

## تحلیل سه سناریوی مختلف در بهینه‌سازی مصرف انرژی و زمان‌بندی در زنجیره تأمین

محمدعلی بهشتی نیا<sup>۱\*</sup>، سید امیرمحمد خطیبی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

beheshtinia@semnan.ac.ir

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد MBA دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

am.khatib@semnan.ac.ir

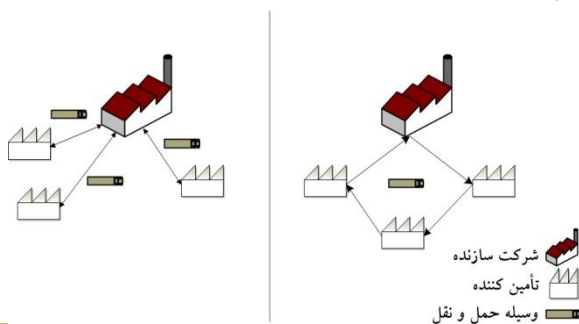
چکیده: یکی از مهم‌ترین مباحث در بخش حمل‌ونقل مصرف سوخت است. با توجه به یارانه‌ای بودن سوخت در کشور، هم به صرف دولت و هم به صرف بخش خصوصی است که مصرف سوخت در حمل‌ونقل کاهش یابد. یکی از مهم‌ترین حوزه‌هایی که بحث سوخت در آن اهمیت دارد، حوزه صنعت است؛ کاهش مصرف سوخت در این حوزه، علاوه بر مزایای دیگر موجب کاهش هزینه تمام‌شده محصولات نهایی و در نتیجه، رقابتی شدن آن‌ها می‌شود. از سوی دیگر، تمرکز بر روی کاهش مصرف سوخت ممکن است منجر به اختلال در زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل شود. مقاله حاضر با مطرح کردن مدلی برای کاهش مصرف سوخت در تولید محصولات نهایی، همزمان بحث زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل را مورد نظر قرار می‌دهد. مدل پیشنهادی مؤلفه‌هایی چون تمرکز در تصمیم‌گیری جامع در امر تولید توسط تأمین‌کنندگان، حمل‌ونقل اشتراکی و یکپارچگی زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل را مورد نظر قرار می‌دهد. به منظور بررسی کارایی مدل پیشنهادی، این مدل با دو مدل رایج در بخش تولید مقایسه شده است. به منظور جامع بودن نتیجه حاصل از این تحقیق، مقایسه‌ها روی تعداد زیاد و طیف متنوعی از مسائل صورت پذیرفته است. نتایج حاصل نشان از برتری مدل پیشنهادی نسبت به مدل‌های رایج در بخش تولید و حمل‌ونقل است.

واژه‌های کلیدی: مصرف سوخت، هزینه تمام‌شده، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، زمان‌بندی، زنجیره تأمین.

## ۱. مقدمه

می‌شود. در ادامه، هریک از مؤلفه‌های استفاده‌شده در مدل پیشنهادی به‌اختصار توضیح داده می‌شوند:

۱. **ناوگان حمل‌ونقل مشترک:** براساس مطالعات میدانی صورت‌پذیرفته در بسیاری از صنایع، متأسفانه تأمین‌کنندگان، بسیاری از قطعات تولیدی خود را به‌طور مستقل تا شرکت سازنده حمل می‌کنند؛ این امر موجب افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل شده و تأمین‌کنندگان نیز برای جبران این هزینه، بهای تمام‌شده قطعات را افزایش می‌دهند. در صورتی که تأمین‌کنندگان به‌صورت مشترک از وسایل نقلیه استفاده کنند، این امر موجب کاهش چشمگیر مصرف سوخت و در نتیجه، هزینه‌های حمل‌ونقل می‌شود. در شکل (۱) تفاوت حمل‌ونقل مشترک و مستقل نشان داده شده است.



شکل (۱): تفاوت حمل‌ونقل مشترک و مستقل

۲. **مدیریت جامع تولید در تأمین‌کنندگان:** در مدل پیشنهادی ما محدودیت‌های تولید تأمین‌کنندگان در نظر گرفته می‌شود و این شرکت سازنده است که زمان‌بندی تولید در تأمین‌کنندگان را با رویکردی جامع انجام می‌دهد. بنابراین نیازی به انباشت قطعات در تأمین‌کنندگان نیست و این امر هزینه‌های زنجیره تأمین را کاهش می‌دهد.

۳. **یکپارچگی تصمیمات تولید و حمل‌ونقل:** در رویکرد غیریکپارچه تصمیمات مربوط به تولید و حمل‌ونقل، به‌صورت جداگانه و سلسله‌مراتبی گرفته می‌شوند؛ حال آنکه در رویکرد یکپارچه، این تصمیمات به‌صورت همزمان گرفته می‌شود. در نظر گرفتن جداگانه برنامه‌ریزی تولید در تأمین‌کنندگان و حمل‌ونقل ممکن است ما را از رسیدن به نقطه بهینه عمومی<sup>۱</sup> بازدارد. این امر را می‌توان با یک مثال عددی نشان داد. فرض کنید که در زنجیره تأمین، یک تأمین‌کننده و یک وسیله نقلیه و همچنین چهار سفارش وجود دارند که باید توسط تأمین‌کننده موردپرداش قرار گرفته و توسط وسیله نقلیه به‌سمت شرکت سازنده حمل شوند. وزن سفارش‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر ۱، ۱، ۲ و ۲ واحد و ظرفیت وسیله نقلیه برابر ۳ واحد است. زمان پردازش

مصرف حامل‌های انرژی در کشور بسیار زیاد و با رشد غیرمتعارف در حال افزایش است. با توجه به یارانه‌ای بودن سوخت در کشور، متأسفانه افزایش مصرف غیرمتعارف و اتلاف انرژی در کشور، علاوه بر تحمیل هزینه به دولت، باعث افزایش آسیب‌های زیست‌محیطی به کشور نیز شده است. یکی از مهم‌ترین حوزه‌هایی که بحث سوخت در آن اهمیت دارد، حوزه صنعت است؛ کاهش مصرف سوخت در این حوزه، علاوه بر مزایای دیگر، موجب کاهش هزینه تمام‌شده محصولات نهایی و در نتیجه، رقابتی شدن آن‌ها می‌شود. از این رو هم بخش خصوصی و هم بخش دولتی نیاز به برنامه‌ریزی دقیق برای کاهش مصرف سوخت دارند که تأثیر بسزایی در اقتصاد خرد و همچنین اقتصاد کلان کشور می‌گذارد. از سوی دیگر، تمرکز بر روی کاهش مصرف سوخت ممکن است به اختلال در زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل منجر شود. مقاله حاضر با مطرح کردن مدلی برای کاهش مصرف سوخت در تولید محصولات نهایی، همزمان بحث زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل را موردنظر قرار می‌دهد. مدل پیشنهادی مؤلفه‌هایی چون تمرکز در تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین در امر تولید، حمل‌ونقل اشتراکی و یکپارچگی زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل را موردنظر قرار می‌دهد.

مدیریت زنجیره تأمین دربرگیرنده تمامی جابه‌جایی‌ها و ذخیره مواد اولیه، موجودی در حین کار و محصول تمام‌شده از نقطه شروع اولیه تا نقطه پایان مصرف است. امروزه مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان به‌صورت وظیفه یکپارچه‌سازی واحدهای سازمانی در طول زنجیره تأمین و هماهنگ‌سازی جریان‌های مواد، کاهش مصرف سوخت، اطلاعات و بخش مالی به‌منظور برآوردن تقاضای مشتری (نهایی) و با هدف بهبود رقابت‌پذیری یک زنجیره تأمین تعریف کرد. با ظهور پدیده جهانی‌سازی، رقابت بین شرکت‌های سازنده، بیشتر از گذشته شده است و سازمان‌ها رمز بقا را در ارضای نیازهای مشتری از قبیل کاهش قیمت، تحویل بموقع و کیفیت مناسب می‌دانند و برای رسیدن به این نیازها از ابزار مدیریت زنجیره تأمین استفاده می‌کنند. در این تحقیق سعی شده است علاوه بر در نظر گرفتن تحویل بموقع در زنجیره تأمین، به کاهش قیمت تمام‌شده به‌وسیله اصلاح برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و کاهش مصرف سوخت پرداخته شود.

همچنین به‌منظور دستیابی همزمان به کاهش همزمان مصرف سوخت و تحویل بموقع در صنعت، مدلی برای مدیریت زنجیره تأمین با تأکید بر سه مؤلفه مدیریت جامع تولید در تأمین‌کنندگان، ناوگان حمل‌ونقل مشترک برای انتقال قطعات تولیدشده در تأمین‌کنندگان به شرکت سازنده و یکپارچگی تصمیمات در این دو حوزه پیشنهاد

یک شرکت سازنده و تأمین کنندگان با تأکید بر زمان بندی تولید جامع در تأمین کنندگان و استفاده از ناوگان حمل و نقل مشترک می پردازد. هدف تعیین نحوه تخصیص سفارش ها به تأمین کنندگان، تعیین توالی تولید در آن ها، تخصیص سفارش ها به وسایل نقلیه و تعیین توالی حمل آن ها به منظور کمینه کردن همزمان مجموع سوخت مصرف شده و مجموع زمان های تحویل سفارش ها به شرکت سازنده است. به منظور حل این مسئله، یک الگوریتم ژنتیک با ساختار کروموزوم های متغیر پیشنهاد شده است. نوآوری های این تحقیق عبارتند از:

- بررسی یک مسئله جدید در زمینه زمان بندی در زنجیره تأمین با تمرکز همزمان روی کاهش مصرف سوخت و زمان تحویل سفارش ها؛
- ارائه یک مدل جدید در مدیریت زنجیره تأمین با رویکرد یکپارچگی زمان بندی تولید و حمل و نقل؛
- ارائه یک الگوریتم ژنتیک با ساختار کروموزوم های متغیر برای مسئله مذکور.

در ادامه، مرور ادبیات در زنجیره تأمین ارائه می شود. در بخش ۳ به تشریح مسئله پرداخته می شود. بخش ۴ به ارائه یک الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه سازی تصمیمات در مدل پیشنهادی اختصاص دارد. در بخش پنجم، عملکرد مدل پیشنهادی با رویکرد تحلیل سناریو بررسی می شود. بخش آخر نیز به بیان نتیجه گیری و زمینه های تحقیقات آتی می پردازد.

## ۲. مرور ادبیات

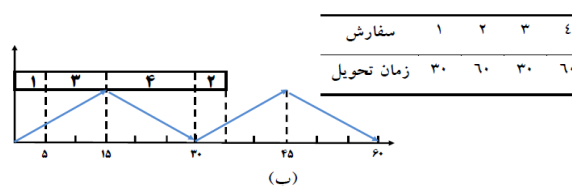
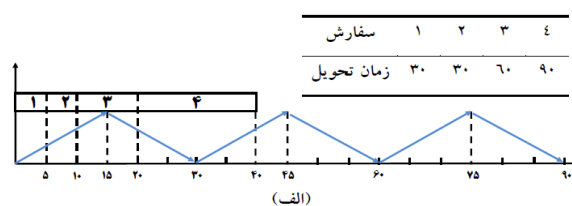
تاکنون تحقیقات مختلفی روی مبحث زمان بندی در زنجیره تأمین و همچنین کاهش مصرف سوخت صورت پذیرفته است. در این بخش از تحقیق، ابتدا به بررسی ادبیات موضوع در رابطه با مصرف سوخت و سپس به مبحث زمان بندی در زنجیره تأمین پرداخته شده است. در نهایت فضای خالی تحقیق معین و بررسی می شود.

تاکنون تحقیقات فراوانی در رابطه با کاهش مصرف سوخت صورت گرفته است. وانگ و فنگ [۱] به بررسی یک مطالعه موردی درباره مصرف انرژی با در نظر گرفتن نسبت استفاده از انرژی و آلودگی ناشی از مصرف انرژی پرداخته اند. حوری جعفری و براتی ملایری [۲] به بررسی بحران مصرف بنزین در بخش حمل و نقل ایران پرداخته اند؛ نتایج تحقیقشان نشان می دهد که نه تنها قیمت پایین بنزین موتور بلکه تولید انبوه وسایل نقلیه با تکنولوژی قدیمی بر تقاضای بنزین موتور تأثیر می گذارد. آپرجیس و پاین [۳] به بررسی مصرف انرژی و رشد آن با استفاده از یک مدل تصحیح خطا پانل پرداخته اند؛ این مدل بر مصرف انرژی بر رشد اقتصادی و در نتیجه، فرضیه رشد مؤثر است.

سفارش های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر ۵ واحد، ۵ واحد، ۱۰ واحد و ۱۵ واحد است. تابع هدف مسئله کمینه نمودن همزمان مجموع زمان های تحویل سفارش ها و مصرف سوخت است. همچنین وزن های توابع هدف مجموع زمان های تحویل سفارش ها و مصرف سوخت به ترتیب ۰/۷ و ۰/۳ فرض می شود. این وسیله نقلیه فاصله بین تأمین کننده تا شرکت سازنده را در ۱۵ واحد زمانی طی می کند. همچنین برای راحتی کار فرض می شود مصرف سوخت وسیله نقلیه به ازای هر واحد زمانی برابر ۱ لیتر است.

در رویکرد غیریکپارچه مطابق شکل (۲-الف) با توجه به اینکه در مرحله زمان بندی تولید از محدودیت های ناوگان حمل و نقل اطلاعاتی در دسترس نیست، تصمیم گیرنده اولویت تولید را با توجه به کوتاه بودن زمان پردازش سفارش ها (که مجموع زمان تکمیل کمتری را موجب می شود) تعیین می کند. بنابراین اولویت پردازش سفارش ها به ترتیب با سفارش های ۱، ۲، ۳ و ۴ خواهد بود. سپس در مرحله برنامه ریزی حمل و با توجه به محدودیت ظرفیت های وسایل نقلیه، این وسیله ابتدا سفارش ۲ را به سمت شرکت سازنده حمل کرده و سپس به سمت تأمین کننده بازگشته و سفارش ۳ را به شرکت سازنده و در نهایت به سمت تأمین کننده برگردانده و سفارش ۴ را به سمت شرکت سازنده منتقل می کند. در این حالت، مجموع زمان تحویل سفارش ها برابر ۲۱۰ و میزان مصرف سوخت با توجه به مدت زمانی که وسیله نقلیه در حرکت بوده، برابر ۹۰ واحد است.

اما اگر روابط متقابل بین زمان بندی تولید و حمل و نقل در نظر گرفته شود، می توان یک زمان بندی مطابق شکل (۲-ب) ارائه داد که بر اساس آن، مجموع زمان تحویل سفارش ها برابر ۱۸۰ و میزان مصرف سوخت برابر ۶۰ واحد است. این مثال نشان می دهد که رویکرد غیریکپارچه رسیدن به جواب بهینه عمومی را تضمین نمی کند.



شکل (۲): توالی پردازش سفارش ها در تأمین کنندگان و وسیله حمل و نقل

این مقاله به بررسی یکپارچگی زمان بندی تولید و حمل و نقل بین

سوخت در بخش صنعت را با توجه به رویکرد استفاده از ناوگان حمل‌ونقل مشترک بین تأمین‌کنندگان در یک زنجیره تأمین، بررسی کرده و اثرات توأم آن با زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل را در نظر بگیرد. در رابطه با مبحث زمان‌بندی در زنجیره تأمین نیز تاکنون تحقیقات مختلفی صورت پذیرفته است. لاسچویت و تیجسن [۱۳] به بررسی تصمیمات برنامه‌ریزی و زمان‌بندی در زنجیره‌بافی صنعت نفت و صنایع شیمیایی پرداخته‌اند. لی و همکاران [۱۴] به بررسی مسئله زمان‌بندی در زنجیره تأمین صنایع الکترونیکی با در نظر گرفتن حمل‌وایی پرداخته‌اند.

آمارو و باریوساپووا [۱۵] به بررسی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی در زنجیره تأمین صنایع دارویی با در نظر گرفتن جریان‌های معکوس پرداخته‌اند. لی و مر [۱۶] به بررسی مسئله ترکیب‌بندی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن محدودیت منابع پرداخته‌اند. ماراولیس و سانگ [۱۷] به بررسی روش‌های مختلف یکپارچگی برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی پرداخته‌اند. زندیه و ملاعلیزاده زاردهی [۱۸] به بررسی یکپارچگی مسئله زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل هوایی پرداخته‌اند.

وانگ و چن [۱۹] به بررسی زمان‌بندی لجستیک در یک زنجیره تأمین متشکل از یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک مشتری با هدف کمینه کردن مجموع هزینه‌های موجودی و حمل‌ونقل پرداخته‌اند. وانگ و چنگ [۲۰] به بررسی مسئله زمان‌بندی عرضه و تحویل سفارش‌ها با هدف کمینه‌سازی بازه ساخت پرداخته‌اند. یائو و لیسو [۲۱] به تجزیه و تحلیل زمان‌بندی در زنجیره تأمین در حالت تولید انبوه سفارشی پرداخته و یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای حل مسئله ارائه کرده‌اند. ذگردی و بهشتی‌نیا [۲۲] یکپارچگی حمل‌ونقل در زنجیره تأمین دومرحله‌ای تک‌کارخانه‌ای را با در نظر گرفتن تخصیص کارها به تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن نواحی جغرافیایی بررسی کرده‌اند. ذگردی و همکاران [۲۳] الگوریتم ژنتیک جدیدی را برای یک زنجیره تأمین دومرحله‌ای تک‌کارخانه‌ای ارائه داده‌اند. آن‌ها از تأمین‌کنندگانی با سرعت‌های متفاوت و با ناوگان حمل‌ونقل با ظرفیت‌های متفاوت استفاده کرده‌اند. آوریخ [۲۴] به بررسی زمان‌بندی بر خط در زنجیره تأمین متشکل از یک کارخانه و چند مشتری با هدف کمینه‌سازی مجموع وزنی جریان کاری سفارش‌ها پرداخته است. رستمیان دلاور و همکاران [۲۵] یک الگوریتم ژنتیک را به منظور یکپارچگی زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل هوایی ارائه کرده‌اند. مهرآوران و لجندران [۲۶] زمان‌بندی در محیط جریان کاری با زمان‌های آماده‌سازی وابسته به‌توالی با دو تابع هدف کمینه کردن سفارش‌های نیمه‌ساخته<sup>۲</sup> و بیشینه کردن

چون و همکاران [۴] به تجزیه و تحلیل قیمت جهانی بنزین در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹ و یارانه‌ای کردن قیمت بنزین پرداختند. باگرو و همکاران [۵] به بررسی تجربی اثر مصرف سوخت و همچنین عملکرد موتور و آگزوز قبل از احتراق موتور در محفظه بنزین پرداختند. هائو و همکاران [۶] به تجزیه و تحلیل سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف انرژی خودروهای سواری در چین پرداختند. نتایج تحقیق سبب کاهش ۱۵ درصدی تولید گازهای گلخانه‌ای و بهینه‌سازی مصرف سوخت شده است. ژانگ و یائو [۷] تحقیقی درباره برآورد مصرف انرژی خودروهای الکتریکی ارائه کرده‌اند؛ نتایج تحقیقشان بیانگر آن است که مدل استفاده‌شده نسبت به مدل‌های پیشین دارای افزایش دقت ۲۵ درصدی در کاهش مصرف سوخت است. احسانی و همکاران [۸] به مدل‌سازی مصرف سوخت خودرو و انتشار دی‌اکسیدکربن در حمل‌ونقل جاده‌ای پرداختند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که انتشار دی‌اکسیدکربن و میزان مصرف سوخت در سیستم جریان آزاد و عوارض الکترونیکی باعث کاهش حداقل ۵۰ درصدی نسبت به سیستم عوارض سنتی می‌شود. منگ و پن [۹] یک الگوریتم با عنوان تکامل پادشاه میمون<sup>۱</sup> را بررسی کردند که یک الگوریتم تکاملی ممتیک جدید است و کاربرد آن در بهینه‌سازی مصرف سوخت در خودرو است. مایکل و همکاران [۱۰] به تحقیق درباره مدل بهینه‌سازی مصرف سوخت و کاهش آلاینده‌های گلخانه‌ای بنزین با مبدل کاتالیزوری پرداخته‌اند؛ این مدل سبب کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای شده است. آچور و بلومی [۱۱] به بررسی رابطه بین زیرساخت حمل‌ونقل، مصرف انرژی و رشد اقتصادی پایدار در تونس پرداخته‌اند. این تحقیق زیرساخت حمل‌ونقل را به‌عنوان بُعد جدیدی در اهمیت سرمایه‌گذاری به‌منظور رسیدن به رشد اقتصادی بالاتر مدنظر قرار داده‌اند. دی میو و همکاران [۱۲] به بررسی مدل مصرف انرژی ناشی از انتقال شبکه‌ای و مهاجرت ماشین<sup>۲</sup> مجازی پرداخته‌اند. این مقاله نشانگر افزایش ۲۴ درصدی دقت مصرف سوخت و آلاینده‌های آن در این مدل می‌شود.

نگاهی به تحقیقاتی که در این بخش صورت پذیرفته است، نشان می‌دهد که تحقیقات مختلف از دیدگاه‌های مختلفی به بحث کاهش مصرف سوخت پرداخته‌اند. برخی از تحقیقات از منظر مکانیک خودروها به بحث کاهش مصرف سوخت پرداخته‌اند. برخی دیگر اثرات زیرساخت‌های حمل‌ونقل نظیر جاده‌ها در کاهش مصرف سوخت را تجزیه و تحلیل کرده‌اند. برخی دیگر اثرات اقتصاد کلان نظیر یارانه و... در کاهش مصرف سوخت موردبررسی قرار داده‌اند. این تحقیق، قصد دارد مصرف

1. Monkey King  
2. VM Migration

گام ۷. مقایسه و تحلیل نتایج به دست آمده در هر مدل (سناریو) و تعیین بهترین مدل.

بر مبنای گام‌های تحقیق به منظور انجام این تحقیق، همان‌گونه که ذکر شد، ابتدا زنجیره تأمین مورد بررسی شناسایی شد. زنجیره تأمین مورد بررسی شامل یک شرکت سازنده محصولات نهایی است که سفارش‌های خود را به تعدادی تأمین‌کننده اختصاص داده و تأمین‌کنندگان نیز با تولید این سفارش‌ها آن‌ها را توسط تعدادی وسایل نقلیه به شرکت سازنده تحویل می‌دهند.

در این بخش، مدل پیشنهادی برای مدیریت تولید و حمل و نقل در زنجیره تأمین مورد بررسی ارائه می‌شود که شامل سه مؤلفه زمان‌بندی تولید جامع در تأمین‌کنندگان، استفاده از ناوگان حمل و نقل مشترک و یکپارچگی تصمیمات تولید و حمل و نقل است. مفروضات مسئله عبارت‌اند از:

- J تأمین‌کننده وجود دارند که سفارش‌های مورد نیاز برای شرکت سازنده را تولید می‌کنند. تأمین‌کنندگان به علت دارا بودن تجهیزات و ماشین‌آلات مختلف دارای توانایی تولید متفاوتی هستند. زمان پردازش هر سفارش توسط تأمین‌کنندگان مختلف به علت متفاوت بودن سرعت تأمین‌کنندگان می‌تواند متفاوت باشد.
- I سفارش وجود دارد که باید برای پردازش به تأمین‌کنندگان اختصاص داده شوند.
- به منظور واقعی شدن مسئله، هر تأمین‌کننده‌ای قادر به پردازش تنها برخی از سفارش‌هاست. به منظور نشان دادن این محدودیت، از ماتریس ALLOW با درایه‌های صفر و یک و با ابعاد  $J \times I$  استفاده شده است. اگر تأمین‌کننده S قادر به پردازش سفارش i ام باشد، مقدار درایه  $(s,i)$  در ماتریس مذکور برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است. همچنین اگر تمام درایه‌های ماتریس ALLOW برابر ۱ باشند، بدین معنی است که هر تأمین‌کننده قادر به پردازش هر سفارش است.
- تعداد k وسیله نقلیه وجود دارد که سفارش‌های پردازش شده توسط تأمین‌کنندگان را به شرکت سازنده ارسال می‌کند.
- وسایل نقلیه دارای ظرفیت متفاوت برای حمل کالاها هستند. همچنین زمان حمل یک مسیر توسط هر وسیله نقلیه به علت متفاوت بودن سرعت وسایل نقلیه، ممکن است متفاوت باشد.
- مصرف سوخت هر وسیله نقلیه در یک مسیر از رابطه (۱) تعیین می‌شود:

$$\text{Energy Consumption} = a \times \text{dis} + b \times \text{weight} \quad (1)$$

که a میزان مصرف به ازای واحد مسافت، dis مسافت مسیر

سطح سرویس را بررسی کرده‌اند. ساویک [۲۷] به بررسی ارتباط زمان‌بندی با انتخاب تأمین‌کنندگان در حالت وجود ریسک‌های قطع<sup>۱</sup> پرداخته و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و احتمالی برای مسئله ارائه کرده است. هان و همکاران [۲۸] به بررسی به حداقل رساندن زمان تکمیل کار نهایی و هزینه تحویل بر روی ماشین‌های موازی و تک‌ماشین همراه با یک مشتری پرداخته‌اند. گوو و همکاران [۲۹] به بررسی دو روش بهینه‌سازی تکاملی برای تولید یکپارچه و برنامه‌ریزی حمل و نقل پرداخته‌اند. لی و همکاران [۳۰] روش‌های فرآیندکاری برای زمان‌بندی کارها را با توجه به زمان انتظار و همچنین زمان تأخیر کارها را بررسی کرده‌اند.

مرور ادبیات موضوع نشان می‌دهد که تحقیقات متعددی در زمینه کاهش مصرف سوخت صورت پذیرفته است. این امر درباره زمان‌بندی در زنجیره تأمین نیز مشاهده می‌شود. اما تحقیقی که همزمان هر دوی این ویژگی‌ها را در یک مسئله بررسی می‌کند، تاکنون در ادبیات موضوع مطرح نشده است. همان‌گونه که اشاره شد، تمرکز روی کاهش مصرف سوخت در حوزه حمل و نقل صنعتی، موجب اختلال در زمان‌بندی و طولانی شدن تحویل سفارش‌ها در یک زنجیره تأمین می‌شود. مقاله حاضر با ارائه مدلی جدید در زمینه مدیریت تولید و حمل و نقل در زنجیره تأمین، سعی در کاهش همزمان مصرف سوخت و زمان تحویل سفارش‌ها دارد.

### ۳. تعریف مسئله

به منظور انجام هر تحقیق، مراحل باید صورت پذیرد. گام‌های انجام این تحقیق به صورت زیر است:

- گام ۱. در نظر گرفتن اجزای زنجیره تأمین مورد بررسی؛
- گام ۲. ارائه مدل پیشنهادی برای مدیریت تولید و حمل و نقل در زنجیره تأمین مذکور؛
- گام ۳. تعیین پارامترهای ورودی، متغیرهای خروجی (متغیرهای تصمیم‌گیری) و تابع هدف مسئله؛
- گام ۴. ارائه یک الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی تصمیم در مدل پیشنهادی و کدنویسی آن‌ها در نرم‌افزار متلب؛
- گام ۵. تعیین مدل‌های رایج در زمینه مدیریت تولید و حمل و نقل در زنجیره تأمین مذکور و ارائه الگوریتم‌های ژنتیک مشابه برای بهینه‌سازی تصمیم در مدل‌های مذکور؛
- گام ۶. ایجاد تعداد زیادی از شرایط مختلف (مسائل) تصادفی مختلف و حل آن‌ها توسط هریک از مدل‌ها (سناریوها)؛

#### 1. Disruption Risk

در زمان معقول امکان‌پذیر نیست و باید از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری برای حل مسئله استفاده کرد. در بخش بعد، یک الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی تصمیمات در مسئله مورد بررسی و تحت مدل پیشنهادی ارائه می‌شود.

#### ۴. الگوریتم ژنتیک پویا

همان‌گونه که ذکر شد، به علت  $NP-hard$  بودن مسئله، استفاده از روش‌های دقیق برای حل مسئله در زمان معقول ممکن نیست و باید از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری برای حل مسئله استفاده کرد. به علت اینکه در ادبیات، موضوع استفاده از الگوریتم ژنتیک از اقبال بیشتری نسبت به سایر روش‌های فراابتکاری برخوردار بوده است، برای حل مسئله سعی شد از الگوریتم ژنتیک استفاده شود.

در این قسمت به منظور حل مسئله، یک الگوریتم ژنتیک به نام الگوریتم ژنتیک پویا ارائه شده است که کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر دارد. ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک ارائه شده دویعدی است. بعد عمودی نشان‌دهنده تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه و بعد افقی نشان‌دهنده سفارش‌های تخصیص‌یافته و ترتیب آن‌ها به هریک از تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه است. برای هریک از تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه یک رشته آرایه وجود دارد که طول و ترتیب عناصر آن نشان‌دهنده تعداد و ترتیب سفارش‌های تخصیص‌یافته به آن تأمین‌کننده یا وسیله نقلیه است. اگر تعداد سفارش‌های تخصیص‌یافته به تأمین‌کنندگان یا وسیله نقلیه، کم یا زیاد شود، طول رشته متناظر نیز کم یا زیاد خواهد شد. وجه تمایز الگوریتم ژنتیک پویا نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک کلاسیک به این صورت است که در الگوریتم‌های ژنتیک کلاسیک طول کروموزوم‌ها ثابت است، در صورتی که در الگوریتم ژنتیک ارائه شده، کروموزوم از چند رشته تشکیل شده که طول آن‌ها متغیر است.

به منظور توضیح بیشتر، فرض کنید ۷ سفارش، ۴ تأمین‌کننده و ۲ وسیله نقلیه داریم. وزن همه سفارش‌ها ۱ واحد و ظرفیت وسایل نقلیه اول و دوم به ترتیب ۳ و ۴ واحد است. فرض کنید تخصیص سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه و همچنین اولویت پردازش و حمل آن‌ها به صورت شکل (۳) باشد. آنگاه ساختار کروموزومی که بیان‌کننده تخصیص شکل (۳) باشد، به صورت نشان داده شده در شکل (۴) خواهد بود. در ادامه، سایر پارامترها و عملگرهای این الگوریتم ژنتیک شرح داده می‌شوند.

مورد نظر،  $b$  میزان مصرف به ازای هر واحد وزن محموله و  $weight$  وزن محموله‌ای است که توسط وسیله مذکور حمل می‌شود.

- هر وسیله نقلیه پس از حمل کالا از شرکت‌های تأمین‌کننده به شرکت‌های سازنده از مسئله حذف نمی‌شود، بلکه می‌تواند دوباره مورد استفاده قرار بگیرد. این حالت وسیله نقلیه باید به ناحیه جغرافیایی که تأمین‌کنندگان در آن قرار دارند بازگردد و سپس مورد استفاده قرار گیرد؛ در نتیجه، به زمان برگشت نیز باید در زمان‌بندی توجه شود.
  - سفارش‌ها وزن‌های متفاوتی دارند.
  - زمان بارگیری در این مسئله صفر در نظر گرفته شده است.
  - وسایل نقلیه در ابتدای زمان‌بندی در یک پایانه قرار دارند. فاصله این پایانه از شرکت سازنده و هریک از تأمین‌کنندگان مشخص است.
  - هر وسیله نقلیه می‌تواند چندین بار مورد استفاده قرار بگیرد. به عبارت دیگر ممکن است چندین محموله را از تأمین‌کنندگان مختلف به شرکت سازنده حمل کند. مجموع وزن سفارش‌هایی که به یک محموله از وسیله نقلیه اختصاص می‌یابد، باید کمتر از ظرفیت وسیله نقلیه باشد.
  - هر وسیله می‌تواند قطعات یا مواد مورد نیاز برای تحویل چند سفارش را در یک محموله به شرکت سازنده حمل کند. میزان ظرفیت اشغال شده توسط هر کالا متفاوت فرض می‌شود؛ در این مقاله ظرفیت براساس وزن تعیین می‌شود.
  - زمان تکمیل هر سفارش برابر زمانی است که سفارش به شرکت سازنده تحویل داده می‌شود.
- هدف تعیین نحوه تخصیص سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان، تعیین توالی تولید در آن‌ها، تخصیص سفارش‌ها به وسایل نقلیه و تعیین توالی حمل آن‌ها به منظور کمینه کردن همزمان مجموع سوخت مصرف شده و زمان تحویل سفارش‌ها به شرکت سازنده است.
- حالت خاصی از مسئله که تنها یک تأمین‌کننده و یک وسیله نقلیه وجود داشته باشد، سرعت تمام تأمین‌کنندگان وسایل نقلیه برابر ۱ باشد و تنها تابع هدف زمان‌بندی در نظر گرفته شود، تبدیل به یک مسئله ساده‌تر می‌شود که توسط چانگ و لی [۳۱] مطرح شده است. آن‌ها نشان دادند که مسئله مورد بررسی توسط آن‌ها دارای پیچیدگی از نوع  $NP-hard$  است. بنابراین، پیچیدگی مسئله ما که تعمیم مسئله در نظر گرفته شده توسط آن‌هاست نیز حداقل از نوع  $NP-hard$  خواهد بود. در نتیجه، به دست آوردن جواب بهینه برای مسائل متوسط یا بزرگ

گام ۲. سفارش‌ها را به محموله‌های مختلف وسایل نقلیه به صورت زیر اختصاص دهید:

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

گام ۲-۲. سفارش با اولویت اول را به اولین محموله (B1) اختصاص دهید.

گام ۲-۳. به همین ترتیب، سفارشی را که بالاترین اولویت حمل را داشته و هنوز به محموله‌ها تخصیص نیافته است، در نظر بگیرید و آن را به دسته دارای کوچک‌ترین اندیس اختصاص دهید، به طوری که مجموع ظرفیت اشغالی سفارش‌های 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 ۳. پس از اتمام دسته‌بندی سفارش‌ها با توجه به اینکه محموله‌بندی سفارش‌ها و در نتیجه مسیر حرکت هر وسیله نقلیه مشخص شده است، میزان مصرف سوخت ماشین‌ها را محاسبه کنید. همچنین با توجه به مواردی چون اولویت حمل، مسیرهای مشخص شده‌ای که هر وسیله نقلیه باید طی کند، زمان تکمیل هر سفارش در مرحله تولید و سرعت وسیله نقلیه مربوطه، زمان تحویل سفارش‌ها را محاسبه کنید.

در عملگر تلفیق گام‌های زیر به تعداد  $[popsiz \times cross-rate]$  بار تکرار می‌شود که cross-rate نشان‌دهنده نرخ عملگر تلفیق است:

گام ۱. دو کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب کنید. کروموزومی را که تابع شایستگی بهتری دارد،  $P_1$  و کروموزومی را که تابع شایستگی بدتری دارد،  $P_2$  بنامید.

گام 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، مشابه تخصیص و توالی سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان در کروموزوم  $P_1$  و در غیر این صورت، براساس تخصیص و توالی سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان در کروموزوم  $P_2$  به دست می‌آید. به همین ترتیب، اگر مقدار عنصر دوم کمتر از عدد  $r$  باشد، 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 این صورت، براساس تخصیص و اولویت حمل سفارش‌ها در کروموزوم  $P_2$  به دست می‌آید.

۷→۵→۲	تأمین‌کننده ۱
۱	تأمین‌کننده ۲
۶→۴	تأمین‌کننده ۳
۳	تأمین‌کننده ۴
۷→۳→۱→۴	وسيلة نقلیه ۱
۶→۵→۲	وسيلة نقلیه ۲

شکل (۳): سفارش‌های تخصیص یافته و ترتیب آن‌ها

۲	۵	۷	تأمین‌کننده ۱
		۱	تأمین‌کننده ۲
۴	۶	تأمین‌کننده ۳	
	۳	تأمین‌کننده ۴	
۴	۱	۷	وسيلة نقلیه ۱
۲	۵	۶	وسيلة نقلیه ۲

شکل (۴): ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک پویا

اندازه جمعیت اولیه توسط پارامتری به نام popsize مشخص می‌شود و هر کروموزوم به صورت زیر تولید می‌شود:

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

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

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

تابع شایستگی برای تبدیل مقادیر تابع هدف به مقیاسی برای شایستگی نسبی کروموزوم‌ها به کار می‌رود. با توجه به اینکه دو تابع هدف در نظر گرفته شده در این مسئله، از نوع کمینه کردن می‌باشد و کروموزومی شایسته‌تر است که مقدار توابع هدف آن کمتر باشد، بین توابع هدف و تابع شایستگی هر کروموزوم، یک رابطه معکوس به صورت  $\frac{1}{\frac{W_1 * C}{MaxC} + \frac{W_2 * F}{MaxF}}$  تعریف شده است که C برابر با مجموع زمان‌های تحویل سفارش‌ها،  $Max C$  بیانگر حداکثر مقدار C در بین کروموزوم‌های جمعیت فعلی، F میزان کل مصرف سوخت به ازای جواب متناظر با کروموزوم،  $Max F$  بیانگر حداکثر مقدار F در بین کروموزوم‌های جمعیت فعلی و  $W_1$  و  $W_2$  به ترتیب وزن‌های توابع هدف مجموع زمان‌های تحویل سفارش‌ها و میزان کل مصرف سوخت است.

نحوه محاسبه تابع هدف هر کروموزوم نیز به صورت زیر است:

گام ۱. زمان‌بندی سفارش‌ها در مرحله تأمین‌کنندگان را براساس تخصیص و اولویت پردازش مشخص شده در کروموزوم مربوطه، زمان آمادگی هر تأمین‌کننده، زمان پردازش هر سفارش و سرعت تولید تأمین‌کننده مرتبط انجام دهید.

### ۵.۱. سایر مدل‌های رایج

بر اساس مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، دو مدل رایج در صنعت که برای زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل در زنجیره تأمین مورد استفاده قرار می‌گیرند، به صورت زیرند:

**مدل اول:** برخی از شرکت‌ها برتر به منظور کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و در نتیجه، کاهش قیمت تمام‌شده محصولات خود، از یک ناوگان حمل‌ونقل مشترک استفاده می‌کنند. اما تاکنون در هیچ مدلی در ادبیات، موضوع این ناوگان حمل‌ونقل مشترک به صورت عملی با حالتی که در آن یکپارچگی بین تصمیمات تولید و حمل‌ونقل وجود داشته باشد، ادغام نشده است. در مدل اول، تصمیمات تولید و حمل‌ونقل به صورت سلسله‌مراتبی اتخاذ می‌شوند و ابتدا تصمیمات مربوط به تولید گرفته شده و پس از آن، تصمیمات حمل‌ونقل اتخاذ می‌شوند. به عبارت دیگر، وقتی در حال تصمیم‌گیری در حالت حمل‌ونقل هستند، اجازه تجدیدنظر در تصمیماتی را که در بخش تولید گرفته شده است، ندارند.

**مدل دوم:** مدلی که در آن بین زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل بین یک شرکت سازنده و تأمین‌کنندگان یکپارچگی وجود دارد. اما با این تفاوت که در این مدل، امکان استفاده از ناوگان حمل‌ونقل مشترک وجود ندارد و هر تأمین‌کننده سفارش‌های تکمیل‌شده خود را به‌طور مستقل به شرکت سازنده منتقل می‌کنند. این مدل نیز با توجه به ماهیت حقوقی مستقل تأمین‌کنندگان، مدلی رایج در مدیریت حمل‌ونقل در زنجیره تأمین است.

در ادامه، به منظور مقایسه عملکرد هر سه مدل مورد بررسی، ابتدا به منظور بهینه‌سازی تصمیمات در مدل‌های اول و دوم، برای هر یک از آن‌ها یک الگوریتم ژنتیک با ساختاری مشابه به الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در مدل پیشنهادی ارائه و در نرم‌افزار متلب<sup>۲</sup> کدنویسی شد. سپس تعداد متنوع و زیادی از شرایط (مسائل) تصادفی مختلف ایجاد شد که هر یک از آن‌ها توسط هر سه الگوریتم حل شدند و در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده با یکدیگر مقایسه شدند.

### ۵.۲. تولید شرایط تصادفی برای مسئله

اعتبار نتایج در صورتی که طیف متنوعی از مسائل مورد استفاده قرار گیرد، بیشتر خواهد شد؛ برای مثال، ممکن است یک حالت در مسائل با تعداد سفارش کم نتایج خوبی نسبت به حالت دیگر بدهد، حال آنکه در مسائل با تعداد سفارش زیاد نتایج بدتری بدهد. مسئله مورد بررسی پارامترهای مختلفی دارد. برای بررسی بهتر عملکرد حالات بهتر است مسائل متنوعی

در عملگر جهش گام‌های زیر به تعداد  $[popsiz \times mut-rate]$  بار تکرار می‌شود که  $mut-rate$  نشان‌دهنده نرخ عملگر تلفیق است:

گام ۱. ابتدا یک کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب کنید.  
گام ۲. در فاز اول، رشته مربوط به یکی از تأمین‌کنندگان یا وسایل نقلیه را انتخاب کرده و دو ژن از ژن‌های تخصیص داده‌شده به رشته انتخابی را به صورت تصادفی انتخاب کنید. سپس توالی ژن‌ها بین دو ژن انتخابی (روی رشته انتخابی) را معکوس کنید.

گام 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.

تعداد کروموزوم‌های موجود پس از اعمال تلفیق و جهش برابر  $popsiz \times (1 + cross-rate + mute-rate)$  است. برای انتخاب جمعیت بعدی ابتدا این کروموزوم‌ها بر اساس تابع شایستگی‌شان به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. پس از آن تعداد  $best \times popsiz$  کروموزوم که  $best$  از پارامترهای این الگوریتم است، از کروموزوم‌هایی که دارای بهترین مقدار تابع شایستگی هستند، برای نسل بعد انتخاب می‌شوند. سایر  $(popsiz - best \times popsiz)$  کروموزوم باقیمانده نیز با استفاده از عملگر انتخاب چرخ‌گردان<sup>۱</sup> انتخاب می‌شوند.

معیار توقف برای الگوریتم بدین صورت است که اگر بهترین مقدار تابع شایستگی کروموزوم‌ها در چند نسل متوالی بهبودی نیابد، الگوریتم به پایان می‌رسد. تعداد این تکرارهای متوالی توسط پارامتری به نام  $termination$  مشخص می‌شود.

پس از کدنویسی الگوریتم ژنتیک مذکور در نرم‌افزار متلب و پس از اجرای مختلف روی مسائل متعدد به صورت تجربی مشخص شد که مقدار ۱۰۰ برای پارامتر  $popsiz$ ، مقدار ۳۵ برای پارامتر  $termination$ ، مقدار ۰/۵ برای پارامتر  $cross-rate$ ، مقدار ۰/۱ برای پارامتر  $mut-rate$ ، مقدار ۰/۵ برای پارامتر  $r$  و مقدار ۰/۵ برای پارامتر  $best$  به نتایج نسبتاً خوب در زمان حل معقول منجر می‌شوند.

### ۵. نتایج محاسباتی

در این بخش، عملکرد مدل پیشنهادی با دو مدل رایج در صنعت مقایسه می‌شود. به این منظور، ابتدا دو مدل رایج دیگر تشریح می‌شوند و سپس با تولید تعداد متنوع و زیادی از شرایط (مسائل) تصادفی مختلف و حل آن‌ها توسط هر سه مدل، به تحلیل نتایج و مقایسه عملکرد آن‌ها پرداخته می‌شود.



نتایج نشان‌دهنده در جداول (۱) تا (۶) بهتر بودن جواب‌های مدل پیشنهادی را در حالات مختلف نسبت به دو مدل دیگر تأیید می‌کند. در مدل دوم با توجه به سیستم حمل و نقل مستقل آن، نتایج حاکی از آن است که مقدار مصرف سوخت و همچنین زمان تحویل کارها در این مدل نسبت به دو مدل دیگر بیشتر است.

**جدول (۱): مقایسه نتایج هر سه سناریو (افراز روی تعداد سفارش‌ها)**

تعداد سفارش‌ها	۱۰	۵۰	۱۰۰		
میانگین نتایج	۱۱۹	۵۵۲	۱۱۱۱	مجموع زمان‌های تحویل	میانگین نتایج
مدل پیشنهادی	۸۵	۴۰۰	۸۰۵	مصرف سوخت	مدل پیشنهادی
میانگین نتایج	۱۵۰	۷۲۰	۱۴۱۹	مجموع زمان‌های تحویل	میانگین نتایج
مدل اول	۹۸	۴۲۰	۸۵۹	مصرف سوخت	مدل اول
میانگین نتایج	۱۸۶	۸۱۴	۱۷۲۴	مجموع زمان‌های تحویل سفارش‌ها	میانگین نتایج
مدل دوم	۱۳۲	۵۹۵	۱۲۵۹	مصرف سوخت	مدل دوم

**جدول (۲): مقایسه نتایج هر سه سناریو (افراز روی تعداد تأمین‌کنندگان)**

تعداد تأمین‌کنندگان	حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳		
میانگین نتایج	۸۱۱	۴۵۵	۵۱۶	مجموع زمان‌های تحویل	میانگین نتایج
مدل پیشنهادی	۴۰۷	۴۴۸	۴۳۵	مصرف سوخت	مدل پیشنهادی
میانگین نتایج	۹۶۴	۶۴۲	۶۸۳	مجموع زمان‌های تحویل	میانگین نتایج
مدل اول	۴۳۱	۴۸۱	۴۶۵	مصرف سوخت	مدل اول
میانگین نتایج	۱۰۸۳	۷۶۲	۸۷۹	مجموع زمان‌های تحویل	میانگین نتایج
مدل دوم	۵۵۷	۷۲۳	۷۰۶	مصرف سوخت	مدل دوم

**جدول (۳): مقایسه نتایج هر سه سناریو (افراز روی وسایل نقلیه)**

وسایل نقلیه	حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳		
میانگین نتایج مدل	۸۹۶	۵۰۰	۳۸۶	مجموع زمان‌های تحویل	میانگین نتایج مدل
پیشنهادی	۳۸۲	۴۴۶	۴۶۲	مصرف سوخت	پیشنهادی
میانگین نتایج مدل	۱۰۷۱	۷۱۰	۵۰۸	مجموع زمان‌های تحویل	میانگین نتایج مدل
اول	۴۲۰	۴۷۵	۴۸۲	مصرف سوخت	اول
میانگین نتایج مدل	۱۲۹۸	۸۶۰	۵۶۶	مجموع زمان‌های تحویل	میانگین نتایج مدل
دوم	۵۹۲	۶۷۰	۷۲۴	مصرف سوخت	دوم

**جدول (۴): مقایسه نتایج هر سه سناریو (افراز روی زمان پردازش)**

زمان پردازش	حالت ۱	حالت ۲		
میانگین نتایج مدل	۵۰۰	۶۸۸	مجموع زمان‌های تحویل	میانگین نتایج مدل
پیشنهادی	۴۲۴	۴۳۶	مصرف سوخت	پیشنهادی
میانگین نتایج مدل	۶۳۰	۸۹۶	مجموع زمان‌های تحویل	میانگین نتایج مدل
اول	۴۵۰	۴۶۸	مصرف سوخت	اول
میانگین نتایج مدل	۷۸۱	۱۰۳۵	مجموع زمان‌های مجموع	میانگین نتایج مدل
دوم	۶۵۳	۶۷۱	زمان‌های تحویل	دوم

با ایجاد مقادیر مختلفی برای پارامترهای آن ایجاد شود. به همین منظور سطوحی مانند بالا، پایین و متوسط برای مسئله و به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است. پارامترهای مسئله به پنج دسته تقسیم شده‌اند. این پنج دسته عبارت‌اند از: ۱. تعداد سفارش‌ها؛ ۲. تعداد تأمین‌کنندگان؛ ۳. وسایل نقلیه؛ ۴. زمان پردازش سفارش‌ها؛ ۵. زمان حمل. برای پارامتر تعداد سفارش‌ها سه مقدار ۱۰ و ۵۰ و ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. برای تعداد تأمین‌کنندگان سه حالت در نظر گرفته شده است: در حالت اول، تعداد تأمین‌کنندگان از توزیع یکنواخت [1,5] انتخاب می‌شود. در حالت دوم، تعداد تأمین‌کنندگان از توزیع یکنواخت [5,10] و در حالت سوم از توزیع یکنواخت [10,15] تعیین می‌شوند. همین سه حالت برای پارامتر تعداد وسایل نقلیه در نظر گرفته می‌شود. برای پارامتر زمان پردازش سفارش‌ها دو حالت در نظر گرفته شده است. در حالت اول، زمان پردازش سفارش‌ها از توزیع  $U[1,20]$  و در حالت دوم، از توزیع  $U[20,30]$  تبعیت می‌کند. برای پارامتر زمان حمل نیز همین دو حالت در نظر گرفته شده است. ظرفیت وسایل نقلیه از توزیع یکنواخت  $U[5,10]$ ، حجم سفارش‌ها از توزیع یکنواخت  $U[1,5]$  استفاده شده است. همچنین با توجه به مطالعات میدانی و نظر کارشناسی برای تابع مصرف سوخت به صورت تجربی و با نظر خبرگان شامل ۸ نفر از اساتید دانشگاه و کارشناسان حمل و نقل [۳۲]، مقدار  $0.3$  برای پارامتر  $a$  و مقدار  $0.07$  برای پارامتر  $b$  در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، مصرف سوخت در یک مسیر از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$\text{Energy-Path} = 0.3 \times \text{dis} + 0.07 \times \text{weight} \quad (2)$$

از ترکیب سطوح مختلف برای پارامترهای مسئله ۱۰۸ نوع مسئله به وجود می‌آید ( $2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 3$ ). این ۱۰۸ مسئله در هریک مدل‌های ذکر شده، با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده‌اند. همه برنامه‌های کامپیوتری این تحقیق به وسیله زبان برنامه‌نویسی متلب نوشته و توسط یک رایانه با RAM ۱۶ گیگابایت و همچنین CPU ۸ هسته‌ای اجرا شده‌اند.

### ۳.۵. ارزیابی مدل پیشنهادی

نتایج به دست آمده از هر سه مدل در جداول (۲) تا (۷) به ازای وزن یکسان  $0.5$  برای هر دو تابع هدف اول و دوم نشان داده شده است. البته با توجه به اهمیت هریک از توابع هدف می‌توان مقادیر دیگری برای وزن هر تابع هدف اختصاص داد. در جداول (۲) تا (۷) میانگین جواب‌های به دست آمده از هر مدل، میانگین توابع هدف مصرف سوخت و مجموع زمان‌های تحویل سفارش‌ها به ازای افراز ۱۰۸ مسئله روی حالات مختلف پارامترها نشان داده شده است.

بیشتر می‌شود.

### ۶. خلاصه و نتیجه‌گیری و زمینه‌های تحقیقات آتی

با توجه به بالا بودن مصرف سوخت در کشور و همچنین یارانه‌ای بودن آن، کاهش مصرف سوخت اهمیت فراوانی دارد. یکی از مصارف عمده سوخت در بخش حمل‌ونقل صنعتی است که کاهش آن باعث مزایای زیادی به در بخش اقتصاد خرد و چه در بخش اقتصاد کلان می‌شود. تمرکز روی کاهش مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل صنعتی معمولاً باعث اختلال در زمان‌بندی تولید و طولانی‌تر شدن تحویل سفارش‌ها می‌شود. در این مقاله، مدلی برای مدیریت تولید و ناوگان حمل‌ونقل در یک زنجیره تأمین با تأکید بر سه مؤلفه مدیریت جامع تولید در تأمین‌کنندگان، استفاده از ناوگان حمل‌ونقل مشترک برای انتقال قطعات تولیدشده در تأمین‌کنندگان به شرکت سازنده و یکپارچگی تصمیمات در این دو حوزه به‌منظور دستیابی همزمان به کاهش مصرف سوخت و زمان تحویل سفارش‌ها ارائه شد. سپس یک الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی تصمیمات در این مدل توسعه داده شد. به‌منظور ارزیابی مدل پیشنهادی نتایج آن با دو مدل رایج در صنعت مقایسه شد. نتایج نشان از برتری مدل پیشنهادی در مقایسه با مدل‌های رایج در صنعت دارد.

با توجه به اینکه کاهش مصرف سوخت باعث کاهش قیمت تمام‌شده محصولات نهایی شده و در نتیجه، رقابت‌پذیری آن‌ها را بازار افزایش می‌دهد، استفاده از مدل پیشنهادی برای بخش صنعت می‌تواند بسیار مفید واقع شود. زیرا علاوه بر عدم اختلال در زمان‌بندی تحویل سفارش‌ها می‌تواند قیمت تمام‌شده محصولات نهایی را کاهش دهد. از سوی دیگر با توجه به یارانه‌ای بودن سوخت در ایران، این مدل مزیت‌هایی را برای دولت نیز خواهد داشت. به‌علاوه این مدل با کاهش مصرف سوخت می‌تواند باعث کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز گردد.

بررسی مدل پیشنهادی در زنجیره با اضافه کردن برگ‌خریدهای زیست‌محیطی می‌تواند زمینه‌ای برای تحقیقات آتی باشد. ارائه مدل مذکور در زنجیره‌های تأمین مختلفی که ساختار متفاوتی دارند، می‌تواند زمینه‌ای دیگر برای تحقیقات آتی باشد. تحلیل اقتصادی روی کاهش هزینه‌های مصرف سوخت و میزان صرفه‌جویی حاصل از استفاده از مدل پیشنهادی، چه برای بخش صنعت و چه برای دولت، می‌تواند به‌عنوان زمینه‌ای دیگر برای تحقیقات آتی در نظر گرفته شود.

جدول (۵): مقایسه نتایج هر سه سناریو (افراز روی زمان حمل)

زمان حمل	حالت اول	حالت دوم
میانگین نتایج مدل	مجموع زمان‌های تحویل	۷۸۳
پیشنهادی	مصرف سوخت	۶۰۰
میانگین نتایج مدل	مجموع زمان‌های تحویل	۹۹۱
اول	مصرف سوخت	۶۳۰
میانگین نتایج مدل	مجموع زمان‌های تحویل	۱۲۲۲
دوم	مصرف سوخت	۹۱۹

جدول (۶): مقایسه نتایج هر سه سناریو به‌ازای همه مسائل

نتایج مربوط به کل مسائل تصادفی	کل
میانگین نتایج مدل	مجموع زمان‌های تحویل
پیشنهادی	مصرف سوخت
میانگین نتایج مدل اول	مجموع زمان‌های تحویل
	مصرف سوخت
میانگین نتایج مدل دوم	مجموع زمان‌های تحویل
	مصرف سوخت

از طرفی با مقایسه مدل پیشنهادی با مدل اول که در هر دو مدل از سیستم حمل‌ونقل اشتراکی استفاده شده است ولی تفاوت آن‌ها در یکپارچگی در بخش تولید و بخش حمل‌ونقل است، مشاهده می‌شود که جواب‌های مدل پیشنهادی در تمامی حالات بهتر از مدل اول است. نتیجه این تحلیل نشان می‌دهد که سازمان‌ها با بهره‌گیری از مدل پیشنهادی می‌توانند به‌طور چشمگیری در مصرف سوخت صرفه‌جویی کرده و از سوی دیگر تحویل‌های سریع‌تری در زنجیره تأمین داشته باشند.

از طرفی مقایسه مدل اول و دوم نشان می‌دهد که تأثیر در نظر گرفتن مدل حمل‌ونقل مشترک در کاهش مقادیر مصرف سوخت و زمان تحویل سفارش‌ها بیشتر از در نظر گرفتن یکپارچگی زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل است.

همچنین با بررسی نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد سفارش‌ها، میانگین مصرف سوخت و زمان‌های تحویل افزایش پیدا می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد بین تعداد تأمین‌کنندگان و هر دو تابع هدف مورد بررسی، یک رابطه خطی وجود ندارد. با زیاد شدن تعداد وسایل نقلیه میانگین مصرف سوخت افزایش اما زمان تحویل سفارش‌ها کم می‌شوند. همچنین هنگامی که زمان پردازش سفارش‌ها در مرحله تأمین‌کنندگان زیاد باشد، میانگین زمان‌های تحویل نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش زمان حمل مصرف سوخت و زمان‌های تحویل نیز

- [1] Wang, X. Z. Feng, "Energy Consumption with Sustainable Development in Developing Country: A Case in Jiangsu, China". *Energy Policy*, Vol. 31, No. 15, pp. 1679-1684, 2003.
- [2] Hourri Jafari, H. A. Baratimalayeri, "The Crisis of Gasoline Consumption in the Iran's Transportation Sector". *Energy Policy*, Vol. 36, No. 7, pp. 2536-2543, 2008.
- [3] Apergis, N. J.E. Payne, "Energy Consumption and Growth in South America: Evidence from a Panel Error Correction Model". *Energy Economics*, Vol. 32, No. 6, pp. 1421-142, 2010.
- [4] Cheon, A., J. Urpelainen, M. Lackner, "Why Do Governments Subsidize Gasoline Consumption? An Empirical Analysis of Global Gasoline Prices, 2002–2009". *Energy Policy*, Vol. 56, pp. 382-390, 2013.
- [5] Bağırov, H., İ. Can, C. Öner, İ. Sugözü ,A. Kapıcıoğlu, "Experimental Investigation the Effects of Mixture Impoverished on the Specific Fuel Consumption, Engine Performance and Exhaust Emissions A pre-Combustion Chamber Gasoline Engine". *Journal of the Energy Institute*, Vol. 88, No. 3, pp. 205-208, 2015.
- [6] Hao, H., Z. Liu, F. Zhao, W. Li, W. Hang, "Scenario Analysis of Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from China's Passenger Vehicles". *Energy*, Vol. 91, pp. 151-159, 2015.
- [7] Zhang, R. E. Yao, "Electric Vehicles' Energy Consumption Estimation with Real Driving Condition Data". *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 41, pp. 177-187, 2015.
- [8] Ehsani, M., A. Ahmadi, D. Fadai, "Modeling of Vehicle Fuel Consumption and Carbon Dioxide Emission in Road Transport". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 53, pp. 1638-1648, 2016.
- [9] Meng, Z. J.-S. Pan, "Monkey King Evolution: A New Memetic Evolutionary Algorithm and Its Application in Vehicle Fuel Consumption Optimization". *Knowledge-Based Systems*, Vol. 97, pp. 144–157, 2016.
- [10] Michel, P., A. Charlet, G. Colin, Y. Chamailard, G. Bloch, C. Nouillant, "Optimizing Fuel Consumption and Pollutant Emissions of Gasoline-Hev with Catalytic Converter". *Control Engineering Practice*, Vol. 61, pp. 198-205, 2017.
- [11] Achour, H. M. Belloumi, "Investigating the Causal Relationship between Transport Infrastructure, Transport Energy Consumption and Economic Growth in Tunisia". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 56, pp. 988-998, 2016.
- [12] De Maio, V., R. Prodan, S. Benedict ,G. Kecskemeti, "Modelling Energy Consumption of Network Transfers and Virtual Machine Migration". *Future Generation Computer Systems*, Vol. 56, pp. 388-406, 2016.
- [13] Lasschuit, W. N. Thijssen, "Supporting Supply Chain Planning and Scheduling Decisions in the Oil and Chemical Industry". *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 28, No. 6–7, pp. 863-870, 2004.
- [14] Li, K., V.K. Ganesan, A.I. Sivakumar, "Scheduling of Single Stage Assembly with Air Transportation in a Consumer Electronic Supply Chain". *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 51, No. 2, pp. 264-278, 2006.
- [15] Amaro, A.C.S. A.P.F.D. Barbosa-Póvoa, "Planning and Scheduling of Industrial Supply Chains with Reverse Flows: A Real Pharmaceutical Case Study". *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 32, No. 11, pp. 2606-2625, 2008.
- [16] Li, H. K. Womer, "Modeling the Supply Chain Configuration Problem with Resource Constraints". *International Journal of Project Management*, Vol. 26, No. 6, pp. 646-654, 2008.
- [17] Maravelias, C.T. C. Sung, "Integration of Production Planning and Scheduling: Overview, Challenges and Opportunities". *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 33, No. 12, pp. 1919-1930, 2009.
- [18] Zandieh, M. S. Molla-Alizadeh-Zavardehi, "Synchronizing Production and Air Transportation Scheduling Using Mathematical Programming Models". *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol. 230, No. 2, pp. 546-558, 2009.
- [19] Wang, X. T.C.E. Cheng, "Logistics Scheduling to Minimize Inventory and Transport Costs". *International Journal of Production Economics*, Vol. 121, No. 1, pp. 266-273, 2009.
- [20] Wang, X. T.C.E. Cheng, "Production Scheduling with Supply and Delivery Considerations to Minimize the Makespan". *European Journal of Operational Research*, Vol. 194, No. 3, pp. 743-752, 2009.
- [21] Yao, J. L. Liu, "Optimization Analysis of Supply Chain Scheduling in Mass Customization". *International Journal of Production Economics*, Vol. 117, No. 1, pp. 197-211, 2009.
- [22] Zegordi, S.H. M.A. Beheshti Nia, "A Multi-Population Genetic Algorithm for Transportation Scheduling". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 45, No. 6, pp. 946-959, 2009.
- [23] Zegordi, S.H., I.N.K. Abadi, M.A.B. Nia, "A Novel Genetic Algorithm for Solving Production and Transportation Scheduling in a Two-Stage Supply Chain". *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 58, No. 3, pp. 373-381, 2010.
- [24] Averbakh, I., "On-Line Integrated Production–Distribution Scheduling Problems with Capacitated Deliveries". *European Journal of Operational Research*, Vol. 200, No. 2, pp. 377-384, 2010.
- [25] Rostamian Delavar, M., M. Hajiaghahi-Keshтели, S. Molla-Alizadeh-Zavardehi, "Genetic Algorithms for Coordinated Scheduling of Production and Air Transportation". *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, No. 1 ,pp. 8255-8266, 2010.
- [26] Mehravaran, Y. R. Logendran, "Non-Permutation Flowshop Scheduling in a Supply Chain with Sequence-Dependent Setup Times". *International Journal of Production Economics*, Vol. 135, No. 2, pp. 953-963, 2012.
- [27] Sawik, T., "Joint Supplier Selection and Scheduling of Customer Orders under Disruption Risks: Single Vs. Dual Sourcing". *Omega*, Vol. 43, pp. 83-95, 2014.
- [28] Han, B., W. Zhang, X. Lu, Y. Lin, "On-Line Supply Chain Scheduling for Single-Machine and Parallel-Machine Configurations with a Single Customer: Minimizing the Makespan and Delivery Cost". *European Journal of Operational Research*, Vol. 244, No. 3, pp. 704-714, 2015.
- [29] Guo, Z., J. Yang, S.Y.S. Leung, L. Shi, "A Bi-Level Evolutionary Optimization Approach for Integrated

- Production and Transportation Scheduling*". Applied Soft Computing, Vol. 42, 2016.
- [30] Lei, L., K. Lee, H. Dong, "A Heuristic for Emergency Operations Scheduling with Lead Times and Tardiness Penalties". European Journal of Operational Research, Vol. 250, No. 3, pp. 726-736, 2016.
- [31] Chang, Y.-C. C.-Y. Lee, "Machine Scheduling with Job Delivery Coordination". European Journal of Operational Research, Vol. 158, No. 2, pp. 470-487, 2004.
- [32] Beheshtinia, M.A., M. Khosravi, K. Fartash, "Evaluation of Technology Transfer Strategies for Concrete Pavements". Journal of Engineering, Information Technology and Management Studies, Vol. 1, No. 1, pp. 89-101, 2014.