Archive of SID

مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی با در نظر گرفتن وابسته بودن میزان مصرف سوخت به میزان بار

سید محمد حسین اورازانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد ، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلانی، قزوین، ایران

فرهاد اعتباری (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران

E-mail:featebari@gmail.com

دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۱ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

چکیده

در طی سال‌های گذشته، تحقیقات زیادی به جهت کاهش هزینه حمل و نقل با استفاده از مدل‌های متفاوت مسأله مسیریابی وسیله نقلیه صورت گرفت. افزایش هزینه های توزیع کالا و تبعات ناشی از افزایش میزان آلایندگی ناشی از وسائل نقلیه، باعث شد استفاده از مدلهای مسیریابی وسائل نقلیه سبز، رواج بیشتری پیدا کند.. یکی از راهکارهای کاهش آلودگی، استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی است. این وسایل دارای آلایندگی ناچیز هستند و نقش بسزایی در کاهش میزان گازهای آلاینده دارند. محدودیت اصلی در استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی حجم پایین انرژی باتری، زمان شارژ مجدد طولانی و محدود بودن جایگاه های سوختگیری آنها است. بنابراین باید محدودیت ایستگاه های شارژ این خودروها نیز در مسیریابی آنها در نظر گرفته شود. از طرف دیگر، با توجه به محدود بودن میزان انرژی وسائل نقلیه الکتریکی، میزان مصرف سوخت این ناوگان به شدت وابسته به میزان بار آنها بوده و درنظر گرفتن میزان بار آنها در برنامه ریزی های انجام گرفته ضروری می باشد. در این تحقیق تلاش می‌شود تا با در نظر گرفتن میزان بار جا بجا شده بین گرههای تقاضا که تاثیر مستقیمی بر روی مصرف انرژی الکتریکی این وسایل دارد و در نظرگرفتن محدود بودن ایستگاه های شارژ خودرو، به ارائه مدلی بپردازیم که هزینه های سوخت مصرف شده را تا حد امکان کاهش دهد. .برای حل این مسئله، دو الگوریتم مختلف، شامل یک الگوریتم ابتکاری دو مرحله ای و الگوریتم فراابتکاری شبیه سازی تبرید ارائه شده است.نتایج محاسباتی نشان می دهد که الگوریتم ابتکاری دو مرحله ای می تواند جواب های با کیفیت مناسبی را در زمان محدودی ارائه داده و قابلیت فراوانی به منظور استفاده در حل مسائل واقعی در ابعاد بزرگ دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ابتکاری دو مرحله ای، ایستگاه شارژ خودرو، وسایل نقلیه الکتریکی، مسیریابی وسائل نقلیه

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

توسعه روز افزون شهرنشینی، صنایع و بخصوص صنایع پشتیبانی، جابجایی انسان و کالا را به صورت مسئله ای در آورده است که پیچیدگی آن در حال افزایش است. با توجه به آمار سازمان ملل، رشد اقتصادی موجب افزایش تقاضای حمل و نقل شده به گونه ای که به ترتیب ٤٤ و ۷۸ درصد از کالاها و مسافران از طریق حمل و نقل زمینی انتقال داده می‌شوند که این خود توجه فروان به سیستم حمل و نقل را می‌طلبد. در حوزه لجستیک، لجستیک سبز توجه بیشتری را به عنوان یک نمونه توسعه پایدار به خود جلب کرده است. مسائل محیط زیست می‌تواند برتصمیمات مختلف لجستیک مانند مکان انبار، منبع یابی مواد، انتخاب مدل و مدیریت حمل و نقل اثر بگذارد. حمل ونقل، بزرگترین منبع آلودگی در لجستیک است. برای مثال، در کانادا، حمل ونقل ۲۷ درصد گازهای گلخانه ای منتشر شده در سال ۲۰۰۷ را به خود اختصاص داده است و در ایالات متحده بخش حمل و نقل ۲۸ درصد گازهای گلخانه ای ملی منتشر شده را تولید کرده است [Zhang et al. 2014].

در میان روش های مختلف حمل و نقل، وسایل نقلیه دیزلی مخصوص کارهای متوسط تا سنگین، حدود یک سوم گازهای گلخانه ای تولید شده به وسیله حمل و نقل را به خود اختصاص داده اند [Elhedhli and Merrick, 2012]. بنابراین میبایست تلاش بیشتری به حوزه مدیریت حمل و نقل در لجستیک با هدف کمینه کردن اثرات تخریبی بر محیط زیست اختصاص یابد.

با توجه به موارد ذکر شده می‌توان گفت حمل و نقل سبز حمل و نقلی است که از پایداری زیست محیطی از طریق حمایت از اقلیم جهانی، اکوسیستم، سلامتی عامه و منابع طبیعی و دو قطب دیگر پایداری به ویژه قطب اقتصادی (حمل و نقل عادلانه، کارآمد و قابل دسترس برای همگان و حامی اقتصاد رقابتی پایدار از طریق توسعه منطقه ی متعادل و ایجاد مشاغل مناسب) و قطب اجتماعی (برآوردن نیازهای پایه و توسعه افراد،موسسات و جامعه به روشی ایمن و منطبق با سلامت انسان و اکوسیستم و حمایت از کاهش فقر و ایجاد عدالت بین نسلی) حمایت می‌کند. بنابراین انتخاب وسایل نقلیه مناسب برای حمل و نقل کالا از اهمیت بالایی برخوردار است تا از آلودگی هوا کاسته گردد.

یکی از راهکارهای کاهش آلودگی استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی است. این وسایل دارای آلایندگی ناچیز هستند و نقش بسزایی در کاهش میزان گازهای آلاینده دارند. با توجه به محدود بودن سوخت های فسیلی، استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی نقش به سزایی در کاهش مصرف سوخت های فسیلی دارد. همچنین وسایل نقلیه الکتریکی کارآیی بیشتری نسبت به وسایل نقلیه دیزلی و بنزینی دارد. در وسایل نقلیه دیزلی و بنزینی ۷۵ درصد انرژی به صورت گرما و اصطکاک هدر می‌رود و تنها ۲۵ درصد از انرژی به نیروی محرک چرخ ها تبدیل می‌شود. در حالی که در وسایل نقلیه الکتریکی تنها ۲۰ درصد انرژی اتلاف می‌شود. از آنجایی که تعداد قطعات استفاده شده در وسایل نقلیه الکتریکی نسبت به خودروهای معمولی کمتر و حرارت ایجاد شده آن ها نیز کمتر است، بنابراین وسایل نقلیه الکتریکی هزینه نگهداری تعمیرات کمتری نسبت به وسایل نقلیه معمول دارد. همچنین در برخی کشورها، دولت ها تسهیلاتی از قبیل کاهش مالیات و عوارض برای خرید وسایل نقلیه الکتریکی و اعطای تسهیلات برای خرید آن ها ارائه می‌دهد. مزیت دیگروسایل نقلیه الکتریکی این است که این وسایل می‌تواند از برق تولید شده توسط چند منبع شارژ شود. این منابع شامل انرژی باد، خورشیدی، هسته ای، آبی و سوختهای زیستی تامین می‌شود. استفاده از این منابع می‌تواند میزان وابستگی به نفت و بنزین را کاهش دهد و در نتیجه واردات سوخت کمتری صورت می‌گیرد که باعث کاهش هزینه های سوخت وارداتی می‌شود. استفاده از این نوع وسایل در صنعت حمل و نقل (عمومی، کالا و ...) رو به افزایش است و مطالعات بسیاری بر روی طراحی و بهینه سازی عملکرد این

www.SID.ir

Archive of SID

نوع وسایل صورت گرفته است. محدودیت اصلی در استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی حجم پایین انرژی باتری آن ها در مقایسه با خودروهای دارای سوخت فسیلی، زمان شارژ مجدد طولانی و محدود بودن جایگاه های سوختگیری (شارژ) آنهاست. از آنجایی که سوختگیری این خودروها به وسیله تجهیزات منحصر به فردی است و بر خلاف سایر خودروها (از قبیل بنزینی و گازوئیلی) دارای ایستگاههای سوختگیری محدودی است، بنابراین باید محدودیت ایستگاه های شارژ این خودروها نیز در نظر گرفته شود. محدودیت دیگر این وسایل وابسته بودن مصرف میزان انرژی به میزان بار وسیله نقلیه است که این خود محدودیت هایی در دنیای واقعی میگردد. با این باعث اعمال حال و به دلیل میزان تاثیر مثبت آنها در کاهش آلودگی هوا، طراحی و ایجاد جایگاه های سوختگیری رو به افزایش است. شایان ذکر است که کاهش در سوخت مصرفی به کاهش هزینه‌های سرویس دهی و در نتیجه رضایت مشتریان می‌انجامد.

نوآوری اصلی این تحقیق بر خلاف سایر مقالات مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی که نرخ مصرف سوخت را وابسته به میزان مسافت طی شده در نظر گرفته اند، در نظر گرفتن وابسته بودن نرخ مصرف سوخت وسیله نقلیه به میزان بار حمل شده است. همچنین در نظر گرفتن محدودیت شارژ باتری وسیله نقلیه الکتریکی و امکان شارژ مجدد آن طی فرآیند تحویل کالا نیز در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است. برای حل مدل پیشنهادی علاوه بر الگوریتم شبیه سازی تبرید از یک الگوریتم ابتکاری دو مرحله ای مبتنی بر ویژگی خاص این مسئله که وابسته بودن نرخ مصرف سوخت به میزان بار حمل شده است، بهره جستیم.

ژیائو و همکاران در سال ۲۰۱۲ فرمول بندی را برای میزان مصرف سوخت بر اساس نرخ مصرف سوخت محاسبه شده برای خودروها ارائه دادند. در این فرمول بندی میزان مصرف سوخت تابعی از میزان بار و مسافت می باشد و آن را در تابع هدف مساله مسیریابی خود قرار دادند [Xiao et al.2012]. زاچاریادیس و همکاران در سال ۲۰۱۵ به ارائه یک مدل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با تحویل وبرداشت همزمان را با در نظر گرفتن کمینه کردن مجموع سوخت مصرف شده پرداختند. در این مدل به دلیل وجود دو نوع تقاضا شامل تقاضای گذاشت و برداشت میزان بار حمل شده در هر مسیر از مجموع مقدار بار حمل شده تقاضای گذاشت و مقدار بار حمل شده تقاضای برداشت به دست می آید [Zachariadis et al. 2015]. لو و همکاران در سال ۲۰۱۶ مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با تحویل چندگانه را با در نظر گرفتن محدودیت پنجره زمانی و هزینه خطی وابسته به بار را با استفاده از الگوریتم شاخه و قیمت و برش حل کردند. در مدل پیشنهادی آنها تاثیر وزن خالص وسیله نقلیه و مسافت طی شده در هر مسیر به عنوان یک تابع خطی در تابع هدف مسئله در نظر گرفته شده است [Lou et al. 2016].

نوبخت و مصطفوی ماریان یک مدل مکانیابی جایگاه‌های عرضه سوخت بر مبنای حداکثر پتانسیل خدمت‌دهی ناحیه ها بر اساس سیستم اطلاعات جغرافیایی با مطالعه موردی در شهر مشهد ارائه دادند. آنها با استفاده از حل مدل ریاضی و اطلاعات بدست آمده از GIS به این نتیجه رسیدند که نیاز به احداث ۱۸ جایگاه سوخت دیگر در شهر مشهد است [Mobakhat and Mostafavi, 2010]. اردوگان و میلر- هوکس در سال ۲۰۱۲ به بررسی مساله حمل و نقل با در نظر گرفتن جایگاه های سوخت پرداختند. مدل ارائه شده توسط آنها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح است که در آن برای هر جایگاه سوخت تعدادی گره مجازی تعریف می‌شود که این خود باعث افزایش ابعاد مساله و در نتیجه افزایش جواب حل می‌گردد. در مدل پیشنهادی وسایل نقلیه همگن در نظر گرفته شده است و معادلات پنجره زمانی در مدل اعمال شده است. آن ها دو الگوریتم ابتکاری برای حل در ابعاد بزرگ ارائه دادند. اولین الگوریتم مبتنی بر الگوریتم صرفه جویی کلارک و رایت است. دومین الگوریتم مبتنی بر چگالی خوشه بندی فاصله ای است. در نتایج محاسباتی این دو الگوریتم تقریبا نتایج محاسباتی مشابهی داشتند

www.SID.ir

Archive of SID

[Erdoğan and Miller-Hook, 2012]. اشنایدر و همکاران در سال ۲۰۱٤ یک مدل مسیریابی با در نظر گرفتن وسایل نقلیه الکتریکی، پنجره زمانی و جایگاه های سوخت ارائه دادند. در مدل آنها نیز افزودن جایگاه های سوخت مجازی اعمال شده است. آن ها برای حل از یک الگوریتم ترکیبی که شامل الگوریتم جستجوی محلی و جستجوی ممنوعه بود بهره حستند. نتایج عددی به دست آمده در مسائل نمونه متقاعد کننده بود [Schneider et al. 2014]. هادی‌پور و پورابراهیم، یک مدل در محیط GIS با رویکرد معرفی مناطق قابل توسعه جهت توسعه جاده‌ها و جانمایی بهینه مقاصد عمده حمل و نقل شهری با هدف افزایش دسترسی و کاهش مصرف سوخت، ارائه دادند. آنها در یک مطالعه موردی در شهر اراک نتیجه گیری کردند که مدیریت مسیرهای تردد شهری می‌تواند کاهش ۲۰ درصدی مصرف سوخت را به همراه داشته باشد [Hadipour and Pour Ebrahim, 2012]. همچنین فیلیپ و همکاران (۲۰۱٤) مساله مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی را با در نظر گرفتن تکنولوژی شارژ در ایستگاه های سوختگیری مطرح نمودند. همچنین آنها شارژ نیمه کامل را نیز در مدل در نظر گرفتند. آن ها از الگوریتم های شبیه سازی تبرید و جستجوی محلی برای حل استفاده کردند. در مشاهدات با حداکثر ۲۰۰ مشتری الگوریتم جستجوی محلی و در مشاهدات بیشتر از ۲۰۰ مشتری الگوریتم شبیه سازی تبرید عملکرد بهتری داشته است [Felipe et al. 2014]. گوک و اشنایدر در سال ۲۰۱۵ یک مساله مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی با پنجره زمانی و در نظر گرفتن ناوگان مختلط که شامل وسایل نقلیه الکتریکی تجاری و وسایل نقلیه مرسوم است ارائه دادند. در این مدل فرض شده است که نرخ مصرف سوخت یک تابع خطی از مسافت طی شده است. هم چنین معدلات مصرف سوخت، سرعت، شیب و وزن محموله در محدودیت ها اعمال شده است. روش حل آن ها استفاده از الگوریتم جستجوی همسایگی است [Goeke and Schneider, 2015]. کخ و کاراگلان در سال ۲۰۱٦ یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح ارائه دادند که در آن نیازی به افزودن گره های مجازی برای جایگاه های سوخت نیست. آنها با استفاده از تعریف پارامترها و متغیرهای تصمیم کمکی به مدلسازی مساله مسیریابی وسایل نقلیه سبز پرداختند. آنها با استفاده از الگوریتم فراابتکاری شبیه سازی تبرید و الگوریتم دقیق شاخه و کران به حل مدل پیشنهادی پرداختند [Koç and Karaoglan, 2016]. کسکین و کتای در سال ۲۰۱٦ محدودیت شارژ کامل را آزاد کردند و به وسیله نقلیه اجازه دادند که شارژ نیمه کامل انجام دهدرکه در دنیای واقعی کاربردی تر است و زمان شارژ را کاهش خواهد داد. آنها یک برنامه ریزی عدد صحیح ارائه دادند و برای حل از جستجوی همسایگی انطباقی استفاده کردند. نتایج محاسباتی آنها نشان می‌داد که شارژ مجدد نیمه کامل ممکن است تصمیمات مسیریابی را بهبود بخشد. هم چنین نتایج محاسباتی نشان داد که روش پیشنهادی آنها در مقایسه با سایر مقالات مشابه در پیدا کردن راه حل ها با کیفیت موثرتر است [Keskin and Çatay, 2016]. رابرتی و ون در سال ۲۰۱٦ مساله مسیریابی را به منظور بازدید هر مشتری در نظر گرفتند. پنجره زمانی نیز در مدل پیشنهادی اعمال شده است. مدل برنامه ریزی عدد صحیح پیشنهادی مسائل با اندازه ۲۰ مشتری را در زمانی معقول حل می‌کند. برای به دست آوردن راه حلهای با کیفیت در زمان مناسب یک الگوریتم سه مرحله ای مبتنی بر جستجوی همسایگی متغییر و برنامه ریزی پویا ارائه دادند.نتایج محاسباتی آن ها نشان می‌داد که الگوریتم پیشنهادی مشاهدات سایز کوچک را در زمان یک دهم ثانیه محاسبه می‌کند و برای مشاهدات بالای ۲۰۰ مشتری راه حلهای خوبی به دست می‌آورد [Roberti and Wen, 2016]. همچنین هیرمن و همکاران در سال ۲۰۱٦ یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح برای مساله مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی که ناوگان حمل و نقل مختلط است ارائه کردند. در این مدل فرض شده است ظرفیت و هزینه استفاده از وسایل نقلیه بسته به نوع آنها متفاوت است. آنها در مدل، محدودیتهای پنجری زمانی

www.SID.ir

Archive of SID

و زمان شارژ هر وسیله نقلیه را نیز در نظر گرفتند. برای حل مدل از الگوریتم شاخه و قیمت و همچنین یک روش ابتکاری ترکیبی شامل جستجوی همسایگی بزرگ و جستجوی محلی درج شده به علاوه فرآیند نشانگذاری استفاده کردند [Hiermann et al. 2016]. داپستد و همکاران در سال ۲۰۱۶ مدلی برای وسایل نقلیه که دارای موتورهای ترکیبی احتراقی و الکتریکی است پرداختند. آن ها هزینه حمل به هر گره را در ۲ حالت در نظر گرفتند. اولین حالت که وسیله نقلیه با موتور احتراقی حرکت می‌کند و در این حالت موتور الکتریکی شارژ می‌شود. دومین حالت این است که وسیله نقلیه با ترکیبی از موتور احتراقی و الکتریکی به حرکت میپردازد. آن ها برای حل از یک روش ابتکاری ۲ مرحله ای استفاده کردند. ابتدا یک جواب اولیه تولید میگردد و سپس در فاز بهبود از عملگرهای جستجوی محلی و 2-opt استفاده کردند [Doppstadt et al. 2016]. پلتیر و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی عوامل کاهش عمر باتری و ببرسی عملکرد آن بر رفتار خودروهای الکتریکی پرداختند. هدف اصلی آنها ارائه مدلهایی برای پیش بینی عمر باتری و شارژ لحظه‌ای آنها و همچنین رفتار کاهش شارژ باتریهای خودروهای الکتریکی است [Pelletier et al. 2017]. ژنگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی تعادل ترافیکی وسایل نقلیه الکتریکی و استفاده بهینه از ایستگاه های شارژ مجدد پرداختند. مسئله پیشنهادی آنها مشابه مسئله طراحی شبکه با معادلات ترافیکی است. مدل پیشنهادی آنها دارای دو سطح است که سطح اول به کمینه کردن هزینه های احداث ایستگاه های شارژ مجدد می‌پردازد و سطح دوم آن هزینه های ترافیکی را کمینه می‌کند [Zheng et al. 2017]. روگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ روشی برای برنامه ریزی هزینه- بهینه سازی شارژ ناوگان اتوبوس و زیرساخت های شارژ مربوط به آن را ارائه دادند. آنها محدودیت و ضرورت زمان شارژ اتوبوسها را مطرح و برای حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. در مطالعه موردی که انجام دادند همچنین نشان دادند که ناوگان مختلط از انواع اتوبوس های مختلف می‌تواند بر اساس عملیات و ویژگی های مسیر اتوبوس به صرفه باشد [Rogge et al. 2018]. صالحیان، توکلی مقدم و نوروزی یک مساله مسیریابی مسایل نقلیه با در نظر گرفتن رضایت مندی مشتریان و کاهش مصرف انرژی ارائه دادند. همچنین در مدل آنها زمان زودکرد و دیر کرد نسبت به موعد تحویل را با کمینه کردن مجموع این زمان کاهش می‌دهد. آنها از الگوریتم زنبور عسل برای حل مدل استفاده کردند و در مقایسه با الگوریتم PSO، کارآیی الگوریتم پیشنهادی مشاهده شد [Salehian, Tavakoli Moghaddam and Norouzi, 2017].

مدل این تحقیق براساس مدل مقاله اردوگان و میلر- هوکس(۲۰۱۲) است. در مدل پیشنهادی آنها نرخ مصرف سوخت خودروهای الکتریکی در هر مسیر، وابسته به مسافت طی شده مسیر مربوطه است؛ به این صورت که سطح سوخت وسیله هنگام رسیدن به هر گره از تفاوت سطح سوخت وسیله نقلیه در گره قبلی از ضرب یک نرخ مصرف سوخت ثابت در فاصله بین دو گره است. ولی در این تحقیق علاوه بر نرخ مصرف وابسته به مسافت، وابستگی نرخ مصرف به میزان بار حمل شده در هر مسیر را نیز در نظر گرفتیم؛ به این صورت که علاوه بر نرخ مصرف وابسته به مسافت که بین گره ها مقداری ثابت و مشخص است یک نرخ مصرف وابسته به بار حمل شده در نظر گرفته شده است که بار حمل شده بین گره ها وابسته به میزان بار حمل شده بین گره ها دارد و این بار حمل شده خود نیز وابسته به ترتیب بازدید گره ها است. این امر منجر به نزدیک شدن مدل پیشنهادی به مسائل دنیای واقعی می‌گردد. همچنین امکان شارژ باتری خودرو در طی فرآیند توزیع با درنظر گرفتن جایگاه محدود شارژ موجود نیز در نظر گرفته شده است. نوآوری دیگر این تحقیق، طراحی یک الگوریتم ابتکاری خاص برای این مدل با در نظر گرفتن دانش مربوط به این مسئله خاص، علاوه برای الگوریتم های فراابتکاری رایج برای حل این مسائل است.

www.SID.ir

Archive of SID

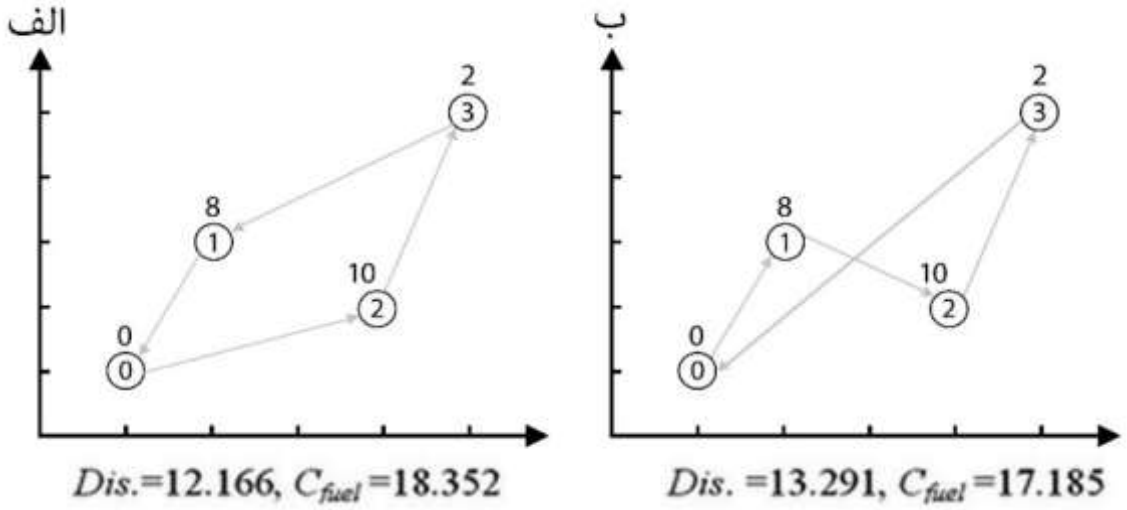
در ادامه، در بخش دوم، مدلسازی ریاضی این مسئله مورد توجه قرار می گیرد. در بخش سوم، جزئیات روشهای حل بکار رفته ارائه می‌گردد. در بخش چهارم، نتایج محاسبات استفاده از طریق الگوریتمهای پیشنهادی و تحلیل حساسیت بررسی خواهد شد. جمع‌بندی و نتیجه گیری انجام گرفته از تحقیق حاضر در بخش آخر مقاله انجام می گیرد.

۲. تعریف مسأله و مدل ریاضی

در بیشتر تحقیقات پیشین مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی نرخ مصرف سوخت را وابسته به مسافت طی شده در نظر گرفته اند. در حالی که در دنیای واقعی نرخ مصرف سوخت وابسته به میزان باری است که وسایل نقلیه در هر مسیر حمل می‌کند. این مسئله در وسائل نقلیه الکتریکی که دارای شارژ محدودی بوده و دسترسی جایگاه های شارژ مجدد آن دشوارتر است دارای اهمیت بیشتری است. ژیائو و همکاران در سال ۲۰۱۲ برای محاسبه نرخ مصرف سوخت وابسته به بار از معادله (۱) استفاده کردند و مسأله خود را FCVRP[1] نامیدند. در معادله (۱) ρ_1 نرخ مصرف سوخت وسیله نقلیه زمانی که وسیله نقلیه حداکثر ظرفیت خود بار دارد و ρ_0 نرخ مصرف سوخت وسیله نقلیه زمانی است که وسیله نقلیه خالی از بار است. همچنین Q ظرفیت وسیله نقلیه است [Xiao et al. 2012].

$$\alpha = \frac{\rho_1 - \rho_0}{Q} \qquad (۱)$$

آنها در تحقیق خود نشان دادند که کوتاه‌ترین مسیر همیشه الزاما مسیری نیست که مصرف سوخت کمتری دارد و برای یافتن مسیر موجهی که مجموع سوخت مصرف شده آن کمینه است علاوه بر طول مسیر باید میزان بار حمل شده بین گره ها را در نظر گرفت. در شکل ۱ مفهوم فوق نشان داده شده است.



شکل۱ . مساله FCVRP

www.SID.ir

Archive of SID

در شکل ۱، نمودار ۱-الف جواب مساله مسیریابی را در حالتی نشان می دهد که تابع هدف کمینه سازی مجموع مسافت طی شده است. اما نمودار ۱-ب حالتی است که تابع هدف مساله مسیریابی کمینه کردن مجموع سوخت مصرفی است. با این که در نمودار ۱-الف مجموع مسافت طی شده کمتر از نمودار ۱-ب است اما سوخت مصرفی در نمودار ۱-الف بیشتر از نمودار ۱-ب است. این نمودار نشان می دهد که درصورت وابستگی مصرف سوخت به میزان بار وسیله نقلیه، لزوما کوتاهترین مسیر، مسیری نیست که مجموع سوخت مصرفی آن کمینه است.

در این تحقیق، مفهوم فوق را در قالب مساله مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی در نظر میگیریم. وسایل نقلیه الکتریکی از آنجایی که نسبت به وسایل نقلیه دیزلی محدودیت سوختی دارند، بنابراین باید برای آنها امکان بازدید جایگاه های سوخت در نظر گرفته شود تا در صورت مواجه شدن با کمبود سوخت بتوانند در جایگاه های سوخت، سوخت‌گیری مجدد را انجام دهند. جایگاه سوخت گرهی است که تقاضایی ندارد و وسایل نقلیه فقط در صورت کمبود سوخت باید آن را بازدید کند. از آنجایی که بازدید جایگاه سوخت می‌تواند بیش از یکبار صورت گیرد و در مساله شرط بازدید هر گره فقط یکبار است، بنابراین باید برای هر جایگاه سوخت تعدادی گره مجازی در نظر بگیریم که این خود باعث افزایش ابعاد مساله میگردد. تعداد گره های مجازی باید به حدی باشد که اندازه شبکه گره ها را کاهش دهد و بازدید های چندگانه جایگاه های سوخت را محدود نکند تا مسیرهای سودمند به دست آید.

در ادامه مفروضات، پارامترها و متغییرهای تصمیم معرفی و سپس به بیان مدل ریاضی مسئله میپردازیم. مفروضات این مسئله بصورت زیر است.

۱. مساله در حالت تک انباری است.

۲. وسایل نقلیه همگن می‌باشند.

۳. وسایل نقلیه در صورت کمبود سوخت، جایگاه سوخت را بازدید می‌کند.

٤. هر جایگاه سوخت می‌تواند بیش از یک بار بازدید شود.

٥. تقاضای هر مشتری مشخص و معین است.

٦. در هر بار ملاقات جایگاه سوخت به اندازه ظرفیت سوختی وسیله نقلیه، سوختگیری می شود.

۷. میزان سوخت مصرفی وابسته به بار حمل شده است.

برای ارائه مدل ریاضی، ابتدا بایستی مجموعه ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مسئله را تعریف نماییم.

N : مجموعه تمام گره ها (دپو، مشتریان و جایگاه‌های سوخت)

N_c : مجموعه مشتریان

N_f : مجموعه جایگاه های سوخت

$\{0\}$: دپو

پارامترها

d_{ij} : فاصله بین گره i و گره j

ρ_0 : نرخ مصرف سوخت وابسته به مسافت طی شده $(\frac{\mathrm{KW}}{\mathrm{Km}})$

α : نرخ مصرف سوخت وابسته به بار حمل شده بر واحد مسافت $(\frac{\mathrm{KW}}{\mathrm{Km.Kg}})$

C_0 : هزینه هر واحد سوخت $(\frac{\$}{\mathrm{KW}})$

D_i: تقاضای گره i (تقاضای دپو و جایگاه های سوخت برابر صفر است)

FV : هزینه ثابت بکارگیری وسیله نقلیه

FS : هزینه ثابت هر بار سوختگیری

C: ظرفیت وسیله نقلیه(Kg)

F : ظرفیت سوخت وسیله نقلیه (KW)

متغیرهای تصمیم

Z : مقدار تابع هدف

www.SID.ir

Archive of SID

X_{ij} : اگر وسیله نقلیه بعد از گره i به گره j برود مقدار ۱ و در غیر این‌صورت مقدار صفر می‌گیرد.

W_{ij} : مقدار باری که وسیله نقلیه از گره i به گره j حمل می کند.

y_i : میزان سوختی که وسیله نقلیه هنگام ترک گره i دارد. $i \epsilon N$

q_j : میزان سوختی که وسیله نقلیه هنگام رسیدن به جایگاه سوخت j دارد. $j \in N_f$

با درنظر گرفتن نمادهای فوق، مدل ریاضی بصورت زیر است.

$$Min\ Z = \sum_{i\in N}\sum_{j\in N} C_0 . d_{ij}(\rho_0 X_{ij} + \alpha W_{ij}) + \sum_{j\in N\setminus\{0\}} FV . X_{0j} + \sum_{i\in N}\sum_{j\in N_f} FS . X_{ij} \quad (۲)$$

$$\sum_{j\in N} X_{ij} = 1 \qquad \forall\, i \in N_c \quad (۳)$$

$$\sum_{j\in N} X_{ij} \le 1 \qquad \forall\, i \in N_f \quad (٤)$$

$$\sum_{i\in N} X_{ji} - \sum_{i\in N} X_{ij} = 0 \qquad \forall\, j \in N \quad (٥)$$

$$\sum_{j\in N} W_{ji} = D_i + \sum_{j\in N} W_{ij} \quad \forall\, i \in N_c \cup N_f \quad (٦)$$

$$W_{ij} \le C . X_{ij} \qquad \forall\, i, j \in N \quad (٧)$$

$$d_{ij}(\rho_0 X_{ij} + \alpha W_{ij}) - F(1 - X_{ij}) \le y_i - y_j \quad \forall\, i \in N, \forall\, j \in N_c \quad (٨)$$

$$y_i - y_j \le d_{ij}(\rho_0 X_{ij} + \alpha W_{ij}) + F(1 - X_{ij}) \quad \forall\, i \in N, \forall\, j \in N_c \quad (٩)$$

$$d_{ij}(\rho_0 X_{ij} + \alpha W_{ij}) - F(1 - X_{ij}) \le y_i - q_j \quad \forall\, i \in N, \forall j \in N_f \quad (١٠)$$

$$y_i - q_j \le d_{ij}(\rho_0 X_{ij} + \alpha W_{ij}) + F(1 - X_{ij}) \quad \forall\, i \in N, \forall j \in N_f \quad (١١)$$

$$y_i \ge d_{i0}(\rho_0 X_{i0}) \quad \forall\, i \in N_c \cup N_f \quad (١٢)$$

$$y_i = F \qquad \forall\, i \in \{0\} \cup N_f \quad (١٣)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall\, i, j \in N \quad (١٤)$$

$$y_i, q_j, W_{ij} \ge 0 \qquad \forall\, i, j \in N \quad (١٥)$$

معادله (۲) تابع هدف مدل است که جمله اول آن مجموع هزینه های سوخت مصرف شده را کمینه می‌کند. جمله دوم هزینه بکارگیری وسایل نقلیه و جمله سوم هزینه ثابت هر بار مراجعه به جایگاه سوخت را محاسبه می کند.

معادله (۳) بیان می‌دارد که هر وسیله نقلیه باید حتما بازدید شود. معادله (٤) بیان می‌دارد که هر جایگاه سوخت می‌تواند بازدید بشود یا نشود که این امر بستگی به میزان سوخت باقی مانده دارد. معادله (٥) معادله برقرار جریان بازدید نقاط است. این محدودیت بیان می‌دارد که به هر گرهی که وارد شویم باید از آن خارج شویم.

معادله (٦) میزان بار حمل شده روی هر مسیر را محاسبه می‌کند. همچنین این محدودیت زیر تور را از بین می‌برد. معادله (۷) بیان می‌دارد که میزان بار حمل شده در هر مسیر نباید از ظرفیت وسیله نقلیه تجاوز کند.

معادله (۸) الی (۱۱) میزان سطح سوخت باقیمانده در هر گره را مشخص می‌کند. معادله (۱۲) بیان می‌دارد که میزان سوخت باقیمانده در هر گره باید برای بازگشت به انبار کافی باشد. معادله (۱۳) بیان می‌دارد که در صورت بازدید جایگاه های سوخت، سطح سوخت به میزان F شارژ می‌شود. همچنین این محدودیت بیان دارد که وسیله نقلیه با تمام ظرفیت سوختی خود از انبار شروع به حرکت می‌کند.

معادله (١٤) و (١٥) محدودیت ساختاری متغییرها را بیان می‌کند.

۳. روش حل پیشنهادی مسأله

از آنجایی که مساله مسیریابی وسیله نقلیه جزو مسائل Np-hard است بنابراین مدل این تحقیق نیز به طریق اولی جزو این دسته بندی است. روش حل استفاده شده برای حل این مساله استفاده از الگوریتم ابتکاری دومرحله ای و الگوریتم شبیه سازی تبرید است.

۳-۱ الگوریتم ابتکاری

در این تحقیق مدل پشنهادی به شدت وابسته به میزان بار اولیه وسایل نقلیه می باشد. بنابراین برای به دست آوردن یک حل اولیه باید میزان بار اولیه مشخص گردد. برای این کار باید به

www.SID.ir

Archive of SID

سـراغ الگوریتمهای دو فازی برویم که در فاز اول خوشه بندی گره ها را انجام داده و در فاز دوم جواب به دســت آمده را تا حد امکان بهبود بخشــید. به این ترتیب، با انجام فاز خوشــه بندی، مقدار بار اولیه وسائل نقلیه پس از خروج از دپو مشخص می گردد فرض کنید در مساله ای مجموع تقاضای مشتریان باید توســط دو وســیله نقلیه تحویل داده شــود. از آنجایی که در حرکت اول از دپو باید مجموع تقاضـاهای مشـتریان تخصیص داده شده به وسیله نقلیه مشخص باشد تا میزان سوخت مصرفی از دپو به اولین مشتری بازدید شده مشخص گردد، بنابراین باید اول خوشه بندی مشتریان را انجام دهیم تا میزان بار حمل شده توسـط وسـیله نقلیه مشـخص شـود. از بین الگوریتمهایی که خوشــه بنـدی را انجـام می‌دهنـد مـا در این تحقیق الگوریتم جـاروب کردن را مـد نظر قرار می‌دهیم. این الگوریتم توســط جیلـت و میلر در ســال ۱۹۷٤ ارائـه گردیـد [Gillet and Miller, 1974]. این الگوریتم یکی از زیر مجموعـه هـای الگوریتم های دو فازی می باشــد که ابتدا فرآیند خوشــه بندی مشــتریان و ســپس فرآیند مســیریابی را انجام می دهد. بدین منظور ابتدا موقعیت واقعی دپو و مشتریان را مشخص می کنیم. در مرحلـه بعـد یک خط افقی از دپو رســم کرده و در مرحله بعـدی زاویـه هر یـک از مشــتریان را با خط افقی مشــخص مینماییم. سـپس خط افقی را در راستای ساعتگرد می چرخانیم و هر موقع به مشتری جدیدی رسیدیم مجموع تقاضای موجود در بخش مذکور را با هم جمع مینماییم. در صــورتیکه مجموع تقاضـای انها از ظرفیت وسیله نقلیه تجاوز نماید مشتری جدید را در داخل خوشــه موجود اضـافه کرده و در غیر این صـورت یک خوشــه جدید به خوشــه های موجود اضـافه می کنیم. این فرآیند را تا جایی ادامه می‌دهیم که تمامی مشــتریان را خوشــه بندی کرده باشــیم. حال از آنجایی که در این تحقیق علاوه بر مشــتریان بحث جایگاه‌های ســوخت مطرح اســت بنابراین باید تغییراتی بر روی الگوریتم جاروب کلاسـیک صورت گیرد تا با مدل حاضـر منطبق گردد. الگوریتم جاروب اصلاح شده دارای قدمهای زیر است :

۳-۱-۱ فاز خوشه بندی و ساخت جواب اولیه

قدم۱: ابتدا مانند الگوریتم جاروب کلاسـیک به خوشــه بندی مشــتریان بر اســاس تقاضــای آنها و ظرفیت وســیله نقلیه می‌پردازیم. برای این کار مقدار An را مطابق رابطه ۱٦ برای هر مشـتری به دسـت می آوریم و سـپس آنها را از کوچکترین به بزرگ‌ترین زاویه مرتب می‌کنیم. برای اینکه مجموعه خوشه‌های بیشــتری بـه دســت بیـاوریم عملیات جارو کردن را یک بار ساعتگرد و یک بار پاد ساعتگرد انجام می‌دهیم.

$$\mathrm{An}_i = \arctan\{(y_i - y_0)/(x_i - x_0)\} \quad (۱٦)$$

که در فرمول فوق (x_i, y_i) مختصـات مشتری i و (x_0, y_0) مختصـات دپو است. شکل ۲ خوشه بندی مشتریان را بر اساس ظرفیت وسیله نقلیه نشان می دهد.

قدم ۲: برای تخصـیص جایگاههای سـوخت به هر خوشــه از مفهوم مرکز جرم در فیزیـک اســتفاده میکنیم. مرکز جرم نقطه اســت که به نمایندگی کل ذرات یک سـیسـتم می‌تواند بیانگر حرکت جســم باشــد. به بیان دیگر فرض می شــود که کل نیروهای وارد بر سیستم بر مرکز جرم اعمال می‌شود. مختصات مرکز جرم نقاط خوشــه c را بر اسـاس فرمولهای زیر به دست می آوریم:

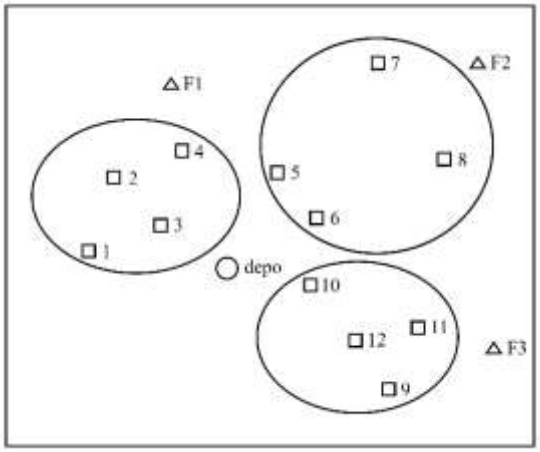
$$X_C = \frac{\sum_{i=1}^{Lc} x_i}{L} \quad (۱۷)$$

$$Y_C = \frac{\sum_{i=1}^{Lc} y_i}{L} \quad (۱۸)$$

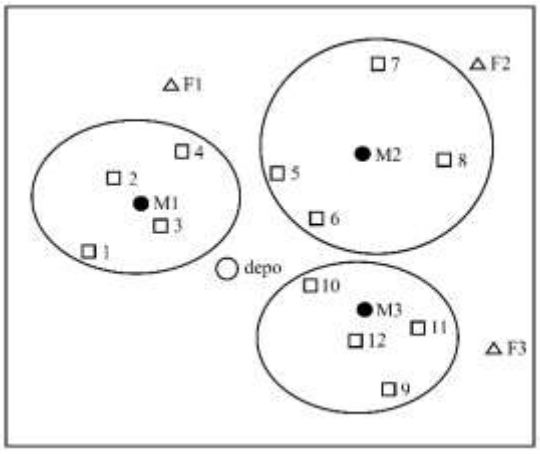
در فرمولهای فوق L_c برابر تعداد مشتریان خوشه c اُم است. در شکل ۳، نقاط M1,M2,M3 مرکز جرم هر خوشه را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



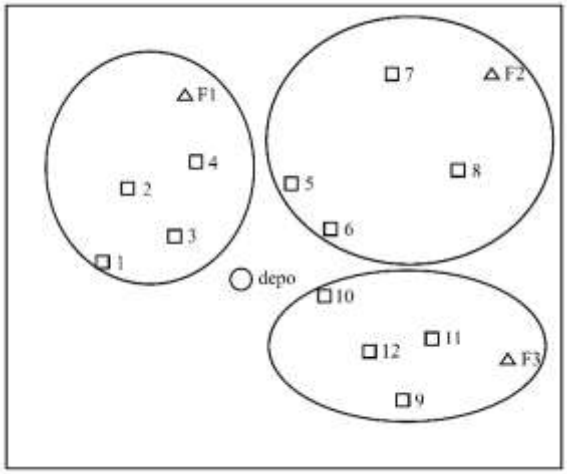
شکل۲. خوشه بندی مشتریان بر اساس تقاضای آنها و ظرفیت وسیله نقلیه



شکل ۳. نمایش مرکز جرم در هر خوشه

سپس نزدیک‌ترین جایگاه سوخت به مرکز جرم هر خوشه را به آن تخصیص داده و خوشه جدید که دارای جایگاه سوخت است را تشکیل می دهیم. در شکل شماره ٤ جایگاه سوخت نزدیک به هر خوشه تخصیص داده شده است.

قدم ۳: پس از تخصیص جایگاه سوخت به خوشه باید سراغ فاز مسیریابی اولیه برویم. برای اینکه یک جواب اولیه برای هر خوشه به دست بیاوریم از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه استفاده می کنیم.



شکل ٤ . نمایش تخصیص جایگاه سوخت به خوشه ها

برای این کار از دپو شروع به حرکت کرده و به نزدیک‌ترین مشتری می‌رویم. سپس بعد از بازدید مشتری اول به نزدیک‌ترین مشتری بعدی می‌رویم. باید توجه داشت که سوخت باقیمانده در هرگره نباید کمتر از صفر بشود و باید به میزانی باشد که بتواند تا رسیدن به مشتری بعدی پاسخگو باشد. بنابراین باید قبل از حرکت بررسی کنیم که آیا میزان سوخت باقیمانده کمتر از صفر می‌شود یا خیر. در صورت نیاز به جایگاه سوخت می‌رویم و پس از سوخت گیری به نزدیک‌ترین مشتری به جایگاه سوخت بازدید شده میرویم. شکل۵، یک جواب اولیه را نشان می دهد.

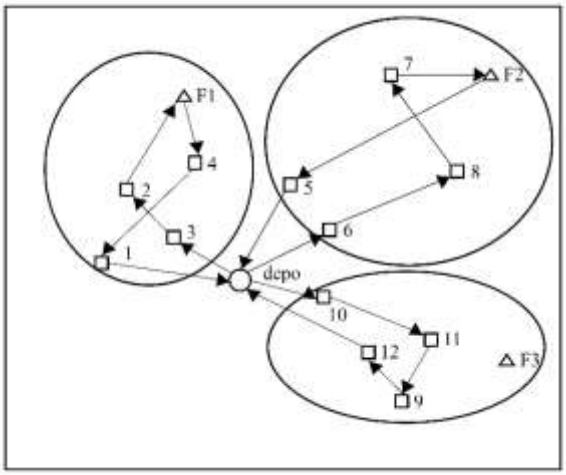
۳-۱-۲ فاز بهبود

در این فاز بایستی جواب اولیه را که از مرحله خوشه بندی به دست آوردیم، با استفاده از عملگرهایی بهبود دهیم. بهبودهایی که برای مساله مسیریابی وسایل نقلیه تعریف می‌گردد در دو زیر مجموعه بهبودهای درون توری و بهبودهای بین توری دسته بندی می‌شود. در این تحقیق برای بهبود جواب اولیه فقط از بهبودهای درون توری استفاده می کنیم. یکی از عملگرهای بهبود درون توری عملگر 2-opt است. این الگوریتم اولین بار توسط کروس در سال ۱۹۵۹ مطرح گردید [Croes, 1959]. در این الگوریتم در هر تکرار دو یال از تور موجود انتخاب شده و حذف می گردد و تور جدیدی ایجاد می‌شود. اگر جواب تور جدید کمتر از تور فعلی بود این تور به عنوان تور

www.SID.ir

Archive of SID

جدید انتخاب می‌شود و این الگوریتم تا جایی که بهبود دیگری رخ ندهد ادامه پیدا می‌کند.



شکل ۵. نمایش جواب اولیه

باید به این نکته توجه داشت که در این تحقیق باید علاوه بر بررسی اینکه آیا جواب تابع هدف در هر بار استفاده از 2-opt بهبود یافته می‌بایست بررسی کرد که میزان سوخت وسیله نقلیه کمتر از صفر نشود. بنابراین در هر بار استفاده از این عملگر میزان سوخت هر گره را بررسی می‌کنیم و اگر کمتر از صفر شده بود آن جواب را در نظر نمی‌گیریم.

۳-۲ الگوریتم شبیه سازی تبرید

شبیه سازی تبرید یک الگوریتم مبتنی بر جستجوی محلی برای جستجوی فضای جواب است. این روش از فرآیند ترمودینامیکی سرد کردن فلزات مذاب برای بدست آوردن کمترین حالت انرژی حاصل می‌شود [Metropolis, 1953]. مزیت اصلی شبیه‌سازی تبرید نسبت به روش‌های جستجوی تصادفی، توانایی آن برای جلوگیری از افتادن در بهینه‌های محلی هنگام جستجو برای مینیمم محلی است. در استراتژی جستجوی شبیه‌سازی تبرید، الگوریتم از یک جواب اولیه آغاز می‌شود. در هر مرحله جواب‌های جدید توسط حرکات تصادفی در همسایگی جواب فعلی تولید می‌شوند. اگر جواب جدید مقدار تابع هدف را بهبود دهد، جایگزین جواب فعلی می‌گردد، در غیر این صورت جواب جدید با احتمال مشخصی شانس پذیرش دارد. چنانچه این عدد تصادفی از احتمال کوچک‌تر بود، جواب جدید پذیرفته می‌شود. در ابتدای الگوریتم جواب های بدتر، با احتمال بیشتری پذیرفته می شوند. این امر اجازه جستجوی منطقه بیشتری از فضای جواب را به ما می‌دهد. دما در هر مرحله تا زمانی که تعداد ثابتی تکرار (k) انجام شود، ثابت باقی می‌ماند. سپس به تدریج کاهش می‌یابد تا در انتها تنها حرکتهای موثر مورد پذیرش واقع شوند. الگوریتم تا زمان رسیدن به دمای پایانی (T_f) ادامه می‌یابد.

۳-۲-۱ نحوه نمایش جواب

اگر تعداد مشتریان برابر I و تعداد جایگاه های سوخت (اعم از اصلی و مجازی) برابر FS و تعداد وسایل نقلیه برابر J است. کروموزم جواب یک جایگشت به ابعاد $(I + FS + J - 1)$ است. فرض شود ۵ مشتری (گره های ۱ تا ۵)، ۲ جایگاه سوخت (گرههای ٦ و ۷) و ۲ وسیله نقلیه داشته باشیم، نمایش کروموزوم مسئله به شکل زیر است. عدد ۸ در کروموزوم زیر جداکننده بین گره های بازدید شده توسط وسایل نقلیه است.

۳	٤	۷	۱	۸	۵	٦	۲

شکل ٦. نحوه نمایش جواب

مطابق شکل٦، وسیله نقلیه‌ی اول از دپو شروع به حرکت کرده و پس از بازدید مشتریان ۳ و ٤ به جایگاه سوخت (گره ۷) رفته و پس از سوختگیری، مشتری ۱ را بازدید کرده و به دپو باز می‌گردد. همچنین وسیله نقلیه دوم پس از خروج از دپو مشتری ۵ را بازدید کرده و سپس به جایگاه سوخت (گره ٦) رفته و پس از سوخت‌گیری، مشتری ۲ را بازدید کرده و در انتها به دپو باز خواهد گشت.

در کروموزوم نحوه نمایش جواب همه جایگاه های سوخت آمده است ولی ممکن است برخی از جایگاه های سوخت نیاز به بازدید نداشته باشد. بنابراین در هر تکرار الگوریتم شبیه سازی تبرید تعدادی از جایگاه های سوخت به صورت تصادفی از کروموزوم حذف می‌شوند و موجه بودن جواب در این حالت بررسی می شود [Vincent et al. 2017].

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲-۲. تنظیم پارامتر

در این بخش تنظیم پارامتر بر روی یکی از مسائل نمونه صورت گرفت. پارامترهای انتخاب شده برای تنظیم شامل تعداد تکرار (MaxIt) ، دمای اولیه (T0) و نرخ سرد شدن (Alpha) است. این پارامترها در سه سطح پایین، کم، متوسط مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر هر یک از پارامترها در هر سطح با استفاده از سایر تحقیقات در نظر گرفته شده است. در جدول ۱ سطوح پیشنهادی برای پارامترهای الگوریتم شبیه سازی تبرید ارائه شده است.

جدول ۱. سطوح پارامتر الگوریتم شبیه سازی تبرید

پارامتر	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
MaxIt	500	750	1000
T0	500	750	1000
Alpha	0.8	0.895	0.99

پس از محاسبات طراحی آزمایشها به روش تاگوچی در نرم افزار MINITAB، مقدار بهینه پارامترها به شرح جدول ۲ است:

جدول۲ . مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم شبیه سازی تبرید

پارامتر	مقدار بهینه
MaxIt	750
T0	500
Alpha	0.99

٤. نتایج محاسباتی

به منظور حل مدل ریاضی با الگوریتمهای پیشنهادی، مسائل نمونه از مقاله اشنایدر و همکاران استفاده شده است [Schneider et al. 2014]. در ابتدا برای اعتبار سنجی مدل ارائه شده آن را با نرم افزار GAMS 24.1.2 و با کامپیوتری با مشخصات CPU Intel Cori 7 و 8GB RAM اجرا نموده تا از صحت مدل پیشنهادی مطمئن شویم. سپس مسائل را در سایزهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۱۰۰ مشتری با استفاده از الگوریتم شبیه سازی تبریدو الگوریتم ابتکاری اجرا نموده و میزان انحراف جواب های الگوریتم از حل دقیق را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

همچنین یک نمونه مساله (دارای ۵ مشتری و ۳ جایگاه سوخت) توسط نرم افزار گمز حل شده و نمایش گرافیکی آن در شکل ۷ نمایش داده شده است. در این مساله ۵ مشتری و ۳ جایگاه سوخت وجود دارد.

همانطور که مشخص است جایگاه سوخت F1 و F2 بازدید نشده است و فقط جایگاه سوخت F3 بازدید شده است. مجموع هزینه های سوخت مصرف شده برای این مساله معادل ٤٧٩,٠٩٨ است.

جدول ۳. نتایج محاسباتی حل مسائل نمونه با نرم افزار GAMS در حالت $FS = 0$ و $FV = 0$

شماره مساله	کد مشخصه	تعداد مشتریان	تعداد وسیله نقلیه	تعداد جایگاه سوخت	مقدار تابع هدف	زمان حل
۱	c101c5	۵	۱	۳	٤٧٩،٠٩٨	۲<
۲	r104c5	۵	۱	۲	۳۳٦،۱۳	۲<
۳	rc108c5	۵	۱	۳	۷٦۲،۱۱	۲<
٤	r202c5	۵	۱	۲	۳۰۵،٦۱	۲<
۵	c206c5	۵	۱	۳	٤۵۸،۰۵	۲<
٦	c101c10	۱۰	۱	٤	۱۲٦۵،۳۳	۹۹۸
۷	rc108c10	۱۰	۱	۳	۹٤۲،۵۲	۳۲،۹۹
۸	r201c10	۱۰	۱	۳	٦۰۸،۰۳	۹۹۸
۹	rc205c10	۱۰	۲	۳	۷۱٦،۷۵	۸۳
۱۰	c202c10	۱۰	۳	٤	٦۲٤،۲	٤۹،۷۲

www.SID.ir

Archive of SID

۱۱	c103c15	۱۵	۲	٤	۱۰۲۳،٥٦	۱۰۱٥
۱۲	c106c15	۱۵	۲	۲	٦۲۲،۹۸	۸،٤۹
۱۳	c208c15	۱۵	۲	۳	۱۰۱۰،٤٥	٤۷۸،۱٦
۱٤	r209c15	۱۵	۲	٤	۱۱۰۲،٥۳	۳٤٥۰
۱٥	rc204c15	۱۵	۳	٤	۱۱۱٦،٦۹	۳۱۰،۹۷
۱٦	c101-21	۱۰۰	۹	۲۰	-	۳٦۰۰۰
۱۷	r203-21	۱۰۰	۱٥	۲۰	-	۳٦۰۰۰
۱۸	rc202-21	۱۰۰	٥	۲۰	-	۳٦۰۰۰
۱۹	rc208-21	۱۰۰	۹	۲۰	-	۳٦۰۰۰
۲۰	rc222-21	۱۰۰	۹	۲۰	-	۳٦۰۰۰

در جدول ٤، نتایج حل مسائل نمونه توسط الگوریتم ابتکاری پیشنهادی و الگوریتم شبیه سازی تبرید آمده است. همانطور که از نتایج جدول ٤ مشهود است، الگوریتم شبیه سازی تبرید نسبت به جواب‌های حل دقیق زمان کمتری در ابعاد متوسط و بالا صرف می‌کند. همچنین در ابعاد کوچک، شکاف بهینگی بین الگوریتم شبیه سازی تبرید و نرم افزار GAMS بسیار کم است که این نشان از کارآیی مناسب الگوریتم شبیه سازی تبرید دارد.

جدول ٤. نتایج محاسباتی حل مسائل نمونه با الگوریتم شبیه سازی تبرید و روش ابتکاری در حالت $FS = 0$ و $FV = 0$

شماره مساله	الگوریتم شبیه سازی تبرید							الگوریتم ابتکاری			
	بهترین تابع هدف	میانگین توابع هدف	انحراف استاندارد	میانگین زمان حل	شکاف بهینگی	تابع هدف	زمان حل	شکاف بهینگی نسبت به GAMS	شکاف بهینگی نسبت	شکاف بهینگی به شبیه سازی تبرید
۱	٤۷۹،۰۹	٦.٥۰۱	٦۳.۱۰	۱۰،٦٦	۰	٤۷۹،۰۹۸	۱۰،۲۸	۰	۰	
۲	۳۳٦،۱۳	۸.۳٤۸	۳۳.۱۳	۱۰،٦٤	۰	۳۳٦،۱۳	۱۰،۱۸	۰	۰	
۳	۷۸۳،۹۷	٦.۸۰۳	۹۳.۱٦	۱۲،٥۲	۲،۸	۷۸۳،۹٦	۱۰،٤۳	۲،۸٦	-۰،۰۰۱	
٤	۳۰٥،٦۱	۲.۳۲۰	۱۳.۸	۱۰،٤۹	۰	۳۰٥،٦۱	٦،۲۸	۰،۹۳	۰،۹۳	
٥	٤٥۸،۰٥	٤.٤۷٦	۲۱.٤	۱۱،۱٤	۰	٤٥۸،۰٥	٦،۹۳	۰	۰	
٦	۱۲٦٥،۳۳	۱۲۸٤	٥٦.۱۳	۲۷،۹۳	۰	۱۲٦٥،۳۳	۱۷،٦۹	٤،۱۳	٤،۱۳	
۷	۹٤۲،٥۲	۲.۹٥۳	٥۳.۱۰	٤۱،۳	۰	۹٤۲،٥۲	۱۰،۳٤	۰	۰	
۸	٦۳۸،۱٤	٦.٦۸۱	٤۸.۱۷	٥۳،۷۲	٤،۹	٦۳۸،٦٤	۱٤،۲۹	٥،۰۳	۰،۰۷۸	
۹	۷۲٤،۳٥	۸.۷٤۸	۱.۱٤	٦۲،۱۹	۱،۰٦	۷٤٥،٥	۱۲،٦	٤،۸٥	۳،۷٥	
۱۰	٦۳٤،٦۸	٦٦٤	۷۳.۱۳	۸۲،٥۲	۱،٦	٦٥۸،۹۳	۱٤،۹۱	٥،٥٦	۳،۸۲	
۱۱	۱۱۲۷،٦۱	۲.۱۱٦۹	۸۳.۱٤	۷۹،۹۱	۱۰،۱	۱۱۱۲،٤۳	۲۳،٥۸	۹،۳۷	-۰،۷۲	
۱۲	٦۲۲،۹۸	۸.٦۳۳	۳۸.٤	٦۹،۳۱	۰	٦۷۱،٥٦	۱٤،٤٥	۷،۱۳	۷،۱۳	

www.SID.ir

Archive of SID

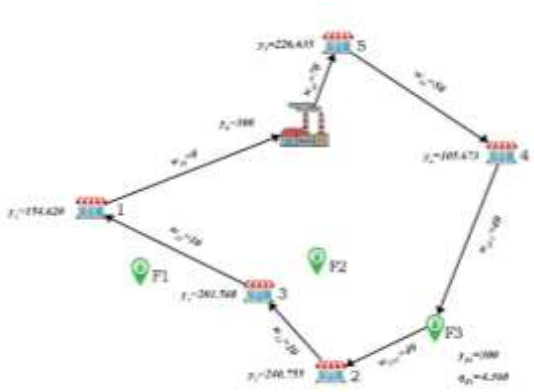
۱۳	۱۱۱۸.۰۷	٦.۱۱۳٤	٦۷.۱٤	۳۷.۱۹	۱۰.٦	۱۱۷۷.۱۲	۱٦.۸٥	٤.۲۲	-٥.۸۱
۱٤	۱۱۱۱.۸۷	۸.۱۱۱٦	۰٥.٤	٥۳.۹٦	۰.۸	۱۱۷۹.٥۱	۱۸.۷۳	۱.۲٥	۰.٤
۱٥	۱۱۱٦.٦۹	٤.۱۱۳٥	٦٦.۱۳	۸۲.۷٥	۰	۱۲٥۲.٥٦	۲۰.٦۸	۳.۱۱	۳.۱۱
۱٦	٤۰۹٥.۳۱	٦.٤۱۸٦	۲٤.۸٤	٦۸٥.٦۸	-	٤٦٥٦.۷۳	۱۲٥	-	۱۲.۰٥
۱۷	۳٤۳۲.٤۷	٦.۳٥۳۸	۱٥.۸۹	۸۱۰.۳٤	-	٤۰۱۳.۷۷	۱۰٤.۳٦	-	۱٤.٤۷
۱۸	٤٤۳٦.۳۸	۸.٤٤۹۳	٥۳.٤۷	۹۰۲.۷	-	٥۱۲۲.۷٦	۱۳٤.۷	-	۱۳.۳۹
۱۹	۳٥۲۲.۹٥	۳٥۸۸	۷.٤٥	٦۹۸.۷	-	۳۹۷۲.۹٦	۹۷.٥۹	-	۱۱.۳۲
۲۰	٦۱۲۲.۷٦	٤.٦۲۸٦	۲۲.٦۰	٥٥٥.۱	-	۷۲٥٦.۹	۷۷.۸٤	-	۱٥.٦۲

جدول ٥. نتایج محاسباتی حل مسائل نمونه با نرم افزار GAMS در حالت در نظر گرفتن هزینه ثابت بکارگیری وسیله نقلیه و سوختگیری

شماره مساله	کد مشخصه	تعداد مشتریان	تعداد وسیله نقلیه	تعداد جایگاه سوخت	مقدار تابع هدف	زمان حل
۱	c101c5	٥	۱	۳	٥۸۹.۰۹۸	۲<
۲	r104c5	٥	۱	۲	۳٦٦.۱۳	۲<
۳	rc108c5	٥	۱	۳	۷۸۲.۱۱	۲<
٤	r202c5	٥	۱	۲	۳۳٥.٦۱	۲<
٥	c206c5	٥	۱	۳	٤۹۸.۰٥	۲<
٦	c101c10	۱۰	۱	٤	۱۳٦٥.۳۳	۹۹۸
۷	rc108c10	۱۰	۱	۳	۹۷۲.٥۲	۳۲.۹۹
۸	r201c10	۱۰	۱	۳	٦۳۸.۰۳	۹۹۸
۹	rc205c10	۱۰	۲	۳	۷٤٦.۷٥	۸۳
۱۰	c202c10	۱۰	۳	٤	٦٥٤.۲	٤۹.۷۲
۱۱	c103c15	۱٥	۲	٤	۱٤۲۳.٥٦	۱۰۱٥
۱۲	c106c15	۱٥	۲	۲	٦٥۲.۹۸	۸.٤۹
۱۳	c208c15	۱٥	۲	۳	۱۲۱۰.٤٥	٤۷۸.۱٦
۱٤	r209c15	۱٥	۲	٤	۱۳۰۲.٥۳	۳٤٥۰
۱٥	rc204c15	۱٥	۳	٤	۱٤۱٦.٦۹	۳۱۰.۹۷
۱٦	c101-21	۱۰۰	۹	۲۰	-	۳٦۰۰۰
۱۷	r203-21	۱۰۰	۱٥	۲۰	-	۳٦۰۰۰
۱۸	rc202-21	۱۰۰	٥	۲۰	-	۳٦۰۰۰
۱۹	rc208-21	۱۰۰	۹	۲۰	-	۳٦۰۰۰
۲۰	rc222-21	۱۰۰	۹	۲۰	-	۳٦۰۰۰

www.SID.ir

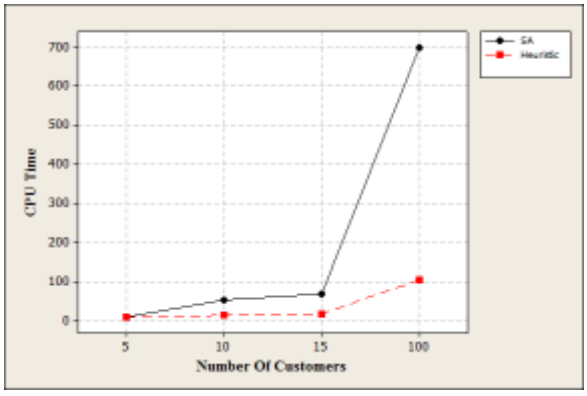
Archive of SID



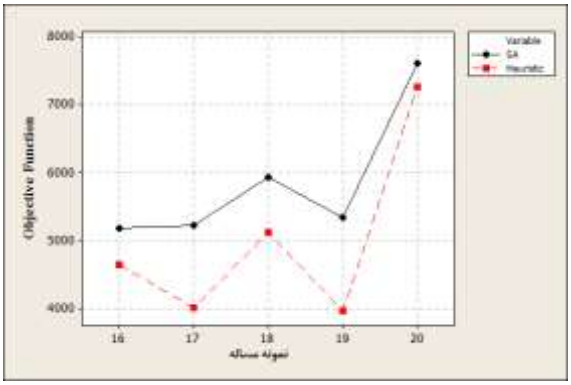
شکل ۷. نمایش گرافیکی نمونه مسأله

جدول ۵، نتایج حاصل از حل مدل توسط نرم افزار GAMS در حالتی که در هزینه ثابت بکارگیری وسایل نقلیه و هزینه ثابت هر بار سوختگیری اعمال شده است.

همان طور که در شکل ۸ مشهود است روش ابتکاری نسبت به الگوریتم شبیه سازی تبرید مسائل را در مدت زمان کمتری حل می کند. همچنین در شکل ۹ مشاهده می‌شود که در مسائل با ابعاد بالا مقادیر تابع هدف به دست آمده از روش ابتکاری نسبت به الگوریتم شبیه سازی تبرید کمتر است و زمان حل آن نیز کاهش قابل توجهی دارد.



شکل ۸. میانگین زمان حل با افزایش اعداد



شکل ۹. جوابهای به دست آمده شبیه سازی تبرید و روش ابتکاری برای نمونه مسائل ۱۰۰ مشتری

همچنین از آزمون t زوجی برای بررسی عملکرد الگوریتها استفاده شد. در این آزمون مقدار شکاف بهینگی برای دو الگوریتم با هم مقایسه شد و مقدار p-value این آزمون برابر ۰,۳۷۶ و مقدار میانگین خطای الگوریتم شبیه سازی تبرید برابر ۰,۹۲ و برای الگوریتم ابتکاری برابر ۰,۷۵ به دست آمد. بنابراین در سطح آلفا برابر ۵ درصد، الگوریتم ابتکاری دارای عملکرد بهتری برای مسئل تا سایز متوسط است.

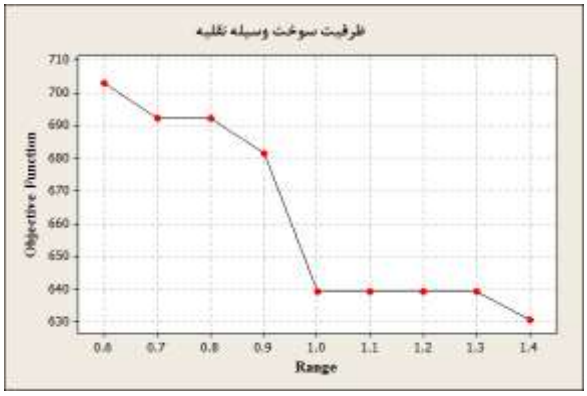
٤-١ تحلیل حساسیت

برای اعمال تغییرات در پارامترهای مدل و اثر آنها بر مقدارتابع هدف از تحلیل حساسیت استفاده می گردد. بدین منظور پارامتر ظرفیت سوخت وسیله نقلیه، نرخ مصرف سوخت وابسته به مسافت، نرخ مصرف سوخت وابسته به بار حمل شده بر واحد مسافت، هزینه هر واحد سوخت، تقاضا، ظرفیت وسیله نقلیه، ظرفیت سوخت وسیله نقلیه و هزینه های ثابت بکارگیری از وسیله نقلیه و بازدید هر جایگاه سوخت را در نظر میگیریم. بازه تغییرات پارامترها از ٪٤٠- تا ٪٤٠+ با گام ١٠٪ در نظر گرفته شده است.

همانطور که در شکل ۱۰ مشخص است با افزایش ظرفیت سوخت وسیله نقلیه، میزان تابع هدف کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش ظرفیت سوخت ممکن است تعداد جایگاه سوخت کمتری بازدید شود که این خود باعث کاهش مسافت طی شده و در نتیجه کاهش مقدار تابع هدف شود.

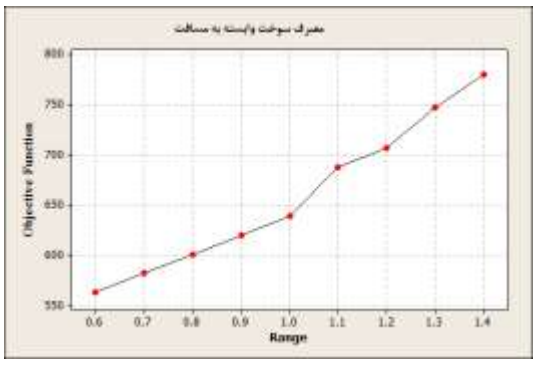
www.SID.ir

Archive of SID



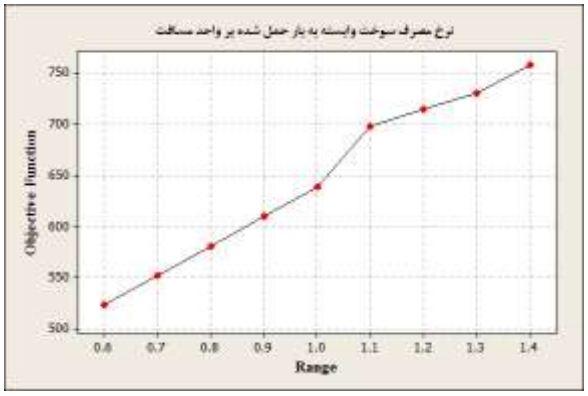
شکل ۱۰. تحلیل حساسیت ظرفیت سوخت وسیله نقلیه

شکل ۱۱ تحلیل حساسیت پارامتر مصرف سوخت وابسته به مسافت را نشان می‌دهد. همانطور که قابل مشاهده است با افزایش این مقدار میزان تابع هدف نیز افزایش می‌یابد، زیرا افزایش این مقدار باعث افزایش مصرف سوخت و بازدید جایگاه های سوخت و در نتیجه باعث افزایش مجموع سوخت مصرف شده می‌شود.



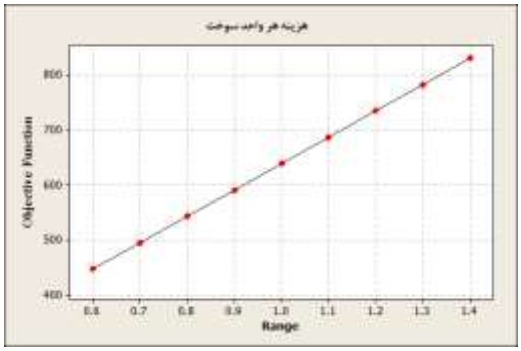
شکل ۱۱. تحلیل حساسیت پارامتر مصرف سوخت وابسته به مسافت

شکل ۱۲ تحلیل حساسیت پارامتر نرخ مصرف سوخت وابسته به بار حمل شده بر واحد مسافت را نشان می‌دهد. این پارامتر نیز با افزایش باعث افزایش مقدار تابع هدف می‌شود، زیرا باعث افزایش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش سطح سوخت و ملاقات جایگاه های سوخت می‌شود.



شکل ۱۲. تحلیل حساسیت پارامتر نرخ مصرف سوخت وابسته به بار حمل شده بر واحد

شکل ۱۳ تحلیل حساسیت پارامتر هزینه هر واحد سوخت وسیله نقلیه را نشان می‌دهد. از این شکل قابل مشاهده هست که با افزایش این پارامتر مقدار تابع هدف به صورت خطی افزایش پیدا می کند. زیرا افزایش این مقدا مستقیما در تابع هدف اعمال می‌شود و با افزایش این پارامتر مجموع هزینه سوخت مصرفی افزایش خواهد داشت.

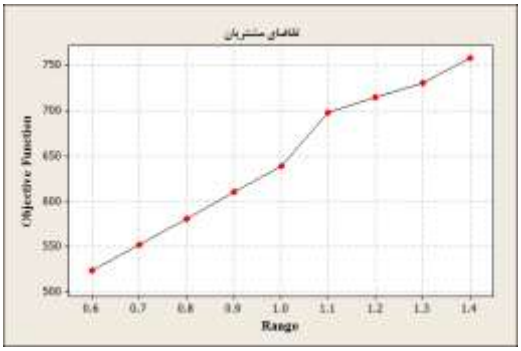


شکل ۱۳. تحلیل حساسیت پارامتر هزینه هر واحد سوخت

شکل ١٤ تغییرات مقادیر تقاضای مشتریان را روی مقدار تابع هدف نشان می دهد. از این شکل قابل مشاهده است که با افزایش مقادیر تقاضا، میزان بار حمل شده بین گره ها افزایش می‌یابد و این خود باعث افزایش مصرف سوخت و بازدید جایگاه سوخت خواهد گردید.

www.SID.ir

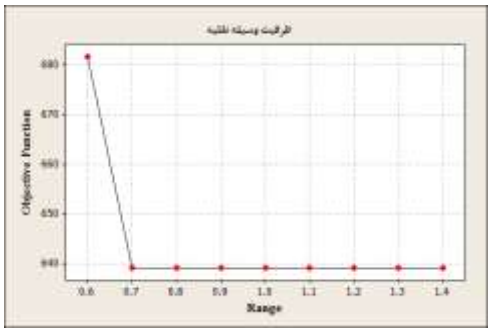
Archive of SID



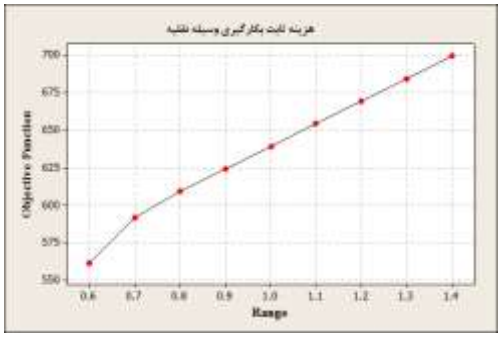
شکل ١٤. تحلیل حساسیت پارامتر تقاضای مشتریان

شکل ١٥ تحلیل حساسیت ظرفیت وسیله نقلیه را نشان می‌دهد. از آنجایی که وسایل نقلیه همگن میباشند بنابراین کاهش ظرفیت آنها منجر به استفاده از وسایل نقلیه بیشتری برای تحویل تقاضای مشتریان می شود و افزایش تعداد وسیله نقلیه بکارگیری شده منجر به افزایش مقدار تابع هدف می‌گردد. شکل ١٦ تحلیل حساسیت پارامتر هزینه ثابت بکارگیری وسیله نقلیه را نشان می‌دهد. قابل مشاهده است که با افزایش این پارامتر مقدار تابع هدف روند صعودی دارد. شکل ١٧ تحلیل حساسیت هزینه ثابت سوختگیری را نشان می دهد. مقدار تابع هدف با افزایش این پارامتر با یک شیب یکنواخت افزایش پیدا می‌کند.

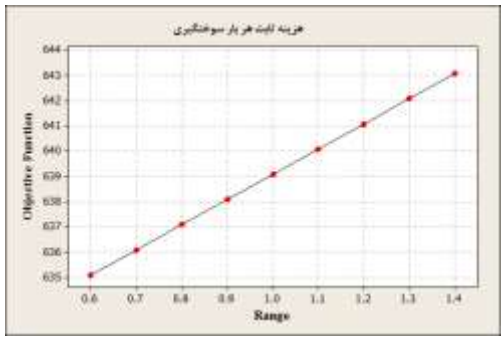
همچنین شـکل ١٨ تحلیل حساسیت تمامی پارامترها را در یک نمودار نشان می‌دهد.



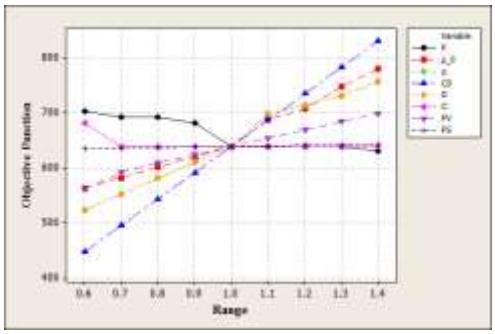
شکل ١٥. تحلیل حساسیت پارامتر ظرفیت وسیله نقلیه



شکل ١٦. تحلیل حساسیت پارامتر هزینه ثابت بکارگیری وسیله نقلیه



شکل ١٧. تحلیل حساسیت پارامتر هزینه ثابت هر بار سوختگیری



شکل ١٨. نمودار تحلیل حساسیت تمامی پارامترها

٥. نتیجه گیری و پیشنهادات آتی

در این پژوهش ابتدا یک مدل مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی ارائه گردید که در آن میزان مصرف سوخت وابسته به میزان بار حمل شده است. همچنین تابع هدف مدل پیشنهادی برابر کمینه کردن مجموع سوخت مصرفی است. از آنجایی که وسایل نقلیه الکتریکی دارای محدودیت میزان سوخت هستند، بنابراین در این تحقیق برای آنها جایگاه سوخت در نظر گرفته شد تا در صورت لزوم با بازدید آنها سطح سوخت آنها به ماکزیمم ظرفیت خود برسد. در این تحقیق یک روش ابتکاری دو مرحله ای مبتنی بر

www.SID.ir

Archive of SID

ویژگیهای خاص این مسئله برای حل مدل پیشنهادی ارائه گردید. در این الگوریتم فاز اول به خوشه بندی مشتریان بر اساس الگوریتم جاروب به منظور تعیین میزان بار حمل شده در هر مسیر و سپس تخصیص جایگاه های سوخت به هر مشتری پرداختیم. بعد از آن یک جواب اولیه برای هر خوشه بر اساس الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه به دست آوردیم. در فاز دوم جواب به دست آمده از فاز اول را با استفاده از عملگر 2-opt بهبود بخشیدیم و در هر مرحله موجه بودن جواب بر اساس عدم مواجهه با کمبود سوخت و ظرفیت وسیله نقلیه را بررسی کردیم. علاوه بر آن، مدل این پژوهش را نیز با استفاده از الگوریتم فراابتکاری شبیه سازی تبرید حل نمودیم. نتایج محاسباتی نشان داد که زمان حل الگوریتم ابتکاری کمتر از زمان حل الگوریتم شبیه سازی تبرید است و همچنین در ابعاد بالا کیفیت جوابهای الگوریتم شبیه سازی تبرید کیفیت بهتری دارد.

به عنوان پیشنهادهای آتی خاص این تحقیق می‌توان شارژ جزیی را در نظرگرفت. در این حالت، وسیله نقلیه پس از مراجعه به جایگاه سوخت تمام ظرفیت باتری خود را پر نخواهد کرد و به اندازه ای شارژ خواهد شد که امکان بازدید مشتریان و بازگشت به دپو را داشته باشد. همچنین بر اساس مقالات اخیرا منتشر شده می‌توان مکانیزم های مختلف شارژ مجدد را در جایگاههای سوخت در نظر گرفت. به طور مثال هر جایگاه سوخت با استفاده از چند تکنولوژی قادر به شارژ وسایل نقلیه است که هزینه استفاده از آن با زمان شارژ شدن باتری وسیله نقلیه رابطه عکس داشته باشد. به عنوان پیشنهاد برای روش حل می‌توان به ترکیب کردن روش ابتکاری این تحقیق با سایر الگوریتم های حل نظیر فراابتکاری ها اقدام کرد که بر این اساس یک جواب اولیه موجه از الگوریتم ابتکاری به دست آید و به عنوان جواب اولیه الگوریتم های دیگر در نظر گرفته شود و به فرآیند بهبود این جواب پرداخت.

۷.پی نوشت‌ها

1. Fuel Consumption Rate Vehicle Routing Problem

۸. مراجع

- Croes, G. A. (1958) "A method for solving traveling-salesman problems", Operations Research, Vol. 6, No. 6, pp.791-812

.- Doppstadt, C., Koberstein, A. and Vigo, D. (2016) " The hybrid electric vehicle–traveling salesman problem", European Journal of Operational Research, Vol. 253, No. 3, pp.825-842.

- Elhedhli, S. and Merrick, R. (2012) " Green supply chain network design to reduce carbon emissions", Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 17, No. 5, pp.370-379.

- Erdoğan, S. and Miller-Hooks, E. (2012) "A green vehicle routing problem", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 48, No. 1, pp. 100-114.

- Felipe, Á., Ortuño, M. T., Righini, G. and Tirado, G. (2014) "A heuristic approach for the green vehicle routing problem with multiple technologies and partial recharges", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 71, pp.111-128.

- Gillett, B. E. and Miller, L. R. (1974) "A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem", Operations Research, Vol. 22, No. 2, pp. 340-349.

- Goeke, D. and Schneider, M. (2015)" Routing a mixed fleet of electric and conventional vehicles", European Journal of Operational Research, Vol. 245, No. 1, pp. 81-99.

- Hiermann, G., Puchinger, J., Ropke, S. and Hartl, R. F. (2016) "The electric fleet size and mix vehicle routing problem with time windows and recharging stations", European Journal of Operational Research, Vol. 252, No. 3, pp. 995-1018.

www.SID.ir

Archive of SID

- Koç, Ç. and Karaoglan, I. (2016) ”The green vehicle routing problem: A heuristic based exact solution approach”, Applied Soft Computing, Vol. 39, pp.154-164.

- Keskin, M. and Çatay, B. (2016) ”Partial recharge strategies for the electric vehicle routing problem with time windows”, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 65, pp.111-127.

- Luo, Z., Qin, H., Zhu, W. and Lim, A. (2016) “Branch and price and cut for the split-delivery vehicle routing problem with time windows and linear weight-related cost”, Transportation Science, Vol. 52, No. 2, pp. 668-687.

- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H. and Teller, E. (1953) “Equation of state calculations by fast computing machines”, The Journal Of Chemical Physics, Vol. 21, No. 6, pp.1087-1092.

- Pelletier, S., Jabali, O., Laporte, G. and Veneroni, M. (2017) “Battery degradation and behaviour for electric vehicles: Review and numerical analyses of several models”, Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 103, pp. 158-187.

- Roberti, R. and Wen, M. (2016) ”The electric traveling salesman problem with time windows”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 89, pp.32-52.

- Schneider, M., Stenger, A. and Goeke, D. (2014) “The electric vehicle-routing problem with time windows and recharging stations”, Transportation Science, Vol. 48, No. 4, pp. 500-520.

- Vincent, F. Y., Redi, A. P., Hidayat, Y. A. and Wibowo, O. J. (2017) ”A simulated annealing heuristic for the hybrid vehicle routing problem”, Applied Soft Computing, Vol. 53, pp.119-132.

- 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.

- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D. and Kiranoudis, C. T. (2015) “The load-dependent vehicle routing problem and its pick-up and delivery extension”, Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 71, pp.158-181.

- Zhang, S., Lee, C. K. M., Choy, K. L., Ho, W., and Ip, W. H. (2014) “Design and development of a hybrid artificial bee colony algorithm for the environmental vehicle routing problem”, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 31, 85-99.

- Zheng, H., He, X., Li, Y. and Peeta, S. (2017) “Traffic equilibrium and charging facility locations for electric vehicles”, Networks and Spatial Economics, Vol. 17, No. 2, pp. 435-457.

-نوبخت، شمس و مصطفوی ماریان، امیر (۱۳۸۹) " مکانیابی بهینه جایگاههای عرضه سوخت با استفاده از برنامه ریزی ریاضی و سیستم اطلاعات جغرافیایی :(GIS)مطالعه موردی شهر مشهد"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال دوم، شماره دوم، ص. ۱۷۱-۱۸۰.

-هادی پور، مهرداد و پور ابراهیم، شراره (۱۳۹۲) " مدیریت زیست محیطی حمل و نقل شهری اراک به کمک مدل سازی کاهش مصرف سوخت در مسیریابی مناسب به کمک GIS"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال چهارم، شماره چهارم، ص. ٤٠٧-٤١٨.

-صالحیان، فرهاد و توکلی مقدم، رضا و نوروزی، نرگس (۱۳۹٦)"حل مساله مسیریابی وسایط نقلیه با در نظر گرفتن رضایت‌مندی مشتریان و کاهش انرژی مصرفی با الگوریتم زنبور عسل"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، مقاله آماده انتشار.

www.SID.ir

Archive of SID

Electric Vehicle Routing Problem Considering the Dependence of Fuel Consumption at the Load

M. H. Orazani, MSc. Grad., Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

F. Etebari (Corresponding author) , Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

E-mail:featebari@gmail.com

Abstract

During recent years, various vehicle routing problem (VRP) models are developed for reducing supply chain transportation costs. Increasing commodities distribution costs and its environmental effects leads to develop the green VRP models. Incorporating electric vehicles in the distribution fleet could result in reduced pollution effects. The main restrictions of these vehicles are battery's low charging capacity, long recharging time and availability of recharging stations. On the other hand, the battery consumption is dependent on the fleet weight and therefore, vehicles loading should be considered during creating optimal routing plan. In this paper, vehicles loading weight between customers' nodes and availability of recharging stations are considered for reducing fuel consumption. The two-stage heuristic algorithm and simulated annealing (SA) algorithm are developed for solving this problem. Computational results illustrate the efficiency of heuristic algorithm for solving problems within reasonable running time and could be applied for solving large scale problems.

Keywords: Two-phase heuristic algorithm, vehicle charge station, electric vehicles, vehicle routing problem

www.SID.ir

Archive of SID

فرهاد اعتباری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه صنعتی شریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی اخذ نمود. در سال ۱۳۹۱ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان طراحی سیستم لجستیک، طراحی شبکه های حمل و نقل، مسیریابی وسائل نقلیه و توسعه انواع الگوریتمهای ابتکاری و فراابتکاری بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه آزاد اسلامی قزوین است.

سید محمد حسین اورازانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع گرایش تولید صنعتی را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع گرایش صنایع در سال ۱۳۹۶ را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مسیریابی وسایل نقلیه است.

www.SID.ir