نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال هفتم، شماره چهاردهم، بهار و تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۵۹-۷۷

www.ier.basu.ac.ir

ISSN: 2345-2269

DOI: 10.22084/ier.2019.17125.1787

طراحی مدل ریاضی مسیریابی سبز در سیستم‌های بارانداز متقاطع چندگانه با رویکرد کاهش گاز دی‌اکسیدکربن

علی نجفی[۱]، علی محتشمی[۲*]، مقصود امیری[۳]، علیرضا ایرج‌پور[۴]

۱. دانشجوی دکتری تخصصی گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

۲. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

۳. استاد دانشگاه علامه طباطبایی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران

۴. استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۷/۵/۲۷

پذیرش ۱۳۹۸/۴/۱۳

کلمات کلیدی:

بارانداز متقاطع

زنجیره تأمین سبز

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب

الگوریتم چند هدفه کلونی مورچگان

خلاصه

کاهش در مصرف سوخت منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های ارائه خدمات به مشتریان شده و در نتیجه رضایت مشتریان و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی را به‌دنبال دارد. بدین منظور در این مقاله تمرکز بر بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی حرکت کامیون‌های ورودی و خروجی و زنجیره تأمین سبز با وجود چند بارانداز متقاطع و با دو هدف کمینه‌سازی توالی حمل‌ونقل کامیون‌ها و انتشار گاز دی اکسید کربن در داخل زنجیره تأمین است ازآنجاکه مدل مقاله از نوع برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح صفر و یک بوده و متعلق به مسائل NP-hard است زمان حل آن‌ها با افزایش ابعاد . به‌شدت افزایش می‌یابد. لذا برای پیدا کردن جواب‌های نزدیک بهینه. از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب NSGA–II لگوریتم چند هدفه کلونی مورچگان MOACO استفاده شده است.

۱- مقدمه

بارانداز تقاطعی یک استراتژی انبارداری نوآورانه است که دارای پتانسیل بسیار زیادی برای کنترل تدارکات و هزینه‌های توزیع و درعین‌حال به حفظ سطح رضایت مشتری توجه می‌کند. در واقع طرفدار توزیع به‌موقع، هماهنگی بهتر با تقاضا و استفاده کارآمدتر از دارایی‌های حمل‌ونقل است. مرکز توزیع در اصل به‌عنوان یک مرکز مرتب‌سازی برای چندین تأمین‌کننده و مشتری عمل می‌کند؛ بنابراین یک سیستم توزیع طراحی شده خوب، بسیار مهم است. یکی از اجزا مهم هر سیستم شبکه توزیع یک انبار یا مرکز توزیع است. در واقع بارانداز تقاطعی طرفدار حمل‌ونقل به‌موقع و هماهنگ‌سازی بهتر بین عرضه و تقاضا است. و نه‌تنها با بخش خرده‌فروشی در ارتباط است بلکه برای تولید و توزیع هم می‌تواند لحاظ شود. بارانداز تقاطعی مرحله ذخیره‌سازی در انبار را حذف می‌کند ولی مرحله ارسال و توزیع پابرجاست. در ضمن در سال‌های اخیر یکی از مسائلی که سازمان‌ها با آن مواجه هستند تولید پاک و حفاظت از محیط‌زیست است.یکی از موضوعات مهم در تولید پاک استفاده از زنجیره تأمین است که در تمام مراحل زنجیره تأمین توجه به مسائل زیست‌محیطی داشته باشند. تاگنیتی، گراس رویکن و واگنر در مقاله خود، افزایش فشار عمومی، استانداردهای محیطی سختگیرانه تر، بلکه آگاهی از اینکه زنجیره‌های زیست‌محیطی برای سرمایه‌گذاران جذاب‌تر می‌شوند، ازآنجایی‌که برای

* نویسنده مسئول: علی محتشمی

تلفن: ۰۲۸۳۳۶۶۵۲۷۵؛ پست الکترونیکی: Mohtashami@qiau.ac.ir

"سبز شدن"، مهم‌تر از همیشه است را بررسی و درحالی‌که محققان گزینه‌های تولید تکنولوژیکی، بازیافت و تدارکات را موردبررسی قرار داده‌اند و نتایج، براساس یک مطالعه موردی در صنعت خودروسازی آلمان، نشان می‌دهد که با بهینه‌سازی مخلوط انرژی، انتشار گاز دی‌اکسیدکربن از زنجیره تأمین می‌تواند به میزان ۳۰ درصد کاهش یابد [۱]. یک رویکرد دقیق مبتنی بر مسیر برای مشکل مسیریابی وسایل نقلیه سبز بهتر عمل می‌کند تا همه مشکلات مسیریابی وسایل نقلیه با ایستگاه‌های میانی را حل کند. به‌دلیل استقلال محدود سوخت، هر خودرو ممکن است نیاز به توقف در ایستگاه‌های سوخت جایگزین در طول سفرش داشته باشد. بروگلری، مانکنی، پزلا و پیساکن یک رویکرد راه‌حل دو فازی را پیشنهاد نموده‌اند که در آن یک مسیر به‌عنوان ترکیب مسیرها دیده می‌شود، که هر کدام‌یک زیرمجموعه از مشتریان را بدون توقف متوسط در ایستگاه‌های سوخت جایگزین حمل می‌کنند. در مرحله اول، تمام مسیرهای ممکن برای محدود کردن تعداد آن‌ها از طریق قواعد تسلط ایجاد می‌شوند. در مرحله دوم، مسیرهایی انتخاب می‌شوند و به‌درستی ترکیب می‌شوند تا مسیرها را از طریق برنامه‌نویسی خطی صحیح ترکیب کنند. رویکرد، آزمایش بر روی نمونه‌های معیار متوسط تا متوسط، از روش‌های دقیق موجود برای دستیابی به بهترین راه‌حل در زمان محاسباتی متوسط کوچک‌تر بهتر عمل می‌کند. علاوه‌براین، رویکرد به یک روش اکتشافی تبدیل می‌شود که در مرحله اول تنها یک زیرمجموعه از مسیرهای غیر غالب شدنی را مد نظرمی گرفت. به‌این‌ترتیب، همچنین به نمونه‌های بزرگ‌تر -، از لحاظ کیفیت راه‌حل، بهترین رویکرد اکتشافی در ادبیات پرداخته شده است [۲]. نسبت به ارائه و بهینه‌سازی یک مدل ریاضی چند هدفه در بارانداز تقاطعی و کل زنجیره تأمین اقدام و با در نظر گرفتن مفروضات اینکه تأمین‌کننده می‌تواند به‌طور مستقیم برای مشتری محصول ارسال کند هم می‌تواند محصولات خود را برای بارانداز تقاطعی ارسال کند و وسایل نقلیه غیر همگن و امکان ارتباط بین تأمین‌کننده‌ها وجود دارد و با تعیین اهداف چندگانه،حداقل کردن زمان کل حمل‌ونقل کامیون‌ها و هزینه کل و تعداد دفعات حمل‌ونقل و حل مدل با الگوریتم‌های فرا ابتکاری بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه و ژنتیک با مرتب‌سازی نا مغلوب و مقایسه جواب حاصل از حل دو الگوریتم فوق را انجام داده است [۳]. یک نسخه عملی از . مسیریابی وسایل نقلیه یکپارچه با اتصالات عرضی مدل‌سازی و تعریف شده است. سه الگوریتم فراابتکاری، یعنی ژنتیک، کلونی زنبورعسل و شبیه‌سازی تبرید برای حل مشکلات بزرگ مقیاس طراحی شده‌اند. یک الگوریتم ابتکاری جدید برای تولید جواب‌های ابتدایی با کیفیت بالا توسعه داده شده است. مدل پیشنهادی و روش‌های راه‌حل در مجموعه‌ای از نمونه‌های الهام گرفته از دنیای واقعی ارزیابی می‌شوند. ثابت شده است که الگوریتم ترکیبی پیشنهادی عملکرد قابل‌قبول دارد و به‌طور قابل‌توجهی بهتر از سایرین است که یک . مسیریابی وسایل نقلیه ناهمگن سودآور را با بارانداز متقاطع در نظر می‌گیرد. در دنیای واقعی، خدمت به همه مشتریان و تأمین‌کنندگان امکان‌پذیر نیست. براساس هزینه خریدوفروش محصولات و محدودیت منابع، آن‌ها تنها در صورتی در برنامه خواهند بود که برای خدمت به آن‌ها سودآور باشد؛ بنابراین برآورده کردن همه تقاضاهای ضروری نیست. کاهش هزینه‌ها در مطالعات قبلی به‌عنوان یک هدف اصلی در نظر گرفته شده است درحالی‌که کل سود را نادیده می‌گیرد. بنابراین، افزایش سود کل سیستم بارانداز نگرانی اصلی است. برای این منظور از یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای فرمول‌بندی . ریاضی استفاده می‌شود. یک الگوریتم ترکیبی جدید برای حل مشکلات بزرگ ارائه شده است. نتایج با نتایج حاصل از الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مقایسه می‌شوند. به‌منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی، مثال‌های مختلفی از مجموعه داده‌های واقعی حل‌شده و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که در مسائل آزمون اندازه کوچک، الگوریتم ترکیبی قادر به یافتن راه‌حل‌های بهینه در یک زمان محاسباتی قابل‌قبول است. همچنین الگوریتم هیبرید به زمان محاسباتی کمتری نسبت به سایرین نیاز دارد [۴]. با ارائه الگوریتم ژنتیک پویای جدید براساس روش زمان‌بندی وسایل نقلیه در سیستم بارانداز تقاطع با هدف کاهش زمان عملیات کل با مفروضات در نظر گرفتن انبار موقت دریافت و ارسال کالا و اینکه کامیون‌ها می‌توانند مکرر وارد بارانداز شده و خارج شوند و دو نوع کروموزوم برای کامیون‌های ورودی و خروجی تعیین و نسبت به ارائه راه‌حل کوتاه‌تری برای زمان فعالیت اقدام نموده است [۵]. یک رویکرد طراحی زنجیره تأمین سبز جدید برای مقابله با تجارت بین مسائل زیست‌محیطی و مالی به‌منظور کاهش تأثیرات منفی بر محیط‌زیست ناشی از افزایش سطح صنعتی شدن پیشنهاد شده است. این رویکرد جدید، یک شبکه حلقه بسته را برای سازگاری با پارادایم بازتولید محصولات دفع و یک مدل ریاضی بهینه‌سازی چند منظوره برای به حداقل رساندن هزینه‌های کلی و انتشار دی اکسید کربن در هنگام تنظیم زنجیره تأمین، متصل می‌کند. این مدل در یک مطالعه موردی مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج اجازه‌ی شناسایی توانایی مدل برای مقابله با تجارت را بین هزینه‌ها و مسائل مربوط به محیط‌زیست و همچنین شناسایی محدودیت اصلی آن پرداخته است [۶]. برای توسعه پایدار در زنجیره تأمین باید به . زنجیره تأمین سبز تمرکز و بر محیط دوستانه و ارزش‌های کسب‌وکار توجه نمود این مقاله نسبت به حداقل هزینه مسیریابی سبز وسیله نقلیه در حمل‌ونقل محصولات نهایی از تأمین‌کننده‌ها به مشتریان از طریق بارانداز تقاطعی با محدودیت انتشار دی‌اکسیدکربن پرداخته است و با الگوریتم جستجوی ممنوعه کارآیی بالای سوخت را به‌وسیله مدیریت بارگیری برای مسیرهای طولانی با کمترین هزینه و انتشار دی‌اکسیدکربن تعیین نموده است [۷]. مدیریت زنجیره تأمین پایدار با قیمت‌گذاری، استراتژی تنظیم تعرفه‌های دولتی و زنجیره سبز با رویکرد نظریه بازی‌ها، یک مدل رقابتی ریاضی را که دولت به‌عنوان رهبر و دو زنجیره عرضه سبز و غیر سبز به‌عنوان پیروان توسعه داده و برای اولین بار در این مقاله سیاست‌های قیمت‌گذاری، استراتژی‌های سبز سازی و

تعرفه‌های حکومتی تعیین‌کننده در رقابت‌های زنجیره تأمین تحت مالی دولتی موردبحث قرارگرفته است. در چارچوب ارائه شده، دولت به دنبال مزایای اجتماعی است و به‌ترتیب نرخ‌های یارانه و مالیات را برای محصولات سبز و غیرسبز تعیین می‌کند. قیمت فروش محصولات و درجه سبز محصول سبز متغیرهای تصمیم‌گیری زنجیره تأمین است. در مدل‌های متمرکز و غیرمتمرکز، ارزش‌های بهینه متغیرهای تصمیم‌گیری به‌دست می‌آیند و برخی از تجزیه‌وتحلیل حساسیت مهم تصمیم‌گیری‌های مدیریتی انجام می‌شود. در حوزه تصمیم‌گیری دولتی، مشاهده می‌شود که تأثیر افزایش میزان یارانه‌ها به میزان قابل‌توجهی بیش از نرخ مالیات است و منجر به افزایش سود دولت و زنجیره‌های عرضه و پایداری محصولات می‌شود. همچنین در میان رقابت زنجیره‌های عرضه، همکاری بین اعضا برای آن‌ها سود بیشتری می‌برد و منجر به تولید محصولات سازگاربامحیط‌زیست می‌شود [۸]. یکی از مهم‌ترین مشکلات مدیریت عملیاتی، مشکل زمان‌بندی کامیون‌ها در تخصیص آن‌ها به درهای بارانداز متقاطع و ترتیب همه کامیون‌های داخلی و خارجی برای بارگیری و تخلیه بار است. در این مقاله، یک مدل ریاضی از برنامه‌ریزی ترکیبی عدد صحیح برای تخصیص در و ترتیب‌گذاری کامیون‌ها در سیستم بارانداز متقاطع چند دری ارائه شده است. هدف این مدل به حداقل رساندن زمان یا زمان کل عملیات است. سپس، با الگوریتم ازدحام ذرات اصلاح شده بهینه‌سازی شده و با طرح‌های خاص کدگذاری و رمزگشایی برای حل مشکل زمان‌بندی کامیون‌ها در سیستم بارانداز متقاطع، پیشنهاد می‌شود [۹]. ژولاگا، تیلی و پرالس در مطالعه بارانداز متقاطع معکوس نشان دادند که این نوع بارانداز نتایجی مانند کاهش هزینه، زمان و بهبود اطلاعات مدیریت در فرایندهای معکوس دارد. و آنالیز حساسیت این مدل به شرکت‌ها در بهبود موقعیت‌های رقابتی کمک می‌کند به‌طوری‌که موجب انعطاف‌پذیری در ارتباط با محصولات، احتمال پایین برگشت محصول از بازار ثانویه شده و ترکیب برگشت محصول و هزینه‌های بارانداز تقاطعی در مقایسه با هزینه‌های انبارداری سنتی پایین‌تر است [۱۰]. محتشمی و فلاحیان نجف‌آبادی، کاهش زمان عملیات در کل زنجیره تأمین را در مقاله خود موردبررسی قرار داده‌اند در مدل مطرح شده در مرحله اول کامیون‌های ورودی پس از بارگیری محصولات از تأمین‌کنندگان، مستقیماً به سمت مشتریان حرکت می‌کنند و یا به سمت بارانداز تقاطعی حرکت می‌کنند. در مرحله دوم محصولات در بارانداز تقاطعی تخلیه می‌شوند و سپس در کامیون‌های خروجی محصولات بارگیری می‌شوند و در مرحله سوم محصولات به مشتریان انتقال می‌یابند. برای پیدا کردن جواب‌های نزدیک بهینه از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری ژنتیک و گروه ذرات استفاده کردند [۱۱]در مطالعه‌ای دیگر . مسیریابی و برنامه زمان‌بندی سبز وسایل نقلیه با هدف حداقل کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم لجستیک از طریق برنامه‌ریزی بهتر تحویل کالا به مشتریان با استفاده از یک الگوریتم برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط با در نظر گرفتن وسایط نقلیه غیرهمگن، پنجره زمانی برای مشتریان، تأثیر بار خودرو بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و ظرفیت خودرو مدلسازی ریاضی انجام و در نهایت به میزان ۸ درصد نسبت به کاهش گازهای گلخانه‌ای انجام شده است [۱۲] توجه به اینکه هدف از انجام این مطالعه افزایش جنبه کاربردی مدل‌های بارانداز تقاطعی است؛ بنابراین تحقیق حاضر از حیث هدف، کاربردی است. اما با توجه به مطالعه روش‌های پیشین، و پیشنهاد روش مناسب‌تر و کاربردی‌تر، مطالعه حاضر از حیث روش، تحلیلی – توسعه‌ای است. بیشتر تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده در فضای زنجیره تأمین و یک بارانداز بوده است. در مدل مقاله حاضر بیش از یک بارانداز متقاطع و توابع هدف توالی حمل‌ونقل کامیون‌ها و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در نظر گرفته شده است و به‌دنبال حداقل نمودن تعداد جابه‌جایی وسایل نقلیه و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در تمام مسیرهای موجود به‌صورت همزمان در کل زنجیره تأمین است. تمام عناصر موجود در کل زنجیره‌تأمین در مدل موردمطالعه دارای ارتباط مستقیم و دوطرفه به شرح ذیل می‌باشند:

- **ارتباط مستقیم و دوطرفه بین مشتریان و تأمین‌کننده‌ها:** به‌طوری‌که اگر مشتری از لحاظ جغرافیایی نزدیک تأمین‌کننده باشد به‌منظور کاهش هزینه حمل‌ونقل و تسریع در تحویل کالا، کالاهای موردنیاز مشتریان به بارانداز متقاطع منتقل نمی‌شود بلکه به‌طور مستقیم از طرف تأمین‌کننده در اختیار مشتریان قرار می‌گیرد.
- **ارتباط مستقیم و دوطرفه بین تأمین‌کننده‌ها:** در مدل طراحی شده اگر تأمین‌کننده‌ای نتواند به علت عدم‌وجود کالای موردنیاز مشتریان آن را تأمین نماید امکان تأمین کالا از سایر تأمین‌کننده‌ها برای پوشش تقاضای مشتریان وجود دارد.
- **ارتباط مستقیم و دوطرفه بین بارانداز‌های متقاطع:** اگر کالای موردنیاز مشتریان در یک بارانداز متقاطع وجود نداشته باشد قابل تأمین از سوی سایر بارانداز‌های متقاطع است.
- **ارتباط مستقیم و دوطرفه بین مشتریان:** امکان جابجایی کامیون بین مشتریان جهت تأمین تقاضای همزمان چند مشتری وجود دارد.

مفروضات فوق در مطالعات قبلی موردبررسی قرار نگرفته است و نوآوری مقاله حاضر است. در ضمن اهداف کاربردی تحقیق می‌تواند برای شرکت‌هایی که حمل‌ونقل بالایی از کالاها را دارند یا شرکت‌هایی که کالای تولیدی آن‌ها فسادپذیر بوده (کالاهای فسادپذیر به کالاهایی اطلاق می‌گردد که در طی زمان خراب، ضایع، خشک و یا تبخیر می‌گردند. محصولاتی چون میوه‌جات، سبزیجات، خون انسان، فیلم‌های عکاسی و غیره در این زمره قرار دارند) و نیاز به حمل سریع دارند قابل‌استفاده است. نمونه کاربردهای آن در مسیریابی وسایل نقلیه در انبار متقاطع چندگانه در صنعت گل به‌طوری‌که تولیدکنندگان گل محصولات خود را به انبارهای متقاطع ارسال پس از تفکیک و مرتب‌سازی از آنجا به گل‌فروشی‌ها ارسال می‌گردد و

همچنین . مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن بارانداز متقاطع در صنعت پخش مواد غذایی و لبنیاتی در سطح کشور است.

۲- تشریح

در این مقاله دو هدف کمینه‌سازی توالی حمل‌ونقل کامیون‌ها و انتشار گاز دی اکسید کربن موردبررسی قرار گرفته است. در مدل مطرح شده ارتباط بین (بارانداز تقاطعی - تأمین‌کنندگان)، (بارانداز تقاطعی- مشتریان)، (تأمین‌کنندگان- مشتریان)، (تأمین‌کنندگان- تأمین‌کنندگان)، (مشتریان- مشتریان)، (بارانداز تقاطعی– بارانداز تقاطعی) در نظر گرفته شده است. مفروضات مدل عبارتند از:

الف- تمامی کامیون‌های ورودی و خروجی در زمان صفر در دسترس است.

ب- وسایل نقلیه همگن با ظرفیت متفاوت

ج- در نظر گرفتن بازه زمانی سرویس به مشتریان از نوع نرم (دارای زودترین زمان شروع خدمت و دیرترین زمان شروع خدمت)

د- وجود چند بارانداز تقاطعی به‌طوری‌که تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن حداقل هزینه یکی از بارانداز‌ها را برای ارسال کالا انتخاب می‌کنند.

ه- امکان ارتباط تأمین‌کننده‌ها، بارانداز‌ها، مشتریان با یکدیگر وجود دارد.

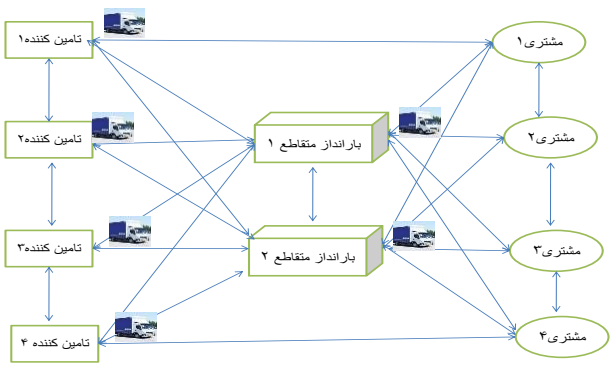
و- نوع و تعداد محصولات عرضه‌شده توسط تأمین‌کنندگان و همچنین نوع و تعداد تقاضای مشتریان مشخص و ثابت است.

ز- در توالی حمل‌ونقل یک کامیون می‌تواند محصولات بیش از یک تأمین‌کننده را بارگیری و محصولات بیش از یک‌مشتری را تخلیه کند.

ح- تقاضاهای یک مشتری ممکن است از یک یا چند تأمین‌کننده برآورده شود.

ط- نوع و مقدار محصولات حمل شده توسط کامیون‌های ورودی باید برابر با تقاضاهای مشتریان باشد.

برای درک و تشریح بهتر . تحقیق، جریان عملیات در زنجیره تأمین در شکل یک رسم شده است. در این شکل جریان عملیات توزیع و حمل‌ونقل چند بارانداز تقاطعی و تعدادی مشتری و تأمین‌کننده در نظر گرفته شده است. همین‌طور برای حمل‌ونقل محصولات در زنجیره تأمین از وسایل حمل‌ونقل با ظرفیت‌های متفاوت استفاده شده است.



شکل (۱): فرایند عملیات در بارانداز تقاطع

در واقع در این . کامیون‌های ورودی پس از بارگیری محصولات از تأمین‌کنندگان، مستقیماً به سمت مشتریان حرکت می‌کنند و یا به سمت تأمین‌کننده دیگری حرکت می‌کنند و یا به سمت یکی از بارانداز‌های تقاطعی حرکت می‌کنند و محصولات در بارانداز تقاطعی تخلیه می‌شوند و سپس در کامیون‌های خروجی محصولات بارگیری می‌شوند و به مشتریان انتقال پیدا می‌کند. در ضمن لازم به ذکر است که یک کامیون می‌تواند محصولات بیش از یک تأمین‌کننده را بارگیری کند و همین‌طور یک کامیون می‌تواند به بیش از یک مشتری حرکت کند و محصولات را در بین آن‌ها تخلیه کند. برای حمل‌ونقل محصولات از سه کامیون با ظرفیت‌های متفاوت استفاده کرده‌ایم.

۳- مدل ریاضی پیشنهادی

۳-۱- نمادگذاری

متغیرهای اصلی و پارامترهای مهم شناخته‌شده در مدل و الگوریتم‌های ارائه شده در مقاله عبارتند از:

متغیرهای صفر و یک

$$X^{i}_{cds_G} = \begin{cases} 1 & \text{اگر کامیون ورودی } i \text{ از بارانداز تقاطعی } (cd) \text{ به سمت تأمین کننده } (s) \\ & \text{حرکت کنددرحالی که سفارش نوع } G \text{ را بارگیری کندمی .} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$X^{i}_{s_m s_n G} = \begin{cases} 1 & \text{اگر کامیون ورودی } i \text{ از تأمین کننده مبدأ } (s_m) \text{ به سمت تأمین کننده} \\ & \text{مقصد } (s_n) \text{ کند حرکت در حالی که سفارش نوع } G \text{ را بارگیری کندمی .} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$X^{i}_{scdG} = \begin{cases} 1 & \text{اگر کامیون ورودی } i \text{ از تأمین کننده } (s) \text{ به سمت بارانداز تقاطعی } (cd) \\ & \text{حرکت کند در حالی که سفارش نوع } G \text{ را بارگیری کرده است .} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$X^{i}_{scG} = \begin{cases} 1 & \text{اگر کامیون ورودی } i \text{ از تأمین کننده } (s) \text{ به سمت مشتری } (c) \\ & \text{حرکت کند در حالی که سفارش نوع } G \text{ را بارگیری کرده است .} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$X^{i}_{c_m c_n G} = \begin{cases} 1 & \text{اگر کامیون ورودی } i \text{ از مشتری مبدأ } (c_m) \text{ به سمت مشتری مقصد}(c_n) \\ & \text{حرکت کند در حالی که سفارش نوع } G \text{ را بارگیری کرده است .} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$X^{j}_{c_m c_n G} = \begin{cases} 1 & \text{اگر کامیون خروجی } j \text{ از مشتری مبدأ}(c_m) \text{ به سمت مشتری مقصد}(c_n) \\ & \text{حرکت کند در حالی که سفارش نوع } G \text{ را بارگیری کرده است .} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$X^{j}_{cdcG} = \begin{cases} 1 & \text{اگر کامیون خروجی } j \text{ از بارانداز تقاطعی } (cd) \text{ به سمت مشتری } (c) \\ & \text{حرکت کند در حالی که سفارش نوع } G \text{ را بارگیری کرده است .} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$X^{i}_{ccdG} = \begin{cases} 1 & \text{اگر کامیون ورودی } i \text{ مشتری از } (c) \text{ به سمت بارانداز تقاطعی}(cd) \\ & \text{حرکت کند در حالی که سفارش نوع } G \text{ را تخلیه کرده است .} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$X^{j}_{ccdG} = \begin{cases} 1 & \text{اگر کامیون خروجی } j \text{ از مشتری } (c) \text{ به سمت بارانداز تقاطعی}(cd) \\ & \text{حرکت کند در حالی که سفارش نوع } G \text{ را تخلیه کرده است .} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$X^{i}_{cd_m cd_n G} = \begin{cases} 1 & \text{اگر کامیون ورودی } i \text{ از بارانداز متقاطع مبدأ } (cd_m) \text{ به سمت بارانداز} \\ & \text{مقصد } (cd_n) \text{ کند حرکت در حالی که سفارش نوع } G \text{ را بارگیری کندمی .} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$\left.\begin{array}{l}1 \quad \text{اگر تقاضای مشتری i از بارانداز تقاطعی (i) تأمین شود}\\ 0 \quad \text{در غیر اینصورت}\end{array}\right\} = F_{cdc}$$

$$\left.\begin{array}{l}1 \quad \text{اگر بارانداز تقاطعی (i) انتخاب شود}\\ 0 \quad \text{در غیر اینصورت}\end{array}\right\} = y_i$$

$$\left.\begin{array}{l}1 \quad \text{اگر کامیون ورودی i بر کامیون ورودی j مقدم باشد .}\\ 0 \quad \text{در غیر اینصورت}\end{array}\right\} = \mathrm{P_{ij}}$$

$$\left.\begin{array}{l}1 \quad \text{اگر کامیون g1 بر کامیون g2 مقدم باشد .}\\ 0 \quad \text{در غیر اینصورت}\end{array}\right\} = \mathrm{q_{g1g2}}$$

$$\left.\begin{array}{l}1 \quad \text{اگر کامیون ورودی i از تأمین کننده (s) به سمت بارانداز تقاطعی (cd)}\\ \text{حرکت کند در حالی که سفارش نوعG را تخلیه کرده است .}\\ 0 \quad \text{در غیر اینصورت}\end{array}\right\} = \mathrm{X^i_{scd}}$$

$$\left.\begin{array}{l}1 \quad \text{اگر کامیون ورودی i از تأمین کننده (s) به سمت مشتری (c)}\\ \text{حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را تخلیه کرده است .}\\ 0 \quad \text{در غیر اینصورت}\end{array}\right\} = \mathrm{X^i_{sc}}$$

$$\left.\begin{array}{l}1 \quad \text{اگر کامیون خروجیj از بارانداز تقاطعی (cd) به سمت مشتری (c)}\\ \text{حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را تخلیه کرده است .}\\ 0 \quad \text{در غیر اینصورت}\end{array}\right\} = \mathrm{X^j_{cdc}}$$

$$\left.\begin{array}{l}1 \quad \text{اگر کامیون ورودی i از مشتری مبدأ } (\mathrm{c_m}) \text{ به سمت مشتری مقصد}(\mathrm{c_n})\\ \text{حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را تخلیه کرده است .}\\ 0 \quad \text{در غیر اینصورت}\end{array}\right\} = \mathrm{X^i_{c_mc_n}}$$

$$\left.\begin{array}{l}1 \quad \text{اگر کامیون ورودی i از تأمین کننده مبدأ } (\mathrm{s_m}) \text{ به سمت تأمین کننده}\\ \text{مقصد } (\mathrm{s_n}) \text{ حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را تخلیه کندمی .}\\ 0 \quad \text{در غیر اینصورت}\end{array}\right\} = \mathrm{X^i_{s_ms_n}}$$

$$\left.\begin{array}{l}1 \quad \text{اگر کامیون ورودی i از بارانداز متقاطع مبدأ } (\mathrm{cd_m}) \text{ به سمت بارانداز}\\ \text{مقصد } (\mathrm{cd_n}) \text{ کند حرکت در حالی که سفارش نوع G را تخلیه کندمی .}\\ 0 \quad \text{در غیر اینصورت}\end{array}\right\} = \mathrm{X^i_{cd_mcd_n}}$$

متغیرهای عدد صحیح

$\mathrm{q_{Gs}}$ = تعداد واحد محصولات از نوع G که از تأمین‌کننده i در کامیون ورودی i بارگیری می‌شود.

$\mathrm{q_{Gcd}}$ = تعداد واحد محصولات از نوع G که از بارانداز تقاطعی i در کامیون خروجی j بارگیری می‌شود.

$\mathrm{q_{Gc}}$ = تعداد واحد محصولات از نوع G که در محل مشتری i از کامیون ورودی i تخلیه می‌شود.

$\mathrm{q_{Gs_n}}$ = تعداد واحد محصولات از نوع G که در محل تأمین‌کننده مقصد s_n از کامیون ورودی i تخلیه می‌شود.

$\mathrm{q_{G}}cd_n$ = تعداد واحد محصولات از نوع Gکه در محل بارانداز مقصد cd_nاز کامیون خروجی j تخلیه می‌شود.

مجموعه‌ها

S = مجموعه تعداد تأمین‌کنندگان

C = مجموعه تعداد مشتریان

k_{in} = مجموعه تعداد کامیون‌های ورودی (دریافت)

k_{out} = مجموعه تعداد کامیون‌های خروجی (ارسال)

G= مجموعه انواع محصولات

Cd = مجموعه بارانداز‌های متقاطع

پارامترها

$\mathrm{D_{cG}}$ = میزان تقاضای مشتری c از کالای نوع G

$\mathrm{P_{Gs}}$ = میزان تولید کالای نوعG توسط تولیدکننده s

$\mathrm{w_G}$ = وزن کالای نوع G

$\mathrm{d_i}$: تقاضای مشتری i

$\mathrm{Q^i}$= ظرفیت کامیون ورودی i

$\mathrm{Q^j}$= ظرفیت کامیون خروجیi

d_{scd}= فاصله تولیدکننده i تا بارانداز متقاطع i

d_{sc}= فاصله تولیدکننده i تا مشتریi

d_{cdc}= فاصله بارانداز متقاطع i تا مشتری i

$d_{\mathrm{s_ms_n}}$= فاصله تولیدکننده $(\mathrm{s_m})$تا تولیدکننده $(\mathrm{s_n})$

$d_{\mathrm{c_mc_n}}$= فاصله مشتری $(\mathrm{c_m})$تا مشتری $(\mathrm{c_n})$

$d_{cd_{\mathrm{m}}\mathrm{cd_n}}$= فاصله تأمین‌کننده$(\mathrm{cd_m})$ از تأمین‌کننده (cd_{n})

$C_{k_{in}}$= نرخ تبدیل سوخت کامیون ورودی بدون بار به گاز دی‌اکسیدکربن (kg/kg)

$C'_{k_{in}}$= اختلاف نرخ تبدیل سوخت کامیون ورودی دارای بار یک واحد محصول یا بیشتر با همان کامیون بدون بار به گاز دی‌اکسیدکربن (kg/kg)

$C'_{k_{out}}$= اختلاف نرخ تبدیل سوخت کامیون خروجی دارای بار یک واحد محصول یا بیشتر با همان کامیون بدون بار به گاز دی‌اکسیدکربن (kg/kg)

$C_{k_{out}}$= نرخ تبدیل سوخت کامیون خروجی بدون بار به گاز دی‌اکسیدکربن (kg/kg)

g^i_{sc}= نرخ مصرف سوخت کامیون ورودی برای سفر بین تأمین‌کننده i و مشتری i بدون بار

g^i_{scd}= نرخ مصرف سوخت کامیون ورودی برای سفر بین تأمین‌کننده i و بارانداز متقاطعی i بدون بار

$g^i_{\mathrm{s_ms_n}}$= نرخ مصرف سوخت کامیون ورودی برای سفر بین تأمین‌کننده مبدأ و تأمین‌کننده مقصد بدون بار

$g^i_{cd_{\mathrm{m}}\mathrm{cd_n}}$= نرخ مصرف سوخت کامیون ورودی برای سفر بین بارانداز متقاطع مبدأ و بارانداز متقاطع مقصد بدون بار

$g^j_{c_{\mathrm{m}}\mathrm{c_n}}$= نرخ مصرف سوخت کامیون خروجی برای سفر بین مشتری مبدأ و مشتری مقصد بدون بار

g^j_{cdc}= نرخ مصرف سوخت کامیون خروجی برای سفر بین بارانداز متقاطع i و مشتری i بدون بار

$Q_{k_{in}}$= تفاضل نرخ مصرف سوخت کامیون ورودی برای سفر دارای یک واحد محصول و یا بیشتر با همان کامیون بدون بار

$Q_{k_{out}}$= تفاضل نرخ مصرف سوخت کامیون خروجی برای سفر دارای یک واحد محصول و یا بیشتر با همان کامیون بدون بار

f_{scdG}= تعداد باری از محصولات G که کامیون بین تأمین‌کننده i و بارانداز تقاطعی i حمل می‌کند.

f_{scG}= تعداد باری از محصولاتG که کامیون بین تأمین‌کننده i و مشتری i حمل می‌کند.

f_{cdcG}= تعداد باری از محصولات G که کامیون بین بارانداز متقاطع i و مشتری i حمل می‌کند.

$f_{\mathrm{s_m s_n}G}$= تعداد باری از محصولاتG که کامیون بین تأمین‌کننده مبدأ و تأمین‌کننده مقصد حمل می‌کند.

$f_{c_{\mathrm{m}}c_nG}$= تعداد باری از محصولات G که کامیون بین مشتری مبدأ و مشتری مقصد حمل می‌کند.

$f_{cd_{\mathrm{m}}\mathrm{cd_n}G}$= تعداد باری از محصولات Gکه کامیون بین بارانداز متقاطع مبداو بارانداز متقاطع مقصد حمل می‌کند.

E: عدد بزرگ

نرخ مصرف سوخت FCR[1] تابعی از سرعت وسیله نقلیه (v) و میزان باری (f) است که وسیله نقلیه حمل می‌کند، است و این نرخ براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$FCR = (v,f) = \alpha_{k_{in}} v^{-1} + \beta_{k_{in}} v^2 + \gamma_{k_{in}} + f.Q_{k_{in}} \quad (۱)$$

در رابطه فوق $\alpha_{k_{in}}$، $\beta_{k_{in}}$ و $\gamma_{k_{in}}$ ضرایبی ثابت فنی هستند که بستگی به نوع خودرو دارد و برای هر خودرو متفاوت است. منظور از k_{in} وسیله نقلیه ورودی در مدل است.

پارامترهای نرخ مصرف سوخت خودرو و نرخ تبدیل سوخت به گاز در دوره‌ای زمانی مختلف را می‌توان از قبل محاسبه و در جدولی نوشته شود.

تابع هدف اول کمینه کردن توالی حمل‌ونقل کامیون‌ها (حداقل نمودن تعداد جابجایی کامیون‌ها) به‌منظور توزیع کالا با تأمین انواع تقاضای مشتریان برای کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن است و تابع هدف دوم، کمینه کردن انتشار گاز دی‌اکسیدکربن از کامیون‌های موجود در کل سیستم است.

$$\mathbf{Min\ Z_1} = \sum_{i\in s=1}^{N}\sum_{i\in c=1}^{M}\sum_{i\in cd}^{N}\sum_{i\in k_{in}=1}^{N}\sum_{j\in k_{out}}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} X^{i}_{\mathrm{scG}} + X^{i}_{scdG} + X^{i}_{s_m s_n G} + X^{i}_{csG} + X^{i}_{cdsG} + X^{j}_{cdcG} + X^{j}_{c_m c_n G} + X^{j}_{ccdG}$$

$$\mathbf{Min\ Z_2} = \Bigg[\Bigg[\Bigg(\sum_{i\in s=1}^{N}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in k_{in}=1}^{N} C_{k_{in}} * g^{i}_{scd} * d_{scd} * \boldsymbol{X^{i}_{scd}}\Bigg) + \Bigg(\sum_{i\in s=1}^{N}\sum_{i\in s=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N}\sum_{i\in k_{in}}^{N} \bar{C}_{k_{in}} * Q_{k_{in}} * f_{scdG} * W_G * d_{SCdG} * \boldsymbol{X^{i}_{scdG}}\Bigg)\Bigg] + \Bigg[\Bigg(\sum_{i\in k_{in}=1}^{N}\sum_{i\in s=1}^{N}\sum_{i\in c=1}^{M} C_{k_{in}} * g^{i}_{sc} * d_{sc} * \boldsymbol{X^{i}_{sc}}\Bigg) + \Bigg(\sum_{i\in s=1}^{N}\sum_{i\in c=1}^{M}\sum_{i\in G=1}^{N}\sum_{i\in k_{in}}^{N} \bar{C}_{k_{in}} * Q_{k_{in}} * f_{scG} * W_G * d_{SCG} * \boldsymbol{X^{i}_{scG}}\Bigg)\Bigg] + \Bigg[\Bigg(\sum_{i\in k_{in}=1}^{N}\sum_{i\in s=1}^{N} C_{k_{in}} * g^{i}_{\mathrm{s_m s_n}} * d_{\mathrm{s_m s_n}} * \boldsymbol{X^{i}_{\mathrm{s_m s_n}}}\Bigg) + \Bigg(\sum_{i\in k_{in}=1}^{N}\sum_{i\in s=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} C'_{k_{in}} * Q_{k_{in}} * f_{\mathrm{s_m s_n}G} * W_G * d_{\mathrm{s_m s_n}G} * \boldsymbol{X^{i}_{\mathrm{s_m s_n}G}}\Bigg)\Bigg] + \Bigg[\Bigg(\sum_{i\in k_{in}=1}^{N}\sum_{i\in cd=1}^{N} C_{k_{in}} * g^{i}_{\mathrm{cd_m cd_n}} * d_{\mathrm{cd_m cd_n}} * \boldsymbol{X^{i}_{\mathrm{cd_m cd_n}}}\Bigg) + \Bigg(\sum_{i\in k_{in}=1}^{N}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} C'_{k_{in}} * Q_{k_{in}} * f_{\mathrm{cd_m cd_n}G} * W_G * d_{\mathrm{cd_m cd_n}G}\Bigg) * \boldsymbol{X^{i}_{\mathrm{cd_m cd_n}G}}\Bigg] + \Bigg[\Bigg(\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in c=1}^{M}\sum_{i\in k_{out}=1}^{N} C_{k_{out}} * g^{j}_{cdc} * d_{cdc} * \boldsymbol{X^{j}_{cdc}}\Bigg) + \Bigg(\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in c=1}^{M}\sum_{i\in G=1}^{N}\sum_{i\in k_{out}}^{N} C'_{k_{out}} * Q_{k_{out}} * f_{cdcG} * W_G * d_{CdcG} * \boldsymbol{X^{j}_{cdcG}}\Bigg)\Bigg] + \Bigg[\Bigg(\sum_{i\in k_{out}=1}^{N}\sum_{i\in c=1}^{M} C_{k_{out}} * g^{j}_{\mathrm{c_m c_n}} * d_{\mathrm{c_m c_n}} * \boldsymbol{X^{j}_{\mathrm{c_m c_n}}}\Bigg) + \Bigg(\sum_{i\in k_{out}=1}^{N}\sum_{i\in c=1}^{M}\sum_{i\in G=1}^{N} C'_{k_{out}} * Q_{kOUT} * f_{\mathrm{c_m c_n}G} * W_G * d_{\mathrm{c_m c_n}G} * X^{j}_{\mathrm{c_m c_n}G}\Bigg)\Bigg]\Bigg]$$

1. Fuel Consumption Rate

S.t:

$$\sum_{i\in k_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in s=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} q_{Gs} * \mathrm{X}_{\mathrm{scG}}^{\mathrm{i}} = \mathrm{D}_{\mathrm{cG}} \tag{۲}$$

$$\sum_{\boldsymbol{i\in cd=1}}^{N}\sum_{\boldsymbol{j\in k_{out}=1}}^{N}\sum_{\boldsymbol{i\in C=1}}^{M}\sum_{i\in G=1}^{N} q_{Gcd} * \mathrm{X}_{\mathrm{cdcG}}^{\mathrm{j}} + \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in G=1}^{N} q_{Gs} * \mathrm{X}_{\mathrm{scG}}^{\mathrm{i}} = \mathrm{P}_{\mathrm{Gs}} \tag{۳}$$

$$\sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{i\in c=1}^{M}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{scG}^{i} \geq 1 \tag{۴}$$

$$\mathrm{X}_{\mathrm{cds}\backslash G}^{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{i\in G=1}^{N} x_{\mathrm{s_m s_n G}}^{i} + \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N}\mathrm{X}_{\mathrm{scdG}}^{\mathrm{i}} + \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{scG}^{i} \tag{۵}$$

$$\mathrm{X}_{\mathrm{s_m s_n G}}^{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{i\in G=1}^{N} x_{\mathrm{s_n s_m G}}^{i} + \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N}\mathrm{X}_{\mathrm{s_n cdG}}^{\mathrm{i}} + \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{scG}^{i} \tag{۶}$$

$$\mathrm{X}_{\mathrm{cdcG}}^{\mathrm{j}} = \sum_{\boldsymbol{j\in k_{out}=1}}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{\mathrm{c_m c_n G}}^{j} + \sum_{\boldsymbol{i\in k_{out}}}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{ccdG}^{j} \tag{۷}$$

$$\mathrm{X}_{\mathrm{c_m c_n G}}^{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{N}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{\mathrm{c_n c_m G}}^{i} + \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i=G=1}^{N} X_{ccdG}^{i} \tag{۸}$$

$$\mathrm{X}_{\mathrm{c_m c_n G}}^{\mathrm{j}} = \sum_{\boldsymbol{j\in k_{out}=1}}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{\mathrm{c_n c_m G}}^{j} + \sum_{\boldsymbol{j\in k_{out}=1}}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{ccdG}^{j} + \sum_{\boldsymbol{j\in k_{out}=1}}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{\mathrm{cd_m cd_n G}}^{j} \tag{۹}$$

$$\mathrm{X}_{\mathrm{scG}}^{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{\mathrm{c_m c_n G}}^{i} + \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{ccdG}^{i} \tag{۱۰}$$

$$\sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G}^{N} q_{Gs} * \mathrm{X}_{\mathrm{scdG}}^{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{i}\in K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} q_{Gcd} * \mathrm{X}_{\mathrm{cdcG}}^{\mathrm{j}} \tag{۱۱}$$

$$\sum_{\mathrm{i}\in s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{scdG}^{i} * \mathrm{q}_{\mathrm{Gs}} \leq \mathrm{Q}^{\mathrm{i}} \tag{۱۲}$$

$$\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{cdcG}^{j} * \mathrm{q}_{\mathrm{Gcd}} \leq \mathrm{Q}^{\mathrm{j}} \tag{۱۳}$$

$$\sum_{\mathrm{j}\in K_{out}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in c=1}^{\mathrm{M}}\sum_{i\in cd=1}^{N}\sum_{i\in G=1}^{N} X_{cdcG}^{j} + X_{CCdG}^{j} \leq 1 + F_{cdc} \tag{۱۴}$$

$$\sum_{\mathrm{i}\in k_{in=1}}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}\in cd=1}^{\mathrm{N}}\sum_{i\in G}^{N} X_{scdG}^{i} \leq y_i \tag{۱۵}$$

$$\left(\mathrm{X}_{\mathrm{cdsG}}^{\mathrm{i}}, \mathrm{X}_{\mathrm{s_m s_n G}}^{\mathrm{i}}, \mathrm{X}_{\mathrm{scdG}}^{\mathrm{i}}, \mathrm{X}_{\mathrm{scG}}^{\mathrm{i}}, \mathrm{X}_{\mathrm{c_m c_n G}}^{\mathrm{i}}, \mathrm{X}_{\mathrm{cdcG}}^{\mathrm{j}}, \mathrm{X}_{\mathrm{c_m c_n G}}^{\mathrm{j}}, \mathrm{X}_{\mathrm{ccdG}}^{\mathrm{i}}, \mathrm{X}_{\mathrm{ccdG}}^{\mathrm{j}}, \mathrm{X}_{\mathrm{cd_m cd_n G}}^{\mathrm{j}}, y_i\right) \in \{0,1\},$$

$(X^{i}_{cds}, X^{i}_{s_m s_n}, X^{i}_{scd}, X^{i}_{sc}, X^{i}_{c_m c_n}, X^{j}_{cdc}, X^{j}_{c_m c_n}, X^{i}_{ccd}, X^{j}_{ccd}, X^{j}_{cd_m cd_n}, F_{cdc}) \in \{0, 1\}$

i=1,2,3,…,N , c=1,2,3,…,M , $G = 1,2,3, \dots, N$ j=1,2,3,…,N

All variables ≥ 0 , $\forall i, , s, c \; and \; h$

۳-۲- توصیف توابع هدف و محدودیت‌ها

تابع هدف اول، توالی حمل‌ونقل کامیون‌ها را در کل سیستم کمینه می‌کند و تابع هدف دوم، میزان گاز دی‌اکسیدکربن منتشر شده از وسایل نقلیه را در کل سیستم کمینه می‌کند به‌طوری‌که برای هر مسیر بین مبدأ و مقصد دارای دو بخش در نظر گرفته شده است در بخش اول میزان گاز منتشر شده از کامیون بدون بار است در بخش دوم میزان گاز منتشر شده با توجه به میزان بار حمل شده کامیون است.

محدودیت (۲) برای تضمین این است که مجموع تعداد واحدهایی از محصول سفارش نوع G و از تأمین‌کننده (s) در کامیون i بارگیری می‌شود دقیقاً برابر با تعداد واحد محصولات سفارش نوع G است که مشتری (c) نیاز دارد. محدودیت (۳) تضمین می‌کند که مجموع تعداد واحد محصولات سفارش نوع Gکه از تأمین‌کنندگان در کامیون ورودی i بارگیری شده است و به سمت مشتری (c) حرکت می‌کند و همچنین مجموع تعداد واحد محصولات سفارش نوع G که از بارانداز‌های تقاطعی (cd) در کامیون خروجیj بارگیری شده است و به سمت مشتری (c) حرکت می‌کند دقیقاً برابر با مجموع تعداد واحد محصولات سفارش نوع Gکه تأمین‌کننده (s) تولید می‌کند. محدودیت (۴) تضمین‌کننده این است که حداقل یکی از کامیون‌های ورودی i از تأمین‌کننده (s) محصول نوع G را بارگیری کند و به‌یک‌باره تمام محصولات را به مشتری (c) منتقل کند.. محدودیت (۵) برای تضمین این است که اگر کامیون ورودی i به سمت تأمین‌کننده (s) حرکت کند، یکی از سه حالت را برای خارج شدن از تأمین‌کننده انتخاب می‌کند. حالت اول اینکه کامیون به سمت تأمین‌کننده دیگری حرکت می‌کند، حالت دوم اینکه به سمت یکی از بارانداز‌های تقاطعی (cd) حرکت می‌کند و حالت آخر این است که به سمت مشتری (c) حرکت می‌کند. محدودیت (۶) بدین‌صورت است که اگر کامیون ورودی i از تأمین‌کننده مبدأ (s_m) به تأمین‌کننده مقصد (s_n) حرکت کند یکی از سه حالت را برای خارج شدن از تأمین‌کننده (s_n) انتخاب می‌کند. حالت اول اینکه کامیون به سمت تأمین‌کننده دیگری حرکت می‌کند، حالت دوم اینکه به سمت یکی از بارانداز‌های تقاطعی (cd) حرکت می‌کند و حالت سوم اینکه به سمت مشتری (c) حرکت می‌کند. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که اگر کامیون خروجی j به‌سمت مشتری (c) حرکت کند یکی از این دو حالت را برای خارج شدن از مشتری (c) انتخاب می‌کند. حالت اول اینکه کامیون به سمت مشتری دیگری حرکت می‌کند و حالت دوم اینکه کامیون به سمت یکی از بارانداز‌های تقاطعی (cd) حرکت می‌کند. محدودیت (۸) برای تضمین این است که اگر کامیون ورودی i از مشتری مبدأ (c_m) به مشتری مقصد (c_n) حرکت کند یکی از دو حالت را برای خروج از مشتری مقصد (c_n) انتخاب می‌کند. حالت اول اینکه کامیون به سمت مشتری دیگری حرکت می‌کند و حالت دوم این‌که کامیون به سمت یکی از بارانداز‌های تقاطعی (cd) حرکت می‌کند. محدودیت (۹) مشابه محدودیت (۸) است و تفاوتی که در این دو محدودیت است این است که در محدودیت(۸) کامیون خروجی j در محدودیت موردبررسی قرار می‌گیرد و حالت سوم اینکه کامیون خروجی از بارانداز متقاطعی به یک بارانداز متقاطعی دیگر حرکت می‌کند. محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که اگر کامیون ورودی i از تأمین‌کننده (s) به سمت مشتری (c) حرکت کند یکی از این دو حالت را برای خارج شدن از مشتری (c) انتخاب می‌کند. حالت اول اینکه کامیون به‌سمت مشتری دیگری حرکت می‌کند و حالت دوم اینکه کامیون به‌سمت بارانداز تقاطعی (cd) حرکت می‌کند. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند که تعداد واحد محصولاتی که کامیون ورودی i از تأمین‌کننده (s) به سمت یکی از بارانداز‌های تقاطعی (cd) منتقل می‌کند و در بارانداز تقاطعی تخلیه می‌کند دقیقاً برابر است با تعداد واحد محصولاتی که در کامیون خروجی j برای مشتری (c) بارگیری می‌شود.محدودیت (۱۲) و (۱۳) مربوط به ظرفیت کامیون‌های ورودی و خروجی است و تضمین می‌کند که کامیون‌ها بیش از ظرفیت خود محصولات را بارگیری نکنند. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که یک مشتری به یک بارانداز متقاطع تخصیص می‌یابد اگر کامیونی باشد که این دو را به هم مرتبط کند. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند کامیون ورودی i از تأمین‌کننده i فقط حرکت به‌سوی یک بارانداز‌تقاطعی را انتخاب کند.

۴- روش حل

مدل ریاضی طراحی شده ابتدا در نرم‌افزار گمز با روش constarint - ε در یک مثال کوچک حل گردید.سپس با توسعه مثال با توجه به حجم زیاد متغیرهای مدل با گذشت زمان بالا امکان حل با نرم‌افزار فوق وجود نداشت.لذا با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری NSGA –II , MOACO حل گردید.

۴-۱- الگوریتم ژنتیک

نظریه چارلز داروین که در سال ۱۸۵۹ ارائه گردید، جایگاه ویژه‌ای را در مسائل بهینه‌سازی به خود اختصاص داد. این نظریه براساس تکامل بهترین‌ها ارائه گردیده است و آن را می‌توان به‌عنوان نقطه شروعی برای محاسبات تکاملی دانست. الگوریتم‌های ژنتیک یکی از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی است که ایده آن برگرفته از طبیعت است. الگوریتم‌های ژنتیک برای روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی در حل مسائل خطی، محدب و برخی مشکلات مشابه بسیار موفق بوده‌اند ولی الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسائل گسسته و غیرخطی بسیار کاراتر

می‌باشند. در طبیعت از ترکیب کروموزوم‌های بهتر، نسل‌های بهتری پدید می‌آیند. در این بین گاهی اوقات جهش‌هایی نیز در کروموزوم‌ها روی می‌دهد که ممکن است باعث بهتر شدن نسل بعدی شوند. الگوریتم ژنتیک نیز با استفاده از این ایده اقدام به حل مسائل می‌کند.در شکل ۲ کد مجازی برنامه الگوریتم ژنتیک . آورده شده است و در ادامه به تشریح جزئیات الگوریتم ژنتیک ارائه شده پرداخته می‌شود.

```
BEGIN
    t=0;
    Initialize P(t);          {جمعیت اولیه ایجاد می‌شود}
    Evaluate P(t);            {عناصر P(0) توسط مقادیر برازندگی نشاندار می‌شوند}

    WHILE شرایط خاتمه ارضا نشده DO

      BEGIN

        t=t+1;
        Select P(t) from P(t-1);   {اجرای عملگر انتخاب و لیست والدین فراهم می‌شود}
        Crossover P(t);            {اجرای عملگر کروسور و لیست فرزندان فراهم می‌شود}
        Mutation P(t);             {اجرای عملگر جهش و لیست جمعیت جدید حاصل می‌شود }
        EvaluateP(t);              { عناصر P(t) توسط مقادیر برازندگی نشاندار می‌شوند }

      END

END.
```

شکل (۲): کد برنامه مجازی الگوریتم ژنتیک

۴-۲- ساختار کروموزوم

به علت پیچیده بودن . و مدل، کروموزوم از سه جزء تشکیل شده است. این سه جزء شامل حرکت کامیون بین مبدأها و مقصدها و حالات بارگیری انواع محصولات است. در ابتدا نحوه چگونگی تولید کروموزوم . شرح داده شده است و در ادامه برای هر نمونه ،. در سه سطح کوچک، متوسط و بزرگ با توجه به تعداد کامیون‌ها، تولیدکننده‌ها، بارانداز متقاطع‌ها، مشتریان تعیین و ظرفیت کامیون‌ها، زمان‌های بارگیری و تخلیه و جابجایی در بارانداز تقاطعی، مسافت‌های بین مبدأها و مقصدها، تقاضای مشتریان، میزان تولید تولیدکننده‌ها به‌صورت تابع توزیع یکنواخت تولید شده است.

جزء اول کروموزوم

در جدول ۱ حالت‌های حرکت کامیون میان مبدأها مشخص شده است. در واقع کامیون‌ها قبل از اینکه از بارانداز تقاطعی شروع به حرکت کنند محصولات و مکان‌های بارگیری را مشخص می‌کنند. در جدول ۱ به فرض مثال چهار مبدأ اصلی در نظر گرفته شده است که شامل، دو تأمین‌کننده و دو بارانداز تقاطعی است. طبق جدول ۱ اگر کامیون به تأمین‌کننده یا بارانداز تقاطعی حرکت کند عدد ۱، و در غیر اینصورت عدد ۰ را به خود اختصاص می‌دهد. ستون دوم جدول ۱که شامل اعداد (۰،۰،۰،۱) است بدین‌صورت است که کامیون فقط به تأمین‌کننده ۱ حرکت می‌کند و محصولات تأمین‌کننده ۱ را بارگیری می‌کند. به اختصار در جدول زیر: S1 تأمین‌کننده ۱و S2 : تأمین‌کننده ۲ و CD1: بارانداز تقاطعی ۱ و CD2 : بارانداز تقاطعی ۲ نامیده می‌شوند.

جزء دوم کروموزوم

در جدول ۲ مقاصدی را نشان می‌دهد که کامیون‌ها پس از عبور از مبدأها به سمت آن‌ها حرکت می‌کنند. در این جدول به فرض مثال چهار مقصد اصلی در نظر گرفته شده است که شامل، دو مشتری و دو بارانداز تقاطعی است و کامیون‌ها می‌توانند حالت‌های مختلفی از محصولات را به مقاصد انتقال بدهند. طبق جدول ۲ اگر کامیون به مشتری یا بارانداز تقاطعی حرکت کند عدد ۱، و در غیر اینصورت عدد ۰ را به خود اختصاص می‌دهد. ستون دوم جدول ۲ که شامل اعداد (۰،۰،۰،۱) است بدین‌صورت است که کامیون فقط به مشتری ۱ حرکت می‌کند و محصولات مشتری ۱ را تخلیه می‌کند. به اختصار در جدول۲ : C1 مشتری ۱ و C2 :مشتری ۲ و CD1 : بارانداز تقاطعی ۱ و CD2 : بارانداز تقاطعی ۲ نامیده می‌شوند.

جدول (۱): ماتریس حرکت کامیون در مبدأها

مبدأ	S1	S2	CD1	CD2	S1S2	S1CD1	S1CD2	S2CD1	S2CD2	CD1CD2	S1S2CD1	S1S2CD2	S1S2CD1CD2
CD1	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱
S1	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰
CD2	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱
S2	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱

جدول (۲): ماتریس حرکت کامیون در مقصدها

مقصد	C1	C2	CD1	CD2	C1C2	C1CD1	C1CD2	C2CD1	C2CD2	C1C2CD1	C1C2CD2	C1C2CD1CD2
CD1	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
C1	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰
CD2	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱
C2	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰

جزء سوم کروموزوم

برای نمونه از چهار نوع محصول مختلف استفاده شده است. این چهار نوع محصول توسط تأمین‌کنندگان تولید، و به‌وسیله کامیون‌ها به مشتری‌ها انتقال داده می‌شوند. در جدول ۳ حالت‌های مختلف بارگیری محصولات از تأمین‌کنندگان در کامیون‌ها است در واقع یک کامیون می‌تواند حالت‌هایی از محصولات مختلف را در کامیون خودبارگیری کند. طبق جدول ۳ اگر کامیون یکی از حالت‌های سفارش محصولات را بارگیری کند عدد ۱ و در غیر این صورت عدد ۰ را به خود اختصاص می‌دهد. ستون دوم جدول ۳ که شامل اعداد (۱،۰،۰،۰) است بدین‌صورت است که کامیون فقط محصول A را بارگیری می‌کند.

جدول (۳): ماتریس حالت‌های سفارش محصولات

حالت سفارش	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD
A	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱
B	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱
C	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱
D	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱

ساختار روش تقاطع

در عمل تقاطع، تولید فرزندان جدید از والدین نخبه نسل جاری است فرزندان جدید باید عمده خصوصیات والدین را به ارث برده و از آن‌ها نخبه‌تر باشند. نحوه تولید فرزندان به ساختار کروموزوم بستگی دارد با استفاده از مکانیزم انتخاب به روش تورنومنت دو کروموزوم به‌عنوان والد انتخاب می‌شوند سپس عمل تقاطع به‌صورت تک نقطه‌ای برای هر قسمت از کروموزوم با یکی از روش‌های درایه‌ای، سطری (افقی) و ستونی (عمودی) که به‌صورت تصادفی توسط الگوریتم انتخاب می‌شود و به شرح زیر توضیح داده شده جداگانه صورت می‌گیرد. شکل ۳ دو نمونه کروموزوم والد به‌منظور تولید فرزندان جدید نشان داده شده است.

الف- عملگر تقاطعی درایه‌ای: در این حالت یک عدد تصادفی در بازه تعداد درایه‌های تصادفی تولید می‌کنیم. به‌طوری‌که عدد تصادفی تولید شده بیان‌کننده محل تقاطع در کروموزوم‌های والد است سپس ژن‌های متناظر والدین را از محل درایه موردنظر تعویض می‌کنیم و فرزندان جدید تولید می‌شوند. به‌عنوان‌مثال درایه ۱۹ انتخاب می‌شود محل تقاطع از محل درایه ۱۹در کروموزوم‌های والد انجام و سپس ژن‌های متناظر والدین از محل درایه نوزده برابر شکل ۴ تعویض و فرزندان جدید تولید می‌شوند.

۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱
۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱
۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

والد اول

۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱
۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰
۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱
۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱

والد دوم

شکل (۳): دو کروموزوم والد فرضی

۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱
۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱
۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱

فرزند اول

۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰
۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱

فرزند دوم

شکل (۴): فرزندان حاصل از عملگر تقاطع درایه‌ای

ب – عملگر تقاطعی افقی: در این حالت یک عدد تصادفی در بازه تعداد سطرهای ماتریس به‌صورت تصادفی تولید می‌کنیم. به‌طوری‌که عدد تصادفی تولید شده بیان‌کننده محل تقاطع در کروموزوم‌های والد است سپس ژن‌های متناظر والدین از محل سطر انتخاب شده تعویض و فرزندان جدید تولید می‌شوند.. به‌عنوان‌مثال سطر دوم انتخاب می‌شود محل تقاطع از محل سطر دوم در کروموزوم‌های والد انجام و سپس ژن‌های متناظر والدین از محل سطر دوم برابر شکل ۵ تعویض و فرزندان جدید تولید می‌شوند.

۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱
۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰
۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱
فرزند اول												
۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱
۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱

فرزند دوم

شکل (۵): فرزندان حاصل از عملگر تقاطع سطری (افقی)

ج – عملگر تقاطعی عمودی: در این حالت یک عدد تصادفی در بازه تعداد ستون‌های ماتریس به‌صورت تصادفی تولید می‌کنیم. به‌طوری‌که عدد تصادفی تولید شده بیان‌کننده محل تقاطع در کروموزوم‌های والد است سپس ژن‌های متناظر والدین از محل ستون انتخاب شده تعویض و فرزندان جدید تولید می‌شوند. به‌عنوان‌مثال ستون چهارم انتخاب می‌شود محل تقاطع از محل ستون چهارم در کروموزوم‌های والد انجام و سپس ژن‌های متناظر والدین از محل ستون چهارم برابر شکل ۶ تعویض و فرزندان جدید تولید می‌شوند.

۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱
فرزند اول												
۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱
۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱
۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱

فرزند دوم

شکل (۶): فرزندان حاصل از عملگر تقاطع ستونی (عمودی)

ساختار روش جهش

عملگر جهش عمدتاً به‌منظور ایجاد دگرگونی، تنوع و جلوگیری از واگرایی در جمعیت به کار برده می‌شود. با توجه به ساختار کروموزوم عملگر جهش همانند عملگر تقاطعی به‌صورت یکی از روش‌های درایه‌ای، سطری (افقی) و ستونی (عمودی) که به‌صورت تصادفی توسط الگوریتم انتخاب می‌شود انجام می‌شود.

الف – عملگر جهش درایه‌ای: در این حالت یک عدد تصادفی در بازه تعداد درایه‌های تصادفی تولید می‌کنیم. به‌طوری‌که عدد تصادفی تولید شده بیان‌کننده محل جهش در کروموزوم والد است سپس اگر در محل درایه عدد صفر بود به عدد یک تبدیل و اگر عدد یک بود به صفر تبدیل می‌شود. فرزند جدید تولید می‌شود. به‌عنوان‌مثال درایه ۱۹ در والد یک انتخاب می‌شود محل جهش از محل درایه ۱۹در کروموزوم‌های والد انجام و سپس ژن متناظر والد از محل درایه نوزده برابر شکل ۷ تعویض و کروموزوم جدید تولید می‌شود.

۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱

شکل (۷): کروموزوم جدید حاصل از عملگر جهش درایه‌ای

ب – عملگر جهش افقی: در این حالت یک عدد تصادفی در بازه تعداد سطرهای ماتریس به‌صورت تصادفی تولید می‌کنیم. به‌طوری‌که عدد تصادفی تولید شده بیان‌کننده محل جهش در کروموزوم والد است سپس ژن‌های متناظر والد از محل سطر انتخاب شده که دارای مقادیر صفر و یک است مقادیر آن دو را جابه‌جا می‌کنیم و فرزند جدید تولید می‌شود. به‌عنوان‌مثال سطر دوم در والد اول انتخاب می‌شود محل جهش از محل سطر دوم در کروموزوم والد انجام و سپس ژن‌های متناظر والد از محل سطر دوم برابر شکل ۸ جابه‌جا شده و کروموزوم جدید تولید می‌شود.

۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱
۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱

شکل (۸): کروموزوم جدید حاصل از عملگر جهش افقی (سطری)

ج– عملگر جهش عمودی: در این حالت یک عدد تصادفی در بازه تعداد ستون‌های ماتریس به‌صورت تصادفی تولید می‌کنیم. به‌طوری‌که عدد تصادفی تولید شده بیان‌کننده محل جهش در کروموزوم والد است سپس ژن‌های متناظر والداز محل ستون انتخاب شده که دارای مقادیر صفر و یک است مقادیر آن دو را جابه‌جا می‌کنیم و فرزند جدید تولید می‌شود. به‌عنوان‌مثال ستون هفتم در والد اول انتخاب می‌شود محل جهش از محل ستون هفتم در کروموزوم والد انجام و سپس ژن‌های متناظر والد از محل ستون هفتم برابر شکل۹ جابجا شده و کروموزوم جدید تولید می‌شود.برای توجیه‌پذیری جواب‌ها پس از اعمال اپراتورهای باز ترکیبی و جهش جواب تولید شده در یک حلقه موجه بودن یا نبودن موردبررسی قرار می‌گیرند اگر جواب تولید شده موجه نباشد مجدداً جواب جدید تولید و در حلقه بررسی تا جواب‌ها موجه شوند.

۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	
۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	
۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	

شکل (۹): کروموزوم جدید حاصل از عملگر جهش عمودی (ستونی)

۴-۳- الگوریتم کلونی مورچگان

الگوریتم کلونی مورچگان یک روش فرا ابتکاری برای حل مسائل بهینه‌سازی است. این الگوریتم مبتنی بر رفتارهای کلونی مورچه‌های واقعی است. در واقع مورچه‌های واقعی نابینا هستند؛ اما توانایی یافتن کوتاه‌ترین مسیر به سمت منبع غذایی را دارا می‌باشند و این کار با کمک بر جای گذاری اثر فرمون انجام می‌دهند. مورچه‌های مصنوعی از قوانین انتقال روابط ریاضی (۱۶) و (۱۷) استفاده نموده و این رفتار مورچه‌های طبیعی را تقلید و مقصد بعدی را می‌یابند [۱۳]. همچنین مورچه‌های مصنوعی از قوانین بروز رسانی اثر فرمون روابط ریاضی (۱۸) و (۱۹) استفاده می‌نمایند و از آن برای به‌روزرسانی اثر فرمون روی مسیرها استفاده می‌کنند.

$$j = \begin{cases} \arg_{r \epsilon T_k(i)}^{Max}\{[\lambda(i,r)].[v(i,r)]^{\beta}\} & if\ q \le q_0 \\ J & other\ wise \end{cases} \qquad (۱۶)$$

فرض کنید k یک مورچه مصنوعی باشد که وظیفه ایجاد یک مسیر است. این مورچه تمامی مشتریان را ملاقات می‌کند و به نقطه اولیه باز می‌گردد. و همراه با مورچه kام لیستی تحت عنوان $T_k(i)$ شامل تمامی مشتریانی که هنوز ملاقات نشده‌اند، وجود دارد. مورچه kام که در محل مشتری iام قرار دارد به محل مشتری jام می‌رود. $\lambda(i,r)$ نشان‌دهنده مقدار اثر فرمون بر روی کمان بین دو مشتری i و r است. $v(i,r)$ یک مقدار ابتکاری است و از معکوس فاصله بین دو مشتری iو r حاصل می‌شود و β یک پارامتر است که اهمیت نسبی $v(i,r)$ را نشان می‌دهد. q مقداری است که به‌طور تصادفی بین صفر و یک تولید می‌شود و q_0 نیز پارامتری است که توسط کاربر تعیین می‌شود و بین صفر و یک است. J نیز یک متغیر تصادفی است و بر اساس تابع توزیع احتمال ارائه شده در رابطه ریاضی (۱۶) $P_k(i,j)$ احتمال انتخاب مشتری jام است.

$$P_k(i,j) = \begin{cases} \dfrac{[\lambda(i,r)].[v(i,r)]^{\beta}}{\sum_{r \epsilon T_k(i,r)}[\lambda(i,r)].[v(i,r)]^{\beta}} & if\ j \epsilon T_k(i) \\ 0 & other\ wise \end{cases} \qquad (۱۷)$$

رابطه ریاضی (۱۷) برای بروزرسانی محلی اثر فرومون استفاده می‌شود. این بروز رسانی محلی زمانی اتفاق می‌افتد که مورچه kام از محل مشتری i به محل مشتری jام می‌رود. در این رابطه ρ پارامتر محو شدن اثر فرومون محلی روی مسیر است و مقدار آن بین صفر و یک تعریف می‌شود و λ_0 مقدار فرومون اولیه بر روی مسیرها است.

$$\lambda(i,j) = (1-\rho)\lambda(i,j) + \rho\Delta\lambda(i,j), \Delta\lambda(i,j) = \lambda_0 \qquad (۱۸)$$

پس‌ازآنکه مورچه‌ها مسیرهای خود را تولید نمودند، بروز رسانی کل اثر فرومون انجام می‌گیرد این کار براساس رابطه ریاضی (۱۸) صورت می‌پذیرد که در آن α پارامتر محو شدن اثر فرومون کلی روی مسیر است و مقدار آن بین صفر و یک تعریف می‌شود. همچنین L_{gb} طول بهترین مسیر از ابتدای حل است.

$$\lambda(i,j) = (1-\alpha)\lambda(i,j) + \alpha\frac{1}{L_{gb}} \qquad (۱۹)$$

اعتبار سنجی مدل ارائه شده

اگرچه مقالات زیادی . توالی حمل‌ونقل کامیون‌ها و کمینه کردن انتشار گاز دی اکسید کربن را در زنجیره تأمین موردمطالعه قرار داده‌اند ولی، کمینه‌سازی توالی حمل‌ونقل کامیون‌ها و کمینه کردن انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در کل زنجیره تأمین، با در نظر گرفتن روابط و مفروضات مطرح شده تا کنون موردمطالعه قرار نگرفته است و این مقاله می‌تواند شروعی جدید برای کارهای بعدی در این حوزه باشد ازاین‌رو چون امکان مقایسه نتایج با دیگر مقالات موجود فراهم نیست یک مثال عددی در قسمت بعدی مطرح می‌شود و جواب‌های به کمک الگوریتم‌های ژنتیک کلونی مورچگان مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

۵- روش تولید مسائل تصادفی

مسائل تولیدی نمونه در سه گروه با ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ به‌صورت تصادفی ایجاد شده‌اند. که از هر بعد ۷ . نمونه در مجموع ۲۱. نمونه مطابق جدول ۴ تولید و شرح داده می‌شود، نحوه ایجاد مسائل انتخابی با توجه به تأثیر پارامترهای تعداد تولیدکننده، بارانداز تقاطعی، مشتری، انواع محصول و کامیون‌ها انجام شده است. سپس نتایج محاسباتی ارائه خواهد شد و در نهایت با تکرار اجراهای الگوریتم و با استفاده از تابع توزیع یکنواخت پارامترهای تولید می‌شوند و در هر نمونه اعداد جدیدی تولید می‌شود. همچنین تحلیل حساسیت نتایج با استفاده از تعداد کامیون‌ها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد و در پایان با استفاده از معیارهای مختلف کارایی دو الگوریتم مورد مقایسه قرار می‌گیرد. حل مدل با استفاده از الگوریتم‌های مطرح شده با رایانه شخصی با مشخصات Intel((R)core(TM)i7-8850 cpu@1.80GHZ توسط برنامه MATLAB 8.5.0.19761 (R2015a) به‌دست می‌آید. در فرض بر این بود که کامیون‌ها، پس از بارگیری محصولات از تأمین‌کنندگان به‌سمت مشتریان یا بارانداز تقاطعی حرکت می‌کردند و محصولات بارگیری شده را تخلیه می‌کردند. برای درک بهتر نحوه عملکرد دو الگوریتم جزئیات حل . نمونه ۶، در بعد کوچک، که تقریباً ساده‌ترین نمونه است نشان داده شده است.

پارامترهای تصادفی

در این تعدادی از مقادیر پارامترها با استفاده از تابع توزیع یکنواخت تولید می‌شوند. پارامترهایی که به‌صورت تصادفی تولید می‌گردند شامل ظرفیت کامیون‌ها، میزان تقاضای مشتریان، میزان تولید تولیدکنندگان، تعداد محصول، نرخ مصرف سوخت و مسافت طی شده کامیون‌ها بین مبدأها و مقصدها است. برای هر نمونه پارامترها ایجاد و در جداول مربوطه آورده شده است. در جدول (۵) کمترین و بیشترین مقادیری که پارامترها می‌توانند به خود اختصاص دهند ذکر گردیده است.

۵-۱- تنظیم پارامترهای الگوریتم

به‌منظور حل مدل پیشنهادی، از دو الگوریتم فراابتکاری حل مسائل چند هدفه شامل الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب NSGA–II[1] و الگوریتم چند هدفه کلونی مورچگان MOACO[2] استفاده شده است. ازآنجایی‌که خروجی مسائل به‌شدت به پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی وابسته هستند لذا از روش تاگوچی به‌منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها استفاده شده است. مزیت روش تاگوچی نسبت به دیگر روش‌های طراحی آزمایشات علاوه‌بر هزینه، به‌دست آوردن سطوح بهینه پارامترها در زمان کمتر است. یکی از مهم‌ترین قدم‌های این روش انتخاب یک ارائه متعامد است که اثرات عوامل در میانگین پاسخ و تغییرات را تخمین می‌زند.در این پایان‌نامه، مناسب‌ترین طرح آزمایش‌های سه سطحی تشخیص داده شده‌اند و با توجه به ارائه‌های متعامد استاندارد تاگوچی، ارائه‌ی L9 به‌عنوان طرح مناسب آزمایش برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های پیشنهادی انتخاب شده است. تاگوچی به‌منظور تنظیم پارامترهای بهینه، یک اندازه آماری عملکرد تحت عنوان S/N[3] را در نظر می‌گیرد که این نسبت دربرگیرنده میانگین و تغییرات است که این نسبت هر چه بیشتر باشد مطلوب‌تر است[۱۴].

متغیر پاسخ در نظر گرفته شده، میانگین چهار شاخص استاندارد MD,[4] MID,[5] spacing, NPS[6], برای الگوریتم‌های فرا ابتکاری چند هدفه است. از آن‌جا که این متغیر پاسخ از نوع هر چه کمتر بهتر است نسبت S/N متناظر آن به‌صورت رابطه (۲۰) در نظر گرفته می‌شود. الگوریتم‌های فراابتکاری پیشنهادی برای هر آزمایش تاگوچی اجرا می‌شوند و سپس نسبت‌های S/N توسط نرم‌افزار Minitab 16 محاسبه می‌گردند نمودارهای آن در شکل ۱۱ و مقادیر بهینه پارامترهای هر الگوریتم در جدول ۶ نشان داده شده است.

$$SN\ Ratio = -10\log\left(\frac{sum(y^2}{n}\right) \qquad (۲۰)$$

جدول (۴): پارامترهای ثابت

پارامتر	نمونه سطح کوچک							نمونه سطح متوسط							نمونه سطح بزرگ						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
تعداد کامیون ورودی	۲	۴	۴	۳	۴	۳	۳	۳	۴	۲	۴	۴	۳	۳	۱۲	۱۱	۱۳	۱۴	۱۱	۱۲	۱۱
تعداد کامیون خروجی	۲	۴	۳	۴	۴	۳	۲	۲	۳	۳	۲	۳	۲	۲	۱۱	۱۲	۱۱	۱۲	۱۱	۱۰	۱۲
تعداد تأمین‌کننده	۴	۳	۴	۴	۵	۳	۲	۱۰	۹	۹	۸	۷	۸	۱۱	۱۸	۱۷	۱۷	۱۹	۱۸	۱۶	۲۰
تعداد بارانداز متقاطع	۴	۳	۳	۷	۴	۳	۳	۸	۹	۹	۷	۸	۶	۶	۱۲	۱۰	۱۱	۱۲	۱۰	۱۰	۱۴
انواع محصول	۱۰	۶	۸	۱۰	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲	۱۴	۱۲	۱۱	۱۳	۱۵	۲۰	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۰	۲۵
تعداد مشتری	۵	۳	۴	۸	۴	۳	۳	۱۱	۱۲	۱۰	۹	۱۰	۱۱	۱۵	۲۲	۲۰	۲۳	۲۱	۲۰	۱۸	۲۰

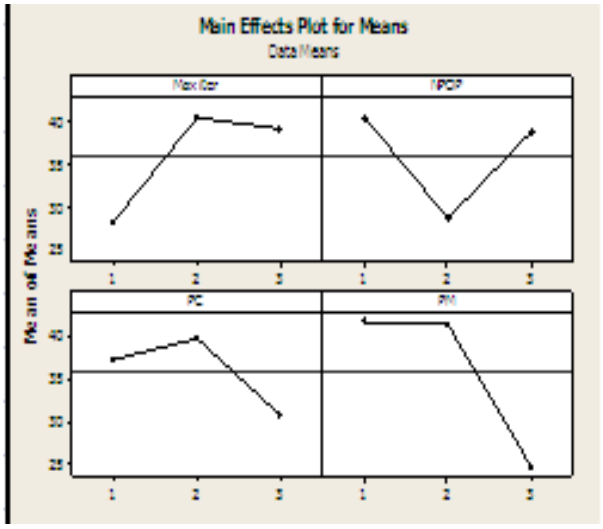
1. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II)
2. Multiple Objective Ant Colony (MOACO)
3. Signal to noise(S/N)
4. Maximum Spread or Diversity (MD)
5. Mean Ideal Didstance (MID)
6. Number of pareto solution (NPS)

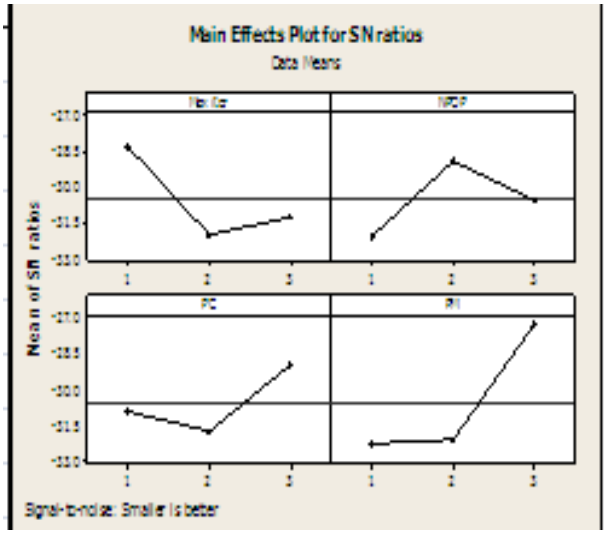
جدول (۵): پارامترهای تصادفی

پارامتر	نمونه سطح کوچک							نمونه سطح متوسط							نمونه سطح بزرگ						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
تقاضای مشتری	u(۰و۳۰)							u(۰و۳۰)							u(۰و۳۰)						
میزان عرضه محصول	u(۰و۳۰)							u(۰و۳۰)							u(۰و۳۰)						
وزن محصول	u(۰و۱۰)							u(۰و۱۰)							u(۰و۱۰)						
ظرفیت کامیون ورودی	۱۰۰۰*(۲۰و۱۰)u							۱۰۰۰*(۲۰و۱۰)u							۱۰۰۰*(۲۰و۱۰)u						
ظرفیت کامیون خروجی	۱۰۰۰*(۲۰و۱۰)u							۱۰۰۰*(۲۰و۱۰)u							۱۰۰۰*(۲۰و۱۰)u						
فاصله مبدأ و مقصد	u(۲۰۰و۱)							u(۲۰۰و۱)							u(۲۰۰و۱)						
تعداد محصول از نوع h	u(۱۰و۱)							u(۱۰و۱)							u(۱۰و۱)						
نرخ مصرف سوخت	u(۲۰و۱)							u(۲۰و۱)							u(۲۰و۱)						

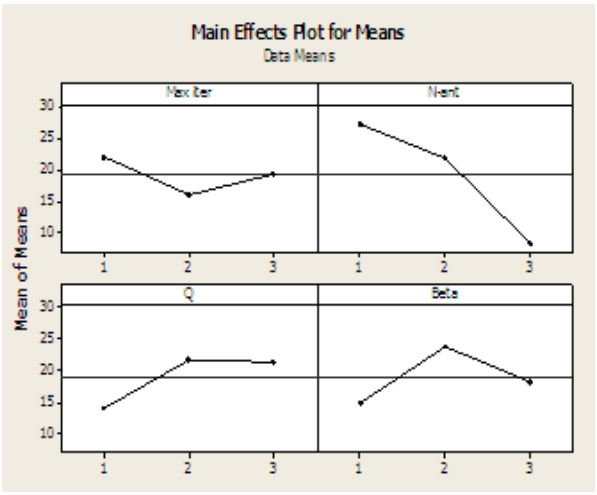
جدول (۶): مقادیر بهینه پارامترها در الگوریتم‌ها

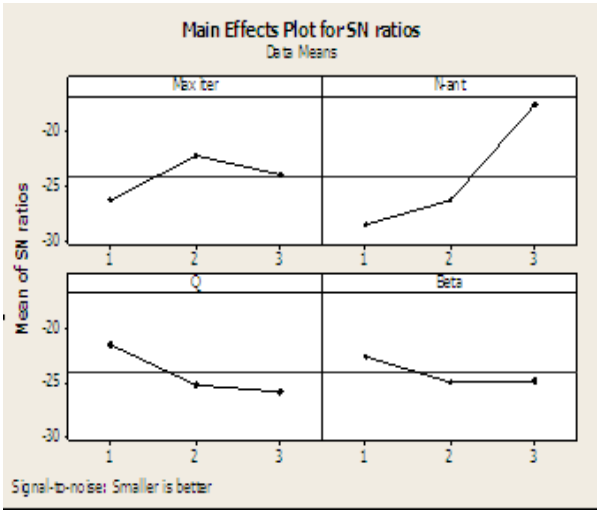
الگوریتم	پارامتر	دامنه پارامترها	مقادیر
NSGA-II	تعداد تکرار	۱۰۰۰-۳۰۰	۳۰۰
	اندازه جمعیت	۵۰ -۱۰۰	۱۰۰
	نرخ تقاطع	۰,۶ -۰,۸	۰,۸
	نرخ جهش	۰,۱ -۰,۲	۰,۲
MOACO	تعداد تکرار	۱۰۰۰-۳۰۰	۳۰۰
	اندازه جمعیت	۵۰ -۱۰	۱۰۰
	ضریب تبدیل برازندگی جواب به فرومون	۰,۵ -۰,۹	۰,۵
	نرخ انحراف فاصله	۱ -۳	۱





الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب NSGA–II





الگوریتم کلونی مورچگان چند هدفه MOACO

شکل (۱۱): نمودارهای S/N پارامترهای الگوریتم‌های NSGA-II و MOACO

۵-۲- نتایج محاسباتی

نمونه ۶، در سطح اندازه کوچک با پارامترهای ثابت مندرج در جدول ۴ و پارامترهای تصادفی مندرج در جدول ۵ با چهار الگوریتم NSGA–II و MOACO حل گردید. بر این اساس توالی عملیات حمل‌ونقل کامیون‌ها در . نمونه ۶ برای هر دو الگوریتم به‌عنوان تحلیل خروجی متغیرها طبق جداول زیر آورده شده است. در جدول ۷ توالی حمل‌ونقل کامیون اول در . نمونه ۶ با روش حل الگوریتم NSGA–II و در جدول ۸ توالی حمل‌ونقل کامیون اول در نمونه ۶ با روش حل MOACO آورده شده است.

جدول (۷): توالی حمل‌ونقل کامیون ۱ با الگوریتم NSGA–II برای . نمونه ۶ (سطح کوچک)

مبدأ	مقصد	نوع محصول	تعداد محصول	توالی حمل‌ونقل
تأمین‌کننده ۱	بارانداز تقاطعی ۱	E	۷	۱
تأمین‌کننده ۲	بارانداز تقاطعی ۱	F	۱۵	
تأمین‌کننده ۲	بارانداز تقاطعی ۳	G	۶	
تأمین‌کننده ۳	مشتری ۱	D	۱۴	
تأمین‌کننده ۳	مشتری ۲	D	۱۴	
تأمین‌کننده ۲	مشتری ۳	D	۱۳	
تأمین‌کننده ۱	مشتری ۳	E	۱۷	۲
تأمین‌کننده ۲	مشتری ۱	F	۸	
تأمین‌کننده ۲	مشتری ۲	F	۱۶	
تأمین‌کننده ۲	مشتری ۳	F	۱۸	
تأمین‌کننده ۲	مشتری ۲	G	۷	
تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ۱	E	۷	
تأمین‌کننده ۲	تأمین‌کننده ۱	F	۱۵	۳
تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ۱	F	۱۶	
بارانداز تقاطعی۳	بارانداز تقاطعی ۱	D	۱۴	۴
بارانداز تقاطعی۲	بارانداز تقاطعی ۱	F	۱۶	
مشتری ۳	مشتری ۱	D	۱۴	
مشتری ۳	مشتری ۲	E	۸	۵
مشتری ۳	مشتری ۲	F	۱۸	
مشتری ۳	مشتری ۲	G	۱۳	
بارانداز تقاطعی۱	مشتری ۱	B	۹	
بارانداز تقاطعی۱	مشتری ۳	D	۱۴	
بارانداز تقاطعی۱	مشتری ۱	G	۱۰	۶
بارانداز تقاطعی۱	مشتری ۲	G	۷	
بارانداز تقاطعی۲	مشتری ۳	C	۱۱	
بارانداز تقاطعی۳	مشتری ۱	E	۱۷	

جدول (۸): توالی حمل‌ونقل کامیون ۱ با الگوریتم MOACO برای . نمونه ۶ (سطح کوچک)

مبدأ	مقصد	نوع محصول	تعداد محصول	توالی حمل‌ونقل
تأمین‌کننده ۱	بارانداز تقاطعی ۱	A	۳	
تأمین‌کننده ۳	بارانداز تقاطعی ۱	F	۲	۱
تأمین‌کننده ۱	بارانداز تقاطعی ۳	J	۱۰	
تأمین‌کننده ۱	مشتری ۱	A	۱۳	
تأمین‌کننده ۱	مشتری ۲	A	۱۲	
تأمین‌کننده ۱	مشتری ۳	A	۱۶	
تأمین‌کننده ۳	مشتری ۳	A	۱۶	۲
تأمین‌کننده ۳	مشتری ۲	B	۱۴	
تأمین‌کننده ۱	مشتری ۱	J	۱۸	
تأمین‌کننده ۳	مشتری ۳	J	۱۱	
تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ۱	A	۱۵	
تأمین‌کننده ۱	تأمین‌کننده ۲	A	۳	
تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ۲	A	۱۵	۳
تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ۱	J	۹	
تأمین‌کننده ۲	تأمین‌کننده ۱	J	۱۶	
مشتری ۳	مشتری ۱	B	۱۴	
مشتری ۳	مشتری ۲	F	۱۶	۴
مشتری ۳	مشتری ۲	J	۹	
بارانداز تقاطعی ۲	بارانداز تقاطعی ۱	A	۳	
بارانداز تقاطعی ۳	بارانداز تقاطعی ۱	A	۱۵	۵
بارانداز تقاطعی ۳	بارانداز تقاطعی ۱	B	۱	
بارانداز تقاطعی ۳	بارانداز تقاطعی ۱	J	۱۸	
بارانداز تقاطعی ۲	مشتری ۱	A	۸	
بارانداز تقاطعی ۳	مشتری ۱	A	۵	
بارانداز تقاطعی ۲	مشتری ۲	A	۱۲	۶
بارانداز تقاطعی ۲	مشتری ۳	A	۱۶	
بارانداز تقاطعی ۱	مشتری ۱	J	۱۸	
بارانداز تقاطعی۱	مشتری ۳	J	۱۱	

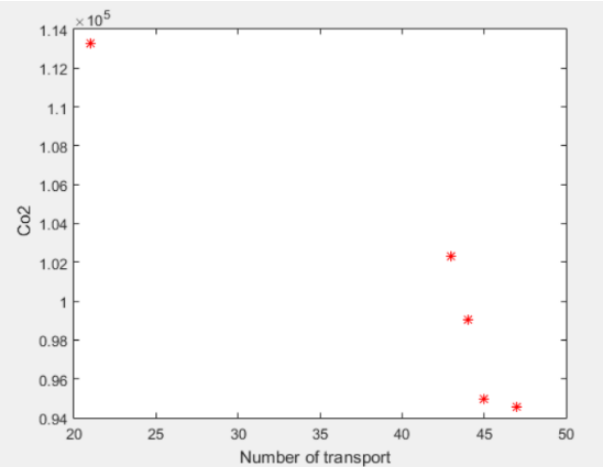
۵-۳- جواب‌های پارتو برای . نمونه ۶ (سطح کوچک) الگوریتم‌های NSGA–II و MOACO

در جدول (۹) اندازه آرشیو پارتو برای . نمونه ۶، در سطح اندازه کوچک به‌ترتیب برای الگوریتم NSGA–II برابر با ۵ و الگوریتم MOACO برابر با ۸ است.

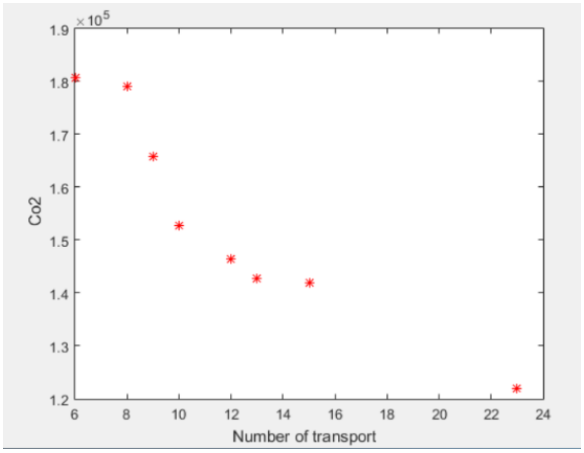
جدول (۹): جواب‌های پارتو برای . نمونه ۶ (سطح کوچک)

الگوریتم MOACO		الگوریتم NASG-II		
F2	F1	F2	F1	شماره پاره تو
۱۸۰۶۳۹	۶	۱۱۳۲۶۱	۲۱	۱
۱۷۹۱۴۲	۸	۱۰۲۳۳۵	۴۳	۲
۱۶۵۷۳۹	۹	۹۹۰۵۳	۴۴	۳
۱۵۲۸۶۵	۱۰	۹۴۹۷۹	۴۵	۴
۱۴۶۴۰۶	۱۲	۹۴۵۵۹	۴۷	۵
۱۴۲۶۶۶	۱۳			۶
۱۴۲۰۱۸	۱۵			۷
۱۲۱۹۵۶	۲۳			۸

جواب‌های پارتو به‌دست آمده توسط الگوریتم NSGA–II در شکل (۱۲) و الگوریتم MOACO در شکل (۱۳) نشان داده شده است. در فضای دوبعدی توابع هدف تعداد دفعات حمل‌ونقل و انتشار گاز دی اکسید کربن را نشان می‌دهد همچنان که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد دفعات حمل‌ونقل، مقدار انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد.



شکل (۱۲): نمودار تعداد دفعات حمل‌ونقل- گاز دی‌اکسیدکربن (NSGA–II)



شکل (۱۳): نمودار تعداد دفعات حمل‌ونقل - گاز دی‌اکسیدکربن (MOACO)

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مسئله‌ای که مقاله حاضر به مطالعه آن پرداخته، ارائه مدلی جهت توالی بهینه کامیون‌ها و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در زنجیره تأمین با توجه به دو هدف (کمینه‌سازی توالی حمل‌ونقل کامیون‌ها و کمینه‌سازی انتشار گاز دی اکسید کربن) است.

برای حل رویکرد مدل ریاضی بسیار مشکل است برای حل به‌دلیل تعداد بالای متغیرها و محدودیت‌های مرتبط با تعداد کامیون‌های ارسال، دریافت و تعداد محصولات و با افزایش این متغیرها ابعاد و زمان حل به‌صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین با بهره‌گیری از دو الگوریتم فراابتکاری NSGA-II و MOACO برای حل مدل استفاده شده است. در نتایج محاسباتی آورده شده است و نتایج با استفاده از اندازه آرشیو جواب‌های هر دو الگوریتم برای نمونه ۶ (سطح کوچک) مورد مقایسه قرار گرفتند. به‌طوری‌که در هر دو الگوریتم با افزایش تعداد حمل‌ونقل، انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد.

به‌دلیل این‌که تحقیقات در این زمینه در مراحل اولیه است. فرصت زیادی برای تحقیقات آتی وجود دارد. تعدادی از حوزه‌هایی که می‌توان در آن‌ها تحقیقات را گسترش داد در زیر اشاره شده است.

- تعمیم مدل ریاضی پیشنهادی برای مدل‌سازی در شرایط وجود سیستم‌های بارانداز متقاطع با وجود چندین درب ورودی و خروجی
- تاکنون فرض شده است که انبار موقت ظرفیت نامحدود دارد، درحالی‌که معمولاً در عمل ظرفیت انبار موقت محدود است. این فرض دنیای واقعی را می‌توان به مدل اضافه کرد.
- تعمیم مدل ریاضی پیشنهادی با در نظر گرفتن حالت چند دوره‌ای
- تعمیم مدل ریاضی پیشنهادی با در نظر گرفتن پارامترهای نامشخص (به‌عنوان‌مثال در نظر گرفتن تقاضای فازی برای مشتریان) با توجه به ماهیت پیچیده‌ای که سیستم‌های بارانداز دارند.

مراجع

[1] Tognetti, A., Grosse-Ruykenn. P., Wagner, S., (2015). Green supply chain network optimization and the trade-off between environmental and economic objectives, INT.J. Production Economics, 170:385-392.

[2] Bruglieri, M., Mancini, S., Pezzella, F., Pisacane, O. (2019). A Path-based solution approach for the Green Vehicle Routing Problem ,Computers & Operations Research, 103: 109-122

[3] Mohtashami, A., Tavana, M., Santos-Arteaga,F., Fallahian-Najafabadi,A.(2015). A novel multiobjective meta-heuristic model for solving cross-docking scheduling problems, Applied Soft Computing, 31: 30–47

[4] Baniamerian, A., Bashiri, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2019). Modified variable neighborhood search and genetic algorithm for profitable heterogeneous vehicle routing problem with cross-docking, 75: 441-460

[5] Mohtashami, A. (2015). A Novel Dynamic Genetic Algorithm-Based Method for Vehicle Schadulingin Cross Docking Systems with Frequent Unloading Operation, Computers & Industrial Engineering, 90: 221-240.

[6] Puji Nurjanni, K., Carvalho, M., Costa, L. (2016). Green supply chain design: a mathematical modelling approach based on a multiobjective optimization model, Intern. Production Economics182: 421-432

[7] Yeng, P., Chuang, Y. (2016). Adaptive Memory ArtiÞcial Bee Colony Algorithm for Green Vehicle Routing with Cross-Docking, Applied Mathematical Modelling, 40: 9302-9315.

[8] Madani, S.R., Rasti-Barzoki, M. (2017). Sustainable supply chain management with pricing, greening and governmental tariffs determining strategies: A game-theoretic approach, Computers & Industrial Engineering, 105: 287-298.

[9] Wisittipanich, W., Hengmeechai, P. (2017). Truck Scheduling in Multi-Door Cross Docking Terminal by Modified ParticleSwarm Optimization, Computers & Industrial Engineering, 113: 793-802

[10] Zuluaga, J., Thiell, M., Perales, R. (2017). Reverse cross-docking, Omega, 66: 48-57

[12] Xioa,Y., Konan, A. (2016). The heterogeneous green vehicle routing and scheduling problem with time-varying traffic congestion,Transportation Research Part E, 88: 146–166

[13] Dorigo, M., Maniezzo, V., Colorni, A. (1996). The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agent, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B, 26 (1): 29-41.

[14] Taguchi, G. (1986). Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes.

[۱۱] محتشمی، علی. فلاحیان نجف‌آبادی، علی (۱۳۹۲). "زمان‌بندی حمل‌ونقل کامیون‌ها در زنجیره تأمین با در نظر گرفتن بارانداز تقاطعی و با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری"، فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۱ (۳۱)، ۸۴-۵۵.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2019, Volume 7., No. 14., pp 59-77
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2019.17125.1787

Designing a Green Routing Mathematical Model in Multi Cross Docking Systems with a Carbon Dioxide Reduction Approach

A. Najafi[1], A. Mohtashami[2*], M. Amiri[3], A.R. Arajpour[4]

[1] Ph.d student In Industrial Management, Department of Industrial management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
[2,4] Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
[3] Department of Industrial Management of Allameh Tabataba'I University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 18 August 2018
Accepted 4 July 2019

***Keywords*:**

cross docking
Green supply chain
Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II
Multiple Objective Ant Colony

ABSTRACT

Reducing fuel consumption leads to reduced greenhouse gas emissions and customer service costs, resulting in customer satisfaction and reduced environmental degradation.. For this purpose, this paper focuses on the optimization and planning of the movement of inbound and outbound trucks and the green supply chain, with multi cross-docking and two different types of objective functions of minimizing the sequence of truck transportation and carbon dioxide emissions into the supply chain. Since the paper model is a linear programming integer of zero and since these models belong to the NP-hard class, their solving time severely increases with increasing the problem dimensions. In this paper, to solve the model meta-heuristic algorithms have been used. The algorithms used in solving thae model are Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II) and Multiple Objective Ant Colony (MOACO) Algorithm. Finally, the model has been solved using two algorithms and computational experiments reported carefully to illustrate and compare designing and computational.

* Corresponding author. A. Mohtashami
Tel.: 02833665275; *E-mail address: Mohtashami@qiau.ac.ir*