

زمان بندی حمل و نقل کامیون‌ها در سیستم‌های بارانداز مقاطع چندگانه با پنجره زمانی نرم با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای زمانی

علی نجفی¹، علی محتشمی^{2*}، مقصود امیری³، علیرضا ایرج پور⁴

1- دانشجوی دکتری تخصصی، دانشکده مدیریت و حسابداری، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

2- دانشیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

3- استاد، دانشکده مدیریت، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

4- استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

پذیرش: 98/7/29

دریافت: 98/3/4

چکیده

راهبرد لجستیک، یک برتری مهم برای عملیات مدیریت زنجیره تأمین است که نیاز به برنامه‌ریزی متمرکز عملیات برای کاهش زمان و تحویل به موقع محصول برای افزایش سطح رضایت‌مندی مشتریان را به دنبال دارد. در این مقاله هدف کم کردن زمان کل عملیات با در نظر گرفتن پارامترهای زمانی غیر قطعی و با رویکرد پنجره زمانی نرم در کل زنجیره تأمین است و با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی امکانی مدل ریاضی را قطعی می‌کند. از آنجا که مدل مقاله از نوع برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح صفر و یک بوده و متعلق به مسائل NP-hard² است؛ زمان حل آن‌ها با افزایش بعدها مسئله به شدت افزایش می‌یابد؛ بنابراین

E-mail: Mohtashami@qiau.ac.ir

* نویسنده مسئول مقاله:

برای پیدا کردن جواب‌های نزدیک بهتر مسئله از الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده شده است. سپس این الگوریتم‌ها با معیارهایی با یکدیگر مقایسه شده و الگوریتم برتر در هر معیار مشخص شده است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت زنجیره تأمین، بارانداز تقاطعی، برنامه‌ریزی خطی امکانی، الگوریتم ژنتیک¹، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید².

1- مقدمه

بارانداز تقاطعی راهبرد انبارداری نوآورانه است که دارای پتانسیل بسیار زیادی برای کنترل تدارک‌ها و هزینه‌های توزیع و در عین حال به حفظ رضایت مشتری توجه می‌کند. بارانداز تقاطعی خواهان توزیع به موقع، هماهنگی بهتر با تقاضا و استفاده بهتر از دارایی‌های حمل‌ونقل است. مرکز توزیع در اصل مرکزی برای ترتیب دادن چند تأمین‌کننده و مشتری عمل می‌کند؛ بنابراین سیستم توزیع طراحی شده خوب، بسیار مهم است. از اجزا مهم هر سیستم شبکه توزیع انبار یا مرکز توزیع است. بارانداز تقاطعی خواهان حمل‌ونقل به موقع و هماهنگ‌سازی بهتر بین عرضه و تقاضا است؛ در نتیجه با بخش خرده‌فروشی در ارتباط است و برای تولید و توزیع هم می‌تواند در نظر گرفته شود. بارانداز تقاطعی مرحله ذخیره‌سازی در انبار را حذف می‌کند؛ ولی مرحله ارسال و توزیع ادامه خواهد داشت. محصول‌ها در انبار از تأمین‌کننده‌ها دریافت و در قفسه‌های مخصوص ذخیره می‌شوند. زمانی که مشتری به کالا نیاز دارد، کارگران آن را از قفسه انتخاب و برای مشتری فرستاده می‌شود. در بارانداز تقاطعی، محصول‌ها قبل از اینکه از فروشنده به بارانداز رسیده و تخصیص داده شوند؛ فقط نیاز است که از کامیون ورودی به کامیون خروجی برای ارسال به مقصدهای تعیین شده فرستاده شود. گفتنی است که محصول‌ها باید کمتر از 24 ساعت و گاهی هم کمتر از یک ساعت در انبار توقف می‌کنند.

2- پیشینه تحقیق

محتشمی و همکاران نسبت به ارائه و بهینه‌سازی یک مدل ریاضی چندهدفه در بارانداز تقاطعی و کل زنجیره تأمین اقدام کردند و با تعیین هدف‌های چندگانه، کم‌کردن زمان

1. Genetic Algorithm (GA)
2. Simulated Annealing (SA)

کل حمل‌ونقل کامیون‌ها، هزینه کل، تعداد دفعه‌های حمل‌ونقل، حل مدل با الگوریتم‌های فرا ابتکاری، بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه و ژنتیک با مرتب‌سازی مغلوب نشدنی و مقایسه جواب حاصل از حل دو الگوریتم بالا را انجام داده‌اند [1، ص 30]. محتشمی با ارائه الگوریتم ژنتیک پویای جدید، بر اساس روش زمان‌بندی وسیله‌های نقلیه در سیستم بارانداز تقاطع با هدف کاهش زمان عملیات کل، با در نظر گرفتن انبار موقت دریافت و ارسال کالا و اینکه کامیون‌ها می‌توانند مکرر وارد بارانداز شده و خارج شوند، دو نوع کروموزوم برای کامیون‌های ورودی و خروجی تعیین و با ارائه راه حل کوتاهتری برای زمان فعالیت اقدام کرده‌اند [2، ص 221]. این مطالعه به ارزیابی ساختار هزینه و تأثیر پارامترها در مسائل مکانیابی همراه با پنجره‌های زمانی در شبکه توزیع توجه شده است. برای درک تأثیر پارامترهای اصلی، نه راه حل از شبکه توزیع اوزاکا¹ از محموله باربری با محل انبارهای مختلف، با دو معیار اندازه انبار و اندازه وسیله نقلیه را آزمایش کردند؛ که در نتیجه استفاده از انبار بزرگ همراه با وسیله نقلیه بزرگ، به کاهش هزینه منجر می‌شود. ویژگی‌های انبار وسیله نقلیه و اطلاعات حمل‌ونقل هم به‌طور دقیق بررسی شده است [3، ص 213]. کشت زاریا، نادری و مهدی‌زاده برای بهبود مدل ریاضی و ترکیب با الگوریتم متا هیورستیک² و زمان‌بندی کامیون‌ها در مسئله بارانداز تقاطعی را نگارش کردند؛ همچنین مدل ریاضی برنامه‌ریزی ترکیبی عدد صحیح را با مدل در دسترس مقایسه و حل آن با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و شبیه‌سازی تبرید را انجام دادند؛ در انتها جواب‌های حاصل از دو الگوریتم را بررسی کرده‌اند [4، ص 197]. برای توسعه پایدار در زنجیره تأمین باید به مسئله زنجیره تأمین سبز تمرکز و روی محیط دوستانه و ارزش‌های کسب‌وکار توجه کرد. ینگ و چانگ، برای کم‌کردن هزینه‌های مسیریابی سبز وسیله نقلیه، در حمل‌ونقل محصول‌های نهایی از تأمین‌کننده‌ها به مشتریان از راه بارانداز تقاطعی با محدودیت انتشار دی‌اکسیدکربن اقدام کرده‌اند و با الگوریتم جستجوی ممنوعه کارآیی بالای سوخت به‌وسیله مدیریت بارگیری برای مسیرهای طولانی با کمترین هزینه و انتشار دی‌اکسیدکربن تعیین کرده‌اند [5، ص 9302]. یکی از مهم‌ترین مشکلات مدیریت عملیاتی، مشکل زمان‌بندی کامیون‌ها در اختصاص دادن درب‌های بارانداز متقاطع، به آن‌ها و ترتیب همه

1. Osaka Distribution
2. Metaheuristic Algorithm .

کامیون‌های داخلی و خارجی برای بارگیری و تخلیه بار است. ویستی پانیچ و هنگ میچای¹ مدل ریاضی از برنامه‌ریزی ترکیبی عدد صحیح برای اختصاص دادن درب و ترتیب‌گذاری کامیون‌ها در سیستم بارانداز متقاطع چند دربی ارائه کرده‌اند. هدف این مدل کم‌کردن زمان یا زمان کل کار است. سپس، با الگوریتم ازدحام ذرات اصلاح شده، بهینه‌سازی و با طرح‌های ویژه کدگذاری و رمزگشایی شده و برای حل مشکل زمان‌بندی کامیون‌ها در سیستم بارانداز متقاطع، پیشنهاد شده است [6، ص 793]. اسدی، ولی‌پور و صفایی در پژوهش خود با توجه به نیاز موجود در شرکت‌های توزیع و پخش با در نظر گرفتن محدودیت‌های دنیای واقعی مانند: زمان سرویس احتمالی، تقاضای فازی و محدود بودن پنجره زمانی مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط را ارائه کرده‌اند [7، ص 1]. در مطالعه‌ای دیگر، اوگان کاهش زمان کار در کل زنجیره تأمین را در مقاله خود بررسی کرده است. در مدل مطرح شده در مرحله اول کامیون‌های ورودی پس از بارگیری محصول‌ها از تأمین‌کننده‌ها، به‌طور مستقیم به طرف مشتریان یا بارانداز تقاطعی حرکت می‌کنند؛ در مرحله دوم محصول‌ها در بارانداز تقاطعی تخلیه و سپس در کامیون‌های خروجی محصول‌ها بارگیری می‌شوند؛ در مرحله سوم محصول‌ها برای مشتریان فرستاده می‌شوند. برای پیدا کردن جواب‌های نزدیک از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری ژنتیک و گروه ذات استفاده کرده‌اند [8]. در سال‌های گذشته تولید پاک و حفاظت از محیط‌زیست، از مسائلی بوده که سازمان‌ها با آن روبه‌رو بوده‌اند. یکی از موضوع‌های مهم در تولید پاک استفاده از زنجیره تأمین است که در تمام مرحله‌ها به مسائل زیست‌محیطی باید توجه شود [9، ص 502]. مهدیه، کسائی، عالم تبریز و زندیه در مطالعه خود به طراحی زمان‌بندی کامیون‌ها در سیستم بارانداز متقاطع چند درب با رویکرد توقف کار توجه کرده‌اند. در این سناریو از زمان‌بندی بارانداز متقاطع، کامیون‌ها مجاز هستند که در هنگام فعالیت تخلیه و بارگیری متوقف شوند و در زمانی دیگر فعالیت را شروع کنند؛ به‌طوری که کامیون‌های ورودی و خروجی به‌صورت متناوب می‌توانند داخل و خارج بارانداز متقاطع شوند. برای این سناریو یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی توسعه داده‌اند [10، ص 1]. محقق‌ها مدل زمان‌بندی مسیریابی وسیله نقلیه در بارانداز متقاطع را با در نظر گرفتن وسیله‌های نقلیه ناهمگن توسعه داده‌اند. این مسئله را با مسئله

1. Wisittipanich and Hengmeechai

زمان‌بندی کامیون‌های داخل بارانداز متقاطع به‌طور هم‌زمان مدل‌سازی کرده‌اند [11]، ص 42]. در مطالعه‌ای دیگر مسئله مسیریابی و برنامه زمان‌بندی سبز وسیله‌های نقلیه، با هدف کم‌کردن انتشار گازهای گل‌خانه‌ای در سیستم لجستیک از راه برنامه‌ریزی بهتر تحویل کالا به مشتریان با استفاده از یک الگوریتم برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط با در نظر گرفتن وسیله‌های نقلیه ناهمگن، پنجره زمانی برای مشتریان و تأثیر بار خودرو بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و ظرفیت خودرو مدل‌سازی ریاضی انجام داده‌اند؛ در نهایت به میزان 8 درصد، کاهش گازهای گل‌خانه‌ای انجام شده است [12، ص 146]. رویکردی دقیق است که برپایه مسیر، مشکل مسیریابی وسیله‌های نقلیه سبز و همه مشکل‌های مسیریابی وسیله‌های نقلیه با ایستگاه‌های میانی را حل کند. به دلیل محدود بودن سوخت، هر خودرو نیاز به توقف در جایگاه‌های سوخت را در مدت سفر دارد. بروگری، مانکنی، پزلا و پیساکن¹ رویکردی با راه‌حل دو فاز که در آن مسیری برای همه مسیرها است را پیشنهاد داده‌اند که هر کدام زیر جمعی از مشتریان را بدون توقف متوسط در جایگاه‌های سوخت جایگزین حمل می‌کنند. در مرحله اول، تمام مسیرهای ممکن برای محدود کردن تعداد آن‌ها از راه قاعده‌های تسلط به وجود آورده می‌شوند. در مرحله دوم، مسیرها انتخاب و به‌درستی ترکیب می‌شوند؛ تا مسیرها را از راه برنامه‌نویسی خطی صحیح، ترکیب کنند. رویکرد آزمایش روی نمونه‌های معیار متوسط تا متوسط، از روش‌های دقیق موجود برای دستیابی به بهترین راه‌حل در زمان محاسبه شده است که متوسط کوچک‌تر، بهتر عمل می‌کند. بنابراین، رویکرد به روشی اکتشافی تبدیل می‌شود؛ در مرحله اول فقط به زیرمجموعه‌ای از مسیرهای غالب نشدنی توجه می‌کند؛ همچنین به نمونه‌های بزرگ‌تر، از نظر کیفیت راه‌حل و بهترین رویکرد اکتشافی در متن بررسی شده است [13، ص 109].

3- بیان مسئله

در مدیریت زنجیره تأمین یکی از مسائل اساسی، کاهش مدت زمان تحویل سفارش به مشتریان است. در این پژوهش هدف کم کردن زمان حمل‌ونقل در تمام مسیرهای موجود، به‌صورت هم‌زمان در کل زنجیره تأمین با استفاده از پنجره زمانی نرم است. در ضمن پارامتر زمان به‌صورت غیرقطعی تعیین شده است؛ همچنین در مدل بیش از

1. Bruglieri, Mancini, Pezzella and Pisacane

یک بارانداز تقاطعی تعیین شده و تمام عنصرهای موجود در کل زنجیره تأمین در مدل مطالعه شده و دارای ارتباط مستقیم و دو طرفه که به شرح زیر است:

- ارتباط مستقیم و دو طرفه بین مشتریان و تأمین‌کننده‌ها: به‌طوری که اگر مشتری در نزدیکی تأمین‌کننده باشد؛ برای کاهش هزینه حمل‌ونقل و سرعت در تحویل کالا، کالاهای نیاز مشتریان به بارانداز متقاطع فرستاده نمی‌شود و به‌طور مستقیم از طرف تأمین‌کننده در اختیار مشتریان قرار داده می‌شود.

- ارتباط مستقیم و دو طرفه بین تأمین‌کننده‌ها: در مدل طراحی شده اگر تأمین‌کننده‌ای به علت موجود نبودن کالای نیاز مشتریان، آن را تأمین نکند، این امکان از دیگر تأمین‌کننده‌ها برای پوشش تقاضای مشتریان وجود دارد.

- ارتباط مستقیم و دو طرفه بین باراندازهای متقاطع: اگر کالای نیاز مشتریان در یک بارانداز متقاطع وجود نداشته باشد؛ از طرف باراندازهای متقاطع دیگر تأمین می‌شود.

- ارتباط مستقیم و دو طرفه بین مشتریان: جابه‌جایی کامیون بین مشتریان برای تأمین تقاضای هم‌زمان چند مشتری امکان دارد.

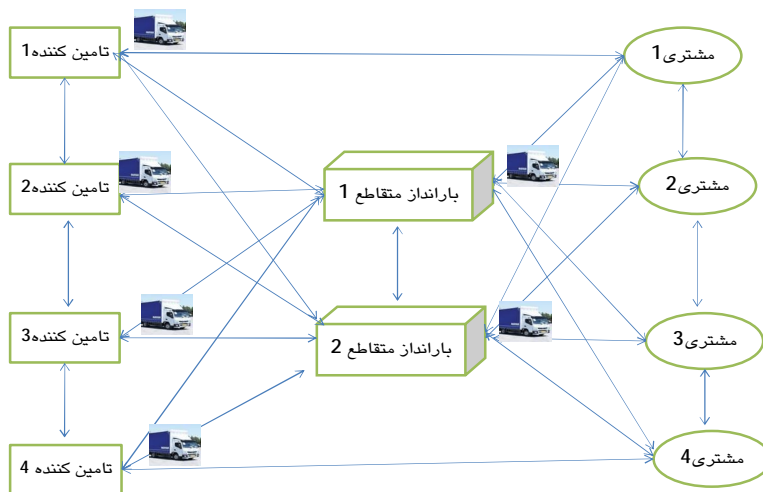
موارد بالا در مطالعه‌های قبلی بررسی شده و نوآوری این پژوهش است. در ضمن اهداف کاربردی تحقیق می‌تواند برای شرکت‌هایی که حمل‌ونقل زیادی دارند؛ همچنین شرکت‌هایی که کالای تولیدی آن‌ها فسادپذیر است (کالاهای فسادپذیر به کالاهایی گفته می‌شود که باگذشت زمان خراب، ضایع، خشک و یا تبخیر می‌شوند؛ مانند: میوه‌ها، سبزی‌ها، خون انسان، فیلم‌های عکاسی و ...)

و باید سریع حمل و استفاده شوند. نمونه کاربردهای آن در مسیریابی وسیله‌های نقلیه در انبار متقاطع چندگانه در صنعت گل است؛ به‌طوری که تولیدکننده‌های گل، محصول‌های خود را به انبارهای متقاطع و پس از تفکیک و مرتب‌سازی از آنجا به گل‌فروشی‌ها می‌فرستند؛ همچنین مسئله مسیریابی وسیله‌های نقلیه با توجه به بارانداز متقاطع در صنعت پخش مواد غذایی و لبنیاتی در سطح کشور است. فرضیه‌های مدل عبارت‌اند از:

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

ب - وسیله‌های نقلیه همگن با ظرفیت متفاوت.

- ج- توجه به بازه زمانی سرویس به مشتریان از نوع نرم (دارای زودترین و دیرترین زمان شروع خدمت)
- د- وجود چند بارانداز تقاطعی به طوری که تأمین‌کننده‌ها با توجه به کم‌کردن هزینه‌ها یکی از باراندازها را برای فرستادن کالا انتخاب می‌کنند.
- ه- امکان ارتباط بین تأمین‌کننده‌ها، باراندازها، مشتریان با یکدیگر وجود دارد.
- و- نوع و تعداد محصول‌های عرضه شده توسط تأمین‌کننده‌ها و تقاضای مشتریان مشخص و ثابت است.
- ز- در پی‌درپی شدن حمل‌ونقل، یک کامیون می‌تواند محصول‌های چندین تأمین‌کننده و مشتری را بارگیری و تخلیه کند.
- ح- تقاضاهای مشتری ممکن است از یک یا چند تأمین‌کننده برآورده شود.
- ط- نوع و مقدار محصول‌های حمل شده توسط کامیون‌های ورودی باید برابر با تقاضاهای مشتریان باشد.
- برای درک بهتر مدل تحقیق، روند کار در زنجیره تأمین در شکل 1 رسم شده است. در این شکل به روند کار توزیع و حمل‌ونقل چند بارانداز تقاطعی و تعدادی مشتری و تأمین‌کننده توجه شده است؛ همچنین برای حمل‌ونقل محصول‌های در زنجیره تأمین از وسیله‌های حمل‌ونقل با ظرفیت‌های متفاوت استفاده شده است.



شکل 1 فرایند روند کار در بارانداز تقاطعی

در واقع در این مسئله کامیون‌های ورودی پس از بارگیری محصول‌ها از تأمین‌کننده‌ها، به‌طور مستقیم به طرف مشتریان، تأمین‌کننده دیگر و یا یکی از باراندازهای تقاطعی حرکت می‌کنند و محصول‌ها در بارانداز تقاطعی تخلیه و در کامیون‌های خروجی محصول‌ها بارگیری و برای مشتریان فرستاده می‌شود. گفتنی است که هر کامیون محصول‌های بیش از یک تأمین‌کننده را می‌تواند بارگیری کند؛ همچنین یک کامیون برای بیش از یک مشتری می‌تواند حرکت و محصول‌ها را در بین آن‌ها تخلیه کند.

4- مدل ریاضی پیشنهادی

4-1- نمادگذاری

متغیرهای اصلی و پارامترهای مهم شناخته شده در مدل و الگوریتم‌های ارائه شده در مقاله عبارت‌انداز:

4-1-1- متغیرهای صفر و یک

$X_{scdh}^i =$ اگر کامیون ورودی i از بارانداز تقاطعی (c_i) به طرف تأمین‌کننده s حرکت کند؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری می‌کند: 1 و در غیر این صورت: 0 است.

$X_{s_m s_n h}^i =$ اگر کامیون ورودی i از تأمین‌کننده مبدأ (s_m) به طرف تأمین‌کننده مقصد (s_n) حرکت کند؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری می‌کند: 1 و در غیر این صورت: 0 است.

$X_{scdh}^i =$ اگر کامیون ورودی i از تأمین‌کننده s به طرف بارانداز تقاطعی cd حرکت کند؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری کرده است: 1 و در غیر این صورت: 0 است.

$X_{sch}^i =$ اگر کامیون ورودی i از تأمین‌کننده s به طرف مشتری c حرکت کند؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری کرده است: 1 و در غیر این صورت: 0 است.

$X_{c_m c_n h}^i =$ اگر کامیون ورودی i از مشتری مبدأ (c_m) به طرف مشتری مقصد (c_n) حرکت کند؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری می‌کند: 1 و در غیر این صورت: 0 است.

$X_{c_m c_n h}^j =$ اگر کامیون خروجی j از مشتری مبدأ (c_m) به طرف مشتری مقصد (c_n) حرکت کند؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری می‌کند: 1 و در غیر این صورت: 0 است.

$X_{cdch}^j =$ اگر کامیون خروجی از بارانداز تقاطعی (c_d) به طرف مشتری c حرکت کند؛ درحالی که سفارش نوع h را بارگیری می کند: 1 و در غیر این صورت 0 است.
 $X_{cd_m cd_n h}^j =$ اگر کامیون ورودی از بارانداز تقاطعی (cd_m) به طرف بارانداز تقاطعی (cd_n) حرکت کند؛ درحالی که سفارش نوع h را بارگیری می کند: 1 و در غیر این صورت 0 است.

$X_{ccd_h}^j =$ اگر کامیون خروجی از مشتری c به طرف بارانداز تقاطعی cd حرکت کند؛ درحالی که سفارش نوع h را بارگیری می کند: 1 و در غیر این صورت 0 است.
 $X_{cd_m cd_n h}^i =$ اگر کامیون ورودی i از بارانداز متقاطع مبدأ (cd_m) به طرف بارانداز مقصد (cd_n) حرکت کند؛ درحالی که سفارش نوع h را بارگیری می کند: 1 و در غیر این صورت: 0 است.

$F_{cdc} =$ اگر تقاضای مشتری c از بارانداز تقاطعی cd تأمین شود: 1 و در غیر این صورت: 0 است.

$Y_i =$ اگر بارانداز تقاطعی (i) انتخاب شود: 1 و در غیر این صورت: 0 می شود.
 $P_{ij} =$ اگر کامیون ورودی i بر کامیون ورودی j مقدم باشد: 1 و در غیر این صورت: 0 است.

$q_{g_1 g_2} =$ اگر کامیون ورودی g_1 بر کامیون g_2 مقدم باشد: 1 و در غیر این صورت: 0 است.

4-1-2- متغیرهای عدد صحیح

$q_{hcd_n} =$ تعداد واحد محصولات از نوع h که در محل بارانداز مقصد cd_n از کامیون خروجی تخلیه می شوند.

$q_{hs} =$ تعداد واحد محصولات از نوع h که از تأمین کننده i در کامیون ورودی i بارگیری می شوند.

$q_{hcd} =$ تعداد واحد محصولات از نوع h که از بارانداز تقاطعی i در کامیون خروجی بارگیری می شوند.

$q_{hc} =$ تعداد واحد محصولات از نوع h که در محل مشتری i از کامیون ورودی i تخلیه می شوند.

Q_{hs_n} = تعداد واحد محصول‌ها از نوع h که در محل تأمین‌کننده مقصد s_n از کامیون ورودی i تخلیه می‌شوند.

4-1-3- مجموعه‌ها

S = مجموعه تعداد تأمین‌کننده‌ها؛

C = مجموعه تعداد مشتریان؛

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

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

h = مجموعه انواع محصول‌های مختلف؛

Cd = مجموعه باراندازهای متقاطع؛

4-1-4- متغیرهای پیوسته و پارامترها

T = زمان حمل‌ونقل است.

$\bar{B}_{s_m s_n h}^i$ = زمان فازی خروج کامیون ورودی i از تأمین‌کننده (S_m) است؛ درحالی‌که کامیون به طرف تأمین‌کننده (S_n) حرکت و سفارش نوع h را بارگیری می‌کند.

$\bar{B}_{s c h}^i$ = زمان فازی خروج کامیون ورودی i از تأمین‌کننده s است؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری و به طرف مشتری c حرکت می‌کند.

$\bar{B}_{s c d h}^i$ = زمان فازی خروج کامیون ورودی i از تأمین‌کننده s است؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری و به طرف بارانداز تقاطعی cd حرکت می‌کند.

$\bar{B}_{s c h}^i$ = زمان فازی ورود کامیون ورودی i به مشتری c از تأمین‌کننده s است؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری می‌کند.

$\bar{B}_{c d c h}^j$ = زمان فازی ورود کامیون خروجی j به مشتری c از بارانداز متقاطع cd است؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری می‌کند.

$\bar{B}_{c d_m c d_n h}^j$ = زمان فازی خروج کامیون خروجی j از بارانداز متقاطع مبدأ ($c d_m$) به طرف بارانداز مقصد ($c d_n$) است؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری می‌کند.

$\bar{B}_{c s h}^i$ = زمان فازی خروج کامیون ورودی i از مشتری c به طرف تأمین‌کننده s است؛ درحالی‌که سفارش نوع h را تخلیه می‌کند.

$\bar{B}_{c c d h}^i$ = زمان فازی خروج کامیون ورودی i از مشتری c به طرف بارانداز متقاطع cd است؛ درحالی‌که سفارش نوع (h) را تخلیه می‌کند.

\bar{A}_{cdh}^g = زمان فازی خروج کامیون ورودی یا خروجی g از مشتری c است؛ درحالی که سفارش نوع h را تخلیه و به طرف بارانداز تقاطعی cd حرکت می‌کند.

\bar{A}_{cmcnh}^g = زمان فازی خروج کامیون ورودی یا خروجی g از مشتری مبدأ (c_m) است؛ درحالی که کامیون به طرف مشتری مقصد (c_n) حرکت و سفارش نوع (h) را تخلیه می‌کند.

$\bar{A}_{cdmcdnh}^g$ = زمان فازی خروج کامیون ورودی یا خروجی g از بارانداز متقاطع مبدأ (cd_m) است؛ درحالی که کامیون به طرف بارانداز متقاطع مقصد (cd_n) حرکت و سفارش نوع h را تخلیه می‌کند.

\bar{T}_{cdsh}^i = زمان فازی حمل و نقل کامیون ورودی i از بارانداز تقاطعی cd به تأمین کننده s است؛ درحالی که سفارش نوع h را تخلیه می‌کند.

\bar{T}_{sch}^i = زمان فازی حمل و نقل کامیون ورودی i از تأمین کننده s به مشتری c است؛ درحالی که سفارش نوع h را بارگیری کرده است.

\bar{T}_{scdh}^i = زمان فازی حمل و نقل کامیون ورودی i از تأمین کننده s به بارانداز تقاطعی cd است؛ درحالی که سفارش نوع h را بارگیری کرده است.

\bar{T}_{shcd}^i = زمان فازی فرستادن محصول نوع h از ورودی بارانداز تقاطعی cd به خروجی بارانداز تقاطعی cd است.

\bar{T}_{smsh}^i = زمان فازی حمل و نقل کامیون ورودی i از تأمین کننده مبدأ (s_m) به تأمین کننده مقصد (s_n) است؛ درحالی که سفارش نوع h را بارگیری کرده است.

\bar{T}_{cdch}^j = زمان فازی حمل و نقل کامیون خروجی z از بارانداز تقاطعی cd به مشتری c است؛ درحالی که سفارش نوع h را بارگیری کرده است.

\bar{T}_{cmcnh}^i = زمان فازی حمل و نقل کامیون ورودی i از مشتری مبدأ (c_m) به مشتری مقصد (c_n) است؛ درحالی که سفارش نوع h را بارگیری می‌کند.

\bar{T}_{cmcnh}^j = زمان فازی حمل و نقل کامیون خروجی z از مشتری مبدأ (c_m) به مشتری مقصد (c_n) است؛ درحالی که سفارش نوع h را تخلیه می‌کند.

\bar{T}_{cndh}^g = زمانی فازی آخرین کامیون g از آخرین مشتری مقصد (c_n) که به بارانداز تقاطعی cd رسیده است؛ درحالی که سفارش نوع h را تخلیه کرده است.

\bar{T}_{cdnsh}^g = زمانی فازی آخرین کامیون g از آخرین بارانداز متقاطع مقصد (cd_n) که به تأمین کننده s رسیده است؛ درحالی که سفارش نوع h را تخلیه کرده است.

\bar{L}_{sh}^i = زمان فازی بارگیری هر واحد محصول نوع h از تأمین کننده s در کامیون ورودی i است.

\overline{UL}_{cdh}^i = زمان فازی تخلیه هر واحد محصول نوع h از کامیون ورودی i در بارانداز تقاطعی cd است.

\overline{UL}_{ch}^i = زمان فازی تخلیه هر واحد محصول نوع h از کامیون ورودی i در محل مشتری است.

$\tilde{T}_{cd_m cd_n h}^i$ = زمان فازی حمل و نقل کامیون ورودی i از بارانداز مبدأ (cd_m) به بارانداز مقصد (cd_n) است؛ درحالی‌که سفارش نوع h را بارگیری می‌کند. ورودی i در مشتری c:

\tilde{L}_{cdh}^i = زمان فازی بارگیری هر واحد محصول نوع h از بارانداز تقاطعی cd، در کامیون خروجی j است.

\overline{UL}_{ch}^j = زمان فازی تخلیه هر واحد محصول نوع h از کامیون خروجی j در مشتری c است.

\overline{UL}_{sh}^i = زمان فازی تخلیه هر واحد محصول نوع h از کامیون ورودی i در تأمین‌کننده i است.

D_{ch} = میزان تقاضای مشتری c از کالای نوع h است.

P_{hs} = میزان تولید کالای نوع h توسط تولیدکننده s است.

W_h = وزن کالای نوع h است.

d_i = تقاضای مشتری i است.

$[e_i, E_i, L_i, l_i]$ = بازه پنجره زمانی مشتری i است.

$\alpha_i = E_i - B_{sch}^i$: زمان زود رسیدن کامیون ورودی یا خروجی در بازه زمانی است.

$\beta_i = B_{sch}^i - L_i$: زمان دیر رسیدن کامیون ورودی یا خروجی در بازه زمانی است.

w_i = زمان انتظار وسیله نقلیه در محل مشتری c است.

Q^i = ظرفیت کامیون ورودی i است.

Q^j = ظرفیت کامیون خروجی j است.

E: عدد بزرگ.

تابع هدف کم‌کردن زمان کل کار در زنجیره تأمین است. زمانی که اولین کامیون از بارانداز تقاطعی به طرف تأمین‌کننده حرکت می‌کند؛ تا زمانی که آخرین کامیون از آخرین مشتری به بارانداز تقاطعی فرستاده می‌شود.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z = & \left[\left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in H=1}^N [\tilde{T}_{sch}^i + [(\tilde{L}_{sh}^i * q_{hs}) + (\overline{U}_{ch}^i * q_{hc})]] * X_{sch}^i \right) \right. \\
 & + \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{s=1}^N \sum_{i \in H=1}^N [\tilde{T}_{smsh}^i + [(\tilde{L}_{sh}^i * q_{hs}) + (\overline{U}_{sh}^i * q_{hs_n})]] \right. \\
 & \left. * X_{smsh}^i \right) \\
 & + \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^N \sum_{i \in H=1}^N [\tilde{T}_{scdh}^i + [(\overline{U}_{cdh}^i * q_{hs}) + \tilde{T}_{rshcd}^h]] \right. \\
 & \left. * X_{scdh}^i \right) + \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in C=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in H=1}^N (\tilde{T}_{cdsh}^i) * X_{cdsh}^i \right) \\
 & + \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in C=1}^N \sum_{i \in H=1}^N [\tilde{T}_{cdmcd_nh}^i + [(\tilde{L}_{cdmh}^i * q_{hcd}) + (\overline{U}_{cdh}^i \right. \\
 & \left. * q_{hcd_n})]] * X_{cdmcd_nh}^i \right) \\
 & + \left(\sum_{j \in K_{out}=1}^N \sum_{c=1}^M \sum_{i \in C=1}^N \sum_{i \in H=1}^N [\tilde{T}_{cdch}^j + [(\tilde{L}_{cdh}^j * q_{hcd}) + (\overline{U}_{ch}^j \right. \\
 & \left. * q_{hc})]] * X_{cdch}^j \right) \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in H=1}^N [\tilde{T}_{cmcnh}^i + (\overline{U}_{ch}^i * q_{hs})] \right. \\
 & \left. * X_{cmcnh}^i \right) \\
 & + \left(\sum_{j \in K_{out}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in H=1}^N [\tilde{T}_{cmcnh}^j + (\overline{U}_{ch}^j * q_{hcd})] * X_{cmcnh}^j \right) \\
 & + \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in H=1}^N \tilde{T}_{csh}^i * X_{csh}^i \right) \\
 & \left. + \left(\sum_{j \in K_{out}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in C=1}^N \sum_{i \in H=1}^N \tilde{T}_{ccd_h}^j * X_{ccd_h}^j \right) \right]
 \end{aligned}$$

S.t:

$$\bar{T} \geq \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in k_{out}=1}^N \bar{T}_{cdh}^g * X_{cdh}^j \quad \forall g, h \quad (1)$$

$$\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in h=1}^N q_{hs} * X_{sch}^i = D_{ch} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{j \in k_{out}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N q_{hcd} X_{cdh}^j \\ + \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N q_{hs} * X_{sch}^i = P_{hs} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{sch}^i \geq 1 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} X_{cdsh}^i = \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{s_m s_n h}^i \\ + \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{scdh}^i \\ + \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{sch}^i \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} X_{s_m s_n h}^i = \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{s_n s_m h}^i \\ + \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{s_n cdh}^i \\ + \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{sch}^i \end{aligned} \quad (6)$$

$$X_{cdch}^j = \sum_{j \in k_{out}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{c_m c_n h}^j + \sum_{i \in k_{out}}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{ccdch}^j \quad (7)$$

$$\begin{aligned} X_{c_m c_n h}^i = \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{c_n c_m h}^i \\ + \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{ccdch}^i \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} X_{c_m c_n h}^j &= \sum_{j \in K_{out}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{c_n c_m h}^j \\ &+ \sum_{j \in K_{out}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{cdh}^j \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} X_{sch}^i &= \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{c_m c_n h}^i + \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{cdh}^i \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} &\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h}^N q_{hs} * X_{scdh}^i \\ &= \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N q_{hcd} * X_{cdh}^i \end{aligned} \quad (11)$$

$$\tilde{T}_{cdsh}^j * X_{cdsh}^j \geq (\tilde{B}_{s_m s_n h}^i * X_{s_m s_n h}^i + \tilde{B}_{sch}^i * X_{sch}^i + \tilde{B}_{scdh}^i * X_{scdh}^i) - E(1 - P_{ij}) \quad (12)$$

$$\tilde{T}_{cdsh}^i * X_{cdsh}^i \geq (\tilde{B}_{s_m s_n h}^j * X_{s_m s_n h}^j + \tilde{B}_{sch}^j * X_{sch}^j + \tilde{B}_{scdh}^j * X_{scdh}^j) - (E * P_{ij}) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \tilde{T}_{cdch}^{g2} * X_{cdch}^{g2} + \tilde{T}_{sch}^{g2} * X_{sch}^{g2} \\ \geq (\tilde{A}_{ccdch}^{g1} * X_{ccdch}^{g1} + \tilde{A}_{c_m c_n h}^{g1} * X_{c_m c_n h}^{g1}) - E(1 - q_{g1g2}) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \tilde{T}_{cdch}^{g1} * X_{cdch}^{g1} + \tilde{T}_{sch}^{g1} * X_{sch}^{g1} \\ \geq (\tilde{A}_{ccdch}^{g2} * X_{ccdch}^{g2} + \tilde{A}_{c_m c_n h}^{g2} * X_{c_m c_n h}^{g2}) - (E * q_{g1g2}) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \tilde{B}_{scdh}^i * X_{scdh}^i + \tilde{B}_{sch}^i * X_{sch}^i \\ \geq \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N (\tilde{T}_{cdsh}^i + \tilde{L}_{cdh}^i) * X_{cdsh}^i \\ + \sum_{i \in s=1}^N \tilde{T}_{s_m s_n h}^i * X_{s_m s_n h}^i \end{aligned} \quad (16)$$

$$\tilde{A}_{ccdch}^g * X_{ccdch}^g \geq \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (\tilde{T}_{sch}^i + \tilde{U}L_{sch}^i) * X_{sch}^i \quad (17)$$

$$\begin{aligned} + \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N (\tilde{T}_{cdch}^j + \tilde{L}_{cdch}^j + \tilde{U}L_{cdch}^j) * X_{cdch}^j + \\ \sum_{i \in c=1}^M \tilde{T}_{c_m c_n h}^j * X_{c_m c_n h}^j \quad \forall g, i, j \text{ and where } i \neq j \\ \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{scdh}^i * q_{hs} \leq Q^i \end{aligned} \quad (18)$$

$$\sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{cdch}^j * q_{hcd} \leq Q_j \quad (19)$$

$$\sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (\tilde{B}_{Sch}^j + \tilde{T}_{sch}^i + \tilde{U}L_{sch}^i + w_i) * X_{sch}^i \leq \tilde{B}_{csh}^i \quad (20)$$

$$\sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (\tilde{B}_{cdch}^j + \tilde{T}_{cdch}^j + \tilde{U}L_{cdch}^j + w_i) * X_{cdch}^j \leq \tilde{B}_{csh}^i \quad (21)$$

$$\sum_{j \in K_{out}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{cdch}^j + X_{cdch}^j \leq 1 + F_{cdc} \quad (22)$$

$$\sum_{i \in k_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h}^N X_{scdh}^i \leq y_i \quad (23)$$

$$\alpha_i \geq \tilde{E}_i - \tilde{B}_{sch}^i \quad (24)$$

$$\beta_i \geq \tilde{B}_{sch}^i - \tilde{L}_i \quad (25)$$

$$\begin{aligned} & (X_{cdsh}^i, X_{smsh}^i, X_{scdh}^i, X_{sch}^i, X_{cmcnh}^i, X_{cdch}^j, X_{cmcnh}^j, X_{ccdh}^i, X_{ccdch}^j, X_{cdmcdn}^j) \\ & \in \{0, 1\}, \\ & (X_{cds}^i, X_{smsh}^i, X_{scd}^i, X_{sc}^i, X_{cmcn}^i, X_{cdc}^j, X_{cmcn}^j, X_{ccd}^i, X_{ccd}^j, X_{cdmcdn}^j, F_{cdc}) \in \\ & \{0, 1\} \\ & i=1,2,3,\dots,N, \quad c=1,2,3,\dots,M, \quad h=1,2,3,\dots,N \quad j=1,2,3,\dots,N \\ & \text{All variables} \geq 0, \quad \forall i, s, c \text{ and } h \end{aligned}$$

توصیف تابع هدف و محدودیت‌ها

تابع هدف، زمان حمل‌ونقل وسیله‌های نقلیه در کل سیستم را کم می‌کند. محدودیت (1) تضمین می‌کند که زمان حمل‌ونقل در کل سیستم، باید بزرگ‌تر یا مساوی زمانی که آخرین کامیون‌های ورودی یا خروجی زمان‌بندی شده از مشتریان به باراندازهای تقاطعی می‌رسد، باشد. محدودیت (2) تضمین این است که جمع تعداد واحدهایی از محصول سفارش نوع h از تأمین‌کننده s در کامیون i بارگیری می‌شود؛ همچنین برابر با تعداد واحد محصول‌های سفارش نوع h است که مشتری c نیاز دارد. محدودیت (3) تضمین می‌کند که جمع تعداد واحد محصول‌های سفارش نوع h که از تأمین‌کننده‌ها در کامیون ورودی i بارگیری شده است و به طرف مشتری c حرکت می‌کند؛ همچنین جمع تعداد واحد محصول‌های سفارش نوع h که از باراندازهای تقاطعی cd در کامیون

خروجی z بارگیری شده است و به طرف مشتری c حرکت می‌کند؛ برابر با مجموع تعداد واحد محصول‌های سفارش نوع h که تأمین‌کننده s است. محدودیت (4) تضمین‌کننده این است که یکی از کامیون‌های ورودی i از تأمین‌کننده s محصول نوع h را بارگیری و به یک‌باره تمام محصول‌ها را برای مشتری c می‌فرستد. محدودیت (5) تضمین این است که اگر کامیون ورودی i به طرف تأمین‌کننده s حرکت کند، یکی از سه حالت را برای خارج شدن از تأمین‌کننده انتخاب می‌کند که عبارت‌انداز: اول اینکه کامیون به طرف تأمین‌کننده دیگری حرکت می‌کند، دوم اینکه به طرف یکی از باراندازهای تقاطعی cd حرکت می‌کند و حالت آخر این است که به طرف مشتری c حرکت می‌کند. محدودیت (6) به این صورت است که اگر کامیون ورودی i از تأمین‌کننده مبدأ (s_m) به طرف تأمین‌کننده مقصد (s_n) حرکت کند، یکی از سه حالت را برای خارج شدن از تأمین‌کننده (s_n) انتخاب می‌کند: حالت اول اینکه کامیون به طرف تأمین‌کننده دیگری حرکت می‌کند، حالت دوم اینکه به طرف یکی از باراندازهای تقاطعی cd حرکت می‌کند و حالت سوم اینکه به طرف مشتری c حرکت می‌کند. محدودیت (7) تضمین می‌کند که اگر کامیون خروجی z به طرف مشتری c حرکت کند، یکی از این دو حالت را برای خارج شدن از مشتری c انتخاب می‌کند: حالت اول اینکه کامیون به طرف مشتری دیگری حرکت می‌کند و حالت دوم اینکه کامیون به طرف یکی از باراندازهای تقاطعی cd حرکت می‌کند. محدودیت (8) تضمین این است که اگر کامیون ورودی i از مشتری مبدأ (c_m) به طرف 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 طرف مشتری دیگری حرکت می‌کند و حالت دوم اینکه کامیون به طرف یکی از باراندازهای تقاطعی cd حرکت می‌کند.

محدودیت (9) مشابه محدودیت (8) است، تفاوت این دو محدودیت این است که در محدودیت (9) کامیون خروجی z در محدودیت بررسی شده است؛ همچنین کامیون خروجی از بارانداز متقاطع به بارانداز متقاطع دیگر حرکت می‌کند. محدودیت (10) تضمین می‌کند که اگر کامیون ورودی i از تأمین‌کننده s به طرف مشتری c حرکت کند یکی از این دو حالت را برای خارج شدن از مشتری c انتخاب می‌کند: حالت اول اینکه کامیون به طرف مشتری دیگری حرکت می‌کند و حالت دوم اینکه کامیون به طرف

بارانداز تقاطعی cd حرکت می‌کند. محدودیت (11) تضمین می‌کند که تعداد واحد محصول‌های که کامیون ورودی i از تأمین‌کننده s به طرف یکی از باراندازهای تقاطعی cd می‌فرستد و در بارانداز تقاطعی تخلیه می‌کند، برابر است با تعداد واحد محصول‌های که در کامیون خروجی z برای مشتری c بارگیری می‌شود. محدودیت (12) بیان‌کننده این است که، زمان ورود کامیون ورودی z از بارانداز تقاطعی cd به تأمین‌کننده s باید بزرگتر یا مساوی زمان خروج کامیون ورودی i از تأمین‌کننده s باشد؛ البته در صورتی که کامیون ورودی i بر کامیون ورودی z مقدم است. محدودیت (13) مشابه محدودیت (12) است؛ فقط در این محدودیت کامیون ورودی z بر کامیون ورودی i مقدم است. محدودیت (14) تضمین می‌کند که زمان ورود کامیون ورودی یا خروجی g_2 از بارانداز تقاطعی cd یا تأمین‌کننده s به مشتری c باید بزرگتر یا مساوی زمان خروج کامیون ورودی یا خروجی g_1 از مشتری c باشد؛ البته در صورتی است که کامیون g_1 بر کامیون g_2 مقدم است. محدودیت (15) مشابه محدودیت (14) می‌باشد؛ فقط در این محدودیت کامیون g_2 بر کامیون g_1 مقدم است. محدودیت (16) تضمین می‌کند که زمان خروج کامیون و ورودی i از تأمین‌کننده s باید بزرگتر یا مساوی جمع زمان ورود کامیون به تأمین‌کننده s و زمان بارگیری محصول‌ها از تأمین‌کننده‌ها و همچنین زمان حمل‌ونقل بین تأمین‌کننده‌ها باشد. محدودیت (17) تضمین می‌کند زمان خروج کامیون و ورودی یا خروجی g از مشتری c باید بزرگتر یا مساوی جمع زمان ورود کامیون به مشتری c و زمان تخلیه محصول‌ها بین مشتریان و همچنین زمان حمل‌ونقل میان مشتریان باشد. محدودیت (18) و (19) مربوط به ظرفیت کامیون‌های ورودی و خروجی است و تضمین می‌کند که کامیون‌ها بیش از ظرفیت محصول‌ها را بارگیری نکنند. محدودیت (20) تضمین می‌کند جمع زمان رسیدن وسیله نقلیه به مشتری، مدت زمان گذشته بین وسیله نقلیه، تولیدکننده، 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 (21) تضمین می‌کند جمع 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 (22) تضمین می‌کند که یک مشتری به یک بارانداز متقاطع تخصیص

می‌یابد؛ اگر کامیونی باشد که این دو را به هم مرتبط کند. محدودیت (23) تضمین می‌کند کامیون ورودی i از تأمین‌کننده i فقط حرکت به سوی یک بارانداز تقاطعی را انتخاب کند. محدودیت‌های (24) و (25) برای محاسبه مقدار زمان زودکرد و دیرکرد کامیون‌ها برای ارائه خدمات به مشتریان در بازه پنجره زمانی نرم است.

4-1-5- روش قطعی کردن مدل ریاضی با استفاده از مدل برنامه ریزی خطی امکانی

برخی از کاربردهای تئوری امکان در قالب مدل‌های برنامه‌ریزی امکانی¹، در حل مسائل برنامه‌ریزی خطی با پارامترهای غیر دقیق ارائه می‌شود. در این نوع مسائل فرض اساسی این است که داده‌های ورودی مسئله بر اساس ترکیبی از اطلاعات گذشته و نظرهای افراد خبره تهیه شده و توسط توزیع‌های امکان مدل‌سازی شده‌اند [14]. شکل کلی یک مدل برنامه‌ریزی خطی امکانی به صورت رابطه (26) است:

$$Maxz = \bar{c}x \quad (26)$$

$$A_i x \leq \bar{b}_i \quad \forall_i$$

$$x \geq 0$$

\bar{C} و \bar{A}_i ، \bar{b}_i که دارای توزیع‌های امکان هستند. البته در مدل بالا محدودیت‌ها می‌توانند به شکل نامساوی فازی هم باشند؛ با توجه به اینکه \bar{C} ، \bar{A}_i و \bar{b}_i می‌توانند قطعی یا غیر قطعی (با توزیع‌های امکان مشخص) باشند، حالت‌های مختلفی از مسائل برنامه‌ریزی خطی امکانی را پدید می‌آورند که در مدل برنامه‌ریزی خطی امکانی با پارامترهای امکانی در محدودیت‌ها و تابع هدف روش لای و هوانگ، به صورت رابطه (27) استفاده شده است [15، ص 30].

$$Maxfk(x) = cx \quad k = 1, \dots, k \quad (27)$$

$$A_i x \leq b_i \quad \forall_i$$

$$x \geq 0$$

1. possibilistic Linear programming (PLP)

توابع توزیع امکان این ضریب‌های غیردقیق مثلثی بوده است و به صورت رابطه (28) تعریف می‌شوند:

$$\bar{c}_{kj} = (c_{kj}^p, c_{kj}^m, c_{kj}^o), \quad \bar{A}_{ij} = (A_{ij}^p, A_{ij}^m, A_{ij}^o), \quad \bar{b}_i = (b_i^p, b_i^m, b_i^o) \quad (28)$$

به ترتیب 0، p و m در این توزیع‌های امکان، اندیس‌های بالای بیانگر بدبینانه‌ترین¹، ممکن‌ترین² و خوش‌بینانه‌ترین³ مقادیر هر پارامتر هستند. عنصرهای مهم دو توزیع مثلثی مربوط به پارامترهای غیردقیق در دو طرف هر محدودیت، به‌طور نظیربه‌نظیر با هم مقایسه شده و هر محدودیت امکانی به سه محدودیت قطعی معادل می‌شود؛ یعنی در رابطه (29) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \text{Max} z &= \bar{c}x & (29) \\ \bar{A}_i x &\leq b_i \equiv \begin{bmatrix} A_{i\beta}^p \leq b_{i\beta}^p \\ A_{i\beta}^m \leq b_{i\beta}^m \\ A_{i\beta}^o \leq b_{i\beta}^o \end{bmatrix} \end{aligned}$$

حداقل سطح امکان قبول شده در تبدیل پارامترهای فازی به اعداد یا بازه‌های قطعی β که در آن، معادل است، به این ترتیب β ، هر پارامتر فازی را برابر رابطه (30) به بازه قطعی از عددها تبدیل می‌کند. که حداقل درجه امکان وقوع آن‌ها، پارامتر β ، بازه‌ای از مقدارهای ممکن برای پارامتر غیردقیق است؛ به عبارت دیگر درجه امکان وقوع آن‌ها مطابق با توزیع مثلثی مربوطه حداقل برابر با بتا است.

گفتنی است که در محدودیت معادل دوم، $b_{i\beta}^m$ برابر با متوسط مقادیر $b_{i\beta}^o$ و $b_{i\beta}^p$ خواهد بود؛ همچنین در رابطه (30) می‌توان به‌ازای بتاهای مختلف (مثلاً از یک مقدار بتای مینیمم نظیر 0/5 تا 0/9) حل کرده و با توجه به جواب‌های تعیین شده، انتخاب نهایی به‌وسیله تصمیم‌گیرنده انجام شود.

1. The most pessimistic value
2. The most likely / possible value
3. The most optimistic value

$$b_{i\beta} = [b_{i\beta}^p b_{i\beta}^o] = [b_i^m - b_i^p] \beta + b_i^p, b_i^o - (b_i^o - b_i^m) \beta \quad (30)$$

برای تبدیل پارامترهای غیردقیق تابع هدف که دارای توزیع امکان مثلثی هستند می توان از رابطه (31) استفاده کرد:

$$\bar{c}x \equiv (w_1 c_{\beta}^p + w_2 c_{\beta}^m + w_3 c_{\beta}^o) x, w_1 = w_3 = \frac{1}{6}, w_2 = \frac{4}{6} \quad (31)$$

مدل برنامه ریزی خطی امکانی با پارامترهای امکانی در یک طرف محدودیت ها:

$$\bar{A}_i x \leq b_i \text{ or } A_i x \leq \bar{b}_i \quad (32)$$

فرض کنید به جای محدودیت های مدل یکی از حالت های رابطه (32) وجود داشته باشد: در این حالت از مفهوم ممکن ترین مقدار برای غیرفازی کردن اعداد طرف چپ یا راست هر محدودیت استفاده می شود که به شکل جمع وزنی از راه رابطه (33) استفاده می شود:

$$\bar{A}_i x \leq b_i \equiv ((w_1 A_{i\beta}^p + w_2 A_{i\beta}^m + w_3 A_{i\beta}^o) x) \leq b, w_1 = w_3 = \frac{1}{6}, w_2 = \frac{4}{6} \quad (33)$$

و بتا با نظر تصمیم گیرنده تعیین می شود؛ این مدل را هم می توان به ازای بناهای مختلف با نظر تصمیم گیرنده حل کرده و با توجه به جواب های تعیین شده، انتخاب نهایی را انجام داد.

4-1-6- مدل قطعی ریاضی پیشنهادی

$$\begin{aligned}
 \mathbf{T} : \text{Min } \mathbf{Z} = & \left[\left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in H=1}^N [(w_1 T_{sch}^{ip} + w_2 T_{sch}^{im} + w_3 T_{sch}^{io}) \right. \right. \\
 & + \left. \left. [(w_1 L_{sh}^{ip} + w_2 L_{sh}^{im} + w_3 L_{sh}^{io}) * q_{hs}] + [(w_1 UL_{ch}^{ip} + w_2 UL_{ch}^{im} + w_3 UL_{ch}^{io}) \right. \right. \\
 & \left. \left. * q_{hc}] \right] * X_{sch}^i \right) \\
 & + \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{s=1}^N \sum_{i \in H=1}^N [(w_1 T_{smsh}^{ip} + w_2 T_{smsh}^{im} + w_3 T_{smsh}^{io}) \right. \\
 & + \left. [(w_1 L_{sh}^{ip} + w_2 L_{sh}^{im} + w_3 L_{sh}^{io}) * q_{hs}] + [(w_1 UL_{sh}^{ip} + w_2 UL_{sh}^{im} + w_3 UL_{sh}^{io}) \right. \\
 & \left. \left. * q_{hs_n}] \right] * X_{smsh}^i \right) \\
 & + \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in H=1}^N [(w_1 T_{scdh}^{ip} + w_2 T_{scdh}^{im} + w_3 T_{scdh}^{io}) + [(w_1 UL_{cdh}^{ip} \right. \\
 & + w_2 UL_{cdh}^{im} + w_3 UL_{cdh}^{io}) * q_{hs}] + [(w_1 T_{rshcd}^{hp} + w_2 T_{rshcd}^{hm} + w_3 T_{rshcd}^{ho})] * X_{scdh}^i \right) \\
 & + \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in H=1}^N (w_1 T_{cdsh}^{ip} + w_2 T_{cdsh}^{im} + w_3 T_{cdsh}^{io}) * X_{cdsh}^i \right) \\
 & + \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in H=1}^N [(w_1 T_{cdmcdnh}^{ip} + w_2 T_{cdmcdnh}^{im} + w_3 T_{cdmcdnh}^{io}) \right. \\
 & + \left. (w_1 L_{cdm}^{ip} + w_2 L_{cdm}^{im} + w_3 L_{cdm}^{io}) + (w_1 UL_{cdh}^{ip} + w_2 UL_{cdh}^{im} + w_3 UL_{cdh}^{io}) \right] \\
 & \left. * q_{hcd_n}] * X_{cdmcdnh}^i \right) \\
 & + \left(\sum_{j \in K_{out}=1}^N \sum_{c=1}^M \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in H=1}^N [(w_1 T_{cdch}^{jp} + w_2 T_{cdch}^{jm} + w_3 T_{cdch}^{jo}) + (w_1 L_{cdh}^{jp} \right. \\
 & + w_2 L_{cdh}^{jm} + w_3 L_{cdh}^{jo}) * q_{hcd}] + [(w_1 UL_{ch}^{jp} + w_2 UL_{ch}^{jm} + w_3 UL_{ch}^{jo}) \\
 & \left. * q_{hc}] * X_{cdch}^j \right) \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in H=1}^N [(w_1 T_{cmcnh}^{ip} + w_2 T_{cmcnh}^{im} + w_3 T_{cmcnh}^{io}) \right. \\
 & + \left. (w_1 UL_{ch}^{ip} + w_2 UL_{ch}^{im} + w_3 UL_{ch}^{io}) * q_{hs}] * X_{cmcnh}^i \right) \\
 & + \left(\sum_{j \in K_{out}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in H=1}^N [(w_1 T_{cmcnh}^{jp} + w_2 T_{cmcnh}^{jm} + w_3 T_{cmcnh}^{jo}) + (w_1 UL_{cmcnh}^{jp} \right. \\
 & + w_2 UL_{cmcnh}^{jm} + w_3 UL_{cmcnh}^{jo}) * q_{hcd}] * X_{cmcnh}^j \right) \\
 & + \left(\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in H=1}^N (w_1 T_{csh}^{ip} + w_2 T_{csh}^{im} + w_3 T_{csh}^{io}) * X_{csh}^i \right) \\
 & + \left. \left(\sum_{j \in K_{out}=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in H=1}^N (w_1 T_{ccdch}^{jp} + w_2 T_{ccdch}^{jm} + w_3 T_{ccdch}^{jo}) * X_{ccdch}^j \right) \right]
 \end{aligned}$$

S.t:

$$T_{\beta}^p \geq \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in k_{out}=1}^N T_{ccd\beta}^{gp} * X_{cdh}^j \quad \forall g \text{ and } j = i \text{ or } j \quad (34)$$

$$T_{\beta}^m \geq \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in k_{out}=1}^N T_{ccd\beta}^{gm} * X_{cdh}^j \quad \forall g \text{ and } j = i \text{ or } j \quad (35)$$

$$T_{\beta}^o \geq \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in k_{out}=1}^N T_{ccd\beta}^{go} * X_{cdh}^j \quad \forall g \text{ and } j = i \text{ or } j \quad (36)$$

$$\sum_{i \in k_{in}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in h=1}^N q_{hs} * X_{sch}^i = D_{ch} \quad (37)$$

$$\sum_{i \in cd=1}^N \sum_{j \in k_{out}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N q_{hcd} * X_{cdh}^j + \sum_{i \in k_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N q_l \quad (38)$$

$$X_{sch}^i = P_{hs}$$

$$\sum_{i \in k_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{sch}^i \geq 1 \quad (39)$$

$$X_{cdsh}^i = \sum_{i \in k_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in h=1}^N x_{smsh}^i + \sum_{i \in k_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{scdh}^i \quad (40)$$

$$+ \sum_{i \in k_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{sch}^i$$

$$X_{smsh}^i = \sum_{i \in k_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in h=1}^N x_{snsh}^i + \sum_{i \in k_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{sncdh}^i \quad (41)$$

$$+ \sum_{i \in k_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{sch}^i$$

$$X_{cdch}^j = \sum_{j \in k_{out}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{cmchn}^j + \sum_{i \in k_{out}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{ccdch}^j \quad (42)$$

$$X_{c_m c_n h}^i = \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{c_n c_k h}^i + \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i=h=1}^N X_{cdh}^i \quad (43)$$

$$X_{c_m c_n h}^j = \sum_{j \in k_{out}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{c_n c_k h}^j + \sum_{j \in k_{out}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{cdh}^j + \sum_{j \in k_{out}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{cd_m cd_n h}^j \quad (44)$$

$$X_{sch}^i = \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in h=1}^N X_{c_m c_n h}^i + \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{cdh}^i \quad (45)$$

$$\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h}^N q_{hs} * X_{scdh}^i = \sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N q_{hcd} * X_{cdh}^j \quad (46)$$

$$T_{cdsh\beta}^{ip} * X_{cdsh}^j \geq (B_{s_m s_n h\beta}^{ip} * X_{s_m s_n h}^i + B_{sch\beta}^{ip} * X_{sch}^i + B_{scdh\beta}^{ip} * X_{scdh}^i) - E(1 - P_{ij}) \quad (47)$$

$$T_{cdsh\beta}^{jm} * X_{cdsh}^j \geq (B_{s_m s_n h\beta}^{jm} * X_{s_m s_n h}^i + B_{sch\beta}^{jm} * X_{sch}^i + B_{scdh\beta}^{jm} * X_{scdh}^i) - E(1 - P_{ij}) \quad (48)$$

$$T_{cdsh\beta}^{jo} * X_{cdsh}^j \geq (B_{s_m s_n h\beta}^{jo} * X_{s_m s_n h}^i + B_{sch\beta}^{jo} * X_{sch}^i + B_{scdh\beta}^{jo} * X_{scdh}^i) - E(1 - P_{ij}) \quad (49)$$

$$T_{cdsh\beta}^{ip} * X_{cdsh}^i \geq (B_{s_m s_n h\beta}^{ip} * X_{s_m s_n h}^j + B_{sch\beta}^{ip} * X_{sch}^j + B_{scdh\beta}^{ip} * X_{scdh}^j) - (E * P_{ij}) \quad (50)$$

$$T_{cdsh\beta}^{im} * X_{cdsh}^i \geq (B_{s_m s_n h\beta}^{im} * X_{s_m s_n h}^j + B_{sch\beta}^{im} * X_{sch}^j + B_{scdh\beta}^{im} * X_{scdh}^j) - (E * P_{ij}) \quad (51)$$

$$T_{cdsh\beta}^{io} * X_{cdsh}^i \geq (B_{smsh\beta}^{jo} * X_{smsh}^j + B_{sch\beta}^{jo} * X_{sch}^j + B_{scdh\beta}^{jo} * X_{scdh}^j) - (E * P_{ij}) \quad (52)$$

$$T_{cdch\beta}^{g2P} * X_{cdch}^{g2} + T_{sch\beta}^{g2P} * X_{sch}^{g2} \geq (A_{ccd\beta}^{g1P} * X_{ccd}^{g1} + A_{cmcnh\beta}^{g1P} * X_{cmcnh}^{g1}) - E(1 - q_{g1g2}) \quad (53)$$

$$T_{cdch\beta}^{g2m} * X_{cdch}^{g2} + T_{sch\beta}^{g2m} * X_{sch}^{g2} \geq (A_{ccd\beta}^{g1m} * X_{ccd}^{g1} + A_{cmcnh\beta}^{g1m} * X_{cmcnh}^{g1}) - E(1 - q_{g1g2}) \quad (54)$$

$$T_{cdch\beta}^{g2o} * X_{cdch}^{g2} + T_{sch\beta}^{g2o} * X_{sch}^{g2} \geq (A_{ccd\beta}^{g1o} * X_{ccd}^{g1} + A_{cmcnh\beta}^{g1o} * X_{cmcnh}^{g1}) - E(1 - q_{g1g2}) \quad (55)$$

$$T_{cdch\beta}^{g1P} * X_{cdch}^{g1} + T_{sch\beta}^{g1P} * X_{sch}^{g1} \geq (A_{ccd\beta}^{g2P} * X_{ccd}^{g2} + A_{cmcnh\beta}^{g2P} * X_{cmcnh}^{g2}) - (E * q_{g1g2}) \quad (56)$$

$$T_{cdch\beta}^{g1m} * X_{cdch}^{g1} + T_{sch\beta}^{g1m} * X_{sch}^{g1} \geq (A_{ccd\beta}^{g2m} * X_{ccd}^{g2} + A_{cmcnh\beta}^{g2m} * X_{cmcnh}^{g2}) - (E * q_{g1g2}) \quad (57)$$

$$T_{cdch\beta}^{g1o} * X_{cdch}^{g1} + T_{sch\beta}^{g1o} * X_{sch}^{g1} \geq (A_{ccd\beta}^{g2o} * X_{ccd}^{g2} + A_{cmcnh\beta}^{g2o} * X_{cmcnh}^{g2}) - (E * q_{g1g2}) \quad (58)$$

$$B_{scdh\beta}^{ip} * X_{scdh}^i + B_{sch\beta}^{ip} * X_{sch}^i \geq \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N (T_{cdsh\beta}^{ip} + L_{cdh\beta}^{ip}) * X_{cdsh}^i + \sum_{i \in S=1}^N T_{smsh\beta}^{ip} * X_{smsh}^i \quad (59)$$

$$B_{scdh\beta}^{im} * X_{scdh}^i + B_{sch\beta}^{im} * X_{sch}^i \geq \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N (T_{cdsh\beta}^{im} + L_{cdh\beta}^{im}) * X_{cdsh}^i + \sum_{i \in S=1}^N T_{smsh\beta}^{im} * X_{smsh}^i \quad (60)$$

$$\begin{aligned}
 & B_{scdh\beta}^{io} * X_{scdh}^i + B_{sch\beta}^{io} * X_{sch}^i \\
 & \geq \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N (T_{cdsh\beta}^{io} + L_{cdh\beta}^{io}) * X_{cdsh}^i \quad (61)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{i \in S=1}^N T_{sm\beta}^{io} * X_{sm}^i \\
 A_{ccd\beta}^{gp} * X_{ccd}^j & \geq \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (T_{sch\beta}^{ip} + UL_{sch\beta}^{ip}) * X_{sch}^i \\
 & + \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N (T_{cdch\beta}^{jp} + L_{cdch\beta}^{jp} + UL_{cdch\beta}^{jp}) * X_{cdch}^j \quad (62)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{i \in C=1}^M T_{cm\beta}^{jp} * X_{cm}^j \quad \forall g, i, j \text{ and where } i \neq j \\
 A_{ccd\beta}^{gm} * X_{ccd}^j & \geq \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (T_{sch\beta}^{im} + UL_{sch\beta}^{im}) * X_{sch}^i + \\
 & \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N (T_{cdch\beta}^{jm} + L_{cdch\beta}^{jm} + UL_{cdch\beta}^{jm}) * X_{cdch}^j + \\
 & \sum_{i \in C=1}^M T_{cm\beta}^{jm} * X_{cm}^j \quad \forall g, i, j \text{ and where } i \neq j \quad (63)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{ccd\beta}^{go} * X_{ccd}^j & \geq \sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (T_{sch\beta}^{io} + UL_{sch\beta}^{io}) * X_{sch}^i + \\
 & \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N (T_{cdch\beta}^{jo} + L_{cdch\beta}^{jo} + UL_{cdch\beta}^{jo}) * X_{cdch}^j + \\
 & \sum_{i \in C=1}^M T_{cm\beta}^{jo} * X_{cm}^j \quad \forall g, i, j \text{ and where } i \neq j \quad (64)
 \end{aligned}$$

$$\sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{scdh}^i * q_{hs} \leq Q^i \quad (65)$$

$$\sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{cdch}^j * q_{hcd} \leq Q^j \quad (66)$$

$$\sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (B_{sch\beta}^{jp} + T_{sch\beta}^{ip} + UL_{sch\beta}^{ip} + w_i) * X_{sch}^i \leq B_{csh\beta}^{ip} \quad (67)$$

$$\sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (B_{sch\beta}^{jm} + T_{sch\beta}^{im} + UL_{sch\beta}^{im} + w_i) * X_{sch}^i \leq B_{csh\beta}^{im} \quad (68)$$

$$\sum_{i \in S=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (B_{Sch\beta}^{jo} + T_{sch\beta}^{io} + UL_{sch\beta}^{io} + w_i) * X_{sch}^i \leq B_{csh\beta}^{io} \quad (69)$$

$$\sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (B_{cdch\beta}^{jp} + T_{cdch\beta}^{jp} + UL_{cdch\beta}^{jp} + w_i) * X_{cdch}^j \leq B_{cdch\beta}^{ip} \quad (70)$$

$$\sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (B_{cdch\beta}^{jm} + T_{cdch\beta}^{jm} + UL_{cdch\beta}^{jm} + w_i) * X_{cdch}^j \leq B_{cdch\beta}^{im} \quad (71)$$

$$\sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in C=1}^M \sum_{i \in h=1}^N (B_{cdch\beta}^{jo} + T_{cdch\beta}^{jo} + UL_{cdch\beta}^{jo} + w_i) * X_{cdch}^j \leq B_{cdch\beta}^{io} \quad (72)$$

$$\sum_{j \in K_{out}=1}^N \sum_{i \in c=1}^M \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h=1}^N X_{cdch}^j + X_{ccdh}^j \leq 1 + F_{cdc} \quad (73)$$

$$\sum_{i \in K_{in}=1}^N \sum_{i \in s=1}^N \sum_{i \in cd=1}^N \sum_{i \in h}^N X_{scdh}^i \leq y_i \quad (74)$$

$$\alpha_i \geq (w_1 E_i^p + w_2 E_i^m + w_3 E_i^o) - (w_1 B_{sch}^{ip} + w_2 B_{sch}^{im} + w_3 B_{sch}^{io}) \quad (75)$$

$$\beta_i \geq (w_1 B_{sch}^{ip} + w_2 B_{sch}^{im} + w_3 B_{sch}^{io}) - (w_1 L_i^p + w_2 L_i^m + w_3 L_i^o) \quad (76)$$

$$\left(\begin{aligned} & (X_{cdsh}^i, X_{smsh}^i, X_{scdh}^i, X_{sch}^i, X_{cmcnh}^i, X_{cdch}^j, X_{cmcnh}^j, X_{ccd}^i, X_{ccd}^j, X_{cdmcdnh}^j, y_i) \in \\ & \{0, 1\}, \\ & (X_{cds}^i, X_{smsh}^i, X_{scd}^i, X_{sc}^i, X_{cmcn}^i, X_{cdc}^j, X_{cmcn}^j, X_{ccd}^i, X_{ccd}^j, X_{cdmcdn}^j, F_{cdc}) \in \{0, 1\} \end{aligned} \right)$$

$$i=1,2,3,\dots,N, \quad c=1,2,3,\dots,M, \quad h=1,2,3,\dots,N, \quad j=1,2,3,\dots,N \quad (91-3)$$

$$\beta = [0,1]$$

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

$$w_1 = w_3 = \frac{1}{6}, w_2 = \frac{4}{6}$$

5- روش حل

مدل ریاضی طراحی شده ابتدا در نرم افزار گمز¹ با مثالی کوچک حل شد. سپس با توسعه مثال با توجه به حجم زیاد متغیرهای مدل با گذشت زمان زیاد امکان حل با نرم افزار بالا وجود نداشت و مدل در گروه مسائل NP-hard است؛ بنابراین با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید حل شد.

5-1- الگوریتم ژنتیک

نظریه چارلز داروین که در سال 1859 ارائه شد، جایگاه ویژه‌ای را در مسائل بهینه‌سازی به خود اختصاص داد. این نظریه براساس تکامل بهترین‌ها ارائه شده است و آن را می‌توان به عنوان نقطه شروعی برای محاسبه‌های تکاملی دانست. الگوریتم‌های ژنتیک یکی از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی است که ایده آن برگرفته از طبیعت است. الگوریتم‌های ژنتیک برای روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی در حل مسائل خطی، محدب و برخی مشکلات مشابه بسیار موفق بوده‌اند؛ ولی الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسائل گسسته و غیرخطی بسیار بهتر است.

در طبیعت از ترکیب کروموزوم‌های بهتر، نسل‌های بهتری پدید می‌آیند. در این بین گاهی اوقات جهش‌هایی نیز در کروموزوم‌ها روی می‌دهد که ممکن است باعث بهتر شدن نسل بعدی شوند.

الگوریتم ژنتیک هم با استفاده از این ایده اقدام به حل مسائل می‌کند. در شکل 2 کد مجازی برنامه الگوریتم ژنتیک مسئله آورده شده است.

```

BEGIN
    t=0;
    Initialize P(t);           {جمعیت اولیه ایجاد می شود}
    Evaluate P(t);           {عناصر P(0) توسط مقادیر برآوردگی نشاندار می شوند}

    WHILE شرایط خاتمه ارضا نشده DO

        BEGIN

            t=t+1;
            Select P(t) from P(t-1); {اجرای عملگر انتخاب و لیست والدین فراهم می شود}
            Crossover P(t);         {اجرای عملگر کراسور و لیست فرزندان فراهم می شود}
            Mutation P(t);         {اجرای عملگر جهش و لیست جمعیت جدید حاصل می شود}
            Evaluate P(t);         {عناصر P(t) توسط مقادیر برآوردگی نشاندار می شوند}

        END

    END.
    
```

شکل 2 کد برنامه مجازی الگوریتم ژنتیک

5-1-1- ساختار کروموزوم

به علت پیچیده بودن مسئله و مدل، کروموزوم از سه جز تشکیل شده است. این سه جز شامل حرکت کامیون بین مبدأها، مقصدها و حالت های بارگیری انواع محصول ها است. در ابتدا چگونگی تولید کروموزوم مسئله شرح داده شده است؛ در ادامه برای هر نمونه مسئله، در سه سطح کوچک، متوسط و بزرگ با توجه به تعداد کامیون ها، تولیدکننده ها، باراندازهای متقاطع، مشتریان تعیین و ظرفیت کامیون ها، تقاضای مشتریان، میزان تولید تولیدکننده ها به صورت تابع توزیع یکنواخت تولید شده است. در کد نوشته شده متلب، جواب در یک حلقه از نظر درستی یا نادرستی بررسی شده است؛ اگر جواب نادرست باشد، دوباره جواب جدید تولید و در حلقه بررسی می شود تا جواب درست به دست آورده شود.

جزء اول کروموزوم

در جدول (1) حالت های حرکت کامیون میان مبدأها مشخص شده است. در واقع کامیون ها قبل از اینکه از بارانداز تقاطعی شروع به حرکت کنند محصول ها و

مکان‌های بارگیری را مشخص می‌کنند. در جدول (1) به فرض مثال چهار مبدأ اصلی در نظر گرفته شده است؛ که شامل، دو تأمین‌کننده و دو بارانداز تقاطعی است. طبق جدول (1) اگر کامیون به طرف تأمین‌کننده یا بارانداز تقاطعی حرکت کند عدد 1، و در غیر این صورت عدد صفر را به خود اختصاص می‌دهد. ستون دوم جدول (1) که شامل اعداد (1، 0، 0، 0) است؛ به این صورت است که کامیون فقط به طرف تأمین‌کننده 1 حرکت می‌کند و محصول‌های تأمین‌کننده 1 را بارگیری می‌کند. به اختصار در جدول زیر: S1: تأمین‌کننده 1 و S2: تأمین‌کننده 2 و CD1: بارانداز تقاطعی 1 و CD2: بارانداز تقاطعی 2 نامیده می‌شوند.

جدول 1 ماتریس حرکت کامیون در مبدأها

مبدأ	S1	S2	CD1	CD2	S1S2	S1CD1	S1CD2	S2CD1	S2CD2	CD1CD2	S1S2CD1	S1S2CD2	S1S2CD1CD2
CD1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
S1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
CD2	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1
S2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1

جزء دوم کروموزوم

در جدول (2) مقصدهایی را نشان می‌دهد که کامیون‌ها پس از عبور از مبدأها به طرف آن‌ها حرکت می‌کنند. در این جدول به فرض مثال چهار مقصد اصلی در نظر گرفته شده است که شامل، دو مشتری و دو بارانداز تقاطعی است و کامیون‌ها می‌توانند حالت‌های مختلفی از محصول‌های را به مقاصد انتقال بدهند. طبق جدول (2) اگر کامیون به مشتری یا بارانداز تقاطعی حرکت کند عدد 1، و در غیر این صورت عدد صفر را به خود اختصاص می‌دهد. ستون دوم جدول (2) که شامل اعداد (1، 0، 0، 0) می‌باشد؛ به این صورت است که کامیون فقط به طرف مشتری 1 حرکت می‌کند و محصول‌های مشتری 1 را تخلیه می‌کند. به اختصار در جدول (2) C1: مشتری 1 و C2: مشتری 2 و CD1: بارانداز تقاطعی 1 و CD2: بارانداز تقاطعی 2 نامیده می‌شوند.

جدول 2 ماتریس حرکت کامیون در مقصدها

مقصد	C1	C2	CD1	CD2	C1C2	C1CD1	C1CD2	C2CD1	C2CD2	C1C2CD1	C1C2CD2	C1C2CD1CD2
CD1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
C1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
CD2	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1
C2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

جزء سوم کروموزوم

برای نمونه از چهار نوع محصول مختلف استفاده شده است. این چهار نوع محصول توسط تأمین کننده های تولید، به وسیله کامیون ها به مشتری ها انتقال داده می شوند. در جدول (3) حالت های مختلف بارگیری محصول ها از تأمین کننده ها در کامیون ها است؛ در واقع یک کامیون می تواند حالت هایی از محصول های مختلف را در کامیون خود بارگیری کند. طبق جدول (3) اگر کامیون یکی از حالت های سفارش محصول ها را بارگیری کند عدد 1 و در غیر این صورت عدد صفر را به خود اختصاص می دهد. ستون دوم جدول (3) که شامل اعداد (0,0,0,1) است؛ به این صورت است که کامیون فقط محصول A را بارگیری می کند.

جدول 3 ماتریس حالت های سفارش محصولات

حالت سفارش	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD
A	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1
B	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1
C	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1
D	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1

5-1-2 ساختار روش تقاطع

در عمل تقاطع، تولید فرزندان جدید از والدین نخبه نسل جاری است؛ فرزندان جدید باید بیشتر خصوصیت های والدین را به ارث برده و از آن ها نخبه تر شوند. چگونگی

تولید فرزندان به ساختار کروموزوم بستگی دارد، با استفاده از سازوکار انتخاب به روش تورنمنت دو کروموزوم به‌عنوان والد انتخاب می‌شوند؛ سپس عمل تقاطع به‌صورت تکنقطه‌ای برای هر قسمت از کروموزوم با یکی از روش‌های درایه‌ای، سطری (افقی) و ستونی (عمودی) که به‌صورت تصادفی توسط الگوریتم انتخاب می‌شود؛ به شرح زیر توضیح داده شده و جداگانه صورت می‌گیرد. در شکل 3 دو نمونه کروموزوم والد برای تولید فرزندان جدید نشان داده شده است.

الف - عملگر تقاطعی درایه‌ای: در این حالت عددی تصادفی در بازه تعداد درایه‌های تصادفی تولید می‌کنیم. به‌طوری که عدد تصادفی تولید شده بیان‌کننده محل تقاطع در کروموزوم‌های والد است؛ سپس ژن‌های متناظر والدین را از محل درایه مورد نظر تعویض می‌کنیم؛ در نتیجه فرزندان جدید تولید می‌شوند. برای مثال درایه نوزده انتخاب می‌شود؛ محل تقاطع از محل درایه 19 در کروموزوم‌های والد انجام و سپس ژن‌های متناظر والدین از محل درایه نوزده برابر شکل 4 تعویض و فرزندان جدید تولید می‌شوند.

1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1

والد اول

0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1

والد دوم

شکل 3 دو کروموزوم والد فرضی

0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1

فرزند اول

1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1

فرزند دوم

شکل 4 فرزندان حاصل از عملگر تقاطع درایه ای

ب - عملگر تقاطعی افقی: در این حالت یک عدد تصادفی در بازه تعداد سطرهای ماتریس به صورت تصادفی تولید می کنیم؛ به طوری که عدد تصادفی تولید شده بیان کننده محل تقاطع در کروموزوم های والد است؛ سپس ژن های متناظر والدین از محل سطر انتخاب شده تعویض و فرزندان جدید تولید می شوند. برای مثال سطر دوم انتخاب می شود محل تقاطع از محل سطر دوم در کروموزوم های والد انجام و سپس ژن های متناظر والدین از محل سطر دوم برابر شکل 5 تعویض و فرزندان جدید تولید می شوند.

0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1

فرزند اول

1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1

فرزند دوم

شکل 5 فرزندان حاصل از عملگر تقاطع سطری (افقی)

ج - عملگر تقاطعی عمودی: در این حالت یک عدد تصادفی در بازه تعداد ستون‌های ماتریس به صورت تصادفی تولید می‌کنیم؛ به طوری که عدد تصادفی تولید شده بیان کننده محل تقاطع در کروموزوم‌های والد است؛ سپس ژن‌های متناظر والدین از محل ستون انتخاب شده تعویض و فرزندان جدید تولید می‌شوند. برای مثال ستون چهارم انتخاب می‌شود محل تقاطع از محل ستون چهارم در کروموزوم‌های والد انجام و سپس ژن‌های متناظر والدین از محل ستون چهارم برابر شکل 6 تعویض و فرزندان جدید تولید می‌شوند.

1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1

فرزند اول

0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1
0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1

فرزند دوم

شکل 6 فرزندان حاصل از عملگر تقاطع ستونی (عمودی)

3-1-5- ساختار روش جهش

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

الف - عملگر جهش درایه‌ای: در این حالت عددی تصادفی در بازه تعداد درایه‌های تصادفی تولید می‌کنیم؛ به طوری که عدد تصادفی تولید شده بیان کننده محل جهش در کروموزوم والد است؛ سپس اگر در محل درایه عدد صفر بود به عدد یک تبدیل و اگر عدد یک بود به صفر تبدیل می‌شود؛ در نتیجه فرزند جدید تولید می‌شود. برای مثال درایه 19 در والد یک انتخاب و محل جهش از محل درایه 19 در کروموزوم‌های والد

انجام می‌شود؛ سپس ژن متناظر والد از محل درایه نوزده برابر شکل 7 تعویض و کروموزوم جدید تولید می‌شود.

1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1

شکل 7 کروموزوم جدید حاصل از عملگر جهش درایه‌ای

ب - **عملگر جهش افقی**: در این حالت عددی تصادفی در بازه تعداد سطرهای ماتریس به صورت تصادفی تولید می‌کنیم؛ به طوری که عدد تصادفی تولید شده بیان کننده محل جهش در کروموزوم والد است؛ سپس ژن‌های متناظر والد از محل سطر انتخاب شده که دارای مقادیر صفر و یک است، مقادیرهای آن دو را جابه‌جا می‌کنیم؛ در نتیجه فرزند جدید تولید می‌شود. برای مثال سطر دوم در والد اول انتخاب و محل جهش از محل سطر دوم در کروموزوم والد انجام می‌شود و سپس ژن‌های متناظر والد از محل سطر دوم برابر شکل 8 جابه‌جا شده و کروموزوم جدید تولید می‌شود.

1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1

شکل 8 کروموزوم جدید حاصل از عملگر جهش افقی (سطری)

ب - **عملگر جهش عمودی**: در این حالت یک عدد تصادفی در بازه تعداد ستون‌های ماتریس به صورت تصادفی تولید می‌کنیم؛ به طوری که عدد تصادفی تولید شده بیان کننده محل جهش در کروموزوم والد است؛ سپس ژن‌های متناظر والد از محل ستون انتخاب شده که دارای مقادیر صفر و یک است، مقادیرهای آن دو را

جابه‌جا می‌کنیم؛ در نتیجه فرزند جدید تولید می‌شود. برای مثال ستون هفتم در والد اول انتخاب و محل جهش از محل ستون هفتم در کروموزوم والد انجام می‌شود؛ سپس ژن‌های متناظر والد از محل ستون هفتم برابر شکل 9 جابه‌جا شده و کروموزوم جدید تولید می‌شود.

1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1

شکل 9 کروموزوم جدید حاصل از عملگر جهش عمودی (ستونی)

2-5- الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده

از کارهای کریک پاتریک و کرنی در سال‌های 1983 و 1985 است. کریک پاتریک و کرنی، متخصص‌هایی در زمینه فیزیک آماری بودند. آن‌ها برای حل مسائل سخت بهینه‌سازی، روشی برپایه تبرید تدریجی دو پیشنهاد کردند. مهندسان مواد برای رسیدن به حالتی که در آن ماده جامد به خوبی مرتب و انرژی آن کم شده باشد، از روش تبرید تدریجی استفاده می‌کنند. این روش شامل قراردادن ماده در دمای زیاد و کاهش تدریجی دما است. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید جست‌وجوی فراابتکاری ساده و اثربخشی در حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است. روش تبرید شبیه‌سازی شده است؛ فرایند تبرید تدریجی را برای حل مسئله بهینه‌سازی، شبیه‌سازی می‌کند [17، ص 671]. تابع هدف مسئله مشابه انرژی ماده‌ای است که باید به کمک تعریف دمای مجازی کم شود. دما در این حالت پارامتری در الگوریتم است که می‌توان آن را کنترل کرد. الگوریتم زمانی که سیستم به حالت تعادل همگرا شود، تغییرهای انرژی را در فرایند تبرید شبیه‌سازی می‌کند. این طرح را متروپلیس در سال 1953 ارائه کرد [18، ص 1087].

6- اعتبارسنجی مدل ارائه شده

هرچند مقاله‌های زیادی مسئله زمان‌بندی کامیون‌ها و کم‌کردن زمان حمل‌ونقل در بارانداز تقاطعی را بررسی کرده است؛ اما مسئله کم‌کردن زمان (حمل‌ونقل، بارگیری، تخلیه و جابه‌جایی) در کل زنجیره تأمین، با در نظر گرفتن روابط و فرضیه‌های مطرح شده تا به حال مطالعه نشده است. این مقاله می‌تواند شروعی جدید برای کارهای بعدی در این زمینه باشد. از این رو چون امکان مقایسه نتیجه‌ها با مقاله‌های دیگر موجود فراهم نیست؛ مثالی عددی در قسمت بعد مطرح می‌شود و جواب‌های مسئله به کمک الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید مقایسه می‌شوند.

6-1- تولید مسائل تصادفی

مسائل تولیدی نمونه در سه گروه با ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ به صورت تصادفی ایجاد شده‌اند. که از هر بعد 7 مسئله نمونه در مجموع 21 مسئله نمونه مطابق جدول (4) تولید و شرح داده می‌شود، روش به وجود آوردن مسائل انتخابی با توجه به تأثیر پارامترهای تعداد تولیدکننده، بارانداز تقاطعی، مشتری، انواع محصول و کامیون‌ها انجام شده است. سپس نتیجه‌های محاسبه شده ارائه خواهد شد؛ در نهایت با تکرار اجراهای الگوریتم و با استفاده از تابع توزیع یکنواخت پارامترهای مسئله تولید و در هر نمونه اعداد جدیدی تولید می‌شود؛ همچنین تحلیل حساسیت نتیجه‌ها با استفاده از تعداد کامیون‌ها تجزیه و تحلیل می‌شود؛ و در پایان با استفاده از معیارهای مختلف کارایی دو الگوریتم مقایسه می‌شوند. حل مدل با استفاده از الگوریتم‌های مطرح شده با رایانه شخصی با مشخصات Intel((R)core(TM)i7-8850u cpu@1.80GH به وسیله برنامه MATLAB (R2015a) 8.5.0.19761 به دست می‌آید. در این مسئله فرض بر این بود که کامیون‌ها، پس از بارگیری محصول‌ها از تأمین‌کننده‌ها به طرف مشتریان یا بارانداز تقاطعی حرکت و محصول‌های بارگیری شده را تخلیه می‌کردند. برای درک بهتر روش عملکرد دو الگوریتم جزئیات حل مسئله نمونه 6، در بعد کوچک، که تقریباً ساده‌ترین مسئله نمونه است، نشان داده شده است.

جدول 4. پارامترهای ثابت مسئله

پارامتر	مسئله نمونه سطح کوچک							مسئله نمونه سطح متوسط							مسئله نمونه سطح بزرگ						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
تعداد کامیون ورودی	2	4	4	3	4	3	3	3	4	2	4	4	3	3	12	11	13	14	11	12	11
تعداد کامیون خروجی	2	4	3	4	4	3	2	2	3	3	2	3	2	2	11	12	11	12	11	10	12
تعداد تأمین‌کننده	4	3	4	4	5	3	2	10	9	9	8	7	8	11	18	17	17	19	18	16	20
تعداد بارانداز متقاطع	4	3	3	7	4	3	3	8	9	9	7	8	6	6	12	10	11	12	10	10	14
انواع محصول	10	6	8	10	9	10	11	12	12	14	12	11	13	15	20	16	18	20	22	20	25
تعداد مشتری	5	3	4	8	4	3	3	11	12	10	9	10	11	15	22	20	23	21	20	18	20

2-6- پارامترهای تصادفی مسئله

در این مسئله تعدادی از مقدارهای پارامترها با استفاده از تابع توزیع یکنواخت تولید می‌شوند. پارامترهایی که به صورت تصادفی تولید می‌شوند؛ شامل ظرفیت کامیون‌ها، زمان بارگیری، تخلیه، زمان جابه‌جایی محصول‌ها در بارانداز تقاطعی، میزان تقاضای مشتریان، میزان تولید تولیدکننده‌ها، تعداد محصول، مسافت طی شده کامیون‌ها بین مبدأها و مقصدها است. برای هر مسئله نمونه مقدارهای پارامترها به وجود و در جدول‌های مربوط آورده شده است. در جدول (5) کمترین و بیشترین مقدارهایی که پارامترها می‌توانند در سه سطح مسائل نمونه به خود اختصاص دهند گفته شده است.

جدول 5 پارامترهای تصادفی مسئله

تقاضای مشتری	$U(0,30)$
زمان خوش‌بینانه بارگیری محصول	$U(0,20)$
زمان احتمال بارگیری محصول	$U(0,20)$
زمان بدبینانه بارگیری محصول	$U(0,20)$
زمان خوش‌بینانه تخلیه محصول	$U(0,15)$
زمان احتمال تخلیه محصول	$U(0,15)$
زمان بدبینانه تخلیه محصول	$U(0,15)$
میزان عرضه محصول	$U(0,30)$
وزن محصول	$U(0,10)$
ظرفیت کامیون ورودی	$U(0,10)*1000$
ظرفیت کامیون خروجی	$U(0,10)*1000$
فاصله مبدأ و مقصد	$U(1,200)$
تعداد محصول از نوع h	$U(1,10)$

6-3- تنظیم پارامترهای الگوریتم

برای حل مدل پیشنهادی، از دو الگوریتم فراابتکاری حل مسائل شامل الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده شده است. از آنجایی که خروجی مسائل به‌شدت به پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی وابسته هستند؛ بنابراین از روش تاگوچی برای تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها استفاده شده است. برتری روش تاگوچی به نسبت روش‌های دیگر طراحی آزمایش‌ها علاوه بر هزینه، به‌دست آوردن سطوح بهینه پارامترها در زمان کمتر است. یکی از مهمترین قدم‌های این روش انتخاب یک آرایه متعامد است که اثرهای عوامل در میانگین پاسخ و تغییرها را تخمین می‌زند. در این مقاله، مناسب‌ترین طرح آزمایش‌های سه‌سطحی تشخیص داده شده‌اند و با توجه به آرایه‌های متعامد استاندارد تاگوچی، آرایه L9 به‌عنوان طرح مناسب آزمایش برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های پیشنهادی انتخاب شده است. تاگوچی، برای تنظیم پارامترهای بهینه، یک اندازه آماری عملکرد به‌عنوان نسبت S/N^1 را در نظر می‌گیرد؛ که این نسبت در بر گیرنده میانگین و تغییرها و هر چه بیشتر باشد بهتر است [19].

از آن جا که متغیر پاسخ از نوع هر چه کمتر بهتر است نسبت S/N متناظر آن به‌صورت رابطه (77) در نظر گرفته می‌شود. الگوریتم‌های فرا ابتکاری پیشنهادی برای هر آزمایش تاگوچی اجرا می‌شوند؛ سپس نسبت‌های S/N به‌وسیله نرم‌افزار Minitab 16 محاسبه می‌شوند. مقدارهای بهینه پارامترهای هر الگوریتم در جدول (6) نشان داده شده است.

$$SN Ratio = -10 \log \left(\frac{\sum(y^2)}{n} \right) \quad (77)$$

جدول 6 مقدارهای بهینه پارامترها در الگوریتم‌ها

الگوریتم	پارامتر	دامنه پارامترها	مقادیر
GA	تعداد تکرار	100-300	300
	اندازه جمعیت	50-100	100
	اندازه تقاطع	0,6-0,8	0,8
	اندازه جهش	0,1-0,2	0,2
SA	تعداد تکرار	100-300	300
	اندازه جمعیت	50-100	100
	دمای اولیه	800-1000	1000
	اندازه کاهش دما	0,8-1	0,9

1. Signal to noise (S/N)

6-4- نتیجه‌های محاسباتی

مسئله نمونه 6، در سطح اندازه کوچک با پارامترهای ثابت درج شده در جدول (4) و پارامترهای تصادفی درج شده در جدول (5) با دو الگوریتم GA و SA حل شده است. بر این اساس توالی عملیات حمل‌ونقل کامیون‌ها در مسئله نمونه 6 برای هر دو الگوریتم برای تحلیل خروجی متغیرها طبق جدول‌های زیر آورده شده است. در جدول (7) توالی حمل‌ونقل کامیون اول در مسئله نمونه 6 با روش حل الگوریتم GA و در جدول (8) توالی حمل‌ونقل کامیون‌های اول در مسئله نمونه 6 با روش حل SA آورده شده است.

جدول 7 توالی حمل‌ونقل کامیون 1 با الگوریتم GA برای مسئله نمونه 6 (سطح کوچک)

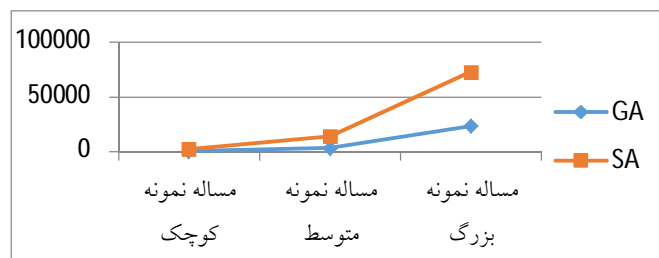
مبدأ	مقصد	نوع محصول	تعداد محصول	توالی حمل و نقل
تأمین‌کننده 1	بارانداز تقاطعی 1	E	7	1
	بارانداز تقاطعی 1	F	15	
	بارانداز تقاطعی 3	G	6	
تأمین‌کننده 3	مشتری 1	D	14	2
	مشتری 2	D	14	
	مشتری 3	D	13	
	مشتری 3	E	17	
	مشتری 1	F	8	
	مشتری 2	F	16	
	مشتری 3	F	18	
	مشتری 2	G	7	
تأمین‌کننده 2	تأمین‌کننده 1	E	7	3
	تأمین‌کننده 1	F	15	
	تأمین‌کننده 1	F	16	
بارانداز تقاطعی 3	بارانداز تقاطعی 1	D	14	4
	بارانداز تقاطعی 1	F	16	
مشتری 3	مشتری 1	D	14	5
	مشتری 2	E	8	
	مشتری 2	F	18	
	مشتری 2	G	13	
بارانداز تقاطعی 1	مشتری 1	B	9	6
	مشتری 3	D	14	
	مشتری 1	G	10	
	مشتری 2	G	7	
	مشتری 3	C	11	
	مشتری 1	E	17	

جدول 8. توالی حمل و نقل کامیون 1 با الگوریتم SA برای مسئله نمونه (6) سطح کوچک

توالی حمل و نقل	تعداد محصول	نوع محصول	مقصد	مبدأ
1	1	A	بارانداز تقاطعی 2	تأمین کننده 1
	18	C	بارانداز تقاطعی 3	تأمین کننده 1
	13	H	بارانداز تقاطعی 1	تأمین کننده 3
	9	J	بارانداز تقاطعی 1	تأمین کننده 2
	16	J	بارانداز تقاطعی 2	تأمین کننده 2
2	16	A	مشتری 3	تأمین کننده 2
	7	C	مشتری 1	تأمین کننده 1
	13	D	مشتری 2	تأمین کننده 2
	16	F	مشتری 2	تأمین کننده 3
	16	H	مشتری 1	تأمین کننده 1
	15	H	مشتری 3	تأمین کننده 3
	9	J	مشتری 2	تأمین کننده 2
3	3	A	تأمین کننده 2	تأمین کننده 1
	11	B	تأمین کننده 3	تأمین کننده 1
	2	F	تأمین کننده 2	تأمین کننده 1
	10	H	تأمین کننده 2	تأمین کننده 1
	1	J	تأمین کننده 2	تأمین کننده 1
4	7	C	مشتری 1	مشتری 2
	14	D	مشتری 3	مشتری 1
5	8	D	بارانداز تقاطعی 2	بارانداز تقاطعی 3
	15	F	بارانداز تقاطعی 1	بارانداز تقاطعی 2
	10	H	بارانداز تقاطعی 3	بارانداز تقاطعی 1
	1	J	بارانداز تقاطعی 2	بارانداز تقاطعی 1
6	17	C	مشتری 3	بارانداز تقاطعی 1
	14	D	مشتری 1	بارانداز تقاطعی 3
	13	D	مشتری 2	بارانداز تقاطعی 1
	12	E	مشتری 1	بارانداز تقاطعی 3
	7	G	مشتری 2	بارانداز تقاطعی 3
	16	H	مشتری 1	بارانداز تقاطعی 2
	15	H	مشتری 2	بارانداز تقاطعی 1
	11	I	مشتری 2	بارانداز تقاطعی 3

6-4-1- مقایسه الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید

یکی از معیارهای مهم برای سنجش کیفیت عملکرد یک الگوریتم، مدت زمان اجرای آن است که در بعضی مقاله‌ها از آن برای سرعت اجرا هم یاد می‌شود. این معیار وقتی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که بعدها و پیچیدگی مسئله افزایش یابد. اطلاعات مربوط به میانگین زمان اجرای این دو الگوریتم برای 21 مسئله نمونه در سه سطح کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب مربوط به الگوریتم GA برابر است با: 14399/18 و 789/54، 22712/28 ثانیه و الگوریتم SA برابر با: 2606/55، 73166/07 ثانیه و طبق شکل (10) در حالت کلی الگوریتم GA از نظر میانگین زمان اجرا در سه سطح مسائل نمونه قبولی‌پذیر است.



شکل 10 مقایسه بین میانگین زمان اجرای الگوریتم‌های GA و SA برای مسائل نمونه کوچک، متوسط و بزرگ

از نظر مقدار جواب بهینه - هدف کم‌کردن زمان کل حمل‌ونقل در تمام مسیرهای مدل زنجیره تأمین پیشنهادی است، با حل مسئله نمونه 6 کوچک جواب بهینه به دست آمده با استفاده از الگوریتم ژنتیک 86201 ثانیه و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید 87765 ثانیه به دست آمده است؛ بنابراین الگوریتم ژنتیک بر الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برتری دارد.

7- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آینده

با توجه به اینکه مسئله زمان تحویل محصول‌ها به مشتریان از مهم است؛ اگر این زمان کمتر از مدت زمان تحویل رقیبان نباشد؛ دیگر سفارشی از طرف مشتریان برای تولیدکننده دریافت نخواهد شد؛ بنابراین در این مقاله مدل ریاضی با هدف کم‌کردن

زمان حمل‌ونقل در کل زنجیره تأمین طراحی شده است. با توجه به زمان تحویل کالا به مشتریان نمی‌تواند قطعی باشد، در این مدل زمان کل عملیات با در نظر گرفتن پارامترهای زمانی غیرقطعی و با رویکرد پنجره زمانی نرم در نظر گرفته و کم شده است. برای اینکه تعداد متغیرها و محدودیت‌های مرتبط با تعداد کامیون‌های ارسال، دریافت و تعداد محصول‌ها در مدل زیاد بوده است و با افزایش این متغیرها ابعاد مسئله و زمان حل به صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند و در زمره مسائل NP-hard قرار داده می‌شود؛ بنابراین با بهره‌گیری از دو الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید برای حل مدل استفاده شده است. نتیجه‌های محاسبه‌شده با استفاده از دو معیار مقایسه می‌شوند. به‌طور میانگین برای 21 مسئله نمونه در سه سطح کوچک، متوسط و بزرگ الگوریتم GA از نظر زمان اجرا و معیار مقدار جواب بهینه در مسئله نمونه 6 (کوچک) جواب بهینه حاصل از حل مدل با الگوریتم ژنتیک قبولی‌پذیر است.

به دلیل این که تحقیق‌های در این زمینه در مراحل اولیه است؛ فرصت زیادی برای تحقیق‌های آینده وجود دارد. تعدادی از حوزه‌هایی که می‌توان در آن‌ها تحقیق‌ها را گسترش داد در زیر اشاره شده است:

- عمومیت دادن مدل ریاضی پیشنهادی برای مدل‌سازی در شرایط وجود سیستم‌های بارانداز متقاطع با وجود چندین درب ورودی و خروجی.
- تاکنون فرض شده است که انبار موقت ظرفیت نامحدود دارد؛ درحالی‌که معمولاً در عمل ظرفیت انبار موقت محدود است. این فرض در دنیای واقعی را می‌توان به مدل اضافه کرد.
- عمومیت دادن مدل ریاضی پیشنهادی با در نظر گرفتن حالت چند دوره‌ای.
- عمومیت دادن مدل ریاضی پیشنهادی مسئله با در نظر گرفتن پارامترهای نامشخص (برای مثال در نظر گرفتن تقاضای فازی برای مشتریان) با توجه به ماهیت پیچیده‌ای که سیستم‌های بارانداز دارند.
- پیشنهاد می‌شود برای افزایش کارایی محاسبه‌های مدل ریاضی از سایر روش‌های قطعی‌سازی برای پارامترهای فازی استفاده شود.

8- منابع

- [1] Mohtashami, A. & Tavana, M & Santos-Arteaga, F. and Fallahian- Najafabadi, A. A novel multiobjective meta-heuristic model for solving cross-docking scheduling problems, *Applied Soft Computing*, (31), (2015), 30–47.
- [2] Mohtashami, A. A Novel Dynamic Genetic Algorithm-Based Method for Vehicle Scheduling in Cross Docking Systems with Frequent Unloading Operation, *Computers & Industrial Engineering*, (90), (2015), 221-240.
- [3] Ponboon, S. Qureshi, A. Taniguchi, A. Evaluation of cost structure and impact of parameters in location routing problem with time windows, *Transportation Research Procedia* (12), (2016), 213 – 226.
- [4] Keshtzaria, M. Naderi, B. and Mehdizadeh, E. An improved mathematical model and a hybrid metaheuristic for truck scheduling in cross-dock problems, *Computers & Industrial Engineering*, (91), (2015), 197-204.
- [5] yeng, P & chuang, Y. Adaptive Memory Artificial Bee Colony Algorithm for Green Vehicle Routing with Cross-Docking, *Applied Mathematical Modelling*, (40), (2016), 9302-9315
- [6] Wisittipanich, W. Hengmeechai, P. Truck Scheduling in Multi-Door Cross Docking Terminal by Modified Particle Swarm Optimization, *Computers & Industrial Engineering*, (113), (2017), 793-802
- [7] Asadi, Z. Valipour khatir, M. safaei, A. Modeling and solving Multi-objective Vehicle Routing Problem of Distribution Companies with Fuzzy and Stochastic Constraints (Case Study), *Modern Researches in Decision Making*. (4)1.2019, 1-24, (In Persian)
- [8] Mohtashami, Ali. Fallahian Najafabadi, Ali. Scheduling of truck transportation in the supply chain with consideration of cross docking and using meta-heuristic algorithms, (In Persian)
- [9] Uygun, O. Performance Evaluation of Green Supply Chain Management Using integrated Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Techniques, *Computers & Industrial Engineering*, (102), (2016), 502-511

- [10] Bagher, M. Kassaei, M. Alem Tabriz, A. Zandieh, M. Truck Scheduling in Distribution Systems with Multiple Cross Docks and No Intermediate Storage. *Modern Researches in Decision Making*,(2)4,2018,1-27, (In Persian)
- [11] Dondo, R. and Cerd. J. The heterogeneous vehicle routing and truck scheduling problem in a multi-door cross-dock system. *Computers & Chemical Engineering*, (76), (2015), 42-62
- [12] Xioa, Y., Konan, A. The heterogeneous green vehicle routing and scheduling problem with time-varying traffic congestion, *Transportation Research Part E*, (88), (2016), 146-166
- [13] Bruglieri, M., Mancini, S., Pezzella, F., Pisacane, O. A Path-based solution approach for the Green Vehicle Routing Problem, *Computers & Operations Research*, (103), (2019), 109-122
- [14] Torabi, Seyed Ali and Tofighi, Saeedeh, *Fuzzy Mathematical Programming*, University of Tehran press (2017).
- [15] Lai, Y. J., Hwang, C.L. A new approach to some possibilistic linear programming problems, *Fuzzy sets and systems*, (49), (1992), 121-133
- [16] Deb, K. *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*", 1st ed., Wiley (2009)
- [17] Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., Vecchi, M.P. Optimization by Simulated Annealing. *Science*, (220), 4598, (1983), 671-680
- [18] Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N., Teller, A.H., Teller, E. Equation of State Calculation by Fast Computing Machines. *J. of Chem. Phys.*, 21, (1953), 1087-1091
- [19] Taguchi, G. *Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes*. (1986).