مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۹)
دوره‌ی ۱-۳۶، شماره‌ی ۱/۲، ص. ۱۱۳-۱۲۲

Original Article

بهبود سیستم‌های تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان با ایجاد امکان تجمیع بار

سجاد گوزل‌زاده (کارشناس ارشد)
دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه کردستان، سنندج
زهره خلیل‌پور * (کارشناس ارشد)
مهدی یوسفی‌نژاد عطاری (استادیار)
دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب

به منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی سیستم زنجیره‌ی تأمین، تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان یکی از مهم‌ترین راهبردهای مدیریت انبارداری برای ترکیب محصولات از تأمین‌کنندگان مختلف به مشتریان مختلف است. در این پژوهش حالتی از تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان بررسی شده است که در آن کامیون ورودی می‌تواند کامیون خروجی هم باشد. این کار مزایایی مانند کاهش زمان تخلیه، بارگیری و کاهش هزینه‌های اجاره‌ی کامیون را به همراه دارد. به منظور بررسی این حالت از مسئله، مدلی ریاضی ارائه شده است و به منظور دست‌یابی به جواب مناسب و مشخص کردن اعتبار و صحت مدل‌سازی از نرم‌افزارهای بهینه‌سازی مثل گمز، متلب و از الگوریتم‌های فراابتکاری شیرمورچه، الگوریتم بهینه‌سازی حافظه و کلونی مورچگان برای حل مدل ریاضی استفاده شده است. نتایج قابل استفاده بودن پیشنهاد مطرح شده و کارایی خوب الگوریتم شیرمورچه را در حل این مسئله نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: الگوریتم شیرمورچه، تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان، انتقال مستقیم، زمان‌بندی کامیون.

gozalzadeh.sajjad@gmail.com
zohreh.khalilpour@gmail.com
mahdi_108108@yahoo.com

۱. مقدمه

امروزه استفاده از سیستم‌های توزیع کاربرد فراوانی دارد. به طوری که در سطوح مختلف خرد و کلان از این سیستم‌ها برای جابه‌جایی و ارسال کالا از تولیدکنندگان و فروشندگان به خریداران استفاده می‌شود. این سیستم‌ها هزینه‌هایی را به دنبال دارند که عبارت‌اند از: هزینه‌های انبارداری، نگهداری موجودی، جابه‌جایی و نیروی کار. از طرفی در کنار استفاده‌ی روز افزون از این سیستم‌ها، ارائه‌ی روش‌ها و سیستم‌های جدید برای کاهش هزینه‌ها مطرح می‌شود. یکی از راهکارهای کاهش هزینه‌ها استفاده از سیستم‌های جدید توزیع به جای سیستم سنتی است. سیستمی که جایگزین شبکه‌ی توزیع سنتی می‌شود باید توانایی ارائه‌ی خدمت بهتر به مشتری، کاهش زمان تحویل کالا، دوره‌ی گردش موجودی سریع و مسایلی از این دست را دارا باشد. سیستمی که امروزه در صورت وجود شرایط مورد نیاز جایگزین توزیع سنتی شده است، سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان است که در طول سال‌های اخیر توجه دانشگاهیان را به خود جلب کرده است.[۱]

سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان، فرایند حرکت محصول از طریق مراکز توزیع، بدون انبارش است. در یک انبار سنتی، محصول از محل دریافت به انبار و از آن جا به سمت محل حمل حرکت می‌کند. اما در سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان محصول از محل دریافت به محل حمل بدون انبارش منتقل می‌شود.[۲]

در کنار استفاده روز افزون از سیستم‌های توزیع، بررسی هزینه‌های آنها و یافتن روش‌هایی برای کاهش این هزینه‌ها ضروری تلقی می‌شود. تحقیقات بسیار زیادی در زمینه‌ی انبار عبوری در سال‌های اخیر منتشر شده است. برخی انبار عبوری را به صورت کلی‌تر (مانند پیاده‌سازی انبار عبوری) و برخی دیگر یک نوع خاص از مسئله (در سطح راهبردی، فنی و عملیاتی) در نظر می‌گیرند.

به خصوص مسایل تخصیص در انبار عبوری و زمان‌بندی کامیون توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. با وجود این نویسندگان بر این باور هستند که هنوز فرصت‌های زیادی برای بهبود و گسترش تحقیقات موجود وجود دارد.

در این پژوهش به منظور گسترش تحقیقات در زمینه‌ی زمان‌بندی و نیز نزدیک‌تر کردن مدل‌های ارائه شده به جهان واقعی، حالت خاص از انبار عبوری بررسی شده است؛ همچنین به علت ماهیت این نوع از فعالیت که طی آن باید برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری به سرعت انجام پذیرد، استفاده از الگوریتمی فراابتکاری که بتواند در زمان اندکی به پاسخ نسبتاً مطلوبی برسد، ضروری است. استفاده از کامیون ورودی به عنوان خروجی و نیز حل مسئله با در نظرگرفتن این فرض می‌تواند در توسعه‌ی کاربرد انبار عبوری مؤثر باشد و در زنجیره‌های تأمین نقش مناسبی ایفا کند.

طی سال‌های اخیر مسئله‌ی تخلیه بارگیری هم‌زمان بسیار مورد توجه بوده است. ولی حالتی از این مسئله وجود دارد که کمتر به آن پرداخته شده است. به صورتی

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۷/۲۹، اصلاحیه ۱۳۹۸/۱۰/۲۸، پذیرش ۱۳۹۸/۱۱/۲۳.
DOI:10.24200/J65.2020.54244.2042

جدول ۱. تفاوت‌های اساسی بین انبارهای ادغامی سنتی و سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان.[۳]

انبار سنتی	سیستم تخلیه بارگیری هم‌زمان
اقلام انبار می‌شوند یا در محل‌های برداشت سفارش جای می‌گیرند	اقلام بدون آن‌که انبار شوند و یا در محل‌های برداشت سفارش جای بگیرند
و دوباره به مدت حداقل یک روز در انبار مستقر می‌شوند.	به نوعی از طریق انبار در یک روز جابه‌جا می‌شوند.
اقلام باید به صورت موجودی در سیستم انبار ثبت شوند.	اقلام احتیاجی به ثبت به صورت موجودی در انبار ندارند.
در انبار اقلام برچسب گذاری و دسته بندی مجدد می‌شوند.	اقدامات در انبار ممکن است عاری از هرگونه برچسب‌گذاری و بسته‌بندی مجدد باشد.

که اگر تمام وسایل نقلیه چه ورودی و چه خروجی سیستم، متعلق به یک شرکت طرف سوم و تقریباً یک‌شکل باشند، می‌توان قبل از درخواست کامیون خروجی برای مقاصد مختلف، امکان استفاده از یک کامیون ورودی را، با تخلیه‌ی مقداری از بار و جایگزینی آن به عنوان کامیون خروجی، بررسی کرد و در تعداد کامیون و همچنین زمان تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان صرفه‌جویی کرد. با بررسی امکان ایجاد بهبود با استفاده از این روش، مدل‌های تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان در شرکت‌های طرف سوم مورد بحث به حالت واقعی نزدیک‌تر می‌شوند.

طراحی مدل ریاضی با در نظرگرفتن امکان انتخاب کامیون‌های ارسال مستقیم، تخلیه‌ی کامل و تخلیه به میزان لازم به عنوان کاری نو در زمینه‌ی انبارهای تخلیه بارگیری هم‌زمان است. علاوه بر این، الگوریتم فراابتکاری شیرمورچه برای حل این مسئله به کار گرفته شده و کارایی آن سنجیده شده است.

در بخش بعدی به پیشینه‌ی پژوهش اشاره شده است. سپس شکل کلی مسئله تشریح و بر پایه‌ی مفروضات ارائه شده یک مدل ریاضی ارائه شده است. در بخش چهارم برای حل اندازه‌های کوچک مسئله از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز و برای حل اندازه‌های متوسط و بزرگ، که نرم‌افزارهای بهینه‌سازی قادر به یافتن جواب بهینه در زمان قابل قبولی نیستند، از نرم‌افزار متلب و الگوریتم فراابتکاری شیرمورچه برای حل مدل ریاضی استفاده شده است. نتایج حل مسئله در حالت‌های مختلف با مدل‌ها و رویکردهای پیشین مقایسه شده و مزایای این رویکرد بیان شده است. در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای مطالعات آتی ارائه می‌شود.

۲. پیشینه‌ی تحقیق

سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان، فرایند حرکت محصول از طریق مراکز توزیع، بدون انبارش است. در یک انبار سنتی، محصول از محل دریافت به انبار و از آن‌جا به سمت محل حمل حرکت می‌کند. اما در سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان محصول از محل دریافت به محل حمل بدون انبارش منتقل می‌شود.[۲] تفاوت اساسی بین انبارهای سنتی و سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان در جدول ۱ ارائه شده است.

در سیستم‌های توزیع، تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان یک راهبرد لجستیکی است که در آن کالاهایی که از کامیون‌های ورودی، تخلیه شده‌اند بدون ذخیره‌سازی و تقریباً به صورت مستقیم بر روی کامیون‌های خروجی بارگیری می‌شوند. این ابزار به صورت اساسی به حذف عملیات نگهداری موجودی‌ها در انبارهای سنتی دسته‌بندی مواد و ارسال آنها به مقاصد می‌پردازد. محموله‌های رسیده از منابع جدا از هم، دوباره از بسته‌ها خارج و گروه‌بندی می‌شوند و به وسیله‌ی تریلرها بدون انبارش از بارانداز خارج می‌شوند.[۴] هدف از این راهبرد حذف فرایند انبارش و بازیابی دو مورد از هزینه‌برترین فعالیت‌های مراکز توزیع است که به بهبود کارایی سیسستم توزیع و کاهش هزینه‌ها منجر می‌شود. در کل انبار استفاده از تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان برای شرکت‌هایی مناسب است که مقدار زیادی کالا را بین مقاصد زیادی توزیع می‌کنند.

این سیستم می‌تواند حجم‌های بالایی از کالا را مدیریت کند.[۵] از مزایای تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان می‌توان موارد زیر را نام برد: کاهش فضای مورد نیاز برای انبارش کالا، نیاز نداشتن به انبارهای بزرگ، کاهش هزینه‌ی نیروی انسانی، کاهش زمان ارسال تا مشتری. به علت قابلیت استفاده از کل فضای بار وسیله‌ی نقلیه، هم هزینه‌های حمل‌ونقل کاهش می‌یابد و هم به نفع محیط زیست است. استفاده از سیستم‌های تخلیه‌ی بارگیری معایبی نیز دارد که باید به آنها توجه شود. از برخی از این موارد نیاز بیشتر به مدیریت و توجه است؛ زیرا برای کارا بودن سیستم، زمان‌بندی و برنامه‌ریزی بسیار مهم است. به علت برنامه‌ریزی دقیق و میزان دقیق کالاها از تأمین‌کنندگان به مقاصد، فضا برای اشتباه خیلی کم می‌شود.

می‌توان سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان را بر اساس سه نوع ویژگی فیزیکی، عملیاتی و جریان کالا دسته‌بندی کرد. ویژگی فیزیکی برای مدت طولانی ثابت می‌ماند و شامل شکل و تعداد درهای بارانداز و شیوه‌ی حمل‌ونقل داخلی می‌شود. شیوه‌ی خدمت‌دهی و نحوه‌ی اعمال وقفه، جزء ویژگی‌های عملیاتی هستند. ویژگی جریان کالا شامل الگوی ورود، زمان حرکت، قابلیت تعویض‌پذیری محصول، و ذخیره‌سازی موقتی می‌شود. در طول مراحل طراحی سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان باید در سه سطح راهبردی، فنی و عملیاتی تصمیماتی اتخاذ شود. تصمیمات راهبردی شامل تصمیمات مکان‌یابی و جانمایی سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان است. تصمیمات فنی در زمینه‌ی شیوه‌ی جریان کالا در سطح شبکه اتخاذ می‌شود. تصمیمات عملیاتی آخرین دسته از تصمیمات است که شامل مسیریابی وسایل نقلیه، تخصیص درهای بارانداز، زمان‌بندی کامیون و ذخیره‌سازی موقت است. با توجه به اهمیت زمان پاسخ و اجرای عملیات در صنعت بسیار رقابتی توزیع، مطالعات بسیاری در زمینه‌ی تخصیص درهای بارانداز و زمان‌بندی کامیون‌ها در سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان صورت گرفته است. ایده‌ی تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان ابتدا در سال ۱۹۳۰ میلادی توسط صنعت حمل‌ونقل کامیونی آمریکا مطرح شد و در سال ۱۹۵۰ ارتش آمریکا عملیات تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان را به کار گرفت. تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط شرکت وال‌مارت در عرصه‌ی صنعت و تجارت به کار گرفته شد؛ اما بعدها و بیشتر طی سال‌های اخیر توجه دانشگاه‌ها و مراکز علمی را به خود جلب کرده است. مثلاً بیش‌تر از ۸۵ درصد مقالات منتشر شده توسط نویسندگان این حوزه از سال ۲۰۰۴ به بعد است.[۵]

تمایل به کاهش هزینه‌های لجستیکی، سازمان‌ها را وادار به بررسی رویکردهای سودمندتر برای مدیریت زنجیره‌ی تأمین کرده است. سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان از دو ابزار بهینه‌سازی شبکه‌ی توزیع و ترکیب محموله به صورت یکپارچه استفاده می‌کند. اولین مورد با قدمت بیشتر در پی یافتن تعداد و بهترین محل برای تسهیلات است. دومین مورد با ترکیب محموله‌ها باعث می‌شود که محموله‌های کمتر از بار یک کامیون به صورت محموله‌هایی در اندازه‌ی بار یک کامیون در آیند.[۶]

با در نظر گرفتن هزینه‌های حمل‌ونقل و این واقعیت که ممکن است یک نوع محصول خاص از طرف تأمین‌کنندگان مختلف با قیمت‌های مختلف تأمین شود، مسیریابی وسایل نقلیه‌ی ورودی بین تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان و تأمین‌کنندگان در

فرایند انتخاب و مسیریابی وسایل نقلیه‌ی برون‌شهری بین باراندازها و خرده‌فروشان، در فرایند تحویل تعیین می‌شود. هدف تخصیص محصولات به تأمین‌کنندگان و تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان، بهینه‌سازی مسیرها و برنامه‌ی زمان‌بندی وسایل نقلیه‌ی ورودی و خروجی و تثبیت محصولات است به گونه‌یی که مبلغ خرید، حمل‌ونقل و نگهداری آنها به کمترین میزان برسد. احمدی‌زر و همکاران در پژوهش خود، مسئله‌ی مسیریابی وسیله‌ی نقلیه را در یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی دارای تسهیل تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان بررسی کرده‌اند و الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای حل آن ارائه کردند.[۷]

مسئله‌ی مکان‌یابی تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان می‌تواند یکی از تصمیمات مهم در مدیریت لجستیک محسوب شود. موسوی و وحدانی یک مدل تصمیم‌گیری گروهی سلسله‌مراتبی فازی شهودی جدید برای ارزیابی و رتبه‌بندی مکان‌یابی تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان در لجستیک‌های پیچیده‌ی تصمیم‌گیری یا مشکلات انتخاب برای سیستم‌های توزیع ارائه کردند. تصمیم‌گیری می‌تواند به طور مؤثری در شرایط غیرقطعی در چارچوب تحلیل چندمعیار انجام شود. در این مدل نزدیک‌ترین راه فازی شهودی از راه حل ایده‌آل فازی مثبت و دورترین راه فازی شهودی از راه حل ایده‌آل منفی برآورده می‌شود و در نهایت گزینه‌های مکان مرکزی بر اساس عملیات اصلی فازی شهودی رتبه‌بندی می‌شوند.[۸] وحدانی و شهرام‌فرد در مقاله‌ی خود یک مسئله‌ی برنامه‌ی زمان‌بندی کامیون‌ها در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان را با سرویس‌های متعدد درهای بارانداز حل کردند. آنها یک مدل جدید برای زمان‌بندی هم‌زمان و مسئله واگذاری کامیون با محدودیت‌های پنجره‌ی زمانی برای ورود و عزیمت کامیون‌ها، سرویس‌های متعددی برای درب‌های بارانداز و صف‌بندی کامیون‌ها ارائه دادند و برای حل مدل از دو الگوریتم فرابتکاری یعنی الگوریتم‌های رقابتی ژنتیکی و رقابتی استعماری استفاده شد. نتایج محاسباتی نشان دادند که چارچوب پیشنهادی منجر به افزایش کل هزینه‌ها می‌شود؛ اگر چه نیاز به برنامه‌ریزی دقیق‌تری دارد و همچنین الگوریتم‌های پیشنهادی بر اساس معیارهای در نظرگرفته شده برای مقایسه، عملکردهای مختلفی دارند.[۹] در پژوهشی دیگر وحدانی و همکاران به تخصیص و برنامه‌ریزی کامیون‌ها در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان با توجه به مصرف انرژی و صف‌بندی کامیون‌ها پرداختند. تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان یکی از راهبردهای کارامد سیستم‌های توزیع است و می‌تواند هزینه‌های موجودی را کاهش دهد و تحویل محصولات به مشتریان را تسریع کند. در این تحقیق، یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه برای حل مشکل برنامه‌ریزی، توالی کامیون‌ها، تعیین کامیون و لیفتراک به درب‌ها در یک بارگیری هم‌زمان چند درب با درب‌های قابل انعطاف ارائه شده است. هدف کمینه‌سازی هزینه‌های نگهداری محصولات در یک بارگیری هم‌زمان، تأخیر کامیون‌ها در ارسال محموله به مشتریان، حداقل انتظار برای کامیون‌های موجود در صف و کمینه‌سازی مصرف انرژی لیفتراک است. به این منظور از دو الگوریتم رقابتی چندهدفه و گرگ خاکستری چندهدفه استفاده شده است.[۱۰]

بررسی مقالات مختلف نشان می‌دهد که یکی از مباحث مهم در سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان، زمان‌بندی وسایل نقلیه در بارانداز است. یو و اگبلو[۱۱] به زمان‌بندی کامیون‌ها با یک درب ورودی و یک درب خروجی پرداخته‌اند و در مدل‌شان ذخیره‌سازی موقت محصولات را در نظر گرفته‌اند. تابع هدف مسئله کمینه کردن زمان اتمام کل کارهاست و مدل به کارگرفته شده در مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است. در دسته‌یی دیگر از مقالات، چن[۱۲] در مقاله‌ی خود به مسئله‌ی زمان‌بندی جریان کارگاهی توسط دو کامیون در سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان پرداخته است. هدف این مقاله کمینه کردن زمان انجام تمام کارها با توالی بهینه است. نویسنده در این مقاله برای حل مسئله از یک روش ابتکاری و روش شاخه و کران استفاده کرده است. تعداد کمی از مقالات به بررسی موضوع استفاده‌ی کامیون‌های ورودی به عنوان کامیون‌های خروجی پرداخته‌اند. طی سال‌های اخیر مسئله‌ی تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان بسیار مورد توجه بوده است. ولی حالتی از این مسئله وجود دارد که کمتر به آن پرداخته شده است. به صورتی که اگر تمام وسایل نقلیه چه ورودی و چه خروجی سیستم متعلق به یک شرکت طرف سوم و تقریباً یک شکل باشند، می‌توان قبل از درخواست کامیون خروجی برای مقاصد مختلف، امکان استفاده از یک کامیون ورودی با تخلیه‌ی مقداری از بار و جایگزینی آن به عنوان کامیون خروجی را بررسی کرد و در تعداد کامیون و همچنین زمان تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان صرفه‌جویی کرد. با بررسی امکان ایجاد بهبود با استفاده از این روش، مدل‌های تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان در شرکت‌های طرف سوم مورد بحث به حالت واقعی نزدیک‌تر می‌شوند. طراحی مدل ریاضی با در نظرگرفتن امکان انتخاب کامیون‌های ارسال مستقیم، تخلیه‌ی کامل و تخلیه به میزان لازم به عنوان کاری نو در زمینه‌ی انبارهای تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان است. در این پژوهش به منظور گسترش تحقیقات در زمینه‌ی زمان‌بندی و نیز نزدیک‌تر کردن مدل‌های ارائه شده به جهان واقعی، حالت خاص از تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان مورد بررسی قرار گرفته است؛ همچنین به علت ماهیت این نوع از فعالیت که طی آن باید برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری به سرعت انجام پذیرد، استفاده از الگوریتمی فرابتکاری که بتواند در زمان اندکی به پاسخ نسبتاً مطلوبی برسد، ضروری است. استفاده از کامیون ورودی به عنوان خروجی و نیز حل مسئله با در نظرگرفتن این فرض می‌تواند در توسعه‌ی کاربرد تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان مؤثر باشد و در زنجیره‌های تأمین نقش مناسبی ایفا کند. تحقیقات بیشتر در جدول ۲ آورده شده است.

۳. تعریف مسئله

مسئله‌ی مورد نظر در این پژوهش تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان با یک درب ورودی و یک درب خروجی است. کامیون‌های ورودی به انبار عبوری می‌رسند و کالاهای خود را در درب دریافت تخلیه می‌کنند. محصولات تخلیه شده توسط سیستم‌های حمل‌ونقل اتوماتیک از درب ورودی به درب خروجی منتقل می‌شوند. این محصولات می‌توانند در صورت لزوم در انبار موقت ذخیره شوند. در مسئله‌ی مورد نظر، زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی به صورت هم‌زمان تعیین می‌شود. در این تحقیق، به منظور کاهش زمان کلی انجام عملیات و نیز هزینه‌های مربوط به وسیله‌ی نقلیه، این امکان به سیستم داده می‌شود که از کامیون ورودی در مسیر خروجی به عنوان کامیون خروجی استفاده شود. بدین ترتیب، در صورت انتخاب کامیونی برای استفاده در بخش خروجی، نیاز به تخلیه و بارگیری مجدد برخی از کالاها از بین می‌رود. مسئله با یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به صورت ریاضی فرمول‌بندی می‌شود. در مسایل زمان‌بندی، هدف یافتن کوتاه‌ترین زمان برای انجام کل عملیات است. این مدل ریاضی نیز بر اساس همین هدف بهینه‌سازی شده است.

مفروضاتی که در این تحقیق مد نظر قرار می‌گیرند، به شرح زیرند:

- کامیون‌های ورودی و خروجی بر اساس سیاست نوبت‌دهی به درب‌های بارانداز تخصیص می‌یابند.
- کامیون‌های ورودی در ابتدای مسئله در دسترس‌اند و برای استفاده از کامیون خروجی نیز پنجره‌ی زمانی وجود ندارد.
- برای هر کامیون ورودی تخصیص‌یافته به درب تخلیه، زمان کل تخلیه متناظر با تعداد واحدهای محصول است.
- ظرفیت تجهیزات انتقالی درون بارانداز تخلیه‌ی بارگیری نامحدود است.

جدول ۲. بررسی پیشینه‌ی سیستم‌های تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان در چند دوره‌ی اخیر.

مقالات	سال انتشار	مسئله	روش حل
[۱۳]	۲۰۱۴	برنامه‌ریزی و مسیریابی وسایل نقلیه	الگوریتم هیبریدی و SA
[۱۴]	۲۰۱۵	زمان‌بندی کامیون‌ها در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان با چند درب	الگوریتم ژنتیک
[۱۵]	۲۰۱۵	زمان‌بندی کامیون‌ها در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان با پنجره‌ی زمانی	الگوریتم ALNS
[۱۶]	۲۰۱۶	مسیریابی وسایل نقلیه با سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	روش CPLEX و الگوریتم SA
[۱۷]	۲۰۱۶	زمان‌بندی JTT در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	الگوریتم ژنتیک
[۱۸]	۲۰۱۶	زمان‌بندی کامیون‌ها در مرکز تخلیه بارگیری هم‌زمان	الگوریتم زمان‌بندی چندجمله‌یی
[۱۹]	۲۰۱۶	مسیریابی وسایل نقلیه با تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	الگوریتم SPM، LNS و روش CPLEX
[۲۰]	۲۰۱۷	تخصیص درب سکو و مسیریابی وسایل نقلیه در تخلیه بارگیری هم‌زمان به طور یکپارچه	الگوریتم CG
[۲۱]	۲۰۱۷	زمان‌بندی کامیون‌ها در ترمینال تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان با چند درب	الگوریتم PSO
[۲۲]	۲۰۱۷	زمان‌بندی ورود و خروج کامیون‌ها بر اساس برنامه‌ی بارگیری کامیون‌های برون‌مرزی	روش CPLEX
[۲۳]	۲۰۱۷	بهینه‌سازی زمان پذیرش کامیون‌های خارج از کشور	ارائه‌ی یک مدل صف برای مدت زمان انتظار
[۲۴]	۲۰۱۷	مسیریابی وسایل نقلیه و انتخاب تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	الگوریتم ANLS و روش CPLEX
[۲۵]	۲۰۱۸	تخصیص کامیون‌های ورودی و خروجی به درب‌ها	الگوریتم تولید ستون

- ظرفیت ناحیه‌ی ذخیره‌سازی موقت بی‌نهایت است.
- برای کامیون‌های سیستم تفاوتی وجود ندارد که به عنوان کامیون ورودی یا خروجی فعالیت کنند. یعنی ناوگان همگن است.
- یک درب ورودی و یک درب خروجی با باراندازهای مجزا وجود دارد.

۱.۳. مدل‌سازی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط

در این بخش یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه می‌شود:

پارامترها:

I: مجموعه‌ی کامیون‌های ورودی $i = ۱, ۲, ..., I$

J: مجموعه‌ی کامیون‌های خروجی $j = ۱, ۲, ..., J$

r_{ik}: مقدار کالای نوع k که به کامیون ورودی i بار زده شده است.

s_{jk}: مقدار کالای نوع k که باید در کامیون خروجی j بارگیری شود.

D: زمان مورد نیاز برای تعویض کامیون حاضر در درب ورودی یا خروجی.

W: زمان مورد نیاز برای انتقال یک کامیون ورودی به صف کامیون‌های خروجی.

V: زمان پردازش و انتقال کالا از درب ورودی تا درب خروجی.

M: عدد بزرگ؛

متغیرهای پیوسته:

T: زمان کل عملیات؛

C_i: زمانی که کامیون i وارد درب تخلیه می‌شود.

F_i: زمانی که کامیون i درب تخلیه را ترک می‌کند.

d_j: زمانی که کامیون خروجی j وارد درب بارگیری می‌شود.

L_j: زمانی که کامیون خروجی j درب بارگیری را ترک می‌کند.

متغیرهای عدد صحیح:

x_{ijk}: مقدار کالای نوع k که از کامیون ورودی i به کامیون خروجی j انتقال پیدا می‌کند.

y_{ijk}: مقدار کالای نوع k که در کامیون نوع i باقی می‌ماند، وقتی که قرار است به عنوان کامیون j مورد استفاده قرار گیرد.

متغیرهای صفر و یک:

ν_{ij}: اگر کالایی از کامیون i از نوع ورودی به کامیون j از نوع خروجی انتقال یابد، یک در غیر این‌صورت صفر.

p_{ij}: اگر کامیون ورودی i در درب مشابه قبل از کامیون ورودی j پردازش شود، یک در غیر این صورت صفر.

q_{ij}: اگر کامیون خروجی i در درب مشابه قبل از کامیون خروجی j پردازش شود، یک در غیر این صورت صفر.

k_{ij}: اگر کامیون ورودی i به عنوان کامیون خروجی j استفاده شود، یک در غیر این صورت صفر.

مسئله‌ی زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی مورد بررسی در این پژوهش به صورت یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، همان طور که در زیر آمده است، فرمول‌بندی شده است.

$$MinT$$

$$subject.to \qquad (۱)$$

$$T \geq L_j \qquad \forall j \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=۱}^{J} x_{ijk} + \sum_{j=۱}^{J} y_{ijk} = r_{ij} \qquad \forall j,k \qquad (۳)$$

$$\sum_{j=۱}^{J} x_{ijk} + \sum_{j=۱}^{J} y_{ijk} = s_{ij} \qquad \forall j,k \qquad (۴)$$

$$x_{ijk} \leq M v_{ij} \qquad \forall i,j,k \qquad (۵)$$

$$y_{ijk} \leq M k_{ij} \qquad \forall i,j,k \qquad (۶)$$

$$F_i \geq c_i + \sum_{k=۱}^{K} r_{ik} - \sum_{j=۱}^{J} y_{ijk} \qquad \forall i \qquad (۷)$$

$$c_i \geq F_i + D - M(۱ - p_{ij}) \qquad \forall i,j,i \neq j \qquad (۸)$$

$$c_i \geq F_i + D - M p_{ij} \qquad \forall i,j,i \neq j \qquad (۹)$$

$$p_{ii} = ۰ \qquad \forall i \qquad (۱۰)$$

$$L_j \geq d_j + \sum_{k=۱}^{K} s_{jk} - \sum_{j=۱}^{J} y_{ijk} \qquad \forall j \qquad (۱۱)$$

$$d_j \geq L_i + D - M(۱ - q_{ij}) \qquad \forall i,j,i \neq j \qquad (۱۲)$$

$$d_i \geq L_j + D - M q_{ij} \qquad \forall i,j,i \neq j \qquad (۱۳)$$

$$q_{ii} = ۰ \qquad \forall i \qquad (۱۴)$$

$$L_j \geq c_j + V + \sum_{k=۱}^{K} x_{ijk} - \sum_{k=۱}^{K} y_{ijk} - M(۱ - v_{ij}) \qquad \forall i,j \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{i=۱}^{I} k_{ij} \leq ۱ \qquad \forall i \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{j=۱}^{J} k_{ij} \leq ۱ \qquad \forall j \qquad (۱۷)$$

$$d_j \geq F_i + W - M(۱ - k_{ij}) \qquad \forall i,j \qquad (۱۸)$$

$$All\ variables > ۰$$

$$v_{ij} \in \{۰,۱\}, p_{ij} \in \{۰,۱\}, q_{ij} \in \{۰,۱\}, k_{ij} \in \{۰,۱\} \qquad (۱۹)$$

تابع هدف این مدل به صورت کمینه‌سازی زمان کل عملیات است. محدودیت ۲ نحوه‌ی تعیین زمان کل عملیات را مشخص می‌کند. محدودیت ۳ تضمین می‌کند تمام بارکامیون تخلیه یا همان کامیون به صف خروجی منتقل شود. محدودیت ۴ مربوط به برآورده شدن تقاضای کامیون خروجی است. محدودیت ۵ فقط در صورت فعال بودن انتقال بار از کامیون i به j اجازه‌ی انتقال کالا را می‌دهد. محدودیت ۶ تعیین می‌کند که فقط اگر کامیون ورودی قرار است به عنوان کامیون خروجی استفاده شود، اجازه‌ی باقی‌ماندن کالا در آن وجود داشته باشد. محدودیت ۷ بیان می‌کند که کامیون فقط پس از تخلیه به میزان لازم، می‌تواند درب ورودی را ترک کند. محدودیت‌های ۸ تا ۱۰ مربوط به زمان‌بندی کامیون‌های ورودی‌اند. محدودیت ۱۱ زمان خروج کامیون خروجی را مشخص می‌کند. محدودیت‌های ۱۲ تا ۱۴ مربوط به زمان‌بندی کامیون‌های خروجی‌اند. محدودیت ۱۵ بیان‌گر این است که کامیون خروجی فقط زمانی می‌تواند از درب خروجی خارج شود که تمام کالاهای مورد نیاز برای آن کامیون از کامیون‌های ورودی تخلیه شده باشد. محدودیت‌های ۱۶ و ۱۷ تعیین می‌کنند که هر کامیون ورودی فقط می‌تواند به عنوان یک کامیون خروجی استفاده شود. محدودیت ۱۸ مشخص می‌کند که اگر کامیون ورودی به عنوان خروجی در نظر گرفته شود، پس از ترک درب ورودی و طی زمان مورد نیاز برای تعویض صف، می‌تواند وارد درب خروجی شود.

در این پژوهش از داده‌های مورد استفاده در مقاله‌ی یو و اگبلو[۱۱] استفاده شده است. کلیه‌ی داده‌ها به وسیله‌ی مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده آزموده می‌شوند و مدت زمان لازم برای حل آنها تا به دست آوردن جواب بهینه ذخیره می‌شود. با توجه به پیچیدگی بالای مسئله‌ی زمان‌بندی کامیون در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط در مواردی که مثال‌ها بزرگ باشد قادر به حل مسئله در مدت‌زمان معقول نیست. در نتیجه از الگوریتم فرابتکاری شیرمورچه برای حل استفاده می‌شود. برای استفاده از الگوریتم فرابتکاری ابتدا باید ثابت شود که این الگوریتم‌ها توانایی به دست آوردن جواب مناسب در مدت‌زمان کوتاه را دارند. به همین دلیل، مثال‌هایی که روش دقیق قادر به حل آنها بوده است با الگوریتم به تعداد مشخص حل می‌شود و میانگین و بهترین جواب به دست آمده مورد مقایسه قرار می‌گیرد تا عملکرد این الگوریتم تأیید شود و بتوان برای ادامه‌ی تحلیل، از نتایج آنها استفاده کرد. در ادامه همه‌ی مجموعه مثال‌ها و داده‌ها تحت شرایط و مقدار تابع هدف به دست آمده در حالت عادی با حالت امکان تخلیه به میزان لازم مقایسه می‌شود.

در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل و محاسبات از رویکردهای مختلفی استفاده شده است که خلاصه‌یی از آن و مراحل انجام هر یک در ادامه آمده است.

- برای حل مدل ریاضی و مشخص کردن اعتبار و صحت مدل‌سازی از نرم‌افزارهای بهینه‌سازی مثل گمز و متلب استفاده شده است.
- در اندازه‌های کوچک که نرم‌افزارهای بهینه‌سازی قادر به یافتن جواب بهینه هستند، از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز برای حل مدل ریاضی استفاده شده است.
- در اندازه‌های متوسط و بزرگ که نرم‌افزارهای بهینه‌سازی قادر به یافتن جواب

جدول ۳. مقایسه‌ی حل مدل پایه و مدل پیشنهادی برای نمودهای مختلف.

شماره	ابعاد مسئله	زمان حل (S)			تابع هدف			
		مدل پایه	مدل ارائه شده W=CT * 2	مدل پایه	مدل ارائه شده W=CT * 2 W=150	مدل ارائه شده W=CT * 8 W=600	مدل ارائه شده W=CT * 16 W=2400	مدل ارائه شده W=CT * 32 W=4800
۱	K =4 , R=4 , J=5	۱	۳	۱	۸۰۱	۱۰۰۰	۱۵۵۷	۱۵۵۷
۲	R=5 , J=4 , K =6	۱	۹	۱	۱۰۵۳	۱۱۸۶	۱۵۷۷	۱۵۷۷
۳	R=3 , J=3 , K =8	۱	۲	۱	۹۷۷	۱۰۷۲	۱۳۷۲	۱۳۷۲
۴	R=5 , J=5 , K =8	۱	۱۶۸	۱	۱۲۳۲	۱۳۰۱	۱۷۴۹	۱۷۴۹
۵	R=5 , J=3 , K =8	۱	۵	۱	۹۹۶	۱۱۴۴	۱۵۷۹	۱۵۷۹
۶	R=4 , J=4 , K =5	۱	۳	۱	۹۰۹	۱۰۹۲	۱۵۴۶	۱۵۴۶
۷	R=5 , J=4 , K =6	۱	۴	۱	۹۶۰	۱۱۶۳	۱۵۳۵	۱۵۳۵
۸	R=3 , J=5 , K =7	۱	۳	۱	۱۰۱۰	۱۱۶۰	۱۵۲۵	۱۵۲۵
۹	R=4 , J=4 , K =8	۱	۳	۱	۸۱۳	۱۰۰۳	۱۲۷۲	۱۲۷۲
۱۰	R=3 , J=4 , K =9	۱	۱	۱	۸۱۵	۹۵۶	۱۴۵۲	۱۴۵۲
۱۱	R=5 , J=4 , K =6	۱	۸	۱	۱۱۶۴	۱۳۸۹	۲۲۳۲	۲۲۳۲
۱۲	R=6 , J=4 , K =8	۱	۱۰	۱	۱۷۱۵	۱۷۶۶	۲۵۶۸	۲۸۳۳
۱۳	R=5 , J=6 , K =8	۲	۴۸	۲	۱۳۲۴	۱۴۴۹	۲۳۸۶	۲۳۸۶
۱۴	R=5 , J=5 , K =8	۲	۳۷	۲	۱۲۶۷	۱۴۶۸	۲۳۸۵	۲۳۸۵
۱۵	R=6 , J=5 , K =4	۷	۹۹۸	۷	۱۳۳۶	۱۵۷۵	۲۵۳۶	۲۷۴۵
۱۶	R=5 , J=6 , K =6	۲	۹۹	۲	۱۱۲۵	۱۴۵۳	۲۴۰۷	۲۴۰۷
۱۷	R=4 , J=4 , K =7	۱	۲	۱	۱۲۵۳	۱۳۵۴	۱۸۶۷	۱۸۶۷
۱۸	R=6 , J=6 , K =7	۳	۳۰۵	۳	۱۳۴۶	۱۵۸۶	۲۴۱۹	۲۵۰۲
۱۹	R=5, J=5 , K =10	۲	۵۵	۲	۱۵۵۵	۱۷۱۸	۲۵۵۰	۲۵۵۳
۲۰	R=6 , J=6 , K =9	۳	۶۵۱	۳	۱۶۰۴	۱۶۷۸	۲۶۰۳	۲۷۳۲

بهینه نیستند از نرم‌افزار متلب و الگوریتم فراابتکاری شیرمورچه برای حل مدل ریاضی استفاده شده است.

- نتایج حل مسئله در حالت‌های مختلف با مدل‌ها و رویکردهای پیشین مقایسه شده است و مزایای این رویکرد بیان شده است.

۴. آزمایش‌های مدل

۱.۴. حل دقیق

تفاوت مدل ریاضی این پژوهش با مدل پایه در امکان استفاده از کامیون ورودی به عنوان کامیون خروجی است. واضح است که این کار مستلزم زمانی برای تغییر صف کامیون است. این زمان می‌تواند شامل جابه‌جایی فیزیکی و انجام مراحل اداری یا سایر موارد باشد. به علت نظری بودن این پژوهش، این پارامتر دو برابر زمان تغییر کامیون در نظر گرفته شده است.

مدل پیشنهادی و مدل پایه در نرم‌افزار GAMS ۲۴.۱ کدنویسی شد و سپس مسئله‌ی نمونه توسط حل‌کننده CPLEX بر روی رایانه‌ی همراه با پردازنده‌ی GHz ۱.۶ core i۷ و با حافظه‌ی داخلی ۴ GB حل شد. جدول ۳ نتایج محاسباتی را برای دو مدل پایه و مدل ارائه شده در ابعاد مختلف نشان می‌دهد. در این محاسبات برای بررسی میزان تأثیر عامل جابه‌جایی کامیون از صف ورودی تا خروجی، مقادیر مختلفی برای این عامل در نظر گرفته شده است. جدول ۴ نیز مقایسه‌ی حل نمودهای مختلف با الگوریتم فراابتکاری و حل دقیق را نشان می‌دهد.

۲.۴. الگوریتم فراابتکاری شیرمورچه

الگوریتم بهینه‌سازی شیرمورچه[1] اولین بار توسط میرجلیلی [۲۶] بر اساس رفتار تغذیه‌یی شیرمورچه‌ی نابالغ ابداع شده است. شیرمورچه از خانواده‌ی مورچه‌خواران است. چرخه‌ی زندگی شیرمورچه شامل دو مرحله‌ی اصلی است: دوران لارو و دوران بلوغ. به طور طبیعی طول عمر شیرمورچه‌ها تا ۳ سال است که بیشتر آن مربوط به دوران لارو است (تنها ۳ تا ۵ هفته مربوط به دوران بلوغ است.) شیرمورچه‌ها اغلب در دوران لارو شکار می‌کنند و دوران بزرگسالی آنها فقط برای تولیدمثل است. این موجودات را به این دلیل شیرمورچه می‌نامند که شکار اصلی آنها مورچه است. شیرمورچه‌ی لارو با کمک بدن بیضی‌شکل خود حفره‌هایی مخروطی شکل

جدول ۴. مقایسه‌ی حل نمودهای مختلف با الگوریتم فرا ابتکاری و حل دقیق.

شماره	ابعاد مسئله	زمان حل (S)	حل دقیق	زمان حل (S)	حل فرا ابتکاری
۱	R=4 , J=5 , K =4	۳	۸۰۱	۲	۸۰۱
۲	R=5 , J=4 , K =6	۹	۱۰۵۳	۶	۱۰۸۸
۳	R=3 , J=3 , K =8	۲	۹۷۷	۷	۱۰۰۲
۴	R=5 , J=5 , K =8	۱۶۸	۱۲۳۲	۶	۱۲۳۳
۵	R=5 , J=3 , K =8	۵	۹۹۶	۷	۹۹۶
۶	R=4 , J=4 , K =5	۳	۹۰۹	۲۰	۹۶۸
۷	R=5 , J=4 , K =6	۴	۹۶۰	۵	۱۰۰۰
۸	R=3 , J=5 , K =7	۳	۱۰۱۰	۵	۱۰۱۰
۹	R=4 , J=4 , K =8	۳	۸۱۳	۲	۸۷۰
۱۰	R=3 , J=4 , K =9	۱	۸۱۵	۵	۸۲۱
۱۱	R=5 , J=4 , K =6	۸	۱۱۶۴	۷	۱۱۹۷
۱۲	R=6 , J=4 , K =8	۱۰	۱۷۱۵	۵	۱۷۱۷
۱۳	R=5 , J=6 , K =8	۴۸	۱۳۲۴	۲	۱۳۴۴
۱۴	R=5 , J=5 , K =8	۳۷	۱۲۶۷	۵	۱۳۰۸
۱۵	R=6 , J=5 , K =4	۹۹۸	۱۳۳۶	۵	۱۴۱۲
۱۶	R=5 , J=6 , K =6	۹۹	۱۱۲۵	۸	۱۲۲۶
۱۷	R=4 , J=4 , K =7	۲	۱۲۵۳	۱۰	۱۳۰۶
۱۸	R=6 , J=6 , K =7	۳۰۵	۱۳۴۶	۱۲	۱۴۲۳
۱۹	R=5, J=5 , K =10	۵۵	۱۵۵۵	۵	۱۶۷۴
۲۰	R=6 , J=6 , K =9	۶۵۱	۱۶۰۴	۷	۱۶۵۶

در درون خاک ایجاد می‌کند و در انتهای حفره درون خاک پنهان می‌شود و با آرامش و صبر در انتظار طعمه‌ی خود می‌نشیند. شیب حفره به اندازه‌یی است که با ورود طعمه، دیواره ریزش می‌کند و طعمه را به سمت انتهای حفره هدایت می‌کند. پس از این‌که طعمه‌یی در حفره افتاد، شیرمورچه با ریزش دیواره‌ی حفره از ورود طعمه باخبر می‌شود و با کمک آرواره‌های خود سعی می‌کند طعمه را به زیر خاک بکشد. در صورتی که طعمه بخواهد فرار کند، شیرمورچه به سمت دیواره‌ی حفره شن پرتاب می‌کند که باعث ریزش هر چه بیشتر دیواره می‌شود. پس از این‌که طعمه به وسیله‌ی شیرمورچه شکار شد، شیرمورچه آن را به عمق بیشتری در درون شن می‌برد و سیالات درون بدن آن را می‌مکد. در نهایت باقیمانده‌ی جسد را به بیرون حفره پرتاب می‌کند و حفره را برای شکار بعدی آماده می‌کند.

در طول بهینه‌سازی باید شرایط زیر اعمال شود:

۱. مورچه‌ها در تمام فضای جستجو با گام‌های تصادفی مختلف حرکت کنند.

۲. گام‌های تصادفی بر روی تمام ابعاد مورچه اعمال شود.

۳. تله‌های شیرمورچه تحت تأثیر گام‌های تصادفی باشد.

۴. شیرمورچه‌ها گودال‌های متناسب با تابع هدف خود حفر کنند.

۵. شیرمورچه با حفر گودال بزرگ‌تر باعث افزایش شانس خود در شکار شود.

۶. مورچه‌ها می‌توانند در هر تکرار توسط شیرمورچه شکار شوند.

۷. هنگامی که مورچه به شیرمورچه تبدیل می‌شود، بدین معناست که گرفتار شیرمورچه شده و مورد اصابت شن و ماسه قرار گرفته است.

```
-Initialize the first population of ants and antlions randomly
-Calculate the fitness of ants and antlions
-Find the best antlions and assume it as the elite (determined optimum)
while the end criterion is not satisfied
for every ant
-Select an antlion using Roulette wheel
-Update c and d using equations Eqs. (8) and (9)
-Create a random walk and normalize it using Eqs. (1) and (5)
-Update the position of ant using (12)
end for
-Calculate the fitness of all ants
-Replace an antlion with its corresponding ant it if becomes fitter (Eq. (11))
-Update elite if an antlion becomes fitter than the elite
end while
```

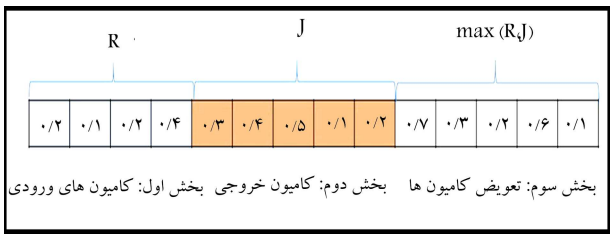
شکل ۱. شبه کد الگوریتم شیرمورچه.

۸. شیرمورچه پس از اتمام شکار، گودال را برای طعمه‌ی بعدی خود بازسازی کند.

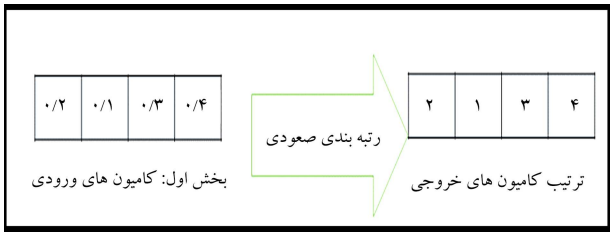
که می‌توان شبه کد این الگوریتم را در شکل ۱ نشان داد.

۱.۲.۴. ساختار نمایش جواب

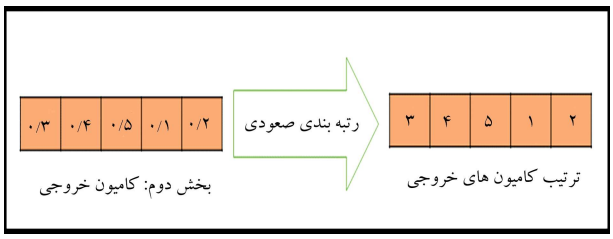
برای معرفی مسئله‌ی این پژوهش با این الگوریتم از یک ساختار نمایش جواب استفاده شده است. این ساختار به صورت یک رشته از اعداد اعشاری است. در ادامه نگاشتی بیان می‌شود که این رشته اعداد اعشاری را به یک جواب از مسئله تبدیل می‌کند. این نگاشت هر رشته را فقط به یک جواب مشخص تبدیل می‌کند، یعنی از یک رشته عدد نمی‌توان دو جواب مختلف دریافت کرد. با این روش می‌توان



شکل ۲. نمایش جواب الگوریتم پیشنهادی.



شکل ۳. نمایش جواب بخش اول (کامیون‌های ورودی).



شکل ۴. نمایش جواب بخش دوم (کامیون‌های خروجی).

تمام جواب‌های مسئله را تولید کرد؛ یعنی الگوریتم در صورت نیاز می‌تواند تمام فضای جواب را جستجو کند و این نگاشت هر رشته عدد را به درون فضای جواب هدایت می‌کند؛ یعنی تمام جواب‌هایی که از این طریق به دست می‌آیند، موجه‌اند. مسئله سه متغیر اصلی دارد، ساختار جواب سه بخش متناظر با این سه تصمیم دارد، بقیه‌ی متغیرها وابسته به این متغیرهای اصلی‌اند. در شکل ۲ طول رشته‌یی که الگوریتم از آن برای نمایش جواب استفاده می‌کند $R + J + \max(R,J)$ است که R تعداد کامیون‌های ورودی و J تعداد کامیون‌های خروجی است.

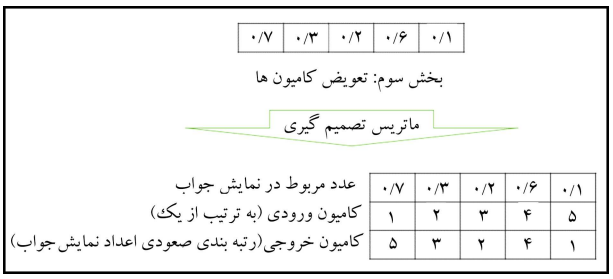
بخش اول مربوط به تعیین صف کامیون‌های ورودی است. برای تعیین ترتیب، اعداد این بخش به ترتیب صعودی رتبه‌بندی می‌شود. خروجی رتبه‌بندی صعودی اعداد اعشاری یک جایگشت است؛ این جایگشت ترتیب کامیون‌های ورودی است. مثلاً در شکل ۳ ابتدا کامیون ۲ وارد می‌شود و در ادامه کامیون‌های ۱ سپس ۳ و در نهایت ۴ قرار می‌گیرند.

مطابق شکل ۴ ترتیب کامیون‌های خروجی نیز یک جایگشت است؛ بنابراین همانند بخش اول، بخش دوم الگوریتم نیز به ترتیب صعودی رتبه‌بندی می‌شود و این رتبه‌بندی ترتیب کامیون‌های خروجی است.

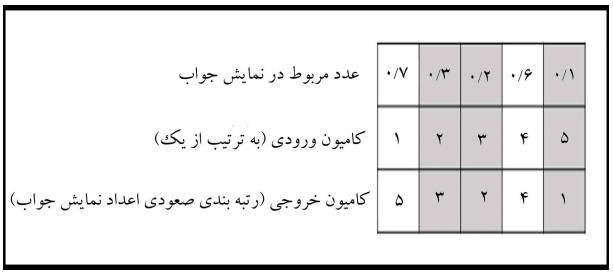
زیر بخش سوم از نمایش جواب، مربوط به تعیین تعویض یا عدم تعویض کامیون ورودی با خروجی است. در ابتدا، ماتریس تصمیم‌گیری بخش سوم به صورت شکل ۵ تشکیل می‌شود.

مطابق شکل ۶ ستون‌های بیشتر از $\min(R,J)$ و ستون‌هایی که عدد نمایش جواب در آن کمتر از ۰/۵ باشد، حذف می‌شوند.

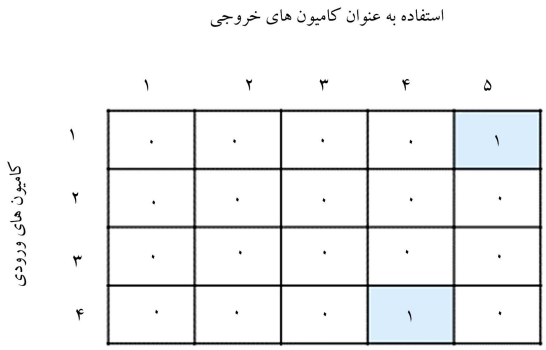
ستون‌های باقی‌مانده همانند شکل ۷ تعیین می‌کنند که کدام کامیون‌های ورودی به عنوان کامیون‌های خروجی استفاده شوند.



شکل ۵. نمایش جواب بخش سوم (تعویض کامیون‌ها).



شکل ۶. ماتریس تبدیل.



شکل ۷. خروجی نمایش جواب بخش سوم.

۲.۲.۴. محاسبه‌ی تابع هدف

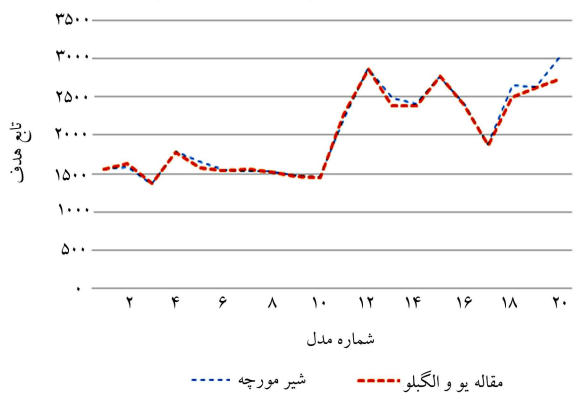
برای رمزگشایی نمایش جواب در الگوریتم پیشنهادی، ابتدا ترتیب کامیون‌های ورودی و خروجی مشخص می‌شود و سپس تصمیم گرفته می‌شود که کدام کامیون ورودی به عنوان خروجی استفاده شود؛ سپس برای محاسبه‌ی زمان انجام عملیات با هر نمایش جواب، عملیات تخلیه و بارگیری با آن نمایش جواب شبیه‌سازی می‌شود و زمان خروج آخرین کامیون خروجی از سکوی بارگیری، به عنوان زمان انجام عملیات بازگردانده می‌شود.

۳.۲.۴. اعتبار سنجی الگوریتم پیشنهادی

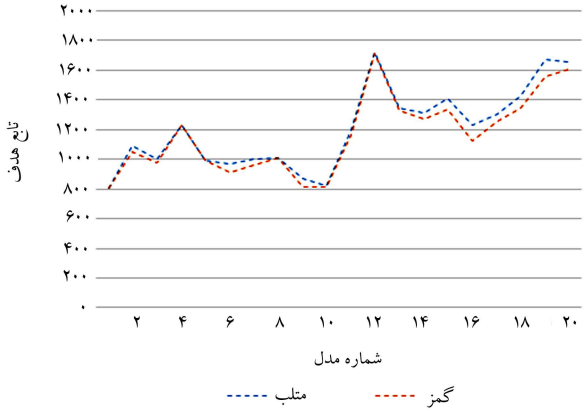
از مقایسه‌ی جواب‌های روش حل دقیق با روش فرااِبتکاری، که در شکل ۸ نشان داده شده است، می‌توان به نتیجه‌ی صحت عملکرد این الگوریتم در ابعاد کوچک رسید. با توجه به ماهیت مشابه این مسئله در ابعاد مختلف می‌توان نتیجه‌گیری کرد که الگوریتم بهینه‌سازی شیرمورچه در ابعاد مختلف جواب‌های درستی ارائه می‌کند. در مقایسات انجام گرفته نکته‌ی قابل‌توجه دیگری که می‌توان بدان اشاره کرد، زمان حل مسئله است. می‌توان مشاهده کرد که زمان حل برای الگوریتم بهینه‌سازی شیرمورچه برخلاف روش حل دقیق، به صورت چندجمله‌یی افزایش پیدا می‌کند و نیز در ابعادی که با روش حل دقیق در زمان قابل قبول نمی‌توان به جواب رسید، می‌توان جواب‌های مناسبی از روش فرااِبتکاری به دست

جدول ۵. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم.

اندازه‌ی مسئله	تعداد مورچه‌ها	تعداد تکرار
کوچک	۱۰۰	۲۰۰
متوسط	۱۵۰	۳۰۰
بزرگ	۲۰۰	بزرگ‌تر از ۵۰۰



شکل ۸. مقایسه‌ی جواب‌های روش حل دقیق با روش فرابتکاری.



شکل ۹. مقایسه‌ی مقدار تابع هدف به دست آمده در مقاله‌ی یو و اگبلو با الگوریتم شیرمورچه.

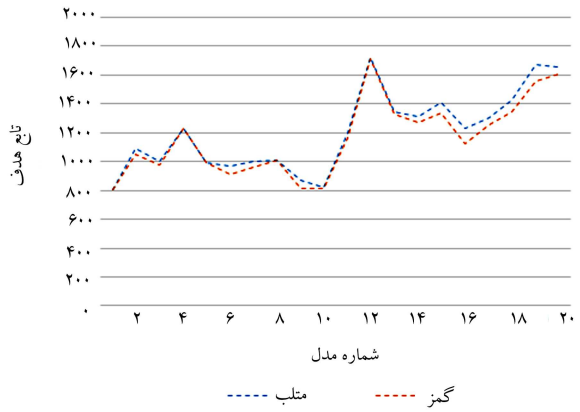
آورد. به منظور مقایسه‌ی الگوریتم پیشنهادی این پژوهش با الگوریتم ارائه شده در مقاله‌ی یو و اگبلو،[11] مسئله‌های حل شده در مقاله‌ی مذکور با الگوریتم پیشنهادی این مقاله نیز حل شد. نتایج این مقایسه در شکل ۹ نمایش داده شده است.

۴.۲.۴. پارامترهای الگوریتم‌های فرابتکاری.

در الگوریتم‌های فرابتکاری، پارامترهایی استفاده می‌شوند که مقادیر آنها می‌تواند بر عملکرد الگوریتم اثرگذار باشد. یکی از ویژگی‌های الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه طراحی شده برای این مسئله، این است که تعداد پارامترهای کمی برای تنظیم دارد. مقادیری که برای حل نمودهای انتخاب شده به کار گرفته شدند، از طریق آزمون و خطا به دست آمده‌اند و در جدول ۵ ارائه شده‌اند.

۵.۲.۴. نتایج عملکردی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌های قابل‌استفاده

در این قسمت عملکرد الگوریتم در مثال‌های متوسط و بزرگ بررسی شده است. برای



شکل ۱۰. مقایسه‌ی الگوریتم‌های ارائه شده.

این بررسی مثال‌های مشابه توسط الگوریتم فرابتکاری کلونی مورچگان و ممتیک نیز حل شده است.

از جدول ۶ مشخص می‌شود نه تنها الگوریتم بهینه‌سازی شیرمورچه در مثال‌هایی با ابعاد بزرگ عملکرد مناسبی دارد، بلکه از دو الگوریتم کلونی مورچگان و ممتیک نیز بهتر عمل کرده و در زمان مشابه به جواب‌های بهینه‌تری دست یافته است و مقادیر تابع هزینه‌ی آن نسبت به دو الگوریتم یاد شده مقادیر کمتری دارد. این نتایج در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای مطالعات آتی

بسیاری از مطالعاتی که تاکنون در این زمینه انجام گرفته‌اند، به مواردی چون مفهوم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان، طراحی فیزیکی، زمان‌بندی و مکان‌یابی آن در شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین پرداخته‌اند. در بین این مطالعات، مسئله‌ی زمان‌بندی کامیون‌ها از اهمیت و جایگاه قابل‌توجهی برخوردار است. بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی مسایل زمان‌بندی کامیون و تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان، برخی از محدودیت‌های دنیای واقعی را نادیده گرفته‌اند یا فرض کرده‌اند که اطلاعات مرتبط با آن محدودیت به صورت پیش‌فرض در اختیار قرار دارد. از طرف دیگر در اکثر قریب به اتفاق پژوهش‌های صورت گرفته مسئله‌ی زمان‌بندی کامیون به صورتی در نظر گرفته شده است که فقط به دنبال کمینه‌سازی زمان کل عملیات هستند. این پژوهش به منظور نزدیک‌تر کردن مطالعات نظری این مسئله به جهان واقعی، امکان استفاده از کامیون ورودی به عنوان کامیون خروجی را بررسی کرده است؛ همچنین عملکرد الگوریتم نسبتاً جدید بهینه‌سازی شیرمورچه را نیز بررسی کرده است.

پس از طراحی مدل ریاضی مسئله، تأثیر میزان بهبود در عملکرد با توجه به زمان جابه‌جایی کامیون از صف ورودی به صف خروجی بررسی و مشاهده شد که تا حد قابل قبولی رویکرد می‌تواند تأثیر مثبت در کل زمان عملیات داشته باشد.

جدول ۶. مقایسه‌ی خروجی الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر.

شماره	ابعاد مسئله	زمان	تابع هدف ALO	زمان	تابع هدف Memetic	زمان	تابع هدف ACOR
۱	R=4 , J=5 , K =4	۱۱/۷۷	۸۰۱	۱۰/۹۲	۸۷۲	۲/۳۱	۸۰۱
۲	R=5 , J=4 , K =6	۱۱/۸۰	۱۰۸۸	۱۱/۲۶	۱۱۴۴	۲/۴۱	۱۰۸۸
۳	R=3 , J=3 , K =8	۸/۱۰	۱۰۰۲	۹/۴۳	۱۰۰۲	۱/۹۱	۱۰۰۲
۴	R=5 , J=5 , K =8	۱۲/۵۶	۱۲۳۳	۱۲/۲۴	۱۲۸۸	۲/۶۱	۱۳۱۶
۵	R=5 , J=3 , K =8	۱۰/۷۲	۹۹۶	۱۰/۵۱	۹۹۶	۲/۲۸	۹۹۶
۶	R=4 , J=4 , K =5	۱۰/۱۳	۹۰۹	۱۰/۳۴	۹۰۹	۲/۲۵	۹۰۹
۷	R=5 , J=4 , K =6	۱۱/۸۰	۱۰۲۹	۱۱/۱۷	۹۶۰	۲/۵۴	۱۰۰۰
۸	R=3 , J=5 , K =7	۱۱/۰۹	۱۰۱۰	۱۰/۷۵	۱۰۷۰	۲/۱۸	۱۰۲۸
۹	R=4 , J=4 , K =8	۱۰/۲۷	۸۷۰	۱۰/۷۴	۹۸۳	۲/۲۶	۸۷۰
۱۰	R=3 , J=4 , K =9	۹/۶۹	۸۲۱	۱۰/۲۸	۸۲۱	۲/۱۰	۱۰۲۷
۱۱	R=5 , J=4 , K =6	۱۲/۳۰	۱۱۹۸	۱۱/۳۸	۱۱۹۷	۲/۴۱	۱۱۹۷
۱۲	R=6 , J=4 , K =8	۱۳/۰۸	۱۹۶۵	۱۲/۰۹	۱۷۱۷	۲/۶۶	۱۷۱۷
۱۳	R=5 , J=6 , K =8	۱۴/۰۰	۱۴۷۱	۱۲/۷۳	۱۳۲۴	۲/۷۱	۱۴۱۹
۱۴	R=5 , J=5 , K =8	۱۲/۶۵	۱۳۰۸	۱۲/۴۰	۱۳۰۸	۲/۶۱	۱۳۹۱
۱۵	R=6 , J=5 , K =4	۱۳/۶۶	۱۳۶۷	۱۲/۳۳	۱۴۱۱	۲/۷۱	۱۴۱۲
۱۶	R=5 , J=6 , K =6	۱۳/۷۵	۱۲۶۴	۱۲/۵۷	۱۲۳۰	۲/۶۹	۱۴۲۲
۱۷	R=4 , J=4 , K =7	۱۰/۱۵	۱۳۰۶	۱۰/۶۳	۱۳۰۶	۲/۲۰	۱۳۰۶
۱۸	R=6 , J=6 , K =7	۱۴/۶۹	۱۴۳۷	۱۳/۳۳	۱۴۹۸	۲/۹۲	۱۶۵۷
۱۹	R=5, J=5 , K =10	۱۲/۶۴	۱۶۰۷	۱۲/۵۹	۱۶۰۷	۲/۶۸	۱۷۴۳
۲۰	R=6 , J=6 , K =9	۱۴/۸۲	۱۶۵۶	۱۳/۹۰	۱۷۷۶	۳/۰۰	۱۶۵۶

با توجه به این که این مدل در دنیای واقعی ممکن است به صورت روزانه به کار گرفته شود، این که در زمان قابل قبولی بتوان به جواب قابل قبولی دست یافت، اهمیت ویژه‌یی دارد. زمان حل دقیق با نرم‌افزار گمز با افزایش ابعاد مسئله به طور چشمگیری افزایش یافت. با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری مشاهده شد که با این الگوریتم‌ها می‌توان مسئله را در زمان قابل قبولی حل کرد.

در حل مدل، از الگوریتم‌های کلونی مورچگان، الگوریتم ممتیک و الگوریتم بهینه‌سازی شیرمورچه استفاده شد؛ با مقایسه‌ی نتایج مشاهده شد که الگوریتم بهینه‌سازی شیرمورچه عملکرد مناسبی در حل این مسئله دارد و استفاده از آن توجیه‌پذیر است.

پیشنهادهایی برای توسعه و تکمیل این پژوهش و همچنین سایر زمینه‌های تحقیقاتی که تاکنون به آنها پرداخته نشده است، ارائه می‌شود.

- ترکیب مسئله‌ی زمان‌بندی مورد نظر در این پژوهش با مسئله‌ی مسیریابی وسیله‌ی نقلیه به منظور برنامه‌ریزی جامع‌تر و بهبود عملکرد سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان.
- ارائه‌ی روش‌هایی برای عملی کردن ایده‌ی این پژوهش، مانند استفاده از RFID یا سایر روش‌های شناسایی کالا.
- آزمودن عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی شیرمورچه در سایر مسایل بهینه‌سازی و بررسی دقیق‌تر عملکرد آن.
- طراحی مدل ریاضی برای این مسئله با در نظرگرفتن چندین درب.

پانوشت

1. The ant lion optimizer (ALO)

منابع (References)

1. Ghobadian, E., Tavakkoli-Moghaddam, R., Javanshir, H. and et al "Scheduling trucks in cross docking systems with temporary storage and dock repeat truck holding pattern using GRASP method", *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, **3**, pp. 777-786 (2012).
2. Stalk, G., Evans, P. and Shulman, L. E. "Competing on capabilities: The new rules of corporate strategy.", *Harv. Bus. Rev.*, **70**, pp.57-69 (1992).
3. Apte, U. M., and Viswanathan, S. "Effective cross docking for improving distribution efficiencies", *Int. J. Logist.*, **3**, pp. 291-302 (2000).

4. Barbarosoglu, G. and Ozgur, D. "A tabu search algorithm for the vehicle routing problem", *Comput. Oper. Res.*, **26**, pp. 255-270 (1999).
5. Bartholdi, J. J. and Gue, R. K. "The best shape for a crossdock", *Transp. Sci.*, **38**, pp. 235-244 (2004).
6. Brockman, T. "21 warehousing trends in the 21st century", *IIE Solut.*, **31**, pp. 36-41 (1999).
7. Ahmadizar, F., Zeynivand, M. and Arkat, J. "Two-level vehicle routing with cross-docking in a three-echelon supply chain: A genetic algorithm approach", *Appl. Math. Model.*, **39**, pp. 7065-7081 (2015).
8. Mousavi, S. M. and Vahdani, B. "Cross-docking location selection in distribution systems: a new intuitionistic fuzzy hierarchical decision model", *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, **9**, pp. 91-109 (2016).
9. Vahdani, B. and Shahramfard, S. "A truck scheduling problem at a cross-docking facility with mixed service mode dock doors," *Eng. Comput.* (2019).
10. Vahdani, B. , and others. "Assignment and scheduling trucks in cross-docking system with energy consumption consideration and trucks queuing", *J. Clean. Prod.*, **213**, pp. 21-41 (2019).
11. Yu, W. and Egbelu, P. J. "Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage", *Eur. J. Oper. Res.*, **184**, pp. 377-396 (2008).
12. Chen, F. and Song, K. "Minimizing makespan in two-stage hybrid cross docking scheduling problem", *Comput. Oper. Res.*, **36**, pp. 2066-2073 (2009).
13. Moghadam, S. S., Ghomi, S. M. T. F. and Karimi, B. "Vehicle routing scheduling problem with cross docking and split deliveries", *Comput. Chem. Eng.*, **69**, pp. 98-107. (2014).
14. Kim, B. S. and Joo, C. M. "Scheduling trucks in multi-door cross docking systems: An adaptive genetic algorithm with a dispatching rule"m *Asia-Pacific J. Oper. Res.*, **32**(3), pp. 1550016 (2015).
15. Bodnar, P., de Koster, R. and Azadeh, K. "Scheduling trucks in a cross-dock with mixed service mode dock doors", *Transp. Sci.*, **51**, pp. 112-131 (2015).
16. Vincent, F. Y., Jewpanya, P. and Redi, A. A. N. P. "Open vehicle routing problem with cross-docking", *Comput. Ind. Eng.*, **94**, pp. 6-17 (2016).
17. Zarandi, M. H. F., Khorshidian, H. and Shirazi, M. A. "A constraint programming model for the scheduling of JIT cross-docking systems with preemption", *J. Intell. Manuf.*, **27**, pp. 297-313 (2016).
18. Cota, P. M., Gimenez, B. M. R., Araújo, D. P. M. and et al. "Time-indexed formulation and polynomial time heuristic for a multi-dock truck scheduling problem in a cross-docking centre", *Comput. Ind. Eng.*, **95**, pp. 135-143 (2016).
19. Grangier, P., Gendreau, M., Lehuédé, F. and et al. "A matheuristic based on large neighborhood search for the vehicle routing problem with cross-docking", *Comput. Oper. Res.*, **84**, pp. 116-126 (2017).
20. Enderer, F., Contardo, C. and Contreras, I. "Integrating dock-door assignment and vehicle routing with cross-docking", *Comput. Oper. Res.*, **88**, pp. 30-43 (2017).
21. Wisittipanich, W. and Hengmeechai, P. "Truck scheduling in multi-door cross docking terminal by modified particle swarm optimization", *Comput. Ind. Eng.*, **113**, pp. 793-802 (2017).
22. Serrano, C., Delorme, X. and Dolgui, A. "Scheduling of truck arrivals, truck departures and shop-floor operation in a cross-dock platform, based on outbound trucks loading plan", *International Journal of Production Economics*, **194**, pp. 102-112 (2017).
23. Motaghedi-Larijani, A.and Aminnayeri, M. "Optimizing the admission time of outbound trucks entering a cross-dock with uniform arrival time by considering a queuing model", *Eng. Optim.*, **49**, pp. 466-480 (2017).
24. Maknoon, Y. and Laporte, G. "Vehicle routing with cross-dock selection", *Comput. Oper. Res.*, **77**, pp. 254-266 (2017).
25. Nassief, W., Contreras, I. and Jaumard, B. "A comparison of formulations and relaxations for cross-dock door assignment problems", *Comput. Oper. Res.*, **94**, pp. 76-88 (2018).
26. Mirjalili, S. "The ant lion optimizer", *Adv. Eng. Softw.*, **83**, pp. 80-98 (2005).