

موجودی که نقشی اساسی در مدیریت زنجیره تأمین دارد، مورد توجه قرار گرفته شده است [۱۰]. از مزایای تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان: کاهش هزینه‌ی نیروی انسانی، عدم نیاز به انبارهای بزرگ، کاهش فضای موردنیاز برای انبارش کالا، کاهش زمان ارسال تا مشتری، می‌باشد. به‌خاطر قابلیت استفاده از کل فضای بار وسیله‌ی نقلیه، هم هزینه‌های حمل‌ونقل کاهش می‌یابد و هم به نفع محیط زیست است. نقاط منفی سیستم‌های تخلیه‌ی بارگیری: نیاز بیشتر به مدیریت و توجه، زیرا برای کارا بودن سیستم، زمان‌بندی و برنامه‌ریزی بسیار مهم است. به‌علت برنامه‌ریزی دقیق و میزان دقیق کالاها از تأمین‌کنندگان به مقاصد، فضا برای اشتباه خیلی کم می‌شود. تمایل به کاهش هزینه‌های لجستیکی، سازمان‌ها را وادار به بررسی رویکردهای سودمندتر در جهت مدیریت زنجیره‌ی تأمین کرده است. سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان از دو ابزار، بهینه‌سازی شبکه‌ی توزیع و ترکیب محوله به‌صورت یکپارچه استفاده می‌کند. مورد اول با قدمت بیشتر در پی یافتن تعداد و بهترین محل برای تسهیلات می‌باشد. مورد دوم با ترکیب محموله‌ها باعث می‌شود که محموله‌های کمتر از بار یک کامیون به‌صورت محموله‌هایی در اندازه‌ی بار یک کامیون درآیند [۱۱].

از آنجایی‌که مسأله جمع و حمل مستقیم در سیستم‌های تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان در شرایط تصادفی از جمله مسائلی است که با الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت حل می‌شود لذا در این تحقیق سعی شده از الگوریتم‌های جدید این حوزه انتخاب شود.

۲. مرور ادبیات

مسأله‌ی 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 و یا مشکلات انتخاب برای سیستم‌های توزیع ارائه کردند. تصمیم‌گیری می‌تواند به‌طور مؤثری تحت شرایط غیرقطعی در چارچوب تحلیل چند معیار انجام شود. در این مدل نزدیک‌ترین راه فازی شهودی از راه‌حل ایده‌آل فازی مثبت و دورترین راه فازی شهودی از راه‌حل ایده‌آل منفی برآورده می‌شود و در نهایت گزینه‌های مکان مرکزی براساس عملیات اصلی فازی شهودی رتبه‌بندی می‌شوند [۱۲]. وحدانی و شهرام‌فرد در پژوهش خود یک مسأله‌ی برنامه‌ی زمان‌بندی کامیون‌ها در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان را با سرویس‌های متعدد درب‌های بارانداز حل کردند. آن‌ها یک مدل جدید برای زمان‌بندی هم‌زمان و مشکل واگذاری کامیون با محدودیت‌های پنجره‌ی زمانی برای ورود و عزیمت کامیون‌ها، سرویس‌های متعدد درب‌های بارانداز و صف‌بندی کامیون‌ها ارائه دادند. برای حل مدل توسعه‌یافته از دو الگوریتم متاهیورستیکی یعنی

کامیون‌های مشتری یا پس از عبور از انبار موقت در این بین است [۵]. در عصر حاضر استفاده از سیستم‌های توزیع، کاربرد فراوانی دارد و در سطوح خرد و کلان از این سیستم‌ها برای جابه‌جایی و ارسال کالا از تولیدکنندگان و فروشندگان به خریداران استفاده می‌شود. این سیستم‌ها هزینه‌های انبارداری، نگهداری موجودی، جابه‌جایی و نیروی کار را شامل می‌شوند. یکی از گزینه‌های کاهش هزینه‌ها استفاده از سیستم‌های جدید توزیع، به جای سیستم سنتی است. سیستمی که جایگزین شبکه‌ی توزیع سنتی می‌شود بایستی توانایی‌های ارائه‌ی سرویس بهتر به مشتری، کاهش زمان تحویل کالا، دوره‌ی گردش موجودی سریع و ... را دارا باشد. سیستمی که امروزه جایگزین توزیع سنتی شده است، سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان است [۶]. در یک انبار سنتی، محصول از محل دریافت به انبار و از آنجا به سمت محل حمل حرکت می‌شود. اما در سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان محصول از محل دریافت به محل حمل بدون انبارش منتقل می‌گردد [۷]. تفاوت اساسی مابین انبارهای سنتی و سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): گزینه‌های از تفاوت‌های انبارهای سنتی و سیستم تخلیه‌ی

بارگیری هم‌زمان [۸]

انبار سنتی	تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان
کالاها انبار می‌شوند یا در مکان‌های برداشت سفارش جای می‌گیرند و دوباره به مدت حداقل یک روز در انبار مستقر می‌شوند.	کالاها بدون آن که انبار شوند و برداشت سفارش می‌شود یا در مکان‌های برداشت سفارش جای گیرند در یک روز جابه‌جا می‌شوند.
کالاها به‌صورت موجودی در سیستم انبار ثبت شوند.	کالاها به‌صورت موجودی در انبار ثبت نمی‌شوند.
کالاها مجدداً برچسب‌گذاری و دسته‌بندی می‌شوند.	ممکن است در انبار هیچ‌گونه برچسب‌گذاری و بسته‌بندی مجدد برای کالاها صورت نگیرد.

در سیستم‌های توزیع، تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان یک استراتژی لجستیکی است که در آن کالاهایی که از کامیون‌های ورودی، تخلیه شده‌اند بدون ذخیره‌سازی و تقریباً به‌صورت مستقیم بر روی کامیون‌های خروجی بارگیری می‌شوند که به حذف عملیات نگهداری موجودی‌ها در انبارهای سنتی، دسته‌بندی و ارسال مواد به مقاصد می‌پردازد. محموله‌های رسیده، جدا از هم دوباره از بسته‌ها خارج و دسته‌بندی شده و توسط ترلرها بدون انبارش از بارانداز خارج می‌گردند [۹]. هدف حذف دو مورد از هزینه‌برترین فعالیت‌های مراکز توزیع یعنی انبارش و بازایی است که باعث بهبود کارایی سیستم توزیع و کاهش هزینه‌ها 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 مقادیر بالایی از کالا را مدیریت کند [۱].

تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان به‌عنوان یک روش مؤثر کنترل جریان

بهبوده است. در این مقاله برای حل مسأله از یک روش ابتکاری و روش شاخه و کران استفاده شده است [۱۶].

دونو و همکاران مدل زمان‌بندی مسیریابی وسیله نقلیه در سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان را با در نظر گرفتن وسیله‌های نقلیه ناهمگن توسعه داده‌اند. این مسأله را با مسأله زمان‌بندی کامیون‌های داخل سیستم تخلیه‌ی بارگیری مدل‌سازی کرده‌اند [۱۷].

ویستی پان بیچ و هنگ میچای مدل ریاضی از برنامه‌ریزی ترکیبی عدد صحیح برای اختصاص دادن درب و ترتیب‌گذاری کامیون‌ها در سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان چند دربی ارائه کرده‌اند. هدف از این مدل کم کردن زمان یا زمان کل کار است. سپس، با الگوریتم ازدحام ذرات اصلاح شده، بهینه‌سازی و با طرح‌های ویژه کدگذاری و رمزگشایی شده و برای حل مشکل زمان‌بندی کامیون‌ها در سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان، پیشنهاد شده است [۱۸].

بررسی مقالات مختلف نشان می‌دهد که یکی از مباحث مهم در سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان، زمان‌بندی وسایل نقلیه در بارانداز است. یو و اگلو به زمان‌بندی کامیون‌ها با یک درب ورودی و یک درب خروجی پرداخته‌اند و همچنین در مدل، ذخیره‌سازی موقت محصولات را در نظر گرفته‌اند. تابع هدف مسأله کمینه کردن زمان تمام کل کارهاست و مدل به کار گرفته شده در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است [۱۹].

تعداد کمی از مقالات به بررسی موضوع استفاده‌ی کامیون‌های ورودی به‌عنوان کامیون‌های خروجی پرداخته‌اند. طی سال‌های اخیر مسأله‌ی تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان بسیار مورد توجه بوده است. ولی حالتی از این مسأله وجود دارد که کمتر به آن پرداخته شده است. به‌صورتی که اگر تمام وسایل نقلیه چه ورودی و چه خروجی سیستم، متعلق به یک شرکت طرف سوم بوده 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 به‌عنوان کامیون خروجی را مورد بررسی قرار داد 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 نظر گرفتن امکان انتخاب کامیون‌های ارسال مستقیم، تخلیه‌ی کامل و تخلیه به‌میزان لازم به‌عنوان کاری نو در زمینه‌ی انبارهای تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان است. در این پژوهش در جهت گسترش تحقیقات در زمینه‌ی زمان‌بندی و نیز نزدیک‌تر کردن مدل‌های توسعه‌یافته به جهان واقعی، حالت خاص از تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین به‌علت ماهیت این نوع از فعالیت که طی آن باید برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری به‌سرعت انجام پذیرد، استفاده از الگوریتمی فراابتکاری که بتواند در زمان اندکی به پاسخ نسبتاً مطلوبی برسد ضروری است. استفاده از کامیون ورودی

الگوریتم‌های رقابتی ژنتیکی و امپریالیست استفاده شد. نتایج محاسباتی نشان دادند که چارچوب پیشنهادی منجر به افزایش کل هزینه‌ها می‌شود، اگرچه نیاز به برنامه‌ریزی دقیق‌تری دارد و همچنین الگوریتم‌های پیشنهادی براساس معیارهای در نظر گرفته شده برای مقایسه، عملکردهای مختلفی دارند [۱۳]. در پژوهشی دیگر وحدانی و شهرام‌فرد به تخصیص و برنامه‌ریزی کامیون‌ها در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان با توجه به مصرف انرژی و صف‌بندی کامیون‌ها پرداختند. تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان به‌عنوان یکی از استراتژی‌های کارآمد سیستم‌های توزیع، می‌تواند هزینه‌های موجودی را کاهش داده 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 به حداقل رساندن هزینه‌های نگهداری محصولات در یک بارگیری هم‌زمان، تأخیر کامیون‌ها در ارسال محموله به مشتریان، حداقل انتظار برای کامیون‌های موجود در صف و به حداقل رساندن مصرف انرژی لیفتراک است. به این منظور از دو الگوریتم رقابتی چندهدفه و گرگ خاکستری چندهدفه استفاده شده است [۱۴].

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 برون شهری بین باراندازها و خرده‌فروشان، در فرایند تحویل تعیین می‌شود. هدف تخصیص محصولات به تأمین‌کنندگان و تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان، بهینه‌سازی مسیرها و برنامه‌ی زمان‌بندی وسایل نقلیه ورودی و خروجی و تثبیت محصولات به‌گونه‌ای که مبلغ خرید، حمل‌ونقل و نگهداری آن‌ها به حداقل برسد. احمدی زر و همکاران در پژوهش خود، مسأله‌ی مسیریابی وسیله‌ی نقلیه را در یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی دارای تسهیل تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان مورد بررسی قرار داده‌اند و الگوریتم ژنتیکی ترکیبی برای حل آن را ارائه نمودند [۱۵].

استالک و همکاران در تحقیقات خود بر اهمیت به‌کارگیری سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان در صنایع توزیعی اشاره کرده‌اند و به‌کارگیری آن را یک توانایی اصلی برای فروشگاه خرده‌فروش وال مارت می‌دانند، به عقیده‌ی آن‌ها به‌کارگیری این روش دلیل اصلی پیشی گرفتن وال مارت از رقیب خود یعنی کی مارت در فروش کلی در دهه‌ی ۱۹۸۰ بوده است، زیرا وال مارت با سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان توانست هزینه‌ی سیستم موجودی خود را به‌طور کلی کاهش دهد، این فروشگاه توانست اجناس خود را با تخفیف روزانه به‌فروش رسانده و شهرت کنونی وی به‌همین علت می‌باشد [۷].

چن و سانگ در مقاله‌ی خود به مسأله‌ی زمان‌بندی جریان کارگاهی توسط دو کامیون در سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان پرداخته است. هدف کمینه کردن زمان انجام تمامی کارها با توالی

ارائه‌ی یک مدل بهینه‌سازی برای حل مسئله‌ی زمان‌بندی کامیون‌ها	تخصیص و زمان‌بندی کامیون- ها در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	۲۰۱۹	[۱۴]
الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و چندهدفه کلونی مورچگان	طراحی مدل ریاضی مسیریابی سبز در سیستم‌های بارانداز مقاطع چندگانه با رویکرد کاهش گاز دی‌اکسیدکربن	۲۰۱۹	[۲]
الگوریتم شبیه‌سازی تبرید	مسئله‌ی مسیریابی خودرو باز با بارانداز متقاطع و تحویل‌های دوگانه	۲۰۲۱	[۱۰]
الگوریتم شیرمورچه، ممتیک و کلونی مورچگان	تجمع و حمل مستقیم در سیستم‌های تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان در شرایط تصادفی با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری	۲۰۲۱	پژوهش حاضر

در بخش بعدی، شکل کلی مسئله بر پایه‌ی مفروضات ارائه شده تشریح شده و سپس یک مدل ریاضی ارائه می‌شود. مدل ریاضی توسعه داده شده به منظور دستیابی به جواب مناسب برای حل مدل ریاضی و مشخص کردن اعتبار و صحت مدل‌سازی از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز در سائزهای پایین و در سائزهای متوسط و بالا که نرم‌افزارهای بهینه‌سازی قادر به یافتن جواب بهینه نیستند از نرم‌افزار متلب و الگوریتم‌های فراابتکاری شیرمورچه، ممتیک و کلونی مورچگان برای حل مدل ریاضی استفاده شده است. نتایج در حالت‌های مختلف با مدل‌ها و رویکردهای پیشین مقایسه شده و سپس مزایای این رویکرد و مدل‌سازی بیان می‌شود.

۳. بیان مسئله و ارائه مدل ریاضی

مسئله‌ی این پژوهش تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان با یک درب ورودی و یک درب خروجی در شرایط تصادفی است که کامیون‌های ورودی به انبار عبوری رسیده و کالاهایشان را در درب دریافت، تخلیه می‌کنند. محصولات تخلیه شده از درب ورودی به درب خروجی توسط سیستم‌های حمل‌ونقل اتوماتیک منتقل می‌شوند که در صورت لزوم در انبار موقت می‌توانند ذخیره شوند و همچنین زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی به صورت هم‌زمان تعیین می‌شود. به منظور کاهش زمان کلی انجام عملیات و هزینه‌های مربوط به وسیله نقلیه، این امکان به سیستم داده شده که از کامیون ورودی در مسیر خروجی به عنوان کامیون خروجی استفاده شود. پس در صورتی که کامیونی برای استفاده در بخش خروجی انتخاب شود، نیاز به تخلیه و بارگیری مجدد برخی از کالاها از بین خواهد رفت. مسئله با یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به صورت ریاضی فرمول‌بندی می‌شود. این مدل ریاضی براساس یافتن کوتاه‌ترین زمان برای انجام کل عملیات، بهینه‌سازی شده است.

۳-۱. مفروضات

۱- یک درب ورودی و یک درب خروجی با باراندازهای مجزا وجود دارد.

به عنوان خروجی و نیز حل مسئله با در نظر گرفتن این فرض می‌تواند در توسعه‌ی کاربرد تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان مؤثر باشد و در زنجیره‌های تأمین نقش مناسبی ایفا کند. به منظور مشخص شدن شکاف و جدید بودن پژوهش، جدول مقایسات (۲) در زیر آورده شده است.

جدول (۲): بررسی پیشینه‌ی سیستم‌های تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان

مقالات	سال انتشار	مسئله	راهکار ارائه شده
[۲۰]	۲۰۱۴	برنامه‌ریزی و مسیریابی وسایل نقلیه	الگوریتم هیبریدی و SA
[۲۱]	۲۰۱۵	زمان‌بندی کامیون‌ها در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان با چند درب	الگوریتم ژنتیک
[۱۵]	۲۰۱۵	مسیریابی وسیله‌ی نقلیه	الگوریتم ژنتیکی ترکیبی
[۲۲]	۲۰۱۵	زمان‌بندی کامیون‌ها در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان با پنجره‌ی زمانی	الگوریتم ALNS
[۲۳]	۲۰۱۶	مسیریابی وسایل نقلیه با سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	روش CPLEX و الگوریتم SA
[۱۲]	۲۰۱۶	مکان‌یابی تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	ارائه‌ی یک مدل تصمیم‌گیری گروهی سلسله مراتبی فازی
[۲۴]	۲۰۱۶	زمان‌بندی JIT در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	الگوریتم ژنتیک
[۲۵]	۲۰۱۶	زمان‌بندی کامیون‌ها در مرکز تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	الگوریتم زمان‌بندی چندجمله‌ای
[۲۶]	۲۰۱۶	مسیریابی وسایل نقلیه با تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	الگوریتم LNS، SPM و روش CPLEX
[۲۷]	۲۰۱۷	تخصیص درب سکو و مسیریابی وسایل نقلیه در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان به طور یکپارچه	الگوریتم CG
[۱۸]	۲۰۱۷	زمان‌بندی کامیون‌ها در ترمینال تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان با چند درب	الگوریتم PSO
[۲۸]	۲۰۱۷	زمان‌بندی ورود و خروج کامیون‌ها براساس برنامه‌ی بارگیری کامیون‌های برون مرزی	روش CPLEX
[۲۹]	۲۰۱۷	بهینه‌سازی زمان پذیرش کامیون‌های خارج از کشور	ارائه‌ی یک مدل صف برای مدت زمان انتظار
[۳۰]	۲۰۱۷	مسیریابی وسایل نقلیه و انتخاب تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	الگوریتم ANLS و روش CPLEX
[۳۱]	۲۰۱۸	تخصیص کامیون‌های ورودی و خروجی به درب‌ها	الگوریتم تولید ستون
[۱۳]	۲۰۱۹	زمان‌بندی کامیون‌ها در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان	ارائه‌ی یک مدل جدید برای زمان‌بندی هم‌زمان کامیون‌ها

۲- همه‌ی محصولات دریافت شده باید ارسال شده و ذخیره‌ی طولانی مدت مجاز نیست.

۳- کامیون‌های ورودی و خروجی براساس نوبت‌دهی به درب‌های بارانداز تخصیص می‌یابند.

۴- زمان تخلیه و بارگیری برای کالاها برابر بوده و یک واحد زمانی برای هر واحد کالا در نظر گرفته شده است.

۵- کامیون‌های ورودی در ابتدای مسأله در دسترس‌اند و برای استفاده از کامیون خروجی پنجره‌ی زمانی وجود ندارد.

۶- ناوگان همگن است.

۷- ظرفیت ناحیه‌ی ذخیره‌سازی موقت، بی‌نهایت است.

۸- ظرفیت تجهیزات انتقالی درون بارانداز تخلیه‌ی بارگیری بی‌نهایت است.

۳-۲. مدل‌سازی ریاضی مسأله

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

پارامترها:

- I مجموعه کامیون‌های ورودی $i=1,2,\dots,I$
- J مجموعه کامیون‌های خروجی $j=1,2,\dots,J$
- K مجموعه انواع کالا $k=1,2,\dots,K$
- S مجموعه سناریوهای مختلف $s=1,2,\dots,S$
- 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 گردد.
- D_s زمان موردنیاز برای تعویض کامیون حاضر در سناریو s در درب ورودی یا خروجی.
- W_s زمان موردنیاز برای انتقال یک کامیون ورودی در سناریو s به صف کامیون‌های خروجی.
- V_s زمان پردازش و انتقال کالا در سناریو s از درب ورودی تا درب خروجی.
- M عدد بزرگ

متغیرهای عدد صحیح:

- x_{ijks} مقدار کالای نوع k که از کامیون ورودی i به کامیون خروجی j در سناریو s انتقال پیدا می‌کند.
- y_{ijks} مقدار کالای نوع k که در کامیون i باقی می‌ماند، وقتی که قرار است به‌عنوان کامیون j در سناریو s مورد استفاده قرار گیرد.

متغیرهای صفر و یک:

- v_{ijs} اگر کالایی از کامیون i در سناریو s از درب ورودی به کامیون j از نوع خروجی انتقال یابد ۱ در غیر این صورت ۰.
- p_{ijs} اگر کامیون ورودی i در سناریو s از درب مشابه قبل از کامیون ورودی j پردازش شود ۱ در غیر این صورت ۰.
- q_{ijs} اگر کامیون خروجی i در سناریو s از درب مشابه قبل از

کامیون خروجی j پردازش شود ۱ در غیر این صورت ۰.
 اگر کامیون ورودی i به‌عنوان کامیون خروجی j در سناریو s استفاده گردد ۱ در غیر این صورت ۰.
متغیرهای پیوسته:

- T_s زمان تصادفی کل عملیات
- c_{is} زمانی که کامیون i وارد درب تخلیه در سناریو s می‌گردد.
- F_{is} زمانی که کامیون i درب تخلیه در سناریو s را ترک می‌کند.
- d_{js} زمانی که کامیون خروجی j وارد درب بارگیری در سناریو s می‌شود.
- L_{js} زمانی که کامیون خروجی j درب بارگیری را در سناریو s ترک می‌کند.

مسأله‌ی زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی در شرایط تصادفی به‌صورت یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، به‌صورت زیر فرمول‌بندی شده است.

$$\text{Min}E[T_s] \quad (1)$$

subject to

$$T_s \geq L_{js} \quad \forall j,s \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ijks} + \sum_{j=1}^J y_{ijks} = r_{ik} \quad \forall j, k,s \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ijks} + \sum_{j=1}^J y_{ijks} = S_{jk} \quad \forall j, k,s \quad (4)$$

$$x_{ijks} \leq M v_{ijs} \quad \forall i, j, k,s \quad (5)$$

$$y_{ijks} \leq M k_{ijs} \quad \forall i, j, k,s \quad (6)$$

$$F_{is} \geq c_{is} + \sum_{k=1}^K r_{ik} - \sum_{j=1}^J y_{ijks} \quad \forall i,s \quad (7)$$

$$c_{js} \geq F_{is} + D_s - M(1 - p_{ijs}) \quad \forall i, j,s, i \neq j \quad (8)$$

$$c_{is} \geq F_{js} + D_s - M p_{ijs} \quad \forall i, j,s, i \neq j \quad (9)$$

$$p_{iis} = 0 \quad \forall i,s \quad (10)$$

$$L_{js} \geq d_{js} + \sum_{k=1}^K S_{jk} - \sum_{i=1}^I y_{ijks} \quad \forall j,s \quad (11)$$

$$d_{js} \geq L_{is} + D_s - M(1 - q_{ijs}) \quad \forall i, j,s, i \neq j \quad (12)$$

$$d_{is} \geq L_{js} + D_s - M q_{ijs} \quad \forall i, j,s, i \neq j \quad (13)$$

$$q_{iis} = 0 \quad \forall i,s \quad (14)$$

$$L_{js} \geq c_{is} + V_s + \sum_{k=1}^K x_{ijks} - \sum_{k=1}^K y_{ijks} - M(1 - v_{ijs}) \quad \forall i, j,s \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^I k_{ijs} \leq 1 \quad \forall i,s \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^J k_{ijs} \leq 1 \quad \forall j,s \quad (17)$$

می‌شود. برای استفاده از الگوریتم فراابتکاری ابتدا بایستی اثبات شود که این الگوریتم‌ها توانایی به‌دست آوردن جواب مناسب در مدت زمان کوتاه را دارند. به‌همین جهت، مثال‌هایی که روش دقیق قادر به حل آن‌ها هستند با الگوریتم به‌تعداد مشخص حل می‌شود و میانگین و بهترین جواب به‌دست‌آمده مورد مقایسه قرار می‌گیرد تا عملکرد این الگوریتم مورد تأیید قرار گیرد تا بتوان برای ادامه‌ی تحلیل، از نتایج آن‌ها استفاده نمود. در ادامه تمامی مجموعه مثال‌ها و داده‌ها تحت شرایط و مقدار تابع هدف به‌دست‌آمده در حالت عادی با حالت امکان تخلیه به میزان لازم مقایسه می‌گردد.

۴. آزمایش‌ها

مدل پایه‌ی انبار عبوری در مقالات قبلی مورد استفاده قرار گرفته است و صحت آن قبلاً تأیید شده است. تفاوت مدل ریاضی این پژوهش با مدل پایه در امکان استفاده از کامیون ورودی به‌عنوان کامیون خروجی در شرایط تصادفی است که این کار مستلزم زمانی برای تغییر صف کامیون است و این زمان می‌تواند شامل جابه‌جایی فیزیکی و انجام مراحل اداری و یا سایر موارد باشد. به‌علت نظری بودن این پژوهش، این پارامتر دو برابر زمان تغییر کامیون (CT) در نظر گرفته شده است. همچنین در این پژوهش زمان‌های ورود و خروج کامیون‌ها تصادفی در نظر گرفته شده است.

۴-۱. حل دقیق

مدل پیشنهاد و مدل پایه در نرم‌افزار GAMS 24.1 کد گردیده و سپس مسأله‌ی نمونه توسط حل‌کننده CPLEX بر روی رایانه همراه با پردازنده Core i7 1.6 GHz و با حافظه‌ی داخلی ۴ GB حل شد. جدول (۳) نتایج محاسباتی را برای دو مدل پایه و مدل ارائه شده، در ابعاد مختلف بررسی می‌نماید. در این محاسبات برای بررسی میزان تأثیر فاکتور جابه‌جایی کامیون از صف ورودی تا خروجی، مقادیر مختلفی برای این فاکتور در نظر گرفته شده است.

جدول (۴) نیز مقایسه‌ی حل مثال‌های مختلف با الگوریتم فراابتکاری و حل دقیق را نشان می‌دهد.

$$d_{js} \geq F_{is} + W_s - M(1 - k_{ijs}) \quad \forall i, j, s \quad (18)$$

$$\text{All variables} > 0, v_{ijs} \in \{0,1\}, p_{ijs} \in \{0,1\}, q_{ijs} \in \{0,1\}, k_{ijs} \in \{0,1\} \quad (19)$$

معادله (۱) تابع هدف را نشان می‌دهد که به‌صورت کمینه‌سازی میانگین زمان کل عملیات در شرایط تصادفی و در سناریوهای مختلف است. محدودیت (۲) نشان‌دهنده‌ی نحوه‌ی تعیین زمان تصادفی کل عملیات در هر سناریو است. محدودیت (۳) تضمین می‌کند در هر سناریو تمام بار کامیون تخلیه گردد یا همان کامیون به صف خروجی منتقل گردد. محدودیت (۴) مربوط به برآورد شدن تقاضای کامیون خروجی در هر سناریو است. محدودیت (۵) فقط در صورت فعال بودن انتقال بار از کامیون i به j اجازه‌ی انتقال کالا را در هر سناریو می‌دهد. محدودیت (۶) تعیین می‌کند که در هر سناریو فقط اگر کامیون ورودی قرار است به‌عنوان کامیون خروجی استفاده شود، اجازه‌ی باقی ماندن کالا در آن وجود داشته باشد. محدودیت (۷) نشان می‌دهد که کامیون در هر سناریو فقط پس از تخلیه به‌میزان لازم، می‌تواند درب ورودی را ترک کند. محدودیت‌های (۸) تا (۱۰) مربوط به زمان‌بندی کامیون‌های ورودی در شرایط تصادفی هستند. محدودیت (۱۱) زمان خروج کامیون خروجی را در هر سناریو مشخص می‌کند. محدودیت‌های (۱۲) تا (۱۴) مربوط به زمان‌بندی کامیون‌های خروجی در هر سناریو هستند. محدودیت (۱۵) نشان‌دهنده‌ی این است که کامیون خروجی تنها زمانی می‌تواند از درب خروجی خارج گردد که تمام کالاهای موردنیاز برای آن کامیون از کامیون‌های ورودی تخلیه شده باشند. محدودیت‌های (۱۶) تا (۱۷) تعیین می‌کنند که هر کامیون ورودی فقط می‌تواند به‌عنوان یک کامیون خروجی مورد استفاده قرار گیرد. محدودیت (۱۸) مشخص می‌کند که اگر کامیون ورودی به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شود، پس از ترک درب ورودی و طی زمان موردنیاز برای تعویض صف، می‌تواند وارد درب خروجی گردد.

در این پژوهش از داده‌های مورد استفاده در مقاله‌ی یو و اگیلو [۱۹] با توجه به پیچیدگی بالای مسأله‌ی زمان‌بندی کامیون در تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط در مواردی که مثال‌ها بزرگ باشد قادر به حل مسأله در مدت زمان معقول نیست. در نتیجه از الگوریتم فراابتکاری شیرمورچه برای حل استفاده

جدول (۳): مقایسه‌ی حل مدل پایه با مدل پیشنهادی

تابع هدف	مدل ارائه شده		مدل ارائه شده		مدل ارائه شده		ابعاد مسأله	زمان حل (ثانیه)	تعداد کامیون	
	مدل ارائه شده	مدل ارائه شده	مدل ارائه شده	مدل ارائه شده	مدل ارائه شده	مدل پایه				
W=CT * 32 W=4800	W=CT * 16 W=2400	W=CT * 8 W=600	W=CT * 2 W=150	۱۵۵۷	۱۵۵۷	۱۵۵۷	۳	۱	R=4, J=5, K=4	۱
۱۵۷۷	۱۵۷۷	۱۱۸۶	۱۰۵۳	۱۵۷۷	۱۵۷۷	۱۵۷۷	۹	۱	R=5, J=4, K=6	۲
۱۳۷۲	۱۳۷۲	۱۰۷۲	۹۷۷	۱۳۷۲	۱۳۷۲	۱۳۷۲	۲	۱	R=3, J=3, K=8	۳
۱۷۴۹	۱۷۴۹	۱۳۰۱	۱۲۳۲	۱۷۴۹	۱۷۴۹	۱۷۴۹	۱۶۸	۱	R=5, J=5, K=8	۴
۱۵۷۹	۱۵۷۹	۱۱۴۴	۹۹۶	۱۵۷۹	۱۵۷۹	۱۵۷۹	۵	۱	R=5, J=3, K=8	۵
۱۵۴۶	۱۵۴۶	۱۰۹۲	۹۰۹	۱۵۴۶	۱۵۴۶	۱۵۴۶	۳	۱	R=4, J=4, K=5	۶
۱۵۳۵	۱۵۳۵	۱۱۶۳	۹۶۰	۱۵۳۵	۱۵۳۵	۱۵۳۵	۴	۱	R=5, J=4, K=6	۷

۱۵۲۵	۱۵۲۵	۱۱۶۰	۱۰۱۰	۱۵۲۵	۳	۱	R=3, J=5, K=7	۸
۱۲۷۲	۱۲۷۲	۱۰۰۳	۸۱۳	۱۲۷۲	۳	۱	R=4, J=4, K=8	۹
۱۴۵۲	۱۴۵۲	۹۵۶	۸۱۵	۱۴۵۲	۱	۱	R=3, J=4, K=9	۱۰
۲۲۳۲	۲۲۳۲	۱۳۸۹	۱۱۶۴	۲۲۳۲	۸	۱	R=5, J=4, K=6	۱۱
۲۸۳۳	۲۵۶۸	۱۷۶۶	۱۷۱۵	۲۸۳۳	۱۰	۱	R=6, J=4, K=8	۱۲
۲۳۸۶	۲۳۸۶	۱۴۴۹	۱۳۲۴	۲۳۸۶	۴۸	۲	R=5, J=6, K=8	۱۳
۲۳۸۵	۲۳۸۵	۱۴۶۸	۱۲۶۷	۲۳۸۵	۳۷	۲	R=5, J=5, K=8	۱۴
۲۷۴۵	۲۵۳۶	۱۵۷۵	۱۳۳۶	۲۷۴۵	۹۹۸	۷	R=6, J=5, K=4	۱۵
۲۴۰۷	۲۴۰۷	۱۴۵۳	۱۱۲۵	۲۴۰۷	۹۹	۲	R=5, J=6, K=6	۱۶
۱۸۶۷	۱۸۶۷	۱۳۵۴	۱۲۵۳	۱۸۶۷	۲	۱	R=4, J=4, K=7	۱۷
۲۵۰۲	۲۴۱۹	۱۵۸۶	۱۳۴۶	۲۵۰۲	۳۰۵	۳	R=6, J=6, K=7	۱۸
۲۵۵۳	۲۵۵۰	۱۷۱۸	۱۵۵۵	۲۵۵۳	۵۵	۲	R=5, J=5, K=10	۱۹
۲۷۳۲	۲۶۰۳	۱۶۷۸	۱۶۰۴	۲۷۳۲	۶۵۱	۳	R=6, J=6, K=9	۲۰
-	-	۶۵۵۷	-	۹۸۳۳*	۱۰۰۵	۷۲۰۰*	R=10, J=9, K=10	۲۱
-	-	-	-	No solution	۷۲۰۰*	۷۲۰۰*	R=16, J=15, K=12	۲۲
-	-	-	-	No solution	۷۲۰۰*	۷۲۰۰*	R=12, J=15, K=15	۲۳

جدول (۴): مقایسه‌ی حل مثال‌های مختلف با الگوریتم فراابتکاری و حل دقیق

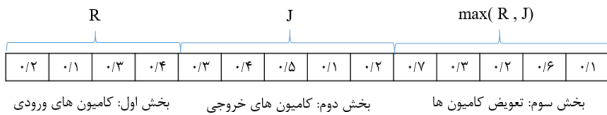
شماره	ابعاد مسأله	زمان حل (ثانیه)	حل دقیق	زمان حل (ثانیه)	حل فراابتکاری
۱	R=4, J=5, K=4	۳	۸۰۱	۲	۸۰۱
۲	R=5, J=4, K=6	۹	۱۰۵۳	۶	۱۰۸۸
۳	R=3, J=3, K=8	۲	۹۷۷	۷	۱۰۰۲
۴	R=5, J=5, K=8	۱۶۸	۱۲۳۲	۶	۱۲۳۳
۵	R=5, J=3, K=8	۵	۹۹۶	۷	۹۹۶
۶	R=4, J=4, K=5	۳	۹۰۹	۲۰	۹۶۸
۷	R=5, J=4, K=6	۴	۹۶۰	۵	۱۰۰۰
۸	R=3, J=5, K=7	۳	۱۰۱۰	۵	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
۲۱	R=10, J=9, K=10	۱۰۰۵	-	۷۵	۶۰۹۷
۲۲	R=16, J=15, K=12	۷۲۰۰*	-	۵۸۳	۵۷۰۱
۲۳	R=12, J=15, K=15	۷۲۰۰*	-	۳۹۱	۷۹۴۷

۲-۴. الگوریتم فراابتکاری شیرمورچه

مناسب در مدت زمان معقول برای ابعاد بزرگ مسأله، الگوریتم فراابتکاری شیرمورچه که برای اولین بار توسط میرجلیلی براساس

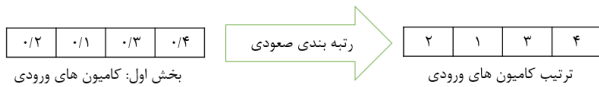
باتوجه به پیچیدگی مسأله‌ی پژوهش حاضر، جهت ارائه راه‌حل

به‌دست می‌آید موجه می‌باشند. مسأله سه متغیر اصلی دارد، ساختار جواب سه بخش متناظر با این سه تصمیم دارد، بقیه‌ی متغیرها وابسته به این متغیرهای اصلی می‌باشند. طول رشته‌ای که الگوریتم از آن برای نمایش جواب استفاده می‌کند $R + J + \max(R, J)$ می‌باشد که R تعداد کامیون‌های ورودی و J تعداد کامیون‌های خروجی می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است.



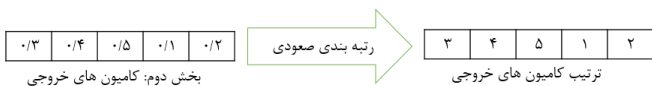
شکل (۱): نمایش جواب الگوریتم پیشنهادی

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



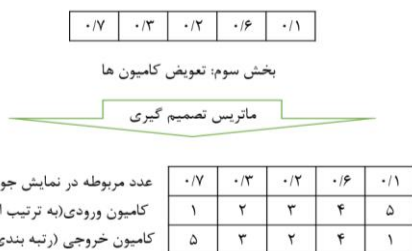
شکل (۲): نمایش جواب بخش اول (کامیون‌های ورودی)

مطابق شکل (۳) ترتیب کامیون‌های خروجی نیز یک جایگشت می‌باشد، بنابراین همانند بخش اول، بخش دوم الگوریتم نیز به ترتیب صعودی رتبه‌بندی می‌گردد و این رتبه‌بندی ترتیب کامیون‌های خروجی می‌باشد.



شکل (۳): نمایش جواب بخش دوم (کامیون‌های خروجی)

زیربخش سوم از نمایش جواب، مربوط به تعیین تعویض یا عدم تعویض کامیون ورودی با خروجی می‌باشد. در ابتدا، ماتریس تصمیم‌گیری بخش سوم به صورت شکل (۴) تشکیل می‌گردد.



شکل (۴): نمایش جواب بخش سوم (تعویض کامیون‌ها)

رفتار تغذیه‌ای شیرمورچه‌ی نابالغ ابداع شده است، ارائه می‌شود [۳۲]. شیرمورچه از خانواده‌ی مورچه‌خواران است. چرخه‌ی زندگی شیرمورچه شامل دو مرحله‌ی اصلی است: دوران لارو و دوران بلوغ. به‌طور طبیعی طول عمر شیرمورچه‌ها تا ۳ سال است، که بیشتر آن مربوط به دوران لارو است. شیرمورچه‌ها اغلب در دوران لارو شکار می‌کنند و دوران بزرگسالی آن‌ها تنها برای تولیدمثل است. این موجودات را به این دلیل شیرمورچه می‌نامند که شکار اصلی آن‌ها مورچه است. شیرمورچه‌ی لارو با کمک بدن بیضی شکل خود حفره‌هایی مخروطی شکل در درون خاک ایجاد کرده و در انتهای حفره درون خاک پنهان شده و با آرامش و صبر در انتظار طعمه‌ی خود می‌نشیند. شیب حفره به‌اندازه‌ای است که با ورود طعمه، دیواره ریزش کرده و طعمه را به سمت انتهای حفره هدایت می‌کند. پس از این‌که طعمه‌ای در حفره افتاد، شیرمورچه با ریزش دیواره‌ی حفره از ورود طعمه باخبر شده و با کمک آوارهای 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 هرچه بیشتر دیواره می‌شود. پس از این‌که طعمه به‌وسیله‌ی شیرمورچه شکار شد، شیرمورچه آن را به عمق بیشتری در درون شن برده 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.
- ۸) شیرمورچه پس از اتمام شکار، گودال را برای طعمه‌ی بعدی خود بازسازی کند.

در این پژوهش از یک ساختار نمایش جواب استفاده شده است. این ساختار به صورت یک رشته از اعداد اعشاری می‌باشد. در ادامه نگاهی بیان می‌گردد که این رشته اعداد اعشاری را به یک جواب از مسأله تبدیل می‌کند. این نگاهت 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 تمامی جواب‌های مسأله را تولید نمود، یعنی الگوریتم در صورت نیاز می‌تواند تمام فضای جواب را جستجو کند و تمامی این نگاهت به هر رشته عدد را به درون فضای جواب هدایت می‌کند، یعنی تمامی جواب‌ها که از این طریق

کامیون‌های ورودی و خروجی مشخص شده و سپس تصمیم گرفته می‌شود که کدام کامیون ورودی به‌عنوان خروجی استفاده شود، سپس برای محاسبه‌ی زمان انجام عملیات با هر نمایش جواب، عملیات تخلیه و بارگیری با آن نمایش جواب شبیه‌سازی می‌گردد و زمان خروج آخرین کامیون خروجی از سکوی بارگیری، به‌عنوان زمان انجام عملیات بازگردانده می‌شود.

۴-۶. اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی

از مقایسه‌ی جواب‌های روش حل دقیق با روش فراابتکاری که در نمودار (۱) نشان داده شده است، می‌توان به نتیجه‌ی صحت عملکرد این الگوریتم در ابعاد کوچک رسید. با توجه به ماهیت مشابه این مسأله در ابعاد مختلف می‌توان نتیجه‌گیری کرد که الگوریتم ALO در ابعاد مختلف جواب‌های درستی ارائه می‌نماید. در مقایسات انجام گرفته نکته‌ی قابل توجه دیگری که می‌توان بدان اشاره کرد زمان حل مسأله است. می‌توان مشاهده کرد که زمان حل برای الگوریتم ALO برخلاف روش حل دقیق، به‌صورت چندجمله‌ای 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 فراابتکاری به‌دست آورد. به‌منظور مقایسه‌ی الگوریتم پیشنهادی این پژوهش با الگوریتم ارائه شده در مقاله‌ی یو و اگیلو [۱۹]، مسأله‌های حل شده این مقاله‌ی مذکور با الگوریتم پیشنهادی این مقاله حل گردید که نتایج آن در نمودار (۲) نمایش داده شده است.

۴-۷. پارامترهای الگوریتم‌های فراابتکاری

در الگوریتم‌های فراابتکاری، پارامترهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که مقادیر آن‌ها می‌تواند بر عملکرد الگوریتم اثرگذار باشد. یکی از ویژگی‌های الگوریتم ALO طراحی شده برای این مسأله، این است که تعداد پارامترهای کمی برای تنظیم دارد. مقادیری که برای حل نمودهای انتخاب‌شده، مورد استفاده قرار گرفتند، از طریق آزمون و خطا به‌دست آمده و در جدول (۵) پیشنهاد می‌گردند.

جدول (۵). پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم

اندازه مسأله	تعداد مورچه‌ها	تعداد تکرار
کوچک	۱۰۰	۲۰۰
متوسط	۱۵۰	۳۰۰
بزرگ	۲۰۰	بزرگ‌تر از ۵۰۰

۴-۸. نتایج عملکردی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر

نتایج الگوریتم‌های قابل استفاده

در این قسمت عملکرد الگوریتم در مثال‌های متوسط و بزرگ مورد بررسی قرار گرفته است. برای این بررسی مثال‌های مشابه توسط الگوریتم فراابتکاری کلونی مورچگان و ممتیک نیز حل شده است. جدول (۶) خروجی الگوریتم ALO را با الگوریتم‌های Memetic و ACOR مقایسه می‌کند.

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

عدد مربوطه در نمایش جواب	۰/۷	۰/۳	۰/۲	۰/۶	۰/۱
کامیون ورودی (به ترتیب از یک)	۱	۲	۳	۴	۵
کامیون خروجی (رتبه بندی صعودی اعداد نمایش جواب)	۵	۳	۲	۴	۱

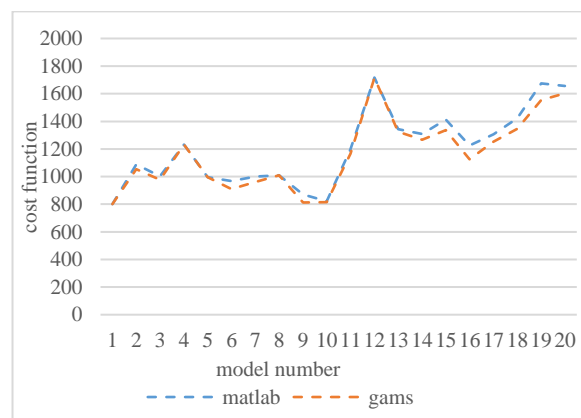
شکل (۵): ماتریس تبدیل

ستون‌های باقیمانده همانند شکل (۶) تعیین می‌کند که کدام کامیون ورودی به‌عنوان کامیون خروجی استفاده گردد.

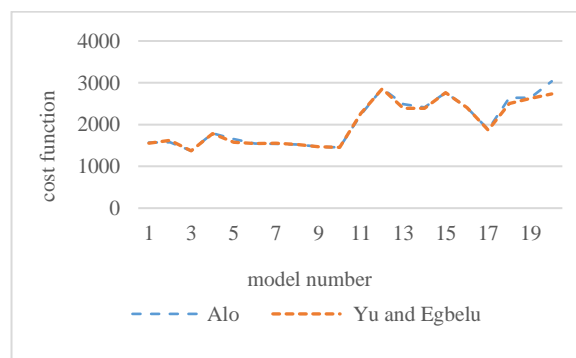
استفاده به عنوان کامیون‌های خروجی

	۱	۲	۳	۴	۵
کامیون ۱	۰	۰	۰	۰	۱
کامیون ۲	۰	۰	۰	۰	۰
کامیون ۳	۰	۰	۰	۰	۰
کامیون ۴	۰	۰	۰	۱	۰

شکل (۶): خروجی نمایش جواب بخش سوم



نمودار (۱): مقایسه‌ی جواب‌های روش حل دقیق با روش فراابتکاری



نمودار (۲): مقایسه‌ی مقدار تابع هدف به‌دست آمده در مقاله‌ی یو و اگیلو با الگوریتم شیرمورچه

۴-۵. محاسبه‌ی تابع هدف

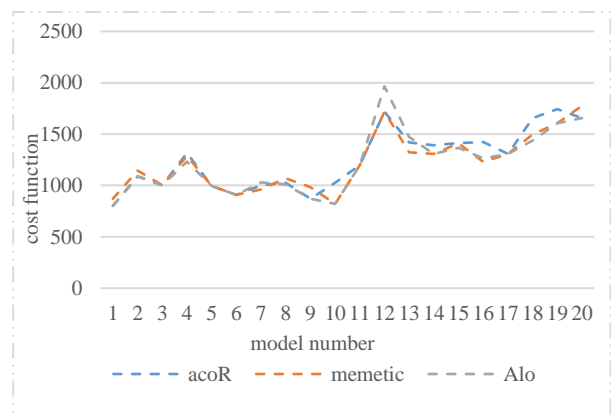
برای رمزگشایی نمایش جواب در الگوریتم پیشنهادی، ابتدا ترتیب

جدول (۶): مقایسه‌ی خروجی الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر

شماره	ابعاد مسأله	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
۲۱	R=10, J=9, K=10	۲۳/۵۱	۶۸۴۳	۲۱/۱۸	۶۵۲۷	۴/۶۲	۷۱۱۹
۲۲	R=16, J=15, K=1	۲۸/۱۰	۶۲۱۱	۳۵/۸۴	۵۷۱۷	۷/۶۸	۷۳۶۲
۲۳	R=12, J=15, K=15	۳۴/۶۷	۸۵۱۸	۳۳/۹۴	۸۶۴۱	۷/۰۵	۱۱۲۹۰
۲۴	R=15, J=15, K=15	۳۷/۸۰	۵۸۵۹	۳۸/۲۵	۵۵۲۸	۷/۹۴	۷۲۸۴
۲۵	R=16, J=17, K=18	۴۳/۲۶	۹۸۴۵	۴۶/۲۲	۹۰۹۸	۹/۴۵	۱۰۵۷۱
۲۶	R=16, J=16, K=20	۴۱/۷۳	۱۰۳۷۳	۴۶/۸۳	۱۰۲۴۰	۹/۴۶	۱۲۸۵۰
۲۷	R=19, J=16, K=15	۴۴/۹۱	۷۲۳۳	۴۴/۸۲	۶۸۸۰	۹/۴۷	۹۲۸۹
۲۸	R=18, J=19, K=16	۴۸/۱۸	۹۰۹۴	۵۰/۷۹	۸۳۷۴	۱۰/۴۹	۱۰۱۵۱
۲۹	R=20, J=20, K=18	۵۳/۰۱	۱۰۱۲۲	۵۹/۳۵	۱۰۶۸۸	۱۱/۸۳	۱۲۵۷۴

بارگیری همزمان در شرایط تصادفی است که در آن کامیون ورودی به‌عنوان کامیون خروجی نیز می‌تواند استفاده شود. در شرایط تصادفی زمان‌بندی کامیون‌ها نقش مهمی را در سیستم تخلیه‌ی بارگیری همزمان ایفا می‌کند. این کار مزایایی چون کاهش زمان تخلیه‌ی بارگیری و کاهش هزینه‌های اجاره‌ی کامیون را به‌همراه دارد. همچنین در جهت نزدیک‌تر کردن مطالعات نظری این مسأله به جهان واقعی، امکان استفاده از کامیون ورودی به‌عنوان کامیون خروجی و عملکرد الگوریتم نسبتاً جدید ALO مورد بررسی قرار گرفته شد. پس از طراحی مدل ریاضی، تأثیر میزان بهبود در عملکرد باتوجه به زمان جابه‌جایی کامیون از صف ورودی به صف خروجی بررسی شده و مشاهده شد که تا حد قابل قبولی این رویکرد می‌تواند تأثیر مثبت در کل زمان عملیات داشته باشد. باتوجه به این‌که این مدل در دنیای واقعی ممکن است به‌صورت روزانه مورد استفاده قرار گیرد، این‌که در زمان قابل قبولی بتوان به جواب قابل قبولی دست یافت، اهمیت ویژه‌ای دارد که به‌منظور دستیابی به جواب مناسب برای حل مدل ریاضی و مشخص کردن اعتبار و صحت مدل‌سازی از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز در سائزهای پایین و در سائزهای متوسط و بالا که نرم‌افزارهای بهینه‌سازی قادر به یافتن جواب بهینه نیستند از نرم‌افزار متلب و الگوریتم‌های فراابتکاری شیرمورچه، ممتیک و کلونی مورچگان برای

جدول (۶) مشخص می‌کند که نه‌تنها الگوریتم ALO در مثال -هایی 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. این نتایج در نمودار (۳) نشان داده شده است.



نمودار (۳): مقایسه‌ی الگوریتم‌های ارائه شده

۵. نتیجه‌گیری

مسأله‌ای که مقاله حاضر به مطالعه آن پرداخته، حالتی از تخلیه‌ی

- [14] Vahdani B, others, (2019). Assignment and scheduling trucks in cross-docking system with energy consumption consideration and trucks queuing. *J Clean Prod*, 213:21–41.
- [15] Ahmadizar F, Zeynivand M, Arkat J, (2015). Two-level vehicle routing with cross-docking in a three-echelon supply chain: A genetic algorithm approach. *Appl Math Model*, 39(22):7065–81.
- [16] Chen F, Song K, (2009). Minimizing makespan in two-stage hybrid cross docking scheduling problem. *Comput Oper Res*, 36(6):2066–73.
- [17] Dondo R, Cerdá J, (2015). The heterogeneous vehicle routing and truck scheduling problem in a multi-door cross-dock system. *Comput & Chem Eng*, 76:42–62.
- [18] Wisittipanich W, Hengmeechai P, (2017). Truck scheduling in multi-door cross docking terminal by modified particle swarm optimization. *Comput Ind Eng*, 113:793–802.
- [19] Yu W, Egbelu PJ, (2008). Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage. *Eur J Oper Res*, 184(1):377–96.
- [20] Moghadam SS, Ghomi SMTF, Karimi B, (2014). Vehicle routing scheduling problem with cross docking and split deliveries. *Comput Chem Eng*, 69:98–107.
- [21] Kim BS, Joo CM, (2015). Scheduling Trucks in Multi-Door Cross Docking Systems: An Adaptive Genetic Algorithm with a Dispatching Rule. *Asia-Pacific J Oper Res*, 32(03):1550016.
- [22] Bodnar P, de Koster R, Azadeh K, (2015). Scheduling trucks in a cross-dock with mixed service mode dock doors. *Transp Sci*, 51(1):112–31.
- [23] Vincent FY, Jewpanya P, Redi AANP, (2016). Open vehicle routing problem with cross-docking. *Comput Ind Eng*, 94:6–17.
- [24] Zarandi MHF, Khorshidian H, Shirazi MA, (2016). A constraint programming model for the scheduling of JIT cross-docking systems with preemption. *J Intell Manuf*, 27(2):297–313.
- [25] Cota PM, Gimenez BMR, Araújo DPM, Nogueira TH, de Souza MC, Ravetti MG, (2016). Time-indexed formulation and polynomial time heuristic for a multi-dock truck scheduling problem in a cross-docking centre. *Comput Ind Eng*, 95:135–43.
- [26] Grangier P, Gendreau M, Lehuédé F, Rousseau L-M, (2017). A matheuristic based on large neighborhood search for the vehicle routing problem with cross-docking. *Comput Oper Res*, 84:116–26.
- [27] Enderer F, Contardo C, Contreras I, (2017). Integrating dock-door assignment and vehicle routing with cross-docking. *Comput Oper Res*, 88:30–43.
- [28] Serrano C, Delorme X, Dolgui A, (2017). Scheduling of truck arrivals, truck departures and shop-floor operation in a cross-dock platform, based on outbound trucks loading plan.
- [29] Motaghedi-Larijani A, Aminnayeri M, (2017). Optimizing the admission time of outbound trucks entering a cross-dock with uniform arrival time by considering a queuing model. *Eng Optim*, 49(3):466–80.
- [30] Maknoon Y, Laporte G, (2017). Vehicle routing with cross-dock selection. *Comput Oper Res*, 77:254–66.
- [31] Nassief W, Contreras I, Jaumard B, (2018). A comparison of formulations and relaxations for cross-dock door assignment problems. *Comput Oper Res*, 94:76–88.
- [32] Mirjalili S, (2015). The ant lion optimizer. *Adv Eng Softw*, 83:80–98.
- حل مدل ریاضی استفاده شد. نتایج از قابل استفاده بودن پیشنهاد طرح شده و کارایی خوب الگوریتم شیرمورچه در حل این مسأله حاکی است.
- طراحی مدل ریاضی برای این مسأله با در نظر گرفتن چندین درب، آزمودن عملکرد الگوریتم ALO در سایر مسائل بهینه‌سازی و بررسی دقیق‌تر عملکرد آن، ارائه‌ی روش‌هایی برای عملی کردن ایده‌ی این پژوهش و ترکیب مسأله‌ی زمان‌بندی موردنظر در این پژوهش با مسأله‌ی مسیریابی وسیله‌ی نقلیه به‌منظور برنامه‌ریزی جامع‌تر و بهبود عملکرد سیستم تخلیه‌ی بارگیری هم‌زمان می‌توانند روندی برای تحقیقات آینده این مسأله به‌شمار آیند.
- ### مراجع
- [1] Bartholdi JJ, Gue KR. The best shape for a crossdock, (2004). *Transp Sci*, 38(2):235–44.
- [۲] محتشمی ع، نجفی ع، امیری م، ایرج پور ع، (۱۳۹۸). طراحی مدل ریاضی مسیریابی سبز در سیستم‌های بارانداز متقاطع چندگانه با رویکرد کاهش گاز دی‌اکسیدکربن. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۷(۱۴)، ۷۷–۵۹.
- [3] Gaudio M, Monaco MF, Sammarra M, (2021). A Lagrangian heuristics for the truck scheduling problem in multi-door, multi-product Cross-Docking with constant processing time. *Omega*, 101:102255.
- [4] Chargui T, Bekrar A, Reghioui M, Trentesaux D, (2020). Scheduling trucks and storage operations in a multiple-door cross-docking terminal considering multiple storage zones. *Int J Prod Res*, 1–25.
- [5] Ladier A-L, Alpan G, (2016). Cross-docking operations: Current research versus industry practice. *Omega*, 62:145–62.
- [6] Ghobadian E, Tavakkoli-Moghaddam R, Javanshir H, Naderi-Beni M, (2012). Scheduling trucks in cross docking systems with temporary storage and dock repeat truck holding pattern using GRASP method. *Int J Ind Eng Comput*, 3(5):777–86.
- [7] Stalk G, Evans P, Shulman LE, (1992). Competing on capabilities: The new rules of corporate strategy. *Harv Bus Rev*, 70(2):57–69.
- [8] Apte UM, Viswanathan S, (2000). Effective cross docking for improving distribution efficiencies. *Int J Logist*, 3(3):291–302.
- [9] Barbarosoglu G, Ozgur D, (1999). A tabu search algorithm for the vehicle routing problem. *Comput Oper Res*, 26(3):255–70.
- [۱۰] افشارپور ب، ربانی م، (۱۳۹۹). مسأله‌ی مسیریابی خودرو باز با بارانداز متقاطع و تحویل‌های دوگانه. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۸(۱۷).
- [11] Brockman T, (1999). 21 warehousing trends in the 21st century. *IIE Solut*, 31(7):36–41.
- [12] Mousavi SM, Vahdani B, (2019). Cross-docking location selection in distribution systems: a new intuitionistic fuzzy hierarchical decision model. *Int J Comput Intell Syst*, 9(1):91–109.
- [13] Vahdani B, Shahramfard S, (2019). A truck scheduling problem at a cross-docking facility with mixed service mode dock doors. *Eng Comput*.



DOI: 10.22084/IER.2021.21256.1947

Integration and Direct Transport in Simultaneous Load Unloading Systems Under Random Conditions Using Metaheuristic Algorithms

S. Gozalzadeh¹, Z. Khalilpour², M. Yousefinezhadattari^{2*}

¹ M.Sc., Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kurdistan University, Sanandaj, Iran.

² M.Sc., Department of Industrial Engineering, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran.

³ Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 March 2020

Accepted 16 August 2020

Keywords:

Direct shipment
Cross docking
Truck scheduling

ABSTRACT

In warehousing, products are collected from suppliers by incoming trucks and then transported to customers by outgoing trucks by unloading the load simultaneously. In case of accident, the timing of trucks plays an important role in the simultaneous loading unloading system. In this study, a case of simultaneous unloading in random conditions has been investigated in which the incoming truck can also be used as an output truck. This has the advantage of reducing unloading, loading and rental costs. In order to investigate this state of the problem, a mathematical model has been developed in order to obtain the appropriate answer to solve the mathematical model and to determine the validity and accuracy of modeling from gams optimization software in low and medium and high sizes that optimization software can finding the optimal answer matlab software and ant meta-algorithms of ant lion, memetic and ant colony have been used to solve the mathematical model. The results indicate the usability of the proposed proposal and the good efficiency of the anthill algorithm in solving this problem.

* Corresponding author. M. Yousefinezhadattari
Tel.: 041-37763800; E-mail address: mahdi_108108@yahoo.com