

به کارگیری الگوریتم ژنتیک برای برنامه‌ریزی تأمین، تولید و توزیع یکپارچه سیستم‌های مونتاژ

محمد ثابت مطلق^۱، علی محقر^۲

چکیده: با وجود این حقیقت که در بیشتر پژوهش‌ها، تنها بخشی از زنجیره تأمین مطالعه شده است؛ در این مطالعه تلاش می‌شود به بررسی برنامه‌ریزی‌ای برای تأمین، تولید و توزیع یکپارچه پرداخته شود. بنابراین پژوهش پیش رو، نوعی مدل ریاضی را به منظور مدیریت موجودی برای سطوح زنجیره تأمین توسعه داده است؛ به گونه‌ای که سیاست سفارش‌دهی مناسب را برای سطوح تأمین، تولید و توزیع زنجیره مشخص کند و همچنین هزینه‌های مرتبط با آن را به کمترین حد برساند. مسئله این مطالعه به عنوان برنامه‌ریزی عدد صحیح محض فرموله می‌شود و برای حل آن روش الگوریتم ابتکاری ژنتیک به کار می‌رود؛ سپس مدل ساخته شده در نمونه واقعی استفاده می‌شود. نتایج تجربی به دست آمده نشان می‌دهد به کارگیری این مدل می‌تواند هزینه‌های موجودی شرکت نمونه را تا حد ۸/۴۶۹۴ درصد کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی عدد صحیح محض، مدل‌سازی ریاضی، مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت موجودی.

۱. دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

۲. استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۸/۱۱

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۲۵

نویسنده مسئول مقاله: محمد ثابت مطلق

E-mail: msmottlagh@ut.ac.ir

مقدمه

امروزه حوزه زنجیره تأمین توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. با وجود این، در برخی از سازمان‌ها هنوز زنجیره تأمین و فعالیت‌های مرتبط با آن به‌عنوان نوعی شغل سازماندهی نشده است. کابوسا (۲۰۰۳) مدعی است که مدیران باید تفکر خود را درباره وظایف زنجیره تأمین و خرید تغییر دهند و آن را وظیفه‌ای استراتژیک در نظر بگیرند، همچنین نیروی کار تأمین و خرید نیز در مدیریت زنجیره تأمین به آموزش نیاز دارد. زنجیره تأمین شبکه‌ای از تأمین‌کنندگان، تسهیلات تولیدی، مراکز توزیع و خرده‌فروشی است که وظایف تأمین مواد، تبدیل آنها به محصول نهایی و توزیع محصول نهایی به مشتریان را انجام می‌دهد (آشک و انور، ۲۰۰۳). کارآمدی حوزه زنجیره تأمین و لجستیک یکی از مهم‌ترین راهبردهای بهبود فضای کسب‌وکار، کاهش هزینه مبادله، کاهش قیمت تمام‌شده و افزایش بهره‌وری در زمان حاضر است، اما میان جریان‌های موجود در هر زنجیره تأمین (مالی، اطلاعات و مواد)، جریان مواد با توجه به سهم آن در بهای تمام‌شده محصول اهمیت شایان توجهی دارد. پس نگاه دقیق و هوشیارانه به بحث جریان مواد و موجودی‌ها، به سازمان‌ها توانایی می‌دهد از تمام امکاناتشان برای کارایی و اثربخشی بهتر استفاده بهینه کنند و این کار کمک شایان توجهی برای رسیدن به اهداف سازمان است؛ زیرا نگهداری بیش از اندازه نیاز موجودی‌ها در انبار، موجب افزایش هزینه انبارداری می‌شود و سرمایه‌ای را که می‌توان از آن در جای دیگری استفاده مطلوب کرد، به‌صورت کالای بی‌مصرف در انبار نگهداری می‌شود. البته ناگفته پیداست که کمبود موجودی‌ها نیز می‌تواند به خسارت‌های جبران‌ناپذیری مثل از دست‌دادن مشتری، توقف تولید، هزینه راه‌اندازی مجدد و از بین رفتن اعتبار مؤسسه و پرداخت هزینه حمل‌ونقل اضافی منجر شود.

با توجه به این مباحث، مطالعه حاضر نوعی مدل ریاضی را با در نظر گرفتن اهداف زیر توسعه می‌دهد:

۱. سیاست سفارش‌دهی مناسبی را برای سطوح تأمین، تولید و توزیع زنجیره مشخص کند؛
 ۲. سطح موجودی را در کل زنجیره به حداقل برساند؛
 ۳. هزینه کل موجودی زنجیره را حداقل کند.
- پژوهش پیش رو فرضیه‌ای ندارد و با توجه به اهداف بیان‌شده برای پاسخ به سؤال‌های زیر هدایت خواهد شد؟

۱. مدل ریاضی مناسب به‌منظور مدیریت موجودی برای سطوح تأمین، تولید و توزیع چگونه است؟
۲. سیاست سفارش‌دهی مناسب برای سطوح تأمین، تولید و توزیع زنجیره چیست؟

در واقع، در این مطالعه یک برنامه‌ریزی تأمین، تولید و توزیع یکپارچه بررسی می‌شود. علی‌رغم این حقیقت که در بیشتر شرکت‌های صنعتی ایرانی و مطالعات انجام شده در این حوزه معمولاً برنامه‌ریزی تأمین، تولید و توزیع به‌طور مجزا انجام می‌شود. همچنین تلاش شده است تا برنامه‌های عملیاتی برای افزایش کارایی شرکت به‌وسیله کاهش اتلاف زمان و مواد و یکپارچه کردن سطوح زنجیره تأمین ارائه شود. در نهایت برای نشان دادن کاربردی بودن مدل، آن را در یک شرکت تولیدی به‌کار گرفته‌ایم و سپس به‌وسیله الگوریتم ابتکاری ژنتیک حل نمودیم.

پیشینه پژوهش

با ظهور زنجیره تأمین و مدیریت آن، مطالعات متعددی روی زنجیره تأمین و مباحث پیرامون آن انجام شده است. در مدل‌های سیستم مونتاژ زنجیره تأمین، بیشتر محققان تأثیر تصمیمات موجودی را روی تابع هزینه بررسی کرده‌اند و برای تحقق کاهش هزینه به‌وسیله بهینه‌سازی پارامترهای سیستم یا توالی عملیات، به فرموله کردن مدل‌های ریاضی پرداخته‌اند. اندازه محموله، نرخ سفارش، زمان تأخیر تولید، موجودی کار در جریان، زمان تأخیر تحویل و انتخاب تأمین‌کنندگان و توسعه مدل‌های ریاضی مناسب برای حل آنها، موضوع اصلی این مدل‌ها هستند. در این بخش تلاش شده است، برخی از مطالعات انجام‌شده در این حوزه ارائه شود.

در مطالعه‌ای پژوهشگران به طراحی مدلی برای برنامه‌ریزی موجودی و تولید - توزیع در یک شبکه زنجیره تأمین چندمحصولی پرداختند. آنها برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین، یک مدل خطی عدد صحیح مختلط و برای برنامه‌ریزی تولید و توزیع نیز یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه کردند (تاکساکیس و پاپادوپولوس، ۲۰۱۶). در مطالعه دیگری پژوهشگران یک برنامه‌ریزی تولید تجمعی چندهدفه، چندمحصولی و چندمکانی را برای یک زنجیره تأمین تحت عدم قطعیت بررسی کردند. برای این منظور آنها نوعی مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلف چندهدفه فازی ارائه کردند (غلامی، مهدوی و توکلی، ۲۰۱۶). ساحلینگ و کایسر (۲۰۱۶) به برنامه‌ریزی شبکه تأمین استراتژیک با انتخاب فروشندگان تحت ریسک و عدم قطعیت تقاضا پرداختند. هدف این پژوهش حداکثر کردن مجموع وزنی ارزش خالص فعلی مورد انتظار جریان‌های نقدی تخفیف داده شده بود.

در مطالعه‌ای دیگر، سانگسانگ و کازارُس (۲۰۱۳) یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چندهدفه را برای برنامه‌ریزی تولید، توزیع و ظرفیت زنجیره تأمین ارائه کردند و روش حداکثر حداقل لکسیکوگرافیک به‌عنوان رویکرد حل مدل مسئله به‌کار گرفته شد.

ژانگ، لی، کیان و کای (۲۰۱۴) نیز به بررسی یک شبکه زنجیره تأمین یکپارچه پرداختند. این مسئله همزمان شامل توزیع محصولات از تولیدکننده به مشتریان و جمع‌آوری عناصر از تأمین‌کنندگان به تولیدکننده از طریق بارانداز دوطرفه در مراکز توزیع است. در مطالعه دیگری ژانگ (۲۰۱۴) یک مسئله بهینه‌سازی یکپارچه‌ای را برای برون‌سپاری و تصمیمات مربوط به تولید در زنجیره تأمین جهانی و سیاست‌های مالیاتی صادرات گرای چین بررسی کرد.

نصیری، ذولفقاری و داوودپور (۲۰۱۴) در مطالعات خود یک زنجیره تأمین سه‌بخشی را با مراکز توزیع، سایت‌های تولید و تأمین‌کنندگان مدل‌سازی کردند.

سینتونی، پاربخ، ژانگ و کانگ (۲۰۱۴) در پژوهشی مسئله حمل و نقل - موجودی - انبار را برای تعیین یک طرح توزیع بهینه از تأمین‌کنندگان تا مشتریان به منظور حداقل کردن هزینه توزیع بررسی کردند. پاهل و واب (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای، به بررسی محدودیت‌های دوره زندگی و زوال در برنامه‌ریزی تأمین و تولید زنجیره تأمین پرداختند. در واقع هدف آنها ارائه یک برنامه‌ریزی تأمین/تولید برای محصولات زوال‌پذیر بود.

ولیدی، باتاچاریا و بیرنی (۲۰۱۴) در پژوهشی سیستم توزیع زنجیره تأمین صنایع غذایی را بررسی کردند. در این مطالعه از نوعی رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره (تاپسیس) برای رتبه‌بندی استفاده شد و الگوریتم ژنتیک برای حل مدل به کار رفت. در مطالعه دیگری وارا ویکای، کول پتارانیبیان و رانگرونگانون (۲۰۱۰) تلاش کردند اندازه بهینه موجودی را برای هر تأمین‌کننده برآورد کنند؛ به‌گونه‌ای که هزینه موجودی کل حداقل شود. سپس آنها الگوریتم ژنتیک را برای حل مسئله موجودی چنددوره‌ای و چندمحصولی خود به کار گرفتند. پوخارل (۲۰۰۸) در پژوهشی با عنوان «یک مدل دوهدفه برای تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین»، به دنبال طراحی مدل ریاضی برای سطوح زنجیره تأمین بود. در تابع هدف مدل، پژوهشگر در پی حداقل کردن هزینه‌ها و در تابع دوم به دنبال افزایش قابلیت اعتماد در هر سطح بود. سامارانایک (۲۰۰۵) یک چارچوب مفهومی برای زنجیره تأمین ارائه کرد. هدف وی توسعه چارچوب یکپارچه و ارائه روشی برای برنامه‌ریزی بسیاری از عناصر زنجیره تأمین همانند تأمین‌کنندگان، مواد، انبارها، فعالیت‌ها و مشتریان بود.

پاول و پیکه (۱۹۹۸) یک سیستم مونتاژ نامتوازن با ظرفیت ذخیره احتیاطی محدود را بررسی کردند. در این سیستم قواعد ابتکاری برای بهبود عملیات موجود و معرفی محصولات جدید توسعه داده شد. پارک و کیم (۱۹۹۹) بر سیاست ساخت بر مبنای سفارش در یک سیستم مونتاژی تمرکز کردند که تاریخ‌های تحویل، محدودیت‌های مسئله بودند. بدین منظور یک مدل ریاضی غیرخطی برای حداقل کردن هزینه نگهداری موجودی‌ها ارائه شد و در نهایت نتایج تجربی آزمایش شدند. پارک و کیم (۲۰۰۰) بعدها یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را برای سیستم خود

توسعه دادند. آنها الگوریتم انشعاب و تحدید را برای یافتن جواب‌های عدد صحیح تلفیق نمودند. لی و کیم (۲۰۰۲) نیز مدلی برای برنامه‌ریزی تولید - توزیع در زنجیره تأمین با در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت ارائه کردند. آنها یک رویکرد هیبریدی تحلیلی و شبیه‌سازی را برای حل این مسئله تولید - توزیع ارائه دادند.

آگراول و کوهن (۲۰۰۱) نیز عملکرد سیاست‌های ذخیره اجزا و عملکرد خدمات را با توجه به کمبود و تأخیر نرخ‌های تکمیل تولید محصول نهایی تجزیه و تحلیل کردند. سیماتوپانگ، ساندراتو و لویس (۲۰۰۴) بر هماهنگی زنجیره تأمین و سه عامل تعیین‌کننده آن، یعنی وابستگی متقابل مسئولیت‌ها، عدم اطمینان و تعارضات بین‌وظیفه‌ای تمرکز نمودند. در مطالعه دیگری، نانینو و پانیزولو (۲۰۰۷) تلاش کردند به‌طور تجربی حساسیت‌های سیستم تولیدی که به‌وسیله توزیع محدود شده بود را به‌منظور ارائه یک مدلی که برنامه‌ریزی تولید و توزیع یکپارچه را امکان‌پذیر می‌کند و همزمان هر دو را بهبود می‌دهد، بررسی کنند.

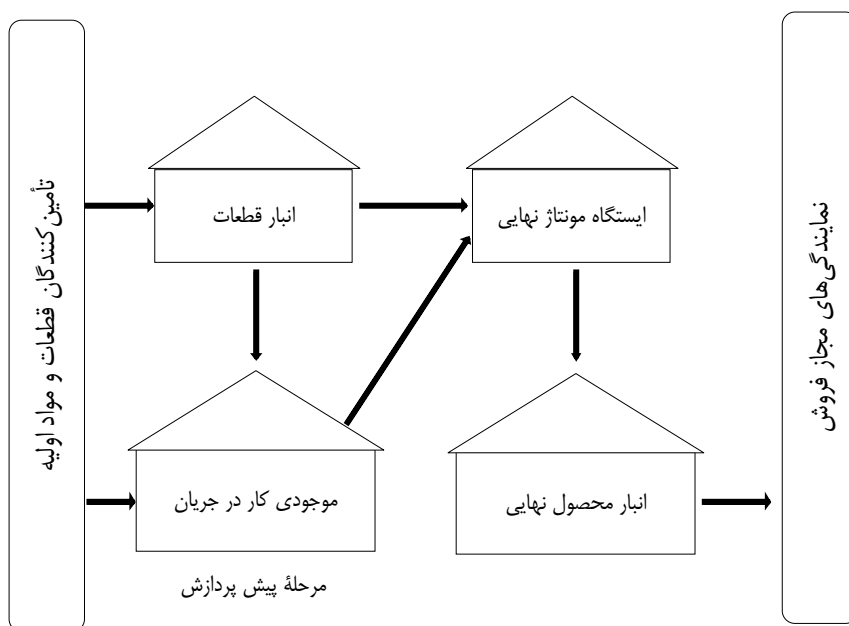
در مطالعه دیگری پژوهشگران مقاله‌ای را برای مدیریت موجودی در یک سازمان خدماتی ارائه کردند. هدف از این مطالعه توسعه درکی از ماهیت ترتیبات مشارکتی شرکا در زنجیره تأمین بیمارستان استرالیا برای مدیریت موجودی‌ها بود (باکو، سینگ و سوهال، ۲۰۱۲). نصیری، کریمی و داوودپور (۲۰۱۰) نیز مدل یکپارچه‌ای را برای مکان‌یابی انبار، تخصیص خرده‌فروش‌ها به انبارهای باز و یافتن سیاست کلی کنترل موجودی به‌منظور مدیریت مقدار سفارش و سطح ذخیره احتیاطی توسعه دادند.

امیری و جهانی (۱۳۸۹) نیز در مطالعه‌ای تنها به بحث ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از روش ترکیبی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. فارسیجانی و عبدوس (۱۳۹۰) در مطالعه خود برای محاسبه نقاط بهینه سفارش‌دهی در سیستم‌های کنترل موجودی و به‌طور خاص برای سیستم‌های سفارش‌دهی مرور دائم، با به‌کارگیری منطق فازی روشی ارائه کردند. هوشمدی ماهر، امیری و الفت (۱۳۹۳) در پژوهش خود مدل ریاضی چندمحصولی، چنددوره‌ای و چندتأمین‌کننده را در حالت مجازبودن مازاد و کمبود جهت انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در زنجیره تأمین ارائه کردند، سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک به حل مدل ساخته‌شده پرداختند.

مورد مطالعه پژوهش

شرکتی که در این پژوهش مطالعه می‌شود، کارخانه‌های متعددی دارد که یکی از آنها کارخانه تولید پکیج‌های زمینی و دیواری است. از آنجا که این کارخانه دارای ویژگی‌های مدنظر پژوهش بود،

به‌عنوان مورد مطالعه مدنظر قرار گرفت و از اطلاعات مربوط به این واحد تولیدی برای توسعه مدل و داده‌های مدنظر مدل استفاده شد. شکل ۱ زنجیره تأمین این کارخانه را به نمایش گذاشته است.



شکل ۱. زنجیره تأمین کارخانه مورد مطالعه

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، سیستم زنجیره تأمین این شرکت شامل دو ایستگاه اصلی است. ایستگاه اول (ایستگاه پیش‌پردازش) قطعات مختلفی را تولید می‌کند که به ایستگاه دو (ایستگاه مونتاژ نهایی) ارسال می‌شود تا همراه با قطعات آماده خریداری‌شده، در تولید محصولات مختلف به کار رود. همچنین شرکت مواد خام متعددی را برای تولید محصول نهایی از تأمین‌کنندگان می‌خرد که برخی از آنها قبل از ارسال به مرحله نهایی مونتاژ به پیش‌پردازش نیاز دارند؛ در حالیکه برخی مستقیماً به مرحله نهایی مونتاژ می‌روند تا در تولید محصول نهایی به کار گرفته شوند. سیستم توزیع زنجیره نیز شامل یک ذخیره بافر است که همه محصولات نهایی تولیدشده به‌طور موقت در آن ذخیره می‌شوند. محصولات در اندازه‌های مشخصی به بخش بافر انتقال می‌یابند تا از آنجا به مراکز توزیع ارسال شوند. سایر اطلاعات مربوط به این شرکت در جدول ۱ درج شده است.

جدول ۱. اطلاعات شرکت مورد مطالعه

عنوان	توضیحات
دوره‌های زمانی	شش دوره زمانی از فروردین تا شهریور
قطعات خریداری شده از تأمین‌کنندگان	دوازده قطعه که با استفاده از نمودار ساختار محصول و تجزیه و تحلیل ABC شناسایی شدند
قطعات تولیدشده در داخل کارخانه	دو عدد از قطعات در داخل شرکت تولید می‌شوند
تأمین‌کنندگان	۱۵ تأمین‌کننده
تعداد انبار	۱۵ انبار
مراکز توزیع	۲۸ مرکز توزیع (مراکزی که در یک منطقه جغرافیایی قرار داشتند را به‌عنوان یک مرکز توزیع در نظر گرفته شدند)

روش‌شناسی پژوهش

روش این پژوهش از لحاظ هدف کاربردی است؛ زیرا یکی از اهداف آن بهره‌مندی از نتایج یافته‌ها برای حل مسئله‌ای موجود در سازمان است. از لحاظ روش‌شناسی و نحوه گردآوری داده‌ها پژوهشی توصیفی به‌شمار می‌رود؛ زیرا برای توسعه مدل باید شرایط و پدیده‌های تحت بررسی، توصیف شوند و به لحاظ اجرا نیز در دسته پژوهش‌های میدانی قرار می‌گیرد.

جهت جمع‌آوری داده‌ها در این پژوهش، از دو روش کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شده است. برای نگارش ادبیات پژوهش از مطالعات انجام‌شده در این زمینه و منابع کتابخانه‌ای مختلف استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز مدل توسعه داده‌شده به روش میدانی و از طریق مصاحبه با مدیران ارشد و افراد مطلع در سازمان جمع‌آوری شده است.

جامعه آماری این پژوهش که خبرگان پژوهش نیز محسوب می‌شوند، تمام افرادی هستند که در تصمیم‌گیری‌های شرکت تأثیرگذارند. نمونه‌گیری نیز به روش گلوله برفی انجام گرفته است. در این روش، ابتدا مصاحبه با یکی از خبررسانان متخصص و کلیدی آغاز می‌گردد و در انتهای مصاحبه از آن شخص درخواست می‌شود افرادی را که برای مصاحبه مناسب می‌داند، معرفی کند. شکل ۲ مراحل انجام پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲. مراحل انجام پژوهش

مدل سازی پژوهش

در پژوهش حاضر پس از بررسی مدل‌های گوناگون ارائه شده در خصوص موجودی و جریان مواد در زنجیره تأمین، با رویکردی یکپارچه به مدل سازی جریان مواد در طول زنجیره تأمین در بخش‌های تأمین، تولید و توزیع کارخانه پرداخته شده است. در واقع هدف اصلی پژوهش این است که یک سیستم زنجیره تأمین سه سطحی، چند محصولی و چند دوره‌ای را به شکلی اثربخش مدل سازی کنیم و به طرح‌های عملیاتی برای افزایش کارایی فرایند تولید به وسیله کاهش سطح

اتلاف مواد و زمان و تلاش درگیر در هر مرحله از تولید دست یابیم. مدل ریاضی ارائه شده در این مطالعه با استفاده از مفروضات و نمادسازی‌های زیر توسعه یافته است.

مفروضات

- میزان تولید بیشتر از تقاضاست، به طوری که محصولات در سیستم انباشته شده‌اند؛
- ظرفیت تولید ثابت است؛
- سیستم دارای موجودی اولیه است؛
- تقاضای محصولات هر دوره براساس افق برنامه‌ریزی مشخص شده است؛
- باید تمام نیازهای هر دوره برآورده شود؛
- فضای ذخیره کل در دسترس محدود است.

نماد سازی‌ها

نمادهای استفاده شده در این مدل شامل سه نوع اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهاست به شرح زیر معرفی می‌شوند:

اندیس‌ها

- I : آیتم خریداری شده ($i=1, 2, \dots, I$)
- J : قطعه تولید شده در داخل ($j=1, 2, \dots, J$)
- T : دوره زمانی ($t=1, 2, \dots, T$)
- S : تأمین کننده ($s=1, 2, \dots, S$)
- P : محصول تولید شده ($p=1, 2, \dots, P$)
- E : ایستگاه کاری ($e=1, 2, \dots, E$)
- D : نمایندگی‌ها یا مراکز توزیع ($d=1, 2, \dots, D$)
- W : انبار ($w=1, 2, \dots, W$)

پارامترها

- CB_{ist} : قیمت ماده i که از تأمین کننده s در دوره t خریداری می‌شود.
- λ : میانگین درصد تورم ماهانه در صنعت مربوطه است.
- CT_{ist} : هزینه حمل یک واحد ماده مصرفی نوع i که از تأمین کننده s در دوره t سفارش داده شده است.
- CH_{iwt} : هزینه نگهداری هر واحد ماده i در انبار w در دوره t .

- SS_{it} : مقدار ذخیره احتیاطی ماده i در دوره t .
 r : هزینه نگهداری.
 CO_{st} : هزینه سفارش به تأمین کننده s در دوره t .
 CP_{jet} : هزینه تولید یک واحد قطعه z در ایستگاه کاری e در دوره t .
 D_{jt} : میزان تقاضای قطعه z در دوره t .
 P_{jt} : نرخ تولید قطعه z در دوره t .
 CH_{jw} : هزینه نگهداری هر واحد قطعه z در انبار w در دوره t .
 SS_{jt} : مقدار ذخیره احتیاطی قطعه z در دوره t .
 CP_{jet} : هزینه تولید یک واحد محصول p در ایستگاه کاری e در دوره t .
 CH_{pwt} : هزینه نگهداری هر واحد محصول p در انبار w در دوره t .
 SS_{pt} : مقدار ذخیره احتیاطی محصول p در دوره t .
 D_{pt} : مقدار تقاضای محصول p در دوره t .
 P_{pt} : نرخ تولید محصول p در دوره t .
 CT_{pdt} : هزینه ارسال یک واحد محصول p به نمایندگی d در دوره t .
 CH_{pdt} : هزینه نگهداری هر واحد محصول p که در انبار نمایندگی d در دوره t نگهداری می شود.
 SS_{pdt} : مقدار ذخیره احتیاطی محصول p در دوره t در انبار نمایندگی d .
 n_{ip} : مقدار ماده i استفاده شده در یک واحد محصول p .
 n_{jp} : تعداد قطعه z مصرف شده در یک واحد محصول p .
 C_{st} : مجموعه ظرفیت تخصیصی از جانب تأمین کننده s در دوره t .
 PC_{et} : ظرفیت تولید در ایستگاه ساخت e در دوره t .
 AC_{et} : ظرفیت تولید در ایستگاه مونتاژ e در دوره t .
 M : یک عدد بسیار بزرگ.
 IWC_{it} : ظرفیت انبار (آیتم) ماده یا قطعه i در دوره t .
 JWC_{jt} : ظرفیت انبار قطعات تولید شده در داخل در دوره t .
 PWC_{pt} : ظرفیت انبار محصولات تولید شده در دوره t .
 B_s : حداقل میزانی است که به یک عرضه کننده سفارش داده می شود.
 B_d : حداقل تعداد محصولی که باید به یک نمایندگی ارسال شود.

متغیرهای تصمیم

- X_{ist} : مقدار ماده مصرفی نوع i که از تأمین‌کننده s در دوره t سفارش داده شده است.
- I_{it} : میزان موجودی ماده i که در پایان دوره t در انبار نگهداری شده است.
- Y_{st} : متغیر صفر و یک مربوط به اینکه آیا به تأمین‌کننده s در دوره t سفارش خرید داده می‌شود یا خیر.
- XX_{jet} : مقدار تولید قطعه j در ایستگاه کاری e در دوره t .
- I_{jt} : میزان موجودی قطعه j که در پایان دوره t در انبار نگهداری شده است.
- Z_{pet} : مقدار تولید محصول p در ایستگاه کاری e در دوره t .
- I_p : میزان موجودی محصول p که در پایان دوره t در انبار نگهداری شده است.
- Z_{pdt} : مقدار محصول p که به نمایندگی d در دوره t ارسال می‌شود.
- I_{pdt} : میزان موجودی محصول p که در پایان دوره t در انبار نمایندگی d نگهداری شده است.
- Y_{dt} : متغیر صفر و یک مربوط به اینکه آیا به نمایندگی d در دوره t محصول ارسال شود یا خیر.

تابع هدف و محدودیت‌های مدل پژوهش

با توجه به شکل زنجیره تأمین شرکت مورد مطالعه، هزینه‌های تابع هدف مدل را می‌توان به چهار بخش دسته‌بندی کرد: هزینه‌های خرید و تأمین مواد و قطعات لازم از تأمین‌کنندگان، هزینه‌های مرتبط با تولید قطعات لازم در داخل، هزینه‌های مرتبط با مونتاژ محصول نهایی، هزینه‌های مرتبط با نمایندگی‌های مجاز. با توجه به فعالیت‌های گوناگون در هر بخش، هر یک از بخش‌ها هزینه‌های متفاوتی متناسب با فعالیت‌ها دارند. بنابراین تلاش شده است تابع هدف مدل به گونه‌ای توسعه داده شود که مجموع این هزینه‌ها حداقل شود.

هزینه‌های بخش تأمین مواد و قطعات لازم از تأمین‌کنندگان

هزینه خرید: وابسته به قیمت و مقدار مواد خریداری شده در هر دوره از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$CB = \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T CB_{ist} X_{ist} \quad \text{رابطه (۱)}$$

CB_{ist} قیمت ماده i که از تأمین‌کننده s در دوره t خریداری می‌شود. گفتنی است که این قیمت با توجه به نرخ تورم ماهانه در دوره‌های آتی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$CB_{ist+1} = (1 + \lambda)CB_{ist} \quad \text{رابطه ۲}$$

λ میانگین نرخ تورم ماهانه در صنعت مربوطه است. این نرخ تورم براساس میانگین گیری وزنی از چندین دوره قبل و وزن بیشتر به دوره های نزدیک تر، انجام گرفته است. X_{ist} : مقدار ماده مصرفی نوع i که از تأمین کننده s در دوره t سفارش داده شده است.

هزینه حمل و نقل: مجموعه ای از هزینه های حمل و نقل که با رابطه زیر نشان داده می شود.

$$CT = \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T CT_{ist} X_{ist} \quad \text{رابطه ۳}$$

CT_{ist} هزینه حمل یک واحد ماده نوع i که از تأمین کننده s در دوره t سفارش داده شده است.

هزینه نگهداری: شامل هزینه های خواب سرمایه، انبارداری، بیمه، افت حجمی یا ضایعات، مالیات، فضای نگهداری و هزینه از مد افتادن است. این مجموعه هزینه با توجه به صنایع مختلف، متفاوت است و به صورت درصدی از ارزش موجودی از رابطه زیر به دست می آید.

$$CH = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I CH_{iwt} \left[\frac{\sum_{s=1}^S X_{ist} + I_{it-1} + SS_{it}}{2} \right] \quad \text{رابطه ۴}$$

$CH_{it} = r \times$ قیمت هر واحد موجودی

که در آن CH_{iwt} هزینه نگهداری هر واحد ماده i در انبار w در دوره t ; I_{it} میزان موجودی مواد i که در پایان دوره t در انبار نگهداری شده است؛ SS_{it} مقدار ذخیره احتیاطی ماده i در دوره t است؛ r معرف هزینه نگهداری است.

هزینه سفارش دهی: کلیه هزینه ها از زمان درخواست کالا تا دریافت آن را هزینه سفارش می گویند. به طور کلی هزینه های سفارش دهی شامل هزینه های درخواست، پست و تلفن، پیگیری سفارش، دریافت و ذخیره سفارش می شود.

$$CO = \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T CO_{st} Y_{st} \quad \text{رابطه ۵}$$

CO_{st} : هزینه سفارش دهی به تأمین کننده s در دوره t ; Y_{st} : آیا به تأمین کننده s در دوره t سفارش خرید داده می شود. این متغیر یک متغیر صفر و یک است؛ اگر به تأمین کننده s در دوره t سفارش خرید داده شود مقدار ۱ و در غیر این صورت، صفر می گیرد.

هزینه‌های بخش تولید قطعات لازم در داخل

این بخش از تابع هدف هزینه‌های مرتبط با تولید قطعات در داخل را دربرمی‌گیرد که شامل هزینه‌های زیر است:

هزینه تولید: این هزینه به تعداد تولید بستگی دارد و به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$CP = \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T CP_{jet} XX_{jet} \quad \text{رابطه ۶}$$

CP_{jet} هزینه تولید یک واحد قطعه j در ایستگاه کاری e در دوره t و XX_{jet} مقدار تولید قطعه j در ایستگاه کاری e در دوره t .

هزینه نگهداری: همان طور که پیش از این بیان شد هزینه نگهداری موجودی از حاصل ضرب درصدی از ارزش موجودی در میانگین موجودی دوره به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$CH = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J CH_{jwt} \times \text{متوسط موجودی} \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\text{متوسط موجودی} = \frac{XX_{jet} + I_{jt-1} + SS_{jt}}{2} \left(1 + \frac{1}{n} - \frac{D_{jt}}{P_{jt}} \right)$$

$$CH = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J CH_{jwt} \left[\frac{XX_{jet} + I_{jt-1} + SS_{jt}}{2} \left(1 + \frac{1}{n} - \frac{D_{jt}}{P_{jt}} \right) \right]$$

که در آن XX_{jet} مقدار تولید قطعه j در ایستگاه کاری e در دوره t ؛ D_{jt} تقاضای قطعه j در دوره t ؛ P_{jt} نرخ تولید قطعه j در دوره t ؛ CH_{jwt} هزینه نگهداری هر واحد قطعه j در انبار w در دوره t ؛ I_{jt-1} میزان موجودی قطعه j که در پایان دوره t در انبار نگهداری شده؛ SS_{jt} مقدار ذخیره احتیاطی قطعه j در دوره t ؛ r نرخ هزینه نگهداری؛ D_{jt} معرف میزان تقاضای قطعه j در دوره t است.

هزینه‌های بخش مونتاژ محصولات نهایی

این بخش از تابع هدف، هزینه‌های مونتاژ محصولات نهایی از قطعات خریداری شده از خارج و قطعات تولید شده در داخل را دربرمی‌گیرد که شامل هزینه‌های زیر است.

هزینه تولید: این هزینه به تعداد تولید محصول بستگی دارد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$CP = \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T CP_{pet} Z_{pet} \quad \text{رابطه ۸}$$

CP_{pet} هزینه تولید یک واحد محصول p در ایستگاه کاری e در دوره t و Z_{pet} مقدار تولید محصول p در ایستگاه کاری e در دوره t .

هزینه نگهداری: سیستم موجودی که برای نگهداری محصولات استفاده می‌شود برگرفته از مدل موجودی EPQ است. با توجه به نرخ تولید و تقاضا، هزینه به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$CH = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P CH_{pwt} \left(\frac{Z_{pet} + III_{pt-1} + SS_{pt}}{2} \right) \left(1 - \frac{D_{pt}}{P_{pt}} \right) \quad \text{رابطه ۹}$$

$CH_{pwt} = r \times$ قیمت هر واحد موجودی

که در آن CH_{pwt} هزینه نگهداری هر واحد محصول p در انبار w در دوره t ; III_{pt} میزان موجودی محصول p که در پایان دوره t در انبار نگهداری شده؛ SS_{pt} مقدار ذخیره احتیاطی محصول p در دوره t ; D_{pt} مقدار تقاضای محصول p در دوره t ; P_{pt} نرخ تولید محصول p در دوره t ; r نرخ هزینه نگهداری است.

هزینه‌های بخش نمایندگی‌ها

این بخش از تابع هدف، هزینه‌های ارسال محصولات به نمایندگی‌های فروش را دربرمی‌گیرد و شامل هزینه‌های زیر است.

هزینه ارسال: این هزینه مجموعه‌ای از هزینه‌های حمل و نقل محصولات تا نمایندگی‌ها را شامل می‌شود.

$$CT = \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T CT_{pdt} ZZ_{pdt} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

که در آن CT_{pdt} هزینه ارسال یک واحد محصول p به نمایندگی d در دوره t و ZZ_{pdt} مقدار محصول p که به نمایندگی d در دوره t ارسال می‌شود.

هزینه نگهداری: این هزینه شامل هزینه‌های نگهداری محصولات در هر یک از نمایندگی‌هاست که به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$CH = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D CH_{pdt} \left(\frac{ZZ_{pdt} + III_{pdt-1} + SS_{pdt}}{2} \right) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$CH_{it} = r \times$ قیمت هر واحد موجودی

CH_{pdt} هزینه نگهداری هر واحد محصول p که در انبار نمایندگی d در دوره t نگهداری می‌شود؛ III_{pdt-1} میزان موجودی محصول p که در پایان دوره t در انبار نمایندگی d نگهداری شده است؛ SS_{pdt} مقدار ذخیره احتیاطی محصول p در دوره t در انبار نمایندگی d ؛ r نرخ هزینه نگهداری است.

با قرار دادن رابطه‌های بالا در کنار هم تابع هدف مدل به صورت زیر به دست می‌آید:

$$TC_1 = \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T CB_{ist} X_{ist} + \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T CT_{ist} X_{ist} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I CH_{iwt} \left[\frac{\sum_{s=1}^S X_{ist} + I_{it-1} + SS_{it}}{2} \right] + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T CO_{st} Y_{st} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$TC_2 = \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T CP_{jet} XX_{jet} + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J CH_{jwt} \left[\frac{XX_{jet} + II_{jt-1} + SS_{jt}}{2} \left(1 + \frac{1}{n} - \frac{D_{jt}}{P_{jt}} \right) \right]$$

$$TC_3 = \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T CP_{pet} Z_{pet} + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P CH_{pwt} \left(\frac{Z_{pet} + III_{pt-1} + SS_{pt}}{2} \right) \left(1 - \frac{D_{pt}}{P_{pt}} \right)$$

$$TC_4 = \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T CT_{pdt} ZZ_{pdt} + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D CH_{pdt} \left(\frac{ZZ_{pdt} + III_{pdt-1} + SS_{pdt}}{2} \right)$$

$$\text{minimize } TC = TC_1 + TC_2 + TC_3 + TC_4$$

محدودیت‌های مدل

۱. محدودیت‌های مربوط به تقاضای مواد و قطعات خریداری شده: این محدودیت بیان‌کننده این است که موجودی ابتدای دوره مواد و قطعات به اضافه مقداری که از این ماده یا قطعه از تأمین‌کنندگان مختلف در هر دوره خریداری می‌شود، منهای میزان موجودی پایان دوره باید برابر با جمع مقدار مصرف آن ماده یا قطعه در محصولات آن دوره باشد.

$$\sum_{s=1}^S X_{ist} + I_{it-1} - I_{it} = \sum_{p=1}^P n_{ip} Z_{pet} \quad \text{for all } i \text{ and } t \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

که در این رابطه n_{ip} ضریب مصرف آیت i در یک واحد محصول p .

۲. محدودیت های مربوط به تقاضای قطعات ساخته شده در داخل: این محدودیت بیان کننده این است که موجودی ابتدای دوره قطعه j به اضافه مقداری که از این قطعه در ایستگاه e در همان دوره تولید می شود، منهای میزان موجودی پایان دوره این قطعه باید برابر با جمع مقدار مصرف آن قطعه در محصولات آن دوره باشد.

$$XX_{jet} + II_{jt-1} - II_{jt} = \sum_{p=1}^P n_{jp} Z_{pet} \quad \text{for all } j \text{ and } t \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

۳. محدودیت های مربوط به تقاضای محصول نهایی: این محدودیت بیان کننده این است که مقدار تولید محصول p در دوره t به علاوه موجودی ابتدای دوره محصول p در انبار محصول نهایی، منهای موجودی پایان دوره این محصول باید برابر با جمع مقدار محصول p ارسال شده به نمایندگی های مجاز در آن دوره باشد.

$$Z_{pet} + III_{pt-1} - III_{pt} = \sum_{d=1}^D ZZ_{pdt} \quad \text{for all } p \text{ and } t \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

۴. محدودیت های مربوط به موازنه محصول در نمایندگی ها: مقدار کالایی که در هر دوره به نمایندگی های مجاز ارسال می شود، به اضافه موجودی اول دوره، منهای موجودی پایان دوره باید برابر با مقدار تقاضای آن نمایندگی ها در آن دوره باشد.

$$ZZ_{pdt} + III_{pdt-1} - III_{pdt} = D_{pdt} \quad \text{for all } p \text{ \& } d \text{ \& } t \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

۵. محدودیت های مربوط به ظرفیت تأمین کننده: در واقع، ظرفیت دوره ای که هر تأمین کننده به خریدار تخصیص می دهد، به مجموعه ای از مواد عرضه شده اختصاص دارد که باید کمتر یا مساوی میزان خاصی در هر دوره باشد.

$$\sum_{i=1}^I X_{ist} \leq C_{st} Y_{st} \quad \text{for all } s \text{ and } t \quad (\text{رابطه ۱۷})$$

که در آن، C_{st} مجموعه ظرفیت تخصیصی از جانب تأمین کننده s در دوره t است. در این محدودیت ما متغیر صفر و یک Y_{st} را نیز وارد کردیم؛ به این معنا که در صورت تخصیص سفارش به تأمین کننده s باید هزینه های مرتبط با این تخصیص از جمله هزینه سفارش پرداخت شود.

۶. محدودیت‌های مربوط به ظرفیت تولید در ایستگاه‌های ساخت (ساخت قطعات در داخل): بر اساس این سری از محدودیت‌ها، میزان ساخت قطعات در داخل کارخانه باید بر اساس ظرفیت ماشین‌آلات موجود در ایستگاه‌های تولیدی صورت پذیرد.

$$\sum_j XX_{jet} \leq PC_{et} \quad \text{for all } e \text{ and } t \quad (\text{رابطه ۱۸})$$

که در آن، PC_{et} ظرفیت تولید در ایستگاه ساخت e در دوره t است.

۷. محدودیت‌های مربوط به ظرفیت تولید در ایستگاه‌های مونتاژ محصول نهایی: بر مبنای این محدودیت‌ها، میزان ساخت محصول در داخل کارخانه باید بر اساس ظرفیت ماشین‌آلات موجود در ایستگاه‌های تولیدی صورت پذیرد.

$$\sum_p Z_{pet} \leq AC_{et} \quad \text{for all } e \text{ and } t \quad (\text{رابطه ۱۹})$$

که در آن، AC_{et} ظرفیت تولید در ایستگاه مونتاژ e در دوره t است.

۸. سری محدودیت‌های مربوط به ارسال محصول به نمایندگی‌ها: در این محدودیت‌ها چنانچه کالا به نمایندگی مجاز d ارسال شود، هزینه‌های مرتبط با این ارسال بر کارخانه تحمیل می‌شود.

$$\sum_p ZZ_{pdt} \leq M YY_{dt} \quad \text{for all } d \text{ and } t \quad (\text{رابطه ۲۰})$$

که در آن، M یک عدد بسیار بزرگ؛ YY_{dt} معرف این است که آیا به نمایندگی d در دوره t محصول ارسال شود یا خیر. این متغیر یک متغیر صفر و یک است و در صورتی مقدار ۱ اتخاذ می‌کند که هزینه‌های مرتبط با این ارسال بر کارخانه تحمیل شود و به علت مقدار بزرگ M محدودیت به یک محدودیت زائد تبدیل می‌شود. همچنین اگر ارسالی انجام نگیرد، مقدار صفر می‌گیرد؛ به این معنا که ارسالی انجام نگرفته و هزینه‌ای از این بابت اعمال نمی‌شود.

۹. محدودیت‌های مربوط به نگهداری ذخیره احتیاطی: این سری از محدودیت‌ها بیان‌کننده نگهداری حداقل ذخیره اطمینان لازم برای مواد است؛ پس داریم:

$$I_{it} \geq SS_{it} \quad \text{for all } i \text{ and } t \quad (\text{رابطه ۲۱})$$

$$II_{jt} \geq SS_{jt} \quad \text{for all } j \text{ and } t$$

$$III_{pt} \geq SS_{pt} \quad \text{for all } p \text{ and } t$$

۱۰. محدودیت‌های مربوط به ظرفیت انبارهای مختلف: این سری از محدودیت‌ها بیان‌کننده ظرفیت نگهداری انبارهای مختلف جهت نگهداری آیتم‌های مختلف است.

$$\sum_{s=1}^S X_{ist} + I_{it-1} \leq IWC_{it} \quad \text{for all } i \text{ and } t \quad \text{رابطه ۲۲}$$

$$XX_{jet} \left(1 - \frac{D_{jt}}{P_{jt}} \right) + II_{jt-1} \leq JWC_{jt} \quad \text{for all } j \text{ and } t$$

$$\sum_{p=1}^P (Z_{pet} \left(1 - \frac{D_{pt}}{P_{pt}} \right) + III_{pt-1}) \leq PWC_{pt} \quad \text{for all } t$$

که در آن، IWC_{it} ظرفیت انبار (آیتم) ماده یا قطعه i در دوره t ؛ JWC_{jt} ظرفیت انبار قطعات تولیدشده در داخل در دوره t و PWC_{pt} ظرفیت انبار محصولات تولیدشده در دوره t .

۱۱. محدودیت حداقل سفارش تخصیص به هر تأمین‌کننده: با توجه به هزینه‌های حمل و نقل و هزینه‌های سفارش‌دهی و گاهی نیز به دلیل موانع سیاسی، برای شرکت‌ها از نظر اقتصادی دریافت مواد کمتر از حد تعیین شده B_s مقرون به صرفه نیست. بنابراین چنانچه مدل مقداری کمتر از B_s به یک تأمین‌کننده اختصاص دهد، باید از آن عرضه‌کننده چیزی خریداری نشود.

$$\left(\sum_{i=1}^I X_{ist} - B_s \right) Y_{st} + (B_s - \sum_{i=1}^I X_{ist}) (1 - Y_{st}) \geq 0 \quad \text{for all } s \text{ and } t \quad \text{رابطه ۲۳}$$

که در آن، B_s حداقل میزانی است که به یک عرضه‌کننده سفارش داده می‌شود.

۱۲. محدودیت حداقل میزان ارسال محصول به نمایندگی‌ها: با توجه به هزینه‌های حمل و نقل و هزینه‌های سفارش‌دهی، برای شرکت‌ها از نظر اقتصادی ارسال محصول کمتر از حد تعیین شده B_d مقرون به صرفه نیست. بنابراین چنانچه مدل مقداری کمتر از B_d به یک نمایندگی اختصاص دهد، نباید به آن نمایندگی کالایی ارسال شود.

$$\left(\sum_{p=1}^P ZZ_{pdt} - B_d \right) Y_{dt} + (B_d - \sum_{p=1}^P ZZ_{pdt}) (1 - Y_{dt}) \geq 0 \quad \text{for all } d \text{ and } t \quad \text{رابطه ۲۴}$$

که در آن، B_d حداقل تعداد محصولی است که باید به یک نمایندگی ارسال شود.

این محدودیت به این معناست که چنانچه مجموع انواع محصولات ارسالی به یک نمایندگی کمتر از مقدار B_d باشد نباید به آن نمایندگی محصولی ارسال شود.

۱۴. محدودیت‌های ساختاری مدل:

$$X_{ist}, I_{it}, S_{iwt} \geq 0 \quad \text{and integer for all } i, s, w, t \quad (\text{رابطه ۲۵})$$

$$X_{jet}, II_{jt}, S_{jw} \geq 0 \quad \text{and integer for all } j, e, w, t$$

$$X_{pet}, III_{pt}, S_{pwt}, X_{pdt} \geq 0 \quad \text{and integer for all } p, e, w, t$$

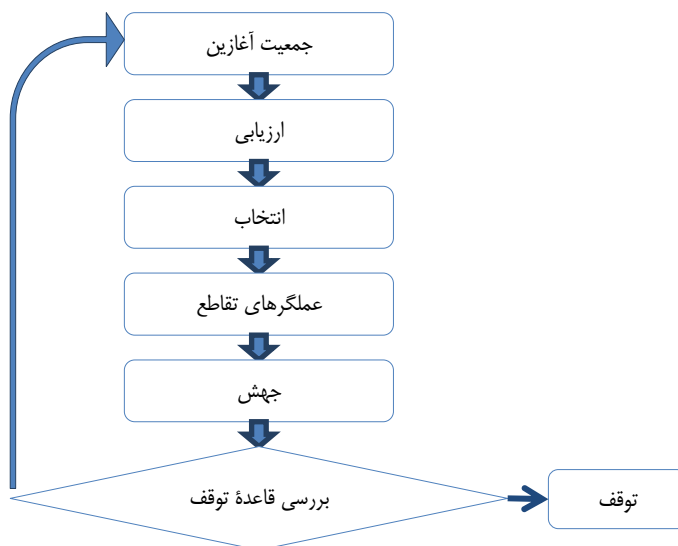
$$X_{pdt}, IIII_{pdt} \geq 0 \quad \text{and integer for all } p, d, t$$

$$Y_{st} = (0 \text{ or } 1)$$

$$Y_{dt} = (0 \text{ or } 1)$$

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش وجود عوامل مختلف همانند پیچیدگی شرایط حاکم بر زنجیره، تنوع متغیرها و محدودیت‌های موجود، حجم زیاد متغیرها و محدودیت‌ها، نادقیق بودن محیط و مزایای ناشی از سرعت در تصمیم‌گیری، سبب شد به جای استفاده از روش‌های متداول و قطعی بهینه‌سازی از روش ابتکاری الگوریتم ژنتیک برای حل مدل ساخته شده استفاده نماییم. در ادامه رویه الگوریتم ژنتیک را که در شکل ۳ نشان داده شده است با توجه مدل پژوهش تشریح می‌شود.



شکل ۳. رویه الگوریتم ژنتیک

منبع: وارا ویکای، کوول پتارانبرن و رانگرونگان (۲۰۱۰)

ساختار الگوریتم ژنتیک پژوهش

کروموزوم: در این مسئله هر کروموزوم به معنای یک جواب برای مسئله است که مجموع تعداد متغیرهای تصمیم را دربرمی‌گیرد. کل متغیرهای مدل در این پژوهش ۹۷۲ متغیر است که از این تعداد، ۲۵۸ متغیر آن از نوع صفر و یک و مابقی متغیرهای عدد صحیح هستند. همچنین مدل ۲۱۱۲ محدودیت دارد.

تابع برازش: در مسائل بهینه‌سازی تابع هدف به عنوان تابع برازندگی به کار می‌رود. در این پژوهش تابع برازندگی همان تابع هدف است که به دنبال حداقل کردن هزینه‌های کل است.

جمعیت: مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها را جمعیت گویند. در این مسئله از جمعیت‌های متفاوت ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ کروموزومی برای یافتن بهترین جواب ممکن استفاده شود.

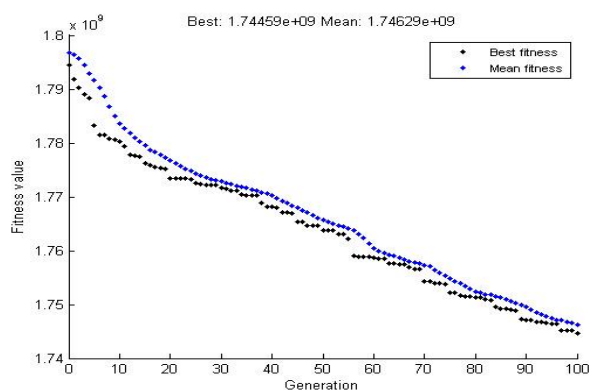
عملگرهای ژنتیک: بخش مهم در الگوریتم ژنتیک ایجاد کروموزوم‌های جدید موسوم به فرزندان از طریق بعضی کروموزوم‌های قدیمی موسوم به والدین است. این فرایند مهم توسط عملگرهای ژنتیک صورت می‌گیرد (سارکر و نیوتان، ۲۰۰۲) که عبارت‌اند از:

- عملگر تقاطع: عملگر اصلی برای تولید کروموزوم‌های جدید در الگوریتم ژنتیک، عملگر تقاطع است. در این پژوهش از عملگرهای تقاطع Scattered، Two point و Heuristics استفاده شده است.
- عملگر جهش: در این پژوهش ما از عملگرهای جهش Constraint dependent، Adaptive feasible و Gaussian استفاده نموده‌ایم.

نسل: هر تکرار الگوریتم که به ایجاد یک جمعیت جدید منجر می‌شود را یک نسل می‌گویند. نوع بازنمایی در این الگوریتم از نوع کدگذاری باینری است. ده مورد از بهترین جواب‌های حاصل شده از حل مدل با جمعیت‌های اولیه متفاوت، عملگرهای گوناگون و میزان تولید نسل ۱۰۰ در جدول ۲ نشان داده شده است. این مدل به کمک نرم‌افزار متلب ورژن ۲۰۱۲ حل شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود بهترین جواب مربوط به میزان جمعیت ۲۰۰، عملگر تقاطع heuristic، عملگر جهش Adaptive feasible و میزان تولید نسل ۱۰۰ است. شکل ۴ نیز نمودار فرایند بهبود مقدار تابع برازش و مقدار جواب‌های حاصل از هر نسل را برای بهترین جواب به دست آمده نشان می‌دهد. در این نمودار محور افقی شماره نسل و محور عمودی مقدار تابع هدف را نشان می‌دهد.

جدول ۲. بهترین جواب‌های به دست آمده از الگوریتم ژنتیک

ردیف	میزان تولید نسل	اندازه جمعیت	عملگر تقاطع	عملگر جهش	مقدار تابع هدف (ریال)	زمان حل (دقیقه)	توضیحات
۱	۱۰۰	۱۰۰	scattered	Constraint dependent	۱۷۶۳۳۶۱۱۲۱/۳۹۱۵	۰/۰۰۴۷	
۲	۱۰۰	۱۰۰	Two point	Adaptive feasible	۱۷۶۱۶۲۷۲۶۸/۴۳۲۱	۰/۰۰۵۳	
۳	۱۰۰	۱۰۰	Two point	Constraint dependent	۱۸۰۰۹۹۵۰۶۳/۱۹۲۷	۰/۰۰۵۷	
۴	۱۰۰	۱۰۰	heuristic	Constraint dependent	۱۷۴۷۵۵۵۶۹۷/۲۶۸۸	۰/۰۰۵۱	
۵	۱۰۰	۲۰۰	Two point	Gaussian	۱۱۹۱۳۶۲۵۷۶/۶۶۲۰	۰/۰۰۴۷	غیرموجه
۶	۱۰۰	۲۰۰	heuristic	Adaptive feasible	۱۷۴۴۵۸۷۲۹۹/۰۱۵۲	۰/۰۲۵۲	بهترین جواب
۷	۱۰۰	۵۰۰	scattered	Constraint dependent	۱۷۵۷۱۱۴۳۸۱/۳۸۰۶	۰/۰۳۳۴	
۸	۱۰۰	۵۰۰	Two point	Adaptive feasible	۱۸۵۱۷۲۷۲۱۸/۴۳۲۱	۰/۰۴۰۳	
۹	۱۰۰	۱۰۰۰	scattered	Adaptive feasible	۱۷۴۶۵۸۷۲۵۹/۰۱۵۲	۰/۰۳۹۱	
۱۰	۱۰۰	۱۰۰۰۰	scattered	Constraint dependent	۱۷۵۱۶۷۸۲۱۸/۱۶۴۸	۰/۲۳۲۷	



شکل ۴. نمودار مقادیر تابع هدف در ۱۰۰ تولید نسل برای بهترین جواب

اعتبار سنجی مدل

در این پژوهش، جهت اعتبار بخشی به مدل ساخته شده سعی شده است که ابتدا از مدل‌های ریاضی معتبر که توسط افراد سرشناس در مدل‌سازی ریاضی زنجیره تأمین ارائه شده است استفاده شود و سپس از نظر خبرگان مدل‌سازی در خصوص مدل‌سازی پژوهش استفاده شود. و در انتها نیز مدل ساخته شده جزء به جزء با مدل‌های مشابه مقایسه شده است (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه مدل پژوهش با مدل‌های مشابه

لی و کیم (۲۰۰۲)	وارا ویکای و همکاران (۲۰۱۰)	صافقی مقدم و همکاران (۱۳۸۸)	پوخارل (۲۰۰۸)	هوشمندنی ماهر و همکاران (۱۳۹۲)	مدل پژوهش	اجزای مدل
مزینهای خرید، حمل و نقل، نگهداری و کمبود نگهداری، سفارش دهی	مزینهای خرید، نگهداری، سفارش دهی	مزینهای خرید، حمل و نقل، نگهداری، کمبود و سفارش دهی	مزین خرید، حمل و نقل و نگهداری	مزینهای خرید، نگهداری، سفارش دهی و کمبود	مزینهای خرید، حمل و نقل، نگهداری، کمبود و سفارش دهی	حداقل نمودن مزینهای بخش تامین
مزینهای تولید، نگهداری، کمبود	اجازت نشده است	مزینهای تولید، نگهداری، کمبود، قطعات و محصولات	مزین موتور، نگهداری	اجازت نشده است	مزینهای تولید و موتور، نگهداری، کمبود قطعات و محصولات	حداقل نمودن مزینهای بخش تولید
مزینهای حمل و نقل	اجازت نشده است	مزینهای ارسال، نگهداری	مزین حمل و نقل	اجازت نشده است	مزینهای حمل و نقل، نگهداری	حداقل نمودن مزینهای بخش توزیع
اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	بر اساس سبک‌گیری وزنی از چندین دوره قبل و وزن بیشتر به دوره‌های نزدیکتر	میانگین نرخ تورم ماهانه
اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	برای هزینه سطح اجازت شده	توازن موجودی
اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت شده است	طرفت تامین کنندگان
اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	هم برای استیجانه‌های تولید قطعات و هم محصول	ظرفیت تولید و پردازش
اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت شده است	ارسال به مراکز توزیع
اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت شده است	ذخیره احتیاطی
اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت شده است	ظرفیت انبارها
اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت شده است اما مجاز نیست	کمبود
اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	با توجه به مزینهای حمل و نقل و سفارش دهی و منابع سبکی، برای کش‌کشیها از نظر اقتصادی دریاقت، مواد کمتر از حد تعیین شده P_0 معیون به صرفه نیست	حداقل سفارش به هر تامین کننده
اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	اجازت نشده است	همچنین برای کش‌کشیها از نظر اقتصادی ارسال محصول کمتر از حد تعیین شده B_0 معیون به صرفه نیست	حداقل ارسال به مراکز توزیع
روش هیبریدی تحلیل- شبیه سازی	الگوریتم ژنتیک	الگوریتم ژنتیک	روش STEP	الگوریتم ژنتیک	الگوریتم ژنتیک	روش حل

محدودیتها

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه پژوهشگران تلاش نمودند مدل ریاضی مناسبی را برای زنجیره تأمین شرکت مورد مطالعه ایجاد کنند که هزینه‌های کل درگیر در آن را حداقل نماید؛ سپس مدل ساخته‌شده با استفاده از روش الگوریتم ابتکاری ژنتیک حل شد. مزیت‌های این مدل به شرح زیر است:

- در این مدل تلاش شده است برخلاف بسیاری از مدل‌های ارائه‌شده که تنها بخشی از زنجیره تأمین را در نظر می‌گیرند، نگاه یکپارچه‌تری به سطوح زنجیره تأمین، به‌ویژه هر سه سطح زنجیره تأمین مورد مطالعه دارد.
 - زنجیره تأمین شرکتی مدل‌سازی شده است که جریان مواد و موجودی آن بیش از ۷۰ درصد بهای تمام‌شده را تشکیل می‌دهد، بنابراین لزوم برنامه‌ریزی به‌طور کامل محسوس بود.
 - در اغلب مطالعات هزینه نگهداری از حاصل‌ضرب هزینه نگهداری هر واحد در مقدار محصول مونتاژشده یا از حاصل‌ضرب هزینه نگهداری هر واحد در موجودی پایان دوره به‌دست آمده است؛ به این معنا که چنانچه موجودی آخر دوره صفر شود یا در آن دوره کالایی مونتاژ نشود، هیچ‌گونه هزینه نگهداری به شرکت تحمیل نمی‌شود و این نحوه نگرش به هزینه موجودی با آنچه در واقعیت به وقوع می‌پیوندد، همخوانی ندارد. در حالیکه در این پژوهش سعی شده است که به شکل واقعیت‌تری این موضوع بررسی شود.
 - با توجه به هزینه‌های حمل و نقل و سفارش‌دهی و موانع سیاسی، برای شرکت‌ها از نظر اقتصادی دریافت یا ارسال کالا کمتر از یک حد معین مقرون به صرفه نیست، بنابراین در این مدل تلاش شده است تا روابطی برای این قیدها لحاظ شود.
- در ادامه تلاش شده است تا با توجه به اهداف اساسی پژوهش، نتایج به‌دست آمده از مدل پژوهش و وضعیت موجود شرکت بر اساس پارامترهای مختلف بررسی و تجزیه و تحلیل شود.
- با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، هزینه نگهداری موجودی در کل زنجیره برای مدل پژوهش ۷۵۶۲۲۷۲۰۱ ریال به‌دست آمد و این هزینه برای وضعیت موجود برابر با ۸۳۷۷۲۸۱۴ ریال محاسبه شد. با مقایسه این هزینه‌ها با هم مشخص می‌شود که مدل پژوهش هزینه‌های مربوط به نگهداری موجود در کل زنجیره را حدود ۱۰ درصد کاهش داده است.
 - با توجه به نتایج به‌دست‌آمده هزینه سفارش‌دهی برای مدل پژوهش ۵۴۹۰۰۰۰۰ ریال محاسبه شد و این هزینه برای وضعیت موجود برابر با ۴۲۱۰۰۰۰۰ ریال به‌دست آمد.

بنابراین مشخص می‌شود که هزینه‌های مربوط به مدل در حدود ۳۰/۴ درصد نسبت به وضعیت موجود افزایش داشته است. علت هزینه کمتر وضعیت موجود را می‌توان به نوع سفارش‌دهی شرکت نسبت داد؛ زیرا شرکت در طول دوره، تعداد دفعات کمتر اما با حجم بیشتری قطعات مورد نیاز خود را سفارش داده است.

- در خصوص هزینه‌های حمل و نقل قطعات خریداری شده از تأمین‌کنندگان مشخص شد که این هزینه‌ها برای مدل پژوهش ۴۳۰۹۵۲۰۰۰ ریال و برای وضعیت موجود برابر با ۵۴۴۲۵۰۰۰۰ ریال محاسبه شد، یعنی مدل پژوهش توانسته هزینه‌های مربوط به حمل و نقل قطعات خریداری شده از تأمین‌کنندگان را حدود ۲۶/۳ درصد کاهش دهد.
- هزینه‌های مربوط به ارسال محصول به نمایندگی‌های مجاز فروش برای مدل پژوهش ۲۴۵۹۴۲۰۰۰ ریال به‌دست آمد و این هزینه‌ها برای وضعیت موجود شرکت ۲۴۶۸۷۶۰۰۰ ریال محاسبه شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل پژوهش توانسته است هزینه‌های مربوط به ارسال محصول به نمایندگی‌ها را حدود ۰/۳۷ درصد کاهش دهد.
- همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده شد، بهترین مقدار به‌دست‌آمده برای تابع هدف مدل ۱۷۴۴۵۸۷۲۹۹ ریال است، در حالیکه برای وضعیت موجود برابر با ۱۸۹۲۳۴۳۱۲۳ ریال به‌دست آمد. با مقایسه این هزینه‌ها مشخص می‌شود که مدل پژوهش توانسته است هزینه‌های کل را حدود ۸/۵ درصد کاهش دهد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان امید داشت که استفاده از چنین مدل ریاضی که سطوح سه‌گانه تأمین، تولید و توزیع زنجیره تأمین را با هم بررسی کرده است، می‌تواند به برنامه‌ریزی کارا تر سازمان کمک نماید.

در انتها نیز با توجه به نتایج پژوهش حاضر و محدودیت‌های موجود در آن، پیشنهادهای کاربردی و پژوهشی ارائه می‌شود.

پیشنهادهای کاربردی

با توجه به نتایج حاصل می‌توان چنین استدلال کرد که استفاده از چنین مدل‌هایی، این امکان را برای شرکت‌ها ایجاد خواهد کرد که بتوانند تصمیمات یکپارچه و رضایت‌بخشی در زنجیره تأمین خود اتخاذ کنند و با این امر زمینه کاهش هزینه‌ها و در نتیجه افزایش توان رقابتی خود را فراهم آورند. بنابراین توصیه می‌شود که در کارخانه محل مطالعه و کارخانجاتی با شرایط مشابه، کلیه تصمیمات مربوط به خرید، تولید و توزیع به‌صورت یکپارچه و با لحاظ نمودن سودآوری کل زنجیره اتخاذ شود و به‌صورت فعلی نباشد که هر بخش از زنجیره با توجه به سودآوری خود به برنامه‌ریزی اقدام می‌نماید.

تصمیم‌های مربوط به خرید باید با توجه به ملاک‌های مدنظر در حسابداری مدیریت اتخاذ شود. اکثر سازمان‌ها و حتی پژوهش‌های علمی، هزینه‌های فرصت مانند هزینه‌های نگهداری موجودی را لحاظ نمی‌کنند یا اینکه در محاسبه هزینه‌های حمل، واقعیت را در نظر نمی‌گیرند و برخی تورم قیمتی را به‌عنوان معیار ذهنی در مدل لحاظ می‌کنند که در واقع معیاری عینی است. بررسی و لحاظ این موارد می‌تواند به بهبود عملکرد سازمان کمک نماید.

مدل توسعه داده‌شده تنها در یکی از کارخانه‌های شرکت مورد مطالعه و برای یک دوره شش‌ماهه به کار گرفته شده است. چنانچه مدل برای کل کارخانه‌های شرکت و برای کل محصولات و در طول سال به کار گرفته شود، قطعاً نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌کند.

پیشنهاد‌های پژوهشی

- مدل توسعه داده‌شده برای تأمین‌کنندگان فعلی شرکت به کار گرفته شده است، می‌توان مدل را به‌گونه‌ای توسعه داد که یک تابع هدف جداگانه برای اولویت‌بندی و انتخاب کلیه تأمین‌کنندگان بالقوه شرکت تعریف شود.
 - مدل پژوهش را می‌توان با اندکی تغییر در سایر شرکت‌ها و صنایع دیگر نیز به کار گرفت و پایایی آن را در بهبود و تصمیمات موجودی آن شرکت‌ها سنجید.
 - در این پژوهش فقط سطح عملیاتی زنجیره تأمین مدنظر بود و در طول سطح عملیاتی به مدل‌سازی پرداخته شد. در پژوهش‌های آینده می‌توان سطوح تاکتیکی و استراتژیک زنجیره تأمین را هم در نظر گرفت و ورودی‌های سطح عملیاتی را با توجه به خروجی‌های سطح قبل تعدیل کرد.
 - می‌توان با واردکردن پارامترهای دیگری چون هزینه راه‌اندازی، هزینه‌های تولید در وقت عادی و اضافه‌کاری و... مدل را بسط داد و نتایج واقعی‌تری به دست آورد.
 - در نهایت اینکه می‌توان از روش‌ها و ابزارهای دیگری برای حل مدل استفاده کرد و نتایج آن را با نتایج این پژوهش مقایسه کرد.
- این پژوهش برگرفته از پایان‌نامه محمد ثابت مطلق است، از این رو پژوهشگران لازم می‌دانند از تمام کسانی که در جمع‌آوری داده‌ها و تکمیل پژوهش به ایشان یاری رساندند، قدردانی کنند.

References

- Agrawal, N., & Cohen, M. A. (2001). Optimal material control in an assembly system with component commonality. *Naval Research Logistics*, 48(5): 409 – 429.

- Amiri, M & Jahani, S. (2010). Application of IDEA/AHP for Supplier evaluation and Selection. *Journal of industrial management*, 2(5): 5-18. (in Persian)
- Bhakoo, V., Singh, P., & Sohal, A. (2012). Collaborative management of inventory in Australian hospital supply chains: practices and issues. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(2): 217 – 230.
- Farsijani, H, & Abdoos, M.R. (2011). Using the Fuzzy Models for Ordering System in Inventory Control. *Journal of industrial management*, 3(6): 99-112. (in Persian)
- Gholamian, N., Mahdavi, I., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2016). Multi-objective multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty: fuzzy multi-objective optimisation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29(2), 149-165.
- Hooshmandi Maher, M., Amiri, M. & Olfat, L. (2014). A mathematical model for supplier selection and order allocation in a supply chain considering uncertainty in design variables- for print. *Journal of industrial management*, 6(1): 151-180. (in Persian)
- Lee.Y.H, & Kim .S.H. (2002). Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints, *computer and industrial engineering*. 43: 169-190.
- Liu, S., & Papageorgiou, L. G. (2013). Multi objective optimization of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry. *Omega*, 41(9): 369–382.
- Nasiri, G. R., Davoudpour, H., & Karimi, B. (2010). The impact of integrated analysis on supply chain management: a coordinated approach for inventory control policy. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(4): 277 – 289.
- Nasiri, G. R., Zolfaghari, R., & Davoudpour, H. (2014). An integrated supply chain production-distribution planning with stochastic demands. *Computers & Industrial Engineering*, 74(4):35–45.
- Nonino, F., & Panizzolo, R. (2007). Integrated production/distribution planning in the supply chain: the Febal case study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(2): 150 – 163.
- Pahl, J., & Voß, S. (2014). Integrating deterioration and lifetime constraints in production and supply chain planning: A survey. *European Journal of Operational Research*, 238(3): 654–674.

- Park, M., & Kim, Y. (1999). Heuristic algorithm for a production planning problem in an assembly system. *Journal of the Operational Research Society*, 50(2): 138 – 147.
- Park, M., & Kim, Y. (2000). Branch and bound algorithm for a production scheduling problem in an assembly system under due date constraints. *European Journal of Operational Research*, 123(3), 518-504.
- Pokharel, Sh. (2008). A two objective model for decision making in a supply chain. *Int. J. Production Economics*. 111 (2): 378–388.
- Powell, S., G., & Pyke, D. F. (1998). Buffering unbalanced assembly systems. *IIE Transactions*, 30(1): 55 – 65.
- Premaratne, S. (2005). A conceptual framework for supply chain management: a structural integration. *Supply Chain Management: An International Journal*, 10(1): 47 - 59.
- Sadeghi Moghadam, M.R., Momeny, M. & Nalchigar, S. (2009). Material Flow Modeling in Supply Chain Management with Genetic Algorithm Approach, *Journal of industrial management*, 1(2): 71-88. (in Persian)
- Sahling, F., & Kayser, A. (2016). Strategic supply network planning with vendor selection under consideration of risk and demand uncertainty. *Omega*, 59, Part B, 201-214.
- Sainathuni, B., Parikh, P., Zhang, X., & Kong, N. (2014). The warehouse-inventory-transportation problem for supply chains. *European Journal of Operational Research*, 237(2): 690–700.
- Sarker, R., & Newton, C. (2002). A genetic algorithm for solving economic lot size scheduling problem. *computers and Industrial Engineering*, 42(3): 189-198.
- Simatupang, T. M., Sandroto, I. V., & Lubis, S. B. H. (2004b). Supply chain coordination in a fashion firm", *Supply Chain Management. An International Journal*, 9(3): 256 – 268.
- Taxakis, K., & Papadopoulos, C. (2016). A design model and a production–distribution and inventory planning model in multi-product supply chain networks. *International Journal of Production Research*, 1-22. doi:10.1080/00207543.2016.1158882.
- T.S, C., S.H, C., & .W, S. (2005). A hybrid genetic algorithm for production and distribution. *Omega*, 33: 345–355.
- Validi, S., Bhattacharya, A., & Byrne, P. (2014). A case analysis of a sustainable food supply chain distribution system—A multi-objective approach. *International Journal of Production Economics*, 152: 71–87.

- Worawichai, C., Kullpattaranirun, T., & Rungreunganun, V. (201۰). Applying Genetic Algorithms for Inventory Lot-Sizing Problem with Supplier Selection under Storage Space. *AIJSTPME*, 3(4): 37-45.
- Zhang, Z.-H., Li, B.-F., Qian, X., & Cai, L.-N. (2014). An integrated supply chain network design problem for bidirectional flows. *Expert Systems with Applications*, 41(9): 4298–4308.
- Zhen, L. (2014). A three-stage optimization model for production and outsourcing under China's export-oriented tax policies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 69(c): 1–20.