فصلنامه علمی جاده، سال نوزدهم، شماره ۱۰۷، دوره دوم، تابستان ۱۴۰۰

ارایه یک مدل ریاضی برای زمانبندی وسایل نقلیه در سیستم‌های انبار متقاطع چندگانه

مقاله پژوهشی

فاطمه افراسیابی، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
رامین صادقیان*، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
فرناز ترابی یگانه، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sadeghian@pnu.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۹/۲۷- پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۴
صفحه ۱۸-۱

چکیده

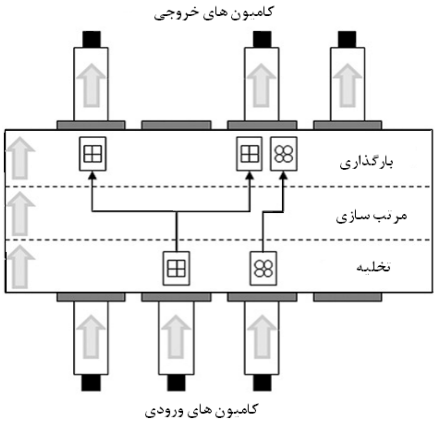
این مقاله، بر روی زمانبندی وسایل حمل و نقل در یک مدل جامع تمرکز دارد. هدف از این تحقیق بررسی حوزه‌ای از مدیریت عملیات در سیستم‌های انبار متقاطع شامل ورود و خروج کامیون‌ها، دریافت و حمل اقلام از انبارها است. یک مدل چند هدفه با اهداف کمینه‌کردن مجموع هزینه‌های عملیاتی به همراه بیشترین توان عملیاتی سیستم انبار متقاطع و مجموع کل زمان عملیات‌ها ارائه شده است. هم‌چنین به‌منظور نزدیکی هر چه بیشتر مدل با شرایط واقعی، انبار متقاطع چندگانه فرض شده است. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط با اهداف چندگانه برای زمانبندی باراندازها با توجه به محدودیت در ظرفیت پیشنهاد شده و به‌منظور حل مدل ارائه شده از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب کنترل شده استفاده شده است. هدف از طراحی روش فوق، دستیابی هر چه بیشتر به جواب‌های بهینه سراسری یا پارتو است. جهت همگرایی سریع‌تر الگوریتم از روش تاگوچی برای تنظیم پارامترها استفاده شده است. در نهایت نتایج حاصل از حل مدل ارائه و تفسیر شده است.

واژه‌های کلیدی: زمانبندی، وسایل نقلیه، انبار متقاطع چندگانه، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب کنترل شده

۱-مقدمه

در دنیای امروز، توزیع، اصلی‌ترین موضوع در کارایی بالای عملیات است، به‌طوری که شرکت‌ها از طریق کاهش موجودی در هر مرحله از عملیات توزیع، هزینه‌های خود را کاهش می‌دهند. از آن‌جا که مشتریان، متقاضی بهترین سرویس‌ها هستند و با توجه به این‌که سی درصد هزینه‌های هر کالا مربوط به فرایند توزیع آن‌ها است؛ لذا شرکت‌های بسیاری در حال تلاش برای توسعه استراتژی‌های توزیع خود جهت دستیابی به مدیریت کارامد جریان مواد هستند. یکی از راه‌های برآورده‌سازی این خواسته‌ها حمل به موقع و دقیق است. سیستم توزیع فیزیکی به شکل یک شبکه است. شبکه‌ای که به صورت سنتی برای توزیع کالا استفاده شده و دارای ارتباطات مستقیم بین نقاط تولید و نقاط مصرف است. این نوع شبکه‌های حمل و نقل منجر به تعداد زیادی ارتباط حمل و نقلی می‌شوند که استفاده نامناسب وسایل حمل و نقل و تناوب کم حمل در حالت‌هایی که میزان بار هر ارسال کم است را در پی دارد. یکی از راه‌کارهایی که برای افزایش سودآوری در شبکه‌های حمل و نقل پیشنهاد می‌شود، طراحی شبکه‌ای است که شامل مسیرهای به هم پیوسته باشد و استفاده از نقاطی برای تجمیع کالا که تا جایی که ممکن است، محموله‌ها را با هم یکی کنند. به طور کلی عملیات هر یک از مراکز توزیع شامل پنج وظیفه اساسی است: دریافت، طبقه بندی، ذخیره‌سازی، بازیافت و حمل. در صورتی‌که هر

یک از این عملیات به صورت کامل انجام گیرند، باعث کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری می‌شوند. انبارهای متقاطع توانایی حذف ذخیره‌سازی‌ها و بازیافت‌ها را دارند؛ دو عاملی که از جمله عملیات‌های پر هزینه انبارداری به‌شمار می‌روند (کشتزاری، ۱۳۹۱). در انبارهای متقاطع، کالاها به شکل پیوسته از تولیدکنندگان مختلف به انبار وارد می‌شوند و پس از سازمان‌دهی و مسیریابی براساس تقاضای مشتری، در کمترین زمان ممکن (با کمترین جابه‌جایی و بدون ذخیره‌سازی) با وسایل حمل به خرده فروشان تحویل داده می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱. نحوه تحویل کالا به مشتری

یک سیستم انبار متقاطع به طور معمول عملیات زیر را شامل می‌شود:

۱- ورود محصولات به مراکز توزیع و تایید اقلام رسیده در برخی از سیستم‌های انبار متقاطع محصولات بر اساس وزن و اندازه

۲- طبقه‌بندی محصولات بر اساس یک سیستم، و قرارگیری آن‌ها در جای مناسب بر اساس نیازمندی‌های مقاصد

۳- اعزام کامیون‌های ارسال به مقاصد

از مزیت‌های این سیستم افزایش گردش موجودی، کاهش فضای مورد نیاز برای انبارش، کاهش هزینه‌های کارگری و افزایش سرعت پاسخ‌گویی به مشتری است.

در دنیای واقعی ذینفعان زنجیره تامین به دنبال کاهش هزینه و افزایش سود هستند، در این‌جا به حداقل سازی هزینه عملیات زمانبندی ماشین‌ها و جابجایی کالاها، که سهم زیادی در کاهش کل هزینه های انبار متقاطع دارد، پرداخته شده است. در واقع با در نظر گرفتن این تابع هدف سعی شده است که مساله مورد بررسی به مسائل دنیای واقعی نزدیک تر شده و بهره‌وری سیستم انبارداری متقاطع افزایش یابد. هر روزه به‌دنبال راه حل‌های جدید و بهتری برای این مسائل باشند.

۲-پیشینه تحقیق

پیشینه تحقیقاتی انبار متقاطع از دیدگاه استراتژیک.

مسائل مکانیابی و مسیریابی به‌منظور پیدا کردن مکان و تعداد مناسب تسهیلات و مسیرهای توزیع توسط وسایل نقلیه تعریف می‌شوند(2015). مدل‌های ترکیبی مکانیابی و مسیریابی کامیون‌ها در انبار متقاطع برای اولین بار توسط سانگ و سونگ (2003) مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیق آن‌ها یک مسأله طراحی شبکه‌ی خدمات یکپارچه برای مجموعه محموله‌های تقاضا مرتبط با مکانیابی انبارهای متقاطع و تخصیص وسایل نقلیه به مسیرها از گره مبدا به انبارهای متقاطع و از انبارهای متقاطع به گره‌های مقصد، در نظر گرفته شده و یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی برای آن ارائه و با استفاده از الگوریتم فراابتکاری جستجوی ممنوعه حل شده است. گوموس و بوکبیندر (2004) با استفاده از دو نرم‌افزار LINDO وCPLEX، سیاست‌های حمل و نقل بهینه و مکانیابی انبارهای متقاطع در زنجیره تأمین را تعیین نمودند. جایارامن و راس (2003) بر تخصیص کالاها و مسیریابی وسایل حمل و نقل برای انبار متقاطع تمرکز کردند و به دنبال پیداکردن یک تخصیص بهینه‌ی کامیون‌ها به درها و نظم بخشیدن به کامیون‌ها با توجه به محیط انبار متقاطع بودند. کنور و گلیاس(2013) به کمک

الگوریتم ژنتیک یک ترتیب مناسب برای کامیون‌ها مشخص کردند؛ به این صورت که زمان رسیدن کامیون‌ها مشخص نبود. مورایس و موتوس(2014) مسائل زمانبندی وسایل نقلیه در انبار متقاطع را بررسی کردند. آن‌ها به بررسی مجموعه‌ای از مسیرها که مطابق با تقاضاهای محصولات برای مجموعه‌ای از تامین‌کنندگان و مشتریان باشد، پرداختند. وسایل نقلیه از انبار متقاطع به سوی تامین‌کنندگان ارسال می‌شوند و کالاهای خود را به انبار حمل می‌کنند و کالاها را قبل از ارسال به مشتری آماده ارسال می‌کنند. مسیرهای انتخاب شده باید محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه و محدودیت زمانی را در نظر بگیرند. سپس با استفاده از یک روش اکتشافی و چند روش دیگر با توجه به محدودیت‌ها به حل مساله پرداختند. پیشینه تحقیقاتی انبار متقاطع از دیدگاه عملیاتی. یکی از اولین مقالات فنی در سیستم‌های انبار متقاطع توسط ورز(1994) انجام شده است. وی به این موضوع اشاره کرده است که یک مرکز توزیع می‌تواند به یک مرکز پویا و هوشمند تغییر کند. روهرر (1995) در مورد روش‌های مدل‌سازی و مسائل کاربردی در سیستم‌های انبار متقاطع بحث کرده است. وی هم‌چنین توضیح داده که چگونه می‌توان از طریق اجرای استراتژی‌های مدیریت شکست و تعیین تنظیمات سخت افزارها و نرم‌افزارهای کنترلی به موفقیت در طراحی سیستم‌های انبار متقاطع رسید. موشیو (1998) مساله انتخاب و تحویل را به عنوان یک مساله مسیریابی وسایل حمل و نقل در نظر گرفت و یک مدل ریاضی برای کمینه‌سازی هزینه‌های حمل و نقل و حداکثرسازی کارایی آن‌ها توسعه داد. سپس دو الگوریتم اکتشافی برای پیدا کردن یک راه حل مناسب در زمان معقول ارائه کرد. وی مقاله‌ای در خصوص VRP ارائه نموده، که در این مقاله مشتریان به دو دسته‌ی مشتریان متقاضی و مشتریان تأمین کننده تقسیم شده‌اند. مسیر مورد نیاز مشتریان متقاضی از انبار به مشتریان تأمین‌کننده و مسیر مورد نیاز مشتریان تأمین‌کننده، بهترین مسیر جهت ارسال کالاها به متقاضیان در نظر گرفته شده است. آپت و ویسواناتان (2000) چارچوبی را برای درک طراحی سیستم‌های انبار متقاطع پیشنهاد دادند که شامل تکنیک‌هایی برای افزایش کارایی شبکه‌های توزیع و تدارکات است. این تکنیک‌ها از بررسی و مطالعه مقالات گذشته و تحقیقات عملی در انبارها پس از چندین شکست به‌دست آمده است. آن‌ها ایده‌ای مرتبط با ساختارشبکه‌های انبارداری با استفاده از طراحی فیزیکی و جریان اطلاعاتی و سیستم‌های مدیریتی ارائه دادند. یو (2002) مساله انبار متقاطع را تحت فرض‌های مختلف بررسی کرد و یک مدل با فرض این‌که یک محل برای ذخیره‌سازی موقت وجود دارد را ارائه داد. در مدل پیشنهادی او کامیون‌های ارسال و دریافت به‌طور متناوب وارد انبار می‌شوند و محل ذخیره‌سازی موقت با ذخیره‌سازی محموله‌های ارسالی، تحویل محموله‌های بیشتری را فراهم می‌آورد. کامیون‌هایی که مسئول ارسال کالاها هستند با استفاده از این ذخیره‌ها به تامین نیاز محصولات بیشتری برای مشتریان نهایی می‌پردازند. یو و اگبلو (2008) نه روش ابتکاری برای این مساله ارائه دادند. یو از الگوریتم جست‌وجوی ممنوعه برای حل مسائل استفاده کرد. او دو روش ترکیبی و فرا ابتکاری دیگر نیز پیشنهاد داد که به طور موثری می‌توانند برای حل مسائل انبار متقاطع به‌کار برده شوند. در تحقیق اگوستینا و لی (2010) عملیات انبار متقاطع شامل تخصیص محصولات (انتخاب محصولاتی که باید از تسهیلات انبار متقاطع عبور کنند)، طراحی انبار، اختصاص مبدا کالاها به درهای ورودی و درهای خروجی به مقصد نهایی، مسیریابی وسایل انبار متقاطع، حمل محصولات از درهای ورودی به درهای خروجی و زمانبندی انبار متقاطع (زمانبندی کامیون‌های ورودی به درهای ورودی برای تخلیه یا زمانبندی کامیون‌های خروجی به درهای خروجی برای بارگیری) در نظر گرفته شده بود. آلپن و لاربی (2011) مساله زمانبندی کامیون‌ها را در نظر گرفتند که در آن تابع هدف با زمان ارتباطی ندارد؛ به این معنی که ترتیب تخلیه و بارگیری کامیون‌ها می‌تواند به یک ترتیب نباشد. هم‌چنین چندین الگوریتم ابتکاری برای رسیدن کامیون‌ها ارائه دادند. در نهایت آن‌ها به منظور ارزیابی عملکرد روش‌های ابتکاری نتایج به‌دست آمده را با راه حل بهینه مقایسه کردند. جان وان و همکاران(2013) به بررسی مساله کامیون‌های ورودی و خروجی با انبار متقاطعی که شامل چند در است، پرداختند و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای وسائل نقلیه ارائه دادند و از الگوریتم جست‌وجوی ممنوعه برای حل مسائل استفاده کردند. دوندو و سردا (2014) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی

برای برنامه‌ریزی سیستم‌های انبار متقاطع و تصمیم‌گیری در مورد تخصیص در به کامیون‌ها ارائه دادند. مدل آنها جواب‌هایی نزدیک به راه حل بهینه داشت. با بررسی ادبیات موضوع و شناخت شکاف‌های تحقیقاتی در ادامه به ارائه یک مدل چند هدفه یا در نظر گرفتن انبار متقاطع چندگانه پرداخته می‌شود.

توسعه فرضیه‌ها و الگوی مفهومی

در این بخش مساله زمانبندی کامیون‌ها در انبار متقاطع با دو هدف کمینه‌سازی زمان و هزینه و با در نظرگیری مکان ذخیره موقت مدل‌سازی شده است. مدل عدد صحیح مختلط ارائه شده برای انبار متقاطع با M سکوی ورودی و N سکوی خروجی در ادامه تشریح می‌گردد. در این مدل الگوی ورود و خروج ماشین‌های حمل، ایستا در نظر گرفته شده است؛ به این معنی که هر ماشین پس از ورود به سکو (بار انداز) عملیات بارگیری یا تخلیه را به‌طور کامل انجام داده و سپس از سکو خارج می‌شود.

مفروضات

در این بخش ابتدا مفروضات مدل بیان شده و سپس پارامترها و متغیرهای به‌کار رفته در مدل معرفی خواهند شد.

- انبار متقاطع می‌تواند هم‌زمان عملیات دریافت و ارسال را انجام دهد. در نتیجه کلیه کالاهای وارده به محض امکان ارسال می شوند.
- کلیه ماشین‌های حمل ارسال و دریافت در زمان صفر در دسترس هستند.
- تمامی کالاهای رسیده باید ارسال شوند. انبار کردن دراز مدت جایز نیست.
- تعداد کالاهای رسیده از یک نوع با تعداد کالاهای ارسال شده از همان نوع برابر است (برای همه‌ی انواع کالاها).
- ترتیب و توالی تخلیه کالاهای مختلف از ماشین‌ها می‌تواند متفاوت در نظر گرفته شود. مثلا اگر ماشینی شامل ۳ نوع محصول Aو Bو C باشد؛ ترتیب تخلیه کالاها می‌تواند Aو Cو B یا Bو Aو C و یا ترکیب‌های دیگر این سه نوع محصول باشد.
- کالاها قابلیت جابجایی دارند بدین معنی که محصولی از یک نوع خاص بدون در نظرگیری مقصد ماشین ارسال، می‌تواند در یک یا چند ماشین ارسال بارگیری شود. به عنوان مثال کالای نوع A که از ماشین دریافت تخلیه شده است می‌تواند در یک یا چند ماشین ارسالی که به محصول نوع A احتیاج دارند، قرار گیرد.
- این امکان وجود دارد که فقط تعداد مورد نیاز از هر نوع کالا را تخلیه کرد. به بیان دیگر با فرض در دسترس بودن کلیه کالاهای باز شده در ماشین دریافت می‌توان فقط بخشی از کالاهایی که مورد نیاز است را در هر موقعیت تخلیه کرد.
- ماشین دریافت باید فورا کلیه کالاهای باز شده خود را تخلیه کند. بدین معنی که به محض ورود ماشین دریافت به سکوی دریافت، تمام یا بخشی از کالاهایی که قابلیت انتقال به ماشین‌های ارسال موجود در سکوهای ارسال را دارند از ماشین دریافت تخلیه و در ماشین‌های ارسال بارگیری می‌شوند و کالاهایی که قابلیت بارگیری در ماشین‌های موجود در سکوهای ارسال را ندارند بر روی مکان ذخیره موقت بارگیری خواهند شد.
- در یک زمان تنها یک نوع از محصول را می توان در یک ماشین ارسال بارگیری کرد. به بیان دیگر بارگیری هم زمان محصولات، از ماشین‌های دریافت مختلف و یا مکان دخیره موقت موجودی، امکان پذیر نیست.
- عملیات داخل انبار از جمله اسکن کردن، برچسب گذاری، وزن کردن، مرتب کردن در نظر گرفته نشده است. در نتیجه کالاها به همان ترتیبی که دریافت شده اند به سکوهای خروجی می‌رسند.
- هر نوع کالا زمان بارگیری یا تخلیه مخصوص به خود را دارد.
- زمان بارگیری هر کالا با زمان تخلیه آن کالا برابر است.
- زمان جابجایی کالاها داخل انبار متقاطع، ثابت فرض شده است و به نوع و مقدار جابه‌جا شده از کالاها بستگی ندارد. ولی به ازای فاصله سکوهای ارسال از سکوهای دریافت و هم‌چنین فاصله از مکان ذخیره موقت، متفاوت خواهد بود.
- زمان تاخیر که همان مدت زمان لازم جهت خارج شدن ماشین از سکو و جایگزینی با ماشین بعدی است، برای کلیه ماشین‌های دریافت و ارسال یکسان است.
- محدودیتی برای مدت زمان بارگیری و تخلیه ماشین‌ها در سکوهای ارسال و دریافت وجود ندارد، ماشین‌های ارسال و دریافت می‌توانند تا زمانی که فعالیت بارگیری و تخلیه آن‌ها تکمیل شود در سکوها توقف کنند ولی به محض اینکه فرایند بارگیری و تخلیه کامل شد باید سکو را ترک کنند.

- تنها یک مکان ذخیره موقت موجودی با ظرفیت محدود در انبار موجود است.
- مکان ذخیره موقت موجودی نزدیک سکوهای دریافت است؛ در نتیجه زمان جابجایی کالاها از سکوهای دریافت به مکان ذخیره موقت ناچیز است و از آن صرف نظر می‌شود.
- از آن‌جا که فاصله هر سکوی دریافت تا سکوهای ارسال و فاصله مکان ذخیره موقت تا سکوهای ارسال متفاوت است و هم‌چنین با توجه به اینکه جابجایی کالاها از سکوی دریافت به سکوی ارسال و از سکوی دریافت به مکان ذخیره موقت و از مکان ذخیره موقت به سکوهای ارسال با توجه به نوع کالای حمل شده، متفاوت است، در نتیجه هزینه جابجایی هر نوع کالا از سکوهای دریافت به ارسال و از سکوی دریافت به مکان ذخیره موقت و از مکان دخیره موقت به سکوی ارسال متفاوت خواهد بود.

پارامترها و متغیرها

جدول ۱. مجموعه‌ها، اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل

مجموعه‌ها
R = تعداد ماشین دریافت
S = تعداد ماشین ارسال
M = تعداد سکوهای دریافت
N = تعداد سکوهای ارسال
P = انواع کالاها
اندیس‌ها
i = شمارنده ماشین‌های دریافت
j = شمارنده ماشین‌های ارسال
k = شمارنده کالاها
m = شمارنده سکوی دریافت
n = شمارنده سکوی ارسال
پارامترها
P_{ik}^{r} = تعداد کالاهای نوع k که به صورت پیش فرض درون ماشین دریافت i بار شده اند.
P_{jk}^{s} = تعداد کالاهای نوع k که لازم است در ماشین ارسال j بارگیری شوند.
h_k = زمان بارگیری (تخلیه) یک واحد کالا از نوع k
W_{mn} = زمان جابجایی کالاها از سکوی دریافت m به سکوی ارسال n (برای هر مقدار کالا و از هر نوع)
W_n^{FS}= مدت زمان جابجایی کالاها از مکان ذخیره موقت به سکوی ارسال n
C_k^{D} = هزینه جابجایی کالا نوع k بطور مستقیم از سکوی دریافت به سکوی ارسال
C_k^{TS} = هزینه جابجایی کالای نوع k از سکوی دریافت به محل ذخیره موقت
C_k^{FS} = هزینه جابجایی کالای نوع k از مکان ذخیره موقت به سکوی ارسال
D = مدت زمان تعویض (جابجایی) ماشین ها در سکو ها
Q= عدد مثبت بسیار بزرگ
متغیر تصمیم
X_{ijk}^{D} = تعداد کالاهای نوع k که از ماشین دریافت i مستقیما به ماشین ارسال j جابجا می‌شوند.
X_{ik}^{TS}= تعداد کالاهای نوع k که از ماشین دریافت i به مکان ذخیره موقت جابجا می‌شوند.

X_{jk}^{FS} =تعداد کالاهای نوع k که از مکان ذخیره موقت به ماشین ارسال j جابجا می‌شوند.

t_{ij}= اگر کالایی از ماشین دریافت i به ماشین ارسال j جابه‌جا شود برابر یک و در غیر این‌صورت صفر خواهد بود.

Pij= اگر ماشین دریافت i برماشین دریافت j در توالی ماشین‌های دریافت پیشی بگیرد؛ برابر یک و در غیر این‌صورت صفر خواهد بود.

q_{ij} = اگر ماشین ارسال i بر ماشین ارسال j در توالی ماشین‌های ارسال پیشی بگیرد؛ برابر یک و در غیر این‌صورت صفر خواهد بود.

A_{im}^{r} = اگر ماشین دریافت i به سکوی دریافت m تخصیص یابد؛ برابر یک و در غیر این‌صورت صفر خواهد بود.

A_{jn}^{s} = اگر ماشین ارسال j به سکوی ارسال n تخصیص یابد؛ برابر یک و در غیر این‌صورت صفر خواهد بود.

Z_j = اگر از مکان ذخیره موقت به ماشین ارسال j کالا جابه‌جا شود؛ برابر یک و در غیر این‌صورت صفر خواهد بود.

d_{im}^{r} = زمانی که ماشین دریافت i وارد سکوی دریافت m شود.

L_{im}^{r} =زمانی که ماشین دریافت i سکوی دریافت m را ترک کند.

D_{jn}^{s} = زمانی که ماشین ارسال j وارد سکوی ارسال n شود.

L_{jn}^{s} = زمانی که ماشین ارسال j سکوی ارسال n را ترک کند.

T = زمان تکمیل

مدل ریاضی. مدل دوهدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مساله زمانبندی ماشین‌ها در انبار متقاطع چندگانه به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Min \quad Z_1 = T \tag{۱}$$

$$Min \quad C_T = \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S}\sum_{k=1}^{P} C_k^D x_{ijk}^D + C_k^{TS} x_{ik}^{TS} + C_k^{FS} x_{jk}^{FS} \tag{۲}$$

$$T \geq L_{jn}^s \qquad for\ all\ \ j = 1,2,\dots,S \quad n = 1,2,\dots,N \tag{۳}$$

$$\sum_{m=1}^{M} H\, A_{im}^r = 1 \qquad i = 1,2,\dots,R \tag{٤}$$

$$\sum_{i=1}^{R} H\, A_{im}^r \geq 1 \qquad m = 1,2,\dots,M \tag{٥}$$

$$\sum_{n=1}^{N} H\, A_{jn}^s = 1 \qquad j = 1,2,\dots,S \tag{٦}$$

$$\sum_{j=1}^{S} H\, A_{jn}^s \geq 1 \qquad n = 1,2,\dots,N \tag{٧}$$

$$\sum_{i=1}^{R} H\, X_{ijk}^D + X_{jk}^{FS} = P_{jk}^s \quad j = 1,\dots,S \quad k = 1,..,P \tag{٨}$$

$$\sum_{j=1}^{S} H\, X_{ijk}^D + X_{jk}^{FS} = P_{jk}^s \quad i = 1,\dots,R \quad k = 1,\dots,P \tag{٩}$$

$$\sum_{i=1}^{R} H\, X_{ik}^{TS} = \sum_{j=1}^{S} X_{jk}^{FS} \qquad k = 1,2,\dots,P \tag{۱۰}$$

$$X_{ijk}^D \leq Q t_{ij} \quad i = 1,\dots,R \quad j = 1,\dots,S \quad k = 1,\dots,P \tag{۱۱}$$

$$L_{im}^r \geq d_{im}^r + A_{im}^r \sum_{i=1}^{R} P_{ik}^r h_k \quad i = 1,\dots,R \quad m = 1,\dots,M \tag{۱۲}$$

$$D_{jm}^r \geq L_{im}^r + D - Q\left(1 - P_{ij}\right) \quad i,j = 1,\dots,R \qquad m = 1,\dots,M \quad i \neq j \tag{۱۳}$$

$$D_{im}^{r} \geq L_{jm}^{r} + D - QP_{ij} \qquad i,j = 1,2,\dots,R \quad m = 1,2,\dots,M \quad i \neq j \tag{۱۴}$$

$$D_{im}^{r} \geq D_{jn}^{r} - Q(1 - A_{im}^{r}) - Q\left(1 - A_{jn}^{r}\right) \quad \underset{i \neq j}{i,j = 1,2,\dots,R} \quad \underset{m \neq n}{m,n = 1,\dots,M} \tag{۱۵}$$

$$P_{ii} = 0 \qquad i = 1,2,\dots,R \tag{۱۶}$$

$$D_{jn}^{s} \geq L_{in}^{s} + D - Q\left(1 - q_{ij}\right) \qquad i,j = 1,2,\dots,S \quad n = 1,2,\dots,N \quad i \neq j \tag{۱۷}$$

$$D_{in}^{s} \geq L_{jn}^{s} + D - Q\, q_{ij} \qquad i,j = 1,2,\dots,S \quad n = 1,2,\dots,N \quad i \neq j \tag{۱۸}$$

$$D_{im}^{s} \geq D_{jn}^{s} - Q\, q_{ij} - Q(1 - A_{im}^{s}) - Q\left(1 - A_{jn}^{s}\right) \quad \underset{i \neq j}{i,j = 1,\dots,S} \quad \underset{m \neq n}{m,n = 1,\dots,N} \tag{۱۹}$$

$$q_{jj} = 0 \qquad j = 1,2,\dots,S \tag{۲۰}$$

$$L_{jn}^{s} = max\left\{D_{jn}^{s}, max\, t_{ij}.D_{im}^{r}\right\} + max\left\{A_{jn}^{s}\, A_{im}^{s}\, t_{ij} W_{mn}\right\} + Z_j W_n^{FS} + 2\sum_{k=1}^{P} P_{jk}^{s}.h_k \tag{۲۱}$$

$$i = 1,2,\dots,R \quad j = 1,2,\dots,S \quad m,= 1,2,\dots,M \quad n = 1,2,\dots,N \quad i \neq j \quad m \neq n$$

$$All\ variable\ \geq 0 \tag{۲۲}$$

در مدل بالا معادلات ۱ و ۲ به‌ترتیب مربوط به توابع هدف کمینه‌سازی زمان تکمیل عملیات و هزینه جابجایی داخل انبار متقاطع هستند. از آن‌جایی که طول مدت اجرای عملیات عبارت است از لحظه‌ای که اولین ماشین دریافت زمانبندی شده جهت تخلیه کالا وارد سکوی دریافت می‌گردد تا زمانی‌که اخرین ماشین ارسال زمانبندی شده سکوی ارسال را ترک می کند؛ لذا حداقل‌سازی زمان اجرای عملیات برابر با کمینه کردن بزرگترین زمان خروج اخرین ماشین ارسال است. رابطه ۳بیانگر این است که زمان تکمیل برابر زمانی است که آخرین ماشین ارسال، سکوی ارسال را ترک کند. رابطه ٤ نشان می‌دهد که هر ماشین دریافت فقط باید به یک سکوی دریافت تخصیص یابد. رابطه ۵ بیان می‌کند که هر سکوی دریافت (به منظور استفاده از کلیه سکوها) حداقل به یک ماشین دریافت تخصیص می‌یابد. این محدودیت در حالتی که تعداد سکوهای دریافت بیشتر از تعداد ماشین‌های دریافت نباشد (M<=R) نیز معتبر است. رابطه ٦ تضمین می کند که هر ماشین ارسال فقط به یک سکوی ارسال تخصیص یابد. رابطه ۷ بیانگر این است که هر سکوی ارسال (به منظور استفاده از کلیه سکوها) باید حداقل به یک ماشین ارسال تخصیص یابد. این محدودیت در حالتی که تعداد سکوهای ارسال بیشتر از تعداد ماشین های ارسال نباشد نیز معتبر است. معادله ۸ رابطه‌ی بین جابجایی محصولات از کلیه‌ی ماشین‌های دریافت و مکان ذخیره موقت به هر ماشین ارسال را نشان می‌دهد. به علاوه این محدودیت مجموع کالاهایی را که از کلیه‌ی ماشین‌های دریافت و مکان ذخیره موقت به ماشین ارسال مورد نظر جابجا می‌شوند را برابر با تعداد کالاهایی که لازم است در ماشین ارسال مورد نظر بارگیری شوند، قرار می‌دهد. هم‌چنین معادله۹ رابطه بین جابجایی محصولات از هر ماشین دریافت و مکان ذخیره موقت را به کلیه ی ماشین‌های ارسال تنظیم می‌کند که این عمل با مساوی قرار دادن تعداد کل کالاهای جابجا شده از هر ماشین دریافت به کلیه ماشین‌های ارسال و مکان ذخیره موقت با تعداد کالاهایی که از ابتدا در ماشین دریافت قرار دارند، بدست می‌آید. مجموع کالاهایی که از ماشین‌های دریافت به مکان ذخیره موقت جابجا می‌شوند باید برابر با مجموع کالاهایی که از مکان ذخیره موقت به کلیه ماشین های ارسال جابجا می‌شوند، باشد که این محدودیت در معادله ۱۰ نشان داده شده است. رابطه ۱۱ یک محدودیت کنترلی است. معادله۱۲بیان می‌کند که در صورت تخصیص ماشین دریافت i به سکوی m، زمانی که ماشین دریافت i سکوی m را ترک می‌کند بزرگتر یا مساوی مجموع زمان ورود ماشین دریافت i به سکوی m و مدت زمان تخلیه کلیه‌ی کالاها از ماشین دریافت است. در خصوص زمان‌های ورود اولین ماشین به سکو، با در نظر گرفتن این نکته که کلیه ماشین‌ها در زمان صفر در دسترس هستند، زمان ورود اولین ماشین‌ها به سکوهای خالی را می‌توان صفر و یا هر عددی به عنوان مبدا زمان در نظر گرفت. رابطه‌های ۱۳ و ١٤ زمان ورود و خروج ماشین‌های دریافت متفاوت را به یک سکوی دریافت یکسان بر اساس ترتیب آن‌ها در توالی ماشین‌های دریافت مشخص می‌کند. معادله ۱۵، رابطه زمان ورود ماشین‌های دریافت متفاوت به سکوهای دریافت متفاوت را بر اساس ترتیب آن‌ها در توالی

ماشین‌های دریافت، بیان می‌کند. معادله ۱۶ تضمین می کند که یک ماشین دریافت نمی‌تواند در توالی ماشین‌های دریافت، بر خود پیشی بگیرد. معادله‌های ۱۷و۱۸ رابطه میان زمان ورود و خروج ماشین‌های ارسال متفاوت را به یک سکوی ارسال یکسان، بر اساس ترتیب آن‌ها در توالی ماشین‌های ارسال، نشان می‌دهند. معادله ۱۹زمان ورود ماشین‌های ارسال مختلف را به سکوهای ارسال متفاوت بر اساس ترتیب آن‌ها در توالی ماشین‌های ارسال مشخص می‌کند. معادله ۲۰ تضمین کننده‌ی این است که یک ماشین ارسال نمی‌تواند در توالی ماشین‌های ارسال بر خود پیشی بگیرد. معادله ۲۱ زمان ترک ماشین ارسال j با توجه به زمان ورودش به سکوی ارسال n را برابر با زمان ورود ماشین‌های دریافتی که از آن‌ها به طور مستقیم کالا می‌گیرد به‌علاوه مدت زمان جابجایی کالاها از مکان ذخیره موقت به سکوی ارسال n و هم‌چنین جابجایی کالاها از سکوهای دریافت متناظر با ماشین‌های دریافت مرتبط با ماشین ارسال j قرار می‌دهد. در واقع این محدودیت تضمین می‌کند که این ماشین ارسال، سکو را زودتر از ماشین‌های دریافتی که کالا بین آن‌ها جابجا شده است، ترک نمی‌کند. معادله ۲۲ بیانگر دامنه متغیرهای تصمیم است.

۲-روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها

الگوریتم‌های تکاملی با شبیه‌سازی قوانین تکامل در طبیعت، روند جستجو را به سمت یافتن جواب بهینه هدایت می‌کنند. در این الگوریتم‌ها برخلاف روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک که در هر تکرار تنها یک پاسخ مورد توجه قرار می‌گیرد؛ مجموعه‌ای از جواب‌ها در روند بهینه‌سازی به‌کار گرفته می‌شود. این الگوریتم‌ها به عنوان ابزارهای بهینه‌سازی در مسائل چندهدفه استفاده می‌شوند(Deb, 2001). در طی چند دهه اخیر، الگوریتم ژنتیک به عنوان روشی جدید در مواجهه با مسائل بهینه‌سازی چندهدفه که تحت عنوان روش‌های تکاملی یا بهینه‌سازی چندهدفه ژنتیک به‌دلیل داشتن پتانسیل بالا، توجه ویژه‌ای می‌شود. ویژگی‌های ذاتی الگوریتم‌های ژنتیک دلیل مناسب بودن این الگوریتم‌ها در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه هستند. از ویژگی‌های اصلی این الگوریتم می‌توان به چندجهته بودن و جستجوی سراسری با حفظ جمعیتی از حل‌های خوب از نسلی به نسل دیگر اشاره کرد. الگوریتم ژنتیک یکی از انواع الگوریتم‌های تکاملی است که جمعیتی از کروموزوم‌ها (جواب‌ها) را به سمت جواب‌های بهتر حرکت می‌دهد. سیر تکاملی اغلب از یک جمعیت تصادفی در اولین نسل (تکرار) شروع می‌شود. در هر نسل، تناسب تمامی کروموزوم‌ها در جمعیت ارزیابی می‌شود. سپس کروموزوم‌ها از جمعیت فعلی (براساس تابع تناسبشان) انتخاب و با استفاده از عملگرهای ژنتیک (ترکیب و جهش) برای تشکیل جمعیت جدید، اصلاح می‌شوند. جمعیت جدید تشکیل شده در تکرار بعدی الگوریتم استفاده می‌شود. اغلب، این فرآیند الگوریتم با رسیدن به حداکثر تکرار متوقف می‌شود. الگوریتم ژنتیک به‌طور گسترده‌ای در مسائل زمانبندی و مسیریابی به‌کار گرفته شده و کارایی آن نسبت به سایر الگوریتم‌ها نشان داده شده است (خدابنده، حجازی و راستی-برزکی، ۲۰۱۳). در این مقاله از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب کنترل شده به عنوان یک روش فراابتکاری برای رسیدن به مجموعه جواب‌های بهینه استفاده شده‌است. controlled NSGA-II توسط دب و گول (2001) ارائه شده که تفاوت آن با NSGA-II این است که در آن از مفهوم غلبه گرایی کنترل شده برای ایجاد نسل بعد استفاده می شود. هدف از طراحی روش فوق، دستیابی هر چه بیشتر به جواب‌های بهینه سراسری یا پارتو است. نتایج محاسباتی به همراه تنظیم پارامترها برای مساله دوهدفه. روش پیشنهادی بر روی گروهی از مسائل اجرا گردیده است. برای افزایش کارایی الگوریتم ارائه شده از روش تاگوچی برای تنظیم پارامترهای الگوریتم استفاده می شود. برای نشان دادن عملکرد مناسب الگوریتم طراحی شده ۵ مساله در قالب مساله نمونه طراحی شده است که داده‌های آن‌ها به صورت جدول در ادامه آورده شده است. **مثال عددی**. در این بخش مجموعه داده‌های ورودی برای یکی از مساله نمونه به عنوان مثال درجدول قابل مشاهده است. داده‌های ورودی سایر مسایل نمونه در ضمیمه آورده شده است. $Q = 1000, D = 50$ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲. داده‌های ورودی مساله۱

انواع محصولات	تعداد محصولات بارگذاری شده			زمان تخلیه یا بارگذاری	هزینه از A به B	هزینه از A به C	هزینه از C به B
	ماشین‌های دریافت			ماشین های ارسال					
	۱	۲	۳	۱	۲				
۱	۵۰	۵۰	۱۰۰	۳۰	۷۰	۲	۵۰	۳۰	۶۰
۲	۶۰	۷۰	۷۰	۶۰	۱۴۰	۴	۱۰۰	۵۰	۷۰
۳	۲۰	۳۰	۰	۳۰	۲۰	۲	۷۵	۴۰	۶۰

فاصله بارانداز ارسال تا دریافت و محل ذخیره موقت			
	A1	A2	C
B1	۲۰	۴۰	۳۰
B2	۴۰	۸۰	۳۰

برای نشان دادن کارایی استراتژی پیشنهاد شده مدل، ۱۰ مثال عددی با اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ که ویژگی هریک از مسایل در جدول ۳ آمده است، انتخاب و حل شدند. هریک از مثال‌ها توسط الگوریتم پیشنهادی در نرم افزار متلب بارها اجرا شدند. به‌دلیل محدودیت در این‌جا تنها برای یکی از مثال‌ها طراحی آزمایشات ارائه شده است. روش تاگوچی برای تنظیم پارامترها به‌منظور همگرایی سریع و دقت بیشتر جواب مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۳. نتایج مثال‌های عددی

انواع محصولات	بارانداز ارسال	بارانداز دریافت	ماشین ارسال	ماشین دریافت	مساله
۳	۲	۲	۲	۳	۱
٦	٤	٤	٤	٦	۲
۸	٦	٦	٦	۸	۳
۱۱	۹	۹	۹	۱۱	٤
۱۵	۱٤	۱٤	۱٤	۱۵	۵

تنظیم پارامترها. تخصیص پارامترهای الگوریتم‌های فرا ابتکاری تاثیر بسزایی در کیفیت پاسخ مساله دارد. طراحی فاکتوریل کامل که تمامی ترکیبات ممکن برای پارامترها را امتحان می‌کند، روشی است که به طور گسترده در اغلب تحقیقات انجام شده مورد استفاده قرار گرفته است. اما زمانی‌که تعداد فاکتورها افزایش می‌یابد، این روش کارایی خود را از دست می‌دهد. تکنیک‌های طراحی آزمایشات متعددی از قبیل روش آزمون و خطا، روش سطح پاسخ، روش تاگوچی وجود دارد. از بین این تکنیک‌ها روش تاگوچی برای تنظیم پارامترهای یک الگوریتم با موفقیت بیشتری همراه بوده‌است (Taguchi, 1986). **روش تاگوچی.** به‌دلیل این‌که از نظر آماری نیازی به بررسی همه ترکیبات سطوح عوامل نیست، در روش تاگوچی از طرح‌های آرایه‌ای متعامد برای طرح پارامترها استفاده می‌شود. از بارزترین خصوصیات آرایه‌های متعامد این است که می‌توان با تعداد آزمایش‌های کمتر، نتایج مورد نیاز را به‌دست آورد. ترکیب بهینه به‌دست آمده از روش تاگوچی از یک طرف میانگین متغیر پاسخ را به مقدار هدف نزدیک می‌کند و از طرف دیگر واریانس آن را کاهش می‌دهد. در این پژوهش هدف یافتن مقدار پارامترهای الگوریتم به عنوان متغیر ورودی برای به‌دست آوردن پاسخ بهینه y است. برای تنظیم پارامترها مساله نمونه شماره ۱ در نظر گرفته شده است. برای ٤ فاکتور شامل اندازه جمعیت (N_{POP})، احتمال تقاطع(P_C)، احتمال جهش (P_M) و تولید نسل (Max gen) که هریک از فاکتورها دارای سه سطح هستند، روش تاگوچی به‌کار گرفته شده است. جدول ٤ مقادیر فاکتورها در هر سطح برای الگوریتم را نشان می‌دهد به‌طوری‌که اعداد ۱و۲و ۳ سطوح هر فاکتور هستند. اعداد داخل جدول بر اساس روش سعی و خطا و پیشنهاد پژوهشگران در نظر گرفته شده است. با توجه به دو هدفه بودن مدل، تنظیم پارامترهای تاگوچی باید در فضای دو هدفه صورت گیرد. بدین منظور برای مساله انتخابی در هر سطح مجموع وزنی نرمال شده‌ی معیارهای زمان اجرای الگوریتم (time cpu)، تعداد جواب‌های پارتو(NOS)، تابع هدف اول (زمان تکمیل)، تابع هدف دوم (هزینه) و فاصله نسلی (GD) محاسبه شده است. بدین‌ترتیب که مقادیر به‌دست آمده هر معیار از ۱۰ بار اجرای الگوریتم، با توجه به ماهیت معیار (مثبت یا منفی بودن)، با استفاده از روشی بر اساس اصول SAW نرمال شده است. مطابق این روش مجموع مقادیر وزنی معیارها در هر سطح محاسبه شده و بیشترین مقادیر به عنوان پارامتر اصلی جهت محاسبه نسبت‌های S/N به‌کار گرفته شده‌اند (در این‌جا فرض شده است که وزن معیارها مساوی و برابر ۰,۲ است). جدول ۵ نحوه محاسبات را برای الگوریتم در یکی از سطوح تاگوچی نشان داده است. سپس با توجه به مقادیر محاسبه شده بعد از چندین بار اجرا برای هر حالت نسبت‌های S/N برای پارامترهای الگوریتم در سطوح مختلف در جدول ٦ آمده است.

جدول ٤. سطوح در نظر گرفته شده برای پارامترهای الگوریتم

فاکتور	۱	۲	۳
PC	۰,۷	۰,۸	۰,۸۵
PM	۰,۲	۰,۲۵	۰,۳
NPOP	۲۵	۵۰	۱۵۰
Max gen	۵۰	۷۵	۱۰۰

جدول ۵. محاسبات الگوریتم برای یک سطح

Weight	Sum	Normal GD	Normal pareto	Normal cpu time	Normal time	GD	pareto	Best time	Best cost	Cpu time	iteration
۰,۷۲	۳,۶۲۰	۰,۷۱۶	۰,۵	۰,۴۰۵	۰,۹۹۸	۱,۰۰۰	۱۸,۸۱۱	۵	۲۷۷۱۳	۰,۸۶۴۰	۱
۰,۸۲	۴,۱۱۱	۱,۰۰۰	۰,۷	۰,۴۱۱	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۲۶,۲۴۳	۷	۲۷۷۱۳	۰,۸۵۰۴	۲
۰,۷۶	۳,۸۲۵	۰,۲۴۵	۰,۶	۰,۹۹۳	۰,۹۹۳	۰,۹۹۲	۶,۴۵۳	۶	۲۷۹۳۲	۰,۳۵۲۴	۳
۰,۹۲	۴,۵۹۳	۰,۷۳۹	۰,۹	۰,۹۸۸	۰,۹۷۳	۰,۹۹۲	۱۹,۴۱۴	۹	۲۷۹۳۲	۰,۳۵۴۴	۴
۰,۹۰	۴,۴۹۶	۰,۷۸۳	۰,۸	۰,۹۳۶	۰,۹۸۴	۰,۹۹۲	۲۰,۵۵۷	۸	۲۷۹۳۲	۰,۳۷۴۰	۵
۰,۷۵	۳,۷۳۶	۰,۵۶۷	۰,۸	۰,۳۹۰	۰,۹۷۸	۱,۰۰۰	۱۴,۸۸۱	۸	۲۷۷۱۳	۰,۸۹۵۷	۶
۰,۹۷	۴,۸۵۶	۰,۸۸۴	۱,۰	۰,۹۷۳	۰,۹۹۸	۱,۰۰۰	۲۳,۲۰۸	۱۰	۲۷۷۱۳	۰,۳۵۹۸	۷
۰,۷۸	۳,۹۰۱	۰,۳۲۲	۰,۶	۰,۹۸۸	۰,۹۹۸	۰,۹۹۲	۸,۴۵۲	۶	۲۷۹۳۲	۰,۳۵۰۱	۸
۰,۸۶	۴,۳۲۷	۰,۷۵۳	۰,۶	۱,۰۰۰	۰,۹۸۲	۰,۹۹۲	۱۹,۷۶۵	۶	۲۷۹۳۳	۰,۳۵۱۹	۹
۰,۹۱	۴,۵۵۸	۰,۸۹۶	۰,۷	۰,۹۹۵	۰,۹۷۵	۰,۹۹۲	۲۳,۵۳۲	۷	۲۷۹۳۲	۰,۳۷۵۰	۱۰

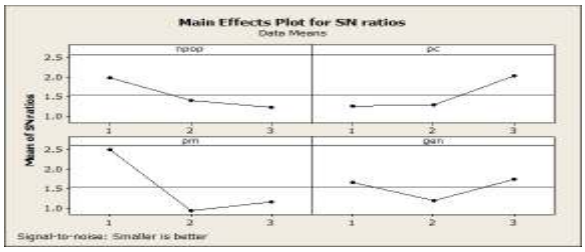
جدول ۶. نسبت‌های S/Nپارامترها

mean	s/n	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	gen	pm	pc	Npop
۰,۸۴	−۱,۶۲	۰,۹۱	۰,۸۶	۰,۷۸	۰,۹۷	۰,۷۴	۰,۸۹	۰,۹۱	۰,۷۶	۰,۸۲	۰,۷۲	۱	۱	۱	۱
۰,۷۸	−۲,۱۹	۰,۷۹	۰,۷۱	۰,۹۱	۰,۷۵	۰,۷۸	۰,۷۶	۰,۸۰	۰,۸۵	۰,۷۶	۰,۶۷	۲	۲	۲	۱
۰,۵۳	−۱,۴۵	۰,۷۳	۰,۸۴	۰,۸۸	۰,۸۵	۰,۹۴	۰,۷۸	۰,۷۹	۰,۸۲	۰,۹۰	۰,۹۵	۳	۳	۳	۱
۰,۸۶	−۱,۳۰	۰,۸۶	۰,۸۹	۰,۷۸	۰,۹۱	۰,۹۱	۰,۸۸	۰,۷۷	۰,۹۱	۰,۸۵	۰,۸۴	۳	۲	۱	۲
۰,۸۵	−۱,۳۵	۰,۸۴	۰,۸۳	۰,۷۹	۰,۹۳	۰,۹۱	۰,۸۸	۰,۸۳	۰,۷۹	۰,۸۲	۰,۹۴	۱	۳	۲	۲
۰,۸۴	−۱,۵۲	۰,۸۰	۰,۸۷	۰,۹۷	۰,۸۳	۰,۸۳	۰,۸۶	۰,۷۹	۰,۸۴	۰,۸۸	۰,۷۳	۲	۱	۳	۲
۰,۷۹	−۲,۰۷	۰,۷۳	۰,۷۷	۰,۷۹	۰,۸۶	۰,۷۶	۰,۷۸	۰,۷۸	۰,۷۶	۰,۸۶	۰,۷۴	۲	۳	۱	۳
۰,۸۵	−۱,۴۲	۰,۹۱	۰,۸۴	۰,۹۶	۰,۷۹	۰,۸۱	۰,۸۵	۰,۸۳	۰,۷۹	۰,۸۵	۰,۸۵	۳	۱	۲	۳
۰,۸۱	−۱,۸۶	۰,۷۶	۰,۷۸۳	۰,۹۰	۰,۷۲	۰,۷۵	۰,۸۴	۰,۷۸	۰,۷۶	۰,۹۹	۰,۸۵	۱	۲	۳	۳

هر چه قدر نسبت S/ N کمتر باشد، مطلوب‌تر است. هم‌چنین میزان تأثیر سطوح عوامل مختلف بر روی نسبت S/ N با استفاده از نمودار اثرات عوامل، در شکل ۲ آمده است. با توجه به مقادیر S/N به‌دست آمده و شکل ۲ مقادیر بهینه پارامترهای مناسب برای الگوریتم در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷. مقادیر بهینه پارامترها

Parameter	Value
Pc	۰،۸۵
Pm	۰،۲
Gen	۱۰۰
Npop	۲۵



شکل ۲. نمودار متوسط پارامترها برای نرخ‌های S/N

ارزیابی الگوریتم پیشنهادی. از آن‌جا که ارزیابی عملکرد الگوریتم صرفا بر اساس مقادیر معیارهای ارزیابی پاسخ روشنی را بدست نمی‌دهد، لذا، از روش‌های تحلیلی و ترکیبی برای ارزیابی الگوریتم استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها شاخص درصد انحراف نسبی می‌باشد که در این مقاله از ان استفاده شده است و نحوه محاسبه آن مطابق رابطه زیر است:

$$PRD = \frac{A\lg_{sol} - Best_{sol}}{Best_{sol}} \times 100 \qquad (۲۳)$$

که در رابطه بالا Algsol، مقدار به‌دست آمده توسط الگوریتم برای هر مساله نمونه و Bestsol، بهترین مقدار در بین نمونه مسائل حل شده است. هر چقدر متوسط مقادیر PRD کمتر باشد، جواب‌های بهتری از الگوریتم کسب می‌شود. شاخص فوق را برای دو عامل زمان اجرای برنامه (T) و تعداد جواب‌های پارتو (P) محاسبه شده و هم‌چنین برای محاسبه PRD ۵ مساله گوناگون ۱۰ بار اجرا شده است که در جدول ۸ متوسط مقادیر شاخص‌های مورد نظر برای الگوریتم آورده شده است.

جدول ۸ متوسط مقادیر شاخص‌ها

problem	$\bar{T}$	$\bar{P}$	Best $\bar{T}$	Best $\bar{P}$	PRD $\bar{T}$	PRD $\bar{P}$
۱	۰،۴۲۸	۳	۰،۴۱۸	۳	۲،۳۵	۰
۲	۰،۴۹۸	۷	۰،۴۲۸	۹	۱۶،۳۵	۱۷،۱۷
۳	۰،۷۲۲	۱۴	۰،۴۴۱	۳۰	۶۳،۶۲	۵۲،۳۳
۴	۰،۴۹۴	۱۸	۰،۴۲۰	۳۱	۱۷،۵۲	۴۲،۹
۵	۰،۹۶۴	۱۸	۰،۹۴۷	۲۷	۱،۸۵	۳۲،۶

۵-نتیجه‌گیری

در این پژوهش مساله زمانبندی ماشین‌ها در انبار متقاطع با دو هدف کاهش زمان و هزینه بررسی شد. برای تطبیق بیشتر مدل با شرایط واقعی، انبار متقاطع با ورودی و خروجی‌های چندگانه در نظر گرفته شد. به دلیل NP-hard بودن مدل ارائه شده از الگوریتم فراابتکاری جهت حل آن استفاده گردید. الگوریتم NSGAII به‌دلیل دوهدفه بودن مدل مساله انتخاب و استفاده شد. برای همگرایی سریع الگوریتم ارائه شده به بهترین جواب، تنظیم پارامتر با استفاده از روش تاگوچی انجام گرفت و برای سنجش عملکرد الگوریتم از شاخص درصد انحراف نسبی PRD استفاده شد. در نهایت نتایج عددی ارائه و مقایسه شد.

پیوست

در این بخش داده‌های ورودی سایر مثال‌های حل شده داده شده است.

جدول ۹. داده‌های ورودی مساله۲

هزینه از C به B	هزینه از A به C	هزینه از A به B	زمان تخلیه یا بار گذاری	تعداد محصولات بارگذاری شده										محصولات
				ماشین های ارسال				ماشین های دریافت						
				٤	٣	٢	١	٦	٥	٤	٣	٢	١	
٧٤	٣٢	٥٩	٨٣	٤٥	٨٣	٧٦	٩٧	١٨	٣٤	٩٣	٨٤	٧٢	٢٥	١
١٥	٧٩	٩٥	٣٣	٤٣	٥٨	٣٤	٤٨	٩٧	٧٠	٩٢	٩٨	١٠٠	٣٥	٢
٢٨	٢١	٨٥	٤١	٩٩	٣٦	٤١	٨٤	٨٦	٥٦	٣٥	٦٣	١٩	٣١	٣
٨٧	٧٥	٣٦	٥٢	٧٨	٣٢	٩٢	١٢٢	٦٠	٣٨	٣٢	٣٨	٨٦	١٩	٤
٦٢	٢٧	٦١	٤٣	١١٤	١٠٢	٩٤	١٠١	١٧	١٠	٥٣	٣٧	٤٦	١٤	٥
٢٨	٦٤	٨٠	٨٥	٩٨	١٢٠	١١٥	٤٩	٢٠	٣٧	٤٢	٩١	٢١	٩٢	٦

فاصله بارانداز ارسال تا دریافت و محل ذخیره موقت

C	A4	A3	A2	A1	
٣٨	١٢	٤٨	٨٨	٨٧	B1
٤٢	٨٥	٦٧	٧٠	٩٨	B2
٣١	٩٢	٥٧	١٢	١٥	B3
٢٣	٨٣	٣٤	١٩	٨٨	B4

جدول ۱۰. داده‌های ورودی مساله۳

هزینه از C به B	هزینه از A به C	هزینه از A به B	زمان تخلیه/بار گذار	تعداد محصولات بارگذاری شده														محصول
				ماشین های ارسال						ماشین های دریافت								
				٦	٥	٤	٣	٢	١	٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١	
٤٦	٧٧	٩١	٦٩	٧٤	٦٠	١٠٨	٩٥	٦٦	٨٠	١٦	٧٣	١٠	٨٨	٦٩	٥٧	٢٧	٤٠	١
٤٧	٦٥	٨٣	٦١	٥٩	٢٧	١١٥	٦٧	٩٣	٧٢	٣٥	٤٣	٣٥	٥٩	٨٩	٧١	٨٢	٩١	٢
٩١	٧٧	٦٧	١٨	٦٠	٤٠	١٠٢	٢٩	٦٠	٨٣	٨٦	٦٩	٢٢	٣٢	٦٧	٤٠	٤٠	٦٨	٣
٤٠	٢٠	١٧	٨٩	٤٦	٦٤	٤٢	٥١	١١٠	٧٠	١٥	٤٧	٢٣	٨٢	٦٠	٨٤	٥٩	٦٦	٤
٩٣	٨٣	٧٤	٩٠	٩١	١٠٨	٩٥	١١٣	٦٨	٩٤	٥٣	٥٢	٨٧	٨٣	٧٧	٢٥	١٦	٥٢	٥
٩٧	٢٨	١٣	٥٦	٤٧	٧٥	٤٦	٣٤	١٠٧	٣٥	٣٥	٩٩	٦٤	٨٢	٣١	٢٦	١٦	٦٠	٦
١٢	٧٩	٦٠	٧١	١١٤	١١٥	٨٨	٥٠	٥٥	٦٨	٧٠	٨٨	٦٤	٤٠	٤٨	٥٦	١٤	٦٥	٧
٧١	٢٨	٤٠	٨٩	٧٢	٤٠	٨٤	١٠٥	٤٤	٥٥	٩٣	٤٨	٦٥	٤٥	٩١	٤٦	١١	٢٩	٨

فاصله بارانداز ارسال تا دریافت و محل ذخیره موقت

C	A6	A5	A4	A3	A2	A1	
٢٧	٣١	٨٠	٥٤	١٠٠	٢٦	١٩	B1
٣٠	١٤	٦١	١٣	١٦	٧١	٧٨	B2
٤١	٤٩	٢١	٣٣	٥٧	٤٥	٥٠	B3
٤٤	٧٨	١٠	٦١	٨٠	٩١	١٨	B4
٢٨	٣٤	٩٣	٩٨	٤٤	٦٣	٨٠	B5
٤٣	٣٨	٦٠	٣٣	٥٣	٤٢	٦٨	B6

جدول ۱۱. داده‌های ورودی مساله٤

محصول	تعداد محصولات بارگذاری شده																				
	ماشین های دریافت											ماشین های ارسال									
	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
۱	۸۳	۳۸	۱۳	۷٦	۳۹	۱۹	۷٦	۱۹	۱۰	٤۳	۸۷	۷۹	٤٥	۷۹	۹٤	۷۹	۷٤	۲٦	۸۷	۸۲
۲	٦۹	۸۹	٥۳	۳۸	۳۱	۲٦	۷٥	۲۸	۲٥	۳۳	۷۷	۱۱۰	۸٤	۷۳	۹٦	۱۰۸	۱۰٤	٦۱	۸۱	٥۰
۳	۷٥	٤۳	۱۱	۹۹	۳۲	۷۸	۱۷	۹٤	٤٥	٦۱	۲۹	۸۱	٥٦	۹۹	۷۸	۹٦	۸۹	٥٥	٤٦	٤٥
٤	۱۲	٦۰	٤٥	۲۰	۸۹	٥٥	۱۹	۹۳	۸۸	٦٦	۳۱	٦۲	٥۹	۳۰	۳٥	۲۲	۳٤	۲۸	٤۷	۸۳
٥	٦۲	۷۲	۲٤	٦٥	۱٦	۹۳	۲۱	۲۷	٦٤	۷۰	۷۱	۷۱	۲٤	۳۳	۱۰۷	۹۳	۷٥	٤٤	۹۱	۸۱
٦	۹۲	۱۱	۱۹	٥۸	۱۳	۲۸	٥٦	٦۱	٥٥	٥۷	۷۰	۳٦	۹۹	۲۱	۱۰۲	٤٤	۷۲	۸۷	٥٦	٦٥
۷	۲۸	٦۰	۱۹	٥۷	۸۷	۳۹	۲٦	۹۰	۸٤	٤٥	۸٥	٤۱	٦٦	٥٥	٦۸	٦۹	٤٥	۷۲	۲٥	۳۲
۸	۷٤	۲٦	۹٦	۷٦	۱۰	۷۲	۸۹	۳٥	۸۹	۸۳	٥۲	٤٥	۱۰٤	۹۸	۱۰٥	۱۰۰	۹٤	٥۰	۹٤	۹۷
۹	۲۸	۷۱	۳۰	۹۹	۳۲	٦۲	۷٦	٤۱	۸۰	۸۳	۸۸	۸۹	٦۸	٥۲	۷۳	۹۰	٥٦	۲٥	٥۲	۹۹
۱۰	۹۱	۹۱	۷۰	٤٦	۹۹	۷۰	٦۱	۷۳	٤٥	۹۷	۹٤	۳٤	۱۰٦	۱۰۷	۳۰	۱۰٥	۹۹	٥٦	۷۷	۹٦
۱۱	۳٦	۹۲	۳٦	۳٥	۸٤	٦۹	۸۸	۹۰	٥٥	٥۳	۲٦	٥۱	۱۰۰	٥۰	٥۷	٦٤	۳٥	۸٦	۱۰۲	٤۹

فاصله بارانداز ارسال تا دریافت و محل ذخیره موقت

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	C
B1	٦۳	۹۸	۹۱	٦۷	۳٥	٥۰	٥۱	۸۲	٦۲	۳۰
B2	۳۰	۱۰	۸٥	۱۹	۳٦	۲٦	۹۰	۸٤	۸۱	۳۲
B3	۹۱	۱٤	٤۸	۸٤	۸۰	۹۰	۲٥	۲۱	۳٤	٤۰
B4	۲٤	۲۹	٥۳	٦۸	٦۹	۷۸	۱۷	۷۷	۲۳	۲۲
B5	۹۷	۳٦	۷٦	٦۳	۱۲	۷۹	٦۲	۳۱	٦۱	۲۹
B6	۱٤	۷٥	۹۳	۸۳	٦۷	٥٥	٤٤	٦٥	٥۲	۲٤
B7	۸٤	۱۲	۹۸	٥۹	۱٤	٤۱	۱۷	٤۲	۹۱	٤۲
B8	٥٦	۳۳	۲۹	۱٤	۱۸	۹۹	۳٦	٥۳	۳۳	٤۸
B9	۱۸	۷۱	۸۲	٦٦	۲۹	٤۰	۱۱	٤۷	٥۹	۲٦

جدول ۱۲. داده‌های ورودی مساله٤ (هزینه جابجایی محصولات)

محصول	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
هزینه از A به B	٥۷	۱۳	۷۷	۷۳	۸۲	٦۹	۱۲	۸٤	۸٤	۱٥	۷۸
هزینه از A به C	٤٤	٦٦	۸۹	۱۷	۷۲	۸۱	۱٤	٦۱	۷۸	٦٥	۳۳
هزینه از B به C	۱۲	۱٤	٤۷	۹۱	۳٤	۷۰	۳۰	۹۰	۱۱	۱۲	٦٦

جدول ۱۳. داده‌های ورودی‌مثال۵

محصول	محصول بارگذاری شده																													هزینه		
	دریافت															ارسال																
	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	هزینه از A به B	هزینه از C به A	هزینه از B به C
١	٨٧	٢٤	٤٧	٦٢	١٣	٣٧	٦٩	٤٢	٢١	٩٢	٥٥	٨٣	٧٤	٥٩	١٧	١٠٠	٥٦	٦٢	٦٢	٧٧	٣٧	٣٢	٢٢	٥٦	٢٢	٥٨	٣٩	٦٣	٣١	٢٥	٥٩	٣٥
٢	٣٢	٥٢	٧٢	٣٠	٧٨	٧١	١٤	٩٣	٦٦	٧٤	٣٦	٥١	٢٠	٩٨	٨١	٩٢	١٠٣	٥٠	٣٣	٩٨	٥٠	٣١	٢٥	٩٠	٧٧	١٧	٤١	٧٨	١٠٢	٧٣	٥٥	٧٠
٣	٥٤	٦٦	٤٤	٧٣	١٣	٥١	٤٦	٦٩	١٠	١٠٠	٥١	١٥	٧٧	١٩	٧٢	٤١	١٨	٧١	٦٧	٤٧	٥٨	٣٠	١٥	٣٦	١٠١	٤٦	٥١	٦٩	٣٦	٨٤	٢٤	٥٥
٤	٢٤	٢٤	٦٦	٣٢	٦٧	٣١	٤٥	٩١	٢٨	٨٣	٦٠	١٢	٩٠	٨٢	٧٤	٩٣	٨٣	٤٧	٢٣	٩٢	٨٨	٩٥	٢٩	١٥	٦٩	٦٩	١٠٠	٩٨	٩٧	٨٣	٩٦	٧٥
٥	٧٢	١٠	٧٠	٧١	٢٧	٢٨	٦٤	٣٦	٨٠	٤٦	٤٣	٥٠	٧٧	٩١	٩٣	٤٧	٧١	٦٦	٩٩	٣١	٤٤	٣٢	٦٥	١٠٢	٧٤	٤٤	٢٩	٧٣	٢١	٩٦	٣٢	٩٣
٦	٤٧	٢٣	٣٤	٨٧	٧٦	٧٠	٣٧	٦١	٢٤	٨٧	٧٧	٢٥	٥٥	٥٩	٦٨	٧٦	٨٨	٧٦	٤٢	٣٧	٤٠	٢٩	٩٩	٤٨	٨٩	٤٩	٣٨	٦٤	٩٨	٨٩	٣٥	٩٠
٧	٤٦	٦١	٣٧	٥٧	٣٩	٥١	٥٠	٢٢	٨٨	٣٥	١١	٩٢	٥٣	٥٠	٤٧	٣٢	٨٦	٨٥	٣٠	٩٦	٥٣	٣٢	٣٢	٩٤	٥٥	٥٩	٢٦	٧٩	٢٤	٤٨	٨٦	٢٥
٨	١٢	٣٠	٩٧	٣٠	٦٧	٨٤	٥٧	٩٥	١٦	٧٥	١٠٠	١٥	٦٢	٤٨	٨٥	٨٨	٨٨	٤٠	٤٣	٧١	٥٩	٢٣	٢١	٢١	٢٩	٨٧	٨٥	٩٣	٧٨	٤٢	٥٤	٧٨
٩	٣٣	٣٦	٤٦	٩٤	٤٢	٥٨	٣٢	٦٢	٤٤	٦٨	٢٦	٩٥	٢٥	٥٧	٧٠	٥٥	٦٣	٦٥	٥٤	٤٦	٣٦	١٥	١٠٥	٧٦	٣٥	٨٧	٤٢	١٠٠	٩٥	٩٦	٨٦	٨٥
١٠	٢٢	٥٤	٣٧	٤٩	٢٧	٩٣	٤٥	١٧	٨٣	١٧	٦٠	٧٤	٦٧	٢٢	٤٢	٢٥	٦٢	٦٩	٩٣	٢٩	٢٤	٣٦	٩٣	٢٠	٦٧	٥٤	٤٢	٦٤	٤٢	١١	٣٤	٧٠
١١	٣٩	٧١	٥٢	٩٥	١٥	١٧	٦٢	٢١	٥٠	١٩	٢٤	١٥	٧٨	١٠	٩٨	٣٣	٤٨	٣١	٩٣	٥٩	١٠٥	٥٥	٧٣	٤٦	١٠٣	٤٧	٧٥	٨١	٤٤	٤٥	٣٩	٧٧
١٢	٦٠	٨٩	٧٩	٣٣	٣٧	٨٨	١٠	٦٩	١٦	٤٤	٩٦	٢٩	٢٥	٧٦	٥٤	٩٠	٦٤	٦٤	٩٨	١٨	٢٨	٤٠	١٥	٩٠	٧٣	٨١	٩٣	٨٤	٣٠	٨٨	٩٦	٩٦
١٣	٦٦	٩٧	٧٨	١٢	١٩	٧٤	٨٢	٥٣	٨٥	٣٦	٧٥	٤٥	١١	٨٤	٦٨	٥٦	٨٩	١٠٤	٣١	٥٠	٨٥	٤١	١٨	٤٠	١٩	٦٥	٦٥	١٨	٨٧	٤١	٥٤	٨٢
١٤	٤٨	٥٧	٣٩	٧٤	١٨	٨٠	٩٩	٤٨	٨٤	٨٥	٨٠	٤٣	٤١	٦١	٤٢	٢١	١٧	٩٥	٣٩	٤١	٤١	٧٦	٩٣	٥٤	٧٩	٤٥	٣٣	٩٧	٧٨	٩٨	٤٤	٣٥
١٥	٥٥	٨٧	٩٢	٣٦	٨٠	٩٦	٨٠	٩١	٢١	٨٩	٧٠	٦٢	٢٩	٩٠	٧٥	٩٨	٨٣	٨١	٣٠	٦٥	٧٣	٦٦	٣٤	٦١	٣٣	٣٤	٥٤	٥٢	٦٥	١٢	٦٥	٥١

فاصله بارانداز ارسال تا دریافت و محل ذخیره														
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	C
B1	۵۱	۸۲	۲۰	۱۱	۸۱	۸۷	۸۳	۶۹	۲۵	۲۴	۱۷	۶۴	۹۰	۲۸	۱۰
B2	۹۴	۸۳	۴۹	۳۴	۸۶	۶۲	۶۱	۴۶	۴۹	۹۸	۷۰	۹۵	۱۲	۹۴	۳۲
B3	۳۴	۳۴	۲۷	۲۹	۸۵	۱۴	۵۹	۷۹	۳۴	۲۳	۹۷	۵۲	۳۶	۴۹	۱۱۳
B4	۸۴	۴۱	۸۵	۳۳	۳۴	۳۰	۳۸	۱۱	۴۶	۶۳	۹۹	۸۷	۸۴	۲۷	۳۵
B5	۶۴	۸۳	۸۹	۱۷	۱۷	۱۹	۲۳	۶۷	۹۳	۳۳	۸۵	۷۷	۵۵	۲۴	۱۷
B6	۶۲	۵۲	۸۷	۳۴	۷۹	۶۱	۳۵	۴۳	۹۴	۱۴	۶۱	۴۳	۹۶	۴۳	۱۱
B7	۲۰	۹۸	۲۳	۹۴	۴۹	۹۷	۱۹	۲۰	۱۵	۹۷	۵۱	۱۶	۴۸	۷۰	۲۹
B8	۹۷	۴۴	۶۵	۸۵	۳۸	۱۴	۷۶	۸۵	۴۵	۷۳	۸۶	۶۱	۴۹	۲۹	۴۴
B9	۶۹	۹۲	۵۵	۵۰	۶۷	۶۹	۵۵	۵۵	۷۵	۶۰	۵۴	۸۰	۹۸	۳۹	۲۴
B10	۸۲	۲۲	۱۶	۷۲	۷۴	۲۰	۵۷	۷۴	۶۷	۲۷	۶۵	۵۶	۶۰	۳۵	۳۰
B11	۴۷	۶۸	۵۴	۶۵	۶۶	۱۷	۹۹	۸۹	۱۳	۹۷	۸۹	۹۸	۴۱	۲۸	۴۵
B12	۳۶	۳۲	۱۱	۱۸	۳۴	۴۶	۹۶	۶۱	۹۸	۱۷	۸۵	۴۲	۶۰	۶۱	۲۵
B13	۶۹	۸۷	۱۳	۸۹	۷۶	۹۰	۷۶	۸۸	۸۳	۳۲	۳۶	۳۵	۴۴	۱۴	۲۹
B14	۹۲	۱۴	۱۲	۳۳	۵۶	۴۸	۹۹	۳۸	۳۹	۷۰	۵۷	۸۷	۷۷	۲۲	۳۳

٦- مراجع

– کشتزاری، م.، (۱۳۹۱)، "ارائه یک الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی برای مساله زمانبندی وسایل نقلیه در یک سیستم انبار عبوری"، نهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع.

–حسینی، س.م.ح.، س.م. حسن، خ. علیایی، (۱۳۹٤)، "مدل‌سازی ریاضی مسأله مکان‌یابی- مسیریابی با در نظر گرفتن ظرفیت"، تنوع و محدودیت تردد وسایل حمل و نقل و توسعه یک مدل حل مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان" نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، دوره۳، شماره۵، ص. ۹۱-۱۰۵.

– خدابنده، م.، س.ر. حجازی و م. راستی‌برزکی، (۱۳۹۲)، "یک الگوریتم ژنتیک برای مساله زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع با در نظر گرفتن مسیریابی در زنجیره تامین، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، دوره ۱، شماره ۲، ص. ۱٦۷-۱۸۱.

–Agustina, D., C. Lee, and R. Piplani, (2010), "A Review: Mathematical Modles for Cross Docking Planning. International Journal of Engineering Business Management", 2(2), pp. 47-54.

– Alpan, G., R. Larbi, and B. Penz, (2011), "A bounded dynamic programming approach to schedule operations in a cross docking platform", Computers & Industrial Engineering, 60(3), pp. 385-396.

- Apte, U.M. and S. Viswanathan, Effective cross docking for improving distribution efficiencies. International Journal of Logistics, 2000. 3(3), pp. 291-302.

– Deb, K. and T. Goel., (2001), " Controlled elitist non-dominated sorting genetic algorithms for better convergence", in International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Springer.

–Deb, K., (2001), "Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. Vol. 16. John Wiley & Sons.

–Dondo, R. and J. Cerdá, (2014), "A monolithic approach to vehicle routing and operations scheduling of a cross-dock system with multiple dock doors", Computers & Chemical Engineering, 63, pp. 184-205.

-Gümüş, M. and J.H. Bookbinder, (2004), "Cross-docking and its implications in location-distribution systems", Journal of Business Logistics, 25(2), pp. 199-228.

-Jayaraman, V. and A. Ross, (2003), "A simulated annealing methodology to distribution network design and management", European Journal of Operational Research, 144(3), pp. 629-645.

-Konur, D. and M.M. Golias, (2013), "Analysis of different approaches to cross-dock truck scheduling with truck arrival time uncertainty", Computers & Industrial Engineering, 65(4), pp. 663-672.

-Morais, V.W., G.R. Mateus, and T.F. Noronha, (2014), "Iterated local search heuristics for the vehicle routing problem with cross-docking", Expert Systems with Applications, 41(16), pp. 7495-7506.

-Mosheiov, G., (1998), "Vehicle routing with pick-up and delivery: tour-partitioning heuristics", Computers & Industrial Engineering, 34(3), pp. 669-684.

-Rohrer, M., (1995), "Simulation and cross docking", in Simulation Conference Proceedings.

–Sung, C.S. and S.H. Song, (2003), "Integrated service network design for a cross-docking supply chain network. Journal of the Operational Research Society, 54(12), pp. 1283-1295.

–Taguchi, G., (1986), "Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes".

–Van Belle, J., et al., (2013), "A tabu search approach to the truck scheduling problem with multiple docks and time windows", Computers & Industrial Engineering, 66(4): pp. 818-826.

–Wurz, A., (1994), "Cross docking is workable today", Autom ID News, 10(5), pp. 56-57.

–Yu, W. and P.J. Egbelu, (2008), "Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage. European Journal of Operational Research, 184(1), pp. 377-396.

–Yu, W., (2002), "Operational strategies for cross docking systems".

Developing a Mathematical Model for Vehicles Scheduling in Multiple Cross-Docking Systems

Fatemeh Afrasiabi, Ph.D. Student, Payame Noor University, Tehran, Iran.
Ramin Sadeghian, Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.
Farnaz Torabi Yeganeh, Ph.D., Student, Department of Industry, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

E-mail: sadeghian@pnu.ac.ir

Received: March 2021-Accepted: July 2021

ABSTRACT

This paper is focused on transportation scheduling at a comprehensive model. The purpose of this study is evaluating field of operation management in cross docking systems. By including input and output of trucks, receiving and carrying items from the warehouses. A bi-objective model proposed that the objectives are minimizing the total cost of the operation along with the highest throughput cross docking system and the total time of the operations. In order to proposed model more closely to the real conditions, multiple cross docking warehouse is assumed. Mixed integer programming multi objective model for docks scheduling with considering the limitations in capacity is proposed and controlled non-dominated sorting genetic algorithm has been used to solve the problem. This method is designed to achieve Pareto solution. Taguchi method is used to tune the parameters in order to faster convergence of the algorithm. Finally the results of the model are presented and interpreted.

Keywords: Scheduling, Vehicles, Multiple Cross Docking Warehouse, Controlled Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm