فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۲، شماره ٤، تابستان ۱٤۰۰، ص. ۹۷۲-۹٤۹
مقاله علمی-پژوهشی

بررسی مساله مسیریابی- مکان‌یابی در سیستم‌های بارانداز متقاطع چندگانه با استفاده از پنجره زمانی نرم در حالت چند هدفه

علی محتشمی (مسئول مکاتبات)، دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
E-mail: Mohtashami@qiau.ac.ir
علی نجفی، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
مقصود امیری، استاد، دانشگاه علامه طباطبایی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۸/۰٤/۱۰ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۰

چکیده

بار انداز متقاطع، یک روش مناسبی است که منجر به کاهش هزینه‌های مدیریت موجودی و زمان تحویل سفارش مشتریان می شود. بدین منظور در این مقاله رویکرد جدیدی شامل ارتباط متقابل تمام عناصر درکل زنجیره تامین به طور خاص ارتباط مستقیم تولیدکننده‌ها - مشتریان و تعداد جابجایی وسایل نقلیه با تمرکز برکاهش هزینه منظور شده است. مدل ریاضی با لحاظ چند بارانداز متقاطع، تنوع تولیدکننده‌ها، مشتریان و دو هدف کمینه‌سازی هزینه کل عملیات، توالی حمل و نقل کامیونها طراحی گردیده است. از آنجا که 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 مساله به شدت افزایش می‌یابد. لذا برای پیدا کردن جوابهای نزدیک بهینه مساله از الگوریتم چندهدفه شبیه سازی تبرید MOSA[1] و الگوریتم چند هدفه کلونی مورچگان MOACO[2] استفاده شده است . سپس این الگوریتم‌ها با معیارهایی همچون زمان اجرا وفاصله از نقطه ایده آل با یکدیگر مقایسه شده و الگوریتم برتر درهر معیارمشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: بارانداز متقاطع، الگوریتم چند هدفه شبیه‌سازی تبرید، الگوریتم چند هدفه کلونی مورچگان

۱. مقدمه

استراتژی لجستیک یک مزیت مهم برای عملیات مدیریت زنجیره تامین است که نیاز به برنامه ریزی و تنظیم متمرکز عملیات برای کاهش هزینه و افزایش سطح رضایتمندی مشتری دارد. مدیریت زنجیره تامین کلاسیک برای حمل و نقل کالاها از تامین‌کننده‌ها به مرکز توزیع نیاز به انبار برای ذخیره‌سازی و سپس بسته‌بندی و ارسال برای مشتریان براساس تقاضای آنها دارد، که این شکل از مدیریت زنجیره تامین دارای هزینه نگهداری موجودی و هزینه نیروی انسانی بالایی می‌باشد به عبارتی در انبارهای سنتی ٤ مرحله دریافت، ذخیره‌سازی، گزینش سفارش و ارسال وجود دارد ولی در بارانداز تقاطعی مرحله ذخیره سازی که یکی از موانع اصلی سیستم‌های موجودی است برداشته می‌شود و همین امر موجب کاهش سطح موجودی و افزایش سطح رضایتمندی مشتری می شود. بارانداز تقاطعی یک روش لجستیک که در آن محصولات از یک عرضه‌کننده کالا یا کارخانه به طور مستقیم به مشتری توزیع می‌شود. در واقع بارانداز تقاطعی طرفدار حمل و نقل به موقع و هماهنگ سازی بهتر بین عرضه و تقاضا می‌باشد. در ضمن در سالهای اخیر یکی از مسایلی که سازمانها با آن مواجه هستند تولید پاک و حفاظت از محیط زیست می‌باشد. یکی از موضوعات مهم در تولید پاک استفاده از زنجیره تامین است که در تمام مراحل زنجیره تامین توجه به مسایل زیست محیطی داشته باشند. دندو و کرد رویکرد متمایزی برای اعمال پنجره زمانی اتخاذ نمودند به طوری که برای تعیین بازه پنجره زمانی از یک متغیر استفاده شده است، در صورتی که پنجره زمانی وجود داشته باشد این متغیر مقداری بزرگتر از صفر جهت اعمال خطا می‌گیرد و در غیر این صورت مقدار آن صفر خواهد بود . [Dondo and Cerd, 2014] ادر مساله مسیر یابی وسیله نقلیه، انتخاب تامین کنندگان را مورد توجه قرار دادند و از طرف دیگر تعداد کامیونهای ورودی بسته به نوع تامین‌کنندگان می‌تواند کاهش یا افزایش یابد. در این تحقیق چند بارانداز متقاطع موازی در نظر گرفته شده و دارای ظرفیت محدود می‌باشند. همچنین همه تامین کنندگان توانایی تولید همه محصولات را دارند و براساس قیمت تولید در طی حل مدل انتخاب می‌شوند [Ahmadizar et al, 2015]. با ارایه 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 ارایه راه حل کوتاه‌تری برای زمان فعالیت اقدام نموده است [Mohtashami, 2015]. در این مطالعه به ارزیابی ساختار هزینه و تاثیر پارامترها در مسائل مکان‌یابی همراه با پنجره های زمانی در شبکه توزیع می‌پردازد. برای درک تاثیر پارامترهای اصلی، نه سناریو از شبکه توزیع اوزاکا از محموله باربری با محل انبارهای مختلف، با دو معیار اندازه انبار و اندازه وسیله نقلیه را آزمایش کردند که استفاده از انبار بزرگ همراه با وسیله نقلیه بزرگ، منجر به کاهش هزینه می‌شود. ویژگی‌های انبار، وسیله نقلیه و اطلاعات حمل و نقل نیز به طور دقیق مورد بحث قرار گرفت[Ponboon et al, 2016]. در مقاله مسیریابی مساله نقلیه همراه با بارانداز تقاطعی بادر نظر گرفتن وسایل نقلیه غیر همگن با ظرفیت متغیر به دنبال حداقل کردن تابع هدف هزینه کل حمل و نقل بوده و با الگوریتم شبیه سازی تبرید مساله حل و بهترین جواب مقایسه شده است[Brimi, 2016]. برای توسعه پایدار در زنجیره تامین باید به مساله زنجیره تامین سبز تمرکز و بر محیط دوستانه و ارزش‌های کسب و کار توجه نمود این مقاله نسبت به حداقل هزینه مسیریابی سبز وسیله نقلیه در حمل و نقل محصولات نهایی از تامین کننده‌ها به مشتریان از طریق بارانداز تقاطعی با محدودیت انتشار دی اکسید کربن پرداخته است و با الگوریتم جستجوی ممنوعه کارآیی بالای سوخت را بوسیله مدیریت بارگیری برای مسیرهای طولانی با کمترین هزینه و انتشار دی اکسید کربن تعیین نموده است[yeng and chuang, 2016]. در مطالعه خود نسبت به

طراحی مدل ریاضی با دو استراتژی حمل و نقل کالا با در نظر گرفتن چند بارانداز متقاطع در زنجیره تامین اقدام و اولین استراتژی حمل و نقل مستقیم کالا از بارانداز متقاطع و دومین استراتژی حمل و نقل یک طرفه کالا از یک تامین‌کننده به تامین‌کننده دیگر با هدف کاهش هزینه حمل و نقل می‌باشد [Hasani and Zegordi, 2016]. 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 می‌باشد. در این مقاله، یک مدل ریاضی از برنامه ریزی ترکیبی عدد صحیح برای تخصیص در و ترتیب گذاری کامیون‌ها در سیستم بارانداز متقاطع چند دری ارایه شده است. هدف این مدل به حداقل رساندن زمان یا زمان کل عملیات می‌باشد. سپس، با الگوریتم ازدحام ذرات اصلاح شده بهینه‌سازی شده و با طرح های خاص کدگذاری و رمزگشایی برای حل مشکل زمان بندی کامیون‌ها در سیستم بارانداز متقاطع، پیشنهاد می‌شود [Wisittipanich and Hengmeechai, 2017]. در مطالعه بارانداز متقاطع معکوس نشان دادند که این نوع بارانداز نتایجی مانند کاهش هزینه، زمان و بهبود اطلاعات مدیریت درفرایندهای معکوس دارد. و آنالیز حساسیت این مدل به شرکتها در بهبود موقعیت‌های رقابتی کمک می‌کند به طوری که 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 پایین تر است[Zuluaga et al, 2017]. رضایی و خیرخواه (۲۰۱۷) یک مدل جامع برای طراحی یک شبکه زنجیره عرضه حلقه بسته پایدار مبتنی بر الزامات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی با استفاده از عملیات‌های بارانداز متقاطع در شبکه مذکور طراحی نمودند وبا استفاده از سیستم بارانداز متقاطع – به عنوان یک استراتژی جدید زنجیره تامین همراه با در نظر گرفتن سه بعد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی – در یک رویکرد جامع و پایدار، یک حوزه پژوهشی جدید در گستره وسیعی از مشکلات مربوط به طراحی شبکه زنجیره عرضه ارایه نموده و در این مورد به سازمان‌ها کمک می‌کند تا مزیت رقابتی خود را در صنایع مختلف بهبود بخشند. به این دلایل، در این مطالعه، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه چند هدفه توسعه داده‌شده و به منظور حل این مساله الگوریتم بهینه‌سازی فاخته به عنوان اولین تلاش در این حوزه مورد استفاده قرار می‌گیرد [Rezaei and Kheirkhah, 2017]. به مطالعه مسیریابی وسیله نقلیه با انتخاب بارانداز متقاطع پرداخته است که هدف کاهش هزینه جابجایی کالاها می‌باشد [Maknoon and Laporte, 2017]. مساله مسیریابی موقعیت مکانی به عنوان یکی از مشکلات بهینه سازی ترکیبی در شبکه های توزیع پدید می آید که در آن با بهینه سازی همزمان مکان یابی مجموعه ای از امکانات در بین مکان‌های کاندید و وسایل نقلیه مسیریابی، کل هزینه سیستم کاهش می‌یابد. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای یک مساله مسیریابی دو مرحله ای با انتخاب و تحویل همزمان ارائه شده است. در مساله مورد بررسی، یک گروه از تسهیلات به نام انبار گروه میانی بین مراکز توزیع مرکزی و فروشگاه‌های مشتری قرار گرفته است. تعداد و ظرفیت انبارهای وسط و وسایل نقلیه محدود است. علاوه بر این، هر شبکه مشتری درخواست می‌کند که هر دو نوع کالا را دریافت کرده و نوع دیگری از وسیله نقلیه را برای بازگشت به انبار تحویل دهند. در ادبیات مسئله مسیریابی مکان، بیشتر تحقیقات در شرایط قطعی انجام شده است. فرض می شود که تقاضای مشتریان پارامتر فازی باشد.برای مقابله با خواسته های نامشخص از یک برنامه‌نویسی فازی استفاده شده است. علاوه بر این، یک روش اکتشافی ترکیبی مبتنی بر الگوریتم تبرید شبیه سازی شده و الگوریتم ژنتیکی برای حل مدل ارائه شده ابداع شده است. [Ghatreh Samani and Hosseini Motlagh, 2017]. در زنجیره تامین، زمان‌بندی نقش مهمی در هماهنگی و هم‌کاری دارد. این مقاله ترکیبی از مشکلات زمانبندی تولید کننده و خودرو را از نظر تعیین مسیر یابی وسایل

نقلیه برای انتقال مواد خام از تامین کنندگان به برخی مراکز تولیدی مورد بررسی قرار می‌دهد. هدف از این کار حداقل کردن کل دیرکرد کل سفارشات به تامین‌کنندگان و به طور همزمان به حداقل رساندن فاصله کل از وسایل نقلیه است. بیشتر شرکت‌های تولیدی، که باید تامین کنندگان خود را به عنوان یک واحد صنعتی مدیریت کنند، این مشکل را تجربه می‌کنند. یک الگوریتم فراابتکاری جدید به نام الگوریتم رقابت چند لیگ که از مسابقات قهرمانی الهام‌گرفته شده، برای حل این مساله پیشنهاد شده‌است. برای نشان دادن کارایی، این الگوریتم با دو الگوریتم متفاوت مورد استفاده برای مشکلات موجود در ادبیات که به این مساله نزدیک هستند و الگوریتمی مبتنی بر فوتبال موسوم به توپ طلایی مقایسه می‌شود. نتایج تجربی اثبات می‌کند که الگوریتم پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به این الگوریتم دارد. [Beheshtinia and Ghasemi, 2018].

این مقاله با هدف ارائه یک رویکرد تصمیم گیری یکپارچه برای مشکلات حمل و نقل و برنامه‌ریزی تولید یکپارچه در یک زنجیره تأمین دو مرحله‌ای. کارکردهای هدف به حداقل رساندن زمان تحویل کالا، هزینه تولید و تولید گازهای گلخانه ای توسط تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه و به حداکثر رساندن کیفیت تولید می باشد. ابتدا مدل ریاضی مسئله ارائه می شود. در نتیجه، یک الگوریتم جدید مبتنی بر ترکیبی از الگوریتم ژنتیکی و روش ویکور در تصمیم گیری چند معیار که با نام ژنتیک – ویکور معرفی می‌شود. برای ارزیابی اثربخشی این الگوریتم در یک شرکت توزیع دارویی واقع در ایران اجرا شده و نتایج با نتایج به دست آمده توسط فرایند تصمیم گیری قبلی مقایسه می شود. نتایج همچنین با یک الگوریتم مشابه مقایسه شده است که از روش ویکور و سایر الگوریتم های ذکر شده در ادبیات استفاده نمی کند. سرانجام، نتایج با راه‌حل‌های بهینه شده برای مشکلات کوچک مقایسه می شوند. نتایج حاکی از راندمان بالای ژنتیک – ویکور در تصمیم‌گیری در مورد زنجیره تأمین یکپارچه و برنامه ریزی حمل و نقل است. [Borumand and Beheshtinia, 2018] این مقاله به کمینه سازی مجموع زمانهای زودکرد و دیرکرد در مساله زمانبندی یکپارچه تولید و حمل و نقل در یک زنجیره تامین دو مرحله‌ای می‌پردازد. به علاوه محدودیت‌هایی نظیر پنجرهای زمانی تحویل و زمان‌های فراهم بودن تامین کنندگان و وسایل نقلیه نیز در مساله در نظر گرفته شده‌اند. پس از ارائه مدل ریاضی مساله یک نسخه توسعه یافته از الگوریتم ژنتیک به نام الگوریتم سفر به تاریخ با الهام از ایده سفر به تاریخ به منظور حل مساله ارایه شده است. به منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، نتایج الگوریتم سفر به تاریخ با دو الگوریتم ژنتیک دیگر در ادبیات موضوع مقایسه شده است. نتایج مقایسات نشان از عملکرد بهتر الگوریتم پیشنهادی دارد. بعلاوه نتایج پیاده‌سازی تحلیل حساسیت روی پارامترهای اصلی مساله، رفتار توابع هدف در نظر گرفته شده را هنگامی که پارامترهای درنظر گرفته شده تغییر پیدا می کنند را نشان می‌دهد. [Taheri and Beheshtinia, 2019] یک نسخه عملی از مساله مسیریابی وسایل نقلیه یکپارچه با اتصالات عرضی مدل‌سازی و تعریف شده‌است. سه الگوریتم فراابتکاری، یعنی ژنتیک، کلونی زنبور عسل و شبیه سازی تبرید برای حل مشکلات بزرگ مقیاس طراحی شده‌اند. یک الگوریتم ابتکاری جدید برای تولید جواب‌های ابتدایی با کیفیت بالا توسعه داده شده‌است. مدل پیشنهادی و روش‌های راه‌حل در مجموعه‌ای از نمونه‌های الهام‌گرفته از دنیای واقعی ارزیابی می‌شوند. ثابت شده‌است که الگوریتم ترکیبی پیشنهادی عملکرد قابل‌قبول دارد و به طور قابل‌توجهی بهتر از سایرین است که یک مساله مسیریابی وسایل نقلیه ناهمگن سودآور را با بارانداز متقاطع در نظر می‌گیرد. در دنیای واقعی، خدمت به همه مشتریان و تامین کنندگان امکان‌پذیر نیست. براساس هزینه خرید و فروش 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 به عنوان یک هدف اصلی در نظر گرفته شده‌است در حالی که 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 مساله ریاضی استفاده می‌شود. یک الگوریتم ترکیبی جدید برای حل مشکلات بزرگ ارایه شده‌است. نتایج با نتایج حاصل از الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مقایسه می‌شوند. به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم های پیشنهادی، مثال‌های مختلفی از مجموعه داده‌های واقعی حل‌شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که در مسایل 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 [Baniamerian et al, 2019]. در این مطالعه حمل و نقل هزینه ثابت به صورت پله‌ای دو سطحی، برای چند محصول، چند نوع وسیله نقلیه و با در نظرگیری محدودیت ظرفیت روی مسیر و وسایل نقلیه مدلسازی شده است و از الگوریتم شبیه سازی تبرید برای حل استفاده شده است [Molanoori et al, 2019]. در جدول (۱) خلاصه تحقیقات پیشین نمایش داده شده است.

جدول ۱. خلاصه تحقیقات پیشین

ردیف	سال	نویسندگان	تعداد تابع هدف		تعداد بارانداز متقاطع		تابع هدف							تامین تقاضای مشتریان به طور مستقیم از طرف تامین‌کننده‌ها و امکان ارتباط متقابل بین تمام اجزاء زنجیره تامین
			تک هدفه	چند هدفه	یک بارانداز متقاطع	بیش از یک بارانداز متقاطع	سود	هزینه	زمان	توالی حمل و نقل	تاثیرات عوامل محیطی	فاصله	گاز دی اکسید کربن	
۱	۲۰۱۴	دندو و کردی	❊		❊		❊							
۲	۲۰۱۵	محتشمی	❊		❊				❊					
۳	۲۰۱۵	احمدی زار، زینیوند و ارکات	❊			❊		❊						
٤	۲۰۱٦	پان بون ، کورشی و تانی گوچی		❊	❊			❊	❊					
۵	۲۰۱٦	بریمی	❊		❊			❊						
٦	۲۰۱٦	ینگ و چانگ		❊	❊			❊					❊	

ردیف	سال	نویسندگان	تعداد تابع هدف		تعداد بارانداز متقاطع		تابع هدف							تامین تقاضای مشتریان به طور مستقیم از طرف تامین‌کننده‌ها و امکان ارتباط متقابل بین تمام اجزاء زنجیره تامین
			تک هدفه	چند هدفه	یک بارانداز متقاطع	بیش از یک بارانداز متقاطع	سود	هزینه	زمان	توالی حمل و نقل	تاثیرات عوامل محیطی	فاصله	گاز دی اکسید کربن	
۷	۲۰۱۶	حسنی گودرزی و زیگوردی	❊			❊		❊						
۸	۲۰۱۷	ویسیتی و هنگ	❊		❊				❊					
۹	۲۰۱۷	ژولاگا ، تیلی و پرالس		❊	❊			❊	❊					
۱۰	۲۰۱۷	رضایی و خیرخواه		❊		❊		❊			❊			
۱۱	۲۰۱۷	مکنون و لاپورت	❊			❊		❊						
۱۲	۲۰۱۷	قطره سمانی و حسینی مطلق	❊			❊		❊						
۱۳	۲۰۱۸	بهشتی نیا و قاسمی		❊					❊			❊		
۱۴	۲۰۱۸	برومند و بهشتی نیا		❊				❊	❊				❊	
۱۵	۲۰۱۹	طاهری و بهشتی نیا	❊						❊					
۱٦	۲۰۱۹	بانیامیریان ، بشیری و توکلی مقدم	❊		❊		❊							
پژوهش حاضر				❊		❊		❊		❊				❊

همانطور که در بررسی مقالات پیشین ملاحظه می‌گردد مفروضات ذیل مورد بررسی قرار نگرفته است و نوآوری این مقاله محسوب می‌شود:

الف - تابع هدف توالی حمل و نقل کامیونها در مدل ریاضی طراحی شده است. در این تابع هدف تمام مسیرهای موجود در مدل، که توسط وسایط نقلیه باید طی شود مد نظر قرار می‌گیرد تا تعداد جابجایی وسایط نقلیه حداقل شود (انواع و تعداد محصول بارگیری شده در کامیون، بین هر مبدا و مقصد برای هر توالی حمل و نقل مشخص گردیده است).

ب- تمام عناصر موجود در کل زنجیره تامین در مدل مورد مطالعه دارای ارتباط مستقیم و دو طرفه به شرح ذیل می‌باشند:

- ارتباط مستقیم و دو طرفه بین مشتریان و تامین‌کننده‌ها: به طوری که اگر مشتری از لحاظ جغرافیایی نزدیک تامین‌کننده باشد به منظور کاهش هزینه حمل ونقل و تسریع در تحویل کالا، کالاهای مورد نیاز مشتریان به بارانداز متقاطع منتقل نمی‌شود بلکه به طور مستقیم از طرف تامین‌کننده در اختیار مشتریان قرار می گیرد.
- ارتباط مستقیم و دو طرفه بین تامین‌کننده‌ها: در مدل طراحی شده اگر تامین‌کننده‌ای نتواند به علت عدم وجود کالای مورد نیاز مشتریان آن را تامین نماید امکان تامین کالا از سایر تامین کننده‌ها برای پوشش تقاضای مشتریان وجود دارد.
- ارتباط مستقیم و دو طرفه بین باراندازهای متقاطع: اگر کالای مورد نیاز مشتریان در یک بارانداز متقاطع وجود نداشته باشد قابل تامین از سوی سایر باراندازهای متقاطع می‌باشد.
- ارتباط مستقیم و دو طرفه بین مشتریان: امکان جابجایی کامیون بین مشتریان جهت تامین تقاضای همزمان چند مشتری وجود دارد.

ج- مکان یابی در مدل با توجه به هزینه‌های ثابت و بازگشایی هر بارانداز متقاطع انجام می‌شود به طوری که هزینه‌های ثابت و بازگشایی هر بارانداز متقاطع کمتر باشد آن بار انداز انتخاب می‌گردد.

د- پنجره زمانی نرم در مدل ریاضی در نظر گرفته شده است به این صورت که اگر کامیون در بازه زمانی نرم تعیین شده زودتر به محل مشتری برسد مشمول جریمه خواهد شد یا اگر دیرتر هم برسد باز مشمول جریمه می‌شود که این جریمه‌ها در تابع هدف هزینه محاسبه می‌شوند.

۲. مدل ریاضی پیشنهادی

در این مقاله دو هدف کمینه‌سازی هزینه کل عملیات، توالی حمل و نقل کامیونها مورد بررسی قرار گرفته است. در مدل مطرح شده ارتباط بین (بار انداز تقاطعی- تامین‌کنندگان)، (بار انداز تقاطعی- مشتریان)، (تامین‌کنندگان- مشتریان)، (تامین کنندگان- تامین‌کنندگان)، (مشتریان- مشتریان)، (بارانداز تقاطعی- بارانداز تقاطعی) با رویکرد پنجره زمانی نرم برای حمل‌ونقل کامیون‌ها در نظر گرفته شده است. مفروضات مدل عبارتند از:

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

ب- وسایل نقلیه همگن با ظرفیت متفاوت

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

د- وجود چند بارانداز تقاطعی به طوری که تامین کنندگان با در نظر گرفتن حداقل هزینه یکی از باراندازها را برای ارسال کالا انتخاب می کنند.

هـ- امکان ارتباط تامین‌کننده‌ها، باراندازها، مشتریان با یکدیگر وجود دارد.

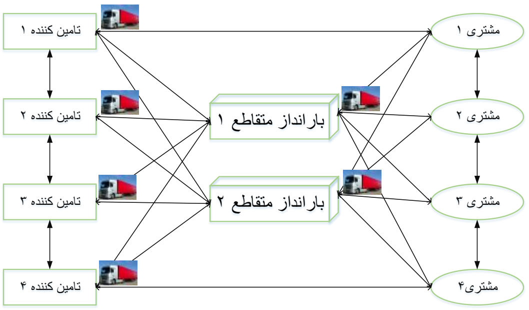
و- نوع و تعداد محصولات عرضه شده توسط تامین‌کنندگان و همچنین نوع و تعداد تقاضای مشتریان مشخص و ثابت است.

ز- در توالی حمل و نقل یک کامیون می‌تواند محصولات بیش از یک تامین‌کننده را بارگیری و محصولات بیش از یک مشتری را تخلیه کند.

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

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

برای درک و تشریح بهتر مساله تحقیق، جریان عملیات در زنجیره تامین در شکل (۱) رسم شده است. در این شکل جریان عملیات توزیع و حمل و نقل چند بارانداز تقاطعی و تعدادی مشتری و تامین‌کننده در نظر گرفته شده است. همین طور برای حمل و نقل محصولات در زنجیره تامین از وسایل حمل و نقل با ظرفیت‌های متفاوت استفاده شده است.



شکل ۱. مدل گرافیکی زنجیره تامین مورد مطالعه

در واقع در این مساله کامیون‌های ورودی پس از بارگیری محصولات از تامین‌کنندگان، مستقیما به سمت مشتریان حرکت می‌کنند و یا به سمت تامین‌کننده 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 تامین‌کننده را بارگیری کند و همین طور یک کامیون می‌تواند به بیش از یک مشتری حرکت کند و محصولات را در بین آن‌ها تخلیه کند.

در ضمن اهداف کاربردی تحقیق می‌تواند برای شرکت‌هایی که حمل ونقل 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 قابل استفاده می‌باشد. نمونه کاربردهای آن به شرح ذیل می‌باشد:

- مسیریابی وسایل نقلیه در انبار متقاطع چندگانه در صنعت گل به طوری که تولیدکنندگان گل محصولات خود را به انبارهای متقاطع ارسال پس از تفکیک و مرتب‌سازی از آنجا به گل فروشی‌ها ارسال می گردد.
- مساله مکانیابی – مسیریابی با در نظر گرفتن بارانداز متقاطع در شبکه جمع‌آوری پسماندهای شهری در یک محل (انبار متقاطع) و بر اساس نیاز کارخانجات (از نظر جنس، ماهیت قطعه و ....) تفکیک و به مقصد مورد نظر ارسال می کنند.
- شرکت‌های پستی که خدمات پستی یک پارچه ارایه می‌کنند نمونه آشکاری از بارانداز متقاطع هستند هر آنچه را از فرستنده می‌گیرند پس از تفکیک و مرتب‌سازی برای گیرندگان ارسال می‌کنند.
- مسیریابی زنجیره تامین با در نظر گرفتن بارانداز متقاطع (شرکت سازه گستر سایپا) که از کلیه سازندگان قطعات خودرویی محصولات آنها را دریافت و برای شرکت-های سازنده خودرو با توجه به تقاضای آنها ارسال می کند.
- مساله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن بارانداز متقاطع برای سوخت خودروها که سوخت توسط کامیون از پالایشگاه ها به مخازن هر استان (بارانداز متقاطع) ارسال و از آنجا به پمپ بنزین‌های سطح استان تحویل می شود.
- مساله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن بارانداز متقاطع در صنعت پخش مواد غذایی و لبنیاتی در سطح کشور

۲-۱ نماد گذاری

متغیرهای اصلی و پارامترهای مهم شناخته شده در مدل و الگوریتم های ارائه شده در مقاله عبارتند از :

۲-۱-۱ متغیرهای صفر و یک

X^{i}_{cdsG} = اگر کامیون ورودی i از بارانداز تقاطعی (c_d) به سمت تامین‌کننده (s) حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را بارگیری می‌کند: ۱ و در غیر اینصورت 0

$X^{i}_{s_m s_n G}$ = اگر کامیون ورودی i از تامین‌کننده مبدا (s_m) به سمت تامین‌کننده مقصد (Sn) حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را بارگیری می‌کند ۱و در غیر اینصورت 0

X^{i}_{scdG} = اگر کامیون ورودی i از تامین‌کننده (s) به سمت بارانداز تقاطعی (cd) حرکت کند در حالی که سفارش نوع Gرا بارگیری کرده است ۱ و در غیر اینصورت 0

X^{i}_{scG} = اگر کامیون ورودی i از تامین‌کننده (s) به سمت مشتری (c) حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را بارگیری کرده است ۱ و در غیر اینصورت 0

$X^{i}_{c_m c_n G}$ = اگر کامیون ورودی i از مشتری مبدا (c_m) به سمت مشتری مقصد (c_n) حرکت کند درحالی که سفارش نوع G را بارگیری می‌کند ۱ و در غیر اینصورت 0

$X^{j}_{c_m c_n G}$ = اگر کامیون خروجی j از مشتری مبدا(c_m) به سمت مشتری مقصد (c_n) حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را بارگیری می کند۱و در غیر اینصورت 0

X^{j}_{cdcG} = اگر کامیون خروجی j از بارانداز تقاطعی(c_d) به سمت مشتری (c) حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را بارگیری می کند ۱ و در غیر اینصورت 0

X^{i}_{ccdG} = اگر کامیون ورودی j از بارانداز تقاطعی(c) به سمت بارانداز تقاطعی (cd) حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را بارگیری می‌کند ۱ ودر غیر اینصورت 0

X^{j}_{ccdG} = اگر کامیون خروجی j از مشتری(c) به سمت بارانداز تقاطعی (cd) حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را بارگیری می‌کند ۱ و در غیر اینصورت 0

$X^{i}_{cd_m cd_n G}$ = اگر کامیون ورودی i از بارانداز متقاطع مبدا (cd_m) به سمت بارانداز مقصد (cd_n) حرکت کند در حالی که سفارش نوع G را بارگیری می‌کند ۱ و در غیر اینصورت 0

F_{cdc} = اگر تقاضای مشتری(c) از بارانداز تقاطعی (cd) تامین شود ۱ و در غیر اینصورت 0

y_i = اگر بارانداز تقاطعی (i) انتخاب شود: ۱ و در غیر اینصورت 0 می‌شود.

P_{ij} = اگر کامیون ورودی i از بر کامیون ورودی j مقدم باشد. ۱ و در غیر اینصورت 0

q_{g1g2} = اگر کامیون ورودی g_1 از بر کامیون g_2 مقدم باشد. ۱ و در غیر اینصورت 0

۲-۱-۲ متغیرهای عدد صحیح

q_{Gs} = تعداد واحد محصولات از نوع G که از تامین کننده i در کامیون ورودی i بارگیری می شود.

q_{Gcd} = تعداد واحد محصولات از نوع G که از بارانداز تقاطعی i در کامیون خروجی j بارگیری می شود.

q_{Gc} = تعداد واحد محصولات از نوع G که در محل مشتری i از کامیون ورودی i تخلیه می شود.

q_{Gs_n} = تعداد واحد محصولات از نوع G که در محل تامین کننده مقصد s_n از کامیون ورودی i تخلیه می شود.

q_{Gcd_n} = تعداد واحد محصولات از نوع G که در محل بارانداز مقصد cd_nاز کامیون خروجی j تخلیه می شود.

از آنجا که محصولات شمارش پذیر می‌باشند و در مقالات قبلی نیز متغیر تعداد محصول را عدد صحیح در نظر گرفته‌اند در این مقاله نیز متغیرهای تعداد محصول واقعی‌تر باشد عدد صحیح تعیین شده است.

۲-۱-۳ مجموعه ها

S = مجموعه تعداد تامین‌کنندگان

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

۲-۱-٤ متغیرهای پیوسته و پارامترها

T= زمان حمل و نقل

A^{i}_{scG} = زمان ورود یا خروج کامیون ورودی i از تامین‌کننده (s)، در حالی که سفارش نوع (G) را بارگیری کرده باشد و به سمت مشتری (c) حرکت کند.

A^{j}_{cdcG} = زمان ورود کامیون ورودی j به مشتری (c)از بارانداز متقاطع (cd)، در حالی که سفارش نوع (G) را بارگیری کرده باشد.

T^{i}_{scG} = زمان حمل و نقل کامیون ورودی i از تامین کننده (s) به مشتری (c)، در حالی که سفارش نوع (G) را بارگیری کرده است.

T^{j}_{cdcG} زمان حمل و نقل کامیون خروجی j از بارانداز متقاطع (cd) به مشتری (c)، در حالی که سفارش نوع (G) را بارگیری کرده است.

UL^{i}_{scG} زمان تخلیه هر واحد محصول نوع (G) ازکامیون ورودی i در مشتری (c).

UL^{j}_{cdcG} زمان تخلیه هر واحد محصول نوع (G) ازکامیون خروجی j در مشتری (c).

C^{i}_{scG} = هزینه حمل و نقل کامیون ورودی i از تامین کننده (s) به مشتری (c)، در حالی که سفارش نوع (G) را بارگیری کرده است.

C^{i}_{scdG} = هزینه حمل و نقل کامیون ورودی i از تامین کننده (s) به بارانداز تقاطعی (cd)، در حالی که سفارش نوع (G) را بارگیری کرده است.

C^{i}_{cdsG} = هزینه حمل و نقل کامیون ورودی i از بارانداز تقاطعی (cd) به تامین‌کننده (s)، در حالی که سفارش نوع (G) را تخلیه کرده است.

C_{sGcd} = هزینه انتقال محصول نوع G از ورودی بارانداز تقاطعی (cd) به خروجی بارانداز تقاطعی (cd) .

C^{j}_{cdcG} = هزینه حمل و نقل کامیون خروجی j از بارانداز تقاطعی (cd) به مشتری (c)، در حالی که سفارش محصول نوع (G) را بارگیری کرده است.

$C^{i}_{s_m s_n G}$ = هزینه حمل و نقل کامیون ورودی i از تامین کننده مبدا(s_m) به تامین‌کننده مقصد (s_n)، در حالی که سفارش نوع (G) را بارگیری می‌کند.

$C^{j}_{c_m c_n G}$ = هزینه حمل و نقل کامیون خروجی j از مشتری مبدا (c_m) به مشتری مقصد (c_n)، در حالی که سفارش نوع (G) رابارگیری می‌کند.

$C^{i}_{cd_m cd_n G}$ = هزینه حمل و نقل کامیون ورودیi از بارانداز متقاطع مبدا cd_m به بارانداز متقاطع مقصد cd_n، در حالی که سفارش نوع (G) رابارگیری می‌کند.

C^{i}_{csG} = هزینه حمل و نقل کامیون ورودی i از مشتری (c) به تامین کننده (s)، درحالی که سفارش‌نوع (G) را تخلیه کرده است.

C^{j}_{ccdG} = هزینه حمل و نقل کامیون خروجی j از مشتری (c) به بارانداز متقاطع (cd)، در حالی که سفارش نوع (G) را تخلیه کرده است.

F_i = هزینه ثابت انتخاب بارانداز متقاطع i

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

P_{GS} = میزان تولید کالای نوعG توسط تولید کننده s

w_G = وزن کالای نوع G

d_i: تقاضای مشتری i

$[e_i, E_i, L_i, l_i]$ = بازه پنجره زمانی مشتریi

$\gamma_i = E_i - A^{i}_{scG}$: زمان زود رسیدن کامیون ورودی یا خروجی در بازه زمانی

$\theta_i = A^{i}_{scG} - L_i$: زمان دیر رسیدن کامیون ورودی یا خروجی در بازه زمانی

$PE_{k_{out}}$ =جریمه تاخیر یا زود رسیدن وسیله نقلیه خروجی از بارانداز متقاطع**i** برای مشتری (c) در واحد زمان

$PE_{k_{in}}$ = جریمه تاخیر یا زود رسیدن وسیله نقلیه ورودی از تامین کننده i برای مشتری (i) در واحد زمان

w_{i}=زمان انتظار وسیله نقلیه در محل مشتری (c)

o_{i}=هزینه بازگشایی بارانداز متقاطع i

Q^{i}= ظرفیت کامیون ورودی i

Q^{j}=ظرفیت کامیون خروجی i

E : عدد بزرگ

تابع هدف اول کمینه‌کردن هزینه کل عملیات داخل زنجیره تامین می‌باشد. زمانی که اولین کامیون از بارانداز تقاطعی به سمت تامین کننده حرکت می‌کند تا زمانی که آخرین کامیون از آخرین مشتری به بارانداز‌تقاطعی منتقل شود. تابع هدف دوم کمینه کردن توالی حمل و نقل کامیونها در کل سیستم می‌باشد.

$$
\begin{aligned}
\mathbf{Min\ Z_1} = \Bigg[& \Bigg(\sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{cd}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{G=1}^{N}(\mathrm{C}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{scdG}}+\mathrm{C}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{sGcd}}) * \mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{scdG}}\Bigg) + \Bigg(\sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{G=1}^{N} C^{i}_{scG} * \mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{scG}}\Bigg) \\
& + \Bigg(\sum_{k_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{G}^{N} C^{i}_{\mathrm{s_m s_n G}} * \mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{s_m s_n G}}\Bigg) + \Bigg(\sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{c=1}^{N}\sum_{G=1}^{N}(\mathrm{C}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{cdsG}} * \mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{cdsG}}\Bigg) \\
& + \quad + \Bigg(\sum_{\mathrm{G}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{k_{in=1}}^{N} C^{i}_{\mathrm{c_m c_n G}} * \mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{c_m c_n G}}\Bigg) \\
& + \Bigg(\sum_{k_{out}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{cd}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{c=1}^{N}\sum_{G=1}^{N}(\mathrm{C}^{\mathrm{j}}_{\mathrm{cdcG}} * \mathrm{X}^{\mathrm{j}}_{\mathrm{cdcG}}\Bigg)\Bigg(\sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{cd}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{G=1}^{N} C^{i}_{cd_{\mathrm{m}}\mathrm{cd_n G}} * \mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{cd_m cd_n G}}\Bigg) \\
& + \Bigg(\sum_{K_{out}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{G=1}^{N} C^{j}_{\mathrm{c_m c_n G}} * \mathrm{X}^{\mathrm{j}}_{\mathrm{c_m c_n G}}\Bigg) + \Bigg(\sum_{K_{out}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{cd=1}^{N}\sum_{G=1}^{N} c^{j}_{ccdG} * X^{j}_{CCdG}\Bigg) \\
& + \Bigg(\sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{s=1}^{N}\sum_{G=1}^{N} c^{i}_{csG} * X^{i}_{CsG}\Bigg) \\
& + (\sum_{cd=1}^{N} O_i y_i + \sum_{s=1}^{N}\sum_{cd=1}^{N}\sum_{G=1}^{N} F_i * X^{i}_{scdG}) + [\sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{G=1}^{N} PE_{k_{in}} * (\gamma_{\mathrm{i}}+\theta_{\mathrm{i}}) * X^{i}_{scG}\Bigg] \\
& + [\sum_{K_{\mathrm{out}}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{I}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{G=1}^{N} PE_{k_{OUT}} * (\gamma_{\mathrm{i}}+\theta_{\mathrm{i}}) * X^{j}_{cdcG}]
\end{aligned}
$$

$$
\mathbf{Min\ Z_2} = \mathrm{F} = \sum_{s=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{\mathrm{cd}}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{k_{in}}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{k_{out}}}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{G}=1}^{\mathrm{N}} \mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{scG}} + X^{i}_{scdG} + X^{i}_{s_m s_n G} + X^{i}_{csG} + X^{i}_{cdsG} + X^{j}_{cdcG} + X^{j}_{c_m c_n G} + X^{j}_{ccdG}
$$

S.t:

$$
\sum_{k_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}}\sum\nolimits_{s=1}^{N}\sum_{G=1}^{N} q_{Gs} * \mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{scG}} = \mathrm{D}_{\mathrm{cG}} \tag{۱}
$$

$$
\sum\nolimits_{\boldsymbol{cd}=\mathbf{1}}^{N}\sum\nolimits_{\boldsymbol{k_{out}}=\mathbf{1}}^{N}\sum\nolimits_{\boldsymbol{C}=\mathbf{1}}^{M}\sum_{G=1}^{N} q_{Gcd} * \mathrm{X}^{\mathrm{j}}_{\mathrm{cdcG}} + \sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{G=1}^{N} q_{Gs} * \mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{scG}} = \mathrm{P}_{\mathrm{Gs}} \tag{۲}
$$

$$
\sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}}\sum\nolimits_{c=1}^{M}\sum\nolimits_{G=1}^{N} X^{i}_{scG} \geq 1 \tag{۳}
$$

$$
\mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{cds|}G} = \sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{G=1}^{N} x^{i}_{\mathrm{s_m s_n G}} + \sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}}\sum\nolimits_{cd=1}^{N}\sum\nolimits_{G=1}^{N}\mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{scdG}} + \sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}}\sum\nolimits_{G=1}^{N} X^{i}_{scG} \tag{٤}
$$

$$\mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{s_m s_n G}} = \sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{G=1}^{N} x^{i}_{\mathrm{s_n s_m G}} + \sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}} \sum\nolimits_{cd=1}^{N} \sum\nolimits_{G=1}^{N} \mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{s_n cdG}} + \sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum\nolimits_{G=1}^{N} X^{i}_{scG} \qquad \text{(۵)}$$

$$\mathrm{X}^{\mathrm{j}}_{\mathrm{cdcG}} = \sum_{\boldsymbol{k_{out}=1}}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum_{G=1}^{N} X^{j}_{\mathrm{c_m c_n G}} + \sum_{\boldsymbol{k_{out}}}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum\nolimits_{cd=1}^{N} \sum\nolimits_{G=1}^{N} X^{j}_{ccdG} \qquad \text{(۶)}$$

$$\mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{c_m c_n G}} = \sum_{K_{in}=1}^{N} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum_{G=1}^{N} X^{i}_{\mathrm{c_n c_m G}} + \sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum\nolimits_{cd=1}^{N} \sum\nolimits_{G=1}^{N} X^{i}_{ccdG} \qquad \text{(۷)}$$

$$\mathrm{X}^{\mathrm{j}}_{\mathrm{c_m c_n G}} = \sum_{\boldsymbol{k_{out=1}}}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum_{G=1}^{N} X^{j}_{\mathrm{c_n c_m G}} + \sum_{\boldsymbol{k_{out}=1}}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum\nolimits_{cd=1}^{N} \sum\nolimits_{G=1}^{N} X^{j}_{ccdG} + \sum_{\boldsymbol{k_{out}=1}}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum\nolimits_{cd=1}^{N} \sum\nolimits_{G=1}^{N} X^{j}_{\mathrm{cd_m cd_n G}} \qquad \text{(۸)}$$

$$\mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{scG}} = \sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum_{G=1}^{N} X^{i}_{\mathrm{c_m c_n G}} + \sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum\nolimits_{cd=1}^{N} \sum\nolimits_{G=1}^{N} X^{i}_{ccdG} \qquad \text{(۹)}$$

$$\sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}} \sum\nolimits_{cd=1}^{N} \sum\nolimits_{G}^{N} q_{Gs} * \mathrm{X}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{scdG}} = \sum_{K_{in}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum\nolimits_{cd=1}^{N} \sum\nolimits_{G=1}^{N} q_{Gcd} * \mathrm{X}^{\mathrm{j}}_{\mathrm{cdcG}} \qquad \text{(۱۰)}$$

$$\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}} \sum\nolimits_{cd=1}^{N} \sum\nolimits_{G=1}^{N} X^{i}_{scdG} * \mathrm{q_{Gs}} \le \mathrm{Q^i} \qquad \text{(۱۱)}$$

$$\sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum\nolimits_{cd=1}^{N} \sum\nolimits_{G=1}^{N} X^{j}_{cdcG} * \mathrm{q_{Gcd}} \le \mathrm{Q^j} \qquad \text{(۱۲)}$$

$$\sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}} \sum\nolimits_{C=1}^{M} \sum\nolimits_{G=1}^{N} (A^{i}_{scG} + T^{i}_{scG} + UL^{i}_{scG} + w_i) * X^{i}_{scG} \le A^{i}_{csG} \qquad \text{(۱۳)}$$

$$\sum_{\mathrm{cd}=1}^{\mathrm{N}} \sum\nolimits_{C=1}^{M} \sum\nolimits_{G=1}^{N} (A^{j}_{cdcG} + T^{j}_{cdcG} + UL^{j}_{cdcG} + w_i) * X^{j}_{cdcG} \le A^{i}_{csG} \qquad \text{(۱۴)}$$

$$\sum_{K_{out}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{c}=1}^{\mathrm{M}} \sum_{cd=1}^{N} \sum_{G=1}^{N} X^{j}_{cdcG} + X^{j}_{CCdG} \le 1 + F_{cdc} \qquad \text{(۱۵)}$$

$$\sum_{k_{in=1}}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{s}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{cd}=1}^{\mathrm{N}} \sum_{G}^{N} X^{i}_{scdG} \le y_i \qquad \text{(۱۶)}$$

$$\mathrm{\gamma_i} \ge E_i - A^{i}_{scG} \qquad \text{(۱۷)}$$

$$\mathrm{\theta_i} \ge A^{i}_{scG} - L_i \qquad \text{(۱۸)}$$

$$\left(\mathrm{X^i_{cdsG}}, \mathrm{X^i_{s_m s_n G}}, \mathrm{X^i_{scdG}}, \mathrm{X^i_{scG}}, \mathrm{X^i_{c_m c_n G}}, \mathrm{X^j_{cdcG}}, \mathrm{X^j_{c_m c_n G}}, \mathrm{X^i_{ccdG}}, \mathrm{X^j_{ccdG}}, \mathrm{X^j_{cd_m cd_n G}}, y_i\right) \in \{0, 1\}, \qquad \text{(۱۹)}$$

$$(\mathrm{X^i_{cds}}, \mathrm{X^i_{s_m s_n}}, \mathrm{X^i_{scd}}, \mathrm{X^i_{sc}}, \mathrm{X^i_{c_m c_n}}, \mathrm{X^j_{cdc}}, \mathrm{X^j_{c_m c_n}}, \mathrm{X^i_{ccd}}, \mathrm{X^j_{ccd}}, \mathrm{X^j_{cd_m cd_n}}, F_{cdc}) \in \{0, 1\} \qquad \text{(۲۰)}$$

$$\mathrm{cd}=1,2,3,\ldots,\mathrm{N}\ , \quad \mathrm{c}=1,2,3,\ldots,\mathrm{M}\ , \quad \mathrm{G} = 1,2,3,\ldots,\mathrm{N} \quad \mathrm{j}=1,2,3,\ldots,\mathrm{N} \qquad \text{(۲۱)}$$

$$\text{All variables} \ge 0 \ , \ \forall\, i\,,, s, c\ and\ h \qquad \text{(۲۲)}$$

۲-۲ توصیف توابع هدف و محدودیت‌ها

تابع هدف اول، هزینه حمل و نقل وسایل نقلیه در کل سیستم را کمینه می‌کند و تابع هدف دوم، توالی حمل و نقل کامیونها را در کل سیستم کمینه می‌کند.

محدودیت (۱) برای تضمین این است که مجموع تعداد واحدهایی از محصول سفارش نوع G و از تامین کننده (s) در کامیون i بارگیری می‌شود دقیقاً برابر با تعداد واحد محصولات سفارش نوع G است که مشتری (c) نیاز دارد. محدودیت (۲) تضمین می‌کند که مجموع تعداد واحد محصولات سفارش نوع Gکه از تامین‌کنندگان 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 خروجی j بارگیری شده است و به سمت مشتری (c) حرکت می‌کند دقیقا برابر با مجموع تعداد واحد محصولات سفارش نوع G که تامین کننده (s) تولید می‌کند. محدودیت (۳) تضمین‌کننده این است که حداقل یکی از کامیون‌های ورودی i ازتامین کننده (s) محصول نوع G را بارگیری کند و به یکباره تمام محصولات را به مشتری (c) منتقل کند. محدودیت (٤) برای تضمین این است که اگر کامیون ورودی i به سمت تامین کننده (s) حرکت کند، یکی از سه حالت را برای خارج شدن از تامین کننده انتخاب می‌کند. حالت اول اینکه کامیون به سمت تامین کننده 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 (۵) بدین صورت است که اگر کامیون ورودی i از تامین‌کننده مبدا (s_m) به تامین‌کننده مقصد (s_n) حرکت کند یکی از سه حالت را برای خارج شدن از تامین کننده (s_n) انتخاب می‌کند. حالت اول اینکه کامیون به سمت تامین‌کننده 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 (٦) تضمین می‌کند که اگر کامیون خروجی j به سمت 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 (۷) برای تضمین این است که اگر کامیون ورودی i از مشتری مبدا (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 این که کامیون به سمت یکی از باراندازهای تقاطعی (cd) حرکت می‌کند. محدودیت (۸) مشابه محدودیت (۷) می‌باشد و تفاوتی که در این دو محدودیت می‌باشد این است که در محدودیت(۸) کامیون خروجی j در محدودیت مورد بررسی قرار می‌گیرد و حالت سوم اینکه کامیون خروجی از بارانداز متقاطعی به یک بارانداز متقاطعی دیگر حرکت می‌کند. محدودیت (۹) تضمین می‌کند که اگر کامیون ورودی i از تامین‌کننده (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 به سمت مشتری دیگری حرکت می‌کند و حالت دوم اینکه کامیون به سمت بارانداز تقاطعی (cd) حرکت می‌کند. محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که تعداد واحد محصولاتی که کامیون ورودی i از تامین کننده (s) به سمت یکی از باراندازهای تقاطعی (cd) منتقل می‌کند و در بارانداز تقاطعی تخلیه می‌کند دقیقا برابر است با تعداد واحد محصولاتی که در کامیون خروجی j برای مشتری (c) بارگیری می‌شود. محدودیت (۱۱) و (۱۲) مربوط به ظرفیت کامیون های ورودی و خروجی می‌باشد و تضمین می‌کند که کامیون‌ها بیش از ظرفیت خود محصولات را بارگیری نکنند. محدودیت (۱۳)تضمین می‌کند مجموع زمان رسیدن وسیله نقلیه به مشتری، مدت زمان طی شده وسیله نقلیه بین تولیدکننده و مشتری، زمان تخلیه بار در محل مشتری و زمان انتظار وسیله نقلیه نباید ببیشتر از زمان تعیین شده خروج وسیله نقلیه از محل

مشتری باشد. محدودیت (۱٤) تضمین می‌کند مجموع زمان رسیدن وسیله نقلیه به مشتری، مدت زمان طی شده وسیله نقلیه بین بارانداز تقاطعی و مشتری، زمان تخلیه بار در محل مشتری و زمان انتظار وسیله نقلیه نباید بیشتر از زمان تعیین شده خروج وسیله نقلیه از محل مشتری باشد. محدودیت (۱۵) با توجه به وجود چند بارانداز متقاطع و چند مشتری در مدل این محدودیت تضمین می‌کند که الزاما یک مشتری به یک بارانداز متقاطع تخصیص می‌یابد و اگر کامیونی باشد که این دو را به هم مرتبط کند. محدودیت (۱٦) تضمین می‌کند کامیون ورودی i از تامین کننده i فقط حرکت به سوی یک بارانداز تقاطعی را انتخاب کند. محدودیتهای (۱۷) و (۱۸) به منظور محاسبه مقدار زمان زود کرد و دیرکرد کامیون‌ها برای ارایه خدمات به مشتریان در بازه پنجره زمانی نرم می‌باشند.

۳. روش حل

مدل ریاضی طراحی شده ابتدا در نرم افزار گمز با روش محدودیت –اپسیلون (ε – constarint)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 MOSA و MOACO, با در نظر گرفتن توالی حمل و نقل کامیونها، چند بارانداز متقاطع و پنجره زمانی نرم حل گردید.

۳-۱ الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده چند هدفه

کریک پاتریک و کرنی متخصصانی در زمینهٔ فیزیک آماری بودند. آنها برای حل مسائل سخت بهینه‌سازی، روشی مبتنی بر تبرید تدریجی دو پیشنهاد کردند. مهندسان مواد برای رسیدن به حالتی که در آن مادهٔ جامد به خوبی مرتب و انرژی آن کمینه شده باشد، از روش تبرید تدریجی استفاده می‌کنند. این روش شامل قراردادن ماده در دمای بالا و کاهش تدریجی دماست. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید جست وجوی فراابتکاری ساده و اثربخشی در حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است [Kirkpatrick et al, 1983]. روش تبرید شبیه سازی شده، فرایند تبرید تدریجی را برای حل مسئلهٔ بهینه سازی، شبیه سازی می‌کند. تابع هدف مسئله مشابه انرژی ماده‌ای است که باید به کمک تعریف دمای مجازی کمینه شود. دما در این حالت پارامتری در الگوریتم است که می‌توان آن را کنترل کرد. الگوریتم زمانی که سیستم به حالت تعادل همگرا شود، تغییرات انرژی را در فرایند تبرید شبیه سازی می‌کند [Metropolis et al, 1953]. همچنین الگوریتم تبرید شبیه‌سازی چند هدفه مبتنی بر جستجوی همسایگی در فضای جواب است و جواب‌های احتمالی و نامطلوب را جهت فرار از دام بهینه محلی و دستیابی به جوابهای بهتر، می‌پذیرد. در شرایط تبرید تدریجی برای هر دمای داده شده، سطح انرژی ذرات ماده، و احتمال پذیرش جواب‌های بدتر طبق تابع توزیع بولتزمن رابطه (۲۳) محاسبه میگردد. این احتمال در ابتدا بزرگ است و در طول اجرای الگوریتم، متناسب با دما کاهش می‌یابد. بنابراین ازنظر تئوری این الگوریتم با غلبه بر بهینه محلی قادر به یافتن جواب بهینه سراسری نیز خواهد بود. پارامترهای الگوریتم عبارت اند از: دمای اولیه، دمای نهایی، نرخ کاهش دما، تعداد تکرار در دمای ثابت، تعداد تکرار در صورت عدم بهبود جواب.

$$\mathrm{P_r}\{\mathrm{E} = \acute{\mathrm{E}}\} = \frac{1}{\mathrm{Z(t)}} \mathrm{Exp}\left(\frac{\mathrm{ER}}{\mathrm{KT}}\right) \qquad (۲۳)$$

فرآیند کاهش دما در موفقیت الگوریتم MOSA تاثیر زیادی دارد دارد و هر قدر روند کاهش آن کمتر باشد تعداد تکرارهای اجرای الگوریتم بیشتر می‌شود. همانطور که قبلا ذکر شد، الگوریتم MOSA برای فرار از بهینه محلی از یک تابع احتمالی جهت پذیرش جوابهای همسایه‌ای که مغلوب جواب فعلی الگوریتم شده‌اند، استفاده می‌کند. این تابع بر اساس رابطه (۲٤) عبارت است از:

$$P(\nabla \mathrm{E}, \mathrm{T}) = e^{\frac{-\sum_{\mathrm{i}} \nabla \mathrm{E}(\mathrm{f_i})}{\mathrm{T}}} \qquad (۲٤)$$

رابطه (۲۰) گویای این مسئله است که احتمال پذیرش جواب‌هایی که بر جواب فعلی مغلوب میشوند، یا به عبارتی دیگر

جواب‌های بدتر، رابطه مستقیم با درجه حرارت T و مجموع تغییرات توابع هدف دارد. در صورتیکه دمای T خیلی زیاد در نظرگرفته شود، احتمال پذیرش این نوع جواب‌ها افزایش می یابد وتقریبا همهٔ جوابها پذیرفته می‌شوند و الگوریتم به یک الگوریتم احتمالی تبدیل می‌شود. در صورتیکه T خیلی پایین در نظر گرفته شود، فقط جواب‌هایی که بر جواب فعلی مغلوب نمی‌شوند، پذیرفته می‌شود و به یک الگوریتم هیوریستیک تبدیل می‌شود. درشروع الگوریتم دمای اولیه باید طوری انتخاب شود که نسبتی ازجواب‌های بد پذیرفته شود.

۳-۲ الگوریتم کلونی مورچگان چند هدفه

الگوریتم کلونی مورچگان یک روش فرا ابتکاری برای حل مسایل بهینه‌سازی می‌باشد. دوریگو، مانیزو و کلرنی (۱۹۹۶) 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 (۲۵) و(۲۶) استفاده نموده و این رفتار مورچه‌های طبیعی را تقلید و مقصد بعدی را می‌یابند. [Dorigo et al, 1996]

$$j = \begin{cases} \arg\overset{Max}{_{r\epsilon T_k(i)}}\{[\lambda(i,r)].[v(i,r)]^{\beta}\} & if\ q \le q_0 \\ J & other\ wise \end{cases} \qquad (۲۵)$$

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. $\lambda(i,r)$ نشان دهنده مقدار اثر فرمون بر روی کمان بین دو مشتری i وr می باشد. $v(i,r)$ یک مقدار ابتکاری است و از معکوس فاصله بین دو مشتری i وr حاصل می‌شود و βیک پارامتر می‌باشد که اهمیت نسبی $v(i,r)$ را نشان می‌دهد.

q مقداری است که به طور تصادفی بین صفر و یک تولید می‌شود و q_0 نیز پارامتری است که توسط کاربر تعیین می‌شود و بین صفر و یک می‌باشد. J نیز یک متغیر تصادفی است و بر اساس تابع توزیع احتمال ارایه شده در رابطه ریاضی (۲۶) $P_k(i,j)$احتمال انتخاب مشتری jام می‌باشد.

$$\mathrm{P}_k(\mathrm{i},\mathrm{j}) = \begin{cases} \dfrac{[\lambda(i,r)].[v(i,r)]^{\beta}}{\sum_{r\epsilon T_k(i,r)}[\lambda(i,r)].[v(i,r)]^{\beta}} & if\ \ j\epsilon T_k(i) \\ 0 & other\ wise \end{cases} \qquad (۲۶)$$

همچنین مورچه‌های مصنوعی از قوانین بروز رسانی اثر فرمون استفاده می‌نمایند و از آن برای به روز رسانی اثر فرمون روی مسیرها استفاده می‌کنند[Dondo and Cerd, 2014]. با استفاده از رابطه (۲۷) 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 می‌باشد و مقدار آن بین صفر و یک تعریف می‌شود و λ_0 مقدار فرومون اولیه بر روی مسیرها می‌باشد.

$$\lambda(\mathrm{i},\mathrm{j}) = (1-\rho)\lambda(\mathrm{i},\mathrm{j}) + \rho\Delta\lambda(i,j) \quad ,\Delta\lambda(i,j) = \lambda_0 \qquad (۲۷)$$

پس از آنکه مورچه‌ها مسیرهای خود را تولید نمودند، بروز رسانی کل اثر فرومون انجام می‌گیرد این کار بر اساس رابطه (۲۸)صورت می‌پذیرد که در آن α پارامتر محوشدن اثر فرومون کلی روی مسیر می‌باشد و مقدار آن بین صفر و یک تعریف می‌شود. همچنین L_{gb} طول بهترین مسیر از ابتدای حل است.

$$\lambda(\mathrm{i},\mathrm{j}) = (1-\alpha)\lambda(\mathrm{i},\mathrm{j}) + \alpha\frac{1}{L_{gb}} \qquad (۲۸)$$

٤. اعتبار سنجی مدل ارائه شده

اگر چه مقالات زیادی مساله زمانبندی کامیون‌ها و کمینه‌کردن زمان حمل و نقل در بارانداز تقاطعی را مورد مطالعه قرار داده اند ولی، مساله کمینه سازی هزینه (حمل و نقل، بارگیری، تخلیه و جابجایی) در کل زنجیره تامین، با در نظر گرفتن روابط و مفروضات مطرح شده تا کنون مورد مطالعه قرار نگرفته است و

این مقاله می‌تواند شروعی جدید برای کارهای بعدی در این حوزه باشد. از این رو چون امکان مقایسه نتایج با دیگر مقالات موجود فراهم نمی‌باشد یک مثال عددی در قسمت بعدی مطرح می شود و جواب‌های مساله به کمک الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید و کلونی مورچگان مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

٤-۱ روش تولید مسائل تصادفی

مسائل تولیدی نمونه در سه گروه با ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ به صورت تصادفی ایجاد شده‌اند. که از هر بعد ۷ مساله نمونه در مجموع ۲۱ مساله نمونه مطابق جدول (۲) تولیدو شرح داده می‌شود، نحوه ایجاد مسائل انتخابی با توجه به تاثیر پارامترهای تعداد تولید کننده، 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 مساله تولید می‌شوند و در هر نمونه اعداد جدیدی تولید می‌شود. همچنین تحلیل حساسیت نتایج با استفاده از تعداد کامیون‌ها مورد تجزیه و تحلیل 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)i7-8850u cpu@1.80GHZ توسط برنامه MATLAB 8.5.0.19761 (R2015a) بدست می‌آید. در مساله فرض بر این بود که کامیون‌ها، پس از بارگیری محصولات از تامین-کنندگان به سمت مشتریان یا بارانداز تقاطعی حرکت می‌کردند و محصولات بارگیری شده را تخلیه می‌کردند. برای درک بهتر نحوه عملکرد دو الگوریتم جزئیات حل مسأله نمونه ٦، دربعد کوچک، که تقریبا ساده‌ترین مسأله نمونه است نشان داده شده است.

٤-۲ پارامترهای تصادفی مساله

در این مساله تعدادی از مقادیر پارامترها با استفاده از تابع توزیع یکنواخت تولید می‌شوند. پارامترهایی که به صورت تصادفی تولید می‌گردند شامل ظرفیت کامیون‌ها، میزان تقاضای مشتریان، میزان عرضه تولید کنندگان، تعداد محصول و فاصله بین مبداها و مقصدها می‌باشد. برای هر مساله نمونه مقادیر پارامترها ایجاد و در جداول مربوطه آورده شده است. در جدول (۳) کمترین و بیشترین مقادیری که پارامترها می‌توانند در سه سطح مسائل نمونه به خود اختصاص دهند ذکر گردیده است.

جدول۲. پارامترهای ثابت مساله

مساله نمونه سطح بزرگ							مساله نمونه سطح متوسط							مساله نمونه سطح کوچک							پارامتر
۷	٦	٥	٤	۳	۲	۱	۷	٦	٥	٤	۳	۲	۱	۷	٦	٥	٤	۳	۲	۱	
۱۱	۱۲	۱۱	۱٤	۱۳	۱۱	۱۲	۳	۳	٤	٤	۲	٤	۳	۳	۳	٤	۳	٤	٤	۲	تعداد کامیون ورودی
۱۲	۱۰	۱۱	۱۲	۱۱	۱۲	۱۱	۲	۲	۳	۲	۳	۳	۲	۲	۳	٤	٤	۳	٤	۲	تعداد کامیون خروجی
۲۰	۱٦	۱۸	۱۹	۱۷	۱۷	۱۸	۱۱	۸	۷	۸	۹	۹	۱۰	۲	۳	٥	٤	٤	۳	٤	تعداد تامین کننده
۱٤	۱۰	۱۰	۱۲	۱۱	۱۰	۱۲	٦	٦	۸	۷	۹	۹	۸	۳	۳	٤	۷	۳	۳	٤	تعداد بارانداز متقاطع
۲٥	۲۰	۲۲	۲۰	۱۸	۱٦	۲۰	۱٥	۱۳	۱۱	۱۲	۱٤	۱۲	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۱۰	۸	٦	۱۰	انواع محصول
۲۰	۱۸	۲۰	۲۱	۲۳	۲۰	۲۲	۱٥	۱۱	۱۰	۹	۱۰	۱۲	۱۱	۳	۳	٤	۸	٤	۳	٥	تعداد مشتری

جدول ۳. پارامترهای تصادفی مساله

تقاضای مشتری	U(0,30)
میزان عرضه محصول	U(0,30)
وزن محصول	U(0,10)
ظرفیت کامیون ورودی	U(10,20)*1000
ظرفیت کامیون خروجی	U(10,20)*1000
فاصله مبدا و مقصد	U(1,200)
تعداد محصول از نوع G	U(1,10)

٤-۳ تنظیم پارامترهای الگوریتم

به منظور حل مدل پیشنهادی، از دو الگوریتم فراابتکاری حل مسائل چند هدفه شامل الگوریتم چند هدفه شبیه‌سازی تبرید MOSA و الگوریتم چند هدفه کلونی مورچگان MOACO استفاده شده است. از آنجایی که خروجی مسائل به شدت به پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی وابسته هستند لذا از روش تاگوچی به منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم ها استفاده شده است. مزیت روش تاگوچی نسبت به دیگر روش‌های طراحی آزمایشات علاوه بر هزینه، بدست آوردن سطوح بهینه پارامترها در زمان کمتر است. یکی از مهمترین قدم‌های این روش انتخاب یک آرایه متعامد است که اثرات عوامل در میانگین پاسخ و تغییرات را تخمین می‌زند. در این پایان نامه، مناسب ترین طرح آزمایش‌های سه سطحی تشخیص داده شده‌اند و با توجه به آرایه‌های متعامد استاندارد تاگوچی، آرایه ی L9 به عنوان طرح مناسب آزمایش برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های پیشنهادی انتخاب شده است. به منظور تنظیم پارامترهای بهینه، یک اندازه آماری عملکرد تحت عنوان نسبت S/N[3] را در نظر گرفته می‌شود که این نسبت در بر گیرنده میانگین و تغییرات است که این نسبت هر چه بیشتر باشد مطلوب‌تر است[Taguchi,1986]. متغیر پاسخ در نظر گرفته شده ، میانگین چهار شاخص استاندارد MID,[4] MD,[5] spacing, NPS[6] برای الگوریتم های فرا ابتکاری چند هدفه است. از آن جا که این متغیر پاسخ از نوع هر چه کمتر بهتر است نسبت S/N متناظر آن به صورت رابطه (۲۹) در نظر گرفته می شود . الگوریتم های فرا ابتکاری پیشنهادی برای هر آزمایش تاگوچی اجرا می شوند و سپس نسبت های S/N توسط نرم افزار Minitab 16 محاسبه می گردندو مقادیر بهینه پارامترهای هر الگوریتم در جدول (4) نشان داده شده است.

$$SN\ Ratio = -10\log\left(\frac{sum(y)^2}{n}\right) \qquad (۲۹)$$

جدول ٤. مقادیر بهینه پارامترها در الگوریتم ها

مقادیر	دامنه‌پارامترها	پارامتر	الگوریتم
۳۰۰	۱۰۰-۳۰۰	تعداد تکرار	MOSA
۱۰۰	۵۰-۱۰۰	اندازه جمعیت	
۱۰۰۰	۸۰۰-۱۰۰۰	دمای اولیه	
۰,۹	۰,۸-۱	نرخ کاهش دما	
۳۰۰	۱۰۰-۳۰۰	تعداد تکرار	MOACO
۱۰۰	۵۰-۱۰۰	اندازه جمعیت	
۰,۵	۰,۵-۰,۹	ضریب تبدیل برازندگی جواب به فرومون	
۱	۱-۳	نرخ انحراف فاصله	

۵. نتایج محاسباتی

مساله نمونه ٦، در سطح اندازه کوچک با پارامترهای ثابت مندرج در جدول (۲) و پارامترهای تصادفی مندرج در جدول (۳) با

دوالگوریتم MOSAو MOACO حل گردید. بر این اساس توالی عملیات حمل و نقل کامیون‌ها درمساله نمونه ٦ برای هر دو الگوریتم به عنوان تحلیل خروجی متغیرها طبق جداول زیر آورده شده است. در جدول(٥) توالی حمل و نقل کامیون اول در مساله نمونه ٦ با روش حل الگوریتم MOSA و در جدول(٦) توالی حمل و نقل کامیون اول در مساله نمونه ٦ با روش حل MOACO آورده شده است. به عنوان مثال در جدول (٥) در توالی حمل و نقل ۱ از تامین کننده ۱ به بارانداز تقاطعی ۲ از محصول A یک واحد و به بارانداز تقاطعی ۳ از محصول C تعداد ۱۸ واحد و از تامین کننده ۳ به بارانداز تقاطعی ۱ از محصول H ۱۳ واحد و از تامین کننده ۲ به بار انداز تقاطعی ۱ از محصول J ۹ واحد و به بارانداز تقاطعی ۲ از محصول J ١٦ واحد منتقل می‌شود.

جدول ٥. توالی حمل و نقل کامیون ۱ با الگوریتم MOSA برای مساله نمونه ٦ (سطح کوچک)

مبدا	مقصد	نوع محصول	تعداد محصول	توالی حمل و نقل
تامین کننده ۱	بارانداز تقاطعی۲	A	۱	۱
تامین کننده ۱	بارانداز تقاطعی۳	C	۱۸	
تامین کننده ۳	بارانداز تقاطعی۱	H	۱۳	
تامین کننده ۲	بارانداز تقاطعی۱	J	۹	
تامین کننده ۲	بارانداز تقاطعی۲	J	١٦	
تامین کننده ۲	مشتری ۳	A	١٦	۲
تامین کننده ۱	مشتری ۱	C	۷	
تامین کننده ۲	مشتری ۲	D	۱۳	
تامین کننده ۳	مشتری ۲	F	١٦	
تامین کننده ۱	مشتری ۱	H	١٦	
تامین کننده۳	مشتری ۳	H	١٥	
تامین کننده ۲	مشتری ۲	J	۹	
تامین کننده ۱	تامین کننده ۲	A	۳	۳
تامین کننده ۱	تامین کننده ۳	B	۱۱	
تامین کننده ۱	تامین کننده ۲	F	۲	
تامین کننده ۱	تامین کننده ۲	H	۱۰	
تامین کننده ۱	تامین کننده ۲	J	۱	
مشتری ۲	مشتری ۱	C	۷	٤
مشتری ۱	مشتری ۳	D	۱٤	
بارانداز‌تقاطعی۳	بارانداز تقاطعی۲	D	۸	٥
بارانداز‌تقاطعی۲	بارانداز تقاطعی۱	F	١٥	
بارانداز‌تقاطعی۱	بارانداز تقاطعی۳	H	۱۰	
بارانداز قاطعی۱	بارانداز‌تقاطعی۲	J	۱	
بارانداز‌تقاطعی۱	مشتری ۳	C	۱۷	٦
بارانداز‌تقاطعی۳	مشتری ۱	D	۱٤	
بارانداز قاطعی۱	مشتری ۲	D	۱۳	
بارانداز‌تقاطعی۳	مشتری ۱	E	۱۲	
بارانداز قاطعی۳	مشتری ۲	G	۷	
بارانداز‌تقاطعی۲	مشتری ۱	H	١٦	
بارانداز‌تقاطعی۱	مشتری ۲	H	١٥	
بارانداز‌تقاطعی۳	مشتری ۲	I	۱۱	

جدول ٦. توالی حمل و نقل کامیون ۱ با الگوریتم MOACO برای مساله نمونه ٦ (سطح کوچک)

مبدا	مقصد	نوع محصول	تعداد محصول	توالی حمل و نقل
تامین‌کننده۱	بارانداز‌تقاطعی۱	A	۳	۱
تامین کننده۳	بارانداز‌تقاطعی۱	F	۲	
تامین کننده۱	بارانداز‌تقاطعی۳	J	۱۰	
تامین کننده۱	مشتری ۱	A	۱۳	۲
تامین کننده۱	مشتری ۲	A	۱۲	
تامین کننده۱	مشتری ۳	A	١٦	
تامین کننده۳	مشتری ۳	A	١٦	
تامین کننده۳	مشتری ۲	B	۱٤	
تامین کننده۱	مشتری ۱	J	۱۸	
تامین کننده۳	مشتری ۳	J	۱۱	
تامین کننده۳	تامین کننده ۱	A	١٥	۳
تامین کننده۱	تامین کننده ۲	A	۳	
تامین کننده۳	تامین کننده ۲	A	١٥	
تامین کننده۳	تامین کننده ۱	J	۹	
تامین کننده۲	تامین کننده ۱	J	١٦	
مشتری ۳	مشتری ۱	B	۱٤	٤
مشتری ۳	مشتری ۲	F	١٦	

مبدا	مقصد	نوع محصول	تعداد محصول	توالی حمل و نقل
مشتری ٣	مشتری ٢	J	٩	
باراندازتقاطعی٢	باراندازتقاطعی١	A	٣	٥
باراندازتقاطعی٣	باراندازتقاطعی١	A	١٥	
باراندازتقاطعی٣	باراندازتقاطعی١	B	١	
باراندازتقاطعی٣	باراندازتقاطعی١	J	١٨	
باراندازتقاطعی٢	مشتری ١	A	٨	٦
بارانداز قاطعی٣	مشتری ١	A	٥	
بارانداز قاطعی٢	مشتری ٢	A	١٢	
باراندازتقاطعی٢	مشتری ٣	A	١٦	
باراندازتقاطعی١	مشتری ١	J	١٨	
باراندازتقاطعی١	مشتری ٣	J	١١	

٥-١ مقایسه الگوریتم MOSA وMOACO

از جدول (٧) تا (٨) مقادیر مربوط به معیارهای تعداد جواب‌ها، زمان اجرای حل مسائل، فاصله از نقطه ایده‌آل، فاصله‌گذاری و بیشترین پوشش جهت مقایسه الگوریتم‌های MOSA و MOACO نشان داده شده است.

زمان اجرا – یکی از معیارهای مهم برای سنجش کیفیت عملکرد یک الگوریتم، مدت زمان اجرای آن است که در برخی مقالات از آن به عنوان سرعت اجرا نیز یاد می شود. این معیار وقتی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که ابعاد و پیچیدگی مسأله افزایش یابد. اطلاعات مربوط به زمان اجرای این دو روش در سه سطح کوچک، متوسط و بزرگ مسائل نمونه، در جداول (٧) تا (٨) و شکل ٢ آورده شده است و در حالت کلی الگوریتم MOACO از نظر میانگین زمان اجرا در سه سطح مسائل نمونه کوچک، متوسط و بزرگ کمتر می‌باشد.

فاصله از نقطه ایده‌آل – معیار فاصله از نقطه ایده‌آل، که میزان نزدیکی به بهینه پارتو واقعی را اندازه‌گیری می‌کند برای ٢١ مساله نمونه برای الگوریتم‌ها MOSA وMOACO محاسبه شده است. در این ٢١ مساله میانگین مقادیر مربوط به الگوریتم MOACO در مسائل کوچک و متوسط کمتر از الگوریتم MOSA می‌باشد.

فاصله‌گذاری – معیار فاصله‌گذاری برای هر مساله نمونه برای الگوریتم‌های MOACO, MOSA محاسبه شده است و مقایسه میانگین این دو مقدار برای مسائل نمونه در سه سطح انجام و الگوریتم مطلوب‌تر را مشخص می‌کند. معیار فاصله گذاری درالگوریتم MOACO از الگوریتم MOSA کوچکتر است و کارایی بهتری دارد.

بیشترین گسترش- معیاری است که طول قطر مکعب فضایی که توسط مقادیر انتهایی مجموعه جواب‌های غیر مغلوب در فضای هدف ساخته می‌شود، را اندازه‌گیری می‌کند. بنابراین، هرچه این معیار بزرگتر باشد، نشان‌دهنده گسترش بیشتر جواب‌های آرشیو پارتو است [Zitzler etal,2000]. معیار بیشترین گسترش برای ٢١ مساله نمونه برای الگوریتم‌های MOSA و MOACO محاسبه شده است. الگوریتم MOSA جواب‌های گسترده‌تری را نسبت به الگوریتم MOACO ارائه می‌دهد.

جدول٧. مقادیر معیارهای الگوریتم MOSA

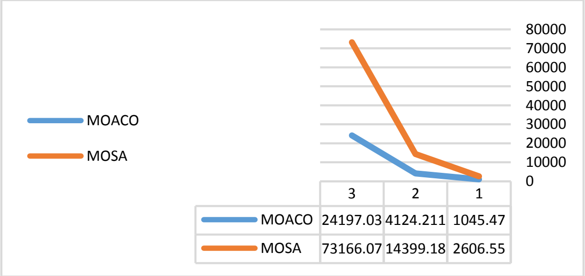
Example	Size	MOSA				
		NPS	Time	MID	MD	spacing
١	Small	٩٩	٣٥٩٠,١٦	١,٠٨٤٩	٤٨١٨,٩	٠,٩٧٩٥١
٢	Small	١٠٠	٢٢١٦,٠٥	١,٠٥٩٩	٢٨٥٤,٧	٠,٨٩١٠٥
٣	Small	٩٩	٣٧٢٠,٩٥	١,٠٣٣٤	٥٣٢٨,٨	٠,٨٧٠٣١
٤	Small	١٠٠	٣٢٥٤,٥٧	١,٠٧٠٤	٥٤٨٦,١	٠,٨٦٥٠٤
٥	Small	١٠٠	٢٣٠٩	١,٠٥٨٦	٥٠٨٥	٠,٩٧٢٥٦
٦	Small	١٠٠	١٥٥٤,٣٥	١,٠٧٥	٣٣٠٣,٧	٠,٨١٧٧٥
٧	Small	١٠٠	١٦٠٠,٧٨	١,٠٨٦	٣٧٠١,٣	٠,٩٤٦٦١

Example	Size	MOSA				
		NPS	Time	MID	MD	spacing
	Mean	٩٩,٧١٤	٢٦٠٦,٥٥	١,٠٦٦٨٨	٤٣٦٨,٣٥	٠,٩٠٦١١
١	Middle	١٠٠	٨٢٥٤,١٥	١,٠٤	٧٩١١,٧	١,٠٠٧
٢	Middle	١٠٠	٩٣١٧,١٩	١,٠٤٩	٨٧٣٨,٢	٠,٩٩٦٠٢
٣	Middle	١٠٠	١٣٧٥٥,٧٩	١,٠٤٩٩	٩٠٤٠,١	٠,٩٩٠٥٢
٤	Middle	١٠٠	١٧٥٥٨,٦٩	١,٠٤٦٢	٩٦٦٢	٠,٨٥٠٨٣
٥	Middle	١٠٠	١٥٩٠٠,٤٤	١,٠٦٦٧	٩٢٣٧,٨	٠,٩١٧٢٥
٦	Middle	١٠٠	١٥٥٥٠,٢٢	١,٠٤٨٤	١٠٣٥٦	٠,٩٥٦٠١
٧	Middle	١٠٠	٢٠٤٥٧,٨١	١,٠٧٣٦	٩٩٦٠,٣	٠,٨٨٥٥٢
	Mean	١٠٠	١٤٣٩٩,١٨	١,٠٥٣٤	٩٢٧٢,٣	٠,٩٤٣٣٠
١	Large	١٠٠	٧٠١٢٦,٦٦	١,٠٤٥١	١٦٠٢٠,٢٥	١,٠٤٥٠
٢	Large	١٠٠	٧١٣٢٠,١٢	١,٠٢٥١	١٥٧٨٥,٣٢	١,٠٢١
٣	Large	١٠٠	٧٣٢٢٥,٦٣	١,٠١٢٥	١٦٧٩٠,٣٦	١,٠٤٨
٤	Large	١٠٠	٧٤٢٣٩,٣٢	١,٠١٨٥	١٧٠٢١,٥٨	١,١١٢
٥	Large	٩٩	٧٢٣٦٩,٣	١,٠٢٥٤	١٧٩٨٥,٦٣	١,٠٥٨
٦	Large	١٠٠	٧١٨٩٦,٢٣	١,٠١٩٨	١٨٣٢٥,٦	١,٠٩٨
٧	Large	١٠٠	٧٨٩٨٥,٤٢	١,٠٧٤	١٩٢٥٥,٩٦	١,٠٤٨٥
	Mean	٩٩,٨٥	٧٣١٦٦,٠٧	١,٠٣	١٧٣١٢,١	١,٠٦١٥

جدول٨. مقادیر معیارهای الگوریتم MOACO

Example	Size	MOACO				
		NPS	Time	MID	MD	spacing
١	Small	١٠٠	٢٠٩٦,٢٣	١,٠٥١٢	٤١٩٨,٧	٠,٦٥٥٦٦
٢	Small	١٠٠	١٨١٣,٩٥	١,٠٤٤٦	٣٠٢٨	٠,٦٦٦٩٧
٣	Small	١٠٠	٧٢٥,٥٢	١,٠٢٥٥	٤٥٢٥,٨	٠,٦٩١٩٧
٤	Small	١٠٠	٩٧٧,٣	١,٠٤٦٦	٤٣٥٦,٢	٠,٦٤٣٩٨
٥	Small	٩٩	٧١٤,٧٣	١,٠٣٥	٤٢٦٦,١	٠,٧٦١٣٦
٦	Small	٩٩	٤٨١,٠٦	١,٠٧٦٥	٣١٠٦	٠,٨٠٤٧٧
٧	Small	١٠٠	٥٠٩,٥١	١,٠٤١٩	٣٤٨٢,٧	٠,٦٧٢٤٧
	Mean	٩٩,٨٥	١٠٤٥,٤٧	١,٠٤٥٩	٣٨٥١,٩٣	٠,٦٩٩٥٩
١	Middle	١٠٠	٢٢٢٥,١٥	١,٠٣٧٩	٦٩٠٢,١٠	٠,٦٩٠٢
٢	Middle	١٠٠	٢٦١١,١٣	١,٠٣٧٥	٧٠٧٨,٧	٠,٧٠٧٥٩
٣	Middle	١٠٠	٣٩١١٨,١٥	١,٠٥	٦٨٩٨,٦	٠,٦٩٥٥٧
٤	Middle	٩٣	٤٧٨٢,٨٩	١,٠٤٦٧	٦٦٥٩,٦	٠,٨٥٦٥٩
٥	Middle	١٠٠	٤٥٠٣,٦٦	١,٠٣٨٨	٨٧٣٧	٠,٧٩٣١٧
٦	Middle	١٠٠	٤٣٥٨,٢	١,٠٤٧٤	٧٥٤٤,٤	٠,٦٦٠٢٢
٧	Middle	١٠٠	٦٤٧٠,٣٠	١,٠٥٣٦	٨١٠٢,٦	٠,٧٢٠٥٥
	Mean	٩٩	٩١٥٢,٧٨	١,٠٤٤٥	٧٤١٧,٥٧	٠,٧٣١٩٨
١	Large	٩٨	٢٠٥٠٠,٣	١,٠٦٥٠	١٣٢٢١,٥٢	١,٠١٤
٢	Large	٩٦	٢١٢٥٢,٧	١,٠٢٥٤	١٢٤٨٦,٢١	١,٠٢٦
٣	Large	٩٨	٢٢٧٦٦	١,٠١٤٥	١٣٩٨٥,٦	١,٠٢٥٥
٤	Large	١٠٠	٢٢٨٥٤,٣٣	١,٠١٢٠	١٣٨٥٩,٨	١,٠٧٥٠

Example	Size	MOACO				
		NPS	Time	MID	MD	spacing
٥	Large	٩٦	٢٧٣٥٤,٣٦	١,٠٣٦٩	١٦٢٥٦,٣٢	١,٠٦٥٧
٦	Large	١٠٠	٢٦١٩٥,٣٩	١,٠١٢٥	١٤٩٨٥,٣٣	١,٠٤٧
٧	Large	١٠٠	٢٨٤٥٦,٢٥	١,٠٩٨٧	١٧٥٦٠,٢٣	١,٠٥٦٧
	Mean	٩٨,٢٨	٢٤١٩٧,٠٣	١,٠٣٧٨	١٤٦٢٢,١٤	١,٠٤٤



شکل ۲. مقایسه بین میانگین زمان اجرای الگوریتم های MOSA و MOACO برای مسائل نمونه در ابعاد کوچک، متوسط وبزرگ

٦. بحث و نتیجه‌گیری

مساله‌ای که مقاله حاضر به مطالعه آن پرداخته، ارائه مدلی جهت توالی بهینه کامیون‌ها وهزینه عملیات داخل زنجیره تامین با توجه به دو هدف (کمینه‌سازی هزینه حمل و نقل و کمینه سازی توالی حمل و نقل کامیون‌ها) می‌باشد.

برای حل مسأله رویکرد مدل ریاضی بسیار مشکل است برای حل به دلیل تعداد بالای متغیرها و محدودیت‌های مرتبط با تعداد کامیون‌های ارسال، دریافت و تعداد محصولات و با افزایش این متغیرها ابعاد مسأله و زمان حل به صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین با بهره‌گیری از دو الگوریتم فراابتکاری MOSA و MOACO برای حل مدل استفاده شده است. در نتایج محاسباتی آورده شده است و نتایج با استفاده از چهار معیار مورد مقایسه قرار گرفتند. به طور میانگین برای ۲۱ مساله نمونه در سه سطح کوچک، متوسط و بزرگ الگوریتم MOACO از نظر زمان اجرا قابل قبول‌تر می‌باشد ودر معیار فاصله از نقطه ایده آل الگوریتمMOACO بهتر است، در معیار فاصله‌گذاری، که میزان چگالی جواب‌های آرشیو پارتو را اندازه گیری می‌کند، الگوریتم MOACO از الگوریتم MOSA نمرات بهتری را کسب کرده است و در معیار بیشترین گسترش الگوریتم MOSA جواب‌های گسترده‌تری را نسبت به الگوریتم MOACO ارائه می‌دهد.

به دلیل این که 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، در حالی که 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 دوره ای
- تعمیم مدل ریاضی پیشنهادی مساله با در نظر گرفتن پارامترهای نامشخص (به عنوان مثال در نظرگرفتن تقاضای فازی برای مشتریان) با توجه به ماهیت پیچیده‌ای که سیستم های باراناز دارند.

•مدل ریاضی تحقیق حاضردارای دو تابع هدف هزینه و توالی حمل ونقل می‌باشد پیشنهاد می‌گردد جهت توسعه مدل توابع هدف زمان، انتشار گاز دی‌اکسید کربن وغیره را اضافه نمود.

۷. پی نوشت‌ها

1. Multiple Objective Simulated Annealing
2. Multiple Objective Ant Colony
3. Signal to noise(S/N)
4. Maximum Spread or Diversity (MD)
5. Mean Ideal Didstance (MID)
6. Number of Pareto solution (NPS)

۸. منابع

– ملانوری، حسنی، توکلی مقدم، رضا، صبوحی ،فاطمه وحاج آقایی کشتلی، مصطفی (۱۳۹۷). "ارائه مدل حمل و نقل هزینه ثابت پله‌ای، چند محصولی، دوسطحی و حل آن با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره دهم، شماره دوم، ص. ٤۱۳–۳۹۹.

– Ahmadizar, F., Zeynivand, M. and Arkat, J. (2015)" Two-level vehicle routing with cross-docking in a three-echelon supply chain: A genetic algorithm approach", Applied Mathematical Modelling, Vol.39, pp.7065-7081.

– Brimi, s. (2016)"Vehicle routing problem with crossdocking: Asimulated annealing approach", Procedia -Social and Behavioral Sciences, Vol.235, pp.149 – 158.

– Borumand, A. and Beheshtinia, M. (2018), "A developed genetic algorithm for solving the multi-objective supply chain scheduling problem", Kybernetes, Vol. 47 No. 7, pp. 1401-1419.

– Beheshtinia, M., Ghasemi, A. (2018)" A multi-objective and integrated model for supply chain scheduling optimization in a multi-site manufacturing system", Engineering Optimization, Vol.50.No.9, pp.1415-1433.

– Baniamerian, A., Bashiri, M.and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2019)"Modified variable neighborhood search and genetic algorithm for profitable heterogeneous vehicle routing problem with cross-docking", Applied Soft Computing, Vol.75, pp.441-460.

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

– Dorigo, M., Maniezzo, V.and Colorni, A. (1996) "The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agent, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics", Part B Vol.26, No1, pp. 29-41.

– HasaniGoodarzi, A.and Zegordi, S. (2016)"A Location- Routing Problem for Cross-docking Networks: A Biogeographybased Optimization Algorithm",Computers&IndustrialEngineering, Vol.102, pp.132-146.

– Ghatreh Samani, M and Hosseini Motlagh, S. (2017) "A hybrid algorithm for a two-echelon location-routing problem with simultaneous pickup and delivery under fuzzy demand", International Journal ofTransportation Engineering, Vol.5, No.1, PP.59-85.

– Kirkpatrick, S.and Gelatt, C.D.(1983)“Vecchi, M.P. Optimization by Simulated Annealing. Science”, Vol. 220, No. 4598, pp.671-680.

– Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N., Teller, A.H.andTeller, E. (1953)"Equation of State Calculation by Fast

– Taheri, S, and Beheshtinia, M. (2019)"A Genetic Algorithm Developed for a Supply Chain Scheduling Problem", Iranian Journal of Management Studies (IJMS) Vol. 12, No. 2, pp. 281-306.

– Wisittipanich,W.and Hengmeechai,P.(2017) "Truck Scheduling in Multi-Door Cross Docking Terminal by Modified ParticleSwarm Optimization",Computers&Industrial Engineering, Vol.113,pp. 793-802.

– Yeng, P.and chuang, Y. (2016)"Adaptive Memory ArtiÞcial Bee Colony Algorithm for Green Vehicle Routing with Cross-Docking", AppliedMathematicalModelling,Vol.40, pp.9302-9315.

– Zuluaga, J., Thiell, M. and Perales, R. (2017) "Reverse cross-docking", Omega, Vol.66, pp.48-57.

– Zitzler, E., Deb, K.andThiele, L. (2000)"Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: Emprical results", Evolutionary Computation journal, Vol. 8, No. pp125-14.

Computing Machines", J. of Chem. Phys, Vol.21, pp.1087-1091.

– Mohtashami, A. (2015)"A Novel Dynamic Genetic Algorithm-Based Method for Vehicle Schadulingin Cross Docking Systems with Frequent Unloading Operation", Computers & Industrial Engineering, Vol.90, pp.221-24.

– Maknoon, Y.and Laporte, G. (2017)"Vehicle routing with cross-dock selection”, Computers & Operations Research, Vol.77, pp.254-266.

– Ponboon, S., Qureshi, A. and Taniguchi, A. (2016) "Evaluation of cost structure and impact of parameters in locationrouting problem with time windows", Transportation Research Procedia, Vol.12, pp.213 – 226.

– Rezaei, S.and kheirkhah, A. (2017) A"comprehensive approach in designing a sustainable closed-loop supply chain network using cross-docking operations, Computational and Mathematical Organization Theory,vol.24, pp.51-98.

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

علی محتشمی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸٤ اخذ نمود و درجه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت صنعتی را در سال ۱۳۸۸از دانشگاه علامه طباطبایی اخذ نمود. در سال۱۳۹۰موفق به کسب درجه دکتری در رشته مدیریت صنعتی از دانشگاه علامه طباطبایی گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت زنجیره تامین و تصمیم گیری چند معیاره بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین است.

علی نجفی، درجه کارشناسی در رشته مدیریت صنعتی را در سال ۱۳۷۷ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین و درجه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت صنعتی را در سال ۱۳۸٤ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین اخذ نمود. در سال ۱۳۹۸موفق به کسب درجه دکتری در رشته مدیریت صنعتی از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت زنجیره تامین و تصمیم گیری چند معیاره می باشد. هم اکنون مدرس دانشگاه غیر انتفاعی رجاء ، موسسه آموزش عالی کار و دانشگاه علمی و کاربردی است.

مقصود امیری، درجه کارشناسی در رشته ریاضی کاربردی گرایش تحقیق در عملیات را در سال ۱۳٦۸ از دانشگاه شیراز و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال۱۳۷۱ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب اخذ نمود. در سال ۱۳۸۵ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه صنعتی شریف گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان تصمیم گیری چند معیاره ، مدیریت زنجیره تامین، تحلیل پوششی داده ها و قابلیت اطمینان بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه علامه طباطبایی است.