فصلنامه آینده پژوهی مدیریت
سال سی ام /شماره ۱۱۸ / پاییز ۱۳۹۸

بهینه سازی ترکیبی زنجیره تامین دو سطحی حلقه–بسته در شرایط عدم اطمینان (مطالعه موردی : صنایع لبنی)

شهرام رستم پور
گروه مدیریت صنعتی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

سلیمان ایرانزاده (مسئول مکاتبات)
گروه مدیریت صنعتی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
Soleymaniranzadeh@yahoo.com

ناصرفقهی فرهمند
گروه مدیریت صنعتی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۱۱ **تاریخ پذیرش:** ۹۷/۰۶/۳۰

چکیده

مدیریت زنجیره تامین بعنوان یکی از مهم ترین ارکان کسب و کارهای امروزی تلقی شده و بخش اعظمی از هزینه‌های هر سازمان تولیدی و خدماتی در این چرخه هزینه می شود. از مهم‌ترین مولفه های کارآمدی هر زنجیره تامین، برخورداری از یک سیستم حمل و نقل بهینه می باشد که رویکرد ریاضی حاکم بر مدلسازی و بهینه سازی آن را مساله مسیریابی وسیله نقلیه گوییم. دراین مقاله با هدف کمینه سازی هزینه‌های زنجیره تامین و بیشینه سازی سطح رضایت مشتریان، نسبت به مدلسازی، حل واعتبارسنجی سیستم توزیع در یک زنجیره تامین دو سطحی حلقه-بسته با متغیرهای غیرقطعی، اقدام به عمل آورده شده است. در این راستا با عنایت به غیرقطعی بودن متغیرهای مرتبط با فرایند مدلسازی و نظر به آنکه جواب بهینـه می‌تواند هر ترکیب برداری از گره‌های گراف مورد مطالعـه باشد، مسـاله از نظر درجه پیچیدگی در حوزه مسایل NP-hard طبقه‌بندی شده، و حل بهینه آن از طریق روشهای کلاسیک برنامه ریزی ریاضی امکان پذیر نمی باشد. در این مطالعه جهت حل مساله ازالگوریتم فرا ابتکاری کرم شب تاب استفاده شده است. عمده ترین متغیرها و پارمترهای لحاظ شده در مدل مشتمل برتعداد، سرعت، ظرفیت، متوسط بارحمل شده و مسافت طی شده توسط ناقل ها، و تعداد، پراکندگی، و مقدار کالای درخواستی و مرجوعی توسط خرده فروشان می باشند. جهت بررسی اعتبار پاسخ بدست آمده نیز نسبت به مدلسازی و حل ۳ سناریو و مقایسه نتایج آن با روش نوبتی(روش رایج در شرکتهای توزیع) اقدام به عمل آورده شده که نشان از کارآمدی روش پیشنهادی دارد.

واژگان کلیدی: مدیریت زنجیره تامین، مساله مسیریابی وسایل نقلیه، بهینه سازی ترکیبی، روشهای فراابتکاری، عدم قطعیت

۱. مقدمه

دردنیای رقابتی امروز، باتوجه به ویژگی های محیط جدید تولیدی وطبیعت مشتریان که متاثر از افزایش سطح رقابت پذیری فضای تجارت جهانی و پیشرفت درتکنولوژیهای تولیدی می باشد، شیوه های مدیریت تولیدگذشته که دارای یکپارچگی کمتری درفرآیندهای شان می باشند، کارآیی خود را ازدست داده، وشرکتها نیازمندند تا یکپارچگی منظمی را در تمام فرآیندهای تولیدی، از ماده خام تا مصرف کننده نهایی ایجاد نمایند .از سوی دیگر گستردگی رقابت و استفاده از شیوه‌های مختلف بازاریابی به حدی متنوع شده اند که یکی از مظنونین اصلی بروز عدم قطعیت در تمامی جوانب تدوین استراتژی‌های زنجیره تامین تلقی می شوند، به گونه ای که این عدم قطعیت‌ها در کوتاه مدت منجر به عدم کارایی منابع و نیز عدم نیل به اهداف مالی، و در بلند مدت سبب بروز موجهای ناگهانی در زنجیره تامین سازمان شده اند. به عبارت دیگر عدم قطعیت‌ها زمینه‌ساز بروز رفتارهایی دینامیکی شده که نه تنها اهداف مالی، بلکه سایر تصمیمات استراتژیک زنجیره را نیز تحت تاثیر قرار داده و جمیع این عوامل سبب می شوند تا نتوان به یک توسعه پایدار درحوزه تدوین و استقرار زنجیره تامین دست یافت. شرکت ها با به اشتراک گذاشتن دانش، مهارت و تجارب موجود با تأمین کنندگان خود، به آنها کمک کرده و درعوض، از بهبود در زمینه های عملکرد، تحویل وکیفیت سود می برند، همچنین تأمین کنندگان با رقابتی شدن شرایط به بهبود عملیات و نهایتا هزینه های پایین تر در تدارک و توزیع دست می یابد.(لی و دیگران[۱]، ۲۰۰۱). مادامیکه یک شرکت ازاطلاعات سایرشرکتهای حاضر در زنجیره تأمین استفاده می نماید اثرات منفی عدم اطمینان در محیط تجاری ازقبیل سطح موجودی بالا، پیش بینی نادقیق و سفارشات ناقص کاهش می یابد. در این جا مقوله تسهیم اطلاعات، پایه واساس ایجاد هماهنگی در زنجیره تأمین می باشد و با ایجاد هماهنگی، منافعی که مدیریت زنجیره تأمین وعده آنها را داده، کسب خواهد شد.(جیرا و دیگران[۲]، ۲۰۰۸). از اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی واژه لجستیک در حوزه کسب و کار و تجارت به وسایل و روش‌هایی نسبت داده شد که به طور مستقیم به کنترل جریان مواد در پیش، حین و پس از تولید پرداخته و هدف آن رساندن مواد مورد نیاز در مکان و زمان مشخص و همچنین بهینه‌سازی معیارهای عملکردی (نظیر هزینه حمل و نقل) با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود می‌باشد. مطالعات اوک و سارجس در سال ۱۹۹۱ نشان داده است که هزینه های حمل و نقل نزدیک به ۱۱ الی ۱۳ درصد از هزینه کل محصولات را تشکیل داده که نسبت قابل توجهی از هزینه تمام شده می باشد. مطالعات توت و ویگو[۳](۲۰۰۲) نیز نشان از سهم ۱۰ الی ۲۰ درصدی هزینه های حمل و نقل، در هزینه های تمام شده محصولات دارد. از طرفی بر اساس تحقیق مذکور، استفاده از روش های کامپیوتری در فرایند برنامه ریزی توزیع، کاهش ۵ الی ۲۰ درصدی در هزینه های مذکور را بدنبال دارد. علاوه بر این استفاده از مدلهای مسیریابی موجودی، موجب صرفه جویی زیادی در هزینه های صنایع مختلف شده است، که کاهش ۱۳ درصدی هزینه جمع آوری شیردر ایرلند و کاهش ۶ الی ۱۰ درصدی هزینه های عملیاتی سالیانه تامین کنندگان بزرگ گاز در ایالات متحده، نمونه ای از تجارب موفق در این حوزه می باشند.(الابیب[۴]،۲۰۰۵) همچنین بر اساس مطالعات توماس و گریفین[۵](۱۹۹۶)بیش از ۱۱ درصد تولید ناخالص ملی به هزینه های لجستیک غیر نظامی اختصاص داده شده، و بیش از ۳۰ درصد از هزینه های تمام شده کالاها نیز مربوطه به هزینه های لجستیک می باشد. علاوه بر این، هزینه های حمل و نقل و توزیع در بعضی از محصولات تا ۵۰ درصد از هزینه تمام شده

محصول و همچنین برای برخی از صنایع بیش از ۲۵ درصد از فروش را شامل می شود.(مگی و دیگران[۶]،۱۹۸۵)بر اساس تحقیق کریستوفیلدز و مینگوزی[۷](۱۹۸۹) نیز بالغ بر ۴۰ درصد هزینه های حمل و نقل شامل توزیع کالا از انبارها به مشتریان می شود. و نهایتا اینکه بر اساس بررسی های صورت گرفته سالانه ۳۰ درصد محصولات کشاورزی بدلیل بهره گیری از سیستم های حمل و نقل و توزیع نامناسب از بین می روند. (اسمی زاده،۱۳۹۳)

مبانی نظری :

مسأله مسیریابی-موجودی[۸] یک نام عمومی برای تمام مسائلی است که در آنها می بایست یک مجموعه ای از مسیرها برای جریانی از وسایل نقلیه که مستقر در یک یا چند دپو هستند تعیین گردد، به گونه ای که به مجموعه ای از مشتریان و یا شهرهایی که به صورت جغرافیایی پراکنده شده اند خدمت ارایه دهند. این مساله بسط مهمی از مسأله مسیریابی وسیله نقلیه است که در آن تصمیمات کنترل موجودی و مسیریابی در هم ادغام شده اند (کوردیو و همکاران[۹]، ۲۰۰۷). ایده اصلی VRP برای اولین بار توسط دنتزیگ و رامسر[۱۰] در سال ۱۹۵۹ در قالب یک مساله مرکزی در حوزه حمل و نقل، توزیع و تدارکات مطرح گردید که نشان داد بکارگیری روشهای مدیریتی و مباحث بهینه سازی در مقوله حمل و نقل تاثیر بسزایی در کاهش هزینه های توزیع دارد. مسابل VRP از منظر نوع جزء مسایل برنامه ریزی عددصحیح مختلط می باشند که در طبقه مسائل NP-HARD قرار دارند و از منظر ساختار نیز در طیف مسائل بهینه سازی ترکیبی بوده که به صورت فصل مشترک دو مساله مشهور فروشنده دوره گرد[۱۱] و پر کردن ظرف(BPP)[۱۲] قلمداد می گردند. در واقع یک مساله VRPرا می توان یک مساله BPP فرض کرد که در آن k ظرف به ظرفیت Q(Q ظرفیت هر وسیله نقلیه) موجود است و تقاضای مشتریان، آیتم های مساله BPP می باشند که لازم است این ظرف ها را پر کنند. از طرفی نباید ترکیب آیتم ها(تقاضای مشتریان) به گونه ای انتخاب شوند که از ظرفیت هر وسیله نقلیه تجاوز نماید. در این سیستم‌ها فروشنده قادر است تا زمانبندی و اندازه تحویل محصول به خرده‌فروشان را کنترل نماید. در قبال این آزادی عمل، فروشنده تضمین می‌کند که مشتریان با کمبود مواجه نشوند. در روابط سنتی‌تر میان فروشنده و مشتری که در آن مشتریان درخواست سفارش محصولات را به فروشنده ارایه می‌دادند، به دلیل زمانبندی سفارشات توسط مشتریان، احتمال افت کارایی و متعاقب آن افزایش هزینه های موجودی و توزیع وجود دارد. با وجود این، تحقق کاهش هزینه‌های ناشی از به کارگیری سیستم‌های توزیع توسط فروشنده در عمل ساده نیست به ویژه با افزایش تعداد و تنوع مشتریان این امر دشوارتر نیز می‌شود. به بیان دیگرافزایش تعدد و تکثر مشتریان در این ساختار باعث ایجاد یک گراف پیچیده می شود که هر ترکیب برداری از گره های آن می تواند بعنوان یکی از گزینه های جواب بهینه تلقی شود.

مطالعات پیشین :

کمبل و هاردین[۱۳](۲۰۰۵) با بررسی حداقل تعداد وسایل حمل مورد نیاز در مسأله مسیریابی-موجودی با ارسال مستقیم، برای حل آن، الگوریتمی حریصانه ارائه داده‌اند. چنگ و دوران[۱۴](۲۰۰۴) مدلی برای مسأله مسیریابی-موجودی در زنجیره تأمین جهانی نفت خام ارائه نموده اند که در آن تقاضای مشتریان و طول زمان سفر، غیر قطعی بوده و علاوه بر آن میزان تقاضای مشتریان متغیری پویا می باشد. کلیوگت و دیگران[۱۵](۲۰۰۲) با بررسی مسأله مسیریابی-موجودی تصادفی با ارسال‌های مستقیم و مدلسازی آن به صورت فرآیند تصمیم‌گیری مارکوفی زمان گسسته، روشی تخمینی بر مبنای برنامه ریزی پویا جهت حل مساله ارائه نموده اند. بارنز شوستر و بسک[۱۶](۱۹۹۷) به ارزیابی کارایی استراتژی ارسال مستقیم در مسأله مسیریابی-موجودی با افق زمانی نامحدود پرداخته‌اند که در آن تقاضای خرده‌فروشان احتمالی، لکن دارای تابع توزیع معین بوده، همچنین کمبود مجاز می باشد. عزیز و معین[۱۷](۲۰۰۷) مسأله موجودی را در حالت چند محصولی، چند دوره‌ای با چند تأمین‌کننده و یک کارخانه مونتاژ و با هدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های حمل و نگهداری موجودی بررسی کرده‌اند. معین و دیگران[۱۸](۲۰۱۱) در تحقیق مشابه‌ای، الگوریتم ژنتیک ترکیبی بهبودیافته‌ای برای این مساله ارائه داده‌اند. بودیا و دیگران[۱۹](۲۰۰۷) در تحقیق خود با بررسی یک مسأله

مسیریابی-موجودی که در آن برنامه‌ریزی تولید نیز لحاظ شده است، الگوریتم‌های حل مبتنی بر رویه جستجوی انطباقی حریصانه تصادفی[۲۰] توسعه داده‌اند. بودیا و پرینز[۲۱](۲۰۰۹) در تحقیق مشابه‌ای، ساختاری مبتنی بر الگوریتم ممتیک[۲۲] با مدیریت جمعیت جواب‌ها توسعه داده‌اند. ژائو و دیگران[۲۳](۲۰۰۸) مدل یکپارچه‌ای برای مسأله مسیریابی-موجودی در زنجیره تأمین سه رده‌ای ارائه کرده و برای حل آن الگوریتم جستجوی همسایگی بزرگ متغیری[۲۴] توسعه داده‌اند. ژائو و دیگران(۲۰۰۷) رویکرد حل جدیدی بر اساس الگوریتم فراابتکاری جستجوی ممنوع [۲۵]برای حل مسأله مسیریابی-موجودی در یک زنجیره تأمین دو رده‌ای توسعه داده‌اند. اسپارچی-الکازار و دیگران[۲۶] (۲۰۰۷) با پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله مسیریابی-موجودی چند محصولی، تأثیر مقادیر مختلف پارامترهای ورودی الگوریتم ژنتیک را ارزیابی کرده تا از این طریق بهترین مجموع مقادیر پارامترهای الگوریتم بدست آید. راسدیانسیا و سائو[۲۷](۲۰۰۵) با توسعه مدلی برای مسأله مسیریابی-موجودی ماشین‌های سکه‌ای، به ارائه الگوریتمی دومرحله‌ای مبتنی بر الگوریتم‌های الحاق و جستجوی ممنوع پرداخته‌اند. لی و دیگران[۲۸](۲۰۰۸) مسأله مسیریابی-موجودی را در حالتی در نظر گرفته‌اند که تأمین‌کننده تنها یک وسیله حمل در اختیار داشته و در هر دوره تنها می‌تواند برای یک مشتری موجودی ارسال نماید. سیلوا و لوسیا[۲۹](۲۰۱۳) نیز به بررسی مدل تسهیم مناسب موجودی در یک مرکز توزیع پرداخته که درصدد است تا چندین قلم را بصورت همزمان ارسال نماید. ایشان برای حل مدل ارائه شده خود از الگوریتم جستجوی حریصانه استفاده نموده‌اند. یو و دیگران[۳۰](۲۰۰۷) به مساله مسیریابی در کنار مساله جایابی پرداخته و در میان فرضیات خود، فرآیند تحویل تصادفی محصولات فسادپذیر را نیز بررسی نموده‌اند. یانگ و دیگران[۳۱](۲۰۱۴) در پژوهشی به بررسی امکان بهره گیری از قرارداد تاخیر در پرداخت، در زنجیره تامین با تقاضای وابسته به موجودی پرداخته اند. دراین مطالعه محققین به این نتیجه رسیده اند که خرده فروش در حالت غیرهماهنگ به دنبال بیشینه کردن سود خود می باشد. عبداله و دیگران[۳۲](۲۰۱۷)در پژوهشی با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشرفته که دارای توانایی توامان واگرایی و دور شدن از جواب بهینه محلی می باشد به بهینه‌سازی مساله مسیریابی وسیله نقلیه پویا پرداخته اند. هیاسات و دیگران[۳۳](۲۰۱۷) در مطالعه خود مدل مکانیابی-موجودی-مسیریابی را برای کالاهای فسادپذیر مورد بررسی قرار داده اند. در این پژوهش تعداد مکانهای مورد نیاز برای احداث انبارها، سطح موجودی هر خرده فروش و مسیرهای پیموده شده توسط هر وسیله نقلیه تعیین شده اند. همچنین جهت حل این مساله از یک الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده استفاده و از این طریق به جوابهای نزدیک بهینه در مدت زمان منطقی رسیده اند. یو و دیگران(۲۰۱۷) در مطالعه خود به بررسی مساله مسیریابی وسیله نقلیه ترکیبی که تعمیمی از مساله مسیریابی وسیله نقلیه سبز است، با محوریت تمرکز وسایل نقلیه‌ای که از منابع انرژی ترکیبی استفاده می‌کنند پرداخته اند. در این راستا با هدف کمینه سازی هزینه کل سفر، یک مدل ریاضی توسعه داده شده و جهت حل آن نیز از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده با یک استراتژی شروع مجدد استفاده شده است. حیدری[۳۴](۲۰۱۴) در پژوهشی به بررسی موضوع کنترل تغییرات زمان تحویل اقلام پرداخته است. در این راستا یک زنجیره تامین دو سطحی شامل تامین کننده و خرده فروش در نظر گرفته شده است، بطوریکه بازار زنجیره تامین محدود، تقاضا برای خرده فروش ثابت و زمان تحویل تصادفی مساله از توزیع نرمال با میانگین و واریانس مشخصی پیروی می نماید. هو و فنگ[۳۵](۲۰۱۷)در مطالعه ای یک زنجیره تامین مواد فاسد شدنی شامل یک تامین کننده و یک خریدار در نظر گرفته اند، بطوریکه تامین کننده محصولات را با استفاده از مواد اولیه با ورودی یک به یک به صورت فصلی تولید می کند و خریدارمحصولات را از تامین کننده خریده و آنها را به مشتری نهایی می فروشد. حیدری و دیگران (۲۰۱۶)در پژوهشی به مطالعه در زنجیره تامین دارای تقاضای احتمالی با احتساب مکانیزم کاهش زمان تحویل پرداخته اند. بر اساس مدل پیشنهادی، فروشنده با پرداخت هزینه بیشتر به کاهش زمان تحویل می پردازد.

بررسی پژوهش هایی که در این حوزه صورت پذیرفته است نشان از آن دارد که در آنها مسایل حوزه توزیع و تدارکات در قالب رویکردهای مدیریت زنجیره تامین و

مسیریابی وسیله نقلیه مدلسازی و با الگوریتم ها و رویکردهای مختلف حل شده اند. نکته دیگر آنکه نظر به اینکه در شرایط واقعی مسایل عمدتا دارای متغیرهای غیرقطعی در طرف عرضه و تقاضا بوده و از طرفی گراف های ریاضی حاکم بر روابط حمل و نقل نیز بسیار متکثر و پیچیده می باشند، لذا توجه اصلی در این مسایل پرداختن به جوابهای رضایت بخش به جای جوابهای بهینه می باشد، که یکی از رویکردهای ریاضی حاکم بر آن، سازوکار بهینه سازی ترکیبی از طریق الگوریتم های فراابتکاری می باشد. با مروری بر پژوهش های داخلی و خارجی، مطالعه ای که در حوزه مواد لبنی(در نظر گرفتن شرط فاسد شدن برای محصولات) با استفاده از مساله مسیریابی وسیله نقلیه مدلسازی و با الگوریتم فراابتکاری کرم شب تاب[۳۶] حل شده باشد مشاهده نشده است. در این راستا و بر اساس نتایج تحقیقات متعددی که خلاصه برخی از آنها در ادامه آورده شده است، محقق بر آنست که الگوریتم کرم شب تاب از کارایی و عملکرد بسیار بالایی در حوزه بهینه سازی برخوردار می باشد، و لذا این مطالعه بدنبال ترمیم بخشی از خلاء تحقیقاتی موجود در کاربردی سازی این روش می باشد. بر اساس نتایج مقایسه الگوریتم کرم شب تاب با الگوریتم های پرواز پرندگان[۳۷] و الگوریتم ژنتیک مشخص شده است که این الگوریتم برای پیدا کردن نقطه بهینه سراسری درکاربردهای مورد آزمون قرار گرفته، ازکارایی بهتری برخورداراست.(یانگ[۳۸]،۲۰۰۹b) در آزمون های انجام شده درخصوص سرعت الگوریتم جهت حل مسایل نیز، مساله ای که قبلا توسط سایر الگوریتم ها حل شده بود، مجددا توسط این الگوریتم حل و جوابهای مناسب در زمان کوتاه تری به دست آمد. (یانگ،2010b) در پژوهشی انجام شده در حوزه بهینه سازی جریان مواد، با بهره گیری از این الگوریتم زمان ساخت قطعه محاسبه و خروجی آن، با نتایج متاثر از الگوریتم کلونی مورچگان مقایسه، که نشان از برتری روش کرم شب تاب دارد. (صیادی و دیگران[۳۹]،۲۰۱۰) آنامالای و دیگران[۴۰](۲۰۱۲)برای بهینه سازی زاویه پایداری موتور از الگوریتم های جستجوی گرانشی[۴۱] و کرم شب تاب استفاده کردند و نتایج نشان دادکه الگوریتم کرم شب تاب توانایی تنظیم پارامترهای بهینه تری برای این مساله را دارد. کوئلهو و ماریانی[۴۲](۲۰۱۲) از این الگوریتم در تنظیم پارامترهای PID کنترلر استفاده کرده و جهت آزمون کارایی الگوریتم، نتایج آن را با خروجی الگوریتم های اجتماع ذرات و ژنتیک مقایسه نمودند که نتایج این مقایسه نشان از قابلیتهای کارآمدتر الگوریتم کرم شب تاب در تنظیم بهینه پارامترها دارد. سربازفرد و جعفریان(1394) در مطالعه در حوزه بهینه سازی مسایل غیر خطی چند متغیره، پس از انجام سلسله ای از آزمایشات محاسباتی و تجزیه وتحلیل داده ها به این نتیجه رسیدند که جوابهای تولید شده توسط الگوریتم کرم شب تاب در قیاس با بهینه سازی ازدحام ذرات، علاوه بر بهتر بودن جوابها، در زمان بسیار کوتاهتری به همگرایی رسیده اند. هورنگ ودیگران[۴۳](۲۰۱۲) و هورنگ(۲۰۱۲) در تحقیقات خود در حوزه طبقه بندی داده ها و فشرده سازی تصویر نشان دادند که در قیاس با سایر روشهای فراابتکاری روش FA، کمترین زمان محاسبات و پرازش داده ها را دارد. باناتی و باجانی[۴۴](۲۰۱۱) در مطالعه خود نشان دادند که FA عملکرد سازگارترو بهتری در حوزه زمان و کیفیت جوابهای تولید شده در قیاس با سایر الگوریتم های فراابتکاری دارد. لوهرر[۴۵](۲۰۱۳) در تحقیق خود نشان داد که FA بالاخص در مواردی که مساله دارای جوابهای بهینه محلی بوده و امکان توقف در جوابهای موضعی وجود دارد، بسیار کارآ می باشد، از طرفی این تحقیق با مقایسه نتایج FA با خروجی سایر الگوریتم های فراابتکاری، مناسب بودن جوابهای تولید شده را تایید می نماید. بر اساس مطالعات لوکاسیک و زاک[۴۶](۲۰۰۹)، یانگ(۲۰۱۰a) و یانگ(۲۰۱۰b)، اگر چه الگوریتم کرم شب تاب شباهتهای بسیاری با سایرالگوریتم های هوشمنددیگرنظیرPSO , BFA وABC دارد، لکن از منظر مفهوم و پیاده سازی بسیار ساده تر و کابردی تر از روشهای مذکور می باشد. پرابنیت و تارانجوت[۴۷] (۲۰۱۴) در مطالعه خود با مقایسه ۴ الگوریتم کرم شب تاب، جستجوی فاخته، خفاش و گروه میگوها، نشان دادند که FA در قیاس با سایرین دارای نرخ همگرایی بالا، امکان پیدا کردن جوابهای بهینه در تعداد کمتری از تکرارها، و نهایتا نرخ پایداری بیشتر می باشد. دراین مقاله با هدف کمینه سازی هزینه های زنجیره تامین و بیشینه سازی سطح رضایت مشتریان، نسبت به

مدلسازی، حل واعتبارسنجی سیستم توزیع در یک زنجیره تامین دو سطحی حلقه-بسته با متغیرهای غیرقطعی، اقدام به عمل آورده شده است. در این راستا سوالات اصلی این پژوهش به شرح ذیل می باشند:

۱- سیستم توزیع یک زنجیره تامین دو سطحی حلقه-بسته دارای متغیرهای تصادفی، به چه شکل مدلسازی می شود؟
۲- شبکه حمل و نقل خودروهای توزیع میان انبار مرکزی(دپو) و خرده فروشان به چه شکل می باشد؟
۳- میزان کارایی روشهای فراابتکاری، در قیاس با روش رایج در سیستم توزیع(روش نوبتی)، در بهینه سازی زنجیره توزیع به چه اندازه متفاوت می باشد؟

۲. روش پژوهش

این مطالعه از منظر هدف، کاربردی و از منظر نوع، اکتشافی بوده که به دنبال مدلسازی به کمک روشهای تحقیق در عملیات می باشد. این پژوهش به دنبال قبول و یا رد فرضیه ای نمی باشد بلکه یک مساله پرکاربرد در حوزه زنجیره تامین را که از خانواده مسایل NP-HARD بوده و الگوریتم نظام مندی جهت حل آن موجود نمی باشد را با استفاده از رویکرد بهینه سازی ترکیبی مدلسازی وحل می نماید. در این مطالعه رویکرد ریاضی حاکم بر مدلسازی، مدیریت زنجیره تامین و مساله مسیریابی وسیله نقلیه، و روش عددی حل مساله، الگوریتم فراابتکاری کرم شب تاب می باشد. به بیان دیگر در این پژوهش بدنبال بهینه سازی زنجیره تامین دو سطحی حلقه-بسته در شرایط عدم قطعیت از طریق انتخاب مسیر بین توزیع کننده و مجموعه ای از خرده فروشان می باشیم به نحوی که زمان و طول مسیر پیموده شده مینیمم گردد. داده های مورد استفاده در مساله به دو دسته داده های تصادفی و داده های واقعی تقسیم می شوند، که دسته اول بر اساس الگوریتم مساله شبیه سازی شده و دسته دوم ازمستندات و داده های یکی از شرکتهای فعال در عرصه مواد لبنی کشور استخراج شده اند.

۲-۱. معرفی الگوریتم کرم شب تاب

الگوریتم کرم شب تاب برای اولین بار در سال ۲۰۰۸ توسط زان شی یانگ پیشنهاد شد. این الگوریتم با مدلسازی رفتار مجموعه ای از کرم های شب تاب و تخصیص مقداری مرتبط با برازندگی مکان هر کرم به عنوان مدلی برای میزان رنگدانه های شب تاب[۴۸] و به روز کردن مکان کرم ها در تکرار های متوالی الگوریتم، به جستجوی جواب بهینه مساله می پردازد. در این رویکرد کرم های شب تاب، به سمت کرم های شب تاب دیگر با رنگدانه بیشتر که در همسایگی آنها می باشند حرکت می کنند، به این ترتیب طی تکرار های متوالی مجموعه به سمت جواب بهتر متمایل می گردد. در جامعه کرم های شب تاب ارتباطات از طریق الگوهای تولید نور انجام می پذیرد که مطالعات نشان از وجود سه قانون بر این روش ارتباطی دارد :

الف- شدت نور بیشتر به معنی جاذبه بیشتر بوده و عضو کم نورتر به سمت عضو پرنورتر حرکت می کند.

ب- میزان جاذبه با فاصله میان دوکرم شب تاب رابطه معکوس دارد.

ج- اعضایی که بطرف اعضای دیگر جذب نشوند حرکتی تصادفی به اطراف خواهند داشت تا دوباره در معرض نور یکدیگر قرار گیرند.

باید توجه داشت که جذابیت با میزان جذب نور تغییر می کند که به صورت رابطه شماره ۱ نمایش داده می شود. در این رابطه I_s شدت نور منبع است. همچنین برای یک محیط با یک ضریب جذب نور ثابت(γ)، شدت نور(I)با فاصله(r)تغییر می کند، که این رفتار در قالب رابطه شماره ۲ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که I_0 نشان دهنده شدت نور اصلی می باشد.

$$I(r) = \frac{I_s}{r^2} \qquad (1) \qquad I = I_0 e^{-\gamma r} \qquad (2)$$

به منظور اجتناب از یکتایی r=0 در عبارت $\frac{I_s}{r^2}$ ، و ترکیب اثر هر دو قانون مربع معکوس و جذب می توان فرمول را به فرم گوسین مطابق با رابطه شماره ۳ تقریب زد. همچنین از آنجایی که جذابیت یک کرم شب تاب با شدت نور دیده شده توسط کرم های مجاورآن متناسب است، می توانیم جذابیت β را به صورت رابطه شماره ۴ تعریف نماییم. بطوریکه β_0 نشان دهنده جذابیت در $r = 0$ می باشد.

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r} \qquad \beta = \beta_0 e^{-\gamma r}$$

(۳) (۴)

از طرفی فاصله بین هر دو کرم شب تاب i و j، در قالب فاصله دکارتی بصورت رابطه شماره ۵ نشان داده می شود. همچنین جابجایی کرم شب تاب i به سمت کرم شب تاب جذاب تر (روشن تر) j به صورت رابطه شماره ۶ تعریف می شود، که در آن عبارت دوم مربوط به جذابیت، α پارامتر رندم ساز و ϵ_i بردار تصادفی اعداد نشان داده شده از یک توزیع گوسین و یا توزیع یکنواخت می باشند.

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (۵)$$

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2}(x_j - x_i) + \alpha\epsilon_i \quad (۶)$$

فرایند کار به گونه ای است که با قرار دادن جمعیتی n عضوی از کرم های شب تاب در فضای جستجوی، مساله بهینه سازی به صورت تصادفی آغاز می شود. در ابتدا همه کرم ها مقدار یکسانی از رنگدانه به اندازه I را در اختیار دارند لکن در هر تکرار الگوریتم که شامل یک فاز به روز کردن رنگدانه و یک فاز به روز کردن مکان کرم ها می باشد این مقادیر تغییر می کند.

- **فاز ۱ – به روز کردن رنگدانه :** مقدار رنگدانه هر کرم در هر تکرار با توجه به مقدار برازندگی مکان آن کرم تعیین می شود. یعنی در هر تکرار با توجه به مقدار برازندگی و متناسب با آن، مقداری به رنگدانه قبلی کرم اضافه می شود. همچنین به منظور مدل کردن افت تدریجی با زمان، مقداری از رنگدانه فعلی با ضریبی کمتر از ۱ از آن کم می شود. بنابراین با توجه به این موضوع رابطه شماره ۷ برقرار است. که در آن $j(x_i(t+1))$ ارزش تابع هدف (برازندگی مکان) کرم i ام در تکرار t از الگوریتم، و ρ و γ نیز مقادیر ثابتی می باشند. برای هر کرم شب تاب i احتمال حرکت به سمت همسایه درخشنده تر به صورت رابطه شماره ۸ تعریف می شود. که در آن $N_i(t)$ مجموعه کرم های شب تاب همسایه کرم i ام در زمان t است.

$$l_i(t+1) = (1-\rho)l_i(t) + \gamma J(x_i(t+1)) \quad (۷)$$

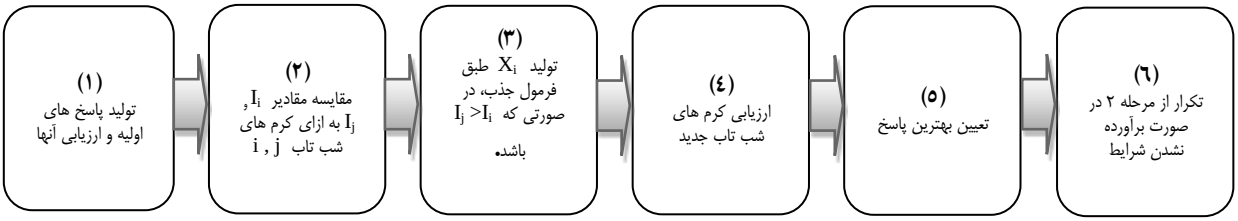
$$P_{ij}(t) = \frac{lj(t) - li(t)}{\sum_{k \in Ni(t)} lk(t) - li(t)} \quad (۸)$$

- **فاز ۲ – به روز رسانی مکان :** معادله گسسته، حرکت زمان گسسته کرم های شب تاب، به صورت رابطه شماره ۹ بیان می شود. که در آن $x_i(t)$ بردار m بعدی مکان کرم شب تاب i ام در زمان t ، $||.||$ عملگر نرم اقلیدسی و s اندازه گام حرکت را نشان می دهد. (یانگ،2010a)

$$X_i(t+1) = X_i(t) + s\left(\frac{Xj(t) - Xi(t)}{\|Xj(t) - Xi(t)\|}\right) \quad (۹)$$

مراحل الگوریتم :

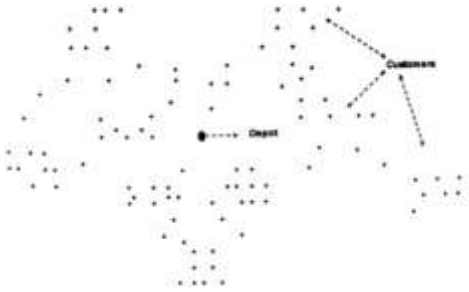
در این مطالعه با فرض میزان درخواست کالا به عنوان پارامتر جذب هر خرده فروش، از رابطه میزان جذب در الگوریتم کرم شب تاب برای حل مسئله استفاده می شود، که مراحل کلی آن در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. نظر به آنکه مطابق با مطالعات قبلی(قلی زاده[۴۹] و دیگران،۲۰۱۴) مسیر بدست آمده با استفاده از این قانون جذب همواره عضوی از جبهه پارتو می باشد و در بازه قابل قبول نزدیک به بهترین راه حل مسیر یابی قرار می گیرد، لذا جهت ساده سازی فرایند مدلسازی، هر وسیله نقلیه توزیع کننده(ناقل) را به عنوان یک کرم شب تاب در نظر می گیریم که در هر مرحله تکرار الگوریتم، باید مسیری را بین تمامی کرم های شب تاب دیگر (سایرمشتریان) انتخاب نماید، به نحوی که هزینه صرف شده حداقل شود. میزان کالای مرجوعی، فاصله ها، ظرفیت حمل و سایر متغیرهادر قالب پارامترهای تعیین کننده میزان جاذبه هر گره در نظرگرفته شده اند. همچنین در صورتی که در سیستم توزیع یک ناقل نتواند کلیه اهداف را پوشش دهد نوبت به ناقل بعدی می رسد که در همان مرحله تکرار الگوریتم، عملیات پخش باقی مانده را انجام دهد.



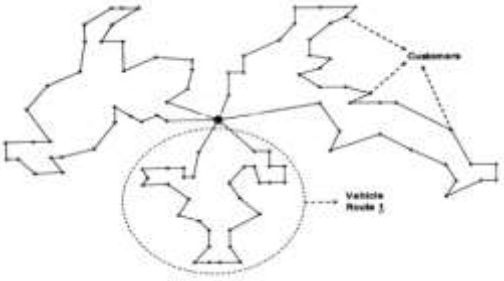
نمودار ۱: مراحل کلی الگوریتم کرم شب تاب

۲-۲. مدلسازی ریاضی پژوهش

رویکرد ریاضی حاکم بر این مطالعه، مساله مسیریابی وسیله نقلیه می باشد که مطابق با نمودارهای شماره ۲ و ۳، همانگونه که شرح رفت، هدف اصلی این سازوکار ریاضی در یافت ورودی های منفرد و پراکنده - که مشتمل بر سرویس گیرندگان متعدد در محدوده مساله مورد بررسی می باشند - و دسته بندی آنها در قالب گرافی ریاضی می باشد، به طوری که هر گراف سهم یک سرویس دهنده مشخصی (ناقل) باشد. مدل‌سازی ریاضی مسأله مسیریابی وسیله نقلیه، ریشه در کارهای لاپورته[۵۰] و همکارانش در سال ۱۹۸۵ دارد. در مدل‌سازی VRPمتغیر صحیح x_{ij} را، تعداد سفرهای و سیله نقلیه بین رئوس v_i و v_j تعریف نموده به‌نحوی که اگر i=0 باشد آنگاه متغیرx_{ij}می‌تواند مقادیر ۰، ۱ و ۲ را به خود بگیرد، و اگر $i>0$ آنگاه x_{ij} یک متغیر باینری خواهد بود.



نمودار ۲: موقعیت مشتریان قبل از مدلسازی



نمودار ۳: موقعیت مشتریان بعد از مدلسازی

متغیر t به عنوان هزینه ثابت برای هر ناقل در نظر گرفته می‌شود. جهت مدل‌سازی رابطه شمار ۱۰ را در نظر می گیریم، بطوریکه مجموعه S برای هر $s \subset v$ به شرح رابطه شماره ۱۱ تعریف شده است. (قصیری و قناد پور، ۱۳۸۶)

10) $\delta(S) = \{(v_i , v_j) \in E: v_i \in S, v_j \in V\backslash S \text{ or } v_i \in V\backslash S, v_j \in S\}$

11) $x(\delta(S)) = \sum_{(vi,vj)\epsilon\delta(S)} xij$

۲-۳.مفروضات مدلسازی

- مسأله به صورت یک شبکه گسسته طراحی شده است که مرکز توزیع وخرده فروشان به عنوان گره های آن تلقی می شوند.(گسسته بودن مساله)
- هرناقل از دپوی مرکزی حرکت و پس ازطی مسیر به آن باز می گردد.(حلقه بسته بودن مدل)
- هرخرده فروش صرفا به وسیله یک ناقل ویزیت می شود.
- هرناقل ازهر خرده فروش تنها یکبارعبورمی کند.
- همه ناقل ها همگن هستند و از نظر زمان محدودیت دارند.
- تعداد خرده فروشان برای هر جامعه هدف محدود بوده و نمی توان تعداد بسیار زیادی از خرده فروشان را با یک مرکز توزیع پوشش داد، زیرا ممکن است مساله از حیض انتفاع خارج شود.
- میزان کالای مبادله ای در هر مرحله از ملاقات خرده فروش، کمتر از سقف ظرفیت هر ناقل می باشد.
- جهت در نظر گرفتن مسائلی نظیر وابستگی نیاز مصرف کنندگان به زمان، و یا احتمال خرابی و فاسد شدن برخی کالاها، از محدودیت حداکثر زمان توزیع بهره برداری شده است.(درنظرگرفتن موضوع امکان فاسدشدن محصولات لبنی)

۲-۴.مدل برنامه ریزی ریاضی مساله

در فرایند مدلسازی مساله موضوعاتی نظیر، کالای مرجوعی، محدودیت زمانی توزیع و مدت زمان لازم جهت بارگیری و تخلیه بار، ظرفیت حمل و نقل محدود، و نیز غیر قطعی بودن پارامترها لحاظ شده اند. جهت ساده سازی مدلسازی نیز، موقعیت جغرافیایی مرکزتوزیع و خرده فروشان در یک محدوده تصادفی شبیه سازی شده اند. همچنین هزینه هر مسیر، بصورت تابعی از کالای حمل شده(مرجوعی یا توزیعی) و مسافت طی شده در نظر گرفته شده است.

$$Z : \text{Min} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{m} Dij \,.\, Xijk \quad (۱۲)$$

s.t:

$$\sum_{i=1}^{n} yij = 1 \qquad \forall\, j = 2,3, \dots, n \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^{n} yij = 1 \qquad \forall\, i = 1,2, \dots, n \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^{n} y1j = \sum_{i=1}^{n} yi1 = k \quad (15)$$

$$\sum_{k=1}^{n} xijk = yij \qquad \forall\, i,j = 1,2, \dots, n \quad (16)$$

$$\sum_{i}^{n} \sum_{j}^{n} \left(\frac{Dij}{V} + T * \frac{Rj+Mj}{360}\right) * Xijk \le TL \quad \forall\, k = 1, \dots, m \quad (17)$$

$$\sum_{i}^{n} \sum_{j}^{n} Rj * Xijk \le C \quad \forall\, k = 1, \dots, n \quad (18)$$

$$\sum_{j}^{n} Rj \le \sum_{i}^{n} \sum_{j}^{n} \sum_{k}^{n} Xijk * C \quad (19)$$

$$Mj \le 0.1\, Rj \quad \forall\, j = 1, \dots, n \quad (20)$$

$$Rj \le C \quad \forall\, j = 1, \dots, n \quad (22)$$

$$\sum_{i \in s}^{n} \sum_{j \in s}^{n} Xijk \le |S| - 1 \;;\; \forall\, S \subseteq (A - \{0\})\ \forall\, i,j = 1, \dots, n \;\&\; k = 1, \dots, m$$

$$S \ge 2$$

$$K \le J \quad (23)$$

$$X_{ijk}, Y_{ij} \ge 0 \in \{0,1\} \quad (24)$$

ی که رابطه شماره 12، نشان دهنده تابع هدف مساله بوده که بدنبال کمینه کردن کل مسیر طی شده می باشد. روابط شماره 13و 14 تضمین می کنند که هر ناقل پس از شروع حرکت از گره مبدا، مشتری i را ملاقات نموده و پس از ملاقات مشتری i ام به سمت مشتری j ام حرکت می کند. به بیان دیگر این دو رابطه باعث ایجادحرکت نافل بین گره های iوj می شوند. رابطه شماره 15، تضمین می کند که تعداد ناقل هایی که از دپو به سمت مشتریان حرکت می کنند با تعداد ناقل هایی که از تمامی گره های مذکور(مشتریان) به سمت دپو مراجعت می کند برابر می باشد. (شرط توازن) رابطه شماره 16، تضمین می کند که هر مشتری تنها می تواند توسط یک ناقل خدمت رسانی شود.

رابطه شماره 17، تضمین می کند که با توجه به فاسدشدنی بودن محصولات (مطالعه در صنایع لبنی) ناقل ها تنها در بازه زمانی محدودی (به مقدار TL)، جهت توزیع محصولات فرصت دارند و پس از آن بدلیل احتمال فاسدشدگی محصولات، امکان ادامه کار موجود نمی باشد. رابطه شماره ۱۸، مربوط به ظرفیت حمل بار توسط ناقل ها بوده و برای آن یک سقف مشخصی را تعیین می کند.(محدودیت ظرفیت)رابطه شماره ۱۹، ظرفیت کل توزیع ناوگان خودرویی را در طول یک روزکاری (یک مرحله اجرای فرایند مدلسازی)تعیین کرده و اجازه نمی دهد که فراتر از آن عمل شود. روابط شماره ۲۰و۲۱ با توجه به حلقه بسته بودن مدل پیشنهادی و نیاز به جمع آوری محصولات مرجوعی در زنجیره تامین، و متناسب با سیاستهای توزیع کننده، یک محدویت حجمی برای کالاهای ارسالی و مرجوعی(متناسب با کالای سفارش داده شده) در نظر می گیرند. رابطه شماره ۲۲، تضمین می کند که مساله هیچ زیرتوری نداشته باشد، که در آن S هر زیرمجموعه غیرتهی از خرده فروشان بوده($|S|$ اندازه S می باشد.) و همه مسیرها با هم در ارتباط هستند. رابطه شماره ۲۳، جهت کنترل ابعاد مساله، برای ناقل ها سقف تعیین می کند. رابطه شماره ۲۴ نیز، با توجه به صفرویک بودن متغیرهای تصمیم این موضوع را در مدلسازی لحاظ می کند.

پارامترهای مدل:

D_{ij}	ماتریس فواصل میان گره ها بر اساس رابطه اقلیدسی	R_j	کالای درخواستی مشتری j ام ($Rj \sim U(0,100)$)
C	ظرفیت حمل ناقل	M_j	کالای مرجوعی مشتری j ام ($Mj \sim U(0,0.1Rj)$)
TL	زمان مجاز توزیع پیش از فاسد شدن محصولات لبنی	T	زمان تحویل و بارگیری در محل خرده فروش
V	متوسط سرعت حرکت ناقل ها	i	اندیس شمارنده برای نقاط آغاز حرکت ناقل(مبدا)
k	اندیس شمارنده برای ناقل ها	j	اندیس شمارنده برای تعریف مقاصد ناقل(مقصد)

متغیرهای تصمیم:

X_{ijk}	تخصیص ناقل k به بردار ij ام ($Xijk \in \{0,1\}$)	Y_{ij}	تخصیص یک ناقل به بردار ij ام($Y_{ij} \in \{0,1\}$)

متغیرها/پارامترهای الگوریتم حل مساله:

RT	کل کالای درخواستی در هر دوره	Rj	کالای درخواستی مشتری j ام ($Rj \sim U(0,100)$)
MT	کل کالای مرجوعی در هر دوره	Mj	کالای مرجوعی مشتری j ام ($Mj \sim U(0,0.1Rj)$)
B_0	ضریب جذب هر خرده فروش (کالای درخواستی منهای کالای مرجوعی)	DC_n	مسافت طی شده توسط ناقل n ام
B_i	میزان جاذبه گره i ام	r_i	فاصله اقلیدسی (مستقیم) خرده فروش i ام از مرکز توزیع (دپو)
Dc	فاصله کل طی شده(کل مسیر طی شده توسط ناقل / هزینه توزیع)	Tc	مدت زمان صرف شده برای پوشش دادن تمامی خرده فروشان
TC_n	زمان طی شده توسط ناقل n ام		

این مساله مشتمل بر بی نهایت بردار فی مابین گره های موجود می باشد که هر یک می تواند به عنوان جزیی از فضای برداری جواب بهینه مساله تلقی شود. با توجه به تصادفی بودن متغیرهای تقاضای کالا و کالاهای مرجوعی، مساله دارای شرایط غیرقطعی بوده و با بهره گیری از روشهای جاری ریاضی امکان دستیابی به جواب بهینه سراسری موجود نمی باشد. از طرفی ابعاد مساله بسیار بزرگ بوده و با توجه به وجود بردارها در سه جهت I,J,k حل آن بسیار زمانبر می باشد.

۲-۵.مطالعه موردی :

در شکل شماره ۴، فلوچارت بهینه سازی مدل برنامه ریزی ریاضی مساله بر اساس الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است. علاوه بر این جهت مقایسه و سنجش کارایی روش پیشنهادی، در این نمودار مسیر مدلسازی منطبق با وضع موجود کسب و کار(روش توزیع نوبتی)نیز انجام شده است. خلاصه این مراحل به شرح ذیل می باشد :

- تعیین اطلاعات واقعی مساله مورد بررسی (مطالعه موردی) : این اطلاعات مشتمل بر تعداد و شعاع پراکندگی خرده فروشان، حداکثر زمان مجاز برای توزیع سفارشات، حداکثر ظرفیت حمل بار و متوسط سرعت حرکت ناقل ها می باشند.
- تعیین موقعیت مرکز پخش (دپو) : از این محل سرویس دهی به کلیه خرده فروشان مورد بررسی در مطالعه موردی، انجام می شود.
- ایجاد خرده فروشان در مدل تصادفی، بر اساس داده های وارد شده در مساله : موقعیت تصادفی خرده فروشان در محدوده ای به اندازه شعاع پراکندگی وارد شده تعیین، و میزان کالای درخواستی و مرجوعی آنها، بر اساس حدود تعریف شده به صورت تصادفی تولید می شود.
- جهت پرهیز از فراتر رفتن از یک بازه زمانی معین، محدوده اطمینانی بعنوان حداکثر زمان مجاز در نظر گرفته می شود.
- مبنای محاسبه کارایی در مدلVRPهزینه های حمل و نقل می باشند که در قالب زمان و مسافت طی شده نمود پیدا می کنند. در این مرحله میزان مسافت های اقلیدسی میان کلیه نقاط خرده فروشی و همچنین مرکز توزیع بصورت ماتریس مسافت، تعیین می گردد.

- حرکت ناقل ها فی مابین مرکز توزیع(دپو) و مشتریان : حرکت از هر نقطه به سوی نقطه ای با بهترین جاذبه می باشد که در الگوریتم کرم شب تاب این موضوع با تعیین ضریب جذب مشخص می شود . در این راستا لازم است برای کلیه گره ها ضریب جذب مطابق رابطه شماره ۲۵ محاسبه شود.
- برای تعیین جبهه پارتو در اولین گام برای اولین ناقل، مسیر حرکت از مرکز پخش به سمت گره ای (خرده فروشی) با بالاترین ضریب جذب تعیین می گردد. سپس به سمت خرده فروشی با ضریب جذب کمتر هدایت شده و این مسیر تنها زمانی به پایان می رسد که حجم کالای ارسالی و بازگشتی به میزان ظرفیت ناقل رسیده باشد. در ادامه سایر مراکز خرده فروش به همین ترتیب توسط ناقلهای بعدی پوشش داده می شوند و این مهم تا زمانی که به کلیه خرده فروشان سرویس داده شود ادامه پیدا می کند. طول مسیر و خرده فروشانی که خودروی ناقل به آنها سرویس می دهد متناسب با ظرفیت ناقل می باشد و بعد از مراجعه هر ناقل به خرده فروش، آن خرده فروش از لیست باقی مانده حذف شده و این روند تا زمانی که کل خرده فروشان تحت پوشش قرار گیرند، ادامه خواهد داشت.
- در ادامه تابع چند متغیره هزینه توزیع که دارای پارامترهای کل مسیر طی شده (بر اساس روابط شماره ۲۶ و ۲۷)، حداکثر زمان پوشش (بر اساس روابط شماره ۲۸ و ۲۹) و تعداد کل ناقل های استفاده شده می باشد محاسبه می شود.
- در مرحله بعد لازم است کلیه تخصیص هایی که به ناقل صورت گرفته یا به بیان دیگر کلیه مسیرهایی که ناقل طی کرده است ثبت و ترسیم گردد، که در قالب شبکه حمل و نقل مشخص می گردد.
- جهت سنجش میزان کارایی روش پیشنهادی، روش فعلی انجام کار در شرکت-روش توزیع نوبتی- که به عنوان یک روش استاندارد در مراکز پخش به کار می رود شبیه سازی، و بر اساس مقایسه دو روش، کارایی روش پیشنهادی سنجیده می شود. درخصوص روش نوبتی ذکر این نکته لازم است که شرکتهای پخش عمدتا از اولین مرکز خرده فروشی عملیات توزیع و جمع آوری را شروع می کنند، در صورت تکمیل ظرفیت یا زمان مجاز اولین ناقل، مسیر آن بسته، و ناقل بعدی برای ادامه کار در نظر گرفته می شود. این شیوه به صورت جاری در شرکتی که بعنوان مطالعه موردی تحقیق در نظر گرفته شده است در حال انجام می باشد.
- و نهایاتا اینکه برای روش نوبتی نیز مانند روش پیشنهادی، توابع هزینه، تعداد ناقل ها، و شبکه حمل و نقل تعیین می گردد.
- در انتهای کار نیز از تقابل خروجی دو روش مذکور کارایی آنها سنجیده می شود.

$$B_i = (R_i + M_i)e^{-D^2} \quad (۲۵)$$

$$DC_n = \sum_{i=1}^{m} D_i \quad (۲۶)$$

$$DC = \sum_{n=1}^{N} DC_n \quad (۲۷)$$

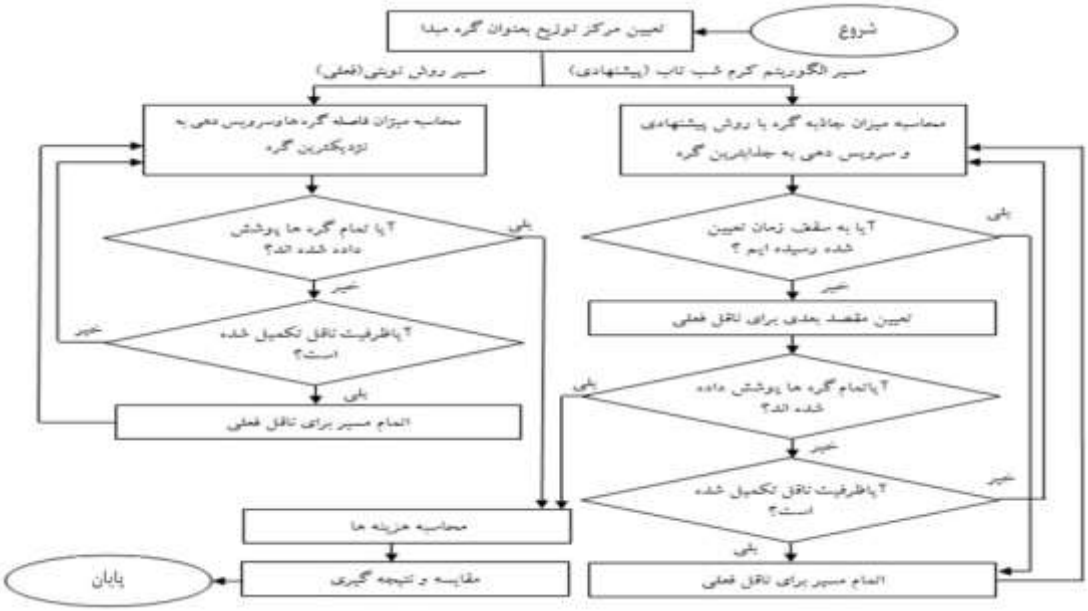
$$TC_n = \sum_{i=1}^{m} \frac{D_i}{V_n} \quad (۲۸)$$

$$TC = \max(TCn) \quad (۲۹)$$

با توجه به الگوریتم و مدل پژوهش که به آن اشاره شد، نسبت به مدلسازی مساله در محیط نرم افزار متلب ۲۰۱۶ اقدام به عمل آورده شده است. آنچه مسلم است شعاع توزیع برای بنکداران و انبار داران بطور عمومی فراتر از محدوده یک شهر نمی رود، این پارامتر با توجه به پراکندگی خرده فروشان در این مطالعه حداکثر برابر با ۱۵ کیلومتر می باشد. موضوع دیگر زمان مجاز جهت توزیع محصولات است که با توجه به نیاز روزانه خرده فروشان و امکان فاسدشدگی محصولات، این مقدار حداکثر برابر با سه ساعت (۱۸۰ دقیقه) می باشد. ظرفیت حمل و متوسط سرعت حرکت ناقل ها نیز به ترتیب معادل ۳۰۰۰ کیلوگرم و ۵۰ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است. همچنین

جهت تخلیه یا بارگیری هر کیلوگرم کالا ده ثانیه زمان مورد نیاز می باشد. در این میان تنها تعداد مراکز خرده فروشی است که بسته به شرایط متعـددی مانند نوع اجناس ارائه شده، جمعیت، اقتصاد و یا حتی بافت و نقشه مناطق شهری تغییر می کند. بر اساس اسناد موجود در کسب و کار مورد مطالعه میزان کالای درخواستی خرده فروشـان یک عدد تصـادفی از ۰ تا

نمودار ۴ : فلوچارت اجرای برنامه (مشتمل بر الگوریتم کرم شب تاب، روش نوبتی و مقایسه دو روش)



تا ۱۰۰ (دارای توزیع یکنواخت در بازه ۰ و ۱۰۰) بوده که با توجه به اطلاعات و آمار موجود میزان کالای مرجوعی نیز برای هر خرده فروش حداکثر معادل ۱۰ درصد از کالای درخواستی آن درنظر گرفته شده است. جهت بررسی کارایی الگوریتم، سناریوهای سه گانه از خرده فروشان، مشتمل بر تعداد ۱۰، ۵۰ و ۲۰۰ تائی در نظر گرفته شده است. شیوه کار بدین منوال است که برای هر کدام از سناریوهای سه گانه یک بار تخصیص بر اساس روش نوبتی- وضع موجود کسب و کار مورد مطالعه- و یک بار بر اساس الگوریتم کرم شب تاب صورت می پذیرد و ازطریق بررسی نتایج دو روش درحجم های مختلف، کارایی آنها سنجیده می شود.

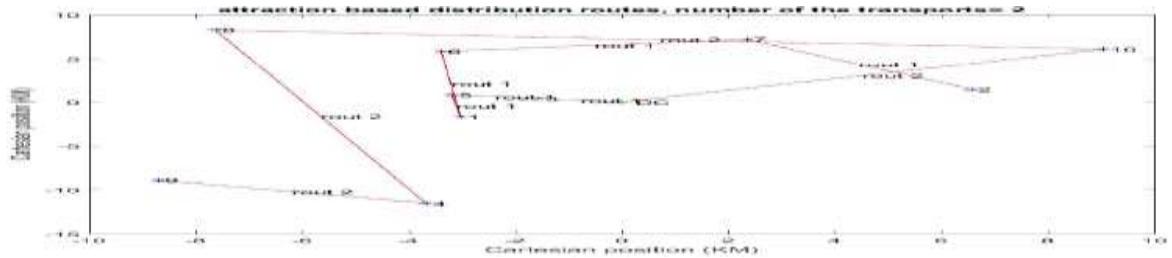
۳. یافته ها

در ادامه خروجی نرم افزار برای سناریوهای سه گانه فوق الذکر آورده شده است.

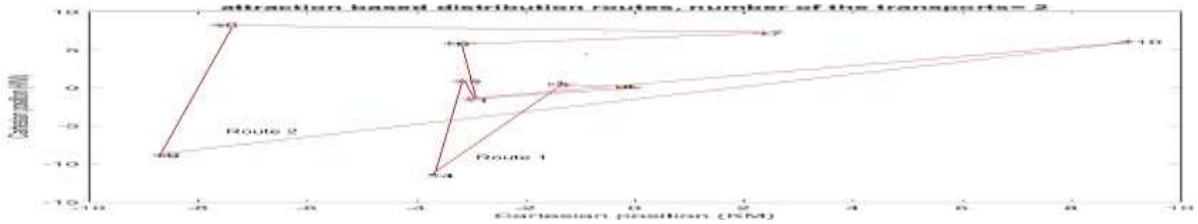
۳-۱ . سناریوی شماره یک (در نظر گرفتن ۱۰ خرده فروش) : در این حالت و بر اساس روشهای ۲ گانه موجود(الگوریتم پیشنهادی و وضع موجود)، شبکه حمل و نقل مشتمل بر نمودارهای شماره ۵و۶ می باشد. همانگونه که مشاهده می شود در هر دو حالت مساله دارای دو مسیر سرویس دهی(۲ ناقل) می باشد.

۳-۲ . سناریوی شماره دو (در نظر گرفتن ۵۰ خرده فروش) : در این حالت و بر اساس روشهای ۲ گانه موجود(الگوریتم پیشنهادی و وضع موجود)، شبکه حمل و نقل مشتمل بر نمودارهای شماره ۷و۸ می باشد. همانگونه که مشاهده می شود برای روش پیشنهادی مساله مشتمل بر ۱۰ مسیر سرویس دهی(۱۰ ناقل) و برای وضع موجود مشتمل بر ۱۴ مسیرسرویس دهی (۱۴ ناقل) می باشد.

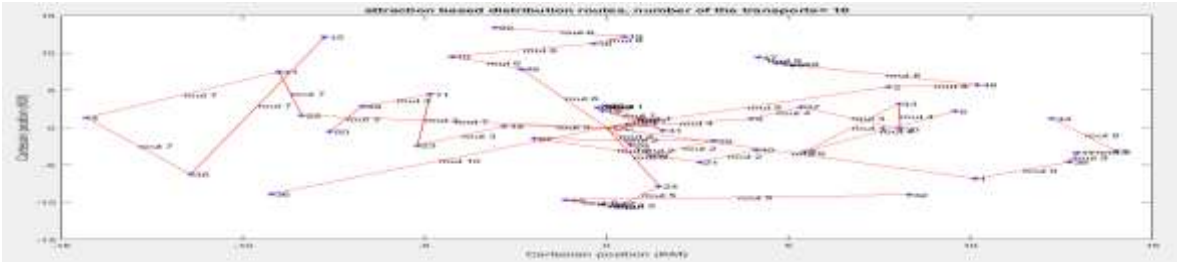
۳-۳ . سناریوی شماره سه (در نظر گرفتن ۲۰۰ خرده فروش) : در این حالت و بر اساس روشهای ۲ گانه موجود(الگوریتم پیشنهادی و وضع موجود)، شبکه حمل و نقل مشتمل بر نمودارهای شماره ۹و۱۰ می باشد. همانگونه که مشاهده می شود برای روش پیشنهادی مساله مشتمل بر ۳۵ مسیر سرویس دهی(۳۵ ناقل) و برای وضع موجود مشتمل بر ۵۳ مسیرسرویس دهی (۵۳ ناقل) می باشد.



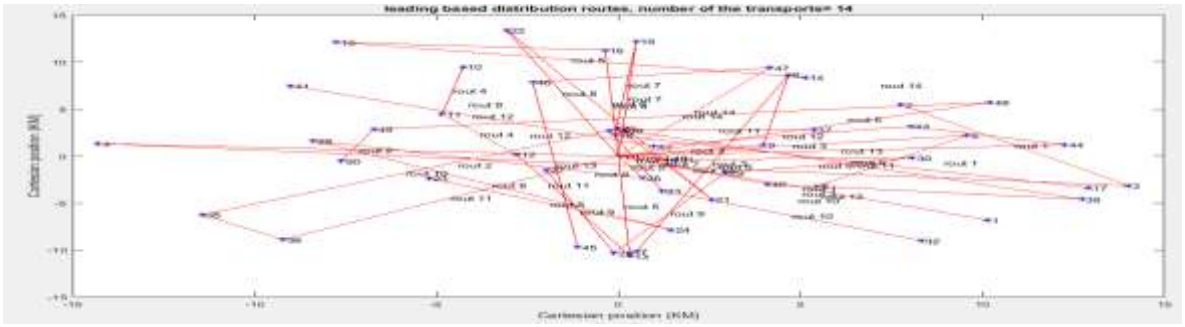
نمودار ۵: شبکه حمل و نقل سناریوی شماره یک ، وضع پیشنهادی



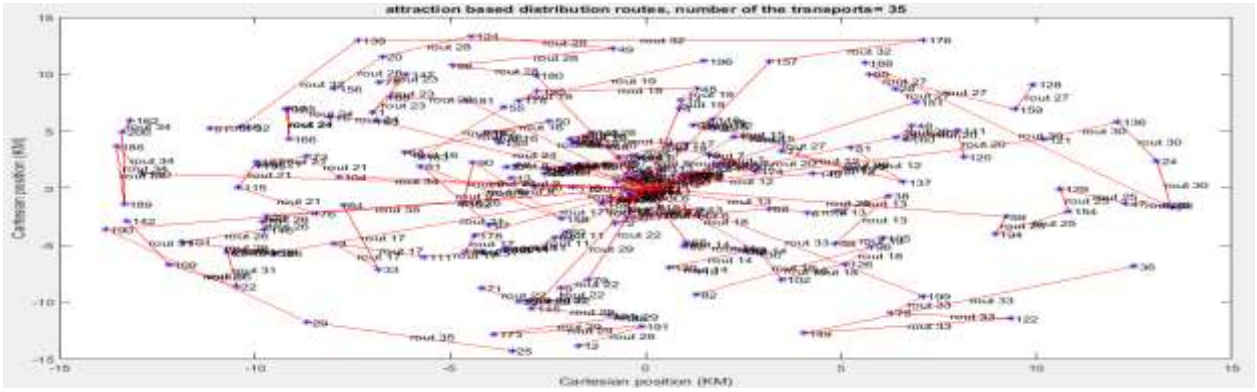
نمودار ۶: شبکه حمل و نقل سناریوی شماره یک ، وضع موجود



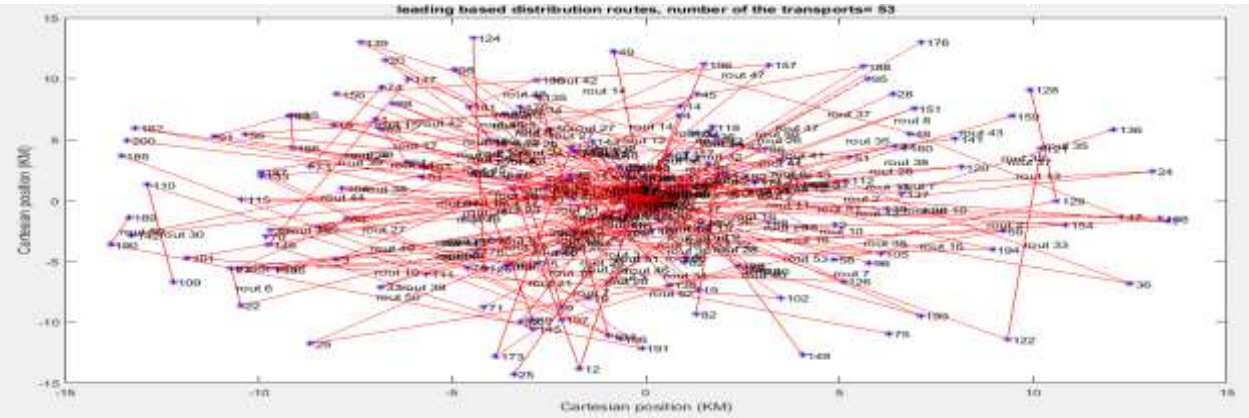
نمودار ۷: شبکه حمل و نقل سناریوی شماره ۲ ، وضع پیشنهادی



نمودار ۸: شبکه حمل و نقل سناریوی شماره ۲ ، وضع موجود



نمودار ۹: شبکه حمل و نقل سناریوی شماره ۳ ، وضع پیشنهادی



نمودار ۱۰: شبکه حمل و نقل سناریوی شماره ۳ ، وضع موجود

در شبکه های حمل و نقل ارایه شده، رئوس نشان دهنده دپوی مرکزی و خرده فروشان، و یالها نشان دهنده مسیر ارتباطی (کانال توزیع)میان دپو و خرده فروشان بوده که توسط ناقل های توزیع طی می گردد. همانگونه که شرح رفت مبنای بهینه سازی در مدلهای مسیریابی در حالت جنرال، کاهش برآیند طول یالهای طی شده می باشد که با توجه به منطق حاکم بر مدلسازی و چارچوب مفهومی تحقیق می تواند در مطالعات مختلف به صورتهای متنوع فرموله شود.

در این تحقیق ۴ شاخص تعداد ناقل های تخصیص داده شده، کل مسیر طی شده(مصرف سوخت و استهلاک خودرو)، متوسط بار حمل شده برای هر ناقل(بازده استفاده از وسایط نقلیه)، و جمع زمان سپری شده، بعنوان مبنای مقایسه در نظر گرفته شده اند، به گونه ای که شاخص های اول، دوم و سوم، که عمدتا از جنس هزینه بوده، همراستا با هدف اول، و شاخص چهارم که مرتبط با رساندن سفارشات به مشتریان در زمان کوتاه تر می باشد، در راستای هدف دوم مطالعه قرار می گیرد.

لازم به ذکر است منظور از تعداد ناقل ها، تعداد وسیله نقلیه توزیع کننده ای است که بر اساس الگوریتم تخصیص داده شده است.

منظور از کل مسیر طی شده، برآیند کل مسیری است که توسط همه ناقلهای تخصیص داده شده به یک مساله طی می شود. متوسط بار حمل شده برای هر ناقل نیز، به معنای کل بار حمل شده توسط ناقل های تخصیص داده شده به مساله مورد نظر، تقسیم بر تعداد ناقلها می باشد. و نهایتا اینکه جمع زمان سپری شده، نشان دهنده برآیند زمانی است تک تک ناقل ها جهت طی مراحل توزیع، دنبال کرده اند.

تعمیق در خلاصه آمار و اطلاعات مرتبط با سناریوهای ۳ گانه در جدول شماره ۱ -خروجی نرم افزار- و همچنین بررسی نمودارهای شماره ۵ تا۱۰آشکار می سازد که حتی در تعداد پائین نیز مزایای روش تعیین مسیر با استفاده از الگوریتم جاذبه کرم شب تاب بر روش تعیین مسیر به شکل نوبتی قابل مشاهده می باشد و این مزایا با افزایش تعداد خرده فروشان در شرایط یکسان بشدت افزایش می یابند.

از طرفی الگوریتم حل مساله از منظر کیفیت جواب ارایه شده و همچنین زمان حل، الگوریتمی کاملاً کارا و مؤثر بوده و نظر به آنکه با بزرگ شدن ابعاد مسأله زمان حل توسط روش های دقیق ریاضی به طور نمایی افزایش می یابد این روش می‌تواند برای مسائلی با ابعاد بزرگتر، مناسب تر نیز باشد.

جدول ۱: نتایج سناریوهای سه گانه مورد بررسی

شاخص / سناریو	همراستا با هدف اول (کمینه سازی هزینه ها)						همراستا با هدف دوم (بیشینه سازی رضایت مشتریان)	
	تعداد ناقل ها		کل مسیر طی شده		متوسط بار حمل شده برای هر ناقل		جمع زمان سپری شده	
S1	کرم شب‌تاب	2	کرم شب‌تاب	99.574	کرم شب‌تاب	510.638	کرم شب‌تاب	1.745
	نوبتی	2	نوبتی	109.787	نوبتی	510.638	نوبتی	1.829
S2	کرم شب‌تاب	9.942	کرم شب‌تاب	233.333	کرم شب‌تاب	463.768	کرم شب‌تاب	1333.333
	نوبتی	14	نوبتی	689.855	نوبتی	326.087	نوبتی	1594.203
S3	کرم شب‌تاب	35.455	کرم شب‌تاب	636.364	کرم شب‌تاب	556.364	کرم شب‌تاب	4072.727
	نوبتی	53.455	نوبتی	2500	نوبتی	370.909	نوبتی	6236.364

جهت بررسی معنی داربودن تفاوت بین دو روش مطابق جدول شماره ۲ اختلاف شاخص های مورد بررسی در سناریوهای سه گانه محاسبه شده اند، که باتوجه به محدود بودن تعداد داده ها و و نظر به اینکه فرض نرمال بودن آنها معقول نمی باشد، ازآزمون ویلکاکسون استفاده شده است. مقدار آماره آزمون به ازای هر چهار شاخص برابر با مقدار 1.603567 می باشد که نشان از وجود اختلاف معناداری میان دو روش دارد. در اینجا نظر به همراستایی همبستگی میان ابعاد مساله و درجه پیچیدگی، با افزایش تعداد خرده فروشان، این اختلاف نیز بصورت تصاعدی افزایش می باشد. لذا با افزایش ابعاد مساله و درنتیجه افزایش مقدار di ها بهتراست از روش پیشنهادی استفاده گردد.در خصوص سئولات تحقیق نیز، این مطالعه به هر سه سئوال طرح شده پاسخ داده است. به گونه ای بر اساس پارمترها و متغیرهای تصمیم آورده شده در زیربخش ۲ و فلوچارت الگوریتم کرم شب تاب سیستم توزیع مدلسازی شده است. (سئوال اول تحقیق) همچنین شبکه حمل و نقل خودروهای توزیع میان انبار مرکزی(دپو) و خرده فروشان در شکل های شماره ۵ الی ۱۰ نمایش داده شده اند. (سئوال دوم تحقیق) و نهایتا اینکه در خصوص مقایسه کارایی روش پیشنهادی نیز مطابق با جدول شماره ۲ و آزمون ویلکاکسون، نیز برتری روش پیشنهادی نشان داده شده است. (سئوال سوم تحقیق)

جدول ۲: نتایج سناریوهای سه گانه مورد بررسی

سناریو / شاخص	سناریوی ۱				سناریوی ۲				سناریوی ۳			
	۱۰				۵۰				۲۰۰			
شاخص های مورد بررسی	تعداد ناقل ها	کل مسیر طی شده	متوسط بار حمل شده برای هر ناقل	جمع زمان طی شده	تعداد ناقل ها	کل مسیر طی شده	متوسط بار حمل شده برای هر ناقل	جمع زمان طی شده	تعداد ناقل ها	کل مسیر طی شده	متوسط بار حمل شده برای هر ناقل	جمع زمان طی شده
تفاوت شاخص در دو روش مورد بررسی(d_i)	0	-10,213	0	-0.084	-4.058	-456.522	137.681	-260.87	-18	-1863.64	185.455	-2163.64

۴. بحث و نتیجه گیری

بدون شک بهینه سازی شبکه حمل و نقل تخصیص کالا ها و مواد اولیه، یکی ازمهمترین مسایل حوزه زنجیره تامین می باشد. برای بهینه سازی این شبکه، رویکردهای مختلف ریاضی جهت مدلسازی و حل ارایه شده اندکه هدف عمده تمامی این روشها کمینه سازی هزینه های کسب و کار و بیشینه سازی سطح رضایت مشتریان می باشد. در این راستا نظر به درجه پیچیدگی مسایلی که در حوزه مسیریابی وسیله نقلیه وجود دارند و ماهیت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط حاکم بر آنها، مسایل مذکور در حوزه NP-HARD قرار می گیرند، بدین معنی که تلاش محاسباتی مورد نیاز برای حل این مسائل به طور نمایی با بزرگی مسأله افزایش می‌یابد. در این مسائل اغلب بدست آوردن یکسری جواب‌های تقریبی یا تخمینی، که در زمان کوتاه و با دقت کافی پیدا شوند مطلوب می‌باشد، و معمولاً این کار توسط متدهای ابتکاری و فراابتکاری که متکی بر بینش به طبیعت مسأله است صورت می پذیرد. در پژوهش حاضر با بهره گیری از الگوریتم فراابتکاری کرم شب تاب نسبت به مدلسازی و حل مساله زنجیره تامین دو سطحی حلقه بسته در شرایط عدم اطمینان اقدام به عمل آورده شده است. از طرفی جهت اعتبارسنجی نتایج، الگوریتم برای ۳ سناریوی ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ خرده فروشی، اجرا شده که مقایسه نتایج روش پیشنهای با روش نوبتی(روش رایج در شرکتهای توزیع) نشان از وجود اختلاف معناداری میان آنها دارد. نتایج حاصل از این تحقیق نشانگر آنست که در عین حال که جوابهای بدست آمده از مسئله مسیر یابی حل شده توسط الگوریتم کرم شب تاب در جبهه جوابهای بهینه پارتو قرار دارند، لکن هنوز روشی برای اثبات اینکه جوابهای کنونی بهینه ترین حالت ممکن هستند وجود ندارد، و این مساله از آنجا نشات می گیرد که بطور کلی مسائل بهینه سازی با تعداد نا مشخصی متغیر(تعداد ناقل ها در این مطالعه) و هزاران ترکیب برداری ممکن (مسیر بین خرده فروشان در این مسئله) دارای راه حل سیستماتیک و مشخصی نمی باشند. در این راستا جهت بهبود تحقیق انجام شده، در پژوهشهای مشابه آتی می توان به موارد ذیل توجه نمود :

- اعمال میزان محبوبیت مشتری درفرایند مدلسازی
- اعمال تنوع در خودروهای حامل محصولات(ناقل ها)
- لحاظ کردن امکان ارسال چند ناقل برای یک گره (مشتری)
- لحاظ کردن پارامترهایی نظیر هزینه (زمان) متغیر در مسیرهای طی شده
- در نظر گرفتن متغیرهای فازی بالاخص در خصوص تعریف توابع فاسدشدگی برای مواد لبنی
- اضافه شدن تعداد مراکز توزیع(دپو) از یک به n مرکز
- تعریف توابع جریمه غیرخطی برای مدلسازی مساله
- درنظرگرفتن حالت کمبود تقاضا و فروش از دست رفته برای خرده فروشان
- استفاده از سایر روشهای مختلف فراابتکاری و فوق ابتکاری جهت حل مساله

فهرست منابع

۱. اســـمی‌زاده، یلدا . (۱۳۹۳) . "توســـعه ی مدل ریاضـــی مکانیابی محور ســـلســـله مراتبی تحت شـــرایط بحرانی برای کالاهای فاســـدشـــدنی"، پایان‌نامه کار شنا سی ار شد مهند سی صنایع ، دانشگاه شاهد

۲. سربازفرد, سو سن و جعفریان، احمد (۱۳۹۴). "مقایســه بهینه ســازی مســایل غیر خطی چند متغیره با اســـتفاده از روشـــهای بهینه ســـازی ازدحام ذرات و کرم شب تاب"، اولین کنفرانس بین المللی علوم پایه و تحقیقات بنیادی، شیراز، موسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی

۳. قصـــیری، کیوان. قنادپور، ســـید فرید . "مســـاله مسیریابی وسایل نقلیه همراه با پنجره زمانی" . انتشـــارات دانشـــگاه آزاد اســـلامی واحد قزوین، ۱۳۸۶قزوین، چ اول

4. Apostolopoulos, T (2010) "Application of the Firefly Algorithm for Solving the Economic Emissions Load Dispatch Problem", International Journal of Combinatorics, Vol. 2 , 121-143
5. ArunAnnamalai, A, Chandrabos, B. M, Karthikeyan, K,AzeezurRahman, A "Comparison and Study of Minimizing Rotor Angle Instability Using GSA and FF Algorithm", Procedia Engineering, Vol. 38, 2420-2432.
6. Aziz, N. A. B., & Moin, N. H. (2007). "Genetic Algorithm Based Approach for the Multi Product Multi Period Inventory Routing Problem." Paper presented at the Proceedings of the 2007 IEEE IEEM, Singapour
7. Barnes-Schuster, D., & Bassok, Y. (1997). "Direct Shipping and the Dynamic Single-Depot/Multi-Retailer Inventory System", European Journal of Operational Research, 101(3), 509-518.
8. Boudia, M., Louly, M. A. O., &Prins, C.(2007)"A Reactive Grasp and Path Relinking for a Combined Production–Distribution Problem",Computers & Operations Research, 34(11), 3402-3419.
9. Boudia, M.,& Prins, C. (2009)"A Memetic Algorithm with Dynamic Population Management for an Integrated Production-Distribution Problem",European Journal of Operational Research,195(3),703-715.
10. Campbell, A. M., & Hardin, J. R. (2005)"Vehicle Minimization for Periodic Deliveries",European Journal of Operational Research,165(3), 668-684
11. Cheng, L., & Duran, M. A. (2004)"Logistics for World-Wide Crude Oil Transportation Using Discrete Event Simulation and Optimal Control", Computers & Chemical Engineering, 28(6-7), 897-911.
12. Christofields, N., Mingozzi, A.(1989).Vehicle Routing Practical and Algorithm Aspect in Logistics ,Pergamon Press
13. Coelho, L., Mariani, V.(2012)"Firefly Algorithm Approach Based on Chaotic Tinkerbell Map Applied to Multivariable PID Controller Tuning", Computers and Mathematics with Applications, Vol. 64, 2371–2382.
14. Cordeau, J.-F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., & Vigo, D. (2007)"Vehicle Routing. In C. Barnhart & G. Laporte (Eds.)", Hanbook in Operations Research and Management Science Vol. 14, Transportation,367-428
15. Ellabib,M.I.(2005)."Design and analysis of ant colony system based approach for vehicle Routing Problem with time window" Univercity of Waterloo, Ontario,canada
16. Esparcia-Alcazar, A. I., Cardos, M., &Merelo, J. J. (2007)"Configuring an Evolutionary Tool for the Inventory and Transportation Problem", Paper presented at the GECCO’07, London, England, United Kingdom.
17. F. Lohrer. Michael ." A Comparison Between the Firefly Algorithm and

Particle Swarm Optimization", MA at Computer Engineering, Oakland University, 2013, https://pdfs.semanticscholar.org
18. F.M.AbdAllah, Abdel Monaem .L.Essam, Daryl .A.Sarker, Ruhul. (2017)"On solving periodic re optimization dynamic vehicle routing problems", Applied Soft Computing, Volume 55, 1-12
19. F.Yu, Vincent .PerwiraRedi, A.A.N .AgustinaHidayat, Yosi. JimatWibowo, Oktaviyanto . (2017)"A simulated annealing heuristic for the hybrid vehicle routing problem" .Applied Soft Computing . Volume 53, 119-132
20. Feyzollahi, MJ. Modarres M. (2012)"Robust Quadratic Assignment Problem with Uncertain Locations", Iranian Journal of Operations Research; 3:2 46-65.
21. Gera, A.W., Taco,V. and Dirk Pieter, D. (2008)"The influence of business conditions on supply chain information-sharing mechanism: A study among supply chain links of SMEs." Int. J. Production Economics 113, 706-720.
22. Gholizadeh, S.Asadi, H. Baghchevan,A. (2014)"Optimal Design Of Truss Structures By Improved Multi-Objective Firefly And Bat Algorithms" , INTERNATIONAL JOURNAL OF OPTIMIZATION IN CIVIL ENGINEERING ; 4(3):415-431
23. H. Banati and M. Bajaj . (2011)"Firefly based feature selection approach", Int. J. Computer Science Issues, Vol. 8, No. 2, 473–480
24. Heydari, Jafar . (2014)"Lead time variation control using reliable shipment equipment: An incentive scheme for supply chain coordination", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review . Volume 63, Pages 44-58
25. Heydari, Jafar .Ahmadi, PayamZaabi .MingChoi, Tsan .(2016)"Coordinating supply chains with stochastic demand by crashing lead times", Computers & Operations Research
26. Hiassat, Abdelhalim .Diabat,Ali . Rahwan, Iyad. (2017)"A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products", Journal of Manufacturing Systems, Volume 42, January, 93-103
27. Hu,Benyong. Feng,Yi.(2017)"Optimization and coordination of supply chain with revenue sharing contracts and service requirement under supply and demand uncertainty", International Journal of Production Economics . Volume 183, Part A, 185-193
28. Kleywegt, A. J., Nori, V. S., &Savelsbergh, M. W. P. (2002)"The Stochastic Inventory Routing Problem with Direct Deliveries", Transportation Science, 36(1), 94-118.
29. Lee, H.L., So, K.C. and Tang, C.S. (2001)"The Value of information sharing in a two-level supply chain", Management Science 46, No. 5, 626-643.
30. Li, J.-A., Wu, Y., Lai, K. K., & Liu, K. (2008)"Replenishment Routing Problems between a Single Supplier and Multiple Retailers with Direct Delivery", European Journal of Operational Research, 190(2), 12-420.
31. M. H. Horng . (2012)"Vector quantization using the firefly algorithm for image compression", Expert Systems with Applications, Vol. 39, 1078–1091,
32. M.H. Horng, Y.X. Lee, M.C. Lee and R.J. Liou,(2012), Firefly metaheuristic algorithm for training the radial basis function network for data classification and disease diagnosis, in: Theory and New Applications of Swarm Intelligence (Edited by R. Parpinelli and H. S. Lopes),115–132

33. Magge.J.G,Copacino,w.f.,Rosenfield, D.b.(1985)Modern Logestics Management. John Wiley&Sons,Inc.
34. Moin, N. H., Salhi, S., & Aziz, N. A. B. (2011)"An Efficient Hybrid Genetic Algorithm for the Multi-Product Multi-Period Inventory Routing Problem", International Journal of Production Economics,Volume 133, Issue 1, September, Pages 334-343
35. Prabhneet kaur, Taranjot kaur . (2014)"A Comparative Study of Various Metaheuristic Algorithms (IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies", Vol. 5 (5) , 6701-6704
36. Rusdiansyah, A., &Tsao, D.-b. (2005)"An Integrated Model of the Periodic Delivery Problems for Vending-Machine Supply Chains", Journal of Food Engineering, 70(3), 421-434
37. S. Lukasik and S. Zak, (2009) "Firefly algorithm for con-tinuous constrained optimization tasks", the International Conference on Computer and Computational Intelligence, Poland, Springer, October, vol. 5796, 97–106
38. Sayadi, M. K., Ramezanian, R., Ghaffari-Nasab, N.(2010)"A Discrete Firefly Meta-Heuristic with Local Search for Makespan Minimization in Permutation Flow Shop Scheduling Problems", International Journal of Industrial Engineering Computations, Vol. 1, 1-10.
39. Silva, Francisco. Gao, Lucia.(2013)"A Joint Replenishment Inventory-Location Model", Springer Science+Business Media
40. Thomas, D.J. and Griffin, P.M. (1996) "Coordinated Supply Chain Management". European Journal of Operation Research, 94, 1-15.
41. Toth, Paolo. And Vigo,D.(2002)" Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications",SIAM AMONGORAPH ON DESCRETE MATHEMATICS AMD APPLICATIONS.
42. Yang, Shuai. Hong,Ki-sung . Lee,Chulung. (2014)"Supply chain coordination with stock-dependent demand rate and credit incentives", International Journal of Production Economics,Volume 157, November, 105-111
43. Yang, Xin-She. (2010a)"Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms.SecondEdition",Luniver Press, University of Cambridge, United Kingdom
44. Yang, Xin-She.(2009a)"Firefly algorithm, Levy flights and global optimization", Research and Development in Intelligent Systems XXVI, October,Springer, London, UK, 209–218
45. Yang, Xin-She.(2009b)"Firefly Algorithms for Multimodal Optimization, in: Stochastic Algorithms. Foundations and Applications", SAGA, Lecture Notes in Computer Sciences, Cambridge, UK, 5792, 169-178.
46. Yang, Xin-She.(2010b)"Firefly Algorithm, Stochastic Test Functions and Design Optimization", International Journal of Bio-inspired Computation, Vol. 2, No. 2, 78-84.
47. Yu, H., Zhao, L.(۲۰۰۷)"Reliability supply chain network design model for perishable products", Journal of Southeast University. Volume 23, 94-98.
48. Zang, H., Zhang, S., Hapeshi, K. (2010).A Review of Nature-Inspi ed Algo ithms. Journal of Bionic Engineering, Vol. 7, 232-237.
49. Zhao, Q.-H., Chen, S., &Zang, C.-X. (2008)"Model and Algorithm for Inventory/RoutingDecision in a Three-Echelon Logistics System", European Journal of Operational Research,191(3), 623-635.
50. Zhao, Q.-H., Wang, S.-Y., & Lai, K. K. (2007)"A Partition Approach to the Inventory/Routing Problem", European Journal of Operational Research, 177(2), 786-802.

یادداشت ها

[1] *Lee et al*
[2] *Gera et al*
[3] *Toth & Vigo*
[4] *Ellabib*
[5] *Thomas & Griffin*
[6] *Magge et al*
[7] *Christofields & Mingozzi*
[8] *Inventory Routing Problem (IRP)*
[9] *Cordeau et al*
[10] Dantzig & Ramser
[11] Traveling Salesman Problem
[12] *Bin Packing Problem(BPP)*
[13] *Campbell & Hardin*
[14] *Cheng & Duran*
[15] *Kleywegt et al*
[16] *Barnes-Schuster & Bassok*
[17] *Aziz & Moin*
[18] *Moin et al*
[19] *Boudia et al*
[20] *Greedy randomized adaptive search procedure (GRASP)*
[21] *Boudia & Prins*
[22] *Memetic Algorithm*
[23] *Zhao et al*
[24] Variable Large Neighborhood Search (VLNS)
[25] Tabu Search (TS)
[26] *Esparcia-Alcazar et al*
[27] *Rusdiansyah & Tsao*
[28] *Li et al*
[29] *Silva & Lucia*
[30] *Yu et al*
[31] Yang et al
[32] F.M.AbdAllah et al
[33] *Hiassat et al*
[34] *Heydari*
[35] *Hu & Feng*
[36] *Firefly Metaheuristic Algorithm*
[37] *Particle Swarm Optimization (Pso)*
[38] *Xin-She Yang*
[39] *Sayadi et al*
[40] *Annamalai*
[41] *Gravitional Search Algorithm (Gsa)*
[42] *Coelho & Mariani*
[43] *Horng et al*
[44] *Banati & Bajaj*
[45] *Lohrer*
[46] *Lukasik & Zak*
[47] *Prabhneet & Taranjot*
[48] *Firefly Luciferins*
[49] *Gholizadeh*
[50] *Laporte*