نشریه علمی‌پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی
سال هفتم، شمارهٔ اول/ بهار ۱۳۹۶/ صفحه ۳۶ـ۴۷

تحلیل سه سناریوی مختلف در بهینه‌سازی مصرف انرژی و زمان‌بندی در زنجیرهٔ تأمین

محمدعلی بهشتی‌نیا[۱*]، سید امیرمحمد خطیبی[۲]

[۱] استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
beheshtinia@semnan.ac.ir
[۲] 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، حوزهٔ صنعت است؛ کاهش مصرف سوخت در این حوزه، علاوه بر مزایای دیگر موجب کاهش هزینه تمام‌شدهٔ محصولات نهایی و درنتیجه، رقابتی شدن آن‌ها می‌شود. از سوی دیگر، تمرکز بر روی کاهش مصرف سوخت ممکن است منجر به اختلال در زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل شود. مقالهٔ 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 جامع در امر تولید توسط تأمین‌کنندگان، حمل‌ونقل اشتراکی و یکپارچگی زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل را موردنظر قرار می‌دهد. به‌منظور بررسی کارایی مدل پیشنهادی، این مدل با دو مدل رایج در بخش تولید مقایسه شده است. به‌منظور جامع بودن نتیجهٔ حاصل از این تحقیق، مقایسه‌ها روی تعداد زیاد و طیف متنوعی از مسائل صورت پذیرفته است. نتایج حاصل نشان از برتری مدل پیشنهادی نسبت‌به مدل‌های رایج در بخش تولید و حمل‌ونقل است.

واژه‌های کلیدی: مصرف سوخت، هزینهٔ تمام‌شده، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، زمان‌بندی، زنجیرهٔ تأمین.

* نویسندهٔ مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

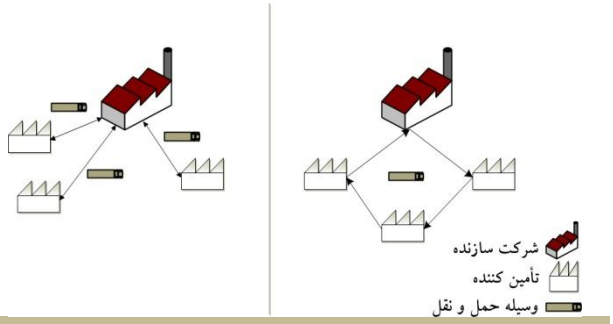
مصرف حامل‌های انرژی در کشور بسیار زیاد و با رشد غیرمتعارف در حال افزایش است. با توجه به یارانه‌ای بودن سوخت در کشور، متأسفانه افزایش مصرف غیرمتعارف و اتلاف انرژی در کشور، علاوه بر تحمیل هزینه به دولت، باعث افزایش آسیب‌های زیست‌محیطی به کشور نیز شده است. یکی از مهم‌ترین حوزه‌هایی که بحث سوخت در آن اهمیت دارد، حوزهٔ صنعت است؛ کاهش مصرف سوخت در این حوزه، علاوه بر مزایای دیگر، موجب کاهش هزینهٔ تمام‌شدهٔ محصولات نهایی و درنتیجه، رقابتی شدن آن‌ها می‌شود. ازاین‌رو 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 زمان‌مندی تولید و حمل‌ونقل منجر شود. مقالهٔ 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 زنجیرهٔ تأمین در امر تولید، حمل‌ونقل اشتراکی و یکپارچگی زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل را موردنظر قرار می‌دهد.

مدیریت زنجیرهٔ تأمین دربرگیرندهٔ تمامی جابه‌جایی‌ها و ذخیرهٔ مواد اولیه، موجودی در حین کار و محصول تمام‌شده از نقطهٔ شروع اولیه تا نقطهٔ پایان مصرف است. امروزه مدیریت زنجیرهٔ تأمین را می‌توان به‌صورت وظیفهٔ یکپارچه‌سازی واحدهای سازمانی در طول زنجیرهٔ تأمین و هماهنگ‌سازی جریان‌های مواد، کاهش مصرف سوخت، اطلاعات و بخش مالی به‌منظور برآوردن تقاضای مشتری (نهایی) و با هدف بهبود رقابت‌پذیری یک زنجیرهٔ تأمین تعریف کرد. با ظهور پدیدهٔ 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 زنجیرهٔ تأمین استفاده می‌کنند. در این تحقیق سعی شده است علاوه بر درنظرگرفتن تحویل بموقع در زنجیرهٔ تأمین، به کاهش قیمت تمام‌شده به‌وسیلهٔ 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 زنجیرهٔ تأمین با تأکید بر سه مؤلفهٔ 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 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 تمام‌شدهٔ قطعات را افزایش می‌دهند. درصورتی‌که تأمین‌کنندگان به‌صورت مشترک از وسایل نقلیه استفاده کنند، این امر موجب کاهش چشمگیر مصرف سوخت و درنتیجه، 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 زنجیرهٔ 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؛ حال‌آنکه در رویکرد یکپارچه، این تصمیمات به‌صورت همزمان گرفته می‌شود. درنظرگرفتن جداگانهٔ برنامه‌ریزی تولید در تأمین‌کنندگان و حمل‌ونقل ممکن است ما را از رسیدن به نقطهٔ بهینه عمومی[1] بازدارد. این امر را می‌توان با یک مثال عددی نشان داد. فرض کنید که در زنجیرهٔ تأمین، یک تأمین‌کننده و یک وسیلهٔ نقلیه و همچنین چهار سفارش وجود دارند که باید توسط تأمین‌کننده موردپردازش قرارگرفته و توسط وسیلهٔ نقلیه به‌سمت شرکت سازنده حمل شوند. وزن سفارش‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به‌ترتیب برابر ۱، ۱، ۲ و ۲ واحد و ظرفیت وسیلهٔ نقلیه برابر ۳ واحد است. زمان پردازش

1. Global Optimum

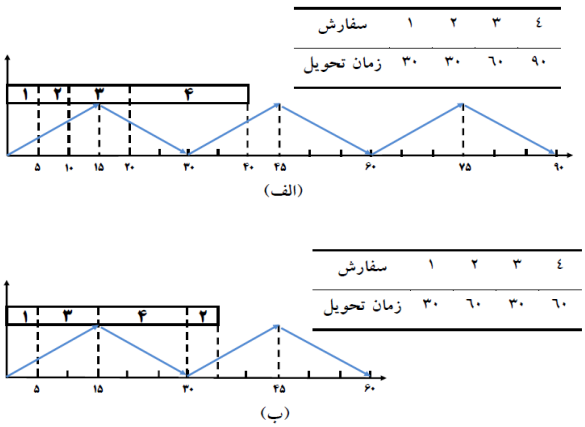
Archive of SID

www.SID.ir

سفارش‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به‌ترتیب برابر ۵ واحد، ۵ واحد، ۱۰ واحد و ۱۵ واحد است. تابع هدف مسئله کمینه نمودن همزمان مجموع زمان‌های تحویل سفارش‌ها و مصرف سوخت است. همچنین وزن‌های توابع هدف مجموع زمان‌های تحویل سفارش‌ها و مصرف سوخت به‌ترتیب ۰/۷و ۰/۳ فرض می‌شود. این وسیلهٔ نقلیه فاصلهٔ بین تأمین‌کننده تا شرکت سازنده را در ۱۵ واحد زمانی طی می‌کند. همچنین برای راحتی کار فرض می‌شود مصرف سوخت وسیلهٔ نقلیه به‌ازای هر واحد زمانی برابر ۱ لیتر است.

در رویکرد غیریکپارچه مطابق شکل (۲-الف) با توجه به اینکه در مرحلهٔ زمان‌بندی تولید از محدودیت‌های ناوگان حمل‌ونقل اطلاعاتی در دسترس نیست، تصمیم‌گیرنده اولویت تولید را با توجه به کوتاه بودن زمان پردازش سفارش‌ها (که مجموع زمان تکمیل کمتری را موجب می‌شود) تعیین می‌کند. بنابراین اولویت پردازش سفارش‌ها به‌ترتیب با سفارش‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ خواهد بود. سپس در مرحلهٔ برنامه‌ریزی حمل و با توجه به محدودیت ظرفیت‌های وسایل نقلیه، این وسیله ابتدا سفارش ۱و۲ را به‌سمت شرکت سازنده حمل کرده و سپس به‌سمت تأمین‌کننده بازگشته و سفارش ۳ را به شرکت سازنده و درنهایت به‌سمت تأمین‌کننده برگردانده و سفارش ۴ را به‌سمت شرکت سازنده منتقل می‌کند. در این حالت، مجموع زمان تحویل سفارش‌ها برابر ۲۱۰ و میزان مصرف سوخت با توجه به مدت‌زمانی که وسیلهٔ نقلیه در حرکت بوده، برابر ۹۰ واحد است.

اما اگر روابط متقابل بین زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل در نظر گرفته شود، می‌توان یک زمان‌بندی مطابق شکل (۲-ب) ارائه داد که براساس آن، مجموع زمان تحویل سفارش‌ها برابر ۱۸۰ و میزان مصرف سوخت برابر ۶۰ واحد است. این مثال نشان می‌دهد که رویکرد غیریکپارچه رسیدن به جواب بهینهٔ عمومی را تضمین نمی‌کند.



شکل (۲): توالی پردازش سفارش‌ها در تأمین‌کنندگان و وسیلهٔ حمل‌ونقل

این مقاله به بررسی یکپارچگی زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل بین یک شرکت سازنده و تأمین‌کنندگانش با تأکید بر زمان‌بندی تولید جامع در تأمین‌کنندگان و استفاده از ناوگان حمل‌ونقل مشترک می‌پردازد. هدف تعیین نحوهٔ تخصیص سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان، تعیین توالی تولید در آن‌ها، تخصیص سفارش‌ها به وسایل نقلیه و تعیین توالی حمل آن‌ها به‌منظور کمینه کردن همزمان مجموع سوخت مصرف‌شده و مجموع زمان‌های تحویل سفارش‌ها به شرکت سازنده است. به‌منظور حل این مسئله، یک الگوریتم ژنتیک با ساختار کروموزوم‌های متغیر پیشنهاد شده است. نوآوری‌های این تحقیق عبارت‌اند از:

- بررسی یک مسئلهٔ جدید در زمینهٔ زمان‌بندی در زنجیرهٔ تأمین با تمرکز همزمان روی کاهش مصرف سوخت و زمان تحویل سفارش‌ها؛
- ارائهٔ یک مدل جدید در مدیریت زنجیرهٔ تأمین با رویکرد یکپارچگی زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل؛
- ارائهٔ یک الگوریتم ژنتیک با ساختار کروموزوم‌های متغیر برای مسئلهٔ مذکور.

در ادامه، مرور ادبیات در زنجیرهٔ تأمین ارائه می‌شود. در بخش ۳ به تشریح مسئله پرداخته می‌شود. بخش ۴ به ارائهٔ یک الگوریتم ژنتیک به‌منظور بهینه‌سازی تصمیمات در مدل پیشنهادی اختصاص دارد. در بخش پنجم، عملکرد مدل پیشنهادی با رویکرد تحلیل سناریو بررسی می‌شود. بخش آخر نیز به بیان نتیجه‌گیری و زمینه‌های تحقیقات آتی می‌پردازد.

۲. مرور ادبیات

تاکنون تحقیقات مختلفی روی مبحث زمان‌بندی در زنجیرهٔ 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 زمان‌بندی در زنجیرهٔ تأمین پرداخته شده است. درنهایت فضای خالی تحقیق معین و بررسی می‌شود.

تاکنون تحقیقات فراوانی در رابطه با کاهش مصرف سوخت صورت گرفته است. وانگ و فنگ [۱] به بررسی یک مطالعهٔ موردی دربارهٔ مصرف انرژی با درنظرگرفتن نسبت استفاده از انرژی و آلودگی ناشی از مصرف انرژی پرداخته‌اند. حوری جعفری و براتی‌ملایری [۲] به بررسی بحران مصرف بنزین در بخش حمل‌ونقل ایران پرداخته‌اند؛ نتایج تحقیقشان نشان می‌دهد که نه‌تنها قیمت پایین بنزین موتور بلکه تولید انبوه وسایل نقلیه با تکنولوژی قدیمی بر تقاضای بنزین موتور تأثیر می‌گذارد. آپرجیس و پاین [۳] به بررسی مصرف انرژی و رشد آن با استفاده از یک مدل تصحیح خطا پانل پرداخته‌اند؛ این مدل بر مصرف انرژی بر رشد اقتصادی و درنتیجه، فرضیهٔ رشد مؤثر است.

Archive of SID

www.SID.ir

چئون و همکاران [۴] به تجزیه‌وتحلیل 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 اگزوز قبل از احتراق موتور در محفظهٔ بنزین پرداختند. هائو و همکاران [۶] به تجزیه‌وتحلیل 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 یااو [۷] تحقیقی دربارهٔ برآورد مصرف انرژی خودروهای الکتریکی ارائه کرده‌اند؛ نتایج تحقیقشان بیانگر آن است که مدل استفاده‌شده نسبت‌به 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 نسبت‌به سیستم عوارضی سنتی می‌شود. منگ و پن [۹] یک الگوریتم با عنوان تکامل پادشاه میمون[1] 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 دربارهٔ مدل بهینه‌سازی مصرف سوخت و کاهش آلایندگی گازهای گلخانه‌ای بنزین با مبدل کاتالیزوری پرداخته‌اند؛ این مدل سبب کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای شده است. آچور و بلومی [۱۱] به بررسی رابطهٔ 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[2] مجازی پرداخته‌اند. این مقاله نشانگر افزایش ۲۴ درصدی دقت مصرف سوخت و آلایندگی 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 صرف 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 تجزیه‌وتحلیل کرده‌اند. برخی دیگر اثرات اقتصاد کلان نظیر یارانه و... را در کاهش مصرف سوخت موردبررسی قرار داده‌اند. این تحقیق، قصد دارد مصرف سوخت در بخش صنعت را با توجه به رویکرد استفاده از ناوگان حمل‌ونقل مشترک بین تأمین‌کنندگان در یک زنجیرهٔ تأمین، بررسی کرده و اثرات توأم آن با زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل را در نظر بگیرد. در رابطه با مبحث زمان‌بندی در زنجیرهٔ 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 مسئلهٔ زمان‌بندی در زنجیرهٔ تأمین صنایع الکترونیکی با درنظرگرفتن حمل هوایی پرداخته‌اند.

آمارو و باربوساپووا [۱۵] به بررسی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی در زنجیرهٔ تأمین صنایع دارویی با درنظرگرفتن جریان‌های معکوس پرداخته‌اند. لی و مر [۱۶] به بررسی مسئلهٔ ترکیب‌بندی زنجیرهٔ تأمین با درنظرگرفتن محدودیت منابع پرداخته‌اند. ماراولیس و سانگ [۱۷] به بررسی روش‌های مختلف یکپارچگی برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی پرداخته‌اند. زندیه و ملاعلیزاده زواردهی [۱۸] به بررسی یکپارچگی مسئلهٔ زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل هوایی پرداخته‌اند.

وانگ و چن [۱۹] به بررسی زمان‌بندی لجستیک در یک زنجیرهٔ 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 مسئلهٔ زمان‌بندی عرضه و تحویل سفارش‌ها با هدف کمینه‌سازی بازه ساخت پرداخته‌اند. یائو و لیو [۲۱] به تجزیه‌وتحلیل زمان‌بندی در زنجیرهٔ تأمین در حالت تولید انبوه سفارشی پرداخته و یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای حل مسئله ارائه کرده‌اند. ذگردی و بهشتی‌نیا [۲۲] یکپارچگی حمل‌ونقل در زنجیرهٔ تأمین دومرحله‌ای تک‌کارخانه‌ای را با درنظرگرفتن تخصیص کارها به تأمین‌کنندگان با درنظرگرفتن نواحی جغرافیایی بررسی کرده‌اند. ذگردی و همکاران [۲۳] الگوریتم ژنتیک جدیدی را برای یک زنجیرهٔ تأمین دومرحله‌ای تک‌کارخانه‌ای ارائه داده‌اند. آن‌ها از تأمین‌کنندگانی با سرعت‌های متفاوت و با ناوگان حمل‌ونقل با ظرفیت‌های متفاوت استفاده کرده‌اند. آورباخ [۲۴] به بررسی زمان‌بندی بر خط در زنجیرهٔ تأمینی 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 به‌منظور 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[3] و بیشینه کردن

1. Monkey King
2. VM Migration
3. Work in Process

Archive of SID

www.SID.ir

سطح سرویس را بررسی کرده‌اند. ساویک [۲۷] به بررسی ارتباط زمان‌بندی با انتخاب تأمین‌کنندگان در حالت وجود ریسک‌های قطع[1] 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 حمل‌ونقل پرداخته‌اند. لی و همکاران [۳۰] روش‌های فراابتکاری 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 زمینهٔ کاهش مصرف سوخت صورت پذیرفته است. این امر دربارهٔ زمان‌بندی در زنجیرهٔ 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 حوزهٔ حمل‌ونقل صنعتی، موجب اختلال در زمان‌بندی و طولانی شدن تحویل سفارش‌ها در یک زنجیرهٔ تأمین می‌شود. مقالهٔ حاضر با ارائهٔ مدلی جدید در زمینهٔ مدیریت تولید و حمل‌ونقل در زنجیرهٔ تأمین، سعی در کاهش همزمان مصرف سوخت و زمان تحویل سفارش‌ها دارد.

۳. تعریف مسئله

به‌منظور انجام هر تحقیق، مراحلی باید صورت پذیرد. گام‌های انجام این تحقیق به‌صورت زیر است:

گام ۱. درنظرگرفتن اجزای زنجیرهٔ تأمین موردبررسی؛

گام ۲. ارائهٔ مدل پیشنهادی برای مدیریت تولید و حمل‌ونقل در زنجیرهٔ تأمین مذکور؛

گام ۳. تعیین پارامترهای ورودی، متغیرهای خروجی (متغیرهای تصمیم‌گیری) و تابع هدف مسئله؛

گام ۴. ارائهٔ یک الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی تصمیم در مدل پیشنهادی و کدنویسی آن‌ها در نرم‌افزار متلب؛

گام ۵. تعیین مدل‌های رایج در زمینهٔ مدیریت تولید و حمل‌ونقل در زنجیرهٔ تأمین مذکور و ارائهٔ 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)؛

گام ۷. مقایسه و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده در هر مدل (سناریو) و تعیین بهترین مدل.

بر مبنای گام‌های تحقیق به‌منظور انجام این تحقیق، همان‌گونه که ذکر شد، ابتدا زنجیرهٔ تأمین موردبررسی شناسایی شد. زنجیرهٔ تأمین موردبررسی شامل یک شرکت سازندهٔ 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 حمل‌ونقل در زنجیرهٔ تأمین موردبررسی ارائه می‌شود که شامل سه مؤلفهٔ زمان‌بندی تولید جامع در تأمین‌کنندگان، استفاده از ناوگان حمل‌ونقل مشترک و یکپارچگی تصمیمات تولید و حمل‌ونقل است. مفروضات مسئله عبارت‌اند از:

- J تأمین‌کننده وجود دارند که سفارش‌های موردنیاز برای شرکت سازنده را تولید می‌کنند. تأمین‌کنندگان به‌علت دارا بودن تجهیزات و ماشین‌آلات مختلف دارای توانایی تولید متفاوتی هستند. زمان پردازش هر سفارش توسط تأمین‌کنندگان مختلف به‌علت متفاوت بودن سرعت تأمین‌کنندگان می‌تواند متفاوت باشد.
- I سفارش وجود دارد که باید برای پردازش به تأمین‌کنندگان اختصاص داده شوند.
- به‌منظور واقعی شدن مسئله، هر تأمین‌کننده‌ای قادر به پردازش تنها برخی از سفارش‌هاست. به‌منظور نشان دادن این محدودیت، از ماتریس ALLOW با درایه‌های صفر و یک و با ابعاد J×I استفاده شده است. اگر تأمین‌کنندهٔ 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 وسیلهٔ نقلیه وجود دارد که سفارش‌های پردازش‌شده توسط تأمین‌کنندگان را به شرکت سازنده ارسال می‌کنند.
- وسایل نقلیه دارای ظرفیت متفاوت برای حمل کالاها هستند. همچنین زمان حمل یک مسیر توسط هر وسیلهٔ نقلیه به‌علت متفاوت بودن سرعت وسایل نقلیه، ممکن است متفاوت باشد.
- مصرف سوخت هر وسیلهٔ نقلیه در یک مسیر از رابطهٔ (۱) تعیین می‌شود:

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

که a میزان مصرف به‌ازای واحد مسافت، dis مسافت مسیر

1. Disruption Risk

Archive of SID

www.SID.ir

مـوردنظر، b میـزان مصـرف بـه‌ازای هـر واحـد وزن محمولـه و weight وزن محمولـه‌ای اسـت.که توسـط وسـیلهٔ مـذکور حمـل می‌شود.

- هر وسیلهٔ نقلیه پس از حمل کالا از شـرکت‌هـای تـأمین‌کننـده بـه شرکت‌های سازنده از مسئله حذف نمی‌شود، بلکه می‌تواند دوبـاره مورداستفاده قرار بگیرد. ایـن حالـت وسـیلهٔ نقلیـه بایـد بـه ناحیـهٔ جغرافیایی که تأمین‌کننـدگان در آن قـرار دارنـد بـازگردد و سـپس مورداستفاده قرار گیرد؛ درنتیجـه، بـه زمـان برگشـت نیـز بایـد 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 دارنـد. فاصـلهٔ این پایانه از شرکت سازنده و هریـک از تـأمین‌کننـدگان مشـخص است.
- هر وسیلهٔ نقلیه مـی‌توانـد چنـدین بـار مورداسـتفاده قـرار بگیـرد. به‌عبارت دیگر ممکن است چنـدین محمولـه را از تـأمین‌کننـدگان مختلف به شرکت سازنده حمل کند. مجموع وزن سفارش‌هایی که به یک محموله از وسیلهٔ نقلیه اختصـاص مـی‌یابـد، بایـد کمتـر از ظرفیت وسیلهٔ نقلیه باشد.
- هر وسیله می‌تواند قطعات یا مواد موردنیـاز بـر ای تحویـل چنـد سفارش را در یک محموله به شرکت سـازنده حمـل کنـد. میـزان ظرفیت اشغال‌شده توسط هر کالا متفاوت فرض می‌شـود؛ در ایـن مقاله ظرفیت براساس وزن تعیین می‌شود.
- زمان تکمیل هر سفارش برابر زمانی است که سفارش بـه شـرکت سازنده تحویل داده می‌شود.

هدف تعیین نحوهٔ تخصیص سفارش‌ها بـه تـأمین‌کننـدگان، تعیـین توالی تولید در آن‌ها، تخصیص سفارش‌ها به وسایل نقلیه و تعیین تـوالی حمل آن‌ها به‌منظور کمینه کردن همزمان مجموع سوخت مصرف‌شـده و زمان تحویل سفارش‌ها به شرکت سازنده است.

حالت خاصی از مسئله که تنها یک تأمین‌کننده و یـک وسـیلهٔ نقلیـه وجود داشته باشد، سرعت تمام تأمین‌کنندگان وسایل نقلیه برابر ۱ باشـد و تنها تابع هدف زمان‌بندی در نظر گرفته شـود، تبـدیل بـه یـک مسـئلهٔ ساده‌تر می‌شود که توسط چانگ و لی [۳۱] مطرح شده است. آن‌ها نشان دادند که مسئلهٔ موردبررسی توسط آن‌هـا دارای پیچیـدگی از نـوع NP-hard اسـت. بنـابراین، پیچیـدگی مسـئلهٔ مـا کـه تعمـیم مسـئلهٔ درنظرگرفته‌شده توسط آن‌هاست نیز حـداقل از نـوع NP-hard خواهـد بود. درنتیجه، به‌دست‌آوردن جواب بهینه برای مسائل متوسط یـا بـزرگ در زمان معقـول امکـان‌پـذیر نیسـت و بایـد از روش‌هـای ابتکـاری یـا فراابتکاری برای حل مسئله استفاده کرد. در بخـش بعـد، یـک الگـوریتم ژنتیک به‌منظور بهینه‌سازی تصـمیمات در مسـئلهٔ موردبررسـی و تحـت مدل پیشنهادی ارائه می‌شود.

۴. الگوریتم ژنتیک پویا

همان‌گونه که ذکر شـد، بـه‌علـت NP-hard[1] بـودن مسـئله، اسـتفاده از روش‌های دقیق برای حل مسئله در زمان معقول ممکن نیست و بایـد از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری برای حل مسئله استفاده کـرد. بـه‌علـت اینکه در ادبیات، موضوع استفاده از الگـوریتم ژنتیـک از اقبـال بیشـتری نسبت‌به سایر روش‌های فراابتکاری برخـوردار بـوده اسـت، بـرای حـل مسئله سعی شد از الگوریتم ژنتیک استفاده شود.

در این قسمت به‌منظور حل مسئله، یک الگـوریتم ژنتیـک بـه نـام الگوریتم ژنتیک پویا ارائه شده است که کروموزوم‌هـایی بـا سـاختار متغیر دارد. ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک ارائه‌شـده دوبعـدی است. بعد عمودی نشان‌دهندهٔ تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه و بعد افقی نشان‌دهندهٔ سفارش‌های تخصیص‌یافته و ترتیـب آن‌هـا بـه هریـک از تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه است. بـرای هریـک از تـأمین‌کننـدگان و وسایل نقلیه یک‌رشته آرایه وجود دارد که طـول و ترتیـب عناصـر آن نشـان‌دهنـدهٔ تعـداد و ترتیـب سـفارش‌هـای تخصـیص‌یافتـه بـه آن تأمین‌کننده یا وسیلهٔ نقلیه است. اگر تعداد سفارش‌های تخصیص‌یافتـه به تأمین‌کنندگان یا وسیلهٔ نقلیه، کم یا زیاد شود، طول رشته متناظر نیـز کم یا زیاد خواهد شد. وجـه تمـایز الگـوریتم ژنتیـک پویـا نسـبت‌بـه الگوریتم‌های ژنتیک کلاسیک به این صورت است که در الگوریتم‌های ژنتیک کلاسیک طـول کروموزوم‌هـا ثابـت اسـت، درصـورتی‌کـه در الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده، کروموزوم از چند رشته تشکیل شده که طول آن‌ها متغیر است.

به‌منظور توضیح بیشتر، فرض کنیـد ۷ سـفارش، ۴ تـأمین‌کننـده و ۲ وسیلهٔ نقلیه داریم. وزن همهٔ سفارش‌ها ۱ واحد و ظرفیت وسـایل نقلیـهٔ اول و دوم به‌ترتیب ۳ و ۴ واحد است. فرض کنید تخصیص سفارش‌هـا به تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیـه و همچنـین اولویـت پـردازش و حمـل آن‌ها به‌صورت شکل (۳) باشد. آنگاه ساختار کروموزومی که بیـان‌کننـدهٔ تخصیص شکل (۳) باشد، به‌صورت نشان‌داده‌شده در شکل (۴) خواهـد بود. در ادامه، سایر پارامترها و عملگرهای ایـن الگـوریتم ژنتیـک شـرح داده می‌شوند.

1. Non Polynomial-Hard

Archive of SID

www.SID.ir

۲→۵→۷	تأمین‌کنندهٔ ۱
۱	تأمین‌کنندهٔ ۲
۴→۶	تأمین‌کنندهٔ ۳
۳	تأمین‌کنندهٔ ۴
۴→۱→۳→۷	وسیلهٔ نقلیهٔ ۱
۲→۵→۶	وسیلهٔ نقلیهٔ ۲

شکل (۳): سفارش‌های تخصیص‌یافته و ترتیب آن‌ها

تأمین‌کنندهٔ ۱	۷	۵	۲	
تأمین‌کنندهٔ ۲	۱			
تأمین‌کنندهٔ ۳	۶	۴		
تأمین‌کنندهٔ ۴	۳			
وسیلهٔ نقلیهٔ ۱	۷	۳	۱	۴
وسیلهٔ نقلیهٔ ۲	۶	۵	۲	

شکل (۴): ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک پویا

اندازهٔ جمعیت اولیه توسط پارامتری به نام popsize مشخص می‌شود و هر کروموزوم به‌صورت زیر تولید می‌شود:

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

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

گام ۱-۳. سفارش‌ها را به‌ترتیب جایگشتی که در گام ۱ به‌دست آمده است، به‌صورت تصادفی به یکی از وسایل نقلیه اختصاص دهید.

تابع شایستگی برای تبدیل مقادیر تابع هدف به مقیاسی برای شایستگی نسبی کروموزوم ها به‌کار می‌رود. با توجه به اینکه دو تابع هدف درنظرگرفته‌شده 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 رابطهٔ معکوس به‌صورت $\frac{1}{\frac{W1*C}{MaxC}+\frac{W2*F}{MaxF}}$ 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 به‌ازای جواب متناظر با کروموزوم، Max F بیانگر حداکثر مقدار F در بین کروموزوم‌های جمعیت فعلی و W_1 ,W_2 به‌ترتیب وزن‌های توابع هدف مجموع زمان‌های تحویل سفارش‌ها و میزان کل مصرف سوخت است.

نحوهٔ محاسبهٔ تابع هدف هر کروموزوم نیز به‌صورت زیر است:

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

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

گام ۲-۱. اولویت سفارش‌های اختصاص‌داده‌شده به وسیلهٔ نقلیهٔ موردنظر 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 دستهٔ دارای کوچک‌ترین اندیس اختصاص دهید، به‌طوری‌که مجموع ظرفیت اشغالی سفارش‌های تخصیص‌داده‌شده به هر دسته از ظرفیت وسیلهٔ نقلیه بیشتر نشود. درصورتی‌که اندازهٔ سفارش‌های تخصیص داده‌شده به هر دسته از ظرفیت ماشین بیشتر می‌شود، دستهٔ جاری را بسته و یک دستهٔ دیگر با اندیس جدید ایجاد کنید.

گام ۳. پس از اتمام دسته‌بندی سفارش‌ها با توجه به اینکه محموله‌بندی سفارش‌ها و درنتیجه مسیر حرکت هر وسیلهٔ نقلیه مشخص‌شده است، میزان مصرف سوخت ماشین‌ها را محاسبه کنید. همچنین با توجه به مواردی چون اولویت حمل، مسیرهای مشخص‌شده‌ای که هر وسیلهٔ نقلیه باید طی کند، زمان تکمیل هر سفارش در مرحلهٔ تولید و سرعت وسیلهٔ نقلیه مربوطه، زمان تحویل سفارش‌ها را محاسبه کنید.

در عملگر تلفیق گام‌های زیر به تعداد [popsiz×cross-rate] بار تکرار می‌شود که cross-rate نشان‌دهندهٔ نرخ عملگر تلفیق است:

گام ۱. دو کروموزوم به‌صورت 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 آرایهٔ 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 به‌دست 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 به‌دست می‌آید.

Archive of SID

www.SID.ir

در عملگر جهش گام‌های زیر بـه تعـداد [popsiz× mut-rate] بـار تکرار می‌شود که mut-rate نشان‌دهندهٔ نرخ عملگر تلفیق است:

گام ۱. ابتدا یک کروموزوم به‌صورت تصادفی انتخاب کنید.

گام ۲. در فاز اول، رشتهٔ مربوط به یکی از تأمین‌کنندگان یـا وسـایل نقلیه را انتخاب کرده و دو ژن از ژن‌هـای تخصـیص‌داده‌شـده بـه رشـتهٔ انتخابی را به‌صورت تصادفی انتخاب کنید. سپس توالی ژن‌ها بین دو ژن انتخابی (روی رشته انتخابی) را معکوس کنید..

گام ۳. در فاز دوم، دو ژن را به‌صورت تصادفی انتخاب و جای ایـن دو ژن را در هر دو قسمت تأمین‌کننـدگان و وسـایل نقلیـه بـا یکـدیگر تعویض کنید.

تعداد کروموزوم‌های موجود پـس از اعمـال تلفیـق و جهـش برابـر popsize×(1+ cross-rate + mute-rate) است. برای انتخاب جمعیت بعدی ابتدا این کروموزوم‌ها براساس تابع شایستگی‌شان به‌ترتیب نزولـی مرتب می‌شوند. پس از آن تعداد best×popsize کروموزوم کـه best از پارامترهای این الگوریتم است، از کروموزوم‌هایی که دارای بهترین مقدار تابع شایستگی هستند، برای نسل بعد انتخاب می‌شوند. سایر (popsize-best×popsize) کروموزوم باقیمانده نیز با اسـتفاده از عملگـر انتخـاب چرخ گردان[1] انتخاب می‌شوند.

معیار توقف برای الگوریتم بدین‌صورت است که اگر بهترین مقـدار تابع شایستگی کروموزوم‌ها در چند نسل متوالی بهبودی نیابد، الگـوریتم به پایان می‌رسد. تعداد این تکرارهای متـوالی توسـط پـارامتری بـه نـام termination مشخص می‌شود.

پس از کدنویسی الگوریتم ژنتیک مذکور در نرم‌افزار متلب و پـس از اجراهای مختلف روی مسائل متعدد به‌صورت تجربی مشخص شـد کـه مقدار ۱۰۰ برای پارامتر popsize، 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 نتـایج نسـبتاً 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 حـل آن‌ها توسط هر سـه مـدل، بـه تحلیـل نتـایج و مقایسـه عملکـرد آن‌هـا پرداخته می‌شود.

۵.۱. سایر مدل‌های رایج

براساس مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، دو مدل رایج در صنعت که برای زمان‌بنـدی تولیـد و حمـل‌ونقـل در زنجیـرهٔ تـأمین مورداسـتفاده قـرار می‌گیرند، به‌صورت زیرند:

مدل اول: برخی از شرکت‌هـا برتـر بـه‌منظـور کـاهش هزینـه‌هـای حمل‌ونقل و درنتیجه، کاهش قیمت تمام‌شدهٔ محصولات خـود، از یـک ناوگان حمل‌ونقل مشترک استفاده می‌کنند. اما تاکنون در هـیچ مـدلی در ادبیات، موضوع این ناوگان حمل‌ونقل مشترک به‌صورت عملی با حالتی که در آن یکپارچگی بین تصمیمات تولید و حمـل‌ونقـل وجـود داشـته باشد، ادغام نشده است. در مـدل اول، تصـمیمات تولیـد و حمـل‌ونقـل به‌صورت سلسله‌مراتبی اتخاذ می‌شوند و ابتدا تصمیمات مربوط به تولید گرفته شده و پس از آن، تصمیمات حمل‌ونقل اتخاذ می‌شوند. به‌عبـارت دیگر، وقتی در حال تصمیم‌گیری در حالت حمـل‌ونقـل هسـتند، اجـازهٔ 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 تأمین‌کننـدگانش یکپـارچگی وجـود دارد. امـا بـا ایـن تفاوت که در این مدل، امکان اسـتفاده از ناوگـان حمـل‌ونقـل مشـترک وجود ندارد و هر تأمین‌کننده سفارش‌های تکمیل‌شـده خـود را بـه‌طـور مستقل به شرکت سازنده منتقل می‌کنند. این مدل نیز با توجه به ماهیـت حقوقی مستقل تأمین‌کنندگان، مـدلی رایـج در مـدیریت حمـل‌ونقـل در زنجیرهٔ تأمین است.

در ادامه، به‌منظور مقایسهٔ عملکرد هر سـه مـدل موردبررسـی، ابتـدا به‌منظور بهینه‌سازی تصمیمات در مدل‌های اول و دوم، بـرای هریـک از آن‌ها یک الگـوریتم ژنتیـک بـا سـاختاری مشـابه بـه الگـوریتم ژنتیـک مورداستفاده در مدل پیشنهادی ارائه و در نرم‌افزار متلب[2] کدنویسی شد. سپس تعداد متنوع و زیادی از شرایط (مسائل) تصـادفی مختلـف ایجـاد شد که هریک از آن‌ها توسط هر سه الگوریتم حـل شـدند و درنهایـت، نتایج به‌دست‌آمده با یکدیگر مقایسه شدند.

۵.۲. تولید شرایط تصادفی برای مسئله

اعتبار نتایج درصورتی‌که طیف متنوعی از مسائل مورداسـتفاده قـرار گیـرد، بیشتر خواهد شد؛ برای مثال، ممکن است یک حالت در مسـائل بـا تعـداد سفارش کم نتایج خوبی نسبت‌به حالت دیگر بدهد، حال‌آنکه در مسائل بـا تعداد سفارش زیاد نتایج بـدتری بدهـد. مسـئلهٔ موردبررسـی پارامترهـای مختلفی دارد. برای بررسی بهتر عملکرد حالات بهتر است مسـائل متنـوعی

1. Roulette Wheels

2. MATLAB

Archive of SID

www.SID.ir

با ایجاد مقادیر مختلفی برای پارامترهای آن ایجاد شود. به همین منظور سطوحی مانند بالا، پایین و متوسط برای مسئله و به‌صورت 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 به‌صورت تجربی و با نظر خبرگان شامل ۸ نفر از اساتید دانشگاه و کارشناسان حمل و نقل [۳۲]، مقدار ۰/۳ برای پارامتر a و مقدار ۰/۰۷ برای پارامتر b در نظر گرفته شده است. به‌عبارت دیگر، مصرف سوخت در یک مسیر از رابطهٔ (۲) به‌دست می‌آید:

$$\text{Energy-Path} = 0.3\times dis + 0.07\times weight \qquad (۲)$$

از ترکیب سطوح مختلف برای پارامترهای مسئلهٔ ۱۰۸ نوع مسئله به‌وجود می‌آید (۲×۲×۳×۳×۳). این ۱۰۸ مسئله در هریک مدل‌های ذکرشده، با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده‌اند. همهٔ برنامه‌های کامپیوتری این تحقیق به‌وسیلهٔ زبان برنامه‌نویسی متلب نوشته و توسط یک رایانه با RAM، ۱۶گیگابایت و همچنین CPU، ۸ هسته‌ای اجرا شده‌اند.

۳.۵. ارزیابی مدل پیشنهادی

نتایج به‌دست‌آمده از هر سه مدل در جداول (۲) تا (۷) به‌ازای وزن یکسان ۰/۵ 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 به‌دست‌آمده از هر مدل، میانگین توابع هدف مصرف سوخت و مجموع زمان‌های تحویل سفارش‌ها به‌ازای افراز ۱۰۸ مسئله روی حالات مختلف پارامترها نشان داده شده است.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Archive of SID

www.SID.ir

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

	زمان حمل	حالت اول	حالت دوم
میانگین نتایج مدل پیشنهادی	مجموع زمان‌های تحویل	۴۰۵	۷۸۳
	مصرف سوخت	۲۶۰	۶۰۰
میانگین نتایج مدل اول	مجموع زمان‌های تحویل	۵۳۵	۹۹۱
	مصرف سوخت	۲۸۸	۶۳۰
میانگین نتایج مدل دوم	مجموع زمان‌های تحویل	۵۹۴	۱۲۲۲
	مصرف سوخت	۴۰۵	۹۱۹

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

	نتایج مربوط به‌کل مسائل تصادفی	کل
میانگین نتایج مدل پیشنهادی	مجموع زمان‌های تحویل	۵۹۴
	مصرف سوخت	۴۳۰
میانگین نتایج مدل اول	مجموع زمان‌های تحویل	۷۶۳
	مصرف سوخت	۴۵۹
میانگین نتایج مدل دوم	مجموع زمان‌های تحویل	۹۰۸
	مصرف سوخت	۶۶۲

از طرفی با مقایسهٔ 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. نتیجهٔ 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 زنجیرهٔ تأمین داشته باشند.

از طرفی مقایسهٔ مدل اول و دوم نشان می‌دهد که تأثیر درنظرگرفتن مدل حمل‌ونقل مشترک در کاهش مقادیر مصرف سوخت و زمان تحویل سفارش‌ها بیشتر از درنظرگرفتن 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 موردبررسی، یک رابطهٔ خطی وجود ندارد. با زیادشدن تعداد وسایل نقلیه میانگین مصرف سوخت افزایش اما زمان تحویل سفارش‌ها کم می‌شوند. همچنین هنگامی‌که زمان پردازش سفارش‌ها در مرحلهٔ تأمین‌کنندگان زیاد باشد، میانگین زمان‌های تحویل نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش زمان حمل مصرف سوخت و زمان‌های تحویل نیز 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 عمدهٔ 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 زنجیرهٔ 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 تمام‌شدهٔ محصولات نهایی شده و درنتیجه، 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 تمام‌شدهٔ 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. ارائهٔ 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.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

[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] Houri 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. Chamaillard, 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. Hajiaghaei-Keshteli, 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*

Archive of SID

www.SID.ir

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.

Archive of SID

www.SID.ir