



## زمانبندی مجدد زنجیره تأمین سه مرحله‌ای با تمرکز بر یکپارچگی مراحل آن

محمدعلی بهشتی‌نیا<sup>۱\*</sup>، عیسی اکبری<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سمنان، سمنان

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت اجرایی، دانشگاه سمنان، سمنان

### خلاصه

زمانبندی مجدد جزئی از فرآیند تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین بسیاری از صنایع تولیدی محسوب می‌شود که نقش مهمی در برآورده‌سازی نیازهای مشتریان ایفا می‌نماید. از این‌رو این مقاله به بررسی مساله زمانبندی مجدد در یک زنجیره تأمین سه مرحله‌ای، با تمرکز بر یکپارچگی مراحل آن می‌پردازد. مرحله اول شامل تأمین کنندگان، مرحله دوم شامل ناوگان حمل و نقل کالاها و مرحله سوم شامل یک شرکت سازنده محصولات نهایی است. به این منظور ابتدا مدل عدد صحیح مختلط برای مساله مذکور با هدف کمینه‌سازی مجموع زمان تاخیر تکمیل کلیه سفارشات توسعه داده شده است. همچنین در حالت کلی یک الگوریتم ژنتیک که دارای کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر است، به منظور حل مساله ارایه شده است. مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم جستجوی تصادفی روی طیف متنوعی از مسایل تصادفی و همچنین جواب بهینه روی مسایل تصادفی با ابعاد کوچک نشان از عملکرد خوب الگوریتم پیشنهادی دارد. همچنین با ساده‌سازی فرضیات مساله، الگوریتم پیشنهادی با دو الگوریتم ابتکاری موجود در ادبیات موضوع مقایسه شده است که نشان از برتری الگوریتم پیشنهادی دارد.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۳/۱۲/۰۱

پذیرش ۱۳۹۴/۱۰/۲۲

کلمات کلیدی:

زنجیره تأمین

زمانبندی مجدد

الگوریتم ژنتیک

جستجوی تصادفی

تأخیر

### ۱- مقدمه

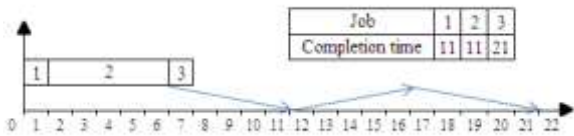
یکی از موضوعاتی که در دو دهه اخیر بسیار مورد بررسی قرار گرفته شده است، مفهوم "مدیریت زنجیره تأمین" است. افزایش روز افزون رقابت‌پذیری و تلاش برای بقای سازمان‌ها، نزدیک شدن ارتباطات و پیشرفت در تکنولوژی اطلاعات باعث تعریف و طراحی چنین نگرشی شده است. سازمان‌ها رمز بقا را در ارضای نیازهای مشتری از قبیل کاهش قیمت، حمل به موقع و کیفیت مناسب می‌دانند و برای رسیدن به این نیازها از ابزار مدیریت زنجیره تأمین استفاده می‌کنند. از سوی دیگر، زمانبندی مجدد زنجیره تأمین، فعالیتی برای مدیریت اختلال ایجاد شده توسط نیروهای درونی و بیرونی و همچنین فرایند به روزرسانی زمانبندی اولیه در واکنش به اختلال یا سایر تغییرات است.

در اصل زمانبندی مجدد مناسب، حداقل کردن زمان تاخیر در تکمیل کلیه سفارشات به دلیل اختلال ایجاد شده در زمانبندی اولیه است [۱]. مدیران و طراحان زنجیره تأمین در محیط‌های پویا و تصادفی نه تنها بایستی برنامه‌های زمانی با کیفیت بالا ایجاد نمایند، بلکه باید به سرعت به رخدادهای غیر منتظره واکنش نشان داده و زمانبندی برنامه‌ها را به شیوه‌ای اقتصادی اصلاح نمایند. این رخدادهای که به طور کلی در هنگام ایجاد یک برنامه زمانی توجه به آنها دشوار می‌باشد، سیستم را مختل کرده و نیز تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای بین زمانبندی اولیه و شرایط واقعی آن در بستر زنجیره تأمین ایجاد می‌نمایند. عدم قطعیت در زنجیره تأمین همواره موجب بروز اختلالات در برنامه‌ریزی اولیه می‌شود. در زنجیره تأمین بسیاری از صنایع نظیر خودروسازی،

\* نویسنده مسئول. محمدعلی بهشتی‌نیا

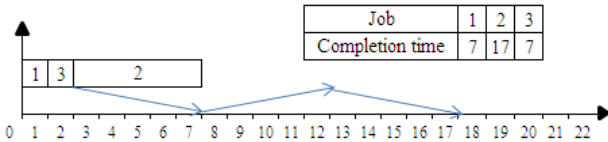
تلفن: ۰۲۳-۳۳۶۵۴۲۷۵؛ پست الکترونیکی: beheshtinia@semnan.ac.ir

تابع هدف شامل ۹ واحد دیرکرد می‌شود.



شکل (۲): جواب نهایی در حالت اول

اما اگر روابط متقابل بین زمانبندی تولید و حمل و نقل در نظر گرفته شود ممکن است جواب نشان داده شده در شکل (۳) بدست آید که دارای ۵ واحد دیرکرد است. این امر نشان می‌دهد که حالت اول رسیدن به جواب بهینه‌ی عمومی را تضمین نمی‌نماید.



شکل (۳): جواب بدست آمده در حالت دوم

در این مقاله مساله زمانبندی مجدد در یک زنجیره تأمین سه مرحله‌ای با تمرکز بر یکپارچگی مراحل آن با فرض در دسترس نبودن وسایل نقلیه و یا آماده نبودن تأمین‌کنندگان در لحظه صفر جهت به حداقل رساندن تاخیر در تکمیل کلیه سفارشات مورد بررسی قرار می‌گیرد. مرحله اول شامل تأمین‌کنندگان قطعات، مرحله دوم شامل ناوگان حمل و نقل و مرحله سوم شامل یک شرکت سازنده محصولات نهایی است.

در ادامه در بخش ۲ مرور ادبیات زمانبندی و زمانبندی مجدد در زنجیره تأمین ارائه می‌شود. در بخش ۳ به تعریف مساله پرداخته و مدل ریاضی عدد صحیح مختلط مساله ارائه می‌شود. در بخش چهارم الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مساله ارائه می‌شود. در بخش پنجم به بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی خواهیم پرداخت. در بخش آخر نیز نتیجه‌گیری و زمینه‌های تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

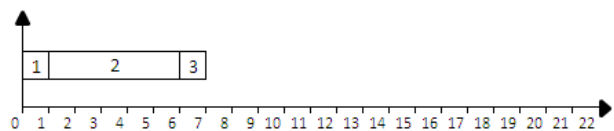
## ۲- مرور ادبیات

در این بخش ابتدا ادبیات زمانبندی در زنجیره تأمین و سپس ادبیات زمانبندی مجدد مورد بررسی قرار می‌گیرد. تا کنون تحقیقات متعددی در این زمینه صورت پذیرفته است. یمیر و دمرلی [۴] یک الگوریتم ژنتیک به منظور زمانبندی در یک زنجیره تأمین دو مرحله‌ای ارائه نموده‌اند. آنها یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط نیز به منظور بهینه‌سازی تأمین و مونتاژ قطعات و همچنین زمانبندی توزیع ارائه نموده‌اند. آوریخ [۵] به بررسی زمانبندی بر خط در زنجیره تأمین متشکل از یک کارخانه و چند مشتری با هدف کمینه‌سازی مجموع وزنی جریان کاری سفارشات پرداخته است. رستمیان دلاور و همکاران [۶] یک الگوریتم ژنتیک به منظور یکپارچگی زمانبندی تولید و حمل و نقل هوایی ارائه نموده‌اند. پس از ارائه مدل ریاضی مساله، دو الگوریتم ژنتیک برای حل مساله پیشنهاد شده است. همچنین از روش تاگوچی مقدار پارامترهای بهینه برای الگوریتم ژنتیک بدست آمده است. اسپنلر ریتو و همکاران [۷] یکپارچگی تولید و حمل و نقل در

صنایع الکترونیک و ... این اختلالات موجب بروز مشکلات متعددی شده است. به همین دلیل زمانبندی مجدد جهت به حداقل رساندن تأثیر چنین اختلالی در عملکرد سیستم عملاً اجباری می‌شود. اختلالات متنوعی همچون خرابی دستگاه، بی‌ثباتی زمان فرایند، سفارشات فوری یا لغو شدن سفارش و موجود نبودن مواد وجود دارند که می‌توانند زمانبندی اولیه را مختل نمایند [۲]. در سال‌های اخیر، هدف اصلی بسیاری از محققان طرح مسائل عملی و کاربردی و تلاش برای کاهش شکاف عمیق بین روش‌های تئوری و کاربردی این علم است. لذا پرداختن به مسائل زمانبندی که در صنعت کاربرد عملی دارند از ضرورت‌ها و نیازهای امروز محسوب می‌شود [۳]. در مطالعات پیشین اثر اختلال به صورت مجزا روی شرکت سازنده یا تأمین‌کننده بررسی شده است.

این مقاله به بررسی مساله زمانبندی مجدد در یک زنجیره تأمین سه مرحله‌ای با تمرکز بر یکپارچگی مراحل آن می‌پردازد. به عبارت دیگر هدف تعیین برنامه زمانبندی تولید در تأمین‌کنندگان و زمانبندی حمل و نقل در یک زنجیره تأمین به نحوی است که تغذیه خطوط تولید شرکت سازنده دچار مشکل نشود. در نظر گرفتن جداگانه برنامه‌ریزی تولید در تأمین‌کنندگان و حمل و نقل ممکن است ما را از رسیدن به نقطه بهینه عمومی بازدارد. این امر را می‌توان با یک مثال عددی نشان داد. فرض کنید که در زنجیره تأمین یک تأمین‌کننده و یک وسیله‌ی نقلیه وجود دارند و سه سفارش وجود دارند که باید توسط تأمین‌کننده مورد پردازش قرار گرفته و توسط وسیله‌ی نقلیه به سمت شرکت سازنده حمل گردند. زمان تکمیل هر سفارش زمانی است که سفارش مذکور به شرکت سازنده تحویل داده می‌شود. اندازه هر سه سفارش برابر یک واحد است. زمان پردازش سفارشات ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برابر ۱، ۵ واحد و ۱ واحد و تاریخ‌های تحویل آنها به ترتیب برابر ۱۱، ۱۲ و ۱۳ واحد است. تابع هدف مساله نیز کمینه نمودن مجموع دیرکرد تحویل سفارشات از تاریخ تحویلشان است.

اگر زمانبندی تولید و حمل و نقل بصورت متوالی و مستقل انجام پذیرد، تأمین‌کننده در قسمت زمانبندی تولید ممکن است توالی پردازش سفارشات را بر اساس مرتب نمودن سفارشات به صورت صعودی از تاریخ تحویلشان به دست آورد (شکل ۱).



شکل (۱): توالی پردازش سفارشات در تأمین‌کننده

فرض کنید ظرفیت وسیله‌ی نقلیه برابر ۲ واحد است و این وسیله نقلیه فاصله‌ی بین تأمین‌کننده تا شرکت سازنده را در ۵ واحد زمانی طی می‌کند. بعد از زمانبندی تولید، زمانبندی حمل و نقل بصورت نشان داده شده در شکل (۲) انجام می‌پذیرد. به این ترتیب که بعلا محدودیت ظرفیت وسیله‌ی نقلیه، این وسیله ابتدا دو سفارش ۱ و ۲ را به سمت شرکت سازنده حمل نموده و سپس به سمت تأمین‌کننده بازگشته و سفارش ۳ را به شرکت سازنده حمل می‌کند. در این حالت

یک زنجیره تأمین عمومی را بررسی و یک مدل ریاضی به‌منظور حل مساله ارائه نموده‌اند. تابع هدف مساله آنها کمینه نمودن مجموع هزینه‌های دیرکرد سفارشات، هزینه‌های پردازش، هزینه‌های نگهداری سفارشات و هزینه‌های ثابت و متغیر حمل و نقل است. یانگ و همکاران [۸] به بررسی زمانبندی در یک زنجیره تأمین دو مرحله‌ای با در نظر گرفتن چندین پنجره زمانی تحویل مشترک با هدف کمینه نمودن هزینه‌های حمل و نقل و موجودی پرداخته‌اند. لیو و چن [۹] به بررسی یکپارچگی مسیریابی، کنترل موجودی و زمانبندی در یک زنجیره تأمین پرداخته و پس از مدلسازی ریاضی مساله، یک الگوریتم جستجوی همسایگی به منظور حل مساله ارائه نموده‌اند. تابع هدف مساله کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های موجودی، مسیریابی و استفاده از وسایل نقلیه است. عثمان و دمیرلی [۱۰] به بررسی زمانبندی تحویل و اندازه انباشته اقتصادی در یک زنجیره تأمین سه مرحله‌ای و چند محصولی پرداخته‌اند. آنها یک مدل جدید بر پایه مساله تخصیص مضاعف برای مساله ارائه نموده‌اند که یک سیکل مشترک به منظور هماهنگی در پر و تخلیه شدن انبارها را تعیین می‌کند. آورباخ و بایسان [۱۱] به بررسی مساله زمانبندی بر خط در یک زنجیره تأمین دو سطحی با چند مشتری پرداخته و یک الگوریتم تخمینی برای آن ارائه نموده‌اند. در مساله آنها اختلال عملیات مجاز بوده و تحویل سفارشات بصورت دسته‌ای در نظر گرفته شده است. تابع هدف کمینه نمودن مجموع جریان سفارشات و هزینه‌های تحویل کالاها در نظر گرفته شده است. رن و همکاران [۱۲] یک زنجیره تأمین دو مرحله‌ای را در نظر گرفتند که در آن تعدادی تأمین‌کننده، قطعات مورد نیاز برای یک مونتاژکننده را فراهم می‌آورند. زمان تحویل هر محصول برابر حداکثر زمان تحویل قطعاتی است که تأمین‌کنندگان برای مونتاژکننده فراهم می‌آورند. الریچ [۱۳] به یکپارچگی زمانبندی ماشین آلات و مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی پرداخته است. در تحقیق آنها یک زنجیره تأمین دو مرحله‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. مرحله اول شامل یک محیط ماشین‌های موازی با زمان‌های آمادگی وابسته به ماشین می‌شود. مرحله دوم نیز شامل یک ناوگان وسایل نقلیه با ظرفیت‌های حمل متفاوت می‌باشد. ساویک [۱۴] به بررسی ارتباط زمانبندی با انتخاب تأمین‌کنندگان در حالت وجود ریسک‌های اختلال<sup>۱</sup> پرداخته و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و احتمالی برای مساله ارائه نموده است. تابع هدف، کمینه نمودن هزینه‌ها و افزایش سطح سرویس می‌باشد. ژانگ و وانگ [۱۵] به بررسی مسائل برنامه‌ریزی و زمانبندی فرآیند یکپارچه در محیط کارگاهی برای سیستم تولید انعطاف پذیر پرداخته‌اند و برای حل مساله یک GA با کدگذاری شی‌گرا ارائه داده‌اند.

در ادامه این بخش ادبیات زمانبندی مجدد مرور می‌گردد. جن و همکاران [۱۶] مساله زمانبندی مجدد را در سیستم تولید انعطاف پذیر پیشنهاد کرده‌اند. آنها الگوریتم ابتکاری مبتنی بر جستجوی پرتوی فیلتر شده<sup>۲</sup> را برای حل مساله زمانبندی پویا با اختلال واقعی از مشتری

و سازنده ارائه کرده‌اند. موعد مقرر تحویل و قابلیت اطمینان سیستم تولید، به عنوان معیار در نظر گرفته شده‌اند. نتایج و آنالیز نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در مدیریت اختلال، اثربخشی محاسباتی و کیفیت جواب به خوبی عمل نموده است. ادهیتا و همکاران [۱۷] چارچوبی برای زمانبندی مجدد فعالیت در اختلال غیرعادی برای صنعت پالایشگاه پیشنهاد کرده‌اند. آنها یک گراف عملیات ترکیبی را ارائه کردند که علت و معلول را در بین متغیرها مشخص می‌کند. گراف عملیات زمانبندی رابطه سببی در زمانبندی را نشان می‌دهد و پیامدهای اختلال را تعیین می‌کند. گراف اصلاحی تمام گزینه‌های احتمالی برای برطرف کردن علت اختلال و تسهیل زمانبندی مجدد با تابع مطلوبیت مخصوص کاربر را نشان می‌دهد. لیو و شی [۱۸]، مساله زمانبندی مجدد را برای زمانبندی کار کارگاهی مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها در تحقیق خود با استفاده از برنامه‌ریزی مقید زمان تکمیل کارها را محاسبه نموده‌اند. ژائو و تانگ [۱۹]، مساله زمانبندی مجدد را در حالت تک ماشین مورد بررسی قرار داده و تنها اختلال ناشی از مشتری یعنی سفارش جدید را برای محاسبه زمان تکمیل کارها محاسبه نموده‌اند. آن‌ها در تحقیق خود برای رسیدن به جواب بهینه از الگوریتم چندجمله‌ای استفاده نموده‌اند. یین و همکاران [۲۰] سیستم خبره‌ای برای مساله زمانبندی مجدد پویا در محیط جریان کارگاهی هیبرید در اختلال تصادفی پیشنهاد کرده‌اند. اختلال تصادفی از تأمین‌کننده، سازنده و مشتری با روش ابتکاری مدلسازی شده است. نتایج و آنالیز نشان می‌دهد که سیستم خبره می‌تواند تمام الزامات را برآورده کند. رابریکو و همکاران [۲۱]، مساله زمانبندی مجدد را برای مدیریت انبار تحت عدم قطعیت ورود تصادفی سفارشات جدید مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها در تحقیق خود با استفاده از روش جستجوی محلی زمان سفارش تا تحویل را محاسبه نموده‌اند. پالومبارینی و مارتینز [۲۲]، سیاست اصلاحی را برای مساله زمانبندی مجدد به علت حوادث غیر منتظره مانند تاخیر مواد خام و اختلال در دستگاه‌ها با استفاده از روش انتزاعی نسبی ایجاد نموده‌اند. زکریا و پتروویک [۲۳] مساله زمانبندی مجدد را برای سیستم تولید انعطاف پذیر با اختلال ورود پی‌درپی سفارشات جدید جهت محاسبه زمان تکمیل کارها با استفاده از GA مورد بررسی قرار داده‌اند. یو و پان [۲۴] مساله زمانبندی مجدد را برای محیط جریان کارگاهی با تاخیر عملیات مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها در تحقیق خود با استفاده از برنامه‌ریزی غیر خطی چند هدفه زمان تاخیر را محاسبه نموده‌اند. هوگون و همکاران [۲۵] مساله زمانبندی مجدد را در حالت تک ماشین مورد بررسی قرار داده و زمان راه اندازی را با استفاده از الگوریتم چند جمله‌ای محاسبه نموده‌اند. کاتراجینی و همکاران [۲۶]، مساله زمانبندی مجدد در محیط جریان کارگاهی تحت اختلال را به علت خرابی دستگاه، دریافت کار جدید و تاخیر زمان تحویل بررسی کرده‌اند. آنها مجموعه مناسبی از نمونه‌های جریان کارگاهی را در اجرای رویکرد پیش بینی واکنشی به کار برده‌اند. آنها اصلاح زمانبندی، جستجوی محلی در یک مسیر

به عبارت دیگر نوآوری‌های این مقاله را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

- ترکیب مساله زمان‌بندی تولید در تأمین‌کنندگان با مساله مسیریابی وسایل نقلیه و زمان‌بندی حمل و نقل
- افزودن فرضیاتی نظیر زمان آمادگی سفارشات و زمان فراهم بودن تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه
- ارائه مدل ریاضی برای مساله مذکور
- توسعه یک الگوریتم ژنتیک (GA) برای حل مساله در بخش بعد مفروضات مساله تبیین می‌شوند.

### ۳- تعریف مساله

#### ۳-۱- مفروضات مساله

در دنیای رقابتی این محصولات نهایی هستند که با یکدیگر رقابت می‌کنند. به طور مثال در صنعت خودروسازی، مشتریان در مورد خودروهای نهایی تصمیم به انتخاب (خرید) می‌گیرند. اگر یک خودروساز تنها به بهینه‌سازی خود بپردازد و از بهینه‌سازی تأمین‌کنندگان خود غافل بماند، خودروهایی تحویل بازار خواهد داد که به علی‌نظیر عدم کیفیت قطعات تولید شده توسط تأمین‌کنندگان و یا بالا بودن قیمت تمام شده خودرو (به علت بالا بودن هزینه تمام شده قطعات) نمی‌تواند در بازار به خوبی رقابت کند. از این رو سازمانها باید برای سایر اجزای خود نظیر تأمین‌کنندگان و ناوگان حمل و نقل نیز برنامه‌ریزی‌هایی انجام دهند که سطح یکپارچگی این برنامه‌ریزی‌ها ممکن است متفاوت باشد.

از سوی دیگر همان‌گونه که در بخش مقدمه نشان داده شد، برای رسیدن به نقطه بهینه عمومی باید برنامه‌ریزی تولید و حمل و نقل باید به صورت یکپارچه و نه به صورت جداگانه صورت گیرند.

در این بخش به بررسی مساله زمان‌بندی مجدد در یک زنجیره تأمین سه مرحله‌ای، با تمرکز بر یکپارچگی زمان‌بندی تولید در تأمین‌کنندگان و حمل و نقل پرداخته می‌شود. مرحله اول این زنجیره تأمین شامل تأمین‌کنندگان قطعات، مرحله دوم شامل ناوگان حمل و نقل کالاها و مرحله سوم شامل یک شرکت سازنده محصولات نهایی است. اولین مرحله زنجیره تأمین از  $m$  تأمین‌کننده و مرحله دوم شامل 1 وسیله نقلیه برای حمل سفارش‌ها از تأمین‌کنندگان به یک شرکت سازنده است.

مساله سعی در تعیین موارد زیر به نحوی که مجموع زمان‌های دیرکرد سفارشات کمینه گردد، دارد:

- نحوه تخصیص سفارشات به تأمین‌کنندگان
- تعیین اولویت پردازش سفارشات که به یک تأمین‌کننده تخصیص یافته‌اند.
- تخصیص سفارشات به وسایل نقلیه
- تعیین اولویت حمل سفارشات که به یک وسیله نقلیه تخصیص یافته‌اند.

به عبارت دیگر، هدف تعیین برنامه زمان‌بندی تولید در

واحد، جستجوی محلی کامل و روش حریصانه تکراری را برای بهینه‌سازی کیفیت و ثبات زمان‌بندی به کار برده‌اند. آنالیز نتایج نشان می‌دهد که روش حریصانه تکراری در مقایسه با سایر روش‌های بهتر عمل می‌کند. لیو و ژو [۲۷]، مساله زمان‌بندی مجدد را برای ماشین‌های موازی مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها در تحقیق خود با استفاده از الگوریتم چند جمله‌ای زمان تکمیل کارها و ثبات زمان‌بندی را محاسبه نموده‌اند. لیو و رو [۲۸] مساله زمان‌بندی مجدد را در حالت تک ماشین به با هدف حداقل سازی زمان تکمیل کارها و حداکثر تأخیر بررسی کرده‌اند. آن‌ها در تحقیق خود زمانی را که ماشین در یک دوره زمانی در دسترس نیست را به عنوان اختلال در نظر گرفته و برای حل مساله مذکور از یک الگوریتم بهینه‌سازی شتاب‌دهنده چند جمله‌ای استفاده کرده‌اند. ذگردی و بهشتی‌نیا [۲۹] به بررسی یکپارچگی زمان‌بندی تولید و حمل و نقل در زنجیره تأمین پرداخته‌اند. در مقاله آنها، حمل و نقل‌ها به صورت رفت و برگشتی در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر فاصله بین تأمین‌کنندگانی که اجازه مشارکت و همکاری در حمل سفارشات را دارند، ناچیز در نظر گرفته می‌شود. محاسبات حمل و نقل بین تأمین‌کنندگان نادیده گرفته می‌شود و در واقع مساله مسیریابی مطرح نیست (تفاوت بین مدل‌های ریاضی دو تحقیق این امر را بیشتر روشن می‌کند). اما در این مقاله محاسبات حمل و نقل بین تأمین‌کنندگان نیز در نظر گرفته شده است و مساله مسیریابی نیز مطرح است. علاوه بر این فرضیات زمان آمادگی برای سفارشات و زمان فراهم بودن تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه به مقاله اضافه شده‌اند.

برخی از تحقیقاتی که در ادبیات موضوع وجود دارند، بحث برنامه‌ریزی ریزی حمل و نقل را در مساله در نظر نگرفته‌اند و تنها به برنامه‌ریزی تولید پرداخته‌اند.

از بین تحقیقاتی که به بحث حمل و نقل پرداخته‌اند برخی زمان را به صورت پررودهای زمانی گسسته و برخی دیگر زمان را به صورت پیوسته در نظر گرفته‌اند.

به علاوه در تحقیقاتی که به برنامه‌ریزی حمل و نقل نیز پرداخته‌اند، تنها زمان حمل به صورت یک عدد ثابت به محاسبات افزوده می‌شود و عملاً بحث مسیریابی وجود ندارد. به عبارت دیگر از زمان حمل بین تأمین‌کنندگان چشم‌پوشی می‌شود. در این تحقیق به ترکیب زمان‌بندی تولید و حمل و نقل پرداخته می‌شود که در آن از هیچ یک از فواصل چشم‌پوشی نمی‌شود و عملاً در بخش حمل و نقل با یک مساله مسیریابی سر و کار داریم.

علاوه بر این فرضیاتی نظیر آمادگی سفارشات، در دسترس نبودن وسایل نقلیه و یا آماده نبودن تأمین‌کنندگان در شروع زمان‌بندی جدید پرداخته می‌شود. پس از ارائه مدل عدد صحیح مختلط برای مساله از یک الگوریتم ژنتیک که برای حل مساله توسعه داده می‌شود.

می‌توان زمان پردازش آنها را نزد تأمین‌کنندگان صفر در نظر گرفت که در این صورت تنها زمانبندی حمل برای آنها در نظر گرفته می‌شود.

- سرعت تولید تأمین‌کنندگان می‌تواند متفاوت از یکدیگر باشد. این سرعت بر حسب (ماشین-ساعت) بر (زمان) بیان می‌گردد. اگر سفارش  $i$  دارای زمان پردازش  $p_i$  باشد و به تأمین‌کننده  $s$  تخصیص یابد، زمان واقعی پردازش سفارش  $i$  در مرحله تأمین‌کنندگان از رابطه  $p_i / v'_s$  به دست می‌آید که  $v'_s$  سرعت پردازش تأمین‌کننده  $s$  است.
- با توجه به ماهیت هر سفارش، تمام تأمین‌کنندگان قادر به تولید آن نیستند. بنابراین تخصیص هر سفارش، تنها به برخی از تأمین‌کنندگان مجاز است. این امر در یک ماتریس  $n \times m$  به نام Allow نشان داده می‌شود. ذگردی و بهشتی‌نیا [۲۹] در تحقیق خود تعریف مشابهی از این ماتریس ارائه نموده‌اند. اگر تخصیص سفارش  $i$  به تأمین‌کننده  $s$  مجاز باشد، آنگاه درایه مرتبط با آن در ماتریس Allow برابر ۱ و در غیر اینصورت برابر صفر خواهد بود.
- تأمین‌کنندگان می‌توانند از وسایل نقلیه مشترکی جهت حمل سفارشات به شرکت سازنده استفاده نمایند. به عبارت دیگر یک وسیله نقلیه می‌تواند تولیدات مربوط به چند تأمین‌کننده را در یک محموله به سمت شرکت سازنده منتقل نماید.

در مسایل زمانبندی معمولی فرض می‌شود که تمام تجهیزات از آغاز زمانبندی در اختیار هستند. زمانبندی مجدد زمانی رخ می‌دهد که زمانبندی اولیه به دلیل عدم قطعیت‌های پیش آمده در زنجیره تأمین دچار اختلال شود. در لحظه شروع کار با زمانبندی جدید، تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه ممکن است در دسترس نباشند. به طور مثال یک تأمین‌کننده ممکن است به علت خرابی ماشین‌آلاتش و یا پردازش سفارشات که قبلاً به آن تخصیص یافته و امکان تغییر در تخصیص آنها وجود ندارد (بازه غیر قابل تغییر)، از لحظه صفر قابل دسترسی نباشند. در مورد وسایل نقلیه نیز همین امر ممکن است باعث شود که وسایل نقلیه در دسترس نباشند. علاوه بر این، موقعیت مکانی که هر وسیله نقلیه در لحظه‌ی شروع برنامه‌ریزی قرار دارد، نیز در این امر نقش دارد. از این رو برای تأمین‌کنندگان یک زمان آماده شدن و برای هر وسیله نقلیه زمان دسترسی در نظر گرفته شده است. به عبارتی تأمین‌کننده از همان لحظه اول آماده به کار نبوده و مدت زمانی طول می‌کشد تا آماده برای پردازش سفارش شود.

### ۳-۲- مدل ریاضی مساله

در این بخش یک مدل ریاضی مساله ارائه می‌شود. پارامترهای مساله به شرح زیر می‌باشد:

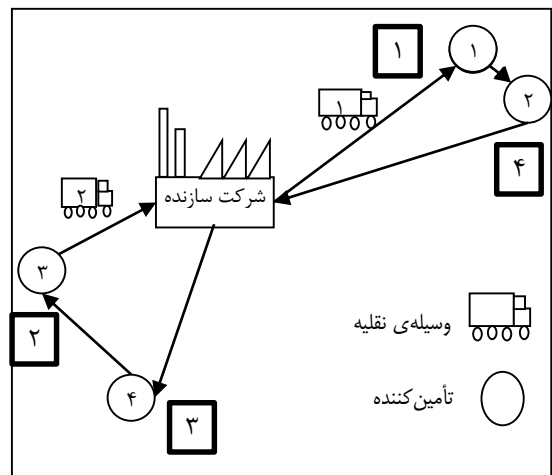
- زمان بارگذاری سفارش  $i$  ام روی یکی از وسایل نقلیه به منظور حمل  $C'_i$
- زمانی که وسیله‌ی نقلیه  $m$  ام، آماده حمل سفارش  $av_{kbi}$

تأمین‌کنندگان و زمانبندی حمل و نقل در یک زنجیره تأمین به نحوی است که تغذیه خطوط تولید شرکت سازنده دچار مشکل نشود.

به منظور تبیین بیشتر در شکل (۴) یک زنجیره تأمین با ۴ سفارش ۴ تأمین‌کننده و ۲ وسیله نقلیه نشان داده شده است. سفارشات ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب به تأمین‌کنندگان شماره ۱، ۳، ۴ و ۲ تخصیص یافته‌اند. وسیله نقلیه شماره ۱ وظیفه حمل سفارشات ۱ و ۴ را برعهده دارد و وسیله نقلیه ۲ نیز باید سفارشات ۲ و ۳ را حمل کند و آنها را به شرکت سازنده انتقال دهد.

سایر مفروضات به صورت زیر است:

- هر سفارش ظرفیت متفاوتی از وسیله نقلیه را اشغال می‌کند. این ظرفیت می‌تواند برحسب وزن یا حجم تعریف شود.
- ظرفیت حمل هر یک از وسایل نقلیه نیز ممکن است متفاوت باشد. ظرفیت حمل یک وسیله نقلیه میزان حجم یا وزنی از کالاها تعریف می‌شود که وسیله نقلیه در یکبار حمل می‌تواند حمل کند. اگر مجموع ظرفیت اشغالی سفارشات تخصیص یافته به یک وسیله نقلیه از ظرفیت آن وسیله نقلیه بیشتر شود، این سفارشات باید در چند دسته حمل شوند که ظرفیت سفارشات هر دسته نباید از ظرفیت وسیله نقلیه بیشتر شود.



شکل (۴): ساختار زنجیره تأمین

- تأمین‌کنندگان در نواحی مختلف جغرافیایی پراکنده‌اند و فواصل بین آنها تا شرکت سازنده و از یکدیگر مشخص و غیر قابل چشم‌پوشی است.
- سرعت حمل وسایل نقلیه ممکن است با یکدیگر تفاوت داشته باشد. این سرعت در کل مسیر ثابت فرض می‌شود. اگر وسیله نقلیه‌ای با سرعت  $v$  مسافتی به اندازه  $dis$  را طی کند، مدت زمان حرکت از رابطه  $dis/v$  به دست می‌آید.
- هر سفارش احتیاج به یک پردازش نزد تأمین‌کنندگان مرتبط با خود دارد. علاوه بر این در مورد قطعاتی که مواد اولیه هستند، متغیرهای تصمیم مدل نیز شامل موارد زیر است:

$$C_{ii}(C_{2i}) \quad \text{زمان تکمیل سفارش } i \text{ در مرحله اول (مرحله دوم)}$$

$$\sum_{m=1}^l \sum_{b=1}^n \sum_{p=1}^n Z_{kbip} = 1; \quad i = 1, \dots, n \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^n Z_{kbip} \leq 1 \quad k = 1, \dots, l; b, p = 1, \dots, n \quad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^n Vol_i \times Z_{kbip} \leq Cap_m \quad k, b = 1, \dots, n \quad (۵)$$

$$C_{1i} \geq r_s + p_i / V'_s - M(1 - x_{is}) \quad i = 1, \dots, n; s = 1, \dots, m \quad (۶)$$

$$\begin{aligned} C_{1i} + M * (2 + y_{iq} - x_{si} - x_{sq}) &\geq C_{1q} + P_i / V'_s \\ C_{1q} + M * (3 - y_{iq} - x_{si} - x_{sq}) &\geq C_{1i} + P_q / V'_s \\ i, q = 1, \dots, n; s = 1, \dots, m; i < q \end{aligned} \quad (۷)$$

$$y_{iq} = 0 \quad i, q = 1, \dots, n; i \geq q \quad (۸)$$

$$\sum_{i=1}^n Z_{kbi(p+1)} \leq \sum_{i=1}^n Z_{kbip} \quad k, b = 1, \dots, n; p = 1, \dots, n-1 \quad (۹)$$

$$\sum_{i=1}^n Z_{k(b+1)i1} \leq \sum_{i=1}^n Z_{kbi1} \quad k = 1, \dots, l; b = 1, \dots, n-1 \quad (۱۰)$$

$$c'_i \geq av_{mbi} - M * (1 - \sum_{p=1}^n V_{kbip}) \quad i, b = 1, \dots, n; k = 1, \dots, l \quad (۱۱)$$

$$c'_i \geq C_{1i} \quad i = 1, \dots, n \quad (۱۲)$$

$$av_{k1i} \geq av_k^0 + dis_s / V_k - M * (2 - Z_{k1i1} - x_{is}) \quad i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, l; s = 1, \dots, m \quad (۱۳)$$

$$av_{kbi} \geq C_{2q} + dis_s / V_k - M * (3 - Z_{kbi1} - Z_{k(b-1)q1} - x_{is}) \quad i, q = 1, \dots, n; k = 1, \dots, l; s = 1, \dots, m; b = 2, \dots, n \quad (۱۴)$$

$$av_{kbi} \geq c'_q + dis_{s's} / V_k - M * (4 - Z_{kbp} - Z_{kbi(p+1)} - x_{qs'} - x_{is}) \quad i, q, b = 1, \dots, n; k = 1, \dots, l; s, s' = 1, \dots, m; p = 1, \dots, n-1 \quad (۱۵)$$

$$C_{2i} \geq c'_q + dis_s / V_k - M * (3 - \sum_{p=1}^n Z_{kbip} - \sum_{p=1}^n Z_{kbp} - x_{qs'}) \quad k = 1, \dots, l; i, q, b = 1, \dots, n; s = 1, \dots, m \quad (۱۶)$$

$$T_i \geq C_{2i} - d_i \quad i = 1, \dots, n \quad (۱۷)$$

$$x_{si} = 0 \quad i = 1, \dots, n; s = 1, 2, \dots, m | Allow(i, s) = 0 \quad (۱۸)$$

مجموعه محدودیت ۲ بیانگر این مطلب است که هر سفارش تنها باید به یک تأمین کننده تخصیص داده شود. مجموعه محدودیت ۳ بیانگر این مطلب است که هر سفارش تنها به یک وسیله نقلیه و به یک محموله از آن باید تخصیص یابد. مجموعه محدودیت ۴ بیانگر این مطلب است که یک سفارش نمی‌تواند به بیش از یک موقعیت در محموله‌ها و وسایل نقلیه تخصیص یابد. مجموعه محدودیت ۵ تضمین می‌کند در هر محموله مجموع فضای اشغالی توسط سفارشات تخصیص یافته به یک وسیله نقلیه نباید از ظرفیت آن وسیله نقلیه بیشتر شود. مجموعه محدودیت ۶ زمان تکمیل هر سفارش در مرحله تأمین کنندگان را در نظر می‌گیرد. مجموعه محدودیت ۷ بیان می‌کند که هر تأمین کننده نمی‌تواند در هر لحظه بیش از یک سفارش را مورد پردازش قرار دهد. مجموعه محدودیت ۸ مقداری از متغیرهای زاید را حذف می‌کند. مجموعه محدودیت ۹ تضمین می‌کند که اگر به اولویت

$n$	تعداد سفارشات
$m$	تعداد تأمین کنندگان
$l$	تعداد وسایل نقلیه
$q, i$	اندیس سفارش
$p$	اندیس اولویت حمل
$s, s'$	اندیس تأمین کنندگان
$k$	اندیس وسایل نقلیه
$b$	اندیس محموله
$Vol_i$	ظرفیت اشغالی توسط سفارش $i$
$Cap_k$	ظرفیت حمل وسیله‌ی نقلیه $m$ بر حسب تعداد سفارشات
$p_i$	زمان پردازش سفارش $i$ ام
$d_i$	موعد تحویل سفارش $i$ ام
$dis_s$	فاصله تأمین کننده‌ی $s$ و شرکت سازنده
$diss_{s'}$	فاصله بین تأمین کننده‌ی $s$ و $s'$
$V'_s$	سرعت تولید تأمین کننده $s$
$V_k$	سرعت حمل وسیله نقلیه $k$
$r_s$	زمان آماده به کار تأمین کننده $s$ (قبل این زمان تأمین کننده مشغول پردازش سفارشات زمانبندی اولیه می‌باشد)
$av_k^0$	زمان آماده بودن وسیله نقلیه $k$ در ابتدای زمانبندی مجدد
$Allow$	یک ماتریس $n \times m$ که درایه‌های آن مقادیر صفر و یک دارند. اگر تأمین کننده $s$ قادر به پردازش سفارش $i$ باشد، آنگاه مقدار درایه $(i, s)$ در این ماتریس باید برابر ۱ باشد در غیر اینصورت باید برابر صفر در نظر گرفته شود.
$M$	یک عدد بزرگ مثبت
$i$	در $i$ امین ماموریت خود است
$x_{si}$	اگر سفارش $i$ ام به تأمین کننده $s$ ام داده شود برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر است.
$y_{iq}$	اگر در مرحله تأمین کنندگان سفارش $i$ قبل از سفارش $q$ قرار گیرد برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر است.
$Z_{kbip}$	اگر اولویت حمل $p$ در $b$ امین حمل به وسیله‌ی نقلیه $k$ مربوط به سفارش $i$ ام باشد برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر است.
$T_i$	میزان دیرکرد سفارش $i$ ام

شایان ذکر است که حداکثر تعداد محموله‌های مربوط به یک وسیله نقلیه برابر تعداد سفارش‌ها ( $n$ ) است. این حالت وقتی رخ می‌دهد که تمام سفارش‌ها به یک وسیله نقلیه تخصیص داده شوند و ظرفیت آن وسیله نقلیه برابر ۱ باشد. مدل ریاضی مساله به صورت زیر است:

$$Min Z = \sum_{i=1}^n T_i \quad (۱)$$

$$\begin{aligned} S.to: \\ \sum_{s=1}^m x_{si} = 1; \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (۲)$$

شایستگی مربوطه، به آن اختصاص می‌یابد. جمعیت اولیه در طول چند نسل افزایش می‌یابد. در هر نسل کروموزوم‌های جدید توسط عملگرهای مختلف ژنتیک مانند جهش و تلفیق تولید می‌شوند. کروموزوم‌های نسل بعد توسط یک معیار و با توجه به تابع مطلوبیتشان از نسل قبل انتخاب می‌شوند. این رویه تا زمانی که شرط توقف ارضاء شود تکرار می‌شود.

ساختار کروموزوم: ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک ارائه شده دو بعدی است. بعد عمودی نشان‌دهنده تامین‌کنندگان و وسایل نقلیه و بعد افقی نشان‌دهنده سفارشات تخصیص یافته و ترتیب آنها به هر یک از تامین‌کنندگان و وسایل نقلیه است. برای هر یک از تامین‌کنندگان و وسایل نقلیه یک رشته آرایه وجود دارد که طول و ترتیب عناصر آن نشان‌دهنده تعداد و ترتیب سفارش‌های تخصیص یافته به آن تامین‌کننده یا وسیله نقلیه است. اگر تعداد سفارش‌های تخصیص یافته به تامین‌کنندگان یا وسیله نقلیه کم یا زیاد شود، طول رشته متناظر نیز کم یا زیاد خواهد شد. به عبارت دیگر بر خلاف ساختارهای کروموزوم متداول در الگوریتم ژنتیک که یک بعدی بوده و طول رشته در آنها ثابت است، در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ساختار کروموزوم دو بعدی بوده و طول رشته‌ها نیز در آن متغیر است.

بمنظور توضیح بیشتر، فرض کنید ۵ سفارش، ۳ تامین‌کننده و ۲ وسیله نقلیه داریم. وسیله نقلیه اول قادر به حمل دو محموله و وسیله نقلیه دوم قادر به حمل سه محموله است. فرض کنید تخصیص سفارش‌ها به تامین‌کنندگان و وسایل نقلیه و همچنین اولویت پردازش و حمل آنها به صورت جدول (۱) باشد. آنگاه ساختار کروموزومی که بیان‌کننده تخصیص جدول (۱) باشد، بصورت نشان داده شده در شکل (۵) خواهد بود. در ادامه سایر پارامترها و عملگرهای الگوریتم ژنتیک شرح داده می‌شوند.

جدول (۱): سفارش‌های تخصیص یافته و ترتیب آنها

تامین‌کننده ۱	۱
تامین‌کننده ۲	۲→۳→۵
تامین‌کننده ۳	۴
وسيله نقلیه ۱	۵→۳→۱→۴
وسيله نقلیه ۲	۲

تامین‌کننده ۱	۱			
تامین‌کننده ۲	۲	۳	۵	
تامین‌کننده ۳	۴			
وسيله نقلیه ۱	۵	۳	۱	۴
وسيله نقلیه ۲	۲			

شکل (۵): ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک

نحوه فرایند الگوریتم ژنتیک پیشنهادی به صورت زیر است:

**گام ۱- ایجاد جمعیت اولیه:** جمعیت اولیه‌ای از کروموزوم‌های تصادفی ایجاد کنید. تعداد جمعیت توسط پارامتری بنام  $popsiz$  مشخص می‌گردد.

$p$  محموله  $b$ ام از وسیله نقلیه  $k$ ام سفارشی تخصیص نیابد، نمی‌توان به اولویت  $p+1$  ام آن محموله سفارشی تخصیص داد. مجموعه محدودیت ۱۰ تضمین می‌کند که اگر به محموله  $b$ ام از وسیله نقلیه  $k$ ام سفارشی تخصیص نیابد، نمی‌توان به محموله  $b+1$  ام آن سفارشی تخصیص داد. مجموعه محدودیت ۱۱ و ۱۲ بیان‌کننده این مطلب است که زمان بارگذاری هر سفارش برابر بیشینه زمان تکمیل پردازش سفارش و زمان آماده بودن وسیله نقلیه مرتبط برای حمل آن است. مجموعه محدودیت ۱۳ زمان آماده بودن یک وسیله نقلیه برای حمل سفارشی که به اولویت اول اولین محموله آن اختصاص یافته است را تعیین می‌کند. مجموعه محدودیت ۱۴ زمان آماده بودن یک وسیله نقلیه برای حمل سفارشی که به اولویت اول یک محموله اختصاص یافته است، را با توجه به زمان تحویل سفارشات محموله قبلی، مقصد محموله قبلی و زمان حمل تا تامین‌کننده مرتبط تعیین می‌کند. مجموعه محدودیت ۱۵ زمان آماده بودن یک وسیله نقلیه برای حمل سفارشی که به یک محموله اختصاص یافته است را با توجه به زمان بارگذاری سفارش اولویت حمل قبلی و زمان حمل بین تامین‌کنندگان مرتبط تعیین می‌کند. مجموعه محدودیت ۱۶ زمان تحویل یک سفارش را با توجه به زمان بارگذاری کلیه سفارشات متعلق به محموله خود و مقصد آن تعیین می‌کند. مجموعه محدودیت ۱۷ مقدار دیرکرد هر سفارش را مشخص می‌کند. مجموعه محدودیت ۱۸ نیز از اختصاص سفارشات به تامین‌کنندگان غیرمجاز جلوگیری می‌کند. به جز متغیرهای صفر و یک تعریف شده، سایر متغیرهای مدل غیر منفی هستند.

#### ۴- روش حل

حالت خاصی از مساله که تنها یک تامین‌کننده و یک وسیله نقلیه وجود داشته باشد، سرعت تمام تامین‌کنندگان و وسایل نقلیه برابر ۱ باشد و زمان در دسترس بودن و آمادگی وسایل نقلیه و تامین‌کنندگان برابر صفر باشد، تبدیل به یک مساله ساده‌تر می‌شود که توسط چانگ و لی [۳۰] مطرح شده است. آنها نشان دادند که مساله مورد بررسی توسط آنها دارای پیچیدگی از نوع NP-hard است. البته تابع هدف مساله آنها از نوع  $Cmax$  است و بر اساس تئوری سلسله مراتبی پیچیدگی [۳۱] می‌توان نتیجه گرفت که مساله آنها با تابع هدف مجموع دیرکرد دارای پیچیدگی بیشتری است. از این رو مساله مورد بررسی در این تحقیق که حالت جامع‌تری از مساله مذکور است نیز از نوع NP-hard است. به علت NP-hard بودن مساله، استفاده از روش‌های دقیق برای حل مساله مذکور در زمان معقول ممکن نیست و باید از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری برای حل مساله استفاده نمود. بعلا اینک در ادبیات موضوع استفاده از الگوریتم ژنتیک از اقبال بیشتری نسبت به سایر روش‌های فراابتکاری برخوردار بوده است، بنابراین در این مقاله سعی شد از الگوریتم ژنتیک به منظور حل مساله استفاده شود. در الگوریتم ژنتیک هر جواب بالقوه به عنوان یک کروموزوم در جمعیت اولیه در نظر گرفته می‌شود و تابع

مشابه تخصیص و توالی سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان در کروموزوم  $P_1$  و در غیر اینصورت بر اساس تخصیص و توالی سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان در کروموزوم  $P_2$  بدست می‌آید. به همین ترتیب اگر مقدار عنصر دوم کمتر از عدد  $r$  باشد، آنگاه تخصیص و اولویت حمل سفارش‌ها به وسایل نقلیه در کروموزوم حاصل از عمل تلفیق، مشابه تخصیص و اولویت حمل سفارش‌ها به وسایل نقلیه در کروموزوم  $P_1$  و در غیر اینصورت بر اساس تخصیص و اولویت حمل سفارش‌ها در کروموزوم  $P_2$  بدست می‌آید.

**گام ۳- انجام عمل جهش:** تعداد تکرار عملگر جهش در هر تکرار ثابت و توسط ضریبی از  $popsize$  به نام  $mut\_rate$  مشخص می‌گردد که از پارامترهای الگوریتم است. عمل جهش در دو فاز صورت می‌پذیرد که نحوه انجام هر عمل جهش به صورت زیر است:

گام ۳-۱- ابتدا یک کروموزوم بصورت تصادفی انتخاب کنید.

گام ۳-۲- در فاز اول، رشته مربوط به یکی از تأمین‌کنندگان یا وسایل نقلیه را انتخاب کرده و دو ژن از ژن‌های تخصیص داده شده به رشته انتخابی را بصورت تصادفی انتخاب کنید. سپس توالی ژن‌ها بین دو ژن انتخابی (روی رشته انتخابی) را معکوس کنید.

گام ۳-۳- در فاز دوم، دو ژن را به صورت تصادفی انتخاب و جای این دو ژن را در هر دو قسمت تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه با یکدیگر تعویض کنید.

**گام ۴- بررسی معیار توقف:** اگر بهترین مقدار تابع شایستگی کروموزوم‌ها در چند نسل متوالی بهبودی نیابد، الگوریتم را خاتمه دهید. تعداد این تکرارهای متوالی با  $termination$  نشان داده می‌شود. در صورتیکه معیار توقف محقق نشده است به گام ۵ بروید.

**گام ۵- انتخاب نسل بعدی:** برای انتخاب جمعیت بعدی ابتدا تمامی کروموزوم‌ها را بر اساس تابع شایستگی‌شان به صورت نزولی مرتب کنید. سپس ۱۰ درصد کروموزوم‌هایی که دارای بهترین مقدار تابع شایستگی هستند را به نسل بعد منتقل کنید. ۹۰ درصد کروموزوم‌های باقیمانده را نیز از طریق چرخ رولت انتخاب کنید و به گام ۲ بازگردید.

پس از اجراهای مختلف روی مسائل متعدد به صورت تجربی مشخص شد که مقادیری که منجر به نتایج بهتری می‌شوند عبارتند از: برای پارامتر  $popsize$  مقدار ۱۰۰ مناسب تشخیص داده شده است. همچنین مقدار ۱۰۰ برای پارامتر  $termination$ ، مقدار  $0/6$  برای پارامتر  $cross\_rate$  و مقدار  $0/8$  برای پارامتر  $mut\_rate$  در نظر گرفته شد.

## ۵- آزمایشات عددی

در این بخش ابتدا مسائل مختلف، با اندازه‌های مختلف، مورد بررسی قرار گرفته و سپس به مقایسه و ارزیابی الگوریتم پرداخته می‌شود.

### ۵-۱- تولید داده‌های تصادفی برای مساله

مساله مورد بررسی دارای پارامترهای مختلفی می‌باشد که برای برخی از آنها سطوحی چون بالا، پایین و متوسط در نظر گرفته شده و

تولید هر کروموزوم به صورت زیر صورت می‌پذیرد:

گام ۱-۱- یک جایگشت تصادفی از سفارشات ایجاد کنید.

گام ۱-۲- سفارشات را به ترتیب جایگشتی که در گام ۱ به دست آمده است به صورت تصادفی و با توجه به ماتریس Allow به یکی از تأمین‌کنندگان مجاز اختصاص دهید.

گام ۱-۳- سفارشات را به ترتیب جایگشتی که در گام ۱ به دست آمده است به صورت تصادفی به یکی از وسایل نقلیه اختصاص دهید.

گام ۱-۴- مقدار تابع هدف هر کروموزوم را محاسبه کنید. نحوه محاسبه تابع هدف هر کروموزوم به صورت زیر است:

گام ۱-۴-۱- زمانبندی سفارشات در مرحله تأمین‌کنندگان را بر اساس تخصیص و اولویت پردازش مشخص شده در کروموزوم مربوطه، زمان آمادگی هر تأمین‌کننده، زمان پردازش هر سفارش و سرعت تولید تأمین‌کننده مرتبط انجام دهید.

گام ۱-۴-۲- سفارشات را به محموله‌های مختلف وسایل نقلیه به صورت زیر اختصاص دهید:

گام ۱-۴-۲-۱- اولویت سفارش‌های اختصاص داده شده به وسیله‌ی نقلیه مورد نظر را براساس ساختار کروموزوم در نظر بگیرید.

گام ۱-۴-۲-۲- سفارش با اولویت اول را به اولین محموله ( $B_1$ ) اختصاص دهید.

گام ۱-۴-۲-۳- به همین ترتیب سفارشی که بالاترین اولویت حمل را داشته و هنوز به محموله‌ها تخصیص نیافته است را در نظر بگیرید و آن را به دسته دارای کوچکترین اندیس اختصاص دهید، بطوریکه مجموع ظرفیت اشغالی سفارشات تخصیص داده شده به هر دسته از ظرفیت وسیله نقلیه بیشتر نشود. در صورتی که اندازه سفارش‌های تخصیص داده شده به هر دسته از ظرفیت ماشین بیشتر می‌شود دسته جاری را بسته و یک دسته دیگر با اندیس جدید ایجاد کنید.

گام ۱-۴-۳- پس از اتمام دسته بندی سفارشات به زمانبندی حمل سفارشات پردازید و مقدار تابع هدف متناظر با کروموزوم را محاسبه کنید. زمانبندی حمل سفارشات هر محموله با توجه به مواردی چون زمان آماده بودن وسیله نقلیه، اولویت حمل، زمان تکمیل هر سفارش در مرحله تولید، مکانی که سفارش باید از آنجا حمل شود (تأمین‌کننده مربوطه)، فواصل و سرعت وسیله نقلیه مربوطه محاسبه می‌شود.

**گام ۲- انجام عمل تلفیق:** تعداد عملیات تلفیق در هر تکرار ثابت و توسط ضریبی از  $popsize$  به نام  $cross\_rate$  که از پارامترهای الگوریتم ژنتیک است، مشخص می‌شود. نحوه انجام هر عمل تلفیق به صورت زیر است:

گام ۲-۱- دو کروموزوم بصورت تصادفی انتخاب کنید. کروموزومی که دارای تابع شایستگی بهتری است را  $P_1$  و کروموزومی که دارای تابع شایستگی بدتری است را  $P_2$  بنامید.

گام ۲-۲- سپس یک آرایه دوتایی از اعداد حقیقی بین صفر و یک ایجاد کنید. اگر مقدار عنصر اول کمتر از عدد  $r$  (که از پارامترهای الگوریتم است و مقداری بین صفر و یک دارد) باشد، آنگاه تخصیص و توالی سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان در کروموزوم حاصل از عمل تلفیق،





در این جدول میانگین زمانهای حل توسط هر یک از الگوریتم‌ها نیز محاسبه شده‌اند.

نتایج نشان‌دهنده برتری الگوریتم ژنتیک پیشنهادی نسبت به RS در تمام حالات است. با بررسی نتایج بدست آمده، مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد سفارش‌ها، میانگین جواب‌های بدست آمده از هر دو روش افزایش پیدا می‌کند. همانطور که مشاهده می‌شود در تعداد سفارش‌های کم دو الگوریتم جواب نسبتاً نزدیکی ارائه می‌دهند اما در سفارش‌های زیاد و انبوه جواب حاصل از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی با اختلاف زیادی نسبت به دیگر الگوریتم مورد مقایسه بهتری باشد. همچنین هنگامی که تعداد تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه متعادل باشد (حالت ۱) میانگین جواب‌ها کاهش می‌یابد اما در صورتیکه در این مرحله گلوگاه وجود داشته باشد (حالت ۲) میانگین جواب‌ها افزایش می‌یابد. همچنین هنگامی که زمان پردازش سفارش‌ها در مرحله تأمین‌کنندگان کم باشد (حالت ۲)، میانگین جواب‌ها نیز کاهش می‌یابد. با افزایش ظرفیت حمل هر یک از وسایل نقلیه میانگین زمان تاخیر تکمیل کلیه سفارش‌ها در هر دو الگوریتم کاهش داشته است.

به علاوه نتایج نشان‌دهنده برتری الگوریتم ژنتیک پیشنهادی نسبت به تعمیم الگوریتم ریچ برای مساله نیز می‌باشد. از نظر زمانی نیز برتری قابل ملاحظه‌ای در مورد هر یک از الگوریتم‌ها مشاهده نمی‌شود.

جدول ۳ نتایج حاصل از مقایسه الگوریتم پیشنهادی با جواب بهینه برای چند مساله تصادفی با ابعاد کوچک را نشان می‌دهد. جواب بهینه با استفاده از اجرای مدل توسط نرم افزار GAMS به دست آمده است. در این جدول هر مساله با سه عدد نشان داده شده است. عدد اول تعداد سفارشات، عدد دوم تعداد تأمین‌کنندگان و عدد سوم تعداد وسایل نقلیه را نشان می‌دهد. سایر پارامترهای مساله بر مبنای توزیع‌های مشخص در مقایسه قبلی ایجاد شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در بیشتر مواقع نتایجی برابر با جواب بهینه داده است و در مواردی که اختلاف وجود دارد، این اختلاف کم است. همچنین زمان حل الگوریتم پیشنهادی خیلی کمتر از زمان حل بهینه می‌باشد.

به منظور ارزیابی بیشتر کارایی الگوریتم ژنتیک پیشنهادی این الگوریتم با روش حل مساله‌ی در نظر گرفته شده توسط چانگ و لی [۳۰] مقایسه شده است. آنها همین مساله را برای حالت وجود ۲ شرکت سازنده و ۱ وسیله نقلیه با فرض یکسان بودن سرعت تولید

به نسل بعد انتخاب می‌شوند. اما در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ریچ، برخلاف الگوریتم‌های ریچ، اندازه جمعیت در هر نسل ثابت است و فقط کروموزوم‌ها به سه طریق به نسل بعد منتقل می‌شوند. روش اول عملگر انتخاب است که بر اساس آن یک کروموزوم به صورت مستقیم و بر اساس عملگر چرخ رولت برای رفتن به نسل بعد انتخاب می‌شود. در روش دوم که تلفیق است، دو کروموزوم از نسل فعلی انتخاب شده و روی آنها عمل جهش اعمال می‌شود و فرزندان ایجاد شده به نسل بعد می‌روند. در روش سوم نیز که جهش نام دارد، یک کروموزوم انتخاب شده و پس از عمل جهش، کروموزوم جهش یافته به نسل بعد منتقل می‌شود. گام‌های این الگوریتم به شرح زیر است:

گام ۱: جمعیت اولیه را به صورت تصادفی ایجاد کنید.  
گام ۲: سه عملگر جهش، ترکیب و انتخاب را تعریف کنید.  
گام ۳: به صورت تصادفی و با احتمال یکسان، یکی از عملگرهای جهش، ترکیب و یا انتخاب را به طور تصادفی انتخاب کنید. با انتخاب یک کروموزوم توسط روش چرخ رولت (در صورت انتخاب عمل تلفیق، دو کروموزوم)، عملگر انتخابی روی کروموزوم (کروموزوم‌های) انتخابی اعمال می‌شود و نتیجه به نسل بعدی منتقل می‌شود. این عمل را تا جایی انجام می‌دهیم که تعداد اعضای جمعیت جدید برابر با جمعیت قبلی شود.  
گام ۴: اگر شرط خاتمه محقق شده است الگوریتم را خاتمه دهید، در غیر اینصورت به گام ۳ بروید.

۵۴ مساله تصادفی ایجاد شده را از نظر تعداد سفارشات می‌توان به ۳ دسته افراز نمود. دسته اول مسایلی هستند که تعداد سفارشات آنها برابر ۱۰ است. دسته‌های دوم و سوم نیز شامل مسایلی هستند که تعداد سفارشات در آنها به ترتیب ۵۰ و ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. هر دسته شامل ۱۸ (۱۸ = ۵۴/۳) مساله می‌شود که میانگین جواب‌های به دست آمده از حل آنها توسط هر یک از الگوریتم‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. به همین ترتیب این ۵۴ مساله را می‌توان از نظر تعداد تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه (و همچنین زمان پردازش و مسافت‌ها) به سه دسته ۱۸ تایی دیگر افراز نمود که میانگین جواب‌های به دست آمده از حل هر دسته از مسایل توسط هر یک از الگوریتم‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. این ۵۴ مساله از نظر ظرفیت حمل وسایل نقلیه به دو دسته ۲۷ تایی (۲۷ = ۵۴/۲) افراز می‌شوند. در جدول (۲) میانگین جواب‌های به دست آمده از حل مسایل این دسته‌ها توسط هر یک از الگوریتم‌ها نمایش داده شده است. علاوه بر این، نتایج هر ۵۴ مساله نیز در این جدول قابل مشاهده است.

علاوه بر میانگین جواب‌های به دست آمده از هر یک از الگوریتم‌ها

جدول (۲): مقایسه نتایج GA با الگوریتم‌های RS و Ullrich

پارامتر	سطح	مقدار پارامتر	میانگین جواب‌ها			میانگین زمان حل (ثانیه)	
			GA	RS	Ullrich	GA-RS	Ullrich
تعداد سفارش‌ها	کم	۱۰	۲۵۱,۱۸	۲۸۹,۲۸	۲۴۹,۱۳	۱۲,۴۹	۱۲,۶۱
	متوسط	۵۰	۲۱۳۸,۰۹	۳۲۰۰,۶۲	۲۶۳۵,۷۶	۱۶۹,۹	۱۷۳,۵۷
	بالا	۱۰۰	۷۸۷۶,۵۹	۱۲۹۶۲,۰۸	۹۷۱۲,۴۸	۵۹۵,۵۹	۵۹۶,۸۶
تعداد تامین‌کنندگان و وسایل نقلیه	حالت ۱	متعادل	۱۸۷۱,۲۸	۲۸۱۷,۵۳	۲۳۴۴,۱۵	۲۵۶,۱	۲۷۴,۳۲
	حالت ۲	نامتعادل	۴۲۲۷,۲۳	۶۷۷۲,۵۱	۵۶۷۹,۸۷	۲۵۴,۷	۲۲۸,۷۵
	حالت ۳	نامتعادل	۴۱۶۷,۳۶	۶۸۶۱,۹۴	۴۵۷۳,۳۵	۲۶۷,۱۹	۲۷۹,۹۸
زمان پردازش و مسافتها	حالت ۱	متعادل	۳۰۳۲,۷۹	۵۲۶۴,۰۱	۴۲۸۴,۲۱	۲۶۱,۵	۲۷۹,۹۳
	حالت ۲	نامتعادل	۲۲۱۶,۳۷	۳۸۹۵,۴۶	۲۷۲۰,۲۹	۲۷۸,۸۷	۲۹۷,۶۳
	حالت ۳	نامتعادل	۵۰۱۶,۷	۷۲۹۲,۵۲	۵۵۹۲,۸۶	۲۳۷,۶۲	۲۰۵,۴۹
ظرفیت وسایل نقلیه	سطح ۱	U[8,13]	۳۴۵۸,۳۹	۵۶۷۹,۸	۴۷۸۷,۵	۲۶۶,۶۲	۲۵۹,۳۲
	سطح ۲	U[13,23]	۳۳۸۵,۵۳	۵۲۸۸,۱۹	۳۶۱۰,۷۵	۲۵۲,۰۴	۲۶۲,۷۲
تمام مسائل			۳۴۲۱,۹۵	۵۴۸۳,۹۹	۴۱۹۹,۱۲	۲۵۹,۳۳	۲۶۱,۰۲

به منظور انجام مقایسات تعدادی مسایل تصادفی با همان ساختار قبلی ایجاد شد. با این تفاوت که تعداد تأمین‌کنندگان برابر ۲ و تعداد وسایل نقلیه برابر ۱ در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور حفظ تعداد مسایل تصادفی مانند قبل از هر حالت سه مساله تولید شده است. نتایج مقایسات نشان از برتری کیفیت جواب‌های الگوریتم ژنتیک دارد. هر چند الگوریتم آنها در تمام حالات زمان حلی کمتر از ۱ ثانیه دارد (جدول ۴).

جدول (۳): مقایسه نتایج GA با جواب بهینه

مشخصات مساله	جواب بهینه		الگوریتم پیشنهادی	
	جواب	زمان حل (ثانیه)	جواب	زمان حل (ثانیه)
۶×۲×۲	۸,۰۸	۱۴۵۵	۸,۰۸	۳۹
۶×۴×۴	۱۰,۰۱	۴۴	۱۰,۰۱	۲۹
۶×۴×۳	۱۱,۷۲	۵۹	۱۲,۲۹	۳۳
۷×۳×۲	۱۳,۱۱	۲۳۷۳	۱۳,۱۱	۳۹
۷×۳×۱	۲۱,۸۳	۶۲۲	۲۱,۸۳	۴۱
۷×۴×۳	۱۶,۵۷	۸۲۰	۱۶,۷۵	۶۸
۷×۴×۲	۱۸,۴۹	۶۳۷	۱۹,۳۳	۳۵
۷×۳×۵	۱۲,۹۳	۲۵۴۴	۱۲,۹۳	۴۵
۷×۳×۴	۱۶,۰۷	۴۵۴	۱۶,۰۷	۵۰
۷×۳×۳	۱۶,۷۷	۴۸۵	۱۷,۵۰	۲۹

## ۶- خلاصه، نتیجه گیری و زمینه‌های آتی

زمانبندی مجدد جزئی از فرآیند تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین بسیاری از صنایع تولیدی محسوب می‌شود که نقش مهمی را در برآورده سازی نیازهای مشتریان ایفا می‌نماید. در این مقاله مساله زمانبندی مجدد در یک زنجیره تأمین سه مرحله‌ای با تاکید روی یکپارچگی مراحل آن و با فرض در دسترس نبودن وسایل نقلیه یا آماده نبودن تأمین‌کنندگان مورد بررسی قرار گرفت. مرحله اول شامل تأمین‌کنندگان، مرحله دوم شامل ناوگان حمل و نقل کالاها و مرحله سوم شامل یک شرکت سازنده محصولات نهایی می‌شود.

تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه و قابل صرف‌نظر بودن زمان حمل بین تأمین‌کنندگان (مقدار زمان برابر صفر) نموده‌اند و یک الگوریتم ابتکاری برای حل مساله ارائه داده‌اند. آنها اثبات کرده‌اند که جواب الگوریتم پیشنهادی‌شان در بدترین حالت دو برابر جواب بهینه است. الگوریتم ارائه شده توسط آنها ابتدا کارها را بر اساس الگوریتم FFD بسته بندی می‌کند. این الگوریتم بصورت زیر است:

کارها را بصورت غیر افزایشی از حجم اشغالی‌شان مرتب کنید.

کار با بزرگترین حجم را به اولین بسته (B<sub>1</sub>) اختصاص دهید.

به همین ترتیب [J] امین کار از نظر بزرگی را در نظر گرفته و آنرا به بسته دارای کوچکترین اندیس اختصاص دهید، بطوریکه اندازه کارهای تخصیص داده شده به هر بسته از ظرفیت بسته بیشتر نشود. پس از بسته بندی کارها به صورت زیر زمانبندی می‌شوند:

الگوریتم ابتکاری چانگ و لی نیز به صورت زیر می‌باشد:

گام ۱: کارها را به بسته‌ها بوسیله الگوریتم FFD اختصاص

دهید. فرض کنید تعداد کل بسته‌های نتیجه شده برابر b<sub>HI</sub> باشد.

گام ۲: به ازای b<sub>HI</sub>, k=1, ..., مجموعه زمان‌های پردازش

کارهای متعلق به دسته B<sub>k</sub> را محاسبه کنید و آنرا با P<sub>k</sub> نشان دهید. بسته‌ها را مجدداً طوری اندیس گذاری کنید که

$$P_1 \leq P_2 \leq \dots \leq P_{H_2}$$

گام ۳: از B<sub>1</sub> شروع کرده و به ازای b<sub>HI</sub>, k=1, ..., به ترتیب

کارهای درون دسته B<sub>k</sub> را به یکی از دو ماشینی تخصیص دهید که کمتر از ماشین دیگر بارگذاری شده است. (تمام کارهای متعلق به یک بسته باید به یک ماشین تخصیص داده شوند). کارهای درون هر بسته می‌توانند هر توالی دلخواهی را داشته باشند.

گام ۴: هنگامی که یک وسیله نقلیه آماده بارگیری شد، بسته

های تکمیل شده اما تحویل داده نشده را ارسال کنید. اگر چند دسته آماده ارسال هستند، اولویت ارسال با دسته ای است که دارای کوچکترین اندیس است.

مونتاز موازی با هدف کمینه‌سازی حداکثر دوره ساخت، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۲(۴): ۵۳-۳۹.

[4] Yimer, A. D., Demirli, K. (2010). A genetic approach to two-phase optimization of dynamic supply chain scheduling, *Computers & Industrial Engineering*, 58(3): 411-422.

[5] Averbakh, I. (2010). On-line integrated production-distribution scheduling problems with capacitated deliveries, *European Journal of Operational Research*, 200(2): 377-384.

[6] Rostamian Delavar, M., Hajiaghahi-Keshteli, M. and Molla-Alizadeh-Zavardehi, S. (2010). Genetic algorithms for coordinated scheduling of production and air transportation, *Expert Systems with Applications*, 37(12): 8255-8266.

[7] Scholz-Reiter, B., Frazzon, E. M., Makuschewitz, T. (2010). Integrating manufacturing and logistics systems along global supply chains, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(3): 216-223.

[8] Yeung, W., Choi, T., Cheng, T.C.E. (2011). Supply chain scheduling and coordination with dual delivery modes and inventory storage cost. *International Journal of Production Economics*, 132(2): 223-229.

[9] Liu, S., Chen, A. (2012). Variable neighborhood search for the inventory routing and scheduling problem in a supply chain, *Expert Systems with Applications*, 39(4): 4149-4159.

[10] Osman, H., Demirli, K. (2012). Economic lot and delivery scheduling problem for multi-stage supply chains, *International Journal of Production Economics*, 136(2): 275-286.

[11] Averbakh, I., Baysan, M. (2013). Approximation algorithm for the on-line multi-customer two-level supply chain scheduling problem. *Operations Research Letters*, 41(6): 710-714.

[12] Ren, J., Du, D., Xu, D. (2013). The complexity of two supply chain scheduling problems, *Information Processing Letters*, 113(17): 609-612.

[13] Ullrich, C. A. (2013). Integrated machine scheduling and vehicle routing with time windows. *European Journal of Operational Research*, 227(1): 152-165.

[14] Sawik, T. (2014). Joint supplier selection and scheduling of customer orders under disruption risks: Single vs. dual sourcing. *Omega*, 43, 83-95.

[15] Zhang, L., Wong, T. (2015). An object-coding genetic algorithm for integrated process planning and scheduling, *European Journal of Operational Research*, 244 (2): 434-444.

[16] Jin, W. S., Feng, X. L., Zhou, B. H. (2007). Filtered-beam-search-based algorithm for dynamic rescheduling in FMS. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(4): 457-468.

[17] Adhitya, A., Srinivasan, R., Karimi, I. (2007). A model-based rescheduling framework for managing abnormal supply chain events,

جدول (۴): مقایسه با الگوریتم چانگ و لی

		میانگین زمان حل		میانگین جواب‌ها	
		الگوریتم چانگ و لی	الگوریتم چانگ و لی پیشنهادی	الگوریتم چانگ و لی	الگوریتم چانگ و لی پیشنهادی
تعداد سفارش‌ها	۱۰	۱۳۰,۱۸	۱۶۱,۷۴	۷,۴۰	۰
	۵۰	۷۴۶,۷۳	۸۴۷,۶۰	۵۴,۹۰	۰
	۱۰۰	۱۴۹۰,۷۱	۱۶۱۶,۲۷	۱۰۳,۳۳	۰
زمان پردازش و مسافت‌ها	حالت ۱	۹۹۱,۹۷	۱۱۱۰,۳۴	۵۸,۷۸	۰
	حالت ۲	۶۷۶,۱۲	۷۵۵,۶۹	۵۷,۴۴	۰
	حالت ۳	۶۹۹,۵۲	۷۵۹,۵۸	۴۹,۳۹	۰
ظرفیت وسایل	U[8,13]	۹۵۵,۳۷	۱۰۶۱,۱۰	۵۷,۰۴	۰
نقلیه	U[13,23]	۶۲۳,۰۴	۶۸۹,۳۱	۵۳,۴۱	۰
نتایج مربوط به کل مسایل		۷۸۹,۵۱	۸۷۵,۲۰	۵۵,۲۱	۰

تابع هدف کمینه کردن زمان تاخیر تکمیل کلیه سفارشات به دلیل اختلال ایجاد شده در زمانبندی اولیه است. ابتدا مدل ریاضی عدد صحیح مختلط برای مساله توسعه داده شده است و برای حل آن یک الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که دارای کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر است. به منظور بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک پیشنهادی مساله‌های زیادی توسط آن حل گردید. به علت اینکه این مساله تا کنون در ادبیات موضوع مورد بررسی قرار نگرفته است و معیار مناسبی برای ارزیابی الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ارایه شده وجود ندارد، برای ارزیابی جواب‌های بدست آمده از GA، نتایج بدست آمده با نتایج RS مقایسه شد. نتایج نشان دهنده برتری الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در تمام حالات می‌باشد.

در واقعیت ممکن است همه یا تعدادی از وسایل نقلیه جهت حمل کالاها استیجاری باشند و فقط در یک دوره زمانی مشخص امکان استفاده از آن‌ها وجود داشته باشد بنابراین اضافه کردن محدودیت زمانی استفاده از ناوگان حمل و نقل می‌تواند زمینه‌ای برای تحقیقات آتی باشد. همچنین در تحقیقات آتی می‌توان مساله زمان بندی مجدد را بصورت چند هدفه با اهداف توسعه پایدار اعم از اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مورد بررسی قرار داد. استفاده از ساختار کروموزوم‌های پیشنهادی برای سایر مسائل زمانبندی، می‌تواند زمینه دیگری برای تحقیقات آتی باشد.

## ۷- مراجع

[1] Rao, K., Janardhana, G. (2014). The Effect of Rescheduling on Operating Performance of the Supply Chain under Disruption-A Literature Review, *Applied Mechanics and Materials*, 592-594: 2704-2710.

[2] Vieira, G.E., Herrmann, J.W., Lin, E. (2003). Rescheduling manufacturing systems: a framework of strategies, policies, and methods, *Journal of Scheduling*, 6(1): 39-62.

[۳] دانش‌آموز، فاطمه؛ جباری، مونا؛ فتاحی، پرویز (۱۳۹۳). ارائه مدلی برای زمانبندی خط تولید کارگاهی همراه با یک مرحله

Letters, 1 (5): 177–181.

- Computers & Chemical Engineering, 31(5-6), 496–518.
- [18] Liu, S. S., Shih, K. C. (2009). Construction rescheduling based on a manufacturing rescheduling frame, *Automation in Construction*, 18(6): 715–723.
- [19] Zhao, C., Tang, H. (2010). Rescheduling problems with deteriorating jobs under disruptions, *Applied Mathematical Modelling*, 34(1): 238–243.
- [20] Yin, J., Li, T., Chen, B., & Wang, B. (2011). Dynamic Rescheduling Expert System for Hybrid Flow Shop with Random Disturbance, *Procedia Engineering*, 15: 3921–3925.
- [21] Rubrico, J. I., Higashi, T., Tamura, H., & Ota, J. (2011). Online rescheduling of multiple picking agents for warehouse management. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27(1): 62–71.
- [22] Palombarini, J., Martínez, E. (2012). SmartGantt – An interactive system for generating and updating rescheduling knowledge using relational abstractions, *Computers & Chemical Engineering*, 47: 202–216.
- [23] Zakaria, Z., Petrovic, S. (2012). Genetic algorithms for match-up rescheduling of the flexible manufacturing systems, *Computers & Industrial Engineering*, 62(2): 670–686.
- [24] Yu, S. P., Pan, Q. K. (2012). A Rescheduling Method for Operation Time Delay Disturbance in Steelmaking and Continuous Casting Production Process. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 19(12): 33–41.
- [25] Hoogeveen, H., Lenté, C., Tkindt, V. (2012). Rescheduling for new orders on a single machine with setup times, *European Journal of Operational Research*, 223(1): 40–46.
- [26] Katragjini, K., Vallada, E., & Ruiz, R. (2013). Flow shop rescheduling under different types of disruption. *International Journal of Production Research*, 51(3): 780-797.
- [27] Liu, L., Zhou, H. (2013). On the identical parallel-machine rescheduling with job rework disruption, *Computers & Industrial Engineering*, 66(1): 186-198.
- [28] Liu, L., Ro, Y. (2014). Rescheduling for machine disruption to minimize makespan and maximum lateness. *Journal of Scheduling*, 17(4): 339-352.
- [29] Zegordi, S. H., Beheshtinia, M. A. (2009). Integrating production and transportation scheduling in a two-stage supply chain considering order assignment, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 44 (9-10): 928–939.
- [30] Chang, Y., Lee, C. (2004). Machine scheduling with job delivery coordination, *European Journal of Operational Research*, 158(2): 470–487.
- [31] Pinedo, M. L. (2008). *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems*, Springer, 3rd Edition.
- [32] Potts, C.N., Van Wassenhove, L. (1982). Decomposition algorithm for the single machine total tardiness problem, *Operations Research*





## Rescheduling of Three-stage Supply Chain with a Focus on Integration of the Stages

M.A. Beheshtinia\*, E. Akbari

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

### ARTICLE INFO

#### *Article history:*

Received 20 February 2015

Accepted 12 January 2016

#### *Keywords:*

Supply chain  
Rescheduling  
Genetic algorithm  
Random search  
Tardiness

### ABSTRACT

Rescheduling is considered as a part of decision making process in supply chain of many manufacturing industries and it plays a significant role in fulfillment of consumers' needs. Hereupon, this article addresses the issue of rescheduling in a three-stage supply chain with a focus on integration of the stages. The first stage includes suppliers, the second stage includes fleet of good transportation and the third stage includes manufacturers of final products. Therefore, the mixed integer model has been used for the mentioned problem with the aim of minimizing the total tardiness time of the orders. In the general case, a genetic algorithm has been provided for problem solving which has chromosomes with variable structures. Comparison between the results of the proposed algorithm with Random Search on a wide range of random problems and optimum solution on the small size problems shows the good performance of the proposed algorithm. Moreover, by relaxing of the some attributes of the problem, the proposed algorithm was compared with two existing heuristic algorithms in the literature. Results show the better performance of the suggested algorithm.

\* Corresponding author. Mohammad Ali Beheshtinia  
Tel.: 023-33654275; E-mail addresses: [beheshtinia@semnan.ac.ir](mailto:beheshtinia@semnan.ac.ir)