مدیریت صنعتی
Journal of Industrial Management
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۸، شمارهٔ ۱
بهار ۱۳۹۵
صص. ۹۶- ۷۵

حل مسئلهٔ مسیریابی وسایل نقلیه و راهبرد حمل‌ونقل متقاطع با الگوریتم جست‌وجوی پراکنده

علی مروتی شریف‌آبادی[۱]، مهناز باروت‌کوب[۲]

چکیده: یکی از روش‌های بهبود جریان فیزیکی در زنجیرهٔ تأمین، حمل‌ونقل متقاطع است که روش مناسبی برای کاهش موجودی و بهبود رضایت مشتریان معرفی شده است. از سویی، مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه از مهم‌ترین مسائل در مدیریت توزیع، با هدف یافتن مسیرهای بهینه برای توزیع محموله‌های مختلف به‌شمار می‌رود. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف مسیریابی وسایل نقلیه با حمل‌ونقل متقاطع در شرکت بیسکویت شادی مهرگان مهریز انجام گرفت و مسئلهٔ مد نظر با الگوریتم جست‌وجوی پراکنده حل شد. با توجه به یافته‌های پژوهش، فاصله و هزینهٔ بهینه با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی پراکنده برابر ۱۱۴۳۸ و ۱۰۱۸۶۶۵۵ شد که نسبت به وضعیت موجود شرکت به‌ترتیب ۳۰/۵۴ درصد و ۶/۷ درصد بهبود یافت. همچنین برای سنجش کارایی، نتایج با روش نزدیک‌ترین همسایه مقایسه شد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم جست‌وجوی پراکنده، جواب‌های خوبی برای این مسئله به‌دست می‌آورد و زمان تأخیر نیز کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم جست‌وجوی پراکنده، حمل‌ونقل متقاطع، زنجیرهٔ تأمین، مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه.

۱. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ اقتصاد، مدیریت و حسابداری دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲. کارشناس‌ارشد مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ اقتصاد، مدیریت و حسابداری دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹٤/۰۸/۱۳
نویسندهٔ مسئول مقاله: مهناز باروت‌کوب
E-mail: mahnaz_barootkoob@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

واکنش سریع به نیازهای مشتریان، وضعیت رقابتی بسیار سخت در بازار و افزایش سطح تحولات محیطی، مسائلی هستند که امروزه سازمان‌ها مدام با آن روبه‌رو می‌شوند (تیزرو، آذر، احمدی و رفیعی؛ ۱۳۹۰) و بقای سازمان‌ها مستلزم این است که جزئی از زنجیرهٔ تأمین قرار گیرند (امیری و خیراندیش، ۱۳۸۵). مدیریت زنجیرهٔ تأمین را می‌توان هماهنگی میان فعالیت‌هایی تعریف کرد که موجب یکپارچگی مبادلات عقلایی میان تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده، خرده‌فروش و مشتری می‌شود (الفت و براتی، ۱۳۹۱).

موضوع مهم در مدیریت زنجیرهٔ تأمین، کنترل کارای جریان مواد است. از این رو، شرکت‌ها روی روش‌هایی برای کنترل جریان مواد سرمایه‌گذاری می‌کنند. یکی از روش‌های بهینه برای کاهش موجودی و بهبود رضایت مشتری، حمل‌ونقل متقاطع[1] است (لی، جانگ و لی، ۲۰۰۶). از سوی دیگر، مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه[2]، از مهم‌ترین مسائلِ مدیریت توزیع با هدفِ یافتن مسیرهای بهینه برای توزیع محموله‌های مختلف از قبیل کالاها، مراسلات و مواد خام است (مستر، برایسی و دولائرت، ۲۰۰۷؛ محمدی زنجیرانی و اسعدی آقاجری، ۱۳۸۸). از این رو، پژوهش حاضر با هدف اصلی مدل‌سازی مسیریابی وسایل نقلیه با حمل‌ونقل متقاطع در بخش توزیع در زنجیرهٔ تأمین شرکت تولیدی بیسکویت شادی یزد اجرا شده است. اهداف فرعی پژوهش نیز بدین شرح است: یافتن مسیر مطلوب وسایل نقلیه در زنجیرهٔ تأمین، کاهش تعداد وسایل نقلیه و زمان تحویل محصولات به مشتریان.

همچنین مهم‌ترین نوآوری‌های این تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

الف) ارائهٔ مدل ریاضی برای حل مسئلهٔ مسیریابی وسایل نقلیه با حمل‌ونقل متقاطع به‌منظور حداقل‌کردن فاصلهٔ حمل‌ونقل و تعداد وسایل نقلیه.

ب) استفاده از روش فراابتکاری جست‌وجوی پراکنده در حل مسئلهٔ مد نظر برای دستیابی سریع به جواب‌های نزدیک به بهینه.

پیشینهٔ نظری پژوهش

مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه در زنجیرهٔ تأمین

توت و ویگو مسائل مسیریابی وسیلهٔ نقلیه را توزیع کالا بین انبارها و خدمت به مشتریان در دورهٔ زمانی مشخص تعریف کردند (موشیو، ۱۹۹۸؛ لاپورته، ۱۹۹۲؛ ماریناکیس و ماریناکی، ۲۰۱۰؛ نووآ

1. Cross docking
2. Vehicle routing problem (VRP)

Archive of SID

www.SID.ir

و استورر، ۲۰۰۹). مسئلهٔ VRP به طراحی مجموعه‌ای از مسیرها برای ناوگانی از وسایل نقلیه گفته می‌شود که شروع و پایان مسیرها قرارگاه است (پولیمنی و ویتتا، ۲۰۱۲) و در طول این مسیرها به مشتریان با تقاضای مشخص خدمت‌رسانی می‌شود. به هریک از مشتریان باید از طریق یکی از این مسیرها خدمت‌رسانی شود و هدف مسئله، حداقل‌کردن کل هزینهٔ خدمات‌رسانی است (مهدوی اصل، خادمی زارع و حسینی نسب، ۱۳۹۱؛ پاندلیس، کیریاکیدیس و دیمیتراکوس، ۲۰۱۲). این مسئله در چهل سال اخیر با وسعت زیادی بررسی (ریمان، دورنر و هارتل، ۲۰۰۴) شده و در دستهٔ مسائل بهینه‌سازی NP-hard[1] قرار گرفته است (گری و جانسون، ۱۹۷۹؛ دره‌میرکی، ۱۳۹۱). مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه اهمیت بسیار زیادی در آماد[2] و توزیع کالا دارد (لیو و جایانگ، ۲۰۱۲).

راهبرد حمل‌ونقل متقاطع

امروزه حمل‌ونقل متقاطع، راهبرد آماد است که برخی شرکت‌ها در صنایع مختلف استفاده می‌کنند. ایدهٔ اصلی حمل‌ونقل متقاطع، انتقال محموله‌های واردشده به وسایل نقلیهٔ خارجی بدون ذخیره‌سازی واسطه است (بلی و والکنارس و کاتریس، ۲۰۱۲؛ اپت و ویسواناتان، ۲۰۰۰). کینییر (۱۹۹۷) حمل‌ونقل متقاطع را این‌گونه تعریف می‌کند: «دریافت کالا از تأمین‌کننده یا تولیدکننده در مقابل چند مقصد نهایی و یکپارچه‌سازی این محصول با محصولات دیگر تأمین‌کنندگان به مقاصد مشترک برای تحویل نهایی».

حمل‌ونقل متقاطع، روشی پایا برای کاهش موجودی و برآوردن تقاضای مشتریان معرفی می‌شود. این راهبرد می‌تواند از طریق ساده‌کردن جریان بین تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان، به کم‌شدن ذخیرهٔ موجودی کمک کند. حمل‌ونقل متقاطع به جابه‌جایی مستقیم کالاها از بارانداز برداشت به بارانداز تحویل (جایی که کالاها در یک بارانداز واسطه برای زمان کوتاهی ذخیره می‌شوند) مرتبط است (لیو، لین و شی، ۲۰۱۰). تعیین زمان دقیق ذخیره‌سازی دشوار است، اما بسیاری از نویسندگان این محدودهٔ زمانی را حدود ۲۴ ساعت برآورد کرده‌اند (لی، لیم و رودریگز، ۲۰۰۴؛ وحدانی و زندیه، ۲۰۱۰؛ ون، لارسن، کلاژن، کوردیو، لاپورته، ۲۰۰۹). در واقع، عملیات چنین سیستم‌هایی شامل سه جزء اصلی است: الف) گرفتن محصولات؛ ب) بازرسی، مرتب‌کردن و طبقه‌بندی آنها و ج) حمل محصولات. به‌بیانی دیگر، با به‌کارگیری سیستم حمل‌ونقل متقاطع،

1. Nondeterministic polynomial-time
2. Logistic

Archive of SID

www.SID.ir

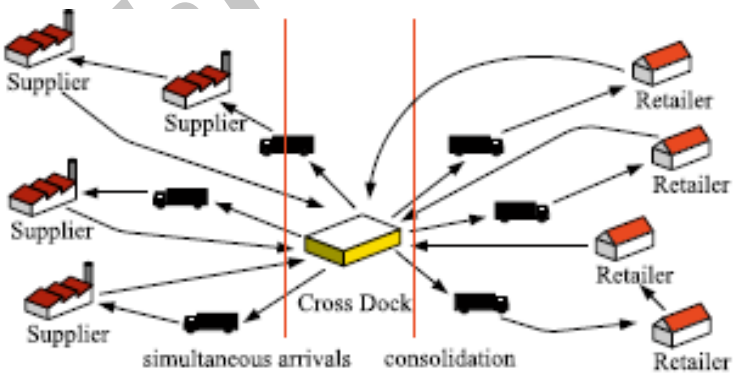
موانع اصلی سیستم‌های موجودی قراردادی، ذخیره‌سازی و بازیابی حذف می‌شوند (بلوری عربانی، زندیه و فاطمی قمی، ۲۰۱۱).

روش حمل‌ونقل متقاطع، نه‌تنها خدمت‌رسانی خوب به مشتریان را امکان‌پذیر می‌کند، بلکه مزیت‌های شایان توجهی نسبت به انبارداری سنتی مانند کاهش موجودی سرمایه‌گذاری‌شده، فضای ذخیره‌سازی و هزینهٔ جابه‌جایی دارد. به‌علاوه موجب گردش موجودی و جریان نقدی سریع‌تر می‌شود (کوک، گیبسون و مکوردی، ۲۰۰۵؛ اپت و ویسواناتان، ۲۰۰۰).

تا کنون موفقیت به‌کارگیری راهبرد حمل‌ونقل متقاطع توسط چند صنعت با سهام عمده در هزینه‌های توزیع گزارش شده است (دوندو، مندز و کردا، ۲۰۱۱).

مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با حمل‌ونقل متقاطع در زنجیرهٔ تأمین

مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با حمل‌ونقل متقاطع به‌عنوان مسئلهٔ حمل‌ونقل کالاها از تأمین‌کنندگان به مشتریان از طریق تسهیلات بارانداز واسطه به‌منظور تأمین درخواست‌های مشتریان با حداقل هزینه‌های حمل بیان می‌شود (شکل ۱) (دوندو و کردا، ۲۰۱۳). این مسئله شامل تأمین مجموعه‌ای مشخص از تقاضای مشتریان است که هریک با اندازهٔ محموله، نقطهٔ بارگیری و مکان تحویل بار، مشخص می‌شوند. سفارش‌ها به‌طور مستقیم از محل برداشت به محل تحویل فرستاده نمی‌شوند و ابتدا آنها باید به پایانهٔ بارانداز واسطه برده شوند (سانتوس، متیو و کنها، ۲۰۱۱).



شکل ۱. مفهوم حمل‌ونقل متقاطع

منبع: دوندو و کردا (۲۰۱۳)

در بارانداز واسطه، دسته‌ای از وسایل نقلیه مستقر شده‌اند که به‌طور متوالی، وظایف تحویل و برداشت لازم را انجام دهند. به‌بیانی دیگر، هر وسیلهٔ نقلیه از بارانداز واسطه حرکت خود را آغاز

Archive of SID

www.SID.ir

می‌کند و چند درخواست را در نقاط برداشت مرتبط جمع‌آوری‌کرده، سپس به سمت انبار می‌رود و بار را تخلیه می‌کند. وسایل نقلیهٔ تحویل نیز به همین ترتیب عمل می‌کنند، با این تفاوت که سرویس‌دهی به گره‌های تحویل را انجام می‌دهند و بار را از بارانداز واسطه دریافت می‌کنند و به گره‌های مشتریان تحویل می‌دهند، سپس به بارانداز واسطه برمی‌گردند. در پایان افق زمانی، بارِ کلی که در بارانداز واسطه تخلیه شده است، باید با بار تحویل داده‌شده از بارانداز واسطه به گره‌های دریافت، مساوی باشد. هر وسیلهٔ نقلیه باید فقط یک‌بار به مکان تحویل/ برداشت مراجعه کند. به‌علاوه، کل باری که توسط وسیلهٔ نقلیه حمل می‌شود نباید بیش از ظرفیت آن باشد. هدف مسئله، تعیین بهترین مسیرهای تحویل و برداشت به‌علاوهٔ زمان سفر وسایل نقلیه در حداقل هزینهٔ حمل‌ونقل است (دوندو و کردا، ۲۰۱۳).

پیشینهٔ تجربی

مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه را برای نخستین‌بار دنتزیک و رامسر (۱۹۶۰) مطرح کردند. آنها در پژوهش خود به مسیریابی بهینهٔ دسته‌ای از کامیون‌های حمل بنزین بین پایانهٔ توزیع و تعداد زیادی از پمپ‌بنزین‌ها پرداختند (دنتزیگ و رامسر، ۱۹۵۹). توکلی‌مقدم و همکارانش در پژوهش دیگری، مدل جدیدی را به‌منظور مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با هدف کمینه‌کردن ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک توسعه دادند (توکلی‌مقدم، علینقیان، نوروزی و سلامت‌بخش، ۱۳۹۰). ماکدو و همکارانش مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه را با پنجره‌های زمانی و مسیرهای چندگانه معرفی کردند (ماکدو، آلوس، کاروالهو، کلاتیایوکس و حنفی، ۲۰۱۱).

مطالعهٔ شایان توجهی روی حمل‌ونقل متقاطع در سال‌های اخیر انجام شده است. محققان دو مدل حمل‌ونقل متقاطع و انبارداری سنتی را برای هماهنگ‌کردن تولید و توزیع به‌منظور کاهش هزینه‌های زنجیرهٔ تأمین گسترش دادند (لی و همکاران، ۲۰۰۶). در پژوهشی، الگوریتم جست‌وجوی ممنوع برای شبکهٔ یکپارچهٔ خدمت‌رسانی[1] پیشنهاد شد تا مکان بارانداز‌ها و وسایل نقلیه را بیابند (سانگ و سونگ، ۲۰۰۳). لی و همکارانش (۲۰۰۶) نخستین محققانی بودند که مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با حمل‌ونقل متقاطع[2] را مطالعه کردند. آنها مدل یکپارچهٔ MILP[3] را توسعه دادند و الگوریتم جست‌وجوی ممنوع را برای حل پیشنهاد کردند. محققان دیگری در پژوهش خود به مطالعهٔ VRPCD پرداختند و روش جست‌وجوی ممنوع را در روش حافظهٔ انطباقی برای این مسئله ارائه دادند (ون و همکاران، ۲۰۰۹). در پژوهش دیگری، چارچوبی برای

1. Integrated network
2. VRPCD
3. Mixed integer linear programming (MILP)

Archive of SID

www.SID.ir

طراحی سیستم حمل‌ونقل متقاطع پیشنهاد شد (سلطانی و سدجادی، ۲۰۱۰). دوندو و کردا (۲۰۱۳) نیز مدل یکپارچه‌ای را برای مسئلهٔ VRPCD معرفی کردند و الگوریتم ابتکاری رفت و برگشتی را برای این مدل پیشنهاد دادند.

در جدول ۱ به برخی مطالعات اشاره شده است که روش‌های حل مختلف مسئلهٔ مسیریابی وسایل نقلیه را بررسی کرده‌اند.

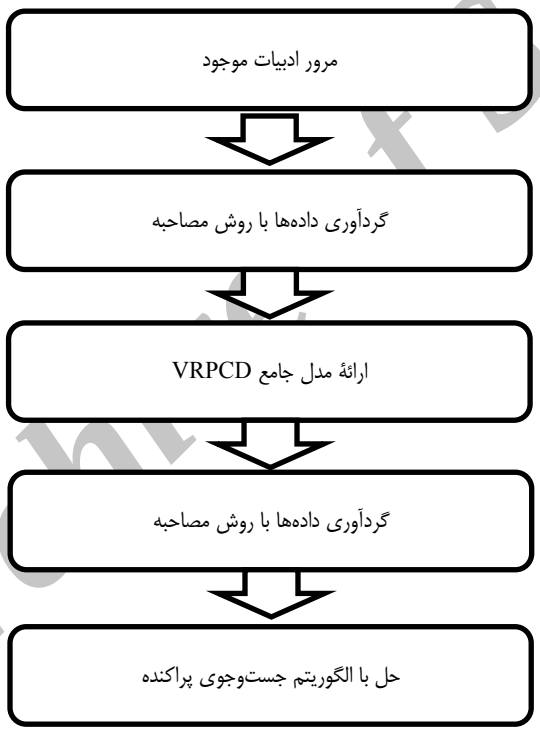
جدول ۱. روش‌های مختلف حل مسئلهٔ مسیریابی وسایل نقلیه

روش‌های برخورد با مسئله	نویسندگان
روش‌های دقیق	
الگوریتم شاخه و کران	صالحی‌پور و سپهری (۱۳۹۱)
روش برنامه‌ریزی آرمانی	کالویتی، گیل، الیورس و سنچز وارولد (۲۰۰۷)
روش‌های ابتکاری	
روش ابتکاری نزدیک‌بینانهٔ غیررقابتی و نزدیک‌بینانهٔ ترتیبی	سپهری و ستاک (۱۳۸۳)
الگوریتم محلی مرکب	دوندو و کردا (۲۰۰۹)
الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه	ونگ جینگیو (۲۰۰۹)
جست‌وجوی محلی تکرارشونده	وینسیوز، جرالدو و تیاگو (۲۰۱۴)
روش‌های فراابتکاری	
الگوریتم تلفیقی تبرید تدریجی و ژنتیک	توکلی‌مقدم، ربانی، شریعت و صفایی (۱۳۸۵)؛ توکلی‌مقدم، علینقیان و سلامت‌بخش (۱۳۸۸)؛ مون، لی و سئونگ (۲۰۱۲)
ژنتیک	عیدی و عبدالرحیمی (۱۳۹۱)
رقابت استعماری	یوسفی خوشبخت، دیده‌ور، رحمتی و صدیق‌پور (۱۳۹۱)
الگوریتم تبرید تدریجی	تان، لی، زهو و اویو، ۲۰۰۱؛ موسوی و توکلی‌مقدم (۲۰۱۳)
الگوریتم کلونی مورچگان	تقوی‌فرد، شیخ و شهسواری (۱۳۸۸)؛ یوسفی خوشبخت و رحمتی (۱۳۹۰)؛ رضوی، سوخکیان و زیارتی (۱۳۹۰)؛ تان، لی، مجید و سیو (۲۰۱۲)
کلونی مورچگان و تبرید تدریجی	شهین‌مقدم، فاطمی قمی و کریمی (۲۰۱۴)
الگوریتم جست‌وجوی ممنوع	ارس، اکسن و تگرل تکین (۲۰۱۱)؛ فیو، انگلیز و لی (۲۰۰۸)؛ تایلارد، بدیو، جندریو، جرتین و پوتوین (۱۹۹۷)؛ اسوالد و استرین (۲۰۰۸)؛ ون و همکاران (۲۰۰۹)؛ لیو و همکاران (۲۰۱۰)؛ جیا، لی، دونگ و یا (۲۰۱۳)
الگوریتم ازدحام انبوه ذرات	ونگ جینگیو (۲۰۰۹)

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به پژوهش‌های پیشین مشخص شد، الگوریتم جست‌وجوی پراکنده برای حل مسائل بهینه‌سازی مختلف به‌خوبی عمل کرده است (تانگ، زهن و پان، ۲۰۱۰). از آنجا که در مطالعات پیشین مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با حمل‌ونقل متقاطع در زنجیرهٔ تأمین با الگوریتم جست‌وجوی پراکنده و مدل‌سازی آن به‌طور جامع بررسی نشده است، در این پژوهش مدلی توسعه‌یافته در زمینهٔ مسیریابی وسایل نقلیهٔ ظرفیت‌دهی‌شده با حمل‌ونقل متقاطع و پنجره‌های زمانی ارائه می‌شود و ضمن حل آن به‌کمک الگوریتم جست‌وجوی پراکنده، نتیجهٔ به‌دست‌آمده از الگوریتم با وضعیت موجود شرکت مقایسه خواهد شد.



شکل ۲. چارچوب اجرایی تحقیق

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از لحاظ جهت‌گیری‌های پژوهش، کاربردی است و از نظر استراتژی‌های پژوهش، نوعی مدل‌سازی ریاضی محسوب می‌شود، همچنین این پروژه تک‌مقطعی است و از روش

www.SID.ir

مصاحبه با کارشناسان فروش و توزیع شرکت برای گردآوری داده‌ها استفاده می‌کند و براساس داده‌های موجود، مدل‌سازی اولیه‌ای برای مسئلهٔ مسیریابی وسایل نقلیه با حمل‌ونقل متقاطع در زنجیرهٔ تأمین انجام می‌پذیرد؛ سپس این مدل با الگوریتم فراابتکاری جست‌وجوی پراکنده حل می‌شود و در نهایت با استفاده از روش مناسبی به اعتبارسنجی الگوریتم می‌پردازد. همچنین از نظر زمانی، این تحقیق مسیریابی وسایل نقلیه را در دو ماه آخر سال ۱۳۹۱ در شرکت تولیدی بیسکویت شادی یزد بررسی می‌کند.

در مطالعهٔ حاضر، تلاش می‌شود به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

- مسیر مطلوب تخصیص داده‌شده به هریک از وسایل نقلیه برای جابه‌جایی موجودی و کالاها کدام است؟
- تعداد بهینهٔ وسایل نقلیه برای جابه‌جایی موجودی و کالاها چقدر است؟
- فاصلهٔ مطلوب پیموده‌شده چقدر است؟

مدل ریاضی

در حل مسئلهٔ مسیریابی وسایل نقلیه با حمل‌ونقل متقاطع، چند فرض در نظر گرفته شده است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که m گرهٔ تأمین‌کننده و n گرهٔ مشتری و یک بارانداز واسطه وجود دارد. پس m + n + ۱ گره وجود دارد که تأمین‌کنندگان، خرده‌فروشان و بارانداز واسطه هستند و توسط K وسیلهٔ نقلیه سرویس داده می‌شوند. هر وسیلهٔ نقلیه باید از مرکز بارانداز واسطه (i=۰) حرکت خود را آغاز کند و به آن بازگردد. به‌علاوه، تنها یک مرکز بارانداز واسطه وجود دارد و مقدار کل کالاهایی که از تأمین‌کنندگان جمع‌آوری می‌شود، باید با مقدار آماده برای تحویل به مشتریان مساوی باشد. همچنین به هر مشتری، فقط یک وسیلهٔ نقلیه تخصیص داده می‌شود و با مقدار هزینهٔ C_{ij} مرتبط است. B_{ij} نیز طول فاصلهٔ سفر از گره i تا j را نشان می‌دهد. هر مشتری تقاضای d دارد که با ظرفیت q هر وسیلهٔ نقلیه محدود می‌شود. همچنین افق زمانی T وجود دارد که بیان می‌کند کل زمان سفر برای وسایل نقلیه نمی‌تواند بیشتر از آن شود. برحسب هزینه نیز، هزینهٔ متغیر حمل در نظر گرفته شده است. هدف اصلی، بهترین برنامهٔ مسیریابی است که توسط حداقل هزینهٔ کل یا کوتاه‌ترین فاصلهٔ سفر به‌دست می‌آید. در ادامه، متغیرها و پارامترهای تصمیم مدل VRPCD[1] معرفی می‌شوند.

1. Vehicle routing problem with cross docking

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. متغیرهای تصمیم و پارامترها

متغیر	توضیح
X_{ijk}	متغیر دودویی که مسیر حرکت از i تا j را نمایش می‌دهد و توسط وسیلهٔ نقلیهٔ k سرویس داده می‌شود. اگر مسیر i تا j توسط k سرویس داده شود، عدد ۱ لحاظ می‌شود و در غیر این‌صورت عدد صفر می‌گیرد.
E_{jk}	مقدار کل محصول تحویل داده‌شده توسط وسیلهٔ k به مشتری j
C_{ijk}	هزینهٔ حمل وسیلهٔ k از مشتری i تا j
L_{ijk}	مقدار بارگیری‌شدهٔ وسیلهٔ k از سفر برداشت i تا j
Y_{ijk}	مقدار تخلیهٔ وسیلهٔ k از سفر تحویل i تا j
t_{ijk}	زمان حرکت وسیلهٔ k از مشتری i تا j
δ_{ik}	زمان خدمت‌رسانی توسط وسیلهٔ k برای بارگیری یا تخلیهٔ مقدار تقاضای i
M	تعداد کارخانه
J	گرهٔ پایان حرکت
V_i	ظرفیت انبار i
W_{ik}	زمان رسیدن k تا مشتری فعلی i
F_j	موعد تحویل سفارش به مشتری j
Z_{ik}	زمان پایان جمع‌آوری و آماده‌سازی کالاهای درخواستی وسیلهٔ k در انبار i
B_{ij}	طول فاصلهٔ سفر از i تا j.
Q_k	ظرفیت وزن برای هر وسیلهٔ نقلیه
T	افق زمانی
P	واحد تقاضا از هر ایستگاه برداشت
D	واحد تقاضا از هر ایستگاه تحویل
0	انبار واسطه
I	نقطهٔ شروع حرکت
D_j	مقدار تقاضای مشتری j
W_{jk}	زمان رسیدن k تا مشتری j
N	تعداد مشتریان
U_{ik}	زمان شروع حرکت k از i

Archive of SID

www.SID.ir

مدلی به شرح زیر برای درک بهتر و حل مسئلهٔ مد نظر در شرکت تولیدی شـادی یـزد ارائـه شد.

رابطهٔ ۱)
$$Minimum\ B = \sum_{i=0}^{m+n}\sum_{j=0}^{m+n}\sum_{k=1}^{K} B_{ij}X_{ijk}$$

$$Minimum\ V = \sum_{i=0}^{m+n}\sum_{j=1}^{m+n}\sum_{k=1}^{K} X_{ijk}$$

رابطهٔ ۲) *Subject to:*

$$\sum_{i=0}^{m+n}\sum_{k=1}^{K} X_{ijk} = 1, for\ j = 1,2,\dots,n; i \neq j$$

رابطهٔ ۳)
$$\sum_{j=0}^{m+n}\sum_{k=1}^{K} X_{ijk} = 1, for\ i = 1,2,\dots,n; i \neq j$$

رابطهٔ ۴)
$$\sum_{i=1}^{m+n} X_{ihk} = \sum_{j=1}^{m+n} X_{hjk}\ , for\ k = 1,2,\dots,K; h = 1,2,\dots,m+n; i \neq h, h \neq j$$

رابطهٔ ۵)
$$\sum_{j=1}^{m+n} X_{0jk} \leq 1\ , for\ k = 1,2,\dots,K;$$

رابطهٔ ۶)
$$\sum_{i=1}^{m+n} X_{i0k} \leq 1, for\ k = 1,2,\dots,K;$$

رابطهٔ ۷)
$$\sum_{j=1}^{n} D_j \leq V_i, for\ i = 0,1,2,\dots,m;$$

رابطهٔ ۸)
$$\sum_{i=0}^{m+n}\sum_{j=0}^{m+n} \delta_{ik}X_{ijk} + \sum_{i=0}^{m+n}\sum_{j=0}^{m+n} t_{ijk}X_{ijk} \leq T, for\ k = 1,2,\dots,K;$$

رابطهٔ ۹)
$$\sum_{i=1}^{m+n}\sum_{j=1}^{m+n} X_{jik}\left(W_{jk} + t_{ijk} + \delta_{jk} - W_{ik}\right) \leq 0;\ for\ k = 1,2,\dots,K;$$

Archive of SID

www.SID.ir

رابطهٔ ۱۰) $$\sum_{i=1}^{m+n}\sum_{j=1}^{m+n} W_{jk} + t_{ijk} + \delta_{jk} - W_{ik} \le (1 - X_{jik}) \times M;\ for\ k = 1,2,\dots,K;$$

رابطهٔ ۱۱) $$\sum_{i=1}^{m} Z_{ik} + t_{ijk} - W_{jk} \le \left(1 - X_{ijk}\right) \times M\ ;\ for\ k = 1,2,\dots,K;\ j = 1,\dots,n$$

رابطهٔ ۱۲) $$W_{jk} \le F_j \times \sum_{i=0}^{m+n} X_{ijk};\ for\ j = 1,2,\dots,n;\ k = 1,2,\dots,K;$$

رابطهٔ ۱۳) $$U_{ik} \ge Z_{ik}; for\ i = 0,1,2,\dots,m;\ k = 1,2,\dots,K;$$

رابطهٔ ۱۴) $$\sum_{k=1}^{K} E_{jk} \ge D_j; for\ j = 1\ ,\dots,n;$$

رابطهٔ ۱۵) $$E_{jk} \le \sum_{i=0}^{m+n} D_j \times X_{ijk}\ , for\ j = 1,\dots,n; k = 1,\dots,K;$$

رابطهٔ ۱۶) $$\left[\sum_{j=1}^{n} D_j \sum_{i=0}^{m+n} X_{ijk}\right] \le Q_k\ ;\ for\ k = 1,2,\dots,K;$$

رابطهٔ ۱۷) $$\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=1}^{n} L_{ijk} = \sum_{i=0}^{m}\sum_{j=1}^{n} Y_{ijk}\ ; fork = 1,\dots,K;$$

رابطهٔ ۱۸) $$Y_{jik} - Y_{ijk} = \begin{cases} P_j\ if\ j\epsilon P, i = 1,2,\dots,n \\ 0\ if\ j\epsilon D, i = 1,2,\dots,n \\ -\sum_{i=1}^{n} P_i\ if\ j\epsilon 0, i = 1,2,\dots,n \end{cases} ; fork = 1,\dots,K;$$

رابطهٔ ۱۹) $$L_{ijk} - L_{jik} = \begin{cases} D_i\ if\ j\epsilon D, i = 1,2,\dots,n \\ 0\ if\ j\epsilon P, i = 1,2,\dots,n \\ -\sum_{i=1}^{n} D_i\ if\ j\epsilon 0, i = 1,2,\dots,n \end{cases} ; fork = 1,\dots,K;$$

رابطهٔ ۲۰) $$X_{ijk} = 0,1;\ W_{jk} \ge 0,; W_{ik} \ge 0;\ I = \{0,\dots,m+n\}$$

Archive of SID

www.SID.ir

رابطهٔ ۱ بیان می‌کند که تابع هدف با کمترین فاصلهٔ سفر و کمترین تعداد وسیلهٔ نقلیه برابر است. رابطه‌های ۲ و ۳ مشخص می‌کنند که هر مشتری به یک وسیلهٔ نقلیهٔ تخصیص می‌یابد. رابطهٔ ۴ گویای این است که هر وسیله به هر گره‌ای که می‌رسد باید از همان گره حرکت کند. رابطه‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند هر وسیلهٔ نقلیه فقط اجازه دارد از مرکز بارانداز واسطه شروع کند و به آن برگردد. بر اساس رابطهٔ ۷ بیشترین کالایی که از انبار خارج می‌شود، نمی‌تواند بیش از ظرفیت آن شود (به‌بیانی مجموع تقاضا باید کمتر یا برابر ظرفیت انبار شود). رابطهٔ ۸ نشان می‌دهد کل زمان سفر طی‌شده، تخلیه و بارگیری سفارش i نباید از کل زمان لحاظ‌شده بیشتر شود. بر اساس رابطهٔ ۹ زمان رسیدن به هر مشتری نباید زودتر از زمان رسیدن به مشتری قبلی به‌علاوهٔ زمان تخلیهٔ بار و طی مسیر تا رسیدن به مشتری فعلی باشد. رابطهٔ ۱۰ نیز خطی‌شدهٔ رابطهٔ ۹ است و M عدد بزرگ و حداقل برابر $W_{jk} + t_{ijk} + \delta_{jk}$ است.

بر اساس رابطهٔ ۱۱، زمان رسیدن کالا به مشتری از زمان خاتمهٔ جمع‌آوری و آماده‌سازی درخواست و زمان از انبار تا مشتری نباید کمتر باشد. معادلهٔ ۱۲ نشان می‌دهد زمان رسیدن به مشتری j نباید از بیشترین زمان تحویل کالا به مشتری تجاوز کند. رابطهٔ ۱۳ بیان می‌کند که شروع حرکت هر وسیله باید بزرگ‌تر یا مساوی زمان پایان جمع‌آوری و آماده‌سازی سفارش باشد. رابطهٔ ۱۴ نیز مقدار کل محصول تحویلی به مشتری j را نشان می‌دهد که باید تقاضای آن مشتری از محصول را برآورده کند. طبق رابطهٔ ۱۵ اگر $X_{ijk} = 1$ شود، مقدار محصول تقاضاشدهٔ j تحویل داده می‌شود. رابطهٔ ۱۶ گویای این است که وزن کل کالاها نباید بیش از ظرفیت وزن هر وسیلهٔ نقلیه شود. بر اساس رابطهٔ ۱۷ مقدار بار برداشتی توسط k باید با مقدار بار تحویلی همان وسیله برابر باشد. رابطه‌های ۱۸ و ۱۹ حدود مقداری فرایند برداشت و تحویل را نشان می‌دهند و در نهایت رابطهٔ ۲۰، وضعیت متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

الگوریتم جست‌وجوی پراکنده

در ادامه به حل این مسئله از طریق الگوریتم جست‌وجوی پراکنده پرداخته می‌شود که می‌توان به‌نوعی آن را شکل تکامل‌یافته‌تری نسبت به الگوریتم ژنتیک دانست. یادآوری می‌شود که این الگوریتم در مسائل مربوط به مسیریابی، جواب‌های به‌مراتب بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک داده است. این الگوریتم یکی از روش‌های تکاملی برای حل مسائل NP-hard به‌شمار می‌رود که نخستین‌بار گلوور[1] در سال ۱۹۷۷ برای حل مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح ارائه کرد (رزمی و یوسفی، ۱۳۹۱).

1. Glover

Archive of SID

www.SID.ir

این روش، بر سه اصل زیر استوار است (طارقیان، فرّهی و مدرسی، ۱۳۸۷):

- تولید مجموعه‌ای از جواب‌های متنوع (P): این جواب‌ها ابتدا از نظر امکان‌پذیربودن بررسی می‌گردند و در صورت لزوم، امکان‌پذیر می‌شوند، سپس کیفیت جواب‌ها به‌طور محلی بهبود می‌یابد.
- انتخاب و انتقال برخی جواب‌های مجموعهٔ P به مجموعهٔ دیگری به نام مجموعهٔ مرجع (R): انتخاب و انتقال جواب‌ها براساس دو معیار تنوع و کیفیت صورت می‌گیرد؛ به این‌ترتیب که ابتدا جواب‌های مجموعهٔ P براساس ارزش تابع هدف مرتب می‌شوند و از این فهرست، تعداد b_1، جواب سرفهرست به مجموعهٔ R منتقل می‌شود. سپس از مجموعهٔ P-R تعداد b_2 جواب که با جواب‌های موجود در مجموعهٔ R تفاوت بیشتری دارند، به این مجموعه منتقل می‌شوند. بنابراین، $|R| = b_1 + b_2$. معیار متفاوت‌بودن، ارزش تابع هدف نیست. برای این منظور می‌توان با توجه به ماهیت مسئله، معیارهای مختلفی ازجمله فاصلهٔ اقلیدسی نقاط هر دو جواب از یکدیگر را در نظر گرفت.
- ایجاد ترکیب‌های خطی از جواب‌های موجود در مجموعهٔ مرجع؛ به‌طوری‌که نقاط داخل و خارج فضای شدنی پیمایش شوند. جواب‌های به‌دست‌آمده در صورتی که کیفیت بهتری نسبت به جواب‌های موجود در مجموعهٔ مرجع داشته باشند، جایگزین بدترین جواب‌های این مجموعه می‌شوند.

همچنین پارامترهای این الگوریتم به این صورت تعریف می‌شوند: جمعیت برابر ۱۰۰ و تکرار برابر ۱۰۰۰ با میزان بهینگی ۵ درصد، مقدار عدد تصادفی seed برابر ۹۱۲۳۷۱۷۴۸، عامل جهش براساس حل چندگانهٔ VRP، اندازهٔ مجموعهٔ مرجع[1] ۲۰ و تعداد جواب‌های با کیفیت زیاد ۵ در نظر گرفته شدند. برای تعیین پارامترهای این الگوریتم از روش آزمایش و خطا استفاده شده است.

یافته‌های پژوهش

محصولات تولیدی شرکت شادی واقع در یزد به شهرهای زاهدان، بندرعباس، شیراز، کرمان، رفسنجان، همدان، قزوین، ایلام، دزفول، مشهد، اصفهان، تبریز، سبزوار، قصر شیرین، عراق، ابرکوه و یزد ارسال می‌شود. تقاضای هریک از شهرهای داخل کشور ۲/۷ تن و برای عراق ۲۰ تن است. این محصولات از طریق وسایل نقلیهٔ نیسان، خاور، ده‌چرخ، بنز تک و تریلی توزیع می‌شوند که ظرفیت هریک از آنها به‌ترتیب برابر ۲، ۴، ۱۰، ۶ و ۲۱ تن است. هزینهٔ حمل به یزد ۱ درصد قیمت فروش؛ به ابرکوه ۱/۵ درصد؛ به عراق ۷ درصد؛ به شهرهای کرمان، بندرعباس،

1. References Set

Archive of SID

www.SID.ir

زاهدان، رفسنجان، مشهد، سبزوار، شیراز، اصفهان با تریلی ۴/۵ درصد فروش، با ده‌چرخ ۵ درصد فروش، با بنز تک ۵/۵ درصد فروش و با خاور ۶ درصد فروش و به شهرهای ایلام، دزفول، قصر شیرین، همدان، قزوین و تبریز با تریلی ۵ درصد فروش و با ده‌چرخ ۵/۵ درصد فروش، با بنز تک ۶ درصد فروش و با خاور ۶/۵ درصد فروش است. موجودی اولیه و نهایی در انبارها صفر است. هدف پیداکردن مسیر مناسبی است که فاصله و زمان حداقل شود. قیمت فروش هر تن بیسکویت نیز ۳۰۳۴۰۰۰ تومان است. مکان بارانداز واسطه در شهر یزد قرار دارد. ۶۳ تن از مهریز به یزد انتقال می‌یابد و از طریق بارانداز واسطه در یزد به شهرهای دیگر مسیریابی می‌شود. تقاضای متوسط تمام شهرها ۲/۷ و عراق ۲۰ تن است، زمان خدمت‌رسانی به مشتریان در هر شهر ۱۲۰ دقیقه و در عراق ۳۶۰ دقیقه است. افق زمانی نیز ۵ روز (معادل ۷۲۰۰ دقیقه) است. همچنین موقعیت مکانی شهرها به‌عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به وضعیت موجود نیز مشخص شد که وسایل نقلیه از یزد به مهریز حرکت‌کرده و بارگیری می‌کنند، سپس به شهرهای یادشده فرستاده می‌شوند و در نهایت به مقصد بازمی‌گردند. بنابراین، با توجه به اطلاعات موجود مشخص شد که فاصلهٔ پیموده‌شده ۱۶۴۶۷ کیلومتر، زمان طی‌شده ۴۱۱/۶۷۵ ساعت و هزینهٔ حمل ۱۰۹۲۳۹۱۷ تومان است. همچنین ۱۰ وسیلهٔ نقلیه استفاده می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۳ درج شده است.

جدول ۳. نتایج اجرای الگوریتم جست‌وجوی پراکنده

	نتایج
تعداد وسیلهٔ نقلیه	۴ (تریلی ۱ به مسیر ۱، تریلی ۲ به مسیر ۳، خاور ۱ به مسیر ۲ و تریلی ۳ به مسیر ۴)
تعداد مسیر	۴
فاصلهٔ بهینه	۱۱۴۳۸کیلومتر
زمان بهینه	۲۸۵/۹۵ ساعت (سرعت متوسط وسایل نقلیه متفاوت برابر ۴۰ کیلومتر در ساعت است)
هزینهٔ مطلوب	۱۰۱۸۶۶۵۵ تومان
زمان محاسباتی	۲۹ ثانیه
مسیرها	یزد ـ اصفهان ـ شیراز ـ بندرعباس ـ کرمان ـ زاهدان ـ مشهد ـ سبزوار ـ یزد (مسیر ۱) یزد ـ رفسنجان ـ یزد (مسیر ۲) یزد ـ ابرکوه ـ دزفول ـ ایلام ـ قصرشیرین ـ همدان ـ تبریز ـ قزوین ـ یزد (مسیر ۳) یزد ـ عراق ـ یزد (مسیر ۴)

براساس جدول ۳، چهار مسیر همراه با چهار وسیلهٔ نقلیه مشخص شد. همچنین نتایج حل مسئله با الگوریتم جست‌وجوی پراکنده نشان داد در زمان محاسباتی ۳۰ ثانیه، مقدار فاصله و زمان بهینه به‌ترتیب ۱۱۴۳۸کیلومتر و ۲۸۵/۹۵ ساعت است. هزینهٔ مطلوب نیز ۱۰۱۸۶۶۵۵

Archive of SID

www.SID.ir

برآورد شد. برای اطمینان از جواب‌های مناسب به‌دست‌آمده از الگوریتم جست‌وجوی پراکنده، روش کار را با روش‌های دیگر محققان (الگوریتم ابتکاری نزدیک‌ترین همسایه) مقایسه کردیم. از این رو، مسئلهٔ حاضر با استفاده از الگوریتم‌های نزدیک‌ترین همسایه نیز حل شد. نتایج به‌دست‌آمده از این الگوریتم در جدول ۴ مشاهده می‌شود. الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه، بهینه‌سازی برای پیداکردن نزدیک‌ترین نقطه‌ها از هدف مد نظر است.

جدول ٤. نتایج اجرای الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه

	نتایج
تعداد وسیلهٔ نقلیه	۴ (تریلی ۱ به مسیر ۱، تریلی ۲ به مسیر ۳، خاور ۱ به مسیر ۲ و تریلی ۳ به مسیر ۴)
تعداد مسیر	۴
فاصلهٔ بهینه	۱۳۱۶۳کیلومتر
زمان بهینه	۳۲۹/۰۷۵ ساعت (سرعت متوسط وسایل نقلیهٔ متفاوت برابر ۴۰ کیلومتر در ساعت است)
هزینهٔ مطلوب	۱۰۱۸۶۶۵۵
زمان محاسباتی	۱۰ ثانیه
مسیرها	یزد ـ ابرکوه ـ رفسنجان ـ کرمان ـ زاهدان ـ بندرعباس ـ شیراز ـ اصفهان ـ یزد (مسیر ۱) یزد ـ تبریز ـ یزد (مسیر ۲) یزد ـ مشهد ـ سبزوار ـ قزوین ـ همدان ـ دزفول ـ ایلام ـ قصر شیرین ـ یزد (مسیر ۳) یزد ـ عراق ـ یزد (مسیر ۴)

با توجه به نتایج پژوهش مشخص شد که الگوریتم جست‌وجوی پراکنده به‌مراتب جواب بهتری نسبت به الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه به‌دست می‌دهد. از سویی می‌توان نتیجه گرفت که تعداد وسایل نقلیه نسبت به وضعیت موجود کاهش یافته (کاهش هزینه‌های ثابت) و مسافت پیموده‌شده با الگوریتم جست‌وجوی پراکنده نسبت به وضعیت موجود با استفاده از رابطهٔ زیر به‌میزان ۳۰/۵۴ درصد بهبود می‌یابد. همچنین هزینهٔ متغیر حمل نسبت به وضعیت موجود ۶/۷ درصد کم می‌شود.

رابطهٔ ۲۱) $$\text{میزان بهبود} = \frac{\text{وضعیت موجود} - \text{وضعیت بهینه}}{\text{وضعیت موجود}} \times ۱۰۰$$

با توجه به یافته‌های پژوهش مشخص شد که الگوریتم جست‌وجوی پراکنده جواب‌های خوبی به‌دست می‌آورد.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلاش شد روشی برای بهبود و کاهش مسافت حمل‌ونقل در مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با حمل‌ونقل متقاطع ارائه شود که خود سبب کاهش هزینه و زمان خدمت‌رسانی و افزایش رضایت مشتریان می‌شود. از این رو، مدل ریاضی مسئلهٔ حاضر با هدف کاهش فاصلهٔ حمل‌ونقل توسعه یافت. در این مدل، امکان خدمت‌رسانی با وسایل نقلیهٔ متفاوت و کاربرد بارانداز واسطه در نظر گرفته شد. شایان ذکر است که تحقیق حاضر با توجه به رویکرد، مکان و روش حل مسئله، از سایر تحقیقات مشابه مجزاست و این خود بر نوآوری تحقیق حاضر تأکید می‌کند. بر این اساس، مطالعاتی نظیر رزمی و یوسفی (۱۳۸۹)؛ حسینی‌نسب، صفاده و ممدوحی (۱۳۹۰)؛ سپهری و حسینی مطلق (۱۳۸۷)؛ دهباری، پورروستا، نادری، قبادیان و توکلی‌مقدم (۱۳۹۱) و توکلی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۰) که خود بر مسیریابی توجه و تمرکز دارند، الزامات و نیازهای این پژوهش را پوشش نمی‌دهند.

بر اساس نتایجی که از الگوریتم جست‌وجوی پراکنده به‌دست آمد و با توجه به جدول ۴، چهار مسیر شامل چهار وسیلهٔ نقلیه مشخص شد. همچنین نتایج حل مسئله با این الگوریتم نشان داد در زمان محاسباتی ۲۹ ثانیه، مقدار فاصله و زمان بهینه به‌ترتیب ۱۱۴۳۸ کیلومتر و ۲۸۵/۲۹۵ ساعت است. همچنین با توجه به درصد هزینه‌های حمل که قبلاً بیان شد، هزینهٔ مطلوب حمل ۱۰۱۸۶۶۵۵ تومان می‌شود. بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که فاصلهٔ بهینه با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی پراکنده ۳۰/۵۴ درصد نسبت به وضعیت موجود کاهش‌یافته و هزینهٔ بهینه ۶/۷ درصد بهبود می‌یابد و در مقایسه با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه نیز جواب بهتری می‌دهد. همچنین نتایج پژوهش رزمی و یوسفی (۲۰۱۲) نشان داد الگوریتم جست‌وجوی پراکنده از الگوریتم تبرید تدریجی و روش دقیق بهتر عمل می‌کند. توکلی‌مقدم، جولای و قندی بیدگلی (۱۳۸۷) نیز کارایی الگوریتم پیشنهادی را نسبت به روش جست‌وجوی ممنوع تأیید کردند؛ بنابراین با توجه به نتایج تحقیق حاضر، می‌توان گفت الگوریتم جست‌وجوی پراکنده کارایی زیادی برای حل مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با حمل‌ونقل متقاطع دارد.

پیشنهادهای کاربردی

در این بخش به ارائهٔ پیشنهادهای کاربردی و پژوهشی پرداخته می‌شود. به مدیران و تصمیم‌گیران شرکت بیسکویت شادی مهرگان مهریز توصیه می‌شود که یافته‌های این پژوهش را به‌کار گیرند و براساس منافعی که طبق الگو برآورد می‌شود، نتیجه را گزارش دهند. همچنین

Archive of SID

www.SID.ir

پیشنهاد می‌شود با به‌کاربردن الگوهای علمی و دانشی، سود به‌دست‌آمده را برای تحقیقات میدانی صرف کنند تا هم منافع شرکت خود را تضمین کنند و هم گام مفیدی برای جامعه بردارند. همچنین برای تحقیقات آتی، پیشنهاد می‌شود مکان‌یابی بهینهٔ باراندازهای واسطه در زنجیرهٔ تأمین به‌کمک الگوریتم جمعیت مورچگان انجام شود. از راهبرد حمل‌ونقل متقاطع در قسمت تأمین زنجیرهٔ تأمین نیز استفاده شود. از راهبرد حمل‌ونقل متقاطع و مسیریابی وسایل نقلیه در حمل‌ونقل عمومی (تاکسی‌ها، شرکت واحد اتوبوس‌رانی، سازمان ترمینال‌ها) استفاده شود. از حمل‌ونقل متقاطع و مسیریابی وسایل نقلیه در عملیات امداد و نجات پلیس بهره برده شود.

References

Amiri, M. & Kheirandish, M. (2000). A Model for Improving Supply Chain Management in Foolad Ardabil Company. *Management Development Journal*, 14 (71): 4-17. (*in Persian*)

Apte, UM. & Viswanathan, S. (2000). Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies. *International Journal of Logistics: Research and Applications*. 3 (3): 291–302.

Aras, N., Aksen, D. & Tagrl Tekin, M. (2011). Selective Multi-Depot Vehicle Routing Problem with pricing. *Transportation Research Part C*, 19(5): 866-884.

Belle, J.V., Valckenaers, P. & Cattrysse, D. (2012). Cross docking: State of the Art. *Omega*, 40(6): 846-827.

Boloori Arabani, A., Zandieh, M. & Fatemi Gomi, S-M-T. (2011). Multi Objective Genetic-Based Algorithms for A Cross-Docking Scheduling Problem. *Applied soft computing*, 11(8): 4954-4970.

Calvete, H.I., Galé, C., Oliveros, M.J. & Snchez-Valverde, B. (2007). A Goal Programming Approach to Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows Star, Open. *European Journal of Operational Research*, 177(3): 1720–1733.

Cook, R.L., Gibson B. & Mac Curdy, D. (2005). A Lean Approach to Cross-Docking. *Supply Chain Management*, 9(2): 54-59.

Dantzig, G. & Ramser, J. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Journal of Management Science*, 6(1): 80-91.

Dareh Miraki, M. (2013). A new heuristic algorithm to solve vehicle routing problem, *operations research journal and its applications*, 4(35):1-7. (*in Persian*)

Archive of SID

www.SID.ir

Dehbari, S., Purrusta, A., Naderi, M., Ghobadian, E. & Tavakoli Moghadam, R. (2013). Multi objective vehicle routing with probable service time and fuzzy demand under time window constraints, *Operations Research in Applications*, 4 (35): 85-106. (*in Persian*)

Dondo, R. & Cerda, J. (2013). A Sweep-Heuristic Based Formulation for the Vehicle Routing Problem with Cross Docking. *Computers and Chemical Engineering*, 48(2013): 1-54.

Dondo, R., Mendez, C.A. & Cerda, J. (2011). The Multi-Echelon Vehicle Routing Problem with Cross Docking in Supply Chain Management. *Computers and chemical engineering*, 35(12): 3002-3024.

Dondo, R.G. & Cerda, J. (2009). A Hybrid Local Improvement Algorithm for Large-Scale Multi-Depot Vehicle Routing Problems with Time Windows. *Computers and Chemical Engineering*, 33(2): 513–530.

Eydi, A.R. & Abdorahimi, H. (2012). Model and solution approach for multi-period and multi-depot vehicle routing problem with flexibility in specifying the last depot of each rout. *International journal of industrial engineering & production management*, 23 (3): 333-349. (*in Persian*)

Fu, Z., Eglese, R. & Li, L.Y.O. (2008). A Unified TABU Search Algorithm for Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows. *Journal of the Operational Research Society*, 59(5): 663–673.

Gary, M. & Johnson, D. (1979). *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP Completeness*. Freeman, San Francisco.

Hosseini Nasab, S., Safaadeh, M. & Mamduhi, A. (2012). A method for routing optimization in public transportation integrating bus network and extremist bus, *Transportation Engineering*, 4 (8): 303-316. (*in Persian*)

Jia, H., Li, Y., Dong, B. & Ya, H. (2013). An improved tabu search approach to vehicle routing problem. *Social and behavioral sciences*, 96 (6): 1208-1217.

Kinnear, E. (1997). Is There Any Magic in Cross-Docking? *Supply Chain Management: An International Journal*, 2 (2): 49-52.

Laporte, G. (1992). The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms. *European journal of operational research*, 59(3): 345-358.

Lee, Y.H., Jung, J.W. & Lee, K.M. (2006). Vehicle Routing Scheduling for Cross-Docking in the Supply Chain, *Computers & Industrial Engineering*, 51(2): 247–256.

Li, Y., Lim, A. & Rodrigues, B. (2004). Cross-Docking: JIT Scheduling with Time

Archive of SID

www.SID.ir

Windows. *Journal of the Operational Research Society*, 55 (12): 1342–51.

Lio, C. J., Lin, Y & Shih, S.C. (2010). Vehicle Routing with Cross-Docking in the Supply Chain, *expert systems with applications*, 37(10): 6868-6873.

Liu, R. & Jiang, Z. (2012). The close-open mixed vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 220(2): 349–360.

Macedo, R., Alves, C., Carvalho, J.M.V.D; Clautiaux, F. & Hanafi, S. (2011). Solving the Vehicle Routing Problem with Time Windows and Multiple Routes Exactly Using a Pseudo-Polynomial model. *European Journal of Operational Research*, 214(3): 536–545.

Mahdavi-Asl, V., Khademi-Zare, H. & Hosseini-Nasab, H. (2012). Offering a mathematical model and heuristic method for solving multi-depot and multi-product vehicle routing problem with heterogeneous vehicle, *International journal of industrial engineering & production management*, 23 (3): 303-315. (*in Persian*)

Marinakis, Y. & Marinaki, M. (2010). A Hybrid Genetic – Particle Swarm Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem. *Expert Systems with Applications*, 37(2): 1446–1455.

Mester, D., Braysy, O. & Dullaert, W. (2007). A Multi-Parametric Evolution Strategies Algorithm for Vehicle Routing Problems. *Expert Systems with applications*, 32(2): 508-517.

Mohammadi Zanjirani, D. & Asadi Aghageri, M. (2009). Designing Mathematical Model for Transportation Routing in Supply Chain, With a Case Study in DonarKhazar Company. *Journal of industrial management*, 1 (3): 119-136. (*in Persian*)

Moon, I., Lee, J.H. & Seong, J. (2012). Vehicle Routing Problem with Time Windows Considering Overtime and Outsourcing Vehicles. *Expert Systems with Applications*, 39(18): 13202–13213.

Mosheiov, G. (1998). Vehicle Routing with Pickup and Delivery: Tour Partitioning Heuristics. *Computers & industrial engineering*, 34(3): 669-684.

Mousavi, S.M. & Tavakili-Moghadam, R. (2013). A hybrid simulated annealing for location and routing scheduling problems with cross docking in the supply chain. *Journal of manufacturing systems*, 32 (2): 335-347.

Novoa, C. & Storer, R. (2009). An Approximate Dynamic Programming Approach for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands. *European Journal of Operational Research*, 196(2): 509–515.

Olfat, L. & Barati, M. (2012). An Importance-Performance Analysis of Supply

Archive of SID

www.SID.ir

Chain Relationships Metrics in Small and Medium Sized Enterprises in Automotive Parts Industry. *Journal of industrial management*. 4 (2): 21-42.

Osvald, A. & Strin, L.Z. (2008). A Vehicle Routing Algorithm for the Distribution of Fresh Vegetables and Similar perishable Food. *Journal of food engineering*, 85(2): 285-292.

Pandelis, D.G., Kyriakidis, E.G. & Dimitrakos, T.D. (2012). Single Vehicle Routing Problems with A Predefined Customer Sequence Compartmentalized Load and Stochastic Demands. *European Journal of Operational Research*, 217(2): 324–332.

Polimeni, A. & Vitetta, A. (2012). An approach for solving vehicle routing problem with link cost variability in the time. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39: 607 – 621.

Razavi, M., Sokhakian, M.A. & Ziarati, K. (2010). A Meta heuristic algorithms based on ant colony system for solving multi depots location-routing problem with multiple using of vehicle. *Journal of industrial management*, 3 (6): 17-38. (*in Persian*)

Razmi, J. & Yousefi, M. (2012). A new mathematical model for schools service routing problem and solving by proposed algorithm. *Journal of Industrial engineering*, 46 (2): 185-194. (*in Persian*)

Razmi, J., Hale, H. & Ezati, B. (2011). Designing a dynamic model Transit routing and its solution by ant algorithm, *Industrial Engineering and Sharif Management*, 26 (2): 65-70. (*in Persian*)

Reimann, M., Doerner, K. & Hartl, R.F. (2004). D-Ants: Savings Based Ants Divide and Conquer the Vehicle Routing Problem. *Computers & operations research*, 31(4): 563-591.

Salehipour, A. & Sepehri, M.M. (2013). A new model for mobile repairer problem based mixed integer programming. *International journal of industrial engineering & production management*, 23 (3): 284-292. (*in Persian*)

Santos, F.A., Mateus, G.R. & Cunha, A.S.D. (2011). A Branch-and-Price Algorithm for a Vehicle Routing Problem with Cross-Docking. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 37: 249–254.

Sepehri, M. & Hosseini Motlagh, S. (2009). Optimize routing of transportation systems in automated warehouses, *Journal of transportation research*, 5 (2): 127-138. (*in Persian*)

Sepehri, M.M. & Satak, M. (2005). Modeling and solving of different vehicle routing problem with carrying load in the back in with unequal capabilities. *Journal of Transportation,* 1 (1): 23-33. (*in Persian*)

Archive of SID

www.SID.ir

Shahin Moghadam, S,. Fatemi Ghomi, S.M.T. & Karimi, B. (2014). Vehicle routing scheduling problem with cross docking and split deliveries, *Computers & chemical engineering*, 69 (3): 98-107.

Soltani, R. & Sajjadi, S.J. (2010). Scheduling Trucks in Cross-Docking Systems: A Robust Meta-Heuristics approach. *Journal of Transportation Research Part E*, 46(5): 650-666.

Sung, C.S. & Song, S.H. (2003). Integrated Service Network Design for a Cross-Docking Supply Chain Network. *Journal of the Operational Research Society*, 54(12): 1283-1295.

Taghavifard, M., Sheikh, K. & Shahsavari, A., (2008). Modified ant colony algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *International journal of industrial engineering & production management*, 20 (2): 23-30. (*in Persian*)

Taillard, E., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F. & Potvin, J.Y. (1997). A TABU Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows. *Transportation Science*, 31(2): 170–186.

Tan, K.C., Lee, L.H., Zhu, Q.L. & Ou, K. (2001). Heuristic Methods for Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Artificial Intelligence in engineering,* 15 (3): 281-295.

Tan, W.F., Lee, L.S., Majid, Z.A. & Seow, H.V. (2012). Ant Colony Optimization for Capacitated Vehicle Routing Problem. *Journal of Computer Science*, 8 (6): 846-852.

Tang, J., Zhang, J. & Pan, Z. (2010) A Scatter search for solving vehicle routing problem with loading cost. *Expert Systems with Applications*, 37 (6): 4073-4083.

Tareghian, H.R., Farahi, M.H. & Modaresi, T. (2009). Determining the number of kanbans by scatter search algorithm, *science journal of Shahid Chamran university of Ahvaz*, 3 (20): 24-35. (*in Persian*)

Tavakoli Moghadam, R., Alinaghian, M. & Salamat-Bakhsh, A.R. (2010). A new mathematical programming model for a vehicle routing problem in a competitive environment: a real case study. *Journal of transportation research,* 4 (21): 311-323. (*in Persian*)

Tavakoli Moghadam, R., Alinaghian, M., Norouzi, N. & Salamat-Bakhsh, A. (2011). Solving a new vehicle routing problem considering safety in hazardous materials transportation: a real-case study. *Journal of transportation engineering,* 3 (7): 223-239. (*in Persian*)

Tavakoli Moghadam, R., Alinaghian, M., Norouzi, N. & Salamat-Bakhsh, A.

Archive of SID

www.SID.ir

(2012). Solving a new model for vehicle routing problem with safety consideration in dangerous material transportation, *Transportation engineering*, 3 (7): 223-237. (*in Persian*)

Tavakoli Moghadam, R., Joulai, F. & Ghandi Bidgoli, S. (2009). Solving of parallel machine scheduling with weighted earliness-tardiness by multi objective scatter search. *Journal of faculty of engineering (university of Tehran),* 42 (7): 923-934. (*in Persian*)

Tavakoli-Moghadam, R., Rabbani, M., Shariat, M.A. & Safaee, N. (2006). Vehicle routing problem with soft time windows using an integrated meta-heuristic algorithm. *Journal of faculty of engineering (university of Tehran),* 40 (4): 469-476. (*in Persian*)

Tizroo, A., Azar, A., Ahmadi, R. & Rafeei, M. (2011). Modeling agility of supply chain case study: Zobahan co. *journal of industrial management*, 3 (7): 17-36.

Vahdani, B. & Zandieh, M. (2010). Scheduling Trucks in Cross-Docking Systems: Robust Meta-Heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 58 (1): 12–24.

Vincius, W.C.M., Geraldo, R.M. & Thiago, F.N. (2014). Iterated local search heuristics for the vehicle routing problem with Cross-Docking. *Expert systems with applications*, 41 (16): 7495-7506.

Wang J. (2009). *Apply particle swarm optimization to solve the vehicle routing problem with cross docking in the supply chain*. Department of Industrial Management - National Taiwan University of Science and Technology.

Wen, M., Larsen, J., Clausen, J., Cordeau, J-F. & Laporte, G. (2009). Vehicle Routing with Cross- Docking. *Journal of the Operational Research Society*, 60 (12): 1708–1718.

Yousefi Khoshbakht, M. & Rahmati, F. (2011). An improved ant colony system for solving the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, *Journal of transportation research*, 8 (2): 183-198. (*in Persian*)

Yousefi Khoshbakht, M., Didehvar, F., Rahmati, F. & Sedighpoor, M. (2012). An effective imperialist competitive algorithm for solving the open vehicle routing problem, *Journal of transportation research,* 9 (1): 83-95. (*in Persian*)

Archive of SID

www.SID.ir