جزء است. جزء اول مربوط به سیکل‌های تغییرات ساعتی روزانه و هفتگی است و جزء دوم ناشی از بروز حوادث غیرمترقبه همچون تصادفات و غیره است [Malandraki and Daskin, 1992].

علی‌رغم تفکر عمومی، کاهش مسافت طی سفر و زمان سفر الزاماً باعث کاهش مصرف سوخت نمی‌شود و نکته کلیدی آن است که مصرف سوخت تابعی از عوامل مختلفی همچون میزان بار و سرعت وسیله نقلیه و شیب جاده علاوه بر مسافت و زمان طی شده است. میزان مصرف سوخت طبق رابطه زیر ارتباط مستقیم با میزان آلاینده‌های تولید شده توسط وسیله نقلیه دارد [Bektas and Laporte, 2011].

$$F = \delta_1 E + \delta_2 \quad (1)$$

در این رابطه E نرخ آلاینده‌های تولید شده، F نرخ مصرف سوخت و δ_1 و δ_2 مقادیر ثابتی می‌باشند. رابطه (۱) به این موضوع اشاره دارد که میزان آلاینده‌های تولید شده ارتباط مستقیمی با نرخ مصرف سوخت دارد. طبق این رابطه با کاهش میزان مصرف سوخت، میزان آلاینده‌های تولید شده کاهش یافته و همچنین تلاش برای کاهش تولید آلاینده‌ها سبب کاهش میزان مصرف سوخت می‌گردد. در این مقاله به منظور محاسبه میزان آلاینده‌های تولید شده از مدل MEET که توسط هیکن و همکاران ارائه گردید و یکی از مدل‌های پرکاربرد ماکروسکوپی است استفاده شده است و آلاینده CO_2 نیز برای برآورد مصرف سوخت مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل همبستگی بالای میزان سوخت مصرفی و تولید CO_2 در ادامه میزان تولید این آلاینده مورد بررسی قرار می‌گیرد [Hickman et al. 1999].

تولید آلاینده‌ها در وسائط نقلیه به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شود: دسته اول مربوط به آلاینده‌های خروجی از آگروز وسیله نقلیه است، دسته دوم مربوط به آلاینده‌های ناشی از تبخیر در سیستم سوخت وسیله نقلیه (باک، کاربراتور یا سیستم انژکتور و

کاهش مصرف سوخت در مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ترافیک شهری، مطالعه موردی: یک شرکت توزیع در اصفهان

وسیله^{۱۹} طبقه‌بندی می‌شوند. GVWR به عنوان بیشینه وزن کل اجازه داده شده به وسیله نقلیه شامل جرم خالی وسیله، لوازم، راننده، سوخت و هر بار حمل شده توسط وسیله نقلیه تعریف می‌شود [Bektas and Laporte, 2011]. در این مقاله با توجه به مطالعه موردی مطرح، وسائط نقلیه با GVWR بین ۳/۵ تا ۷/۵ تن مورد بررسی واقع شده‌اند. در این مقاله وسائط نقلیه یکسان فرض شده و ظرفیت آن‌ها بین ۳/۵ تا ۷/۵ تن در نظر گرفته شده است. فاکتور مربوط به تولید آلاینده CO₂ برای این‌گونه وسائط نقلیه از فرمول زیر پیروی می‌کند [Hickman et al. 1999].

$$f(v) = 110 + 0.000375v^3 + 8702/v \quad (5)$$

در این معادله v نشان‌دهنده متوسط سرعت (km/h) و $f(v)$ فاکتور آلاینده‌های وضعیت گرم موتور وابسته به سرعت (gr/km) است. با توجه به این معادله اگر سرعت تنها عامل مؤثر بر تولید آلاینده CO₂ باشد، تابع تولید آلاینده محذب بوده و به راحتی می‌توان میزان سرعت بهینه را یافت. نمودار مربوط به این معادله (فاکتور تولید آلاینده بر حسب سرعت) که در آن تنها عامل سرعت برای تولید آلاینده در نظر گرفته شده، به صورت شکل ۱ است.

همان‌طور که از شکل ۱ پیداست، این نمودار به صورت U شکل است و در سرعت بهینه ۵۳ (km/h) میزان کمینه تولید آلاینده را دارد. همچنین می‌توان برای اثبات آن از طریق مشتق اول و دوم که به ترتیب در معادلات (۶) و (۷) داده شده است، عمل نمود.

$$\frac{\partial}{\partial v} = 0 \rightarrow 0.001125v^2 - \frac{8702}{v^2} = 0 \rightarrow \quad (6)$$

$$v = 52.73 \approx 53 \text{ (km/h)}$$

$$\left. \frac{\partial}{\partial^2 v} \right|_{v=53} = 0.00225v + \frac{17407}{v^3} > 0 \quad (7)$$

جاده، بار وسیله نقلیه، کارکرد موتور و دمای محیط که در ادامه به بررسی تأثیر هر یک از موارد فوق بر میزان آلاینده‌گی به تفکیک پرداخته می‌شود.

سرعت

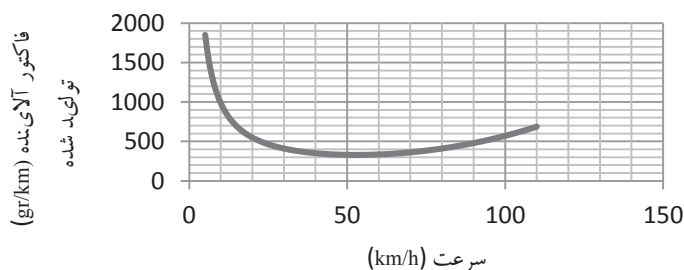
مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر تولید آلاینده‌ها سرعت است [Figli-ozzi, 2011]. ولی همان‌طور که مشخص است دیگر عوامل مانند شیب جاده و بار وسیله نقلیه نیز می‌توانند در تولید آلاینده‌ها تأثیرگذار باشند که در ادامه به بررسی هر یک از این عوامل پرداخته و برای هر یک ضریب تصحیحی آورده می‌شود که با ضرب آن‌ها در فاکتور تولید آلاینده با عامل سرعت می‌توان میزان فاکتور آلاینده‌ها در وضعیت گرم موتور را با توجه به در نظر گرفتن هر سه عامل به دست آورد [Hickman et al. 1999].

$$e_{hot} = f(v) * GC * LC \quad (3)$$

معادله (۳) فاکتور تصحیح شده تولید آلاینده‌های گرم (g/km) را نتیجه می‌دهد. در این معادله $f(v)$ فاکتور آلاینده تولید شده وابسته به سرعت در شرایط استاندارد، GC و LC به ترتیب ضریب تصحیح برای شیب جاده و بار وسیله نقلیه را نشان می‌دهند. در نهایت با ضرب این فاکتور در کل مسافت پیموده شده می‌توان میزان کل آلاینده‌های تولید شده در وضعیت گرم موتور را به دست آورد.

$$E_{hot} = e_{hot} * D \quad (4)$$

در این معادله میزان کل مسافت پیموده شده (km) و E_{hot} کل آلاینده‌های تولید شده در وضعیت گرم موتور (gr) است. لازم به ذکر است وسائط نقلیه معمولاً بر پایه نرخ بزرگی وزن



شکل ۱. نمودار سرعت-فاکتور تولید آلاینده

درجه، ضریب حاصل از تخمین بایستی در تولید آلایندگی بی تأثیر باشد و مقدار یک بگیرد، بنابراین نقطه‌ی (۰، ۱) نیز در هنگام تخمین به داده‌ها اضافه شد.

$$e(0.0059v^2 - 0.0775v + 11.936)\gamma \quad (8)$$

در این معادله γ شیب جاده بر حسب درصد و v سرعت وسیله نقلیه (km/h) را نشان می‌دهد.

اگر میزان سرعت بهینه که باعث کمینه‌سازی تولید هریک از آلایندگی‌ها می‌شود تنها براساس تأثیر فاکتور سرعت و شیب بر روی تولید آلایندگی‌ها در نظر گرفته شود، با ضرب فاکتور تصحیح شیب جاده (GC) در فاکتور مربوط به سرعت، نتایج زیر به دست می‌آید که تابعی بر حسب شیب و سرعت وسیله نقلیه است.

$$e_{hot} = (110 + 0.000375v^3 + \frac{8702}{v}) * e(0.0059v^2 - 0.0775v + 11.936)\gamma \quad (9)$$

در شکل ۳ تأثیر سرعت و شیب جاده بر تولید آلایندگی دی‌اکسیدکربن نشان داده شده است.

بار وسیله نقلیه

اینرسی وسیله نقلیه توسط بار آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد، زیرا بار سنگین‌تر در مدت زمان رانندگی قدرت بیشتری از موتور وسیله نقلیه می‌خواهد و تولید آلایندگی‌ها متناسب با توان موتور تحت تأثیر قرار می‌گیرد. میزان بار وسیله نقلیه بر میزان تولید آلایندگی‌ها تأثیرگذار است. هر چه بار وسیله نقلیه بیشتر باشد،

با توجه به مثبت بودن مقدار مشتق دوم تابع حاصل در بازه امکان‌پذیر سرعت، مقدار به‌دست آمده برای سرعت مقدار بهینه کلی است.

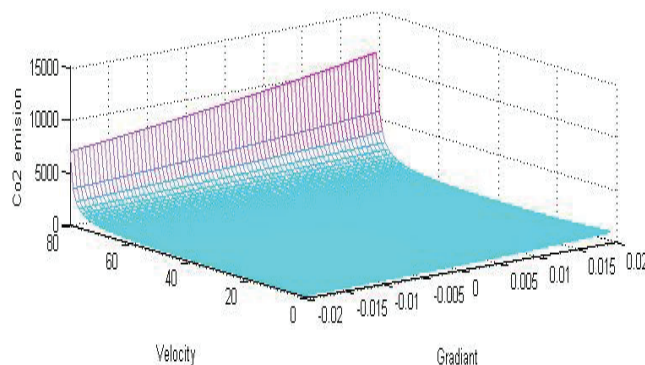
نکته حائز اهمیت آن است که نرخ تغییرات تولید آلایندگی در سرعت‌های پایین به سرعت حساسیت بیشتری دارد و در سرعت‌های بیش از ۵۳ کیلومتر با افزایش سرعت میزان مصرف انرژی به طور چشمگیر افزایش نمی‌یابد.

شیب جاده

فاکتور میزان آلایندگی‌های تولید شده با توجه به سرعت برای مواقعی که جاده دارای شیب باشد بایستی تصحیح گردد زیرا شیب جاده بر روی مقاومت وسیله نقلیه تأثیر می‌گذارد و در نتیجه میزان تولید آلایندگی‌ها را افزایش می‌دهد. شیب جاده و سرعت در تولید آلایندگی‌ها تأثیر متقابل دارند. دو محدودیت در تخمین ضریب تصحیح شیب جاده در گزارش هیکنم و همکاران دیده می‌شود.

۱) این ضریب تنها برای محدوده خاصی از شیب جاده بیان شده است.
۲) این ضریب تنها برای محدوده خاصی از سرعت وسیله نقلیه بیان شده است.

در معادله (۸) ضریب تصحیح پیشنهاد داده شده که در بازه‌های مختلف از سرعت وسیله نقلیه و شیب جاده مطرح می‌شود، آورده شده است. این ضریب از طریق تخمین رگرسیون با صحت برآورد بالا برای آلایندگی دی‌اکسیدکربن به دست آمده است. در تخمین این ضریب به این نکته توجه گردید که در شیب صفر



شکل ۲. تأثیر سرعت و شیب جاده بر میزان تولید آلایندگی

۳-۳ آلاینده‌های ایجاد شده حاصل از تبخیر

آلاینده‌های تولید شده از طریق تبخیر در سیستم سوخت وسیله (باک، کاربراتور یا سیستم انژکتور و لوله‌های سوخت‌رسانی) اتفاق می‌افتد. با توجه به فرآیند تبخیر شدن، این نوع تولید آلاینده به چند دسته تقسیم می‌شود. یکی از این دسته‌ها اتلاف مداوم آلاینده است که در مسیریابی وسائط نقلیه قابل بهبود و بررسی است. معادله محاسبه این نوع تولید آلاینده به صورت $(0.1773t_a + 0.136 \exp(-5.967 + 0.04259RVP))$ می‌باشد [Hickman et al. 1999].

در این معادله RVP قابلیت تبخیر سوخت (kpa) و T متوسط دمای محیط را به درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد، در این صورت زمانی که فاکتور آلاینده‌های حاصل از تبخیر ($E_{\text{evaporate}}$) به دست آمد با جمع آن‌ها و در نهایت ضرب مقدار به دست آمده در مسافت کل پیموده شده (km) میزان آلاینده‌های حاصل از تبخیر $E_{\text{evaporate}}$ محاسبه می‌شود. قابل ذکر است که قابلیت تبخیر سوخت 60 kpa در نظر گرفته شده است [Hickman et al. 1999].

در آخر میزان کل تولید آلاینده‌ها با جمع مقادیر انواع تولید آلاینده‌ها (وضعیت گرم موتور، وضعیت سرد موتور، حاصل از تبخیر) که هر یک در بخش‌های قبلی توضیح داده شد، به دست می‌آید.

۴. مساله مسیریابی وسائط نقلیه با هدف کمینه کردن

زمان طی سفر و مصرف سوخت

به منظور بیان بهتر مسئله در ادامه مدل غیرخطی مسیریابی وسائط نقلیه با هدف کمینه کردن زمان طی سفر و سوخت مصرف شده ارائه می‌گردد. در این مدل ترافیک شهری مدنظر قرار گرفته تا مدل به دنیای واقعی نزدیک‌تر گردد. قبل از این که مدل پیشنهادی ارائه شود به فرضیاتی که در این مدل در نظر گرفته شده است پرداخته می‌شود:

۱. تعداد وسائط نقلیه ثابت است.
۲. وسائط نقلیه مشابه هستند، در نتیجه برای همه وسائط نقلیه ظرفیت یکسان و برابر با Q است. همچنین به دلیل مطالعه موردی مطرح در مقاله فرض شده است که وسائط نقلیه GVWR بین

میزان آلاینده تولید شده نیز بیشتر خواهد بود. این خود عاملی بسیار مهم در مسیریابی وسائط نقلیه است، زیرا با تنظیم بار وسیله در مسیرهای مختلف می‌توان میزان آلاینده‌گی ناشی از این ضریب را به حداقل رساند. در گزارش هیکن و همکاران تنها تأثیر بار وسیله نقلیه در هنگام پر بودن وسیله نقلیه در ضریب تصحیح در نظر گرفته شده است. ضریب تصحیح بار پیشنهاد داده شده برای آلاینده دی‌اکسیدکربن زمانی که درصدی از وسیله نقلیه پر باشد به صورت معادله (۱۰) است.

$$LC = (0.27)x + 1 + 0.0614\gamma x - 0.00110\gamma^3 x - 0.00235vx - (1.33/v)x \quad (10)$$

در این معادله، LC ضریب تصحیح بار وسیله نقلیه است که تابعی برحسب سرعت، γ شیب جاده و نسبت بار است، شیب جاده (به درصد)، v سرعت (km/h) و x نسبت بار وسیله نقلیه به ظرفیت وسیله نقلیه است که عددی بین صفر و یک است.

در نهایت میزان تولید آلاینده بر اساس فاکتورهای سرعت، شیب جاده و بار به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$e_{hot} = (110 + 0.000375v^3 + \frac{8702}{v}) * (0.0059v^2 - 0.0775v + 11.936)\gamma * (0.27)x + 1 + 0.0614\gamma x - 0.00110\gamma^3 x - 0.00235vx - (1.33/v)x \quad (11)$$

۳-۲ آلاینده‌های اضافی تولید شده در وضعیت سرد

موتور (شروع سفر)

این نوع تولید آلاینده را می‌توان میزان اضافی تولید آلاینده در وضعیت سرد موتور در مقایسه با وضعیت گرم موتور تعریف کرد. برای وسائط نقلیه ۳/۵ تا ۷/۵ تن میزان فاکتور آلاینده‌های وضعیت سرد موتور مقداری ثابت است که برای آلاینده دی‌اکسیدکربن این مقدار برابر با 200 (g) در هر سفر است. به دلیل این که این نوع تولید آلاینده فقط یک بار، آن هم در اول سفر اتفاق می‌افتد می‌توان فاکتور آلاینده وضعیت سرد موتور (E_{start}) را در تعداد سفر ضرب و مقدار آلاینده‌های تولید شده در وضعیت سرد موتور (E_{start}) را به دست آورد [Hickman et al. 1999].

$x_{ij}^{km} = 1$ اگر وسیله نقلیه k ام از گره i به گره j در بازه زمانی m ام نوع وسائط نقلیه در مدل آورده شده است.
 ۳. مبدأ و مقصد (گره صفر) همه وسائط نقلیه یکسان است.
 ۴. تقاضای مشتریان ثابت است.
 ۵. زمان انتظار در گره‌ها صفر است.
 ۶. تقاضای هر کدام از مشتریان از ظرفیت وسائط نقلیه کوچکتر است.
 ۷. وجود چند محدوده ترافیکی با الگوی ترافیکی متفاوت

۳/۵ تا ۷/۵ تن دارند، بنابراین معادلات تولید آلاینده مربوط به این نوع وسائط نقلیه در مدل آورده شده است.

۳. مبدأ و مقصد (گره صفر) همه وسائط نقلیه یکسان است.
 ۴. تقاضای مشتریان ثابت است.

۵. زمان انتظار در گره‌ها صفر است.

۶. تقاضای هر کدام از مشتریان از ظرفیت وسائط نقلیه کوچکتر است.

۷. وجود چند محدوده ترافیکی با الگوی ترافیکی متفاوت

۴-۲ مدل ریاضی

$$\text{Min } Z = w_1 \left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_{ij}} \frac{d_{ij}}{v_{ij}^m} x_{ij}^{km} \right) + \quad (12)$$

$$w_2 \left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_{ij}} ((e_{hot})_{ij}^{km} + (e_{evaporate})_i) d_{ij} x_{ij}^{km} + K e_{start} \right)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_{ij}} x_{ij}^{km} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{m=1}^{M_{ij}} x_{0j}^{km} = 1 \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (14)$$

$$\sum_{m=1}^{M_{ij}} \sum_{i=0}^n x_{ij}^{km} - \sum_{m=1}^{M_{ij}} \sum_{l=0}^n x_{jl}^{km} = 0 \quad \forall j = 0, \dots, n, k = 1, \dots, K \quad (15)$$

$$Q_{jk} \geq Q_{ik} - d_i - B \left(1 - \sum_{m=1}^{M_{ij}} x_{ij}^{km} \right) \quad (16)$$

$$\forall i = 0, \dots, n, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, K$$

$$Q_{0k} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{m=1}^{M_{ij}} d_i x_{ij}^{km} \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (17)$$

$$Q_{0k} \leq Q \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (18)$$

$$t_0 = 0 \quad (19)$$

$$t_i + B x_{ij}^{km} \leq t_{ij}^m + B \quad \forall i, j = 0, \dots, n, k = 1, \dots, K, m = 1, \dots, M_{ij} \quad (20)$$

$$t_i - t_{ij}^{m-1} x_{ij}^{km} \geq 0 \quad \forall i, j = 0, \dots, n, k = 1, \dots, K, m = 1, \dots, M_{ij} \quad (21)$$

$$B(1 - x_{ij}^{km}) + t_j \geq t_i + \left(\frac{d_{ij}}{v_{ij}^m} \right) \quad (22)$$

$$\forall i = 0, \dots, n, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, K, m = 1, \dots, M_{ij}$$

$$v_{ijm}^{\min} \leq v_{ij}^m \leq v_{ijm}^{\max} \quad \forall i, j = 0, \dots, n, k = 1, \dots, K, m = 1, \dots, M_{ij} \quad (23)$$

$$T_i = \left[a_{m-1} + \frac{a_m - a_{m-1}}{t'_m - t'_{m-1}} (t_i - t'_{m-1}) \right] x_{ij}^{km} \quad (24)$$

$$\forall i, j = 0, \dots, n, k = 1, \dots, K, m = 1, \dots, M_{ij}$$

۴-۱ علائم، پارامترها و متغیرهای مدل

n : تعداد مشتریان (گره‌ها)

e_{start} : فاکتور آلاینده اضافی (سرد) تولید شده در شروع سفر

K : تعداد وسائط نقلیه (مسیرها)

Q : ظرفیت وسیله نقلیه

d_i : تقاضای مشتری i ام

a_m : دمای محیط در حد بالای بازه زمانی m ام

M_{ij} : تعداد بازه‌های زمانی بین دو گره متوالی i و j

T_i : دمای محیط در زمان حرکت از گره i

x_{ijk} : نسبت بار (درصد بار) وسیله نقلیه k ام بین دو گره i و j

v_{ij}^m : سرعت در بازه زمانی m ام بین دو گره i و j

d_{ij} : مسافت بین گره i و j

Q_{ik} : بار وسیله نقلیه k ام وقتی به گره i می‌رسد.

t_{ij}^m : حد بالای بازه زمانی m ام بین دو گره i و j

t_i : زمان حرکت از گره i

t'_{ij} : حد بالای بازه زمانی m ام در تابع دمای محیط

$(e_{hot})_{ij}^{km}$: فاکتور آلاینده گرم تولید شده در بازه زمانی m ام توسط

وسيله نقلیه k ام بین دو گره i و j

v_{ijm}^{\max} : حد بالای سرعت در بازه زمانی m ام بین دو گره i و j

$(e_{evaporate})_i$: فاکتور آلاینده حاصل از تبخیر در زمان حرکت از گره i

v_{ijm}^{\min} : حد پایین سرعت در بازه زمانی m ام بین دو گره i و j

x_{ijk} : نسبت بار وسیله نقلیه k ام بین دو گره i و j

W_1 و W_2 : ضرایب وزنی

کاهش مصرف سوخت در مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ترافیک شهری، مطالعه موردی: یک شرکت توزیع در اصفهان

مشتریان در آن مسیر است و از ظرفیت وسیله نقلیه کمتر است. قید (۱۹): زمان شروع سفر از گره مبدأ صفر است. قیدهای (۲۰) و (۲۱): زمان حرکت هر وسیله نقلیه از گره i نباید از حد بالا و پایین بازه زمانی در آن یال تجاوز کند. قید (۲۲): مانع از ایجاد زیرتور می‌شود و این که زمان حرکت از گره j نباید از جمع زمان حرکت از گره i و زمان سفر از گره i به گره j کمتر باشد. قید (۲۳): محدودیت سرعت در هر یال را نشان می‌دهد که نباید از حد بالا و پایینش در هر بازه زمانی تجاوز کند. قید (۲۴): مقدار دمای محیط را در زمان حرکت از گره i نشان می‌دهد. قید (۲۵) نسبت بار وسیله نقلیه را زمانی که وسیله نقلیه از گره i به گره j سفر می‌کند، نشان می‌دهد. قید (۲۶) صفر یا یک بودن متغیر تصمیم مدل را نشان می‌دهد.

۵. روش حل

۵-۱ الگوریتم کرم شب‌تاب^{۱۶}

مساله مسیریابی وسائط نقلیه از نوع مسائل NP-hard است و به دلیل این که مساله مطرح در این مقاله زیر شاخه‌ای از این دسته مسائل است بنابراین این مساله نیز جزء مسائل NP-hard است. از سوی دیگر مدل ارائه شده غیرخطی عدد صحیح مختلط^{۱۷} بوده و رسیدن به جواب بهینه برای ابعاد کوچک نیز به سختی میسر می‌شود، به طوری که طبق نتایج حاصل از نرم‌افزار GAMS، این نرم‌افزار قادر به حل این مساله در حالت بهینه حتی در ابعاد کوچک ناست، بنابراین به منظور حل این مساله یک الگوریتم بهبودیافته کرم شب‌تاب پیشنهاد داده شده است.

الگوریتم کرم شب‌تاب برای اولین بار در سال ۲۰۰۸ ارائه شد [Yang, 2008]. این الگوریتم از رفتار اجتماعی کرم‌های شب‌تاب الهام گرفته است. کرم‌های شب‌تاب برای هشدار و جذب جنس مخالف از خود نور ساطع می‌کنند. شدت نور به شدت تابش نور در منبع اولیه و همچنین فاصله از منبع وابسته است. زمانی که فاصله از منبع افزایش می‌یابد، درجه جذابیت کاهش پیدا می‌کند. فرض‌هایی که در الگوریتم کرم شب‌تاب در نظر گرفته می‌شود، به صورت زیر هستند:

$$x_{ijk} = \frac{Q_{ik} - d_i}{Q} \quad \forall i, j = 0, \dots, n, k = 1, \dots, K \quad (25)$$

$$x_{ij}^{km} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j = 0, \dots, n, k = 1, \dots, K, m = 1, \dots, M_{ij} \quad (26)$$

به دلیل طولانی بودن معادلات مربوط به فاکتور آلاینده‌های گرم تولید شده و تبخیر، معادلات آن‌ها در زیر آورده شده است.

$$(e_{hot})_{ij}^{km} = (110 + 0.000375(v_{ij}^m)^3 + \frac{8702}{v_{ij}^m}) * \quad (27)$$

$$e^{(0.0059(v_{ij}^m)^2 - 0.0775v_{ij}^m + 11.936)\gamma_{ij}} * (1 + (0.27 + 0.0614\gamma_{ij} - 0.0011\gamma_{ij}^3 - 0.00235v_{ij}^m - \frac{1.33}{v_{ij}^m}) * x_{ijk}) \quad (28)$$

$$(e_{evaporate})_i = 0.136e^{-3.4116 + 0.1773T_i} \quad (28)$$

معادله (۲۷) نشان‌دهنده فاکتور آلاینده گرم تولید شده و γ_{ij} در این معادله شیب جاده بین دو گره i و j را نشان می‌دهد. معادله (۲۸) نشان‌دهنده فاکتور آلاینده تبخیر تولید شده است. در نهایت فاکتور آلاینده اضافی همان‌طور که گفته شد برای آلاینده دی‌اکسیدکربن، مقدار ثابت ۲۰۰ گرم است. به دلیل ثابت بودن این نوع تولید آلاینده می‌توان آن را از تابع هدف حذف کرد.

در مدل ارائه شده تابع هدف از نوع کمینه کردن بوده و از دو قسمت تشکیل شده است که قسمت اول آن مربوط به زمان طی مسیر است. چون در این مدل سرعت متغیر در نظر گرفته شده، زمان طی مسیر به صورت حاصل تقسیم مسافت طی شده بر سرعت در یال مورد نظر است. قسمت دوم تابع هدف نشان‌دهنده کل آلاینده‌های تولید شده توسط وسیله نقلیه است. همچنین برای هم واحد کردن این دو قسمت هر کدام از آن‌ها در وزنی ضرب شده‌اند (W_2 و W_1) که می‌توانند از نوع هزینه باشند، در این صورت هدف، کمینه کردن هزینه راننده به همراه هزینه مصرف سوخت می‌گردد. قید (۱۳): اطمینان می‌دهد که هر مشتری تنها یک بار ملاقات شود. قید (۱۴): به هر مسیر یک وسیله نقلیه تخصیص پیدا کرده است. قید (۱۵): اگر وسیله نقلیه به گره‌ی وارد شد، از آن خارج شود. قید (۱۶): مانع از حمل بار اضافی در یک یال می‌شود، یعنی تفاوت میزان حمل بار وسیله نقلیه وقتی به گره بعدی می‌رسد نسبت به گره قبلیش به اندازه تقاضای گره قبلی است. قیدهای (۱۷) و (۱۸): بار وسیله نقلیه k ام در گره صفر را نشان می‌دهد که برابر جمع تقاضای

۲-۵ نمایش جواب‌ها

برای این که بتوان فضایی از حل جواب‌ها به دست آورد، اولین کار برقراری ارتباط میان فضای به وجود آمده توسط الگوریتم و فضای جواب مساله است. به منظور نمایش هر یک از کرم‌های شب‌تاب از جایگشت $3n$ رشته‌ای استفاده شده است که در آن n تعداد مشتریان است و اعداد داخل آن اعدادی تصادفی در بازه $[0, 1]$ است. رشته از سه بخش تشکیل شده است. بخش اول مربوط به توالی عبور وسائط نقلیه از مشتریان است. بخش دوم و سوم مربوط به تخصیص مشتریان به وسائط نقلیه است. از بین بخش‌های دوم و سوم یکی به تصادف انتخاب می‌شود. اگر تنها از یک بخش استفاده می‌شود، شانس افتادن در دام بهینهی محلی افزایش می‌یافت. در نتیجه به منظور دوری از همگرایی به بهینه محلی، یکی از این بخش‌ها به طور تصادفی انتخاب می‌شود. در این صورت تنوع جواب بیشتر شده و باعث گستردگی فضای حل می‌گردد. بنابراین دومین بخش رشته با احتمال p و سومین بخش رشته با احتمال $1-p$ انتخاب می‌شود. پس از انتخاب دومین یا سومین بخش، فاصله‌ی بین بیشترین مقدار و کمترین مقدار در بخش انتخاب شده به تعداد وسائط نقلیه (k) تقسیم می‌شود. در ادامه اگر عدد خانه k ام (مشتری k ام) از رشته در بازه قسمت k ام قرار داشت در این صورت مشتری k ام به وسیله نقلیه k ام تخصیص داده می‌شود. سپس برای مشخص شدن توالی مشتریان، بخش اول در نظر گرفته می‌شود. هر چه عدد تخصیص‌یافته به یک مشتری بزرگ‌تر باشد، مشتری از اولویت بالاتری در سرویس‌دهی برخوردار است [Farhang Moghaddam, Ruiz and Sadjadi, 2012].

به دلیل این که حرکت کرم شب‌تاب در فضای جستجو به صورت پیوسته است و فضای جواب مورد بحث در مساله به صورت گسسته است، رشته نمایش کرم‌های شب‌تاب به رشته نمایش قابل تطبیق با فضای گسسته تبدیل گردید. بدین منظور برای نمایش مسیرهای وسائط نقلیه در فضای گسسته یک رشته با طول $m+n$ خانه پیشنهاد داده شده است. در این گونه نمایش جواب، اعداد n خانه اول نشان‌دهنده شماره‌ی مشتریانی است که به

۱. همه کرم‌های شب‌تاب یک جنسی هستند.

۲. شدت جذب متناسب با درخشندگی شب‌تاب‌ها است، بنابراین برای دو کرم شب‌تاب آن‌که شدت نور کمتری دارد به سمت آن‌که شدت نور بیشتری دارد جذب می‌شود و اگر هیچ‌کدام درخشنده‌تر از دیگری نبود به صورت تصادفی به سمت هم حرکت می‌کنند.

۳. تابع هدف توسط میزان درخشندگی شب‌تاب در مقصد تعیین می‌شود.

همان‌طور که گفته شد میزان شدت نور توسط فاصله از منبع تغییر می‌کند که در رابطه (۲۹) قابل مشاهده است [Fister et al., 2013].

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \quad (29)$$

در این معادله I_0 میزان شدت نور در منبع، γ ضریب جذب نور و r فاصله از منبع را نشان می‌دهد. چون میزان جذابیت یک کرم شب‌تاب با شدت نور تابشی منعکس شده از آن متناسب است، در نتیجه فرمول زیر را برای میزان جذابیت نور (B) خواهیم داشت:

$$B = B_0 e^{-\gamma r^2} \quad (30)$$

در این معادله r فاصله میان دو کرم شب‌تاب و B_0 میزان جذابیت آن‌ها را وقتی که فاصله بینشان صفر باشد نشان می‌دهد. فاصله بین هر دو کرم شب‌تاب به صورت اقلیدسی محاسبه می‌شود که در معادله (۳۱) نشان داده شده است.

$$r_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (31)$$

حرکت کرم شب‌تاب i به سمت کرم شب‌تاب جذاب‌تر j توسط رابطه زیر به دست می‌آید:

$$x_i = x_i + B_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon_i \quad (32)$$

در این معادله قسمت دوم با میزان جذابیت مرتبط است و قسمت سوم مربوط به حرکت تصادفی با بردار تصادفی ϵ_i که از توزیع نرمال گرفته شده است. $\alpha \in [0, 1]$ ، $\epsilon_i \in [0, 1]$ و $B_0 \in [0, \infty)$ هستند که در بیشتر موارد γ بین $[0, 1]$ پیشنهاد داده می‌شود [Fister et al. 2013] و [Pal, Rai and Singh, 2012].

۵-۴ الگوریتم کرم شب تاب بهبود یافته

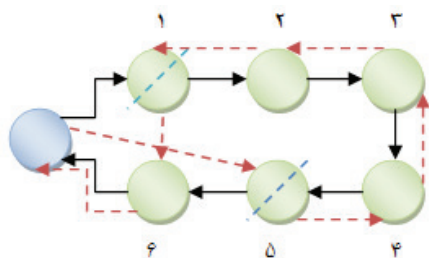
به منظور بهبود جواب ها و ارتقاء الگوریتم کرم شب تاب پایه، ۲ رویکرد زیر به کار برده شده است.

(۱) در گام دو از الگوریتم کرم شب تاب پایه، زمانی که کرم شب تاب j از شب تاب i بهتر نباشد، شب تاب i تصادفی حرکت می کند. در الگوریتم پیشنهادی این حرکت هدایت شده است، به طوری که اگر شب تاب j از شب تاب i بهتر نبود، شب تاب i به سمت بهترین کرم شب تاب تاکنون حرکت می کند. این رویکرد سبب می شود که در صورت بهتر نبودن جواب های همسایگی، شب تاب به سمت بهترین سراسری حرکت کند.

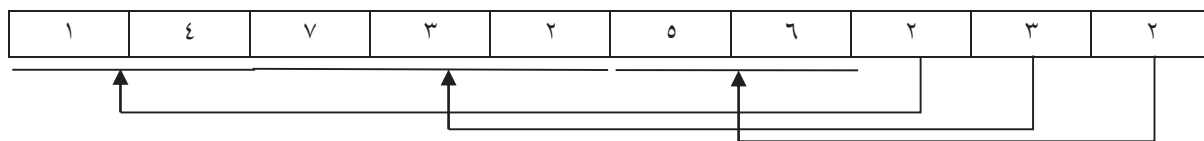
(۲) یک گام به گام های این الگوریتم اضافه گردید. در این گام از روش جستجوی محلی $opt-2$ که یکی از روش های جستجوی محلی مناسب در مساله مسیریابی وسائط نقلیه است استفاده شد. در این روش توالی بین دو گره انتخابی معکوس می شود.

گام ۱: در آخر هر تکرار، روی تمامی کرم های شب تاب $opt-2$ بزنید و اگر در هر مورد جواب بهتر شد موقعیت کرم شب تاب و تابع هدف آن را به روز کنید، در غیر این صورت موقعیت کرم شب تاب بدون تغییر باقی می ماند. سپس کرم های شب تاب را رتبه بندی کرده و جذاب ترین آن ها را به عنوان بهترین شب تاب آن تکرار انتخاب کنید و به تکرار بعد بروید.

در شکل ۴ رویکرد $opt-2$ به همراه یک مثال آورده شده است.



شکل ۴. جستجوی محلی $opt-2$



شکل ۳. نمایش جواب

هریک از وسائط نقلیه ۱ تا m با رعایت توالی ذکر شده تخصیص داده شده اند و هر کدام از اعداد m خانه آخر، نشان دهنده تعداد مشتریان تخصیص یافته به آن شماره خانه (وسیله نقلیه) است. به عنوان مثال فرض کنید ۷ مشتری و ۳ وسیله نقلیه در دسترس است. در شکل ۳ این گونه نمایش جواب برای مثال مورد نظر داده شده است.

در این صورت مسیره های وسائط نقلیه به صورت زیر است.

وسیله نقلیه اول: ۰-۴-۱-۰

وسیله نقلیه دوم: ۰-۲-۳-۷-۰

وسیله نقلیه سوم: ۰-۶-۵-۰

۵-۳ گام های الگوریتم کرم شب تاب

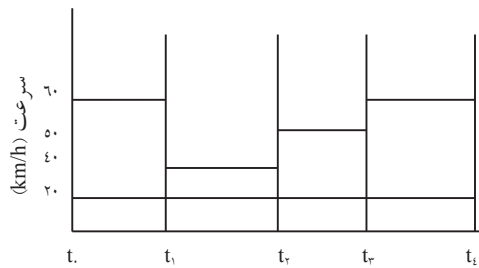
گام ۱. جمعیت اولیه از کرم های شب تاب را تشکیل دهید. (جمعیت اولیه به صورت تصادفی به دست آمده است). برای تمامی کرم های شب تاب (x_i) بعد آن ها و میزان جذابیت (تابع هدف) را مشخص کنید و مقدار هر یک از پارامترهای این الگوریتم را مشخص کنید. برای هر تکرار گام های ۲ تا ۴ را تکرار کنید.

گام ۲. کرم شب تاب i (M و $1 \leq i \leq M$) را با کرم شب تاب j (M و $1 \leq j \leq M$) از لحاظ درخشندگی و پربازندگی (تابع هدف) مقایسه کنید. اگر درخشندگی (تابع هدف) کرم شب تاب j از کرم شب تاب i بیشتر (بهتر) بود کرم شب تاب i طبق معادله (۳۲) به سمت کرم شب تاب j حرکت می کند در غیر این صورت به صورت تصادفی حرکت می کند. در هر بار مختصات و تابع هدف کرم شب تاب i را به روزرسانی کنید. در این مقاله حرکت تصادفی با تعویض اعداد دو خانه از n رشته اول در کروموزوم $3n$ رشته ای استفاده شده است.

گام ۳: جذاب ترین (کمترین تابع هدف) شب تاب تاکنون را مشخص کنید.

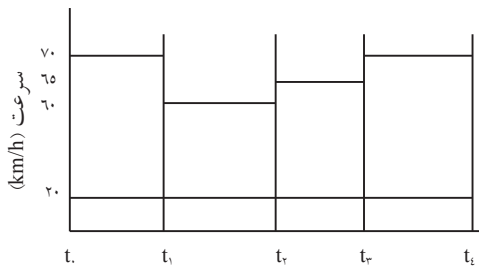
گام ۴: در نهایت جذاب ترین شب تاب را گزارش کنید.

(بازه زمانی متوسط) و در نهایت در بازه آخر [۲۰-۶۰] (بازه زمانی خلوت) در نظر گرفته شد. در شکل های ۵ و ۶ نمونه ای از ۴ بازه زمانی و بازه های سرعت متفاوت در هر کدام آورده شده است.



زمان حرکت

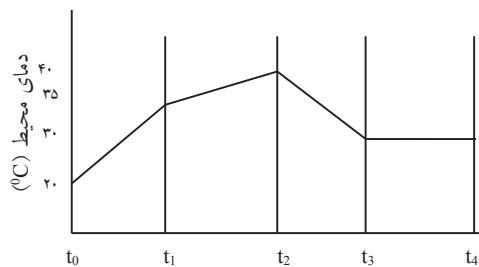
شکل ۵. تغییرات سرعت در محدوده ترافیکی اول



زمان حرکت

شکل ۶. تغییرات سرعت در محدوده ترافیکی دوم

شکل ۷ تغییرات دما در هر یک از بازه های زمانی را نشان می دهد.



زمان حرکت

شکل ۷. تغییرات دما در هر بازه زمانی

- در ارتباط با شیب جاده، شیب از ۱۰٪ تا ۱۰٪ برای هر یال در نظر گرفته شد.
- وزن هر یک از توابع هدف به صورت زیر محاسبه گردید.
 W_1 برابر با هزینه راننده در یک ساعت به تومان و برابر ۱۰۰۰۰

همان طور که از شکل پیداست دو مشتری یک و پنج انتخاب شده و توالی بین آن دو مشتری عوض شده است یعنی مسیر فعلی ۰-۱-۲-۳-۴-۵-۶-۰ به مسیر ۰-۱-۲-۳-۴-۵-۶-۰ تبدیل شده است.

۶. نتایج

در این قسمت عملکرد الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار می گیرد و از نمونه مسائل آگرت ۱۹ استفاده شده است که شامل ۲۴ نمونه مساله است. به منظور ایجاد انطباق بین مسائل نمونه و مساله مطرح شده تغییرات زیر در نظر گرفته شده است.

- برای هر مساله تعداد مشتریان، وسائط نقلیه، تقاضاها و مختصات مشتریان از نمونه مسائل نام برده گرفته شد. به منظور افزودن بازه های زمانی به مساله، از ۴ پریود زمانی استفاده گردید. برای تعیین حدود بازه های زمانی و سرعت، فرض شده که دو نوع محدوده ترافیکی وجود دارد که هر یک دارای بازه های زمانی و سرعت های منحصر به فرد خود هستند، به طوری که در محدوده ترافیکی اول، تغییرات ترافیکی در بین هر دو بازه زمانی بیشتر از محدوده ترافیکی دوم است و وابستگی زمانی در آن بیشتر است، بنابراین سرعت در بین بازه های زمانی به شدت تغییر می کند. اما در محدوده ترافیکی دوم تغییرات سرعت به تغییرات بازه زمانی وابستگی کمتری دارد. همچنین فرض شده است که یال بین دو مشتری متوالی به طور تصادفی با احتمال ۵۰٪ به یکی از این محدوده های ترافیکی تعلق دارد. با توجه به جواب مساله پایه، طولانی ترین تور حاصل به سه قسمت تقسیم گردید تا حدود سه بازه زمانی اول حاصل شود. حد بالای بازه زمانی آخر (بازه زمانی چهارم) ۱۰۰ (عددی بزرگ) در نظر گرفته شد تا اگر وسیله ای زمان طی مسیرش در سه بازه زمانی اول تمام نشد در بازه زمانی آخر تمام شود.

- برای سرعت در هر پریود به طور جداگانه حدود بالا و پایین تعیین گردید. به عنوان مثال در محدوده ترافیکی اول و در بازه اول حدود سرعت در بازه ی [۲۰-۶۰] (بازه زمانی خلوت)، در بازه دوم [۲۰-۴۰] (بازه زمانی شلوغ)، در بازه سوم [۲۰-۵۰]

کاهش مصرف سوخت در مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ترافیک شهری، مطالعه موردی: یک شرکت توزیع در اصفهان

کامپیوتری با CPU core i3 و حافظه GB ۴) ۵ بار اجرا شد، متوسط جواب در این ۵ اجرا به عنوان جواب آن مساله در آن سناریو در نظر گرفته شد. در نهایت از بین سناریوها، سناریو با کمترین مقدار میانگین به عنوان سناریوی بهتر انتخاب گردید. نتایج حل در جدول ۱ داده شده است.

در جدول ۱ از راست به چپ، ستون اول شماره مساله، ستون دوم تعداد مشتریان و ستون سوم تعداد وسائط نقلیه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از جدول پیداست، سناریوی (۵) دارای میانگین جواب (هزینه) ۱۰۵ * ۳/۸۴ است که نسبت به دیگر سناریوها بهتر (کمتر) عمل کرده است. بنابراین برای تحلیل‌های بعدی از پارامترهای این سناریو استفاده شده است. در نتیجه در این مقاله، $Y=1, B_0=1, a=0.09$ و در نهایت تعداد کرم‌های شب‌تاب (M) برابر با ۲۵ در نظر گرفته شد. قابل ذکر است تعداد تکرار برابر با ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.

در تحلیل نتایج دو هدف دنبال شده است، اول اینکه آیا بهبود ایجاد شده در الگوریتم کرم شب‌تاب تأثیری در بهبود جواب داشته است یا خیر و از سوی دیگر آیا مدل ارائه شده تأثیری بر کاهش مصرف سوخت در مساله دارد یا خیر. به منظور پاسخگویی به دو سوال مطرح شده ابتدا ۲۴ مساله نمونه توسط الگوریتم کرم شب‌تاب پایه حل گردید و نتایج حاصل با نتایج

تومان در هر ساعت در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه هر لیتر سوخت ۲/۳۲ کیلوگرم CO_2 تولید می‌کند [Coe, 2005] و قیمت هر لیتر سوخت برابر یک دلار معادل با ۳۰۰۰ تومان است، مقدار w_2 برابر با ۱/۲۹ به عنوان هزینه سوخت هر گرم آلاینده دی‌اکسیدکربن در نظر گرفته شد. این اوزان به کلیت مطالعه لطمه‌ای وارد نکرده و با توجه به رویکرد مدیریت این مقادیر می‌تواند تغییر یابد.

به منظور به دست آوردن مقدار بهینه سرعت به منظور کمینه‌سازی میزان آلاینده گرم موتور و با توجه به این که تابع مربوطه وابسته به ۳ متغیر نسبت بار حمل شده به ظرفیت وسیله نقلیه، سرعت وسیله نقلیه و شیب جاده است ابتدا به ازای مقادیر مختلف ۲ متغیر شیب جاده (از ۰ تا ۱۰٪) و نسبت بار به ظرفیت وسیله نقلیه (از ۰ تا ۱۰۰٪)، این تابع به یک تابع تک متغیره تبدیل و با استفاده از نرم افزار MAPLE مقدار بهینه حاصل شد.

جواب‌های الگوریتم کرم شب‌تاب به پارامترهای آن بستگی دارد. به همین دلیل در این قسمت به منظور تنظیم پارامترهای این الگوریتم ۱۰ سناریو در نظر گرفته شد. سناریوهای در نظر گرفته شده طبق نتایج حاصل از آزمایشات متعدد و ماهیت الگوریتم کرم شب‌تاب آورده شده‌اند. در هر سناریو ۵ نمونه مساله حل و هر نمونه مساله توسط نرم افزار MATLAB 2012 (توسط

جدول ۱. نمونه مسائل حل شده توسط الگوریتم کرم شب‌تاب پایه با پارامترهای متفاوت (مقادیر به 10^0)

| شماره مساله | تعداد مشتریان | تعداد وسائط نقلیه | پارامترها | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
|-------------|---------------|-------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ۱ | ۱۶ | ۸ | a | ۰,۰۵ | ۰,۲ | ۰,۰۵ | ۰,۰۵ | ۰,۰۹ | ۰,۰۹ | ۰,۲ | ۰,۲ | ۰,۰۵ | ۰,۰۵ |
| ۲ | ۱۹ | ۲ | B_0 | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰,۷ | ۰,۷ | ۱ | ۱ |
| ۳ | ۲۰ | ۲ | γ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ | ۲ | ۴ | ۴ |
| ۴ | ۲۱ | ۲ | M | ۲۰ | ۲۰ | ۲۵ | ۲۵ | ۲۵ | ۱۵ | ۲۵ | ۲۵ | ۲۰ | ۱۵ |
| ۵ | ۲۲ | ۲ | | ۲,۴۵ | ۳,۶۵ | ۲,۸۷ | ۲,۴۸ | ۳,۲۱ | ۲,۴۶ | ۲,۹۹ | ۳,۵۸ | ۳,۹۵ | ۳,۵۳ |
| | | | میانگین | ۳,۹۱ | ۴,۱۱ | ۳,۸۶ | ۳,۸۴ | ۴,۰۱ | ۳,۹۹ | ۴,۰۲ | ۳,۹۰ | ۹ | ۳,۹ |

مهدی علیتیان، منصوره نادری پور

مصرف سوخت و هزینه راننده است. همان‌طور که از جدول (۲) پیداست، میانگین جواب (تابع هدف) در الگوریتم بهبود یافته، $104 \times 189/6$ شده است، در حالی که میانگین جواب الگوریتم پایه برابر 104×194 شده است که این خود نشان‌دهنده بهبود به طور میانگین $2/5\%$ تابع هدف در الگوریتم کرم شب‌تاب بهبود یافته نسبت به الگوریتم پایه است. بیشترین درصد خطا در مساله شماره ۱۰ رخ داده است که در حدود $1/5\%$ است این میزان خطا

حاصل از الگوریتم پیشنهادی کرم شب‌تاب بهبود یافته مقایسه گردید. نتایج در جدول (۲) ارائه شده است. درصد خطا در هر مساله با استفاده از رابطه (۳۳) محاسبه شده است.

بهترین جواب مساله - جواب مساله

$\times 100$

(۳۳)

بهترین جواب مسئله

قابل ذکر است در جدول (۲) منظور از تابع هدف کاهش

جدول ۲. مقایسه الگوریتم‌های کرم شب‌تاب پایه و بهبود یافته در ۲۴ نمونه مساله

| شماره مساله | تعداد مشتریان | تعداد وسائط نقلیه | الگوریتم کرم شب‌تاب پایه | | | الگوریتم کرم شب‌تاب بهبود یافته | | |
|-------------|---------------|-------------------|--------------------------|-----------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--------------|
| | | | تابع هدف $\times 10^4$ | زمان حل (ثانیه) | درصد خطا (%) | تابع هدف $\times 10^4$ | زمان حل (ثانیه) | درصد خطا (%) |
| ۱ | ۱۶ | ۸ | ۷۹,۷ | ۱,۹ | ۷۸,۳ | ۳۴,۲ | ۰ | ۰ |
| ۲ | ۱۹ | ۲ | ۲۴,۹ | ۴,۲ | ۲۳,۸ | ۶۶,۶ | ۰ | ۰ |
| ۳ | ۲۰ | ۲ | ۲۸,۳ | ۰,۴ | ۲۸,۱ | ۷۰,۱ | ۰ | ۰ |
| ۴ | ۲۱ | ۲ | ۲۷,۳ | ۱,۹ | ۲۶,۹ | ۷۳,۶ | ۰ | ۰ |
| ۵ | ۲۲ | ۲ | ۳۲,۱ | ۱,۶ | ۳۱,۶ | ۸۲,۳ | ۰ | ۰ |
| ۶ | ۲۲ | ۸ | ۷۹۴,۳ | ۱,۴ | ۷۸۳,۱ | ۷۲,۹ | ۰ | ۰ |
| ۷ | ۲۳ | ۸ | ۸۴,۳ | ۲,۹ | ۸۱,۹ | ۷۷,۳ | ۰ | ۰ |
| ۸ | ۴۰ | ۵ | ۷۸,۱ | ۴,۴ | ۷۴,۸ | ۱۳۵,۸ | ۰ | ۰ |
| ۹ | ۴۵ | ۵ | ۱۱۸,۳ | ۳,۷ | ۱۱۴,۱ | ۱۶۹,۸ | ۰ | ۰ |
| ۱۰ | ۵۰ | ۷ | ۱۴۶,۴ | ۵,۱ | ۱۳۹,۳ | ۲۰۰,۲ | ۰ | ۰ |
| ۱۱ | ۵۰ | ۸ | ۱۹۵,۷ | ۴,۱ | ۱۸۷,۹ | ۱۹۹,۶ | ۰ | ۰ |
| ۱۲ | ۵۰ | ۱۰ | ۲۱۴,۶ | ۱,۳ | ۲۱۱,۸ | ۱۹۳,۵ | ۰ | ۰ |
| ۱۳ | ۵۱ | ۱۰ | ۱۹۸,۵ | ۲,۸ | ۱۹۳,۱ | ۲۰۴,۶ | ۰ | ۰ |
| ۱۴ | ۵۵ | ۷ | ۱۰۸,۱ | ۲,۶ | ۱۰۵,۴ | ۲۶۰,۱ | ۰ | ۰ |
| ۱۵ | ۵۵ | ۸ | ۹۹,۹ | ۰,۸ | ۹۹,۱ | ۲۵۶,۹ | ۰ | ۰ |
| ۱۶ | ۵۵ | ۱۰ | ۲۰۰,۸ | ۲,۷ | ۱۹۵,۶ | ۲۵۰,۱ | ۰ | ۰ |
| ۱۷ | ۵۵ | ۱۵ | ۳۷۷,۳ | ۲,۱ | ۳۶۹,۷ | ۲۵۶,۲ | ۰ | ۰ |
| ۱۸ | ۶۰ | ۱۰ | ۲۷۴,۵ | ۱,۳ | ۲۷۱,۰ | ۳۰۲,۷ | ۰ | ۰ |
| ۱۹ | ۶۰ | ۱۵ | ۳۲۴,۳ | ۴,۰ | ۳۱۱,۷ | ۲۹۳,۴ | ۰ | ۰ |
| ۲۰ | ۶۵ | ۱۰ | ۲۴۲,۷ | ۱,۳ | ۲۳۹,۵ | ۳۶۳,۷ | ۰ | ۰ |
| ۲۱ | ۷۰ | ۱۰ | ۳۷۲,۷ | ۰,۸ | ۳۶۹,۹ | ۴۰۵,۱ | ۰ | ۰ |
| ۲۲ | ۷۶ | ۴ | ۱۹۹,۱ | ۱,۸ | ۱۹۵,۵ | ۴۵۸,۴ | ۰ | ۰ |
| ۲۳ | ۷۶ | ۵ | ۲۱۳,۶ | ۳,۸ | ۲۰۵,۸ | ۴۴۹,۷ | ۰ | ۰ |
| ۲۴ | ۱۰۱ | ۴ | ۲۱۹,۴ | ۳,۵ | ۲۱۱,۹ | ۵۶۳,۶ | ۰ | ۰ |
| میانگین | | | ۱۹۴,۰ | ۲,۵ | ۱۸۹,۶ | ۲۲۶,۷ | | |

کاهش مصرف سوخت در مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ترافیک شهری، مطالعه موردی: یک شرکت توزیع در اصفهان

سفر) (مدل ۱) و بار دیگر با مدل پیشنهادی (مدل ۲) حل گردید. نتایج در جدول (۳) آمده است. همان‌طور که از جدول پیداست میانگین مصرف سوخت در مدل (۱)، ۵۶۵ لیتر شده است در حالی که میانگین مصرف سوخت برای مدل (۲) برابر ۴۹۴ لیتر شده است که این خود نشان دهنده کاهش به طور میانگین ۱۳٪ مصرف سوخت در مدل پیشنهادی

با استفاده از الگوریتم بهبود یافته صفر شده در حالی که تنها ۱٪ افزایش زمان اجرا را نسبت به پایه داشته است. با توجه به نتایج فوق می‌توان بر عملکرد مناسب الگوریتم کرم شب‌تاب بهبود یافته نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب پایه صحنه‌گذاری نمود. به منظور بررسی تأثیر مدل ارائه شده بر کاهش مصرف سوخت ۲۴ مساله نمونه یک‌بار با تابع هدف کاهش هزینه راننده (زمان

جدول ۳. تأثیر مدل پیشنهادی در میزان مصرف سوخت

| شماره مساله | تعداد مشتریان | تعداد وسائط نقلیه | مدل ۱ | | مدل ۲ | |
|-------------|---------------|-------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| | | | میزان مصرف سوخت (لیتر) | زمان طی مسیر (ساعت) | میزان مصرف سوخت (لیتر) | زمان طی مسیر (ساعت) |
| ۱ | ۱۶ | ۸ | ۲۶۱ | ۲۰,۰۱ | ۱۹۰ | ۲۱,۲۶ |
| ۲ | ۱۹ | ۲ | ۵۳ | ۹,۵۵ | ۳۹ | ۱۲,۰۸ |
| ۳ | ۲۰ | ۲ | ۷۰ | ۱۰,۶۶ | ۵۲ | ۱۲,۵۴ |
| ۴ | ۲۱ | ۲ | ۷۸ | ۱۱,۶۱ | ۵۰ | ۱۱,۹۳ |
| ۵ | ۲۲ | ۲ | ۷۳ | ۱۱,۳۱ | ۵۹ | ۱۴,۰۱ |
| ۶ | ۲۲ | ۸ | ۲۷۱۳ | ۸۵,۶۰ | ۲۳۰۶ | ۹۱,۱۷ |
| ۷ | ۲۳ | ۸ | ۲۳۴ | ۲۳,۶۷ | ۱۹۰ | ۲۴,۸۴ |
| ۸ | ۴۰ | ۵ | ۱۶۷ | ۲۵,۷۸ | ۱۴۲ | ۳۲,۲۳ |
| ۹ | ۴۵ | ۵ | ۳۰۲ | ۳۰,۹۲ | ۲۶۳ | ۳۵,۱۱ |
| ۱۰ | ۵۰ | ۷ | ۳۶۸ | ۳۶,۹۴ | ۳۳۲ | ۳۹,۵۹ |
| ۱۱ | ۵۰ | ۸ | ۵۵۱ | ۳۹,۶۷ | ۴۸۰ | ۴۳,۷۶ |
| ۱۲ | ۵۰ | ۱۰ | ۷۱۸ | ۳۵,۷۷ | ۵۷۳ | ۳۹,۸۱ |
| ۱۳ | ۵۱ | ۱۰ | ۵۴۲ | ۴۱,۲۴ | ۴۹۶ | ۴۴,۲۸ |
| ۱۴ | ۵۵ | ۷ | ۲۲۴ | ۳۸,۷۷ | ۲۰۰ | ۴۵,۳۱ |
| ۱۵ | ۵۵ | ۸ | ۱۹۳ | ۳۷,۵۳ | ۱۷۷ | ۴۵,۸۹ |
| ۱۶ | ۵۵ | ۱۰ | ۵۸۷ | ۴۵,۷۹ | ۴۹۸ | ۴۶,۳۳ |
| ۱۷ | ۵۵ | ۱۵ | ۱۱۹۶ | ۴۲,۴۲ | ۱۰۷۴ | ۴۷,۴۰ |
| ۱۸ | ۶۰ | ۱۰ | ۷۹۳ | ۴۸,۸۸ | ۷۳۹ | ۴۹,۳۴ |
| ۱۹ | ۶۰ | ۱۵ | ۹۵۱ | ۵۶,۲۹ | ۸۳۷ | ۶۰,۷۳ |
| ۲۰ | ۶۵ | ۱۰ | ۶۷۱ | ۴۸,۰۵ | ۶۳۰ | ۵۰,۵۴ |
| ۲۱ | ۷۰ | ۱۰ | ۱۱۱۸ | ۵۶,۱۴ | ۱۰۲۲ | ۶۳,۲۱ |
| ۲۲ | ۷۶ | ۴ | ۵۲۰ | ۴۶,۰۴ | ۴۸۷ | ۴۹,۴۰ |
| ۲۳ | ۷۶ | ۵ | ۵۶۹ | ۵۱,۲۵ | ۵۱۲ | ۵۲,۰۴ |
| ۲۴ | ۱۰۱ | ۴ | ۶۰۸ | ۵۳,۰۳ | ۴۹۸ | ۶۲,۶۲ |
| میانگین | | | ۵۶۵ | ۳۷,۷۸ | ۴۹۴ | ۴۱,۴۷ |

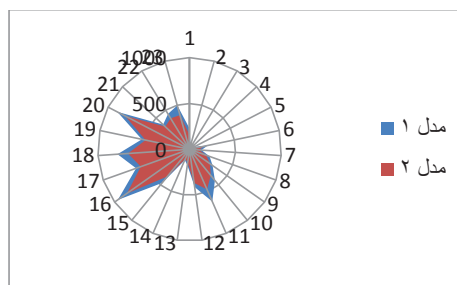
۷. مطالعه موردی

به منظور نشان دادن کاربردی بودن مدل، یک شرکت پخش که توزیع کننده لبنیات مسکه در شهر اصفهان است، مورد بررسی قرار گرفت. شرکت توزیع نامبرده دارای ۲۰۰۰ مشتری فعال است که مشتریان در شهر اصفهان، چهارمحال و بختیاری (شهرکرد) و قسمتی از استان مرکزی شامل دلجان و محلات ساکن هستند. همچنین در این شرکت از ۵ وسیله نقلیه در ظرفیت های متفاوت استفاده می شود که دو نوع آن ها کامیونت نه تنی هستند که در بیشتر مواقع برای حمل کالا به شهرهای دیگر استفاده می شوند و سه نوع دیگر کامیونت پنج تنی هستند که به منظور حمل کالا در داخل شهر استفاده می گردند. قابل ذکر است وزن وسائط نقلیه به صورت بیشینه وزن کل اجازه داده شده به وسیله نقلیه شامل جرم خالی وسیله، لوازم، راننده، سوخت و هر بار حمل شده توسط وسیله نقلیه گزارش شده است. حقوق رانندگان در این شرکت شامل یک پایه حقوق ثابت مشخص در ماه و مقدار ثابت روزانه است. به همین دلیل به منظور حل مساله، تنها کمینه کردن هزینه سوخت در این مطالعه موردی در نظر گرفته شده است، زیرا حقوق رانندگان مقداری ثابت روزانه است که به زمان (مقدار ساعت کاری) بستگی ندارد.

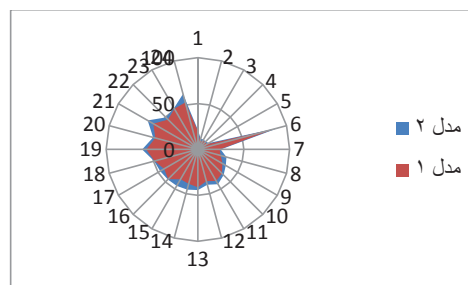
در ابتدا قبل از این که مسیر پیشنهادی ارائه شود، رابطه میان میزان سوخت مصرفی شرکت و میزان سوخت مصرفی به دست آمده توسط مساله محاسبه گردید. به این منظور، نقشه مسیرهای سه روز سه وسیله نقلیه پنج تنی (ظرفیت بار سه تن) این شرکت، گرفته شد. همچنین شیب جاده در این مطالعه موردی برابر با صفر فرض شد. برای هر روز محدوده ترافیکی منطقه قرارگیری مشتریان پرسیده شد. با توجه به تجربه رانندگان در این شرکت منطقه مشتریان در هر روز به سه نوع محدوده ترافیکی سبک، نیمه سنگین و سنگین تقسیم گردید. منطقه مشتریان و محدوده های ترافیکی آن در شکل ۱۰ داده شده است. در این شکل مکان های دارای محدوده ترافیکی سنگین با لایه قرمز و محدوده ترافیکی سبک با لایه بی رنگ نشان داده شده اند و در بقیه مکان ها محدوده ترافیکی نیمه سنگین است.

نسبت به مدل با کمینه کردن زمان طی سفر است. زیرا در مدل با تابع هدف کمینه کردن هزینه راننده و در نتیجه زمان طی سفر (مدل ۱)، در هر بازه زمانی حداکثر سرعت در نظر گرفته می شود، به طوری که در مدل پیشنهادی (مدل ۲) در هر بازه زمانی با توجه به آن چه که قبلاً نیز گفته شد سرعت بهینه با توجه به عوامل بار و شیب جاده به منظور کاهش مصرف سوخت وسائط نقلیه در نظر گرفته شده است، مگر این که محدوده ترافیکی مانع از حرکت وسائط نقلیه در سرعت بهینه شود که در این صورت از نزدیک ترین سرعت مجاز به سرعت بهینه استفاده شده است. بیشترین بهبود در میزان مصرف سوخت در مساله شماره (۴) رخ داده که در حدود ۳۶٪ است در حالی که تنها ۲/۸٪ افزایش زمان طی مسیر را نسبت به مدل (۱) داشته است. این نتایج به طور واضح تری در نمودار شکل های ۸ و ۹ پیداست، لازم به ذکر است به دلیل بهتر نشان دادن مصرف سوخت در شکل ۸، داده پرت مربوط به شماره مساله ۶ حذف شده است.

با توجه شکل ۸ در تمامی مسائل کاهش قابل ملاحظه در میزان سوخت مصرفی با توجه به مدل پیشنهادی رخ داده است، در صورتی که زمان سفر افزایش قابل توجهی نیافته است. این نتایج نشان دهنده تأثیر مدل در کاهش سوخت مصرفی است.

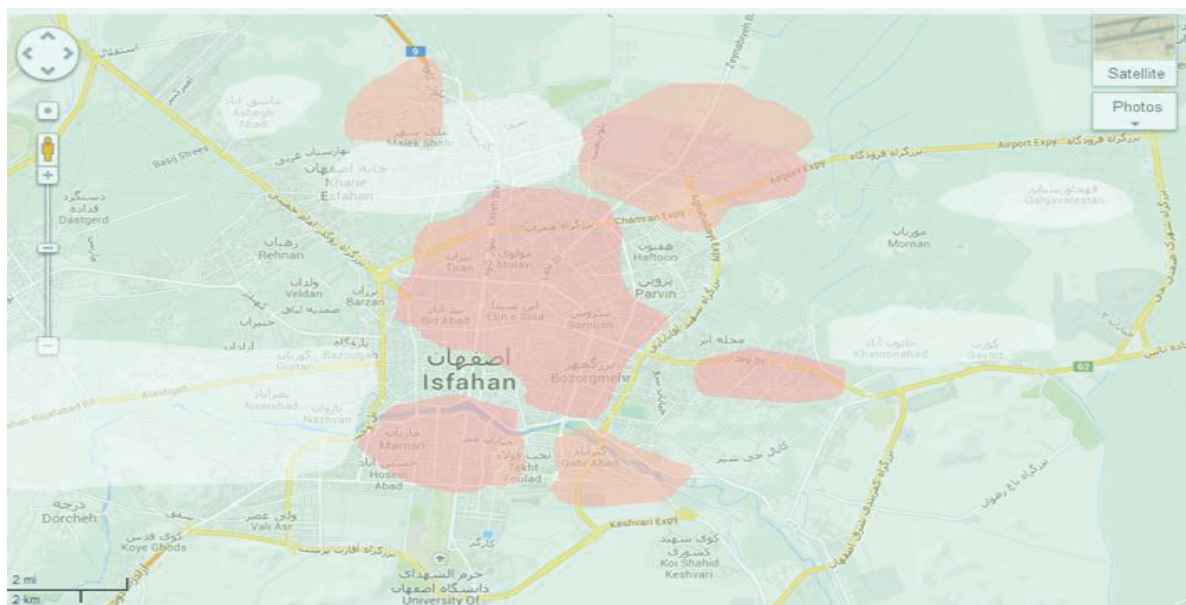


شکل ۸. نمودار سوخت مصرفی



شکل ۹. نمودار زمان طی سفر

کاهش مصرف سوخت در مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ترافیک شهری، مطالعه موردی: یک شرکت توزیع در اصفهان



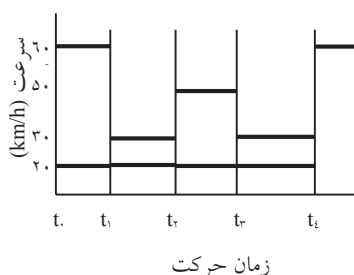
شکل ۱۰. محدوده ترافیکی منطقه مشتریان- Google map

$$Y=0.337x + 7.221 \quad (34)$$

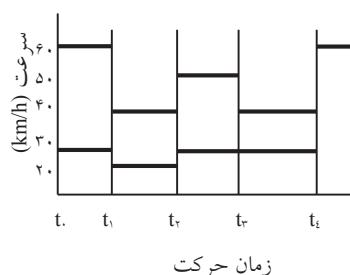
در این معادله Y میزان سوخت مصرف شده توسط شرکت (لیتر) و X میزان سوخت مصرف شده (لیتر)، حاصل از حل مساله را نشان می‌دهد. تغییرات انجام شده در مدل به منظور دستیابی به سوخت مصرفی در ادامه توضیح داده خواهد شد. به منظور بررسی توانایی مساله ارائه شده در بهبود مسائل در دنیای واقعی و همچنین توانایی الگوریتم پیشنهادی، مشتریان و مسیرهای دسترسی وسائط نقلیه به آن‌ها در روز اول که شامل ۲۸ مشتری است، مورد بررسی قرار گرفت.

هر محدوده ترافیکی، حدود سرعت مجاز منحصر به فرد خود را دارد که طبق تجربه رانندگان در بازه‌های زمانی مختلف این حدود با توجه به شکل‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳ تغییر می‌کنند.

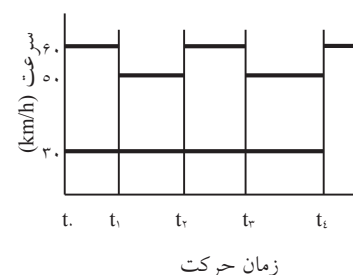
میزان سوخت مصرف شده توسط وسائط نقلیه در روز اول برای سه مسیر ۲۲، ۱۱ و ۱۳ لیتر، در روز دوم ۱۶، ۱۵ و ۹ لیتر و در روز سوم به میزان ۱۶، ۱۵ و ۱۵ لیتر گزارش شد. میزان سوخت مصرف شده برای مسیرهای طی شده در شرکت برای هر سه روز توسط مدل مطرح شده در این پژوهش محاسبه گردید که در روز اول برای سه مسیر ۳۳/۶، ۸/۶ و ۱۹/۸ لیتر، در روز دوم ۳۴/۹، ۲۶/۷ و ۹/۵ لیتر و در روز سوم ۲۵/۴، ۱۹/۴ و ۲۰/۷ لیتر به دست آمد. به منظور بررسی رابطه‌ای میان میزان سوخت مصرف شده در شرکت و میزان سوخت مصرف شده در مدل از تخمین رگرسیون استفاده گردید. بهترین نوع معادله رگرسیونی خطی با صحت برآورد $R^2=0.734$ تشخیص داده شد.



شکل ۱۳. تغییرات سرعت محدوده ترافیکی سنگین



شکل ۱۲. تغییرات سرعت محدوده ترافیکی نیمه سنگین



شکل ۱۱. تغییرات سرعت محدوده ترافیکی سبک

در این شکل‌ها t_0 ، t_1 ، t_2 ، t_3 و t_4 به ترتیب نشان‌دهنده ساعت ۶/۵، ۷/۵، ۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۱۴ بعدازظهر هستند. در هر یک از محدوده‌های ترافیکی بازه زمانی اول (۶/۵-۷/۵ صبح) بازه زمانی خلوت، بازه زمانی دوم (۷/۵-۹ صبح) بازه زمانی شلوغ، زیرا که در این بازه زمانی اکثر افراد به سمت محل کار خود حرکت می‌کنند. بازه زمانی سوم (۹-۱۲ ظهر) بازه زمانی نیمه‌سنگین، بازه زمانی چهارم (۱۲-۱۴ بعد از ظهر) بازه زمانی شلوغ که افراد از محل کار به سمت محل استراحت، غذا و یا منزل خود حرکت می‌کنند، ولی نسبت به بازه زمانی دوم خلوت‌تر است و در نهایت بازه زمانی آخر مانند بازه زمانی اول در نظر گرفته شده است.

با توجه به این‌که به منظور پیمودن مسیر از یک گره (مشتری) به گره (مشتری) بعدی، ممکن است مسیر در محدوده‌های ترافیکی متفاوت قرار گیرد لازم است که نقاط شکست هر مسیر مشخص شود. منظور از نقاط شکست در مسیر، نقاطی هستند که وسیله نقلیه در پیمودن آن مسیر از یک محدوده ترافیکی وارد محدوده ترافیکی دیگر می‌شود. در نتیجه در آن نقاط بایستی تغییراتی که در نتیجه‌ی تغییر در محدوده ترافیکی به وجود می‌آید، از جمله سرعت سفر، در مساله اعمال شود. بنابراین مسیر بین مشتریان به قسمت‌هایی که در هر قسمت الگوی ترافیکی ثابت است تقسیم گردید. سپس میزان سوخت مصرف شده در بین دو مشتری از جمع سوخت مصرف شده در هر قسمت به دست آمد. به دست آوردن مسافت هر مشتری تا نقاط شکست کمک می‌کند تا تغییر محدوده ترافیکی نیز در مساله در نظر گرفته شود. بدین منظور علاوه بر محاسبه فاصله بین مشتریان که از Google Map استفاده گردید، فاصله بین نقاط شکست و تک‌تک مشتریان نیز محاسبه شد.

به دلیل این‌که شرکت مورد نظر توزیع لبنیات را به عهده دارد که کالاها در کارتن، سبد، حلب و یا شل‌های بسته‌بندی، متناسب با تقاضای مشتری قرار داده می‌شوند، حجم این نوع کالاها قابل چشم‌پوشی نیست. بنابراین علاوه بر این‌که تقاضای وزنی مشتریان نباید از ظرفیت بار وسیله نقلیه (۳ تن) تجاوز کند این نکته نیز در نظر گرفته شد که تقاضای حجمی مشتریان نباید از

حجم وسیله نقلیه (۴ متر مکعب) تجاوز کند. طبق مسیرهای گزارش شده توسط شرکت در سه مسیر به طور متوسط ۲۵٪ ظرفیت حجمی وسیله نقلیه پر شده است، بنابراین محدودیتی دیگر به مساله اضافه شد که علاوه بر محدودیت وزن کالاهای سفارش داده شده توسط مشتریان، محدودیت حجم آن‌ها نیز در مساله در این مطالعه موردی در نظر گرفته شد، به طوری‌که حجم تقاضای مشتریان تخصیص داده شده از ۲۵٪ حجم وسیله نقلیه تجاوز نکند. در وضعیت قبل از اجرای مدل، زمان طی مسیرهای طی شده توسط شرکت برای ۳ وسیله نقلیه موجود، در مجموع برابر با ۴ ساعت و ۵۳ دقیقه و میزان سوخت مصرفی توسط سه وسیله نقلیه برابر ۴۶ لیتر گزارش شد. به منظور اجرای مدل به همراه الگوریتم کرم شب‌تاب پیشنهاد داده شده، مساله با توجه به تابع هدف کمینه کردن سوخت مصرفی حل شد. زمان طی مسیر وسائط نقلیه برابر با ۴ ساعت و ۴۰ دقیقه گردید. اگر شرکت بخواهد مسیر پیشنهاد داده شده را طی کند، در این صورت طبق معادله (۳۴) میزان سوخت مصرفی آن برابر با ۳۹ لیتر می‌شود که نشان‌دهنده بهبود قابل ملاحظه ۱۵٪ درصدی در سوخت مصرفی برای وسائط نقلیه است. همچنین درصد بار خالی شده در ۴۰٪ اول توقفات مسیرهای گزارش شده توسط شرکت برابر با ۲۶٪ به دست آمد، در صورتی‌که برای مسیرهای حاصل شده از حل مساله برابر با ۴۱٪ به دست آمده است. در نتیجه در مساله مطرح شده میزان سوخت مصرف شده توسط تحویل زودتر بارهای سنگین‌تر کاهش می‌یابد.

۸ نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر مصرف سوخت وسائط نقلیه در حوزه‌های شهری با در نظر گرفتن ترافیک شهری پرداخته شد و عواملی همچون بار و سرعت وسیله نقلیه، شیب جاده، مسافت طی شده و تراکم شهری مد نظر قرار گرفت و یک مدل ریاضی جدید به منظور کاهش توأم زمان طی سفر و مصرف سوخت ارائه گردید. به منظور حل مدل از الگوریتم کرم شب‌تاب پایه و الگوریتم پیشنهادی کرم شب‌تاب بهبودیافته

کاهش مصرف سوخت در مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ترافیک شهری، مطالعه موردی: یک شرکت توزیع در اصفهان

چندگانه"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال دهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲، ص. ۲۸۰-۲۶۳.

- نوروزی، نرگس، رزمی، جعفر و عمل‌نیک، محسن صادق (۱۳۹۲) "مساله مسیریابی وسائط نقلیه با هدف کاهش سوخت مصرفی و تعداد وسائط نقلیه توسط الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات"، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۷، شماره ۱، فروردین ۱۳۹۲، ص. ۱۱۲-۱۰۵.

- صابریان، جواد، سعیدی مسگری، محمد (۱۳۸۹) "مسیریابی بهینه بر اساس معیار زمان با توجه به شرایط متغیر ترافیکی" فصل‌نامه مهندسی حمل و نقل، دوره اول، شماره ۴، تابستان ۱۳۸۹، صفحه ۶۵-۵۳

- Balseiro, S. R., Loiseau, I. and Ramonet, J. (2011) "An ant colony algorithm hybridized with insertion heuristics for the time dependent vehicle routing problem with time windows", Computers and Operations Research, Vol. 38, pp. 954-966.

- Bektaş, T. and Laporte, G. (2011) "The pollution-routing problem", Transportation Research Part B, Vol. 45, pp. 1232-1250.

- Chen, H. K., Hsueh, C. F. and Chang, M. S. (2006) "The real-time time dependent vehicle routing problem", Transportation Research Part E, Vol. 42, pp. 383-408.

- Clarke, C. and Wright, J. Q. (1964) "Scheduling of vehicle from a central depot to a number of delivery points", Operations Research, Vol. 12, pp. 568-581.

- Coe, E. (2005) "Average carbon dioxide emissions resulting from gasoline and diesel fuel", Technical report, United States Environmental Protection Agency. Website: www.epa.gov/otaq/climate/420f05001.pdf

- Dantzig, G. and Ramser, J. (1959) "The truck dispatching problem", Management Science, Vol. 6, No. 1, pp. 80-91.

استفاده گردید. نتایج حاصل از حل مثال‌های نمونه نشان داد که الگوریتم پیشنهادی به طور متوسط باعث ایجاد ۵/۲٪ بهبود نسبت به الگوریتم پایه می‌گردد و این امر بر عملکرد بهتر الگوریتم پیشنهادی بر الگوریتم پایه صحت‌گذاری می‌کند. بیشترین بهبود الگوریتم پیشنهادی در حدود ۵/۱٪ است، در حالی که زمان اجرا در این مساله تنها ۱٪ افزایش داشته است. به منظور بررسی تأثیر مدل پیشنهادی بر کاهش مصرف سوخت، تمامی مسائل نمونه یک‌بار با مدل پیشنهادی و یک‌بار با تابع هدف کاهش زمان سفر حل شدند. نتایج نشان داد که مصرف سوخت در مدل پیشنهادی به طور متوسط ۱۳٪ کاهش یافته است. همچنین مدل پیشنهادی در مطالعه موردی باعث کاهش مصرف سوخت تا ۱۵٪ گردید.

۹. پی‌نوشتها

- 1- Transportation
- 2- Vehicle Routing Problem (VRP)
- 3- Saving Algorithm
- 4- Time Dependent Vehicle Routing Problem
- 5- Time Dependent Travel Salesman Problem
- 6- Mixed Integer Linear Programming (MILP)
- 7- Greedy Heuristic
- 8- Tabu Search
- 9- Genetic Algorithm (GA)
- 10- Ant Colony Algorithm (ACO)
- 11- Insertion Algorithm
- 12- Emissions Vehicle Routing Problem (EVRP)
- 13- Energy Minimizing Vehicle Routing Problem (EMVRP)
- 14- Capacitated VRP (CVRP)
- 15- Gross Vehicle Weight Rating (GVWR)
- 16- Firefly Algorithm (FA)
- 17- Mixed Integer Non Linear Programming (MIN-LP)
- 18- Local Search (LS)
- 19- www.bernabe.dorronsoro.es/vrp

۱۰. مراجع

- ستاک، مصطفی، حبیبی، مجید، کریمی، حسین و عابدزاده، مصطفی (۱۳۹۲) "مدل‌سازی و حل مساله مسیریابی وسیله نقلیه وابسته به زمان با پنجره‌های زمانی نیمه نرم در گراف‌های

- pollution routing problem”, Forthcoming in Transportation Research Part B: Methodological.
- Haghani, A. and Jung, S. (2005) “A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times”, Vol. 32, No. 11, pp. 2959-2986.
 - Hashimoto, H., Yagiura, M. and Ibaraki, T. (2008) “An iterated local search algorithm for the time-dependent vehicle routing problem with time windows”, Discrete Optimization, Vol. 5, pp. 434-456.
 - Hickman, J., Hassel, D., Joumard, R., Samaras, Z. and Sorenson, S. (1999) “MEET Methodology for calculating transport emissions and energy consumption”, Technic report, European Commission / DG VII, Rue de la Loi 200, 1049 Brussels, Belgium.
 - Hill, A.V. and Benton, W. C. (1992) “Modeling intra-city time dependent travel speeds for vehicle scheduling problems”, Operations Research Society, Vol. 43, No. 4, pp. 343-351.
 - Ichoua, A., Gendreau, M. and Potvin, J.Y. (2003) “Vehicle dispatching with time-dependent travel times”, European Journal of Operational Research, Vol. 144, pp. 379-396.
 - Jabali, O., Van Woensel, T. and de Kok, A.G. (2012) “Analysis of travel times and CO2 emissions in time-dependent vehicle routing”, Production and Operations Management, Vol. 21, No. 6, pp. 1060-1074.
 - Kara, I., Kara, B. and Yetis, M. (2007) “Energy minimizing vehicle routing problem”, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4616, pp. 62-71.
 - Kim, N. S., Janic, M. and Van Wee, B. (2009) “Trade-off between carbon dioxide emissions and logistics costs based on multi objective optimization”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2139, No. 1, pp. 107-116.
 - Kuo, Y. (2010) “Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time dependent vehicle routing problem”, Computers and Industrial Engineering, Vol. 59, No. 1, pp. 157-165.
 - Demir, E., Bektas, T. and Laporte, G. (2011) “A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation”, Transportation Research Part D, Vol. 6, No. 5, pp. 347-357.
 - Demir, E., Bektaş, T. and Laporte, G. (2012) “An adaptive large neighborhood search heuristic for the Pollution-Routing Problem”, European Journal of Operational Research, Vol. 223, pp. 346-359.
 - Demir, E., Bektaş, T. and Laporte, G. (2013) “A review of recent research on green road freight transportation”, Beta Working Paper Series 428.
 - Donati, A., Montemanni, R., Casagrande, N., Rizoli, A. and Gambardella, M. (2008) “Time dependent vehicle routing problem with a multi ant colony system”, European Journal of Operational Research, Vol. 185, No. 3, pp. 1174-1191.
 - Farhang Moghaddam, B., Ruiz, R. and Sadjadi, S.J. (2012) “Vehicle routing problem with uncertain demands: An advanced particle swarm algorithm”, Computers and Industrial Engineering, Vol. 62, pp. 306-317.
 - Figliozzi, M. A. (2010) “Vehicle routing problem for emissions minimization”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2197, No. 1, pp. 1-7.
 - Figliozzi, M. A. (2011) “The impacts of congestion on time-definitive urban freight distribution networks CO2 emission levels: Results from a case study in Portland, Oregon”, Transportation Research Part C, Vol. 19, pp. 766-778.
 - Fister, I., Fister Jr, I., Yang, X.-S. and Brest, J. (2013) “A comprehensive review of firefly algorithms”, Swarm and Evolutionary Computation, Vol. 13, pp. 34-46.
 - Fleischmann, B., Gietz, M. and Gnutzmann, S. (2004) “Time-varying travel times in vehicle routing”, Transportation Science, Vol. 38, No. 2, pp. 160-173.
 - Franceschetti, A., Honhon, D., Van Woensel, T., Bektas, T. and Laporte, G. (2013) “Time dependent

CMEM models for estimating hot-stabilized light-duty gasoline vehicle emissions”, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 30, No. 6, pp. 1010-1021.

- Sbihi, A. and Eglese, R.W. (2007a) “Combinatorial optimization and green logistics”, 4OR: A Quarterly Journal of Operations Research, Vol. 5, pp. 99-116.

- Urquhart, N., Hart, E. and Scott, C. (2010a) “Building low CO2 solutions to the vehicle routing problem with Time Windows using an evolutionary algorithm”, In Evolutionary Computation (CEC), 2010 IEEE Congress, Barcelona, Spain.

- Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., and Xu, Y. (2012) “Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem”, Computers and Operations Research, Vol. 39, No. 7, pp. 1419-1431.

- Yang, X.S. (2008) “Firefly algorithm”, Nature Inspired Meta heuristic, Vol. 20, pp. 79-90.

- Yong, P., and Xiaofeng, W. (2009) “Research on a Vehicle Routing Schedule to Reduce Fuel Consumption”, In Measuring Technology and Mechatronics Automation, Vol. 3, pp. 825-827.

- Lawrence Bodin, B. G. (1981) “Classification in vehicle routing and scheduling”, Networks, Vol. 11, pp. 97-108.

- Maden, W., Eglese, R. and Black, D. (2010) “Vehicle routing and scheduling with time varying data: A case study”, Journal of the Operational Research Society, Vol. 61, pp. 515-522.

- Malandraki, C. and Daskin, M. S. (1992) “Time dependent vehicle routing problems: formulations, properties and heuristic algorithms”, transportation science, Vol. 26, No. 3.

- Pal, S. K., Rai, C. S. and Singh, A. P. (2012) “Comparative study of firefly algorithm and particle swarm optimization for noisy non-linear optimization problems”, Intelligent Systems and Applications, Vol. 10, pp. 50-57.

- Palmer, A. (2007) “The development of an integrated routing and carbon dioxide emissions model for goods vehicles”, Phd thesis, School of Management, Cranfield University, Bedford, United Kingdom.

- Rakha, H., Ahn, K. and Trani, A. (2003) “Comparison of MOBILE5a, MOBILE6, VTSMICRO, and

