

## ارائه نوعی سیستم پشتیبانی تصمیم مبتنی بر الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: زمان بندی در زنجیره تأمین)

محمدعلی بهشتی‌نیا<sup>۱</sup>، مانی قهرمانی<sup>۲</sup>

**چکیده:** امروزه به کارگیری تصمیم‌های مؤثر و کارا در مسائل پیچیده نیازمند استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم است. این مقاله به ارائه یک سیستم پشتیبانی تصمیم مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای مسئله زمان بندی تولید و حمل و نقل در یک زنجیره تأمین می‌پردازد. فرض می‌شود تعدادی سفارش وجود دارد که باید توسط تأمین کنندگان تولید و توسط یک ناوگان حمل و نقل برای شرکت سازنده ارسال شود. هدف، تخصیص سفارش‌ها به تأمین کنندگان، تعیین ترتیب تولید آنها، تخصیص سفارش‌های پردازش شده به وسایل نقلیه و ترتیب حمل آنها به گونه‌ای است که مجموع زمان تحویل سفارش‌ها کمینه شود. نشان داده می‌شود که پیچیدگی مسئله از نوع Np-hard است و امکان استفاده از روش‌های دقیق برای حل مسئله در زمان حل معقول وجود ندارد. بنابراین، در مقاله حاضر برای حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. با استفاده از این سیستم پشتیبانی تصمیم، یک رویکرد نوین برای مدیریت زنجیره تأمین پیشنهاد شده است. تحلیل رویکرد پیشنهادی در این تحقیق با رویکردهای معمول، توسط این سیستم پشتیبانی تصمیم نشان از برتری رویکرد پیشنهادی ما دارد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم ژنتیک، تولید، زنجیره تأمین، سیستم پشتیبانی تصمیم.

۱. استادیار گروه صنایع، دانشکده مواد و صنایع، دانشگاه سمنان، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد MBA، دانشکده صنایع مهندسی صنایع، دانشگاه سمنان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۲۳

نویسنده مسئول مقاله: محمدعلی بهشتی‌نیا

E-mail: beheshtinia@semnan.ac.ir

## مقدمه

اهمیت تصمیم‌گیری در اداره سازمان‌ها بر کسی پوشیده نیست. استفاده هوشمندانه از داده‌ها و اطلاعات در تصمیم‌گیری‌ها، یکی از نیازهای ضروری مدیران به‌ویژه در سازمان‌های بزرگ است. با توجه به فضای رقابتی حاکم بر بازارها، اهمیت پاسخگویی به این نیاز برای مدیران و سازمان‌ها افزایش یافته است؛ به طوری که امروزه از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری<sup>۱</sup> به‌مثابه یکی از ابزارهای مهم در زمینه تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. سیستم‌های پشتیبانی تصمیم با هدف پشتیبانی و کمک به مدیران، به‌ویژه مدیران کلان سازمان در راستای به‌کارگیری تصمیم‌ها و نیز کنترل چگونگی اجرای تصمیم‌ها و دستورالعمل‌ها استفاده می‌شوند؛ برخلاف گزارش‌های سیستم‌های اطلاعات مدیریت که عموماً دربردارنده اطلاعات تفصیلی هستند (موردیک و مانسون، ۱۹۸۵). یکی از کاربردهای سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری، به‌کارگیری آن در زمینه حمل‌ونقل و مدیریت زنجیره تأمین<sup>۲</sup> است. زنجیره تأمین<sup>۳</sup> شامل همه فعالیت‌های مرتبط با جریان و انتقال کالاها از مرحله مواد خام تا تحویل محصول به مصرف‌کننده نهایی (آگرل و حاتمی مرینی، ۲۰۱۳) است. مدیریت زنجیره تأمین مجموعه روش‌هایی است که برای یکپارچه کردن مؤثر عرضه‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها به کار می‌رود، با این هدف که محصولات به مقدار مشخص و در زمان و مکان معین تولید شوند و در اختیار مشتریان قرار گیرند تا ضمن کاهش هزینه‌های کل زنجیره، نیاز مشتریان با سطح سرویس بالا برآورده شود (لوی و کامینسکی، ۲۰۰۰). مدیریت اطلاعات و مجموعه سیستم‌های اطلاعاتی زنجیره تأمین می‌تواند بر بسیاری از تصمیم‌گیری‌های داخلی بخش‌های مختلف زنجیره تأمین مؤثر باشد که این موضوع بیان‌کننده اهمیت زیاد این مؤلفه در مدیریت زنجیره تأمین است. تصمیماتی که این سیستم پشتیبانی می‌گیرد، عبارت‌اند از: تعیین چگونگی تخصیص سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان و تعیین توالی تولید در آنها؛ تخصیص سفارش‌ها به وسایل نقلیه و تعیین توالی حمل آنها به‌منظور کمینه کردن مجموع زمان‌های تحویل سفارش‌ها به شرکت سازنده.

نوآوری این مقاله ارائه رویکردی نوین برای مدیریت زنجیره تأمین است که از سه مؤلفه سیستم زمان‌بندی جامع تولید در تأمین‌کنندگان؛ سیستم حمل‌ونقل مشترک و یکپارچگی تصمیمات مرتبط با تولید و حمل‌ونقل بهره می‌برد. از سوی دیگر، برای حل مسائل از نوعی

---

1. Decision support system  
2. Supply chain Management  
3. Supply chain

الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup> استفاده شده است که کروموزوم‌هایی<sup>۲</sup> با ساختار متغیر دارد. ساختار مقاله با بررسی مطالعات پیشین ادامه می‌یابد. بخش سوم به روش‌شناسی پژوهش می‌پردازد و الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسئله زمان‌بندی معرفی می‌شود. در بخش چهارم ضمن بررسی دو رویکرد یکپارچه و گسسته در زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل توسط الگوریتم پیشنهادی، نتایج هر دو با یکدیگر مقایسه می‌شود و در بخش پنجم نتیجه‌گیری تحقیق ارائه خواهد شد.

### پیشینه پژوهش

در این بخش به بررسی دیدگاه‌ها و رویکردهای موجود درباره مسئله، پژوهش‌های پیشین و روش‌شناسی‌های آنها درباره مسئله و همچنین مدل مفهومی مسئله پرداخته می‌شود.

### پیشینه نظری

در رویکردهای نوین مدیریت تأمین قطعات، دو رویکرد برنامه‌ریزی جامع تولید در تأمین‌کنندگان و ناوگان حمل‌ونقل مشترک استفاده می‌شود. به‌منظور تبیین بهتر، توضیح مختصری درباره هر یک از این دو رویکرد ارائه می‌شود.

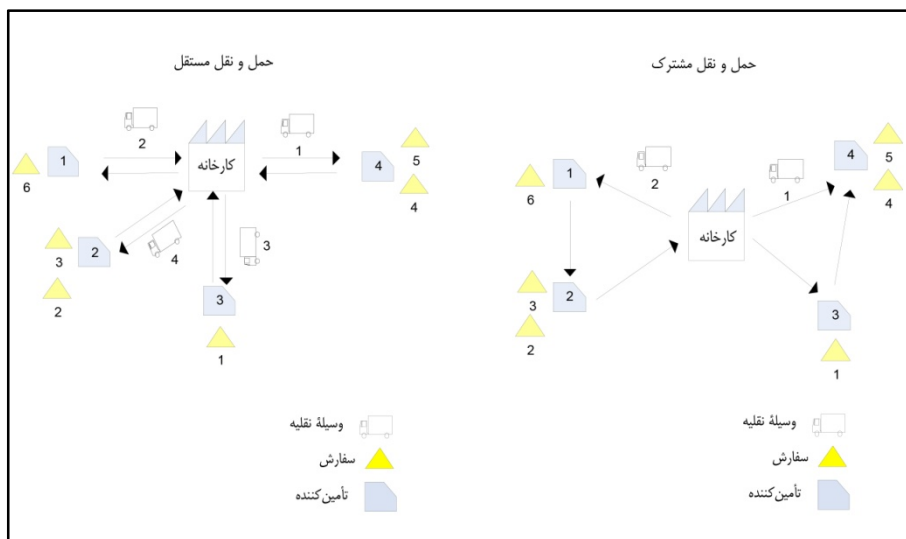
در رویکردهای سنتی، معمولاً شرکت‌های سازنده به تأمین‌کنندگان<sup>۳</sup> به دید نوعی فروشگاه نگاه می‌کردند و پس از اعلام نیاز درباره تعداد مشخصی از یک قطعه، تأمین‌کننده باید آن را در سریع‌ترین زمان ممکن به شرکت سازنده تحویل دهد. از سوی دیگر با توجه به نوسان‌های موجود از میزان تقاضا، تأمین‌کنندگان برای جلب نظر شرکت سازنده و بستن قرارداد در وضعیت رقابتی، به انباشت حجم زیادی از محصولات خود در انبار مجبور می‌شدند که این مسئله به افزایش هزینه‌های مربوط به خواب سرمایه تأمین‌کنندگان منجر می‌شود و به‌تبع آن، بهای تمام‌شده محصول نیز افزایش می‌یابد (بهشتی‌نیا، ۱۳۸۸).

در رویکردهای نوین، محدودیت‌های تولید در تأمین‌کنندگان نیز در نظر گرفته می‌شود و زمان‌بندی تولید در تأمین‌کنندگان با رویکردی جامع و معمولاً توسط شرکت سازنده انجام می‌گیرد. از سویی، در رویکردهای سنتی هر تأمین‌کننده وظیفه انتقال قطعات تولیدی خود را به شرکت سازنده بر عهده دارد که موجب ازدیاد رفت‌وآمدهای وسایل نقلیه و به‌تبع آن افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل می‌شود و تأمین‌کنندگان نیز برای جبران این هزینه، بهای تمام‌شده قطعات را افزایش می‌دهند. شرکت‌های سازنده مطرح دنیا نیز از شرکت‌هایی به‌نام شرکت‌های خدمات

---

1. Genetic Algorithm  
2. Chromosomes  
3. Supplier

لجستیک طرف سوم<sup>۱</sup> برای حمل این قطعات به شرکت سازنده استفاده می‌کنند (باقری نژاد و عمل نیک، ۱۳۹۰). این سیستم با بهره‌بردن از وسایل نقلیه موجود به صورت مشترک، توانسته است هزینه‌های حمل و نقل را تا حد زیادی کاهش دهد. از ویژگی‌های حمل و نقل مشترک نسبت به حمل و نقل مستقل، این است که هر وسیله نقلیه می‌تواند قطعات تولیدشده چندین تأمین‌کننده مختلف را در یک محموله حمل کند که این کار موجب کاهش شایان توجه هزینه‌های حمل و نقل می‌شود. شکل ۱ به مقایسه دو رویکرد حمل و نقل مستقل و مشترک در زنجیره تأمین متشکل از چهار تأمین‌کننده می‌پردازد که در آن شش سفارش به تأمین‌کنندگان مختلف تخصیص یافته و باید به شرکت سازنده منتقل شود. ملاحظه می‌شود که در رویکرد حمل و نقل مشترک، تعداد وسایل نقلیه لازم و همچنین کل مسافت‌های طی شده کمینه می‌شود.



شکل ۱. تفاوت حمل و نقل مشترک و مستقل

در این مقاله علاوه بر دو ویژگی یادشده، رویکرد تصمیم‌گیری یکپارچه بین تعیین زمان‌بندی تولید در تأمین‌کنندگان و زمان‌بندی ناوگان حمل مشترک نیز پیشنهاد می‌شود و نشان می‌دهد سیستم پشتیبانی تصمیم ارائه‌شده، بهتر از رویکرد تصمیم‌گیری مستقل عمل می‌کند. نشان داده می‌شود که پیچیدگی مسئله از نوع Np-hard است و امکان استفاده از روش‌های دقیقی برای حل مسئله در زمان معقول وجود ندارد (وانگ و چنگ، ۲۰۰۹). بنابراین، در مقاله حاضر برای

حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم‌های تکامل شمرده می‌شود که از تکنیک‌های زیست‌شناسی وراثت و جهش استفاده می‌کند. در دهه ۱۹۷۰ میلادی دانشمندی از دانشگاه میشیگان به نام جان هلند (۱۹۷۵) ایده استفاده از الگوریتم ژنتیک را در بهینه‌سازی‌های مهندسی مطرح کرد. ایده اساسی این الگوریتم انتقال خصوصیات موروثی توسط ژن‌هاست. گام‌های الگوریتم ژنتیک به شرح زیر است:

- گام ۱: جمعیت اولیه را با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک (تلفیق<sup>۱</sup> و جهش<sup>۲</sup>) افزایش دهید.
- گام ۲: به اندازه جمعیت اولیه از میان کروموزوم‌های ایجادشده، بهترین‌ها را انتخاب کنید.
- گام ۳: اگر معیار توقف الگوریتم به دست آمد، الگوریتم را خاتمه دهید و در غیر این صورت به گام ۱ بازگردید.

### پیشینه تجربی

در این بخش به بررسی تحقیقات پیشین در حوزه مسائل زمان‌بندی در زنجیره تأمین پرداخته می‌شود. لجین (۲۰۰۶) به بررسی برنامه‌ریزی تولید و توزیع در زنجیره تأمین پرداخته است. او پس از مدل‌سازی مسئله به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط<sup>۳</sup>، الگوریتمی بر مبنای تجزیه جست‌وجوی همسایگی<sup>۴</sup> که به صورت جست‌وجوی مرحله‌ای عمل می‌کند، ارائه داده است.

شیاک، فلوداس، کالراه و پیترز (۲۰۰۷) به برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت و میان‌مدت برای کارخانه‌ای با مقیاس بزرگ پرداختند. مزده، سرحدی و هندی (۲۰۰۸) از الگوریتم شاخه و کران<sup>۵</sup> به منظور کمینه‌سازی جمع زمان در جریان‌بودن<sup>۶</sup> کارها و هزینه‌های تحویل در تولید دسته‌ای پرداختند. آنها بیان کردند که می‌توان توسعه مسئله را در زنجیره تأمین پیاده‌سازی کرد.

لی، هاییتو و ومر (۲۰۰۸) مسئله ترکیب‌بندی زنجیره تأمین را با در نظر گرفتن محدودیت منابع بررسی کردند. مدل آنها توانست مباحث کاربردی دیگری از جمله الزامات سطح کیفیت و محدودیت‌های متداول زمانی را که اغلب در دنیای واقعی با آن مواجهه‌ایم را رسیدگی کند.

- 
1. Cross over
  2. Mutation
  3. Mixed integer programming
  4. Variable neighborhood search meta heuristic
  5. Branch-and-bound
  6. Flow time

سو، پان و سو (۲۰۰۹) به بررسی مسئله زمان بندی ماشین آلات با هم زمانی تحویل سفارش ها پرداختند. آنها یک مسئله زمان بندی ماشین های موازی با دو ماشین را در نظر گرفتند که کالاها با وسیله نقلیه ای از بخش تولید به مشتری ارسال می شود. سپس نوعی الگوریتم ابتکاری با بدترین حالت<sup>۱</sup> ۶۳/۴۰ ارائه کردند.

ماراولیس و سانگ (۲۰۰۹) روش های مختلف یکپارچگی برنامه ریزی تولید و زمان بندی را بررسی کردند. وانگ و چنگ (۲۰۰۹) به بررسی مسئله زمان بندی عرضه و تحویل سفارش ها با هدف کمینه سازی بازه ساخت پرداختند. در مسئله آنها وسیله نقلیه ای با ظرفیت بارگیری محدود و زمان حمل ثابت، سفارش ها را از انبار تأمین کنندگان به کارخانه انتقال می دهد. آنها با نشان دادن مسئله از نوع NP-hard، نوعی الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله ارائه کردند.

یائو و لیو (۲۰۰۹) به تجزیه و تحلیل زمان بندی در زنجیره تأمین در حالت تولید انبوه سفارشی پرداختند و مدل برنامه ریزی چندهدفه ای برای حل مسئله ارائه کردند.

آورباخ (۲۰۱۰) زمان بندی بر خط در زنجیره تأمین متشکل از یک کارخانه و چند مشتری را با هدف کمینه سازی مجموع وزنی جریان کاری سفارش ها بررسی کرد. او علاوه بر ارائه نوعی الگوریتم خطی کارآمد، به تحلیل رقابتی عملکرد بدترین حالت خود پرداخت.

رستمیان دلاور، حاجی آقایی و ملاعلیزاده (۲۰۱۰) نوعی الگوریتم ژنتیک به منظور یکپارچگی زمان بندی تولید و حمل و نقل هوایی ارائه کردند و پس از مطرح کردن مدل ریاضی مسئله، دو الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله پیشنهاد دادند. آنان مقدار پارامترهای بهینه برای الگوریتم های ژنتیک را از روش تاگوچی به دست آوردند.

اسکولز ریتز، فرازون و مکوشویتر (۲۰۱۰) یکپارچگی تولید و حمل و نقل در یک زنجیره تأمین عمومی را بررسی کردند و به منظور حل مسئله، مدل ریاضی ارائه دادند. یمیر و دمیرلی (۲۰۱۰) به منظور زمان بندی در یک زنجیره تأمین دومارحله ای، نوعی الگوریتم ژنتیک ارائه کردند. آنها نوعی مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط نیز به منظور بهینه سازی تأمین و مونتاز قطعات و همچنین زمان بندی توزیع ارائه دادند.

باتنگر، مهتا و چونگتنو (۲۰۱۱) برنامه ریزی حمل و نقل و زمان بندی را در حالت وجود دو نوع حمل و نقل هوایی و دریایی بررسی کردند. مدل آنان به بهبود مستمر هزینه مقیاس های گسترده ای از حالت های عملیات منجر شد.

یونگ، چویی و چنگ (۲۰۱۱) به بررسی زمان بندی در یک زنجیره تأمین دومارحله ای با در نظر گرفتن چندین پنجره زمانی تحویل مشترک با هدف کمینه کردن هزینه های حمل و نقل و

1. Worst-case ratio

موجودی پرداختند. آنها از طریق هماهنگی کانال‌ها، دو روش عملی برای دسترسی به عملکرد بهینه در زنجیره تأمین ارائه دادند. لئو و چن (۲۰۱۲) به بررسی یکپارچگی مسیریابی، کنترل موجودی و زمان‌بندی در یک زنجیره تأمین پرداختند و پس از مدل‌سازی ریاضی مسئله، نوعی الگوریتم جست‌وجوی همسایگی به‌منظور حل مسئله ارائه دادند. نتایج آنها نشان داد از نظر هزینه متوسط در هر روز، روش پیشنهادی آنان بهتر از روش‌های دیگر عمل می‌کند.

مهرآوران و لجندران (۲۰۱۲) به بررسی زمان‌بندی در محیط جریان کاری با زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی با دو تابع هدف کمینه‌کردن سفارش‌های نیمه‌ساخته<sup>۱</sup> و بیشینه‌کردن سطح سرویس پرداختند. آنها فرضیه‌هایی نظیر آماده‌بودن پویای ماشین‌ها، آزادشدن پویای سفارش‌ها و امکان فرار یک سفارش از چند مرحله بدون نیاز به پردازش در آن مراحل را نیز بررسی کردند و در انتها الگوریتم جست‌وجو ممنوع<sup>۲</sup> را برای حل مسئله ارائه دادند.

عثمان و دمیرلی (۲۰۱۲) به بررسی زمان‌بندی تحویل و اندازه انباشته اقتصادی در یک زنجیره تأمین سه‌مرحله‌ای و چندمحصولی پرداختند و مدل جدیدی بر پایه مسئله تخصیص مضاعف برای مسئله ارائه دادند که سبک مشتری را به‌منظور هماهنگی در پر و تخلیه‌شدن انبارها تعیین می‌کند.

آورباخ و بیسان (۲۰۱۳) به بررسی مسئله زمان‌بندی بر خط در یک زنجیره تأمین دوسطحی با چند مشتری پرداختند و نوعی الگوریتم تخمینی با نسبت رقابت محدود به  $\alpha + 3$  برای آن ارائه کردند که در آن  $\alpha$  نسبت زمان بزرگ‌ترین پردازش به کوچک‌ترین پردازش است.

کابرا، شیک و راتور (۲۰۱۳) زمان‌بندی در زنجیره تأمین داروسازی را برای محیط چندمرحله‌ای، چندمحصولی و چندپریودی بررسی کردند. آنان با توسعه تحقیق شیاک، فلوداس، کالراه و پیتز (۲۰۰۷)، محدودیت‌های دیگری نظیر تغییرات وابسته به توالی<sup>۳</sup>، زمان‌های تحویل چندگانه<sup>۴</sup> میان<sup>۴</sup>، تاریخ انقضا<sup>۵</sup> و محصولات معیوب، وجود هزینه‌های مربوط به دیرکرد در تحویل سفارش‌ها را به مدل اضافه کردند. بهبود در بسته‌بندی و توالی محدودیت‌ها از نتایج این تحقیق بود. الریچ (۲۰۱۳) به یکپارچگی زمان‌بندی ماشین‌آلات و مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی پرداخت. او دریافت در مسائل کوچک، الگوریتم ژنتیک جواب‌های بهتری نسبت به روش‌های کلاسیک ارائه می‌دهد.

- 
1. Work in process
  2. Tabu Search
  3. Sequence dependent changeover
  4. Multiple intermediate due dates
  5. Shelf-life date

رن، دو و زو (۲۰۱۳) یک زنجیره تأمین دومرحله‌ای را در نظر گرفتند که در آن چند تأمین‌کننده، قطعات لازم برای مونتاژکننده‌ای را فراهم می‌آورند. محققان دریافتند مسئله کمینه‌سازی تأخیر کارها از نوع Np-Hard است.

در پژوهش توماس، ونکاتسواران، سینق و کریشنامورتی (۲۰۱۴)، زمان‌بندی در زنجیره تأمین زغال سنگ با چند فعالیت مستقل که توسط محدودیت‌های منابع با هم در ارتباط هستند، بررسی شده‌است. آنها یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط برای مسئله ارائه دادند و از تکنیک تولید ستون<sup>۱</sup> برای حل مسئله استفاده کردند.

سالوارجاه و ژانگ (۲۰۱۴) به بررسی زمان‌بندی زنجیره تأمین پرداختند که در آن تولیدکننده‌ای، مواد نیمه‌ساخته را از تأمین‌کنندگان در زمان‌های متفاوت دریافت می‌کند و کالاهای تکمیل‌شده را به‌صورت دسته‌ای به مشتریان تحویل می‌دهد. آنها الگوریتمی ابتکاری برای حل مسئله پیشنهاد دادند و کران پایینی به‌منظور ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی ارائه کردند.

ساویک (۲۰۱۴) به بررسی ارتباط زمان‌بندی با انتخاب تأمین‌کنندگان در حالت وجود ریسک‌های قطع<sup>۲</sup> پرداخت و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و احتمالی برای مسئله ارائه کرد. وی دریافت در سطح بالا مدل ارائه‌شده انعطاف‌پذیر است و می‌تواند درخواست‌های جزئی را شامل شود، در صورتی که انتخاب محصولات در سطح پایین براساس پیچیدگی محاسباتی است. تحقیقات انجام‌شده را می‌توان از دیدگاه‌های مختلفی دسته‌بندی کرد.

جدول ۱ به بررسی و مقایسه تحقیقات گذشته می‌پردازد. نزدیک‌ترین مقاله در ادبیات موضوع به تحقیق حاضر، مقاله دگردی، کمال‌آبادی و بهشتی‌نیا (۲۰۱۰) است؛ با این تفاوت که در مقاله آنها فرض شده است تأمین‌کنندگان در یک ناحیه جغرافیایی قرار دارند و می‌توان از فاصله بین آنها چشم‌پوشی کرد. به بیان دیگر، محاسبات حمل‌ونقل بین تأمین‌کنندگان وجود ندارد و در عمل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه مطرح نیست؛ اما در مقاله حاضر، علاوه‌بر در نظر گرفتن محاسبات حمل بین تأمین‌کنندگان با یکدیگر و با شرکت سازنده (و در نتیجه مطرح‌بودن مسئله مسیریابی وسایل نقلیه)، حالت یکپارچگی تصمیم‌گیری‌های حمل‌ونقل و تولید نیز در نظر گرفته شده است.

توانا، ابطحی و خلیلی دامغانی (۲۰۱۴) در پژوهشی برای حل مسائل کنترل پروژه، از الگوریتم ژنتیکی با نام الگوریتم ژنتیک پویا استفاده کردند که ساختار کروموزوم کاملاً متفاوتی با الگوریتم پیشنهادی ما در این تحقیق دارند.

1. Column generation

2. Disruption



جدول ۱. مقایسه و بررسی تحقیقات قبلی

مقاله	زمان		در نظر گرفتن ناهمگام حمل و نقل		سطح یکپارچگی				تأمین کننده - سازنده
	زمان پویسته	زمان گسسته	خبر	بله	ترکیبی	تمرکز بر ساخت	توزیع کننده - سازنده	تأمین کننده - سازنده	
لجین (۲۰۰۶)	*			*	*				*
شیباک، فلورانس، کاراه و پیتز (۲۰۰۷)	*		*						
مژده سرحدی و هندی (۲۰۰۸)	*		*				*		
لی، هایشو و مور (۲۰۰۸)	*		*		*				
سایوک (۲۰۰۹)	*			*	*				*
دکودی و بهشتی نیا (۲۰۰۹)	*			*					
آویاخ و بیسان (۲۰۱۳)	*		*				*		
بیمبر و دصیری (۲۰۱۰)	*			*			*		
اسکولز رنیر، فرازون و مکشویتر (۲۰۱۰)	*			*			*		*
باننگر، مهتا و چونگتو (۲۰۱۱)	*			*					*
پونگ، چویی و چنگ (۲۰۱۱)	*			*	*				
لیو و چن (۲۰۱۲)	*			*					*
مهرآوران و اجدران (۲۰۱۳)	*		*				*		
عنان و دصیری (۲۰۱۳)	*		*						*
آویاخ و بیسان (۲۰۱۳)	*			*			*		
کابرا، شیک و راتیر (۲۰۱۳)	*		*		*				
رن، دو و زو (۲۰۱۳)	*			*					*
الریج (۲۰۱۳)	*			*					*
توماس، ونکاتسواران، سینگ و کرشنامورتی (۲۰۱۴)	*			*					*
سایوک (۲۰۱۴)	*			*	*				
سالارجاه و زنگ (۲۰۱۴)	*		*				*		
تحقیق ناصر	*			*					*

### روش‌شناسی پژوهش

این مقاله به ارائه نوعی سیستم پشتیبانی تصمیم مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای مسئله زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل در یک زنجیره تأمین می‌پردازد. فرض می‌شود سفارش‌هایی وجود دارد که باید تأمین‌کنندگان آن را تولید کنند و به وسیله یک ناوگان حمل‌ونقل برای شرکت سازنده ارسال شود. هدف، تخصیص سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان، تعیین ترتیب تولید آنها، تخصیص سفارش‌های پردازش‌شده به وسایل نقلیه و ترتیب حمل آنها به گونه‌ای است که مجموع زمان تحویل سفارش‌ها کمینه شود. سؤال اصلی این تحقیق، چگونگی زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل در زنجیره تأمین است.

سؤال‌های فرعی به صورت زیر مطرح شده‌اند:

۱. چگونه باید سفارش‌ها را به تأمین‌کنندگان تخصیص داد؟
۲. سفارش‌های تخصیص‌یافته به تأمین‌کننده به چه ترتیبی باید پردازش شوند؟
۳. چگونه سفارش‌ها به وسایل نقلیه سپرده شوند؟
۴. توالی حمل سفارش‌ها توسط هر وسیله نقلیه باید چگونه باشد؟

به منظور پاسخ به این سؤال‌ها گام‌های زیر طی شده است:

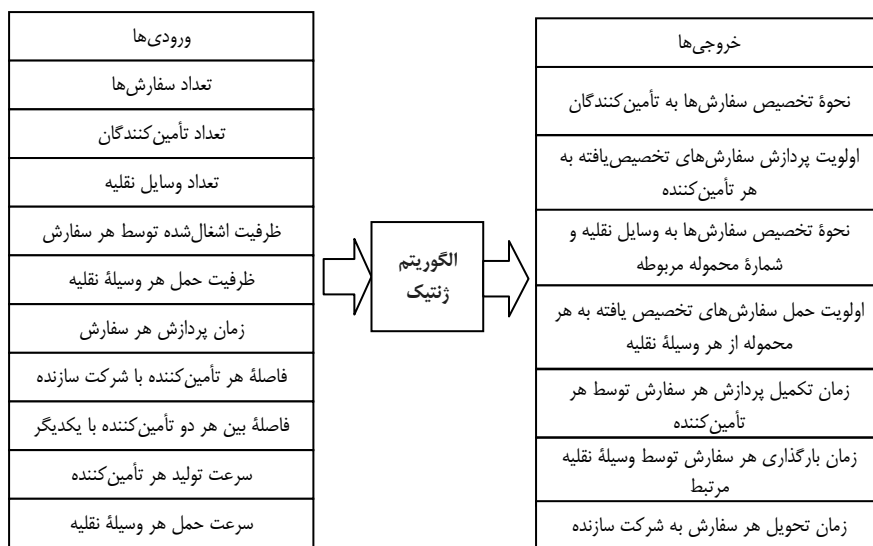
۱. شناسایی جزئیات مسئله زمان‌بندی در زنجیره تأمین؛
۲. در نظر گرفتن مدلی برای مدیریت کارآمد در مسئله با رویکرد یکپارچگی تصمیم‌های مرتبط با تولید و حمل‌ونقل؛
۳. ارائه نوعی سیستم پشتیبانی تصمیم مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، برای به‌کارگیری تصمیم‌های بهینه در سیستم؛
۴. اعتبارسنجی مدل پیشنهادی.

### مفروضات مسئله

پس از مطالعات میدانی و مصاحبه با خبرگان، جزئیاتی از مسئله زمان‌بندی در زنجیره تأمین شناسایی شد. جزئیات مسئله در قالب مدلی با سه مؤلفه سیستم زمان‌بندی جامع تولید در تأمین‌کنندگان، سیستم حمل‌ونقل مشترک و یکپارچگی تصمیم‌های مرتبط با تولید و حمل‌ونقل، مفروضاتی به شرح زیر را نتیجه داد:

زنجیره تأمین بررسی‌شده شامل یک شرکت سازنده، مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان و یک ناوگان حمل‌ونقل می‌شود. تعداد  $n$  سفارش وجود دارد، این سفارش‌ها باید توسط  $m$  تأمین‌کننده

که در نقاط جغرافیایی مختلفی قرار دارند، پردازش شوند. تأمین کنندگان به دلیل داشتن تجهیزات تخصصی، توانایی پردازش تمام سفارش‌ها را ندارند و می‌توانند فقط سفارش‌های خاصی را پردازش کنند. این  $n$  سفارش پس از پردازش توسط تأمین کنندگان، باید توسط  $l$  وسیله نقلیه جمع‌آوری شده و به شرکت سازنده انتقال داده شوند. ظرفیت و سرعت هر یک از وسایل نقلیه ممکن است متفاوت از سایر وسایل نقلیه باشد. برای کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، وسایل نقلیه مجازند که از تأمین کنندگانی که در نواحی جغرافیایی مختلفی قرار دارند، سفارش‌ها را بارگیری کنند. هر وسیله نقلیه پس از حمل کالا از شرکت‌های تأمین کننده به شرکت اصلی، از مسئله حذف نمی‌شود، بلکه می‌تواند دوباره کالایی را حمل کند. در این حالت وسیله نقلیه باید به ناحیه جغرافیایی‌ای که تأمین کنندگان در آن قرار دارند، بازگردد و سپس استفاده شود و در نتیجه باید به زمان برگشت نیز در زمان‌بندی توجه شود. هر یک از سفارش‌های حجم مشخصی دارند که این حجم برای هر سفارش می‌تواند متفاوت از سایر سفارش‌ها باشد. سفارش‌هایی که هر بار توسط یک وسیله نقلیه به شرکت اصلی تحویل داده می‌شوند را یک محموله می‌گویند. مجموع حجم سفارش‌هایی که به یک محموله از یک وسیله نقلیه اختصاص می‌یابند، باید کمتر از ظرفیت وسیله نقلیه باشد. تابع هدف مسئله نیز کمینه‌سازی مجموع زمان تحویل سفارش‌ها در نظر گرفته شده است.



شکل ۲. ساختار کلی سیستم پشتیبانی تصمیم

### سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری

سیستمی است که با استفاده از منابع انسانی و قابلیت‌های کامپیوتر، مدیر را در حل مسائل پیچیده (مسائل ساخت‌نیافته و نیمه ساخت‌یافته) کمک می‌کند و کیفیت تصمیم را بهبود می‌بخشد. این سیستم از کنار هم قراردادن چهار جزء مدیریت داده، مدیریت مدل، دانش و رابط کاربر حاصل می‌شود. هر یک از عناصر یادشده به وسیله یک نرم‌افزار مدیریت می‌شود. این نرم‌افزار ممکن است موجود باشد یا اینکه باید به آن منظور برنامه‌نویسی شود (کاباران‌زاد قدیم و رفوگر آستانه، ۲۰۰۹). شمای کلی سیستم پشتیبانی تصمیم پیشنهادی در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین جزئیات ساختار الگوریتم ژنتیک استفاده‌شده در ادامه تبیین می‌شود.

### الگوریتم ژنتیک

به‌منظور به‌کارگیری تصمیم مناسب در این سیستم از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم‌های تکامل است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی وراثت و جهش به‌منظور بهینه‌سازی‌های مهندسی استفاده می‌کند. ایده اساسی این الگوریتم انتقال خصوصیات موروثی توسط ژن‌هاست. در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی از کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر برای رمزنگاری جواب‌ها استفاده شده است.

### الگوریتم ژنتیک پویا

ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی دوبعدی است. بعد عمودی نشان‌دهنده تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه و بعد افقی نشان‌دهنده سفارش‌های تخصیص‌یافته و ترتیب آنها به هر یک از تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه است. برای هر یک از تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه یک رشته آرایه وجود دارد که طول و ترتیب عناصر آن نشان‌دهنده تعداد و ترتیب کارهای تخصیص‌یافته به آن تأمین‌کننده یا وسیله نقلیه است. وجه تمایز الگوریتم ژنتیک پویا نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک معمولی به این صورت است که در الگوریتم‌های ژنتیک معمولی طول کروموزوم‌ها ثابت است، در صورتی که در الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده، هر کروموزوم از چند رشته تشکیل شده است که طول آنها متغیر است (دگرودی و همکاران، ۲۰۱۰). برای مثال، شکل ۳ نشان‌دهنده ساختار یک کروموزوم پویاست. در این مثال فرض می‌شود دو تأمین‌کننده، دو وسیله نقلیه و پنج سفارش وجود دارد. در این کروموزوم سفارش شماره ۱ به تأمین‌کننده ۱ و سفارش‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ به تأمین‌کننده ۲ اختصاص یافته است که اولویت تولید سفارش‌ها توسط تأمین‌کننده ۲ به ترتیب با سفارش‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ است. همچنین در خصوص وسایل نقلیه، سفارش‌های ۵، ۳، ۱ و ۴ به وسیله نقلیه ۱ و سفارش ۲ به وسیله نقلیه ۲ اختصاص یافته

است. اولویت حمل سفارش‌ها توسط وسیله نقلیه ۱ به ترتیب با سفارش‌های ۵، ۳، ۱ و ۴ است. اگر ظرفیت حمل وسیله نقلیه ۱ برابر ۲ واحد کالا و حجم هر سفارش نیز برابر ۱ واحد باشد، این وسیله نقلیه در محموله نخست خود، فقط می‌تواند سفارش‌های ۵ و ۳ را حمل کند و در محموله دوم خود نیز سفارش‌های ۱ و ۴ باید توسط این وسیله نقلیه حمل شوند. این وسیله نقلیه ابتدا باید به تأمین‌کننده ۱ برود و سفارش ۱ را باید حمل کند؛ سپس به تأمین‌کننده ۲ برود و سفارش ۴ را بارگیری کند و در انتها هر دو سفارش را به سمت شرکت سازنده منتقل کند.

			۱	تأمین‌کننده ۱
۴	۵	۳	۲	تأمین‌کننده ۲
۴	۱	۳	۵	وسیله نقلیه ۱
			۲	وسیله نقلیه ۲

شکل ۳. ساختار کروموزوم

در الگوریتم پیشنهادی ما چگونگی انجام عملگر تلفیق به این صورت است که ابتدا دو کروموزوم والد به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. سپس دو عدد باینری تصادفی ایجاد می‌شود. اگر مقدار عنصر اول صفر باشد، تخصیص و توالی سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان در کروموزوم حاصل از عمل تلفیق، مشابه تخصیص و توالی سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان در کروموزوم والد اول است و در غیر این صورت، براساس تخصیص و توالی سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان در کروموزوم والد دوم خواهد بود. در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، عملگر جهش به این صورت است که ابتدا یک کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب می‌شود، سپس یک سفارش به صورت تصادفی انتخاب شده و جای آن دو در رشته‌های مربوط به تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه با یکدیگر تعویض می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی این مقاله، از دو روش نخبه‌گرایی و چرخ رولت برای عملگر انتخاب استفاده شده است؛ به این ترتیب که درصدی از جمعیت نسل بعد، از بهترین کروموزوم‌های نسل قبل انتخاب شده و با پارامتر best نشان داده می‌شود. سایر کروموزوم‌ها از روش چرخ رولت از نسل قبل انتخاب می‌شوند. دگرودی و همکارانش (۲۰۱۰) دریافتند در حل مسائل زمان‌بندی، این الگوریتم نتایج بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک کلاسیک دارد.

### معیار توقف

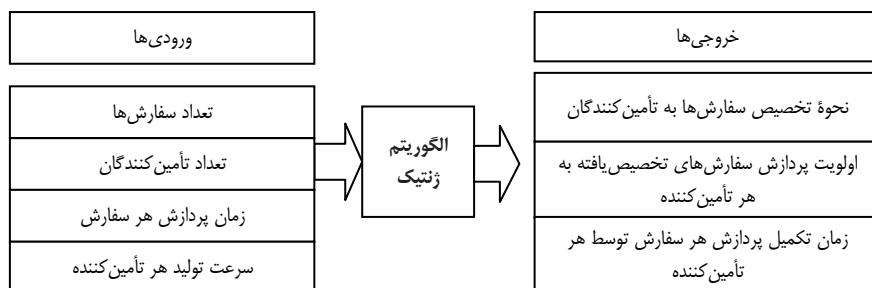
معیار توقف برای الگوریتم به این صورت است که اگر مقدار تابع هدف بهترین کروموزوم در چند نسل متوالی بهبودی نیابد، الگوریتم به پایان می‌رسد. تعداد این تکرارهای متوالی توسط پارامتری به نام termination مشخص می‌شود. با توجه به آزمایش‌هایی که با روش تاگوچی<sup>۱</sup> انجام گرفت، مشخص شد که مقدار ۱۰۰ برای پارامتر اندازه جمعیت، مقدار ۰/۵ برای پارامتر درصد جهش، مقدار ۰/۷ برای پارامتر درصد تلفیق، مقدار ۰/۵ برای پارامتر best و مقدار ۱۰ برای پارامتر termination به جواب‌های خوب در زمان حل معقول منجر می‌شود.

کلید الگوریتم‌های استفاده شده در این مقاله توسط زبان برنامه‌نویسی C# نوشته شد و در رایانه Intel Centrino2 2.67GHz به اجرا درآمدند.

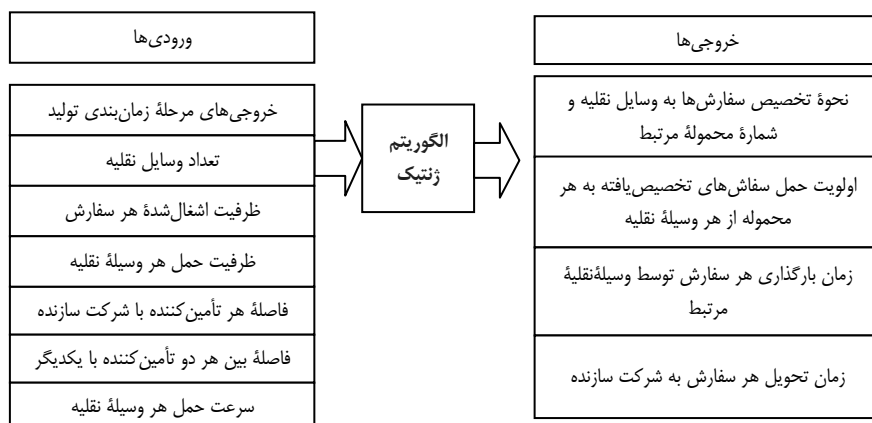
### یافته‌های پژوهش

در این قسمت به اعتبارسنجی مدل پیشنهادی می‌پردازیم و حالت تصمیم‌گیری یکپارچه زمان‌بندی تولید و حمل با حالت تصمیم‌گیری دومرحله‌ای (گسسته) مقایسه می‌شود. در حالت تصمیم‌گیری دومرحله‌ای، ابتدا به زمان‌بندی تولید در تأمین‌کنندگان پرداخته می‌شود، سپس بخش برنامه‌ریزی حمل‌ونقل براساس آن، باید زمان‌بندی ناوگان حمل‌ونقل را به‌منظور تحویل سفارش‌ها از تأمین‌کنندگان به وسایل نقلیه انجام دهد؛ اما در رویکرد یکپارچه این دو زمان‌بندی با هم برنامه‌ریزی می‌شوند (شکل ۴).

الگوریتمی که برای حالت تصمیم‌گیری دومرحله‌ای به کار می‌رود، مشابه الگوریتم حالت یکپارچه است با این تفاوت که الگوریتم ژنتیک دو بار اجرا می‌شود. در اجرای نخست، فقط رشته‌هایی از کروموزوم که مربوط به تأمین‌کنندگان هستند، در نظر گرفته می‌شوند و رشته‌های مربوط به وسایل نقلیه حذف خواهند شد. در این اجرا تلاش می‌شود مجموع زمان تکمیل پردازش سفارش‌ها بهینه شود. در اجرای دوم، ساختار کروموزوم به‌صورت کامل در نظر گرفته می‌شود، ولی رشته‌های مربوط به تأمین‌کنندگان برای تمام کروموزوم‌ها، معادل خروجی مرحله نخست است و طی اجرای الگوریتم ثابت می‌ماند. در این حالت فقط مجاز به تغییر رشته‌های مربوط به وسایل نقلیه طی اجرای الگوریتم هستیم. به‌منظور مقایسه این دو حالت، ابتدا تعداد زیادی مسئله تصادفی با ابعاد مختلف ایجاد می‌شود، سپس هر مسئله توسط الگوریتم ژنتیک و در دو حالت یکپارچه و غیریکپارچه حل شده و نتایج این دو حالت با یکدیگر مقایسه می‌شوند.



زمان‌بندی تولید



زمان‌بندی حمل و نقل

شکل ۴. شمای کلی سیستم پشتیبانی تصمیم در رویکرد دومرحله‌ای (گسسته)

### تولید داده‌های تصادفی برای مسئله

همان‌گونه که اشاره شد، برای بررسی عملکرد مدل پیشنهادی، ابتدا باید مسائلی تصادفی متعددی ایجاد شود. بدین منظور با تولید ۱۰۸ مسئله تصادفی، ۷ پارامتر برای این مسائل شناسایی شد و برای آنها سطوح مختلفی مد نظر قرار گرفت. این پارامترها به هفت دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱. تعداد سفارش‌ها؛
۲. تعداد تأمین‌کنندگان؛

۳. تعداد وسایل نقلیه؛
۴. زمان پردازش؛
۵. زمان حمل؛
۶. حجم سفارش‌ها؛
۷. ظرفیت وسایل نقلیه.

برای پارامتر تعداد سفارش‌ها، سه مقدار ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. برای زمان‌های پردازش و زمان حمل (مسافت‌ها) دو سطح کم و زیاد در نظر گرفته شده است. در سطح کم، زمان‌های پردازش و حمل از توزیع یکنواخت  $U[1-20]$  انتخاب می‌شوند ( $U[1-20]$  نشان‌دهنده یک عدد تصادفی بین ۱ تا ۲۰ است)؛ این در حالی است که در سطح بالا این مقادیر از توزیع یکنواخت  $U[20-30]$  انتخاب می‌شوند. برای تعداد تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه سه حالت مد نظر قرار می‌گیرد؛ بدین صورت که در حالت نخست، برای تأمین‌کنندگان عددی تصادفی بین ۱ تا ۵ و تعداد وسایل نقلیه عددی تصادفی بین ۱۰ تا ۱۵ در نظر گرفته می‌شود. در حالت دوم، هر دو پارامتر از توزیع  $U[5-10]$  انتخاب می‌شوند و در حالت سوم، برای تأمین‌کننده عددی تصادفی بین ۱۰ تا ۱۵ و برای وسایل نقلیه عددی تصادفی بین ۱ تا ۵ در نظر گرفته می‌شود. برای حجم سفارش‌ها یک حالت  $U[1-5]$  و برای حجم وسایل نقلیه سه حالت  $[10-100]$  مسئله،  $108$  ( $3 \times 3 \times 2 \times 2 \times 1 \times 3$ ) نوع مسئله که به صورت تصادفی ایجاد شده‌اند، به دست می‌آید. هر یک از  $108$  مثال تصادفی ایجاد شده با استفاده از هر دو روش حل شده‌اند که نتایج به دست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است. این جدول دربرگیرنده ۷ معیار زیر است:

۱. میانگین جواب‌های به دست آمده از رویکرد یکپارچه؛
۲. میانگین جواب‌های به دست آمده از رویکرد غیریکپارچه؛
۳. میانگین زمان‌های حل رویکرد یکپارچه؛
۴. میانگین زمان‌های حل رویکرد غیریکپارچه؛
۵. تعداد جواب‌های بهتر رویکرد یکپارچه نسبت به رویکرد غیریکپارچه <sup>۱</sup>(NBR)؛
۶. تعداد دفعاتی که هر دو رویکرد جواب یکسانی داده‌اند (NER) <sup>۲</sup>؛
۷. تعداد جواب‌های بدتر رویکرد یکپارچه نسبت به رویکرد غیریکپارچه <sup>۳</sup>(NWR)؛

---

1. Number of better results  
2. Number of equivalent results  
3. Number of worse results



جدول ۲. مقایسه دو روش زمان بندی حمل و نقل و تولید جداگانه/ یکپارچه

NWR	NER	NBR	میانگین زمان های الگوریتمها (ثانیه)			میانگین جوابها	مقدار پارامتر	سطح	پارامتر
			رویکرد غیر یکپارچه	رویکرد یکپارچه	درصد اختلاف نسبی				
۱۱	۹	۱۶	۲/۷۳	۳/۴۱	۹/۶۵	۵۸۱/۱۶	۵۳۰	کم	تعداد سفارشها
۵	۰	۳۱	۵۰/۷۲	۹۴/۴۴	۱۹/۷۰	۱۰۸۱۵/۹۴	۹۰۳۵/۸	متوسط	
۲	۰	۳۴	۱۱۶/۷۸	۳۳۹/۱۶	۳۷/۳۳	۵۸۳۴/۷۷	۴۳۴۹/۸۳	بالا	
۶	۷	۲۳	۱۳۳/۵۸	۱۸۰/۳۶	۱۱/۱۲	۳۱۱۷۵/۶۱	۱۹۰۵۵/۴۲	حالات اول	
۶	۲	۲۸	۶۷/۱۱	۱۵۸/۴۴	۲۶/۱۳	۱۷۴۶۰/۳۹	۱۳۸۴۲/۷۷	حالات دوم	تعداد نامین کنندگان و وسایل نقلیه
۶	۰	۳۰	۳۹/۵۳	۱۰۸/۲۲	۶۲/۱۹	۳۱۰۷۵/۸۸	۱۹۱۵۹/۴۴	حالات سوم	
۵	۴	۳۵	۵۳/۰۵	۱۶۰/۴	۵۳/۸۷	۱۹۰۴۶	۱۳۳۷/۲۸	کم	زمان پردازش
۱۳	۵	۳۶	۱۰۰/۴۲	۱۳۷/۶۱	۲۲/۸۴	۳۷۴۲/۵۹	۲۳۳۳/۸۱	بالا	
۱۳	۵	۳۶	۱۰۶/۰۵	۱۵۳/۷۶	۲۰/۱۳	۱۸۱۳۳/۱۷	۱۵۰۹۳/۶۴	کم	زمان حمل
۵	۴	۳۵	۴۷/۴۲	۱۴۴/۲۶	۴۴/۵۱	۲۸۳۴۱/۴۲	۱۹۶۱۱/۴۴	بالا	
۵	۲	۲۹	۶۰/۰۸	۱۴۹/۶۹	۲۹/۶۸	۳۳۰۰۹/۶۱	۱۷۷۴۲/۰۵	کم	ظرفیت وسایل نقلیه
۶	۳	۳۷	۴۸/۰۳	۱۵۲/۲۵	۴۱/۵۸	۳۳۳۲/۱۶	۱۶۴۴۰/۱۹	متوسط	
۷	۴	۲۵	۱۲۲/۱۱	۱۴۵/۰۸	۳۰/۶۹	۳۳۳۴/۱۱	۱۷۸۸۴/۳۹	بالا	
۱۸	۹	۸۱	۵۸۸۴/۷۶	۱۴۹	۳۳/۹۱	۳۳۳۳/۳	۱۷۳۵۲/۵۴	تمام مسائل	

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه سیستم‌های پشتیبانی تصمیم، نقش مهمی در اتخاذ تصمیم‌های مؤثر و کارا برای حل مسائل پیچیده دارند. این تحقیق به ارائه نوعی سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به منظور مدیریت زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل سفارش‌ها بین شرکت سازنده و تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن زمان‌بندی تولید جامع تأمین‌کنندگان و ناوگان حمل‌ونقل مشترک می‌پردازد. علاوه بر موارد یادشده، رویکرد جدیدی با عنوان زمان‌بندی یکپارچه تولید و حمل‌ونقل نیز برای مدیریت این سیستم پیشنهاد شده است. تصمیم‌هایی که این سیستم پشتیبانی تصمیم می‌گیرد عبارت‌اند از: تعیین چگونگی تخصیص سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان، تعیین توالی تولید در آنها، تخصیص سفارش‌ها به وسایل نقلیه و تعیین توالی حمل آنها به منظور کمینه‌کردن مجموع زمان‌های تحویل سفارش‌ها به شرکت سازنده. در ادامه دو رویکرد زمان‌بندی یکپارچه تولید و حمل‌ونقل و زمان‌بندی غیریکپارچه با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج مقایسه، روی تعداد زیادی مسئله تصادفی با ابعاد مختلف، برتری رویکرد زمان‌بندی یکپارچه تولید و حمل‌ونقل را نشان داد. مثالی که در بخش مقدمه آورده شد، نشان داد حالت یکپارچه نتایج بهتری از حالت گسسته داشت. مبرهن است که با یک مثال نمی‌توان نتایج را تعمیم داد. به منظور تعمیم این نتیجه، باید آزمایش‌های متعددی روی مسائل متنوعی اجرا شود که نتایج جدول ۲ این امر را محقق کرده است. نتایج نشان‌دهنده برتری رویکرد یکپارچه نسبت به رویکرد غیریکپارچه در تمام حالات است. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد سفارش‌ها، میانگین جواب‌های به‌دست‌آمده از هر دو روش و همچنین درصد برتری حالت یکپارچه از غیریکپارچه افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد توازن بین تعداد تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه به جواب‌های بهتری نسبت به حالت‌های غیرمتوازن منجر خواهد شد. همچنین هر چه زمان‌های پردازش و زمان‌های حمل کمتر باشند، نتایج بهتری به‌دست خواهد آمد و ظرفیت‌های حمل نسبتاً کم یا زیاد به نتایج بدتری منجر می‌شوند. علت می‌تواند این باشد که با کاهش زیاد ظرفیت وسایل نقلیه، تعداد دفعات رفت و برگشت وسایل نقلیه افزایش می‌یابد و این امر زمان‌های تحویل سفارش‌ها را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، با افزایش این ظرفیت از حد مشخص، سفارش‌ها به‌منظور تکمیل شدن ظرفیت ماشین و حرکت آن به شرکت سازنده مدت زیادی را باید منتظر بمانند که آن نیز زمان تحویل سفارش‌ها را افزایش می‌دهد. نتایج همچنین نشان می‌دهد حالت تصمیم‌گیری غیریکپارچه حدود ۳۳ درصد میانگین زمان‌های تحویل را افزایش می‌دهد.

در نظر گرفتن بخش‌های دیگری از زنجیره تأمین نظیر مشتریان در مسئله، می‌تواند زمینه‌ای برای تحقیقات آتی باشد. اضافه کردن عدم قطعیت در مسئله، نظیر در نظر گرفتن زمان‌های حمل یا پردازش فازی می‌تواند حوزه دیگری برای تحقیقات آتی باشد. همچنین استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم مبتنی بر سایر روش‌های فراابتکاری نظیر روش جست‌وجو ممنوع، شبیه‌سازی تبرید<sup>۱</sup> و... برای حل مسئله، برای تحقیقات آتی توصیه می‌شود.

## References

- Agrell, P., Hatami, J. & Marbini, A. (2013). Frontier-based performance analysis models for supply chain management: State of the art and research directions. *Computers & Industrial Engineering*, 66 (3): 567-583.
- Averbakh, I. (2010). On-line integrated production–distribution scheduling problems with capacitated deliveries. *European Journal of Operational Research*, 200(2): 377-384.
- 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.
- Bagherinezhad, J., Sadegh Amal Nik, M. (2011). Introducing a model for selecting the most appropriate third party logistics companies in Iran. *2nd international & 4rd national Logistics & Supply Chain Conference*, Tehran: 22/11/2011.
- Beheshtinia, M. A., (2009). *The integration of timing for supply and transportation in the car manufacturing industry supply chain*. Doctoral dissertation, Tarbiat Modarres University.
- Bhatnagar, R., Mehta, P. & Teo, C. C. (2011). Coordination of planning and scheduling decisions in global supply chains with dual supply modes. *International Journal of Production Economics*, 131(2): 473-482.
- Holland, J.H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. USA: Michigan Press.
- Kabra, S., Shaik, M. A. & Rathore, A. S. (2013). Multi-period scheduling of a multi-stage multi-product bio-pharmaceutical process. *Computers & Chemical Engineering*, 57: 95-103.

---

1. Simulated Annealing

- Kabaranzadeh Ghadim, M. R. ,Rofougar Astaneh, H., (2009). Designing a Decision Support System (DSS) schema with Applying Genetic Algorithm for Survey of Resource Leveling Problem-(Vehicles), *Journal of information technology management*, 3(2): 69-78. (in Persian)
- Lejeune, M. A. (2006). A variable neighborhood decomposition search method for supply chain management planning problems. *European Journal of Operational Research*, 175(2): 959-976.
- Li, H. & Womer, K. (2008). Modeling the supply chain configuration problem with resource constraints. *International Journal of Project Management*, 26(6): 646-654.
- Liu, S.C. & Chen, A.Z. (2012). Variable neighborhood search for the inventory routing and scheduling problem in a supply chain. *Expert Systems with Applications*, 39(4): 4149-4159.
- Mahdavi Mazdeh, M., Sarhadi, M. & Hindi, Kh. S. (2008). A branch-and-bound algorithm for single-machine scheduling with batch delivery and job release times. *Computers & Operations Research*, 35(4): 1099-1111.
- Maravelias, C. T. & Sung, C. (2009). Integration of production planning and scheduling: Overview, challenges and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 33(12): 1919-1930.
- Mehravaran, Y. & Logendran, R. (2012). Non-permutation flowshop scheduling in a supply chain with sequence-dependent setup times. *International Journal of Production Economics*, 135(2): 953-963.
- Murdick, R.G. & Munson, J.C. (1986). *MIS Concepts & Design*. 2nd ed. London: Prentic– Hall.
- 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.
- Ren, J., Du, D. & Xu, D. (2013). The complexity of two supply chain scheduling problems. *Information Processing Letters*, 113(17): 609-612.
- Rostamian Delavar, M., Hajiaghaei-Keshteli, M. & Molla-Alizadeh-Zavardehi, S. (2010). Genetic algorithms for coordinated scheduling of production and air transportation. *Expert Systems with Applications*, 37(12): 8255-8266.
- Sawik, T. (2014). Joint supplier selection and scheduling of customer orders under disruption risks: Single vs. dual sourcing. *Omega*, 43: 83-95.

- Selvarajah, E., & Zhang, R. (2014). Supply chain scheduling at the manufacturer to minimize inventory holding and delivery costs. *International Journal of Production Economics*, 147, Part A: 117-124.
- Scholz-Reiter, B., Frazzon, E.M. & Makuschewitz, T. (2010). Integrating manufacturing and logistic systems along global supply chains. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(3): 216-223.
- Shaik, M. A. & Floudas, C. A. (2007). Resource-Task-Network Framework For Short-Term Scheduling Of Batch Plants Using Unit-Specific Event-Based Continuous-Time Approach. AICHE Annual Meeting 2007.
- Simchi-Levi, D. & Kaminsky, P. (2000) *Designing and managing the supply chain*, New York: Mc Graw Hill.
- Su, C.S., Pan, J. C.H. & Hsu, T. S. (2009). A new heuristic algorithm for the machine scheduling problem with job delivery coordination. *Theoretical Computer Science*, 410(27-29): 2581-2591.
- Tavana, M., Abtahi, A. R. & Khalili-Damghani, K. (2014). A new multi-objective multi-mode model for solving preemptive time–cost–quality trade-off project scheduling problems. *Expert Systems with Applications*, 41(4): 1830-1846.
- Thomas, A., Venkateswaran, J., Singh, G. & Krishnamoorthy, M. (2014). A resource constrained scheduling problem with multiple independent producers and a single linking constraint: A coal supply chain example. *European Journal of Operational Research*, 236(3): 946-956.
- Ullrich, C. A. (2013). Integrated machine scheduling and vehicle routing with time windows. *European Journal of Operational Research*, 227(1): 152-165.
- Wang, X. and T. C. E. Cheng (2009). Production scheduling with supply and delivery considerations to minimize the makespan. *European Journal of Operational Research*, 194(3): 743-752.
- Yao, J. & Liu, L. (2009). Optimization analysis of supply chain scheduling in mass customization. *International Journal of Production Economics*, 117(1): 197-211.
- Yeung, W.K., Choi, T.M. & 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.

- 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.
- Zegordi, S. H., Kamal Abadi, I.N. & Beheshti-Nia, M.A. (2010). A novel genetic algorithm for solving production and transportation scheduling in a two-stage supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 58(3): 373-381.