چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۲۳ ـ پاییز ۱۳۹۵
ص‌ص ۱۰۰ ° ۷۷

مدل‌سازی ریاضی دوسطحی با تولیدکنندگان مختلف و وسایل حمل‌ونقل چندگانه در زنجیره تأمین

عباس راد*، امیر صادقی، بهزاد قاسمی*****

چکیده

امروزه در صنایع بازارهای جهانی نمی‌توان بدون توجه به رقبا حرکت و پیشرفت کرد؛ زیرا همه آن‌ها بخشی از یک زنجیره تأمین هستند و موفقیت یا شکست هر عضو از این زنجیره بر سایر اعضای زنجیره تأثیرگذار است؛ بنابراین در این پژوهش، مسئله زنجیره تأمین دوسطحی با چندین محصول و یک تولیدکننده و همچنین یک توزیع‌کننده و چندین مشتری بررسی شد. در قسمت اول زنجیره از یک نوع وسیله نقلیه و در قسمت دوم زنجیره از دو نوع وسیله نقلیه استفاده می‌شود. مدل ریاضی پیشنهادی برای این پژوهش، یک مدل ریاضی یکپارچه برنامه‌ریزی مختلط از نوع عدد صحیح است. در این مدل کمینه‌کردن هزینه‌ها موردتوجه قرار گرفته است که این هزینه‌ها شامل هزینه حمل‌ونقل، هزینه نگهداری موجودی و هزینه جریمه کمبود است. مورد مطالعه در پژوهش حاضر، ارسال رول‌های تولیدشده از «شرکت فولاد مبارکه اصفهان» به «شرکت سازه‌گستر سایپا (S.G.S)» و از آنجا به «قطعه‌سازان خودرو» است. این مسئله با روش الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری در ۲۰ سایز مختلف حل و نتایج آن در اندازه کوچک با نرم‌افزار GAMS مقایسه شد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین؛ مدل ریاضی؛ هزینه‌های لجستیک؛ الگوریتم رقابت استعماری، حمل‌ونقل.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱/۲۹، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۸/۸.

* استادیار، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول).

E-mail: a-raad@sbu.ac.ir

** دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد تهران جنوب.

*** بهزاد قاسمی، دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد تهران جنوب.

۱. مقدمه

در زنجیره تأمین، حمل‌ونقل فعالیتی است که تمامی ارکان از ابتدای تولید تا تحویل کالا به مشتریان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و در تمام فعالیت‌ها داشتن یک حمل‌ونقل کارا می‌تواند تأثیر زیادی بر کاهش و افزایش هزینه‌ها داشته باشد [۱]. در پژوهش‌های پیشین در مسائل زنجیره تأمین بیشتر بر مواردی از قبیل مقدار سفارش و اندازه سفارش و زمان‌بندی تولید، تمرکز شده است. هزینه حمل‌ونقل یکی از مهم‌ترین بخش‌های هزینه‌ی کل است که در بسیاری از پژوهش‌های حاضر معمولاً به‌صورت غیرمستقل و بخشی از هزینه‌های ثابت سفارش‌دهی یا آماده‌سازی در نظر گرفته می‌شود که با توجه به اهمیت و تأثیرگذاری این هزینه، بهتر است مستقل در نظر گرفته شود؛ بنابراین ضرورت مدل‌هایی که هزینه حمل‌ونقل را به‌وضوح در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی لحاظ کنند، نمایان می‌شود؛ از طرفی سایر هزینه‌ها نیز از قبیل هزینه موجودی و هزینه کمبود نیز از عوامل مهم هزینه کل زنجیره تأمین در شرکت‌ها است. در زمینه حمل‌ونقل نیز وجود وسایل نقلیه متفاوت و متعدد از موارد مهم و تأثیرگذار بر هزینه حمل‌ونقل و رضایت مشتری است؛ ازاین‌رو در پژوهش حاضر بر این موارد تأکید شده و برای توسعه یک مدل ریاضی که این هزینه‌ها و حالت‌ها را پوشش دهد، تلاش شده است.

با توجه به اهمیت زنجیره تأمین، این پژوهش در پی آن است که یک مدل ریاضی برای زنجیره تأمین دوسطحی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره ارائه کند. با توجه به اینکه محصولات (رول‌های تولیدشده در «شرکت فولاد مبارکه اصفهان») با استفاده از یک نوع وسیله نقلیه از «شرکت فولاد مبارکه اصفهان» به «شرکت سازه‌گستر سایپا» و ازآنجا با استفاده از دو وسیله نقلیه از «شرکت سازه‌گستر سایپا» به «قطعه‌سازان خودرو» ارسال می‌شود، مدل پیشنهادی برای این پژوهش، یک مدل یکپارچه برنامه‌ریزی صفر و یک مختلط است. خروجی‌های این مدل شامل میزان رول حمل‌شده از تولیدکننده به «شرکت سازه‌گستر» و از «شرکت سازه‌گستر» به هر قطعه‌ساز، میزان کمبود رول برای قطعه‌سازان، سطح موجودی رول‌ها در انبار در انتهای هر دوره و زمان حرکت وسایل نقلیه در هر دوره زمانی است. این مدل در ۲۰ اندازه مختلف حل شده است. برای حل این مسئله در ابعاد کوچک از نرم‌افزار GAMS و در ابعاد بزرگ از الگوریتم رقابت استعماری[1] استفاده شده و برتری جواب‌های رقابت استعماری نشان داده شده است. هر یک از این مسائل ۵ بار اجرا شد و بهترین جواب (کمترین هزینه) به دست آمد؛ سپس انحراف معیار این ۵ بار بررسی شد.

1. Imperialist Competitive Algorithm

طرح کلی مقاله پیش‌رو به این شرح است: ابتدا مبانی نظری و پیشینه تحقیق ارائه می‌شود؛ سپس در بخش سوم روش شناسی پژوهش ارائه می‌شود و بعد از بررسی تحلیل یافته ها و داده های پژوهش در بخش چهارم، در بخش پایانی به نتیجه گیری مقاله حاضر پرداخته می گردد.

۲.مبانی نظری و پیشینه پژوهش

بومول و همکاران (۱۹۷۰)، نخستین تلاش‌ها را در زمینه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و موجودی انجام دادند. آن‌ها یک مدل نظری ارائه کردند که میزان سفارش و گزینه حمل‌ونقل را به‌طور همزمان مشخص می‌کرد؛ با این هدف که مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل، سفارش‌دهی و نگهداری موجودی حداقل شود. مدل آن‌ها برای حمل هر قلم کالا هزینه ثابتی را در نظر می‌گیرد [۲]. یوکویوما (۱۹۹۵)، یک مدل بهینه‌سازی یکپارچه با تقاضای احتمالی ارائه کرد که در آن کنترل موجودی و مسئله حمل‌ونقل به‌طور همزمان در نظر گرفته می‌شوند. محصولات از یک مرکز توزیع به چند مشتری حمل می‌شود. او روشی برای یافتن نقطه سفارش مجدد، مقدار سفارش مجدد و مقدار حمل پیشنهاد کرد؛ به‌طوری‌که مجموع هزینه‌های موجودی و هزینه‌های حمل‌و نقل حداقل شود [۳۰]. کیم (۲۰۰۹)، مسئله زمان‌بندی ارسال در سیستمی متشکل از یک انبار مرکزی و n خرده‌فروش را بررسی کرد. در سیستم حمل‌ونقل موردبررسی، تنها یک نوع محصول در نظر گرفته شد. هدف این مقاله کمینه‌کردن هزینه موجودی در محل خرده‌فروش‌ها بود؛ به‌طوری‌که خرده‌فروش‌ها با کمبود مواجه نشوند [۱۱، ۱۲] .عسگری و اقدسی (۲۰۰۷)، یک مدل ریاضی یکپارچه برای برنامه‌ریزی در مورد تصمیم‌های موجودی و حمل‌ونقل ارائه کردند. این مدل چندهدفه بود که در آن به کمینه‌کردن هزینه نگهداری و سفارش‌دهی خریدار، کمینه‌کردن هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کننده، کمینه‌کردن احتمال دیرکرد در تحویل قطعات برای رسیدن به هدف تحویل به‌موقع و حداکثر بهره‌برداری از ظرفیت ناوگان حمل‌ونقل پرداخته شده است. مدل برای چند محصول در زنجیره در نظر گرفته شده و تقاضای محصولات قطعی است. برای ارسال نیز از چندین نوع وسیله نقلیه استفاده می‌شود [۱و۲۷]. یانگ و بیونگ پارک (۲۰۱۳) به بررسی مسئله زمان‌بندی وسایل نقلیه با درنظرگرفتن زمان خدمت و زمان تحویل با هدف کمینه‌کردن کل زمان سفر وسیله نقلیه و دیرکرد تحویل محصول به خرده‌فروشان پرداختند. این مدل با الگوریتم ژنتیک ترکیبی حل شد و تابع هدف آن از نوع برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح بود [۱۸، ۲۸]. کارابوکو (۲۰۰۷)، به مطالعه تخصیص کارها به تأمین‌کنندگان پرداخت. هدف او تعیین برنامه‌ریزی تولید بهینه بود؛ به‌گونه‌ای که زمان تکمیل کارها کمینه می‌شود. هر تأمین‌کننده‌ای ممکن است نیاز به زمان متفاوتی برای پروسه‌کردن هر کار داشته باشد. برای حل این موضوع یک الگوریتم ژنتیک پذیرشی یک سازوکار جدید مورداستفاده قرار گرفت که جهش ژن انتخابی

نامیده می‌شود [۹، ۱۰]. چو و همکاران (۲۰۰۷)، به مطالعه راه‌های مختلف کمینه‌کردن زمان تکمیل کارها را در زنجیره تأمین دوسطحی پرداختند. آن‌ها فرض کردند دو تأمین‌کننده به‌صورت موازی در مرحله اول و یک کارخانه در مرحله دوم موجود است و کارها در دسته‌های مشخصی می‌رسند [۴]. پژوهشگران فرض کردند که زمان راه‌اندازی ثابتی برای هر دسته موردنیاز است. ذگردی (۲۰۱۰)، تولید و زمان‌بندی حمل‌ونقل در زنجیره تأمین دوسطحی را در نظر گرفت که تابع هدف آن کل دیرکردها و کل انحراف از بارهای کاری تخصیص داده شده تأمین‌کننده‌ها از سهم‌های در نظر گرفته شده برای آن‌ها را کمینه‌سازی می‌کند. مدل ریاضی آن برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح بود و برای حل آن، MSGA به‌کار رفت و با الگوریتم ژنتیک مقایسه شد. نتایج برتری MSGA را نسبت به الگوریتم ژنتیک نشان داد. در این پژوهش فرض شد که تأمین‌کنندگان در مناطق جغرافیایی متعددی قرار دارند. مثال عددی در این پژوهش شامل ۶ کار، ۳ تأمین‌کننده و ۲ وسیله نقلیه. پژوهش ناسو و همکاران (۲۰۰۷)، ترکیبی از تولید بهنگام و حمل ونقل بود و نتایج نشان داد که تحویل به مشتریان در زمان مناسب یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدیریت زنجیره تأمین است. در این پژوهش فرض شد که برای تولید محصول گاهی مجبور به برون‌سپاری شده است، زودکرد و دیرکرد هر دو ممنوع و برای حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شده، وسیله نقلیه مورداستفاده یک نوع و زنجیره تأمین آن دوسطحی است؛ همچنین تابع هدف آن به کمینه‌سازی هزینه‌ها می‌پردازد که شامل هزینه برون‌سپاری، هزینه جریمه زمان انتظار و هزینه حمل‌ونقل است [۱۶]. زندیه و همکاران (۲۰۰۹)، فرض کردند که تعداد نامحدودی منبع برای تحویل کارهای تمام‌شده به مقاصدشان، بدون نیاز به زمان طولانی برای جابه‌جایی آن‌ها، وجود دارد. در پژوهش آن‌ها به تولیدات و زمان‌بندی حمل‌ونقل هوایی به‌طور همزمان پرداخته شد. کل مسئله شامل دو زیرمسئله (یکی مسئله حمل‌ونقل هوایی و دیگری مسئله زمان‌بندی یک ماشین) بود که به‌طور همزمان در نظر گرفته شد. در تابع هدف آن کل هزینه‌های زنجیره و زمان انجام کارها کمینه‌سازی می‌شود که در اینجا هزینه شامل هزینه زودکرد و دیرکرد حرکت و هزینه جابه‌جایی است [۳۱]. قاسمی و همکاران (۲۰۱۱)، یک مدل ریاضی برای مدیریت موجودی به‌وسیله برنامه‌ریزی با اهداف چندگانه طراحی کردند. نتیجه مشخص این پژوهش دستیابی به یک مدل ریاضی چند تابع هدفی بود که ورودی آن میزان تقاضای سالیانه قطعه، ظرفیت تولید تأمین‌کننده، نوع بسته‌بندی قطعه و و خروجی آن، حجم تولید (میزان سفارش)، میزان انبارش موردنیاز برای هر یک از شرکا در انبارهای میانی، میزان زمان‌بندی بچ‌های ارسالی از شرکا و غیره است که در آن به کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، بهینه‌کردن تعداد دفعات ارسال محموله توسط تأمین‌کنندگان و کاهش تعداد دریافت محموله در شرکت مادر پرداخته می‌شود؛ درنهایت با توجه به جامعه آماری این پژوهش یعنی «گروه خودروسازی سایپا»، مدل ریاضی

تدوین‌شده موردآزمایش قرار گرفت و خروجی آن با مقادیر واقعی در «شرکت سایپا» مقایسه شد [۷]. به عقیده ژو و همکاران (۲۰۱۲)، موجودی، مسیریابی و زمان‌بندی سه عامل اصلی برای عملکرد زنجیره تأمین هستند. آن‌ها به بررسی مدل یکپارچه موجودی، مسیریابی و زمان‌بندی در یک زنجیره تأمین دوسطحی پرداختند. در این پژوهش مسئله از نوع NP بود که با الگوریتم VNS حل و نتایج این الگوریتم با سایر الگوریتم‌ها مقایسه شد که بهتربودن آن را نشان داد. در این مدل تنها یک تأمین‌کننده وجود دارد و هر مسیر از یک تأمین‌کننده شروع و به همان تأمین‌کننده ختم می‌شود. ظرفیت وسایل نقلیه از قبل شناخته شده و در تابع هدف این مقاله به کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل و موجودی پرداخته شده است [۳۳]. پوندور و همکاران (۲۰۱۴)، به زمان‌بندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین دوسطحی پرداختند که شامل تعدادی تولیدکننده، یک انبار و مشتری بود. هر تولیدکننده محصولات مختلف را با نرخ تولید ثابت تولید می‌کند و تقاضای مشتری‌ها برای هر محصول در کل زمان ثابت است. برای حل این مدل از روش‌های دقیق و هیوریستیک استفاده شد و این‌ها را با هم مقایسه کرده است. تابع هدف آن به کاهش هزینه‌ها می‌پردازد که شامل هزینه موجودی، هزینه راه‌اندازی و هزینه توزیع است مدل آن از نوع برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح غیرخطی است [۸]. بهاتناگار و همکاران (۲۰۰۷)، به هماهنگی مشکلات تصمیم‌های برنامه‌ریزی و زمان‌بندی کوتاه‌مدت در زنجیره تأمین با استفاده از مدل‌های دوگانه پرداختند. آن‌ها دو روش حمل را در نظر گرفتند. روش نخست، حمل دریایی است که در آن زمان تحویل طولانی‌تر و هزینه تحویل کمتر در نظر گرفته شده است و روش دوم، حمل هوایی است که در آن هزینه تحویل بیشتر، زمان تحویل کمتر و پیش‌بینی دقیق‌تر تقاضا در نظر گرفته شده است. تصمیم‌های برنامه‌ریزی به تعیین مقدار سفارش و سطح موجودی در جابه‌جایی دریایی می‌پردازد؛ درحالی‌که در تصمیم‌های زمان‌بندی به زمان‌بندی و مقدار جابه‌جایی هوایی پرداخته می‌شود. نتایج عددی این مطالعه نشان می‌دهد که این مدل به بهبود هزینه پایدار در محدوده وسیعی از عملیات هر دو روش منجر شده است [۱۹]. الیمام و همکاران (۲۰۱۳)، به مدل‌سازی زنجیره تأمین یکپارچه به‌عنوان یک پروژه شبکه‌ای پرداختند. این مدل باعث ایجاد تعادل در هزینه نگهداری موجودی متحرک و ثابت، هزینه انجام عملیات در زمان کمتر، هزینه جابه‌جایی و هزینه جریمه برای تأخیر در تحویل سفارش‌های مشتری می‌شود [۵]. سرکر و همکاران در سال ۲۰۱۴، یک مدل بازیابی‌شده دومرحله‌ای برای تولید و سیستم موجودی با احتمال خرابی در حمل‌ونقل را مدلسازی کردند و هدف آن‌ها کمینه‌سازی هزینه‌های مربوط به آن بود. روش حل یک روش هیوریستیک است که انحراف خیلی جزئی با روش‌های دقیق دارد. نتایج حل نشان می‌دهد که بهینه‌کردن زمان‌بندی به مقدار زیادی به ارتباط بین پارامترهای هزینه فروش ازدست‌رفته و هزینه فروش به‌موقع دارد [۲۹]. عثمان و همکاران

(۲۰۱۲)، مسئله انباشته اقتصادی و زمان‌بندی تحویل برای زنجیره تأمین چندمرحله‌ای را بررسی کردند و به‌طور همزمان به راهبرد حداکثر موجودی و مشخص‌کردن توالی عملیات و تعیین چرخه زمانی برای حداکثرسازی موجودی پرداختند؛ به‌طوری‌که تمام هزینه‌ها کمینه شود. این دو روش به‌وسیله مدل‌های غیرخطی با الگوریتم ترکیبی ارائه شده است. بر اساس نتایج عددی مدل ارائه‌شده، الگوریتم موردنظر برای مسائل بزرگ در مدت‌زمان کوتاه به جواب بهینه می‌رسد و باعث کاهش ۱۶/۳ درصد در هزینه‌ها می‌شود [۱۷]. کیم و همکاران (۱۹۹۹)، دو مدل برای حداقل‌کردن مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل و نگهداری موجودی در یک زنجیره تأمین دوسطحی ارائه کردند که در آن تقاضا پویا و حمل محصولات از مرکز توزیع به مشتری‌ها توسط یک نوع وسیله نقلیه انجام می‌شود. هزینه‌های حمل‌ونقل شامل هزینه ثابت حمل و هزینه ثابت جابه‌جایی مواد وابسته به مشتری است. مدل ارائه‌شده توسط آن‌ها تنها برای یک نوع محصول در نظر گرفته شده است اما ازآنجاکه در عالم واقعیت معمولاً محصولات متنوع هستند و برای ارسال محصولات نیز از چندین وسیله نقلیه استفاده می‌شود [۱۳]. این ضرورت احساس شد که مدل ارائه‌شده توسط این پژوهش در زمینه‌های زیر بسط داده شود:

ـ در مدل ارائه‌شده هزینه حمل‌ونقل شامل تعداد دفعات حمل‌ونقل است

ـ در مدل ارائه‌شده علاوه بر تولیدکننده و مشتری‌ها، توزیع‌کننده نیز بررسی شده است؛

ـ به‌جای یک نوع محصول از چندین محصول (رول با ابعاد مختلف) استفاده شده است؛

ـ برای ارسال محصولات از تولیدکننده به توزیع‌کننده از یک نوع وسیله نقلیه و برای ارسال از توزیع‌کننده به مشتریان از دو نوع وسیله نقلیه استفاده می‌شود.

در پژوهش ذگردی و همکاران (۲۰۱۰)، به زمان‌بندی حمل‌ونقل و تولید پرداخته شده و از چند وسیله نقلیه با سرعت و ظرفیت حمل‌ونقل متفاوت استفاده شده است. آن‌ها فرض کردند که همه تأمین‌کنندگان در یک محل قرار دارند. این مقاله در جهات زیر بسط داده شده است [۲۱، ۳۲]:

ـ به‌جای چند تأمین‌کننده از یک نوع تأمین‌کننده استفاده شده است؛

ـ به‌جای حداقل‌کردن زمان انجام کارها به حداقل‌کردن هزینه‌ها پرداخته شده است.

سایر پژوهش‌های صورت‌گرفته درخصوص این موضوع در جدول ۱، نشان داده شده است.

پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۱. بررسی پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه پژوهش حاضر

پژوهشگران	سال	زمینه کار
ساکان پارک و همکاران	۲۰۱۰	طراحی مدل زنجیره تأمین سه‌سطحی با درنظرگرفتن ادغام ریسک‌ها و زمان انتظار
گویندان و همکاران	۲۰۱۵	لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه‌بسته: یک بررسی جامع
سینگ و همکاران	۲۰۱۵	طراحی مدل زنجیره تأمین با نرخ تقاضای متغیر تحت سیاست‌های اعتباری تجارت خرده‌فروشی
اکرام و همکاران	۲۰۱۵	مدل مکان ـ موجودی در زنجیره تأمین سه‌سطحی در تولیدات فاسدشدنی
سرکار و همکاران	۲۰۱۵	تأثیر وسایل حمل‌ونقل چندگانه و مبحث انتشار کربن در زنجیره تأمین سه‌سطحی
کومار و همکاران	۲۰۱۶	طراحی مدل زنجیره تأمین سه‌سطحی با تصمیم‌گیری موجودی متمرکز و غیرمتمرکز تقاضای وابسته خطی به قیمت

پژوهش‌های مرتبط با پژوهش حاضر با توجه به درنظرگرفتن وسایل نقلیه چندگانه در جدول ۲، قابل‌مشاهده است.

جدول ۲. وضعیت پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه زنجیره تأمین چندسطحی و حمل‌ونقل چندگانه

پژوهشگران	سال	نوع زنجیره تأمین دوسطحی یا سه‌سطحی	در نظرگرفتن وسایل حمل‌ونقل چندگانه
پارکر و همکاران	۲۰۱۰	✓	✓
سانا و همکاران	۲۰۱۱	✓	
ژاهو و همکاران	۲۰۱۲	✓	
یانگ و همکاران	۲۰۱۳		✓
سانا و همکاران	۲۰۱۴	✓	
یانگ و همکاران	۲۰۱۵	✓	✓
سرکار و همکاران	۲۰۱۵	✓	
موداک و همکاران	۲۰۱۶	✓	

با توجه به جدول‌های ۱ و ۲، مقاله‌هایی که در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ بیشترین نزدیکی را با مسئله موردبررسی در پژوهش حاضر داشتند در ادامه آورده شده است.

یانگ و همکاران (۲۰۱۳)، به مدل‌سازی چندهدفه زنجیره تأمین چندهدفه در شرایط عدم‌اطمینان پرداختند. مدل آن‌ها شامل هزینه‌های غیرقطعی حمل‌ونقل و تقاضاهای غیرقطعی مشتریان بود که با استفاده از الگوریتم MO-BBO و نرم‌افزار Lingo حل و نتایج با الگوریتم ژنتیک چندهدفه مقایسه شد. نتایج حاکی از عملکرد بهتر الگوریتم MO-BBO در کیفیت حل بود [۲۸].

سرکار و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی تأثیر وسایل حمل‌ونقل چندگانه و انتشار کربن در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی پرداختند. هدف از پژوهش آن‌ها، توسعه مدلی برای کمینه‌کردن هزینه زنجیره تأمین با وجود حمل‌ونقل چندگانه و هزینه‌های انتشار کربن با توجه به چندمحموله‌ای بود. یک رویکرد جبری برای حل این مسئله به‌کار رفت. مثال‌های عددی و تجزیه‌وتحلیل حساسیت و نتایج و گزارش‌های گرافیکی برای این پژوهش صورت گرفت [۲۳].

مقایسه پژوهش‌های صورت‌گرفته هم‌راستا با موضوع پژوهش حاضر در جدول ۳، ارائه شده است.

جدول ۳. مقایسه پژوهش حاضر با پژوهش‌های هم‌راستا با موضوع پژوهش در سال‌های اخیر

پژوهشگران	سال	حمل‌ونقل چندگانه	نوع مدل برنامه‌ریزی	کمینه‌کردن هزینه حمل‌ونقل	کمینه‌کردن هزینه موجودی	کمینه‌کردن هزینه دیرکرد	سایر ویژگی‌های مدل
یانگ و همکاران	۲۰۱۵	✓	دوهدفه در شرایط عدم‌اطمینان	✓			در حالت تقاضا غیرقطعی مشتری
سرکار و همکاران	۲۰۱۵	✓	تک‌هدفه با درنظرگرفتن هزینه راه‌اندازی	✓			حداقل‌کردن هزینه انتشار کربن
موداک و همکاران	۲۰۱۶	✓	مدل ریاضی جهت هماهنگی کانال توزیع و تقسیم سود	✓			تجزیه‌وتحلیل اثر محصول باکیفیت ناقص در تصمیم‌گیری بهینه
کومار و همکاران	۲۰۱۶	✓	برنامه‌ریزی خطی	✓	✓		سایر هزینه‌های سالیانه وابسته به تقاضا
پژوهش حاضر	۲۰۱۶	✓	برنامه‌ریزی مختلط از نوع عدد صحیح	✓	✓	✓	چندین محصول و چندین مشتری

۳. روش شناسی پژوهش

با توجه به بررسی و مرور مبانی نظری، تاکنون مدل‌سازی ریاضی با درنظرگرفتن همزمان وسایل نقلیه چندگانه و چندمحصولی و چندمشتری با پیش‌فرض‌ها و اهداف یادشده صورت نگرفته است؛ همچنین در سازمان موردمطالعه به این مهم توجهی نشده است؛ بنابراین پژوهش حاضر با رویکرد پژوهش کاربردی در راستای این مهم برآمده است تا در رفع نیاز سازمان مربوطه در این خصوص گامی برداشته باشد.

مدل ریاضی. در این قسمت، مدل زمان‌بندی حمل‌ونقل و موجودی با هدف حداقل‌ساختن مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل، موجودی و جریمه کمبود ارائه می‌شود؛ بدین‌منظور ابتدا فرضیه‌ها و نمادهای مورداستفاده معرفی می‌شوند:

پیش‌فرض‌های مسئله. پیش‌فرض‌های مسئله پژوهش حاضر در ادامه آورده شده است که تعدادی از این پیش‌فرض‌ها با توجه به مطالعه موردی در شرکت یادشده در نظر گرفته شده است و مدل‌سازی به‌صورت پارامتریک صورت می‌گیرد تا پیش‌فرض‌های یادشده در مثال‌های موردبررسی قابل‌اعمال باشد.

ـ برای جابه‌جایی کالا در قسمت اول زنجیره از یک نوع وسیله حمل‌ونقل و برای جابه‌جایی کالا در قسمت دوم زنجیره از دو نوع وسیله حمل‌ونقل استفاده می‌شود که ظرفیت هر یک معلوم است؛

ـ این مدل برای یک محصول با ابعاد مختلف در نظر گرفته شده است؛

ـ کمبود مجاز است و به‌صورت فروش ازدست‌رفته؛

ـ در ابتدای دوره زمان‌بندی وسایل نقلیه دردسترس است و رول‌ها معطل نمی‌مانند تا وسیله نقلیه برسد؛

ـ زمان تخلیه و انبارش برای وسیله نقلیه کاملاً مشخص است؛

ـ در هر سفر می‌توان تقاضای یک قطعه‌ساز را برآورده کرد؛

ـ میزان تقاضای قطعه‌سازان برای تولیدکننده معلوم فرض می‌شود؛

ـ هزینه حمل‌ونقل فقط شامل هزینه تعداد دفعات حمل‌ونقل است و برای هر سازنده با توجه به بُعد مسافت متفاوت است؛

ـ وسیله نقلیه فولاد تا سازه‌گستر، تریلی ۲۰ تُنی است و وسیله نقلیه سازه‌گستر تا قطعه‌سازان می‌تواند تریلی ۲۰ تُنی یا کامیون ۱۰ تُنی باشد؛

ـ تریلی مورداستفاده فقط یک نوع با ۲۰ تُن ظرفیت است؛

ـ برنامه تولید از روش تسطیح برای هر دوره دلخواه (هفتگی، ماهانه، فصلی) تقریباً ثابت در نظر گرفته شده است؛
ـ امکان انبارکردن در قطعه‌ساز نیست و تقاضای دوره t را نمی‌توان در دوره‌های قبل‌تر فرستاد؛
ـ یک وسیله نقلیه در یک دوره t یک بار می‌تواند در مسیر کارخانه به انبار یا انبار به قطعه‌ساز حرکت کند.

اندیس‌ها

I = مجموعه تمام محصولات (رول با ابعاد مختلف)
i = اندیس محصول $(i \in I)$
J = مجموعه تمام قطعه‌سازان (مشتری)
j= اندیس قطعه‌سازان $(j \in J)$
K= مجموعه تمام وسایل نقلیه از تولیدکننده تا انبار
k - اندیس وسایل نقلیه $(k \in K)$
K' = مجموعه تمام وسایل نقلیه از انبار تا قطعه‌سازان
k' = اندیس وسایل نقلیه $(k' \in K')$
T = مجموعه تمام دوره‌های زمانی
t= اندیس دوره‌های زمانی $(t \in T)$

در جدول ۴، متغیرها و پارامترهای مدل پیشنهادی آورده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۴. پارامترها و متغیرهای مدل پیشنهادی

عنوان نماد	نوع نماد	توضیحات نماد
a_k	پارامتر	هزینه ثابت حمل‌ونقل بین تولیدکننده و انبار توسط وسیله نقلیه k
$b_{jk'}$	پارامتر	هزینه ثابت حمل‌ونقل بین انبار و قطعه‌ساز j توسط وسیله نقلیه k'
h_{it}	پارامتر	هزینه نگهداری هر واحد محصول (رول i) توسط انبار در دوره t
r_i	پارامتر	جریمه کمبود هر واحد محصول (رول i) در انبار
D_k	پارامتر	ظرفیت وسیله نقلیه نوع k بر حسب وزن برای سفر از تولیدکننده تا انبار
$D'_{k'}$	پارامتر	ظرفیت وسیله نقلیه نوع k' بر حسب وزن برای سفر از انبار تا قطعه‌سازان
G	پارامتر	ظرفیت انبار
w_i	پارامتر	وزن هر بسته از محصول نوع i
d_{ijt}	پارامتر	تقاضای محصول i برای قطعه‌ساز j در دوره t
ct_k	پارامتر	زمان سفر از تولیدکننده به انبار با استفاده از وسیله نقلیه k
$ct'_{k'j}$	پارامتر	زمان سفر از انبار تا قطعه‌ساز j با استفاده از وسیله نقلیه k'
st_t	پارامتر	زمان آغاز دوره t
Fin_t	پارامتر	زمان پایان دوره t
X_{ikt}	متغیر	میزان محصول (رول i) حمل‌شده از تولیدکننده به انبار توسط وسیله نقلیه نوع k در دوره t
$Q_{ijk't}$	متغیر	میزان محصول (رول i) حمل‌شده از انبار به قطعه‌ساز j توسط وسیله نقلیه نوع k' در دوره t
S_{ijt}	متغیر	میزان کمبود محصول (رول i) برای قطعه‌ساز j در دوره t
In_{it}	متغیر	سطح موجودی محصول i در انبار در انتهای دوره t
Z_{kt}	متغیر	اگر وسیله نقلیه k در دوره t به انبار ارسال شود برابر یک در نظر گرفته می‌شود، در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود.
$Z'_{jk't}$	متغیر	اگر وسیله نقلیه k' در دوره قطعه‌ساز j سرویس دهد برابر یک در نظر گرفته شود؛ در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود.
c_{kt}	متغیر	زمان حرکت وسیله نقلیه k از تولیدکننده به انبار در دوره زمانی t
$c'_{jk't}$	متغیر	زمان حرکت وسیله نقلیه k' از انبار به قطعه‌ساز j در دوره زمانی t

فرموله‌کردن ریاضی مسئله. با توجه به فرضیه‌ها، نمادها، پارامترها و متغیرهای بیان‌شده در جدول ۴، مدل ریاضی مسئله به‌صورت زیر است.

$$\text{Min } z$$

$$\sum_t \sum_k a_k(z_{kt}) + \sum_t \sum_j \sum_{k'} b_{jk'} (z'_{jk't}) + \sum_t \sum_i h_{it}(In_{it}) + \sum_i \sum_t \sum_j r_i s_{ijt} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

هدف مدل ریاضی ارائه‌شده حداقل‌ساختن مجموع هزینه‌های حمل محصولات از تولیدکننده به انبار و از انبار به مشتریان، هزینه نگهداری موجودی در انتهای هر دوره در انبار و هزینه جریمه کمبود محصولات است. قسمت اول و دوم تابع هدف، هزینه حمل‌ونقل را نشان می‌دهد که به‌صورت حاصل‌ضرب هزینه ثابت حمل‌ونقل در یک متغیر صفر و یک آورده شده که نشان‌دهنده استفاده یا عدم‌استفاده از وسیله نقلیه موردنظر در هر دوره است. قسمت سوم تابع هدف، مجموع هزینه‌های نگهداری موجودی محصولات در انبار در دوره‌های مختلف را نشان می‌دهد. قسمت آخر نیز نشان‌دهنده جریمه کمبود محصولاتی است که در دوره‌های مختلف با کمبود مواجه می‌شوند.

s.t.

$$z_{kt} \geq \frac{\sum_i w_i x_{ikt}}{D_k} \qquad \forall k, t$$ رابطه (۲)

رابطه ۲، نشان‌دهنده تعداد وسیله نقلیه k است که در هر دوره استفاده می‌شود تا محصولات را از «فولاد مبارکه اصفهان» به انبار «سازه‌گستر» انتقال دهد؛ همچنین حد پایین ظرفیت هر وسیله نقلیه را هم نشان می‌دهد.

$$z'_{jk't} \geq \frac{\sum_i w_i Q_{ijk't}}{D'_{k'}} \qquad \forall k', t, j$$ رابطه (۳)

رابطه ۳، نشان‌دهنده تعداد وسیله نقلیه k' است که در هر دوره استفاده می‌شود تا محصولات را از انبار «سازه‌گستر» به «قطعه‌سازان» انتقال دهد؛ همچنین حد پایین ظرفیت هر وسیله نقلیه را نیز نشان می‌دهد.

$$\sum_k x_{ikt} + In_{i,(t-1)} - \sum_{k'} \sum_j Q_{ijk't} = In_{i,t} \qquad \forall t, i$$ رابطه (۴)

رابطه ۴، متغیر موجودی انبار را نشان می‌دهد. موجودی محصول i در انتهای دوره t در انبار برابر با میزان محصولاتی است که توسط وسایل نقلیه موجود در دوره‌های مختلف به انبار «شرکت سازه‌گستر» فرستاده می‌شود؛ به‌علاوه موجودی محصول i در انتهای دوره قبل منهای میزان محصولی که توسط تمام وسایل نقلیه موجود به قطعه‌سازان فرستاده می‌شود.

$$d_{ijt} = \sum_{k'} Q_{ijk't} + s_{ijt} \qquad \forall i, j, t$$ رابطه (۵)

رابطه ۵، نشان‌دهنده ارضای تقاضای هر قطعه‌ساز است. تقاضای هر قطعه‌ساز در هر دوره برابر با میزان محصولاتی که توسط وسایل نقلیه موجود در دوره‌های مختلف به هر قطعه‌ساز ارسال می‌شود به همراه کمبود آن محصول برای هر قطعه‌ساز است.

$$\sum_i w_i In_{it} \leq g \qquad \forall t$$ رابطه (۶)

رابطه ۶، نشان‌دهنده محدودیت ظرفیت انبار است. حجم محصولاتی که در انبار ذخیره می‌شود نباید از حجم مفید انبار تجاوز کند. سمت چپ نشان‌دهنده حاصل‌ضرب حجم محصولات در میزان موجودی آن‌ها و سمت راست نشان‌دهنده حجم انبار است.

$$\sum \; x_{ikt} \leq MZ_{kt} \qquad \forall k, t$$ رابطه (۷)

رابطه ۷، نشان‌دهنده برقراری ارتباط بین دو متغیر x_{ikt} و z_{kt} است.

$$\sum_i Q_{ijk't} \leq MZ'_{jk't} \qquad \forall k', t, j$$ (۸)

رابطه ۸، نشان‌دهنده برقراری ارتباط بین دو متغیر $Q_{ijk't}$ و $Z'_{jk't}$ است.

$$c_{kt} \geq c_{k,t-1} + 2ct_k + T + 5 - m\,(1 - Z_{k,t-1}) \qquad \forall k, t > 1$$ رابطه (۹)

رابطه ۹، نشان‌دهنده زمان حرکت وسیله نقلیه k به انبار است. این رابطه نشان می‌دهد که زمان حرکت وسیله نقلیه k به انبار در هر دوره برابر با زمان حرکت هر وسیله نقلیه در دوره قبل به‌علاوه زمان رفت‌وبرگشت وسیله نقلیه به‌علاوه زمانی که طول می‌کشد تا بار آن وسیله نقلیه در انبار تخلیه شود به‌علاوه زمان استراحت رانندگان است.

رابطه (۱۰)

$$c'_{jk't} \geq c'_{jk'(t-1)} + 2ct'_{jk'} + T' + 5 - m\,(1 - Z'_{jk'(t-1)} \qquad \forall j, k', t > 1$$

رابطه ۱۰، نشان‌دهنده زمان حرکت وسیله نقلیه k' به « شرکت قطعه‌سازان» است. این رابطه نشان می‌دهد که زمان حرکت هر وسیله نقلیه به انبار در هر دوره برابر با زمان حرکت هر وسیله نقلیه در دوره قبل به همراه زمان رفت‌وبرگشت وسیله نقلیه به‌علاوه زمان تخلیه بار آن وسیله نقلیه به‌علاوه زمان استراحت رانندگان است.

$$\mathrm{st_t z_{kt}} \le \mathrm{c_{kt}} \le \mathrm{Fin_t z_{kt}} \qquad \forall k,t$$ رابطه (۱۱)

$$\mathrm{st_t z'_{jk't}} \le c'_{jk't} \le \mathrm{Fin_t} z'_{jk't} \qquad \forall j,k',t$$ رابطه (۱۲)

رابطه‌های ۱۱ و ۱۲ نشان می‌دهند که زمان حرکت هر وسیله نقلیه به سمت مقصد در هر دوره باید بین زمان آغاز آن دوره و زمان پایان آن دوره باشد.

$$\sum_j Z'_{jk't} \le 1 \qquad \forall t,k'$$ رابطه (۱۳)

رابطه ۱۳، نشان می‌دهد که هر وسیله نقلیه به یک مشتری فرستاده می‌شود و در هر سفر می‌توان تقاضای یک قطعه‌ساز را برآورده کرد.

$$c_{kt}\ ,\ c'_{jk't} \ge 0$$ رابطه (۱۴)

$$x_{ikt}, Q_{ijk't}, In_{it}, S_{ijt} = Integer$$ رابطه (۱۵)

$$Z_{kt}, z'_{jk't} \in (0,1)$$ رابطه (۱۶)

رابطه ۱۴، نشان می‌دهد که متغیرهای زمان حرکت وسیله نقلیه از تولیدکننده به انبار و زمان حرکت وسیله نقلیه از انبار به «قطعه‌سازان» به‌صورت متغیر مثبت هستند و رابطه ۱۵، نیز نشان می‌دهد که متغیرهای میزان محصول حمل‌شده از تولیدکننده به انبار و میزان محصول حمل‌شده از انبار به «قطعه‌سازان» و میزان کمبود محصولات و سطح موجودی به‌صورت متغیر عدد صحیح هستند. رابطه ۱۶، نشان‌دهنده این است که متغیر استفاده یا عدم‌استفاده از هر یک از وسایل نقلیه در هر دوره به‌صورت صفر و یک است.

٤.تحلیل داده ها و یافته های پژوهش

روش حل. با توجه به عملکرد موفقیت‌آمیز الگوریتم رقابت استعماری در حل مسائل مختلف زنجیره تأمین و برتری نسبی این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم‌های فراابتکاری که تاکنون به‌کارگرفته شده‌اند در این پژوهش از این الگوریتم برای حل مسئله پیشنهادی استفاده شده است [6]. این الگوریتم مانند سایر الگوریتم‌های تکاملی، با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی شروع می‌شود که هر یک از آن‌ها یک کشور نامیده می‌شوند. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل

نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) به‌عنوان امپریالیست انتخاب می‌شوند. باقیمانده جمعیت نیز به‌عنوان مستعمره در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران بسته به قدرتی که دارند، این مستعمرات را با یک روند خاص به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هر امپراتوری به هر دو بخش تشکیل‌دهنده آن، یعنی کشور امپریالیست (به‌عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراتوری به‌صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به‌اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده است. با شکل‌گیری امپراتوری‌های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آن‌ها شروع می‌شود. هر امپراتوری‌ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کند و بر قدرت خود بیفزاید (و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری کند) از صحنه رقابت استعماری، حذف خواهد شد؛ بنابراین بقای یک امپراتوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراتوری‌های رقیب و به‌سیطره‌درآوردن آن‌ها خواهد بود؛ درنتیجه در جریان رقابت-های امپریالیستی، به‌تدریج بر قدرت امپراتوری‌های بزرگ‌تر افزوده شده و امپراتوری‌های ضعیف-تر، حذف خواهند شد. امپراتوری‌ها برای افزایش قدرت خود، مجبور هستند مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند. با گذشت زمان، مستعمرات از لحاظ قدرت به امپراتوری‌ها نزدیک‌تر خواهند شد و یک نوع همگرایی مشاهده خواهد شد. حد نهایی رقابت استعماری، زمانی است که یک امپراتوری واحد با مستعمراتی که از لحاظ موقعیت به خود کشور امپریالیست خیلی نزدیک هستند، در دنیا وجود داشته باشد.

شبه کد الگوریتم پیشنهادی

۱. انتخاب چند نقطه تصادفی روی تابع و تشکیل امپراتوری‌های اولیه؛
۲. حرکت‌دادن مستعمرات به سمت کشور امپریالیست (سیاست همسان‌سازی)؛
۳. اگر مستعمره‌ای در یک امپراتوری وجود داشته باشد که هزینه‌ای کمتر از امپریالیست داشته باشد، جای مستعمره و امپریالیست عوض می‌شود؛
۴. محاسبه هزینه کل یک امپراتوری (با درنظرگرفتن هزینه امپریالیست و مستعمرات آن)؛
۵. انتخاب یک مستعمره از ضعیف‌ترین امپراتوری و دادن آن به امپراتوری‌ای که بیشترین احتمال تصاحب را دارد؛
۶. حذف امپراتوری‌های ضعیف؛
۷. اگر تنها یک امپراتوری باقی‌مانده باشد، توقف و بازگشت به ۲.

تنظیم پارامترها. کارایی یک الگوریتم به‌شدت به پارامترهای آن وابسته است. در این پژوهش برای تنظیم پارامترها از روش سطوح پاسخ (RSM)[1] استفاده شده است. نحوه کدگذاری سطوح مختلف پارامترها را می‌توان به‌صورت رابطه ۱۷ ارائه داد:

$$X_i = \frac{r_i - \left(\frac{h+l}{2}\right)}{\left(\frac{h-l}{2}\right)}$$ رابطه (۱۷)

h و l به‌ترتیب سطوح بالا و پایین پارامترها و X_i و r_i به‌ترتیب مقدار کدبندی‌شده و مقدار واقعی برای پارامترها هستند. در این مرحله، الگوریتم برای ترکیب‌های مختلف از پارامترها و سطوح مختلف آن‌ها اجرا می‌شود. یکی دیگر از ورودی‌های روش RSM، شاخصی است که بتواند الگوریتم را برای ترکیب‌های مختلف پارامترها مقایسه کند. در این پژوهش از همان مقدار تابع هدف به‌عنوان پاسخ استفاده می‌شود. مقادیر تنظیم‌شده پارامترها در جدول ۵، ارائه شده است.

جدول ۵. پارامترهای تنظیم‌شده در الگوریتم پیشنهادی

Factors	Optimal coded value	Optimal real value
n-Pop	۰/۸۵	۱۹۳
N-imp	−۰/۲	۵
P_A	۰/۱۸	۰/۵۴
P_R	−۰/۸	۰/۱۲
Ξ	۰/۹	۰/۱۹۵
B	−۰/۲	۱/۸

مثال عددی. در راستای امتحان الگوریتم، ۲۰ مسئله نمونه با توجه به بازه‌های عددی داده شده از طرف «شرکت سازه‌گستر» تولید شد که این داده‌ها در جدول ۶، نشان داده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Response Surface Methodology

جدول ۶. داده‌های مسئله

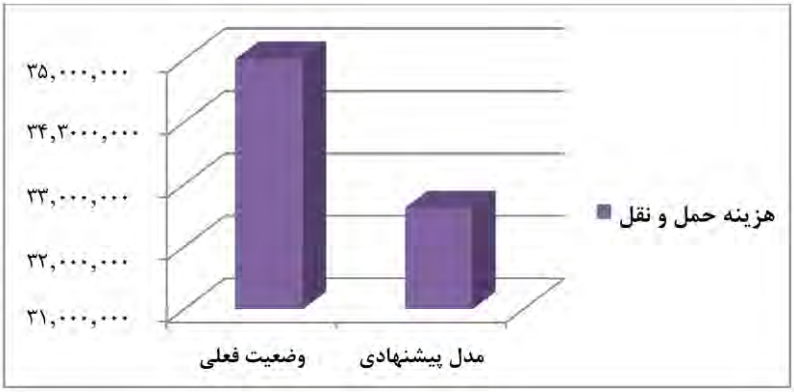
مسئله نمونه	تعداد مشتریان	تعداد محصولات
۱	۱۰	۵
۲	۱۰	۱۰
۳	۱۰	۲۰
۴	۲۰	۱۰
۵	۲۰	۲۰
۶	۲۰	۲۵
۷	۳۰	۱۰
۸	۳۰	۲۰
۹	۳۰	۲۵
۱۰	۴۰	۲۰
۱۱	۴۰	۲۵
۱۲	۴۰	۳۰
۱۳	۷۰	۳۰
۱۴	۷۰	۳۵
۱۵	۷۰	۴۰
۱۶	۱۰۰	۳۰
۱۷	۱۰۰	۴۰
۱۸	۱۰۰	۵۰
۱۹	۱۰۰	۶۰
۲۰	۱۰۰	۷۰

حل مدل. برای کدنویسی و حل مدل از نرم‌افزار GAMS 22.1، و رایانه 2,2 GH_Z با RAM 4 استفاده شد که نتایج آن در جدول ۷، گزارش شده است. ستون اول این جدول، شماره مسئله را نشان می‌دهد. ستون دوم آن نشان‌دهنده تعداد تأمین‌کنندگان یا همان قطعه‌سازان است که از ۱۰ تا ۱۰۰ قطعه‌ساز در نظر گرفته شده است. ستون سوم تعداد محصولات را نشان می‌دهد که تعداد آن از ۵ تا ۷۰ محصول است. ستون چهارم نشان‌دهنده جواب مسئله با نرم‌افزار GAMS است که فقط ۵ نمونه اول آن جواب شدنی داده است و برای مسائل با ابعاد بزرگ‌تر از الگوریتم رقابت استعماری استفاده شده است. هر یک از این نمونه مسائل به تعداد ۵ بار اجرا شد که ستون پنجم آن بهترین جواب را نشان می‌دهد؛ یعنی موردی که هزینه کمتری داشته است. ستون ششم نشان‌دهنده انحراف معیار حاصل از ۵ بار اجرا هر مسئله است و ستون هفتم زمان محاسباتی حل مسائل را نشان می‌دهد. ستون آخر نیز GAP را نشان می‌دهد که تا ۱/۱ افزایش یافته است.

جدول ۷. نتایج حل مدل

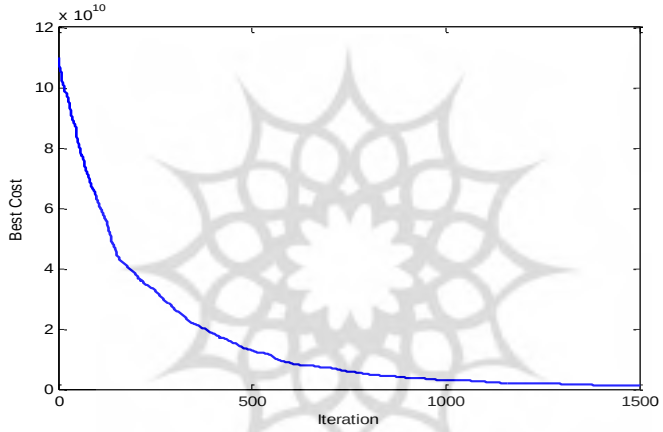
شماره مسئله	تعداد تأمین‌کنندگان	تعداد محصولات	جواب مسئله با GAMS	جواب مسئله با الگوریتم رقابت استعماری	انحراف معیار	زمان صرف‌شده CPU برحسب ثانیه	میزان GAP
۱	۱۰	۵	۳۶۹۳۲۷۶	۳۶۹۳۲۷۶	۵۰	۱۵	۰/۰
۲	۱۰	۱۰	۸۷۹۲۹۳۲	۸۸۳۶۸۹۷	۶۳	۲۵	۰/۵
۳	۱۰	۲۰	۹۵۹۵۱۸۱۰	۹۶۸۱۵۳۷۶	۹۸	۳۵	۰/۹
۴	۲۰	۱۰	۱۳۸۴۴۲۱۷۰	۱۴۰۲۴۱۹۱۸	۷۹	۴۹	۱/۳
۵	۲۰	۲۰	۱۵۴۴۷۸۳۶۸۰	۱۵۶۱۷۷۶۳۰۰	۱۰۱	۷۸	۱/۱
۶	۲۰	۲۵	–	۳۹۰۴۸۱۰۳۰	۹۷	۹۰	–
۷	۳۰	۱۰	–	۱۰۷۲۱۱۲۵۶۵۰	۱۱۰	۱۱۰	–
۸	۳۰	۲۰	–	۱۸۴۵۵۶۰۲۶۵۰	۱۲۴	۱۳۲	–
۹	۳۰	۲۵	–	۵۴۷۵۴۴۷۶۰۵۰	۱۳۲	۱۵۶	–
۱۰	۴۰	۲۰	–	۱۶۶۱۵۷۴۹۰۰۹۰	۱۰۹	۲۳۰	–
۱۱	۴۰	۲۵	–	۳۲۱۹۸۲۵۵۴۴۰۸	۱۰۷	۲۷۶	–
۱۲	۴۰	۳۰	–	۶۴۳۴۵۷۸۹۶۸۰۰	۱۴۷	۲۹۰	
۱۳	۷۰	۳۰	–	$۷/۶\times 10^{15}$	۱۵۲	۳۳۱	–
۱۴	۷۰	۳۵	–	$۸/۲\times 10^{18}$	۱۳۲	۳۵۹	–
۱۵	۷۰	۴۰	–	$۵/۳\times 10^{22}$	۱۲۶	۳۸۰	–
۱۶	۱۰۰	۳۰	–	$۴/۹\times 10^{25}$	۱۲۸	۶۹۰	–
۱۷	۱۰۰	۴۰	–	$۳/۳\times 10^{27}$	۱۱۳	۷۰۱	–
۱۸	۱۰۰	۵۰	–	$۲/۸\times 10^{30}$	۱۴۳	۷۲۵	–
۱۹	۱۰۰	۶۰	–	$۷/۴\times 10^{35}$	۱۷۹	۷۵۸	–
۲۰	۱۰۰	۷۰	–	$۶/۹\times 10^{41}$	۱۶۸	۷۹۰	–

اعتبارسنجی مدل. به‌منظور اعتبارسنجی مدل، تمامی روش‌های موجود برای اعتبارسنجی مدل طراحی‌شده به‌کار رفت. بدین صورت که ابتدا مدل‌های ریاضی موجود در مقالات معتبر علمی و پژوهشی مبنای طراحی مدل قرار داده شد؛ سپس از نظر خبرگان و استادان مطرح در این زمینه کمک گرفته شد. در پایان نتایج مدل با داده‌های موجود در واقعیت مقایسه شد که نتایج آن نشان‌دهنده کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و نگهداری موجودی و غیره بود. نتایج مقایسه وضعیت مدل طراحی‌شده و وضعیت موجود درخصوص هزینه‌های حمل‌ونقل در شکل ۱، مقایسه شده است که کاهش این هزینه‌ها به میزان ۶/۸ درصد را نشان می‌دهد.



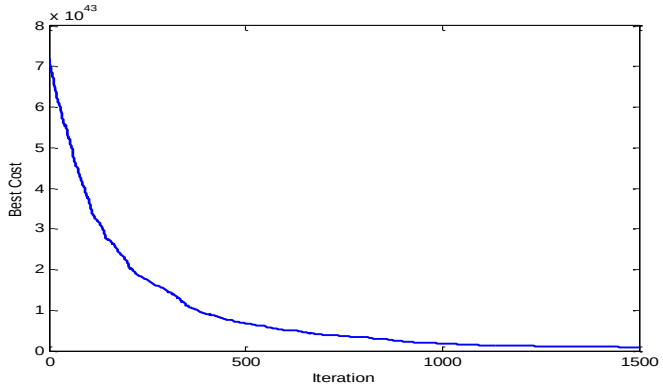
شکل ۱. مقایسه عملکرد مدل پیشنهادی و وضعیت فعلی

نمودارها. روند همگرایی ICA در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. ستون عمودی این نمودارها بهترین هزینه و ستون افقی این نمودارها تعداد Iteration ها یا تکرارها را نشان می‌دهد. در تمامی این نمودارها با جلورفتن نمودار، جواب‌های بهتری به‌دست آمده است.



شکل ۲. رابطه بین زمان - هزینه مربوط به مسئله شماره ۷

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۳. رابطه بین زمان - هزینه مربوط به مسئله شماره ۲۰

شکل ۲ مربوط به مسئله ۷ با تعداد ۳۰ قطعه‌ساز و ۱۰ محصول و شکل ۳ مربوط به مسئله ۲۰ با تعداد ۱۰۰ قطعه‌ساز و ۷۰ محصول است.

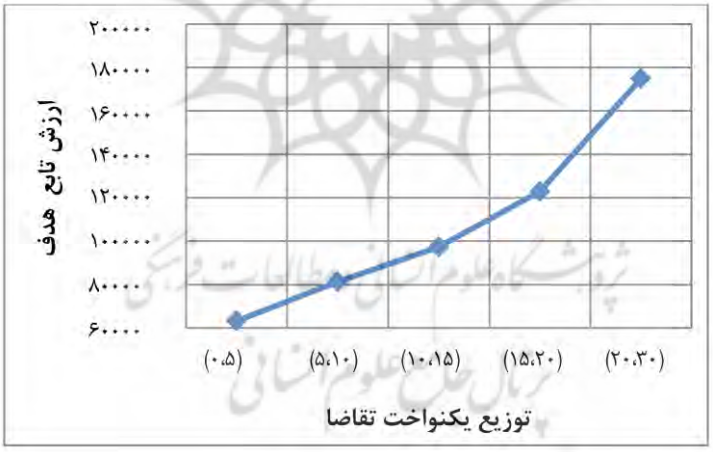
تحلیل حساسیت. در این قسمت برای نشان‌دادن صحیح‌بودن مدل‌سازی و بررسی اینکه تابع هدف نسبت به تغییرات کدام پارامتر حساسیت بیشتری دارد، از تحلیل حساسیت استفاده شده است. تحلیل حساسیت بر روی سه پارامتر، تعداد قطعه‌سازان، تعداد محصولات و تقاضا انجام شده که نتایج آن در شکل‌های ۴ و ۵ و ۶، نشان داده شده است. در شکل‌های زیر محور افقی پارامتر موردبررسی و محور عمودی تابع هدف است. شکل ۴، تغییرات تابع هدف را نسبت به تغییر تعداد قطعه‌سازان نشان می‌دهد. تعداد قطعه‌سازان از ۱۰ تا ۱۰۰ تغییر می‌کند و مقدار تابع هدف به ازای هر یک از آن‌ها محاسبه می‌شود.

شکل ۴. تغییرات ارزش تابع هدف در مقابل تغییرات تعداد تأمین‌کنندگان

شکل ۵، تغییرات تابع هدف نسبت به تغییر تعداد محصولات را نشان می‌دهد. تعداد محصولات از ۵ تا ۱۰۰ افزایش داده شده و مقدار افزایش تابع هدف نیز در شکل نشان داده شده است.

شکل ۵. تغییرات ارزش تابع هدف در مقابل تغییرات تعداد محصولات

شکل ۶، تغییرات تابع هدف را نسبت به تغییر تقاضا نشان می‌دهد. با افزایش تقاضا مقدار تابع هدف نیز افزایش یافته است. تأثیر این پارامتر بر تابع هدف نسبت به دیگر پارامترها قابل‌توجه است و نشان می‌دهد که تابع هدف نسبت به تقاضا حساسیت بیشتری دارد.



شکل۶. تغییرات ارزش تابع هدف در مقابل تغییرات تقاضا

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش ابتدا به توسعه مدل ریاضی درخصوص مدل زنجیره تأمین دوسطحی با درنظرگرفتن وسایل حمل‌ونقل چندگانه و چند محصول پرداخته شد و این مدل برای شرکت «سازه‌گستر سایپا» با دارابودن این شرایط به‌کار رفت؛ سپس روش حل این مدل بیان شد. در این پژوهش روش الگوریتم رقابت استعماری مورداستفاده قرار گرفت و در ابعاد کوچک با GAMS مقایسه شد و بهتربودن جواب آن به اثبات رسید؛ سپس به توزیع داده‌های ورودی، تنظیم پارامترها، جدول نتایج و نمودارها پرداخته شده و ۲۰ مثال عددی واقعی از داده‌های موجود در شرکت «سازه‌گستر سایپا» برای درک بیشتر مسئله ارائه شد. با توجه به اینکه GAPها کمتر از ۶ درصد و جواب‌ها در زمان معقول و منطقی به‌دست آمد، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم رقابت استعماری درست عمل کرده است. برای صحیح‌بودن مدل از تحلیل حساسیت روی سه پارامتر استفاده شد و نتایج نشان داد که مدل نسبت به تقاضا حساسیت بسیار زیادی دارد. در پژوهش‌های آتی می‌توان به‌جای درنظرگرفتن مسئله به‌صورت تک‌هدفه، سایر اهداف مهم در زنجیره تأمین از قبیل بیشینه‌کردن مجموع تقاضاهای برآوردشده، درنظرگرفتن تقاضاها به‌صورت فازی، درنظرگرفتن مواردی از قبیل ادغام ریسک‌ها، تنوع ریسک‌ها و سطوح بیشتر در زنجیره تأمین را مدل‌سازی کرد تا این مدل در دنیای واقعی و سایر سازمان‌های مربوطه و درگیر با این مسائل، بیش‌ازپیش کاربردی شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

1. Aghdasi, M., Asgari, N. (2007). Model of integrated planning of transport and supply chain management: the IKCO, The first national conference on logistics and supply chain, Tehran-Iran, Tehran, Iran, PP.1-9 (In Persian).

2. Baumol, W.J., Vinod, H.D. (1970). An inventory theoretic model of freight transport demand. *Management Science, 16,* 413-421.

3. Chen, A.Z., Liu, S.C. (2012). Variable neighborhood search for the inventory routing and scheduling problem in a supply chain. *Expert system with application, 39,* 4149-4159.

4. Chou, A.S.C., Cheng, T.C.E., Lin, B.M.T, (2007). Scheduling in an assembly type production with batch transfer. *Omegan, 35(2),* 143-151.

5. Elimam, A.A., Dodin, B. (2013). Project scheduling in optimizing integrated supply chain operations. *European Journal of Operational Research, 224,* 530-541.

6. Ghaffari M. Javadian N. and Tavakkoli-Moghaddam R., (2012). Employing an Imperialist Competitive Algorithm to Minimize the Bullwhip Effect in a Supply Chain. *World Applied Sciences Journal 20 (12),* 1629-1635.

7. Ghasemi, N., Vesal, M. (2011). Sharing scheduling orders and write with the help of mathematical modeling in supply chain, The National Conference of logistics and supply chain, Tehran-Iran. 17-28 (In Persian).

8. Hishamuddin, H., Sarker, R.A., Essam, D. (2014). A recovery model for a two-echelon serial supply chain with consideration of transportation disruption. *Computers & Industrial Engineering, 64,* 552-561.

9. Jang, Y.J., Jang, S.Y., Chang, B.M., Park, J. (2012). A combined model of network design and production/distribution planning for a supply network. *Computers and Industrial Engineering, 43,* 263 - 281.

10. Karabuk, S. (2007). Modeling and optimizing transportation decision in a manufacturing supply chain. *Transportation Research part E, 43(4),* 321 ˚ 337.

11. Kannan G., Soleimanib H., Kannanc D., (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research,* 240(3), 603˚626.

12. Kim, Y.D., Kang J.H. (2009). Coordination of inventory and transportation managements. *Omega, International Journal of Management, 27,* 421-430.

13. Kim, J.U., Kim, Y. (1999). A Decomposition Approach to a Multi˚period Vehicle Scheduling problem. *Omega, International Journal of Management, 27,* 421-430.

14. Kumar, B., Nagaraju, D., Narayanan S., (2016). Three-echelon supply chain with centralised and decentralised inventory decisions under linear price dependent demand. *International Journal of Logistics Systems and Management , 23,* 11-23.

15. Modak, N.M., Panda, S., Sana, S.S. (2016). Three-echelon supply chain coordination considering duopolistic retailers with perfect quality products. *I. J. Prod. Econ.,* 362-387.

16. Narayan, S., Bindu, V., & Singh S.R. (2015). Three level supply chain model with variable demand rate under partial trade credit policy. *International Journal of Services and Operations Management,* 21, 17-27.

17. Osman, H., Demirli, K. (2012). Economic lot and delivery scheduling problem for multi-stage supply chains, Vol.136, 275-286.

18. Park, S., Lee, T.E., Sung, C.S., (2010). A three-level supply chain network design model with risk-pooling and lead times. *Transp. Res. E: Log. Transp. Rev. 46,* 563˚581.

19. Pishvaee M., Bedakhshani, E. Sahebi, H., (2016). An optimization model based on financial flows and the physical simulation of integrated planning in the supply chain. *Journal of Industrial Management Perspective, 21,* 31-51 (In Persian).

20. Roshanak A., Rapinder S., (2015). A Multi-Objective Location-Inventory Model in a three-level Supply Chain Considering Perishable Product, *Proceedings of the 2015 Industrial and Systems Engineering Research Conference,* 2332-2341.

21. Safari, H., Mehrabi, A. and Heshmatipour F., (2011). Development of information sharing in supply chain approach Cognitive Mapping. *Journal of Industrial Management Perspective, 4,* 131-151 (In Persian).

22. Sarkara, B., Gangulyb, B., Sarla Pareekb,(2016). Effect of variable transportation and carbon emission in a three-echelon supply chain model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 91,* 112˚128

23. Sana, S.S., Chedid, J.A., Navarro, K.S., (2014). A three layer supply chain model with multiple suppliers, manufacturers and retailers for multiple items. *Appl. Math. 229,* 139˚150

24. Sana, S.S. (2011). A production-inventory model of imperfect quality products in a three-layer supply chain. *Dec. Supp. Sys. 50(2),* 539˚547.

25. Sarkar, B., Saren, S., Sinha, D., Hur, S., (2015). Effect of unequal lot sizes, variable setup cost, and carbon emission cost in a supply chain model. *Mathem. Prob. Eng., 13,* 469-486.

26. Sukun P., Tae-Eog L., Chang Sup S. (2010). A three-level supply chain network design model with risk-pooling and lead times. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 46,* 563˚581

27. Talebi, D., Airoen F. (2015). Supply chain and supplier selection process of risk identification using network analysis (Case study: automotive industry). *Journal of Industrial Management Perspective,* 17, 31-43 (In Persian).

28. Yang, P.C., Chung, S.L., Wee, H.M., Zahara, E., Peng, C.Y. (2013). Collaboration for a closed-loop deteriorating inventory supply chain with multi-retailer and price-sensitive demand. *I. J. Prod. Econ, 143 (2),* 557˚566.

29. Yang, G.Q., Liu, Y.K., Yang, K., (2015). Multi-objective biogeography-based optimization for supply chain network design under uncertainty. *Comp. Indus. Eng. 85,* 145˚156.

30. Yokoyoma. (1995). Integrated optimization of inventory ˚ distribution systems. *Proceedings of eighteenth International conference on computers and industrial engineering, 10,* 479-484.

31. Zandieh, M., Molla Alizadeh, S. (2009). Synchronizing production and air transportation scheduling using mathematical programming models. *Journal of computational and Applied mathematics, 230,* 546 ˚ 558.

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

33. Zhao, R., Neighbour, G., Han, J., McGuire, M., Deutz, P., (2012). Using Dame Theory to describe strategy selection for environmental risk and carbon emissions reduction in the green supply chain. *J. Los. Preven. Proc. Indus. 25(6),* 927˚936.