

مدل یکپارچه تامین-تولید-توزیع با هدف ماکزیمم سازی سود (مطالعه موردی: کارخانه زیماند آریافر)

سوده مشیری^۱، علیرضا رشیدی کمیجان^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۰ نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

در مقاله حاضر، یک مدل ریاضی در سیستمی چند دوره‌ای و چند محصولی با در نظر گرفتن سه سطح اصلی زنجیره تأمین برای کارخانه زیماند آریافر ایجاد می‌شود که از طریق آن و پس از حل آن با نرم‌افزار گمز، برنامه یکپارچه خرید، تولید و توزیع کارخانه با جزییات در راستای حداکثر سازی سود، مشخص می‌شود. در انتهای تحقیق نیز آنالیز حساسیت مدل برای آگاهی از حساسیت هزینه‌های کارخانه نسبت به تغییرات تقاضا و همچنین تغییرات حداکثر عرضه مواد اولیه جهت بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی انجام می‌گیرد. با توجه به جواب‌های به‌دست‌آمده از مدل و مقایسه آن با وضع موجود کارخانه‌ی مورد مطالعه، کارایی مدل در بهینه‌سازی وضعیت موجود توسط مدیران مربوطه مورد تأیید قرار گرفته است. در محاسبه‌ی هزینه‌ها، بیشترین هزینه مربوط به هزینه‌ی خرید بوده که حدود ۸۰٪ از کل هزینه‌ها را شامل می‌شود و کمترین هزینه نیز مربوط به هزینه‌ی نگهداری محصول نزد مشتری است، که فقط ۰.۰۰۷٪ از کل هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. سود کارخانه در طول این ۶ روز نیز برابر با ۵۷۷۳۴۰۰ تومان محاسبه شده که به گفته مدیران مربوطه، در مقایسه با حالت عادی ۲۸٪ افزایش داشته است. در این تحقیق، به علت پیروی از سیاست تولید بر اساس تقاضا حجم موجودی محصولات در مرکز تولید و مراکز مشتریان حدود ۲۸٪ کاهش یافته است. حجم موجودی مواد اولیه نیز به‌طور متوسط ۲۰٪ کاهش یافته که این، خود کاهش قابل‌توجهی را در هزینه‌ها و در نتیجه قیمت تمام‌شده محصولات در پی خواهد داشت.

کلیدواژگان: مدل یکپارچه، برنامه‌ریزی یکپارچه خرید-تولید-توزیع، زنجیره تأمین

^۱ دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع - صنایع، دانشگاه ایوانکی، ایوانکی

^۲ دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه، فیروزکوه

فیروزکوه، صندوق پستی: ۱۴۸، rashidi@azad.ac.ir

۱- مقدمه

در سیستم‌های سنتی برنامه‌ریزی، هر یک از اجزای یک زنجیره تأمین به‌طور مستقل سعی در بهینه‌سازی تصمیمات خود می‌کند. از دیدگاه صاحب‌نظران مدیریت زنجیره تأمین^۱، این امر نه تنها موجب بهینه‌سازی کل زنجیره تأمین نخواهد شد، بلکه گاه باعث ایجاد ناهماهنگی‌هایی میان این واحدها می‌شود، در صورتی که در مدیریت زنجیره این تصمیمات به صورت یکپارچه و هماهنگ اتخاذ می‌شود و ضمن بهینه‌سازی تصمیمات در کل اجزا زنجیره، باعث کاهش قابل توجهی در هزینه‌های تدارک و تحویل یک محصول به مشتری نهایی می‌گردد [۱]. مدیریت زنجیره تأمین مجموعه‌ای از روش‌ها با برای یکپارچه نمودن مؤثر عرضه‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها است تا محصولات موردنیاز به مقدار مشخص و در زمان معین و در مکان معین تولیدشده و به مشتریان عرضه شود تا هزینه‌های کل زنجیره حداقل شود و در ضمن نیاز مشتریان با سطح سرویس بالا برآورده شود [۲].

۲- مفاهیم نظری و پیشینه

امروزه شیوه‌های مدیریت گذشته که یکپارچگی کمتری را در فرایندهایشان دنبال می‌کردند کارایی خود را از دست داده‌اند و زنجیره تأمین به‌عنوان یک رویکرد یکپارچه برای مدیریت مناسب جریان مواد، کالا، اطلاعات و مالی، توانایی پاسخگویی به شرایط را دارا می‌باشد [۳]. اتخاذ تصمیمات مناسب در سطوح مختلف سازمان‌ها در اکثر زمینه‌ها به‌طور مکرر و همیشگی وجود داشته که این موضوع خود یکی از دلایل قدرتمند به منظور ارائه مدل‌های مناسب و کاربردی مسائل زنجیره تأمین بوده و باعث هرچه نزدیکتر شدن مسائل به شرایط دنیای واقعی می‌گردد. تصمیمات مربوط به انتخاب تأمین‌کنندگان، برنامه ریزی مسائل خرید-تولید-توزیع، حمل و نقل و توزیع، تولید- موجودی، ارزیابی مشتریان و ... از جمله این مسائل هستند. تصمیماتی که در رابطه با کیفیت، زمان، قیمت، منبع و مقدار مناسب خرید اتخاذ می‌شود مربوط به برنامه ریزی خرید است، به‌گونه‌ای که کمبود اقلام، روند فعالیت‌ها را در سازمان مختل نسازد و با حداقل سرمایه‌گذاری به حفظ اطمینان در سازمان برسد. اتخاذ تصمیماتی که سازنده جهت تولید کالای سفارش شده و زمان و تعداد آن به منظور برآورده کردن نیاز مشتری خواهد گرفت، برنامه ریزی تولید در زنجیره تأمین است. همچنین مسائل برنامه ریزی توزیع در زنجیره تأمین نیز در برگیرنده تصمیماتی برای پیدا کردن کانالی جهت تحویل کالا از یک سازنده به یک توزیع‌کننده یا مشتری است. این مسائل وابستگی متقابلی به یکدیگر دارند از این رو بایستی آنها را به‌طور همزمان در یک روش یکپارچه به کار برد تا هزینه‌ها با سود حاصل از آن در زنجیره مینیمم (ماکزیمم) شود [۴].

^۱ Supply chain Management

با توجه به مطالب عنوان شده و همچنین به دلیل مشکلاتی که برای کارخانه مورد مطالعه ذکر می شود ضرورت ایجاد برنامه یکپارچه برای آن مشخص است. کارخانه مورد مطالعه یعنی کارخانه زیماند آریافر، به تولید تسمه های بسته بندی در انواع PP و Pet^۲ می پردازد که البته تسمه PP خود دارای زیرمجموعه های مختلفی است، که این تنوع با تغییر نوع ماده اولیه و کشش و حرارت وارده به تسمه در حین تولید به دست می آید. از آنجایی که صنعت تولید تسمه های اتوماتیک و نیمه اتوماتیک تنها کمتر از ۲۰ سال است که وارد کشور ما شده و افراد بسیار کمی در این زمینه فعالیت دارند، بررسی یکی از کارخانه های فعال در این زمینه، که دارای صادرات به برخی از کشورها نیز می باشد و برای تولید خود به غیر از موارد خاص، تمام مواد اولیه خود را از مواد تولید شده در ایران تهیه می کند، حائز اهمیت است. به علاوه چنین تحقیقی برای اولین بار در صنعت تولید تسمه اتومات انجام می پذیرد.

در بررسی همه جانبه برنامه کارخانه مذکور، وجود پاره ای از مشکلات در برنامه ریزی آن ها مشخص شد. از جمله اینکه تنوع تسمه تولیدی کارخانه بالا و تعداد خطوط تولید، ۴ خط می باشد. در نتیجه برای تولید هر نوع تسمه خط تولید نیاز به تعویض دارد که با هر بار تعویض، خط حدوداً یک ساعت متوقف شده و ضایعات تولیدی ابتدای کار حدود ۵ تا ۶ کیلوگرم مواد اولیه است. حال اگر با آگاهی کامل از برنامه فروش، برنامه تولید مناسب و زمان بندی صحیح از تولید در دست باشد، تعویض خط به میزان کمتری انجام گرفته و صرفه جویی بزرگی در استفاده از زمان و مواد اولیه ایجاد می شود. همچنین به دلیل کوچک بودن انبار مواد اولیه، در طول تولید گاهی با مشکل کمبود بعضی از مواد اولیه مواجه می شوند. به علاوه به دلیل در دسترس نبودن یک برنامه تولید مشخص، واحد نت دائماً با مشکل برای سرویس ماهیانه دستگاه ها در زمان توقف خط تولید مواجه است. با توجه به این موارد، به لزوم ایجاد یک برنامه یکپارچه برای کارخانه مذکور پی می بریم.

نحوه کلی تولید کارخانه بدین صورت است، ابتدا مواد اولیه مورد نیاز توسط مکنده وارد قیف انباره مواد شده و در آنجا گازگیری می شوند، مواد از زیر قیف وارد اکسترودر می شود و بعد از گرما دیدن و کشش در این مرحله و عبور از گرمکن و عبور از قالب، تسمه خمیری شکل وارد وان آب اول می شود. حال برای کالیبره کردن اولیه سائز، تسمه از روی غلتک های کشنده اول عبور می کند و پس از آن وارد کوره شماره یک می شود. اکنون نوبت سائز کردن و آنیل شدن کریستالی مواد است پس تسمه از کشنده دوم عبور می کند، سپس از غلتک عاج می گذرد تا تسمه ها دارای عاج شوند. پس از آن تسمه جهت تنش گیری و صاف شدن وارد کوره دوم می شود و بعد از آن بلافاصله برای تثبیت

^۱ پلی پروپیلن

^۲ پلی اتیلن ترفتالات

وارد حوضچه آب سرد می‌شود. درنهایت تسمه‌ها از کشنده سوم عبور کرده و توسط دستگاه جمع‌کن بر روی قرقره جمع‌آوری می‌شوند.

ایده مدیریت زنجیره تأمین در اوایل دهه ۱۹۹۰ مطرح گردید و از آنجایی که موضوع کاهش رویدادهای نامطلوب و غیر پیش‌بینی‌شده به واسطه مدیریت یکپارچه زنجیره که منجر به افزایش سود تمامی اعضا (تأمین‌کننده، کارخانجات و مشتریان) می‌شود، به وجود آمد، علاقه محققان و کسانی که در این زمینه فعالیت می‌کنند به‌طور ملموسی جهت توسعه و ارائه مدل‌ها و الگوهای کارآمدتر افزایش یافت [۵]. تا به حال تحقیقات بسیار زیادی در زمینه برنامه‌ریزی خرید، تولید و توزیع صورت پذیرفته است که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

ژانگ و همکاران یک مدل MINLP را برای یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت خرید و ترکیب نفت خام ارائه دادند. تمرکز کار آن‌ها بر روی آنالیز انعطاف‌پذیری عملیات است؛ آن‌ها ظرفیت یک پالایشگاه را برای کنترل عدم قطعیت تأخیر در تحویل مشخص کردند و هدفشان رسیدن به حداکثر مقدار در رابطه‌ی حداکثر سازی سود و حداکثر سازی انعطاف‌پذیری است [۶]. استاودس دوتیر و همکاران برنامه‌ریزی خرید را در صنعت تولید نفت، با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط انجام دادند و روش حلشان را با استفاده از داده‌های تاریخی استات اوایل (شرکت نفت و گاز نروژی) و تجزیه و تحلیل‌های جامع عددی تست کردند. آن‌ها از طریق روش حل خود موفق به ایجاد یک برنامه خرید امکان‌پذیر شدند، که این برنامه می‌توانست برنامه خرید موجود را به سرعت، با موقعیت‌های خرید منحصربه‌فرد تطبیق دهد [۷]. رحمانی و همکاران یک مدل بهینه‌سازی استوار عدد صحیح مختلط، برای توانمندسازی برنامه‌ریزی تولید چند محصول دومرحله‌ای تحت شرایط عدم اطمینان ایجاد کردند (مطالعه موردی کارخانه یخچال). پارامترهایی مانند هزینه‌های تولید و تقاضای مشتری در این مدل نامشخص بود. هدف مدل آن‌ها به حداقل رساندن هزینه‌های و همچنین کاهش اثر نوسانات پارامترهای نامشخص با در نظر گرفتن تمام حالات ممکن آینده، بود [۸]. گوپتا و موهانتی به برنامه‌ریزی تولید چند مرحله‌ای با چند هدف متضاد و غیرمتناسب، از طریق مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح فازی پرداختند. مطالعه موردی آن‌ها تولید میل‌لنگ در صنعت خودرو بود. آن‌ها یک روش مبتنی بر منطق فازی برای حفظ رابطه متعادل ورودی و خروجی موردنظر در هر مرحله و محصول نهایی تولید فراهم کردند [۹]. بویلاکوا و همکاران از روش بهینه‌سازی ژنتیک چند هدفه برای طراحی استراتژیک شبکه‌های توزیع استفاده کردند (مطالعه موردی: شبکه توزیع یک شرکت ایتالیایی). آن‌ها با یک مسأله طراحی غیرخطی مواجه بودند که آن را از طریق بهینه‌سازی ژنتیک چند هدفه حل کردند [۱۰]. لیوو و پاپاجورجیو مدلی برای برنامه‌ریزی تولید، توزیع و ظرفیت ارائه دادند که به‌طور همزمان کل هزینه‌های زنجیره، سطح سرویس و کل جریان زمان و کل فروش ازدست‌رفته را به‌عنوان هدف دنبال کرده و برای برنامه‌ریزی ظرفیت از دو روش E- محدودیت

و لکسیکو گراف استفاده می کنند [۱۱]. معماری و همکاران به برنامه ریزی یکپارچه تولید-توزیع در زنجیره تامین سبز با رویکرد تکاملی چند هدفه پرداختند (مطالعه موردی تولید خودرو). آن ها یک مدل ریاضی چند هدفه جدید را در شبکه زنجیره تامین سبز شامل تولیدکنندگان، مراکز توزیع و فروشندگان ایجاد کردند. اهداف اصلی به حداقل رساندن هزینه های تولید، توزیع، نگهداری، هزینه کمبود در نمایندگی های مجاز و همچنین به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی شبکه لجستیک بود [۱۲]. پان و ناگی مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین یکپارچه را با هدف حداقل سازی مجموع هزینه های عملیاتی از تامین تا توزیع با در نظر گرفتن ظرفیت محدود در هر سه بخش مطرح کردند. جهت حل این مدل روش ابتکاری لاگرانژ مدنظر قرار گرفته است [۱۳]. پانگ یک زنجیره تامین یکپارچه شامل تامین کننده، سازنده و مشتری با در نظر گرفتن شرایطی که مواد اولیه و تقاضای مشتری غیر معین می باشد را معرفی نمود. تابع هدف کمینه سازی هزینه های مربوط به زنجیره تامین مورد بررسی می باشد. مدل ریاضی ارائه شده با استفاده از الگوریتم پایه بهینه سازی ازدحام ذرات مورد حل قرار گرفت [۱۴]. اوگان ولو و همکاران یک مدل برنامه ریزی خطی برای حداقل کردن هزینه های زنجیره تامین ایجاد کردند و با استفاده از قابلیت اطمینان خرید، تولید و توزیع، بهترین تامین کننده، تسهیلات تولید و توزیع کننده، مقادیر مواد اولیه ای که از هر تامین کننده باید تهیه شود، مقدار تولید محصول و میزان محصول ارسالی به هر توزیع کننده را مشخص نمودند [۱۵]. صرافها و همکاران ساختاری چند دوره ای را در جریان طراحی شبکه زنجیره تامین مشتعل بر تامین کنندگان، تولید کنندگان، مراکز توزیع و خرده فروشان، جهت دستیابی به زمان تحویل بهینه محصولات با توجه به حداقل سازی زمان های بیکاری و زمان حمل و نقل از کارخانه به مراکز توزیع و خرده فروشان در نظر گرفتند. مدل مذکور که در دسته مسائل NP-Hard قرار می گیرد توسط برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برنامه ریزی شده است و برای آن یک الگوریتم ابتکاری به نام (MOBBO) با پارامترهای تغییر یافته جهت دستیابی به راه حل بهینه ارائه شده است [۱۶]. کرباسیان و همکاران، (۲۰۱۱) به برنامه ریزی زنجیره تامین خرید، تولید و توزیع یکپارچه پرداختند. هدف اصلی آنها افزایش بهره وری و اثربخشی از طریق افزایش درآمد و کاهش هزینه ها بود. آنها با استفاده از توابع هدف خاص، خرید، تولید، توزیع ناب، و استراتژی های انتخاب تامین کنندگان را تضمین نموده و همچنین به برنامه ریزی تولید کمک کردند. علاوه بر این رضایت مشتری را نیز از طریق توابع هدفی که کمبود را حداقل می کرد و محدودیت هایی که حداکثر میزان کمبود را تعیین می کرد، در نظر گرفتند. در نهایت استراتژی بهینه را از طریق تصمیمگیری چند معیاره روش ELECTRE انتخاب کردند. [۱۷].

۳- روش شناسی

- این تحقیق از نوع تحقیقات کاربردی (عملی) است که نتایج آن مستقیماً برای حل مسئله یا مشکل کارخانه‌ی مورد مطالعه استفاده می‌شود.
- روش تحقیق ایجاد یک مدل یکپارچه خرید-تولید-توزیع برای کارخانه‌ی زیرمبند و حل مدل با کمک داده‌های دریافتی از کارخانه و رفع مشکلات سیستم از طریق نتایج حاصله از حل مدل می‌باشد.
- نحوه جمع‌آوری داده‌ها به صورت میدانی و ابزار گردآوری داده‌ها مصاحبه، مشاهده می‌باشد.
- ابزار مورد استفاده در این تحقیق نرم افزار گمز است که کاربرد آن برای حل دقیق مدل‌های ریاضی می‌باشد. پس از ورود مدل و داده‌های حقیقی دریافتی از کارخانه در نرم افزار و اجرای آن نتایج تحلیل خواهند شد.

در این مسأله یک زنجیره تأمین سه سطحی مفروض است که در آن چندین مشتری و چندین تأمین‌کننده برای تولیدکننده وجود دارد. در این زنجیره، کارخانه چندین محصول خاص را ارائه می‌کند که برای هر محصول نهایی تقاضایی ثابت و مشخص از سوی مشتریان وجود دارد. مفروضات مدل ارائه‌شده برای حل مسأله به شرح زیر است:

- تقاضا قطعی است.
- کمبود برای مشتری مجاز است و به صورت فروش از دست‌رفته تلقی می‌شود.
- قیمت واحد مواد در بازار ثابت است.
- هزینه‌های تولید، نگهداری موجودی و ... مشخص و ثابت است.
- مشتری امکان تحویل پیش از موعد محصول را دارد که این محصولات مشمول هزینه نگهداری می‌شوند.
- ظرفیت انبار مشتریان نامحدود است.
- در آغاز دوره، موجودی کارخانه و مشتریان صفر می‌باشد.
- هر وسیله نقلیه که از کارخانه به مشتری اعزام می‌شود، در هر بار عزیمت فقط به یک مشتری سرویس می‌دهد.
- هر وسیله نقلیه که از کارخانه به مشتری اعزام می‌شود، در طول روز می‌تواند به مشتریان مختلفی سرویس دهد مشروط بر اینکه بعد از سرویس‌دهی به هر مشتری به کارخانه بازگردد و بارگیری مجدد شود.

اندیس‌ها و مجموعه‌ها

T : مجموعه کل روزهای افق برنامه‌ریزی

t : اندیس روز ($t \in T$)

I: مجموعه تمام مواد اولیه

i : اندیس ماده اولیه ($i \in I$)

K: مجموعه تمام مشتریان

k : اندیس مشتری ($k \in K$)

J: مجموعه تمام محصولات نهایی

j : اندیس محصول ($j \in J$)

I_i : مجموعه محصولاتی که ماده اولیه i در آن به کار رفته است

J_k : مجموعه محصولاتی که موردنیاز مشتری K است.

K_j : مجموعه مشتریانی که محصول J را مصرف می کنند

N: مجموعه تمام وسایل نقلیه مورد استفاده

n : اندیس وسیله نقلیه ($n \in N$)

S: مجموعه تمام تأمین کنندگان

s : اندیس تأمین کننده ($s \in S$)

S_i : مجموعه تأمین کنندگانی که می توانند ماده اولیه i را تهیه کنند

I_s : مجموعه مواد اولیه ای که تأمین کننده S قادر به تهیه آن است.

پارامترها و اسکالرها

D_{jkt} : تقاضای مشتری k برای محصول j در روز t

C_j : هزینه تولید هر کیلوگرم محصول j

C'_{is} : هزینه خرید هر کیلوگرم ماده اولیه i از تأمین کننده S

FC_{st} : هزینه ثابت سفارش دهی به تأمین کننده S در روز t

h_i : هزینه نگهداری یک کیلوگرم ماده اولیه i

h'_j : هزینه نگهداری یک کیلوگرم محصول j

SC_{jkt} : هزینه مواجه با کمبود یک کیلوگرم محصول j برای مشتری k در روز t

h''_{jk} : هزینه نگهداری هر کیلوگرم محصول j نزد مشتری k

P_{tj} : قیمت فروش هر کیلوگرم محصول j

$Time_j$: زمان ساخت یک کیلوگرم محصول j در کارخانه

$Time'_j$: زمان آماده سازی خط برای تولید محصول j در کارخانه

Cap_t : ظرفیت زمانی تولید در کارخانه در روز t

SU_j : هزینه آماده سازی تولید محصول j توسط کارخانه

TC_s : هزینه انتقال یک کیلوگرم مواد اولیه از تأمین کننده S به کارخانه

FTC_{kn} : هزینه ثابت ارسال وسیله نقلیه n از کارخانه به مشتری k

$time''_k$: زمان رفت و برگشت از کارخانه به مشتری k

Ap_j : حجم هر واحد محصول j

Ar_i : حجم هر واحد ماده اولیه i

SP_n : ظرفیت وسیله نقلیه n بر حسب کیلوگرم

T_{ij} : ضریب مصرف ماده اولیه i برای تولید هر کیلوگرم محصول j

U_{ist} : حداکثر عرضه ماده اولیه i توسط تأمین کننده s در روز t

L_{ist} : حداقل عرضه ماده اولیه i توسط تأمین کننده s در روز t

V : مساحت انبار کارخانه برای مواد اولیه و محصولات

M : عدد بسیار بزرگ

B : بودجه خرید کارخانه

$Hour$: ساعات کاری یک روز

متغیرها

X_{ist} : مقدار ماده اولیه i که در روز t توسط عرضه کننده s ارسال می شود.

X'_{jt} : مقدار محصول j که در روز t تولید می شود.

X''_{jkt} : مقدار محصول j که در روز t برای مشتری k توسط وسیله نقلیه n فرستاده می شود.

Inv_{it} : موجودی ماده اولیه i در انبار در انتهای روز t

Inv'_{jt} : موجودی محصول j در انبار در انتهای روز t

SH_{jkt} : کمبود مشتری k برای محصول j در روز t

Inv''_{jkt} : موجودی مشتری k برای محصول j در انتهای روز t

Z_{ist} : متغیر صفر و یک نشان دهنده خرید و یا عدم خرید ماده اولیه i از تأمین کننده s در روز t

Z'_{nkt} : متغیر صفر و یک نشان دهنده عزیمت و یا عدم عزیمت وسیله نقلیه n در روز t از کارخانه به

مشتری k

e_{jt} : متغیر صفر و یک نشان دهنده تولید و یا عدم تولید محصول j در روز t در کارخانه

محدودیت ها و تابع هدف

محدودیت های مدل به این شرح است:

s. t.

$$\sum_{j \in J} (time_j X'_{jt} + time'_j e_{jt}) \leq Cap_t \quad \forall t \in T \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} Ap_j Inv'_{jt} + \sum_{i \in I} Ar_i Inv_{it} \leq V \quad \forall t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} time_k'' Z'_{knt} \leq Hour \quad \forall n \in N, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J_k} X_{jknt}'' \leq SP_n Z'_{knt} \quad \forall t \in T, n \in N, k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{n \in N} X_{jknt}'' + SH_{jkt} + Inv_{jk(t-1)}'' = D_{jkt} + Inv_{jkt}'' \quad \forall k \in K, \\ t \in T, j \in J_K \quad (5)$$

$$\sum_{s \in S_i} X_{ist} + Inv_{i(t-1)} = \sum_{j \in J_i} r_{ij} X'_{jt} + Inv_{it} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (6)$$

$$X'_{jt} + Inv'_{j(t-1)} = \sum_{k \in K_j} \sum_{n \in N} X_{jknt}'' + Inv'_{jt} \quad \forall t \in T, j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S_i} \sum_{t \in T} (C'_{is} X_{ist} + TC_s X_{ist} + Z_{ist} FC_{st}) \leq B \quad (8)$$

$$L_{ist} Z_{ist} \leq X_{ist} \leq U_{ist} Z_{ist} \quad \forall i \in I, s \in S_i, t \in T \quad (9)$$

$$X'_{jt} \leq Me_{jt} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (10)$$

$$e_{jt}, Z_{ist}, Z'_{knt} : \text{Binary}, \\ X_{ist}, X'_{jt}, X_{knt}'', Inv_{it}, Inv'_{jt}, SH_{jkt}, Inv_{jkt}'' \geq 0 \quad (11)$$

تابع هدف مسأله نیز به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{j \in J} \sum_{k \in K_j} \sum_{n \in N} \sum_{t \in T} Pr_j X_{jknt}'' - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S_i} \sum_{t \in T} C'_{is} X_{ist} - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S_i} \sum_{t \in T} Z_{ist} FC_{st} - \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} SU e_{jt} \\ & - \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} C_j X'_{jt} - \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} h_i Inv_{it} - \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} h'_j Inv'_{jt} \\ & - \sum_{j \in J} \sum_{k \in K_j} \sum_{t \in T} h''_{jk} Inv_{jkt}'' - \sum_{j \in J} \sum_{k \in K_j} \sum_{t \in T} SC_{jkt} SH_{jkt} - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S_i} \sum_{t \in T} TC_s X_{ist} \\ & - \sum_{k \in K} \sum_{n \in N} \sum_{t \in T} FTC_{kn} Z'_{knt} \quad (12) \end{aligned}$$

محدودیت (۱) مربوط به ظرفیت زمانی کارخانه برای تولید است. این محدودیت بیان می‌دارد، مجموع زمان لازم برای راه‌اندازی دستگاه‌ها برای تولید هریک از محصولات و زمان لازم برای تولید هر محصول در هر روز از زمان تولید روزانه در دسترس بیشتر نشود. محدودیت (۲) مربوط به ظرفیت انبار کارخانه

می‌باشد. با توجه به اینکه انبار مواد اولیه و محصولات در کارخانه یکی می‌باشد، این محدودیت نشان می‌دهد که فضای اشغال شده توسط مواد اولیه خریداری شده و محصولات تولیدی در یک روز خاص و مواد اولیه و محصولاتی که از روز قبل در انبار قرار دارند، از فضای انبار تجاوز نکند. محدودیت (۳) نشان می‌دهد که یک وسیله نقلیه می‌تواند در یک روز به دفعات از کارخانه به مشتریان اعزام شود مشروط بر اینکه این کار در طول ساعات کاری آن روز انجام شود (به لحاظ محدودیت زمانی مشکل ایجاد نشود). محدودیت (۴) مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه‌ای است که بین کارخانه و مشتریان در حرکت هستند. این محدودیت علاوه بر نشان دادن ظرفیت محدود وسایل نقلیه، ارتباط بین X''_{jkt} و Z'_{nkt} را نشان می‌دهد. محدودیت (۵) توازن موجودی مشتریان را نشان می‌دهد. تقاضای یک مشتری در خصوص یک محصول یا برآورده می‌شود یا نمی‌شود. در صورت برآورده شدن، ممکن است دقیقاً به میزان تقاضا به مشتری جنس ارسال شود یا بیش از تقاضا ارسال گردد که در این حالت مشتری موجودی خواهد داشت. در صورت عدم برآورده شدن تقاضا نیز با فروش از دست رفته مواجه خواهیم شد. محدودیت (۶) توازن موجودی ماده اولیه را برای کارخانه نشان می‌دهد. این محدودیت بیان‌کننده این موضوع است که موجودی ابتدای دوره ماده اولیه i به اضافه مقدار ماده اولیه خریداری شده از تأمین‌کنندگان مختلف در روز t ، بایستی برابر با جمع مقدار مصرف ماده i در تولید محصول نهایی آن روز و مقدار موجودی که از این ماده در پایان روز در انبار می‌ماند، باشد. محدودیت (۷) مربوط به موازنه موجودی محصول نهایی می‌باشد. این محدودیت بیان می‌دارد که مقدار تولید محصول به علاوه مقدار موجودی آن در انبار در ابتدای روز، برابر است با مقدار محصول ارسال شده به مشتریان به اضافه موجودی محصول در انبار در انتهای روز. محدودیت (۸) نشان می‌دهد که مجموع هزینه‌هایی که برای خرید مواد اولیه در یک روز صرف می‌شود، شامل هزینه خرید، هزینه انتقال و هزینه ثابت سفارش دهی، نباید از بودجه خرید کارخانه در آن روز تجاوز کند. محدودیت (۹) در رابطه با حد بالا و پایین عرضه مواد اولیه توسط تأمین‌کننده در هر روز است. این محدودیت بیانگر این است که میزان ماده اولیه خریداری شده در هر روز از هر تأمین‌کننده نباید از این حدود تجاوز کند. این محدودیت علاوه بر نشان دادن ظرفیت تأمین، ارتباط بین X_{ist} و Z_{ist} را نیز عنوان می‌کند. محدودیت (۱۰) در رابطه با تولید و یا عدم تولید محصول j در روز t می‌باشد. از طریق این محدودیت ارتباط منطقی بین دو متغیر X'_{jt} و e_{jt} برقرار می‌شود. این محدودیت نشان می‌دهد که در صورت تولید محصول j و مقدار گرفتن متغیر X'_{jt} ، متغیر e_{jt} برابر با یک خواهد شد و به عکس. در این رابطه، M یک عدد بسیار بزرگ فرض شده است.

تابع هدف مسأله که حداکثر شدن سود کارخانه و به عبارتی کمینه شدن هزینه‌ها را تضمین می‌کند، به صورت تابع (۱۲) نوشته می‌شود. در این رابطه جمله اول مربوط به مبلغ حاصل از فروش

تمامی محصولات در طول افق زمانی مورد بررسی است. جمله دوم هزینه خرید کلیه مواد اولیه و جمله سوم هزینه ثابت سفارش دهی، در صورت سفارش هریک از آن‌ها را نشان می‌دهد. جمله چهارم مربوط به هزینه راه‌اندازی دستگاه‌ها برای تولید هر یک از محصولات در صورت تولید آن‌ها در هر روز و جمله پنجم هزینه‌ی تولید آن‌هاست. جمله ششم، هفتم و هشتم نشان‌دهنده به ترتیب هزینه نگهداری مواد اولیه و محصولات در انبار کارخانه و محصولات در انبار مشتری می‌باشد. جمله نهم بیانگر هزینه کمبود است. جمله دهم نشان‌دهنده هزینه متغیر ارسال مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به کارخانه و جمله یازدهم نیز بیانگر هزینه ثابت ارسال وسایل نقلیه از کارخانه به مشتریان در صورت ارسال آن‌ها می‌باشد.

۴- یافته‌ها

مدل ریاضی مطرح‌شده را به کمک داده‌ها و اطلاعات دریافت شده از کارشناسان سیستم در نرم‌افزار گمز حل کردیم. بخشی از داده‌های ورودی مسأله به شرح زیر است:

- I - مجموعه مواد اولیه شامل: pet, pp, کربن، استبلایزر (stb)، رنگ، r^{60} و r^{40} است.
- K - مجموعه مشتریان شامل کارخانه‌های یخچال سازی ایستکول، مشعل گاز، لاستیک‌سازی ثامن، فارما شیمی، لمینت خاور، بامداد کارتن، توحید کارتن و البرز کاشی می‌باشد.
- J - محصولات نهایی کارخانه عبارتند از: تسمه سایز ۸ (m^8)، تسمه سایز ۱۰ (m^{10})، تسمه اتومات سایز ۱۰ (am^{10})، تسمه سایز ۱۲ (m^{12})، تسمه اتومات سایز ۱۲ (am^{12})، تسمه سایز ۱۶ (m^{16})، تسمه اتومات سایز ۱۶ (am^{16})، تسمه pet^{16}
- N - برای ارسال محصولات به مشتریان، کارخانه از وسایل نقلیه وانت، کامیون دو محور و کامیون چهار محور استفاده می‌کند
- S - مواد اولیه کارخانه توسط، آقایان فرشچی، آزادی، صفارپور، کربی و مجموعه‌های پتروشیمی مارون، پلینار تبریز، رنگ احمد، LG، AXM و Samsung تأمین می‌شوند.

پس از حل مسأله نتایج زیر حاصل شد:

برنامه خرید: برنامه‌ریزی خرید کارخانه نشان می‌دهد که مواد اولیه موردنیاز را در هر روز از کدام تأمین‌کننده و به چه میزان خریداری کنیم. خرید pp از صفارپور، pet از آزادی، کربن از صفار، استبلایزر از LG و Samsung، رنگ از رنگ احمد r^{60} از پتروشیمی مارون و r^{40} از پتروشیمی مارون باید صورت بگیرد و مقادیر آن‌ها در هر روز به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱ برنامه خرید

Table ۱ Purchase planning

روز	pp	pet	کربن	stb از LG	stb از Sam	رنگ	r ₆₀	r ₄₀
۱	۵۹۹.۲	۱۰۰	۱۲۱	۰	۲۱	۳۹	۹۸	۳۰۹
۲	۱۲۰۰	۱۳۲	۱۱۰	۳۱	۰	۰	۱۳۳	۸۴
۳	۰	۲۵۷	۱۱۸	۰	۰	۰	۸۹	۱۹۳
۴	۷۸۱	۰	۲۳۷	۵۰	۰	۴۰	۱۰۰	۲۵۴
۵	۶۰۱	۱۲۵	۰	۰	۰	۰	۸۶	۲۱۱
۶	۵۷۶	۱۱۰	۱۲۳	۰	۰	۰	۱۲۳	۲۱۹

موجودی مواد اولیه کارخانه نیز در انتهای هر روز در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ موجودی مواد اولیه کارخانه

Table ۲ Row material inventory of factory

روز	pp	pet	کربن	استبلایزر	رنگ	r ₆₀	r ₄₀
۱	۰	۳۴.۴	۰	۰	۲۸.۴	۰	۰
۲	۵۲۴.۳	۰	۰	۱۵.۲	۱۵.۸	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۱.۹	۰	۰	۰
۴	۰	۰	۱۱۰.۶	۳۳.۲	۲۳.۱	۲۳.۷	۰
۵	۰	۰	۰	۱۴.۶	۱۳.۷	۰	۰
۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

برنامه تولید: میزان تولید هریک از محصولات در هر روز به شرح جدول ۳ مشخص شده است.

جدول ۳ برنامه تولید

Table ۳ Production planning

روز	m ^۸	m ^{۱۰}	am ^{۱۰}	m ^{۱۲}	am ^{۱۲}	m ^{۱۶}	am ^{۱۶}	pet ^{۱۶}
۱	۱۸۸	۰	۱۵۵	۲۷۴	۲۵۹	۱۶۰	۱۲۰	۷۹
۲	۲۲۶	۱۵۸	۱۶۱	۰	۰	۱۹۹	۲۷۱	۲۰۰
۳	۰	۱۸۹	۱۱۳	۱۳۸	۱۴۴	۳۳۵	۰	۳۱۰
۴	۲۲۶	۲۸۳	۱۲۱	۲۵۹	۱۹۵	۰	۱۹۵	۰
۵	۲۲۰	۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۴۰	۲۶۴	۱۴۷	۱۵۱
۶	۰	۲۰۶	۱۸۸	۱۱۸	۱۸۴	۱۸۴	۱۷۶	۱۳۳

موجودی محصول در کارخانه: موجودی محصولات کارخانه در پایان روز اول برای m^{۱۲} و am^{۱۲} به ترتیب ۸۷ و ۶۱.۲۳۱ کیلوگرم و برای باقی محصولات صفر، در پایان روز دوم برای m^۸، ۸۳

کیلوگرم و برای باقی محصولات صفر، در پایان روز سوم برای m^{16} و pet^{16} به ترتیب ۱۳۸.۲۳۱ و ۱۱۱.۱۵۴ کیلوگرم و برای باقی محصولات صفر، در پایان روز چهارم برای m^{10} و am^{16} به ترتیب ۱۴۳ و ۱۱.۲۷۳ کیلوگرم و برای باقی محصولات صفر، در پایان روز پنجم برای m^8 ، ۳۷ کیلوگرم و برای باقی محصولات صفر و در پایان روز ششم برای تمامی محصولات صفر می‌باشد.

برنامه توزیع: میزان ارسال هریک از محصولات برای هر یک از مشتریان در هر روز و همچنین وسیله نقلیه مناسب برای ارسال آن‌ها در این برنامه مشخص شده است. شکل ۱، شکل ۲، شکل ۳ و شکل ۴ برنامه توزیع کارخانه ایستکول را به ترتیب در روزهای اول، دوم، چهارم و ششم نشان می‌دهند، در هر کدام از این نمودارها میزان ارسال هریک از محصولات و وسیله نقلیه‌ای که با آن باید ارسال صورت بگیرد مشخص شده است. ارسال برای این کارخانه در روزهای سوم و پنجم صورت نمی‌گیرد.

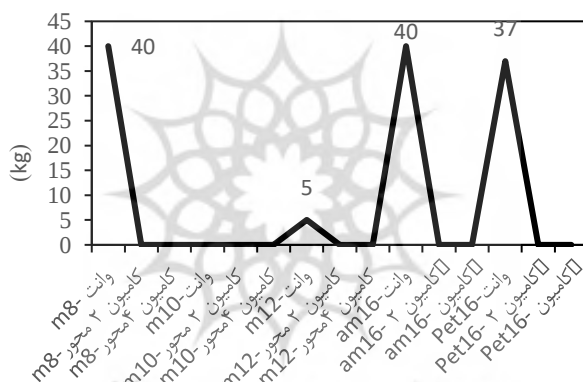


Fig. ۱ forwarding planning to istkul factory in first day

شکل ۱ برنامه ارسال به کارخانه ایستکول در روز اول

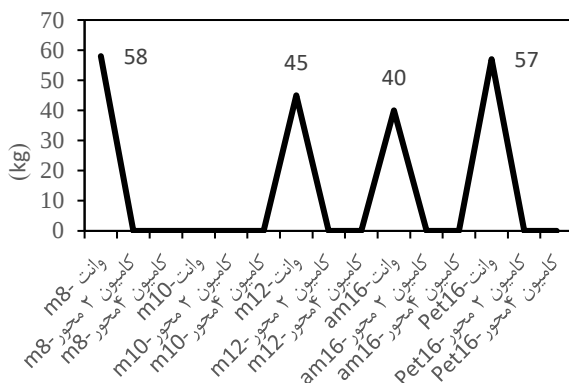


Fig. ۲ forwarding planning to istkul factory in second day

شکل ۲ برنامه ارسال به کارخانه ایستکول در روز دوم

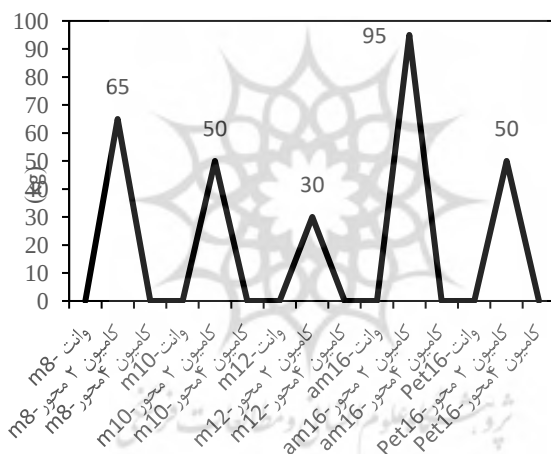


Fig. ۳ forwarding planning to istkul factory in fourth day

شکل ۳ برنامه ارسال به کارخانه ایستکول در روز چهارم

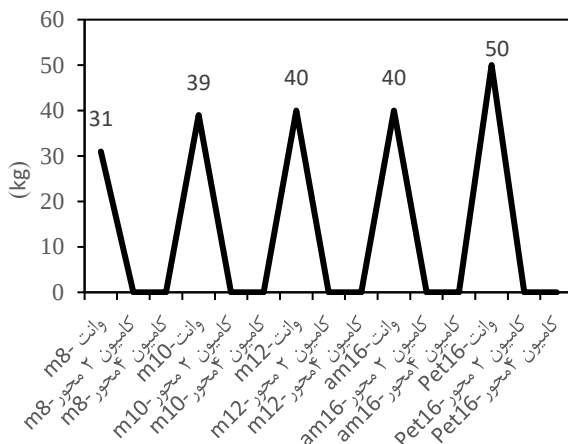


Fig. 4 forwarding planning to istkul factory in sixth day

شکل ۴ برنامه ارسال به کارخانه ایستکول در روز ششم

برنامه توزیع برای باقی مشتریان نیز به همین صورت (به تفکیک محصولات موردنیاز و وسیله نقلیه مناسب برای ارسال آنها در هر روز) مشخص شده است. کمبود مشتریان: کمبود برای محصولات m^{10} و pet^{16} در روز اول اتفاق می افتد. مقادیر آن و مشتریانی که با کمبود روبه رو می شوند به شرح زیر هستند:

جدول ۱ کمبود محصولات

Table 1 Products shortage

محصولات	ایستکول	مشعل گاز	بامداد کارتن	البرز کاشی
m^{10}	۴۰	۳۵	۴۲	۰
pet^{16}	۰	۰	۰	۲۷.۷۶۹

موجودی مشتریان در انتهای دوره: موجودی محصول کارخانه ایستکول در پایان روز اول برای محصول m^{12} با مقدار ۵ کیلوگرم و پایان روز چهارم و پنجم برای محصول m^8 با مقدار مساوی ۱۵ کیلوگرم رخ می دهد. کارخانه مشعل گاز در پایان روز سوم برای محصول pet^{16} با مقدار ۵۳ کیلوگرم، روز چهارم برای محصول pet^{16} با مقدار ۴۰۱۵۴ کیلوگرم و در پایان روزهای پنجم و ششم برای محصول m^8 با مقدار مساوی ۶۰۷۵۰ کیلوگرم موجودی خواهد داشت. کارخانه لاستیک ثامن در پایان روز دوم برای محصولات m^{10} با مقدار ۳۰۴۴۴ کیلوگرم و am^{16} با مقدار ۶۰ کیلوگرم و در پایان روز ششم برای m^{10} با مقدار ۷ کیلوگرم موجودی دارد. موجودی محصول کارخانه فارما شیمی تنها در پایان روز دوم برای محصول am^{16} با مقدار ۴۵ کیلوگرم رخ می دهد. کارخانه لمینت

خاور در پایان روز پنجم برای محصول m^8 با مقدار ۳۶ کیلوگرم و در روز ششم برای محصول m^{10} با مقدار ۱۶۱۵ کیلوگرم موجودی خواهد داشت. کارخانه بامداد کارتن در پایان روز اول برای am^{12} با مقدار ۴۱ کیلوگرم و برای m^8 در پایان روزهای چهارم و پنجم با مقدار مساوی ۴۴ کیلوگرم موجودی خواهد داشت. کارخانه توحید کارتن موجودی پایان روز برای هیچ محصولی نخواهد داشت. موجودی محصول کارخانه البرز کاشی در پایان روز اول برای محصول m^{12} ۵۸ کیلوگرم و برای محصول am^{12} ۲۵.۷۶۹ کیلوگرم، در پایان روزهای دوم و سوم برای محصول m^{16} مقدار مساوی ۰.۷۶۹ کیلوگرم و در پایان روز چهارم برای pet^{16} ۷ کیلوگرم خواهد بود.

آنالیز حساسیت

برای آنالیز حساسیت مقادیر تقاضا را، برای تمام مشتریان و در تمام دوره‌های زمانی، به میزان هر بار ۱۰٪، یکبار تا ۵۰٪ افزایش و بار دیگر تا ۵۰٪ کاهش می‌دهیم، هر بار نرم‌افزار را ران کرده و تأثیر این تغییرات را بر روی تک‌تک هزینه‌ها بررسی می‌کنیم. همچنین این مراحل را برای مقادیر حداکثر عرضه‌ی مواد اولیه نیز، برای تمامی عرضه‌کنندگان در تمامی دوره‌های زمانی طی می‌کنیم. هزینه‌های کارخانه شامل هزینه خرید، هزینه سفارش دهی، هزینه راه‌اندازی، هزینه تولید، هزینه نگهداری مواد اولیه، هزینه نگهداری محصول، هزینه نگهداری محصول نزد مشتری، هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کننده و هزینه حمل‌ونقل مشتری می‌باشد که تغییرات تمام آن‌ها نسبت به تغییرات تقاضا و حداکثر عرضه بررسی شده است. شکل ۵، شکل ۶، شکل ۷، شکل ۸، شکل ۹، شکل ۱۰، شکل ۱۱، شکل ۱۲ و شکل ۱۳ به ترتیب نشان‌دهنده تغییرات هزینه خرید، هزینه سفارش دهی و هزینه راه‌اندازی، هزینه تولید، هزینه نگهداری مواد اولیه، هزینه نگهداری محصول، هزینه نگهداری محصول نزد مشتری، هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کننده و هزینه حمل‌ونقل مشتری نسبت به تغییرات تقاضا و شکل ۱۴، شکل ۱۵، شکل ۱۶، شکل ۱۷، شکل ۱۸، شکل ۱۹، شکل ۲۰، شکل ۲۱ و شکل ۲۲ به ترتیب نشان‌دهنده تغییرات هزینه خرید، هزینه سفارش دهی و هزینه راه‌اندازی، هزینه تولید، هزینه نگهداری مواد اولیه، هزینه نگهداری محصول، هزینه نگهداری محصول نزد مشتری، هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کننده و هزینه حمل‌ونقل مشتری نسبت به تغییرات حداکثر عرضه می‌باشند.

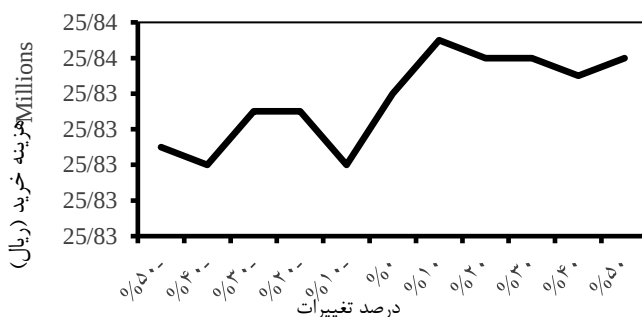


Fig. ۵ Diagram of purchase cost changes toward demand Changes

شکل ۵ نمودار تغییرات هزینه خرید نسبت به تغییرات تقاضا

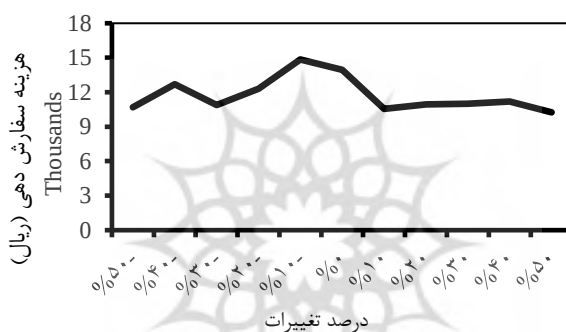


Fig. ۶ Diagram of ordering cost changes toward demand Changes

شکل ۶ نمودار تغییرات هزینه سفارش دهی نسبت به تغییرات تقاضا

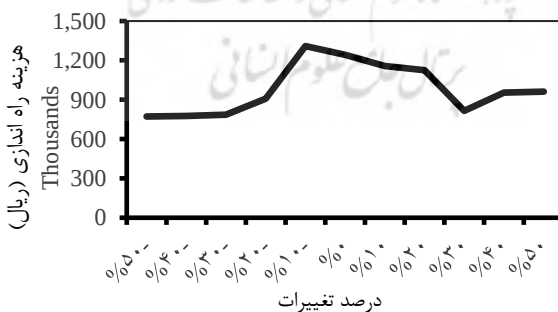


Fig. ۷ Diagram of set up cost changes toward demand Changes

شکل ۷ نمودار تغییرات هزینه راه اندازی نسبت به تغییرات تقاضا

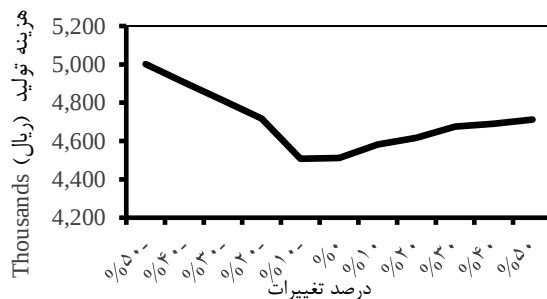


Fig. ۸ Diagram of production cost changes toward demand Changes

شکل ۸ نمودار تغییرات هزینه تولید نسبت به تغییرات تقاضا

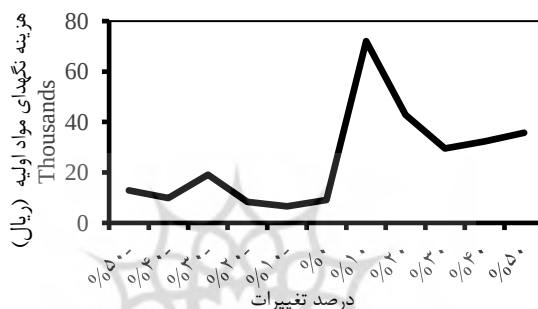


Fig. ۹ Diagram of maintenance cost changes of raw materials toward demand Changes

شکل ۹ نمودار تغییرات هزینه نگهداری مواد اولیه نسبت به تغییرات تقاضا

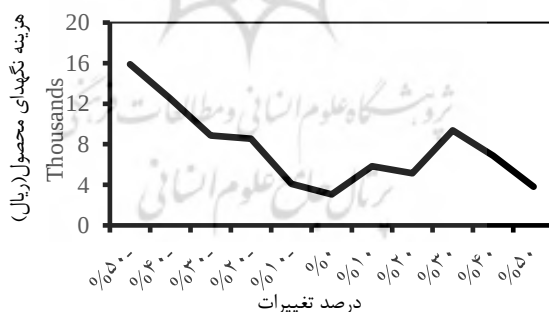


Fig. ۱۰ Diagram of maintenance cost changes of product toward demand Changes

شکل ۱۰ نمودار تغییرات هزینه نگهداری محصول نسبت به تغییرات تقاضا

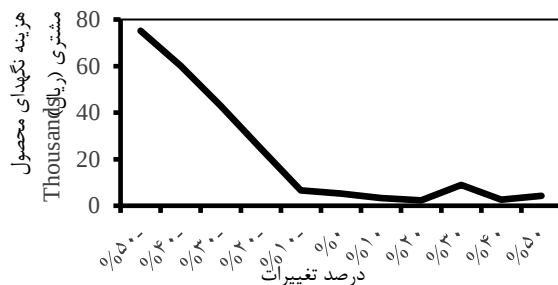


Fig. ۱۱ Diagram of cost changes of product maintenance to the customer toward demand Changes

شکل ۱۱. نمودار تغییرات هزینه نگهداری محصول نزد مشتری نسبت به تغییرات تقاضا

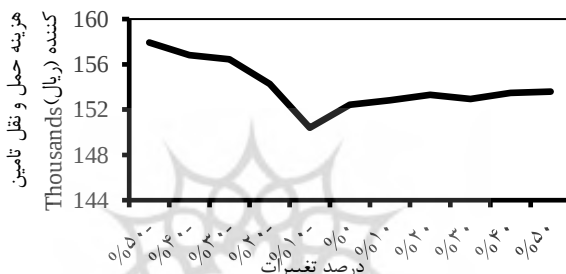


Fig. ۱۲ Diagram of cost changes of supplier transportation toward demand Changes

شکل ۱۲. نمودار تغییرات هزینه حمل و نقل تأمین کننده نسبت به تغییرات تقاضا

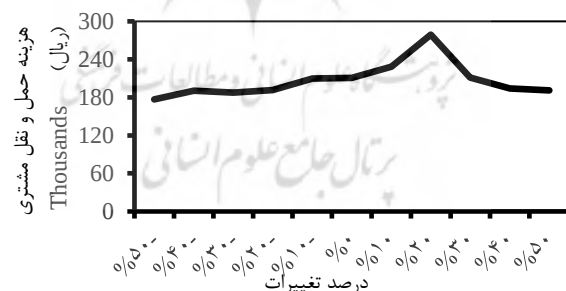


Fig. ۱۳ Diagram of customer's transportation cost changes toward demand Changes

شکل ۱۳. نمودار تغییرات هزینه حمل و نقل مشتری نسبت به تغییرات تقاضا

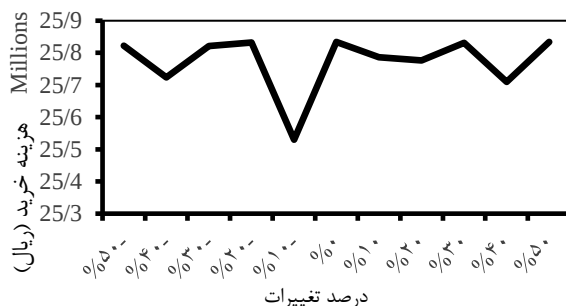


Fig. ۱۴ Diagram of purchase cost changes toward supplying maximum Changes

شکل ۱۴ نمودار تغییرات هزینه خرید نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

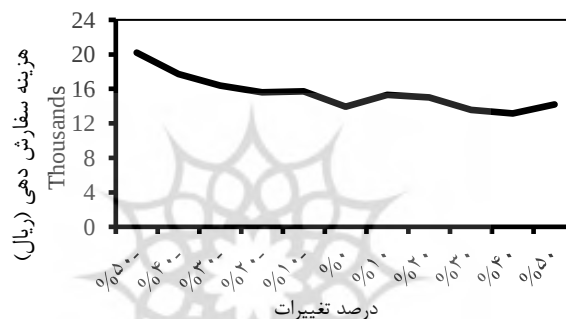


Fig. ۱۵ Diagram of ordering cost changes toward supplying maximum Changes

شکل ۱۵ نمودار تغییرات هزینه سفارش دهی نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

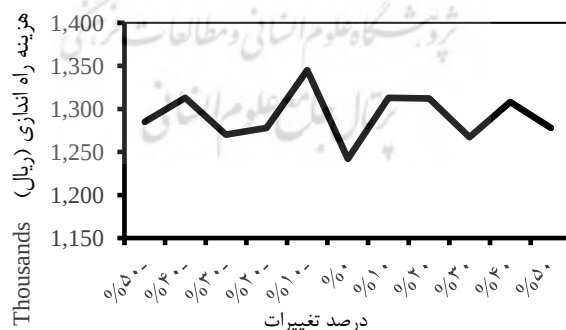


Fig. ۱۶ Diagram of set up cost changes toward supplying maximum Changes

شکل ۱۶ نمودار تغییرات هزینه راه اندازی نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

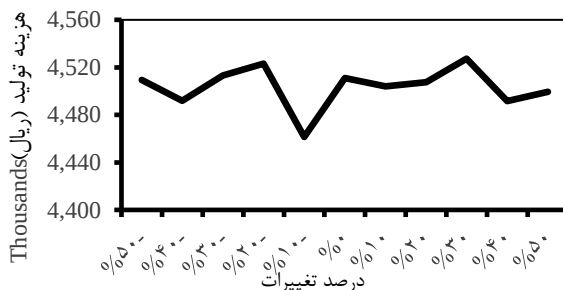


Fig. ۱۷ Diagram of production cost changes toward supplying maximum Changes

شکل ۱۷ نمودار تغییرات هزینه تولید نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

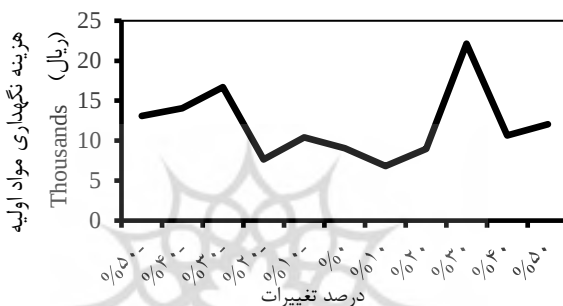


Fig. ۱۸ Diagram of maintenance cost changes of raw materials toward supplying maximum Changes

شکل ۱۸ نمودار تغییرات هزینه نگهداری مواد اولیه نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

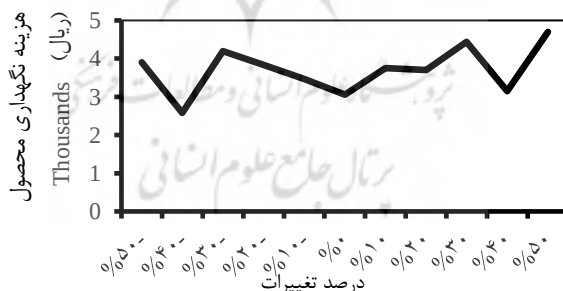


Fig. ۱۹ Diagram of maintenance cost changes of product toward supplying maximum Changes

شکل ۱۹ نمودار تغییرات هزینه نگهداری محصول نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

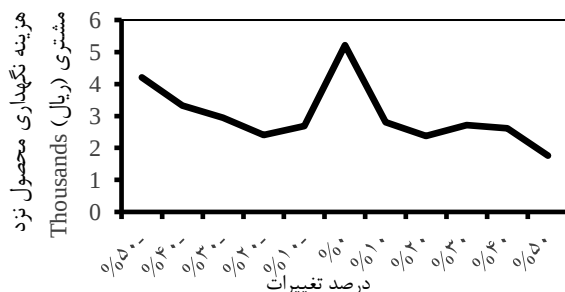


Fig. ۲۰ Diagram of cost changes of product maintenance to the customer toward supplying maximum Changes

شکل ۲۰. نمودار تغییرات هزینه نگهداری محصول نزد مشتری نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

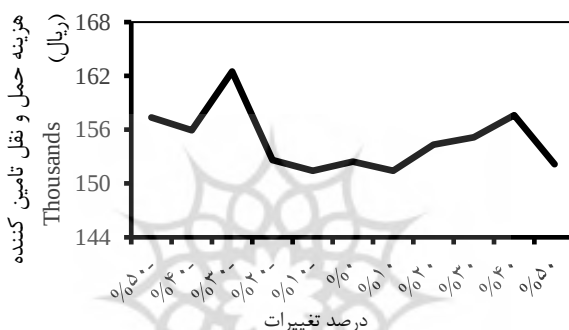


Fig. ۲۱ Diagram of cost changes of supplier transportation toward supplying maximum Changes

شکل ۲۱. نمودار تغییرات هزینه حمل و نقل تأمین کننده نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

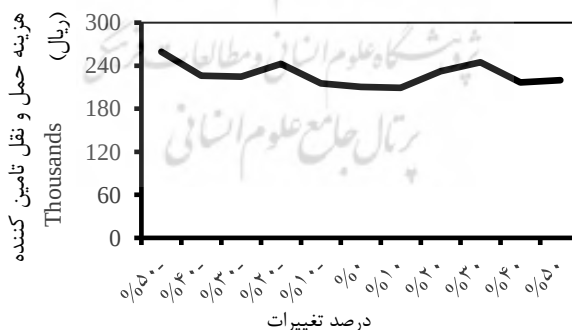


Fig. ۲۲ Diagram of cost changes of supplier transportation toward supplying maximum Changes

شکل ۲۲. نمودار تغییرات هزینه حمل و نقل تأمین کننده نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

آنالیز حساسیت نتیجه گرفتیم که هزینه خرید در اثر کاهش تقاضا به میزان ۱۰٪ و همچنین ۴۰٪ به کمترین مقدار خود می‌رسد و در اثر افزایش تقاضا به میزان ۱۰٪ با بیشترین میزان خود روبه‌رو می‌شود و دانستیم که کاهش تقاضا با روند نامنظمی سبب کاهش هزینه خرید می‌شود و بالعکس.

همچنین در رابطه با تغییرات هزینه سفارش دهی در اثر تغییرات تقاضا، شاهد روند منظمی در نمودار آن نبودیم. دیدیم که کمترین مقدار هزینه سفارش دهی زمانی رخ می‌دهد که تقاضا به میزان ۵۰٪ افزایش یافته است و بیشترین مقدار آن در نقطه‌ی ۱۰٪- اتفاق می‌افتد. در ارتباط با نمودار تغییرات هزینه راه‌اندازی در اثر تغییر تقاضا نیز، روند منظمی را مشاهده نکردیم. ماکسیمم این نمودار مربوط به نقطه‌ی ۱۰٪- بود و مینیمم آن نیز در نقطه‌ی ۵۰٪- اتفاق افتاد.

روند نمودار تغییرات هزینه تولید در اثر تغییر تقاضا نیز به صورتی بود که، از نقطه‌ی ۵۰٪- تا ۱۰٪- نمودار روند نزولی داشت (افزایش تقاضا موجب کاهش هزینه می‌شد) و از نقطه‌ی ۱۰٪- تا ۵۰٪- روند نمودار صعودی می‌شد (با افزایش تقاضا هزینه نیز افزایش پیدا می‌کرد). در رابطه با تغییرات هزینه نگهداری مواد اولیه در اثر تغییر تقاضا نیز، مشاهده کردیم که بیشترین مقدار این هزینه در حالتی که تقاضا به میزان ۱۰٪ افزایش پیدا کرده است رخ می‌دهد و کمترین مقدار آن نیز مربوط به حالت کاهش تقاضا به میزان ۱۰٪ می‌باشد و دانستیم که افزایش تقاضا در این نمودار چه نسبت به حالت تقاضای تغییرنیافته (۰٪) و چه نسبت به حالتی که تقاضا کاهش یافته است سبب افزایش هزینه می‌شود.

در مورد هزینه نگهداری محصول نیز، دیدیم که کمترین مقدار آن نسبت به تغییر تقاضا، مربوط به همان حالت تقاضای بدون تغییر بود و بعد از آن چه افزایش و چه کاهش تقاضا موجب افزایش هزینه می‌شد. بیشترین مقدار این هزینه نیز در حالتی که تقاضا ۵۰٪ کاهش داشت رخ داد زیرا کاهش تقاضا موجب افزایش هزینه نگهداری محصول می‌شد و تنها شیب این افزایش از حالتی به حالت دیگر متفاوت بود.

در ارتباط با هزینه نگهداری محصول نزد مشتری نیز، مشاهده کردیم که در اثر کاهش تقاضا، همواره با افزایش روبه‌رو می‌شد و کمترین مقدار این هزینه در زمان افزایش تقاضا به میزان ۲۰٪ اتفاق می‌افتاد و بیشترین مقدار آن مربوط به نقطه‌ی ۵۰٪- بود و از نمودار نتیجه گرفتیم که از نقطه‌ی ۵۰٪- تا ۲۰٪- روند نمودار نزولی بود و افزایش تقاضا سبب کاهش هزینه می‌شد اما از نقطه‌ی ۲۰٪- به بعد روند خاصی برقرار نبود.

در نمودار تغییرات هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کننده در اثر تغییرات تقاضا، دیدیم که اگر نقطه‌ی ۳۰٪ را به‌عنوان استثنا کنار بگذاریم، از نقطه‌ی ۵۰٪- تا ۱۰٪- نمودار روند نزولی دارد (با

بیشتر شدن تقاضا هزینه کاهش می‌یابد) و از نقطه‌ی ۱۰٪- تا ۵۰٪ روند نمودار صعودی می‌شود (افزایش تقاضا سبب افزایش هزینه می‌شود).

در بررسی حساسیت آخرین هزینه نسبت به تغییرات تقاضا مشاهده کردیم که، اگر در نمودار تغییرات هزینه حمل‌ونقل مشتری در اثر تغییرات تقاضا، نقطه‌ی ۳۰٪- را به‌عنوان استثناء کنار بگذاریم، از نقطه‌ی ۵۰٪- تا نقطه‌ی ۲۰٪ نمودار روند صعودی دارد (افزایش تقاضا سبب افزایش هزینه می‌شود) و از نقطه‌ی ۲۰٪ تا ۵۰٪ روند نمودار نزولی می‌شود (با افزایش تقاضا هزینه کاهش می‌یابد).

در بررسی آنالیز حساسیت هزینه‌ها نسبت به تغییرات حداکثر عرضه‌ی مواد اولیه نیز مشاهده کردیم، که روند نمودار تغییرات هزینه خرید در اثر تغییرات عرضه، روند منظمی نبود. کمترین مقدار هزینه خرید مربوط به زمانی بود که حداکثر عرضه ۱۰٪ کاهش یافته بود و بیشترین مقدار آن در نقاط ۵۰٪ و ۰٪ (حداکثر عرضه بدون تغییر) رخ می‌داد.

در ارتباط با تغییرات هزینه سفارش دهی در اثر تغییرات عرضه نیز، دیدیم که اگر نقطه‌ی ۱۰٪- را به‌عنوان استثناء کنار بگذاریم از نقطه‌ی ۵۰٪- تا ۰٪ روند نمودار کاملاً نزولی بود یا به عبارتی کاهش عرضه سبب افزایش هزینه خرید شده بود اما با افزایش عرضه نمودار روند خاصی نداشت و هزینه سفارش دهی گاه از نقطه ۰٪ بیشتر و گاه نسبت به آن کمتر می‌شد. میزان هزینه سفارش دهی در تمامی حالات کاهش عرضه نیز، نسبت به میزان هزینه در حالات افزایش آن بیشتر بود.

در مورد هزینه راه‌اندازی نسبت به تغییرات عرضه نیز، شاهد روند خاصی نبودیم. در حالتی که عرضه ۱۰٪ کاهش یافته بود با بیشترین مقدار این هزینه روبه‌رو شدیم و کمترین مقدار آن نیز مربوط به نقطه‌ی ۰٪ یا همان حالت عرضه‌ی بدون تغییر بود.

هزینه تولید در اثر تغییرات عرضه نیز، روند خاصی نداشت و در حالتی که عرضه ۱۰٪ کاهش یافته بود، به کمترین مقدار خود می‌رسید و بیشترین مقدار آن نیز مربوط به حالت افزایش عرضه به میزان ۳۰٪ بود.

در ارتباط با تغییرات هزینه نگهداری مواد اولیه در اثر تغییرات عرضه نیز، روند خاصی را مشاهده نکردیم. بیشترین مقدار این هزینه مربوط به زمانی بود که عرضه ۳۰٪ افزایش داشت و کمترین مقدار آن نیز در نقطه‌ی ۱۰٪ رخ می‌داد.

در رابطه با هزینه نگهداری محصول نسبت به تغییرات عرضه نیز، در حالتی که عرضه ۴۰٪ کاهش یافته بود با بیشترین میزان آن مواجه شدیم و کمترین مقدار آن نیز مربوط به نقطه‌ی ۵۰٪ بود و دیدیم که افزایش و کاهش عرضه به غیر از نقطه‌ی ۴۰٪- در تمامی حالات سبب افزایش هزینه نسبت به نقطه‌ی ۰٪ شده بودند.

در مورد هزینه نگهداری محصول نزد مشتری نسبت به تغییرات عرضه نیز، مشاهده کردیم که افزایش و کاهش عرضه هر دو موجب کاهش هزینه نسبت به حالت عرضه‌ی بدون تغییر (۰٪) می‌شدند و بیشترین مقدار این هزینه مربوط به همان نقطه‌ی ۰٪ بود و کمترین مقدار آن نیز در حالتی که عرضه ۵۰٪ افزایش یافته بود رخ می‌داد.

روند تغییرات هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کننده در اثر تغییرات عرضه نیز، روند منظمی نبود. کمترین مقدار این هزینه در نقاط ۱۰٪ و ۱۰٪- با مقادیر مساوی اتفاق می‌افتاد و بیشترین مقدار آن نیز مربوط به حالتی بود که عرضه ۳۰٪ کاهش می‌یافت.

در تحلیل آخرین هزینه نسبت به تغییرات عرضه نیز، مشاهده کردیم که بیشترین مقدار هزینه حمل‌ونقل مشتری در حالتی که عرضه ۵۰٪ کاهش بیابد رخ می‌داد و کمترین مقدار آن نیز مربوط به زمانی بود که عرضه ۱۰٪ افزایش یافته بود.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت برنامه‌ریزی یکپارچه جهت افزایش هماهنگی و رسیدن به زمان و هزینه‌ی تولید بهینه، در مقاله حاضر این امر برای کارخانه‌ی زیماوند انجام گرفت.

با توجه به مدل‌های سه سطحی که در بخش مفاهیم نظری و پیشینه به آن‌ها اشاره شد می‌توان گفت، مدل این مقاله با مدل کرباسیان و همکاران، (۲۰۱۱)، ارتباط بیشتری دارد. با این تفاوت که در تحقیق حاضر با یک کیس استادی مواجه بودیم و محدودیت‌ها دقیق و بر اساس آن نوشته و نتایج نیز بر اساس آن حاصل شدند. همچنین برای حل مدل پژوهش کرباسیان و همکارانش، انتخاب استراتژی بهینه از طریق تصمیم‌گیری چند معیاره روش ELECTRE انجام گرفته است اما مدل این مقاله از طریق برنامه‌ریزی خطی حل گردید.

در محاسبه‌ی هزینه‌ها طی این مدل ریاضی و اجرای آن در نرم‌افزار گمز، بیشترین بخش هزینه‌ی کارخانه مربوط به هزینه‌ی خرید است، که حدود ۸۰٪ از کل هزینه‌ها را شامل می‌شود. کمترین هزینه نیز مربوط به هزینه‌ی نگهداری محصول نزد مشتری است، که فقط ۰.۰۰۷٪ از کل هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. نسبت باقی‌مانده هزینه‌ها به هزینه کل به ترتیب از بیشتر به کمتر عبارت است از، هزینه تولید ۱۴٪، هزینه راه‌اندازی ۴٪، هزینه حمل‌ونقل مشتری ۰.۶٪، هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کننده ۰.۵٪، هزینه سفارش دهی ۰.۰۵٪، هزینه نگهداری مواد اولیه ۰.۰۲٪ و هزینه نگهداری محصول ۰.۰۱٪.

سود کارخانه در طول این ۶ روز برابر با ۵۷۷۳۴۰۰ تومان محاسبه شده که به گفته مدیران مربوطه، در مقایسه با حالت عادی ۲۸٪ افزایش داشته است.

با توجه به جواب‌های به دست آمده از مدل و مقایسه آن با وضع موجود کارخانه‌ی مورد مطالعه، کارایی مدل در بهینه‌سازی وضعیت موجود مورد تأیید قرار گرفت. درمجموع استفاده از مدل تحقیق، نتایج مثبتی برای کارخانه‌ی مورد مطالعه در پی دارد که برخی از آن‌ها به شرح زیر هستند:

الف) از آنجاکه برنامه‌ریزی خرید مواد اولیه از طریق مدل ریاضی و هماهنگ با برنامه‌ریزی تولید انجام می‌شود، وضعیت به‌گونه‌ای خواهد شد که خرید برحسب نیاز انجام گردد و در نتیجه اولاً موجودی‌های زائد مواد اولیه در مرکز تولید وجود نداشته باشد و ثانیاً هرگز با کمبود مواد اولیه مواجه نشویم. این امر به‌وضوح در این تحقیق قابل مشاهده است. در جواب‌های حاصل از مدل، برنامه خرید به تفکیک مقدار و دوره تناوب سفارش از هر عرضه‌کننده مشخص شده است.

ب) با اجرای مدل، برنامه دقیق تولید را می‌توان به دست آورد. این امر ضمن افزایش دقت، برنامه‌ریزی و کنترل تولید را ساده خواهد کرد.

ج) مدیریت موجودی یکی از وظایفی است که مدل یکپارچه تحقیق به آن می‌پردازد. این امر باعث می‌شود تا وضعیت موجودی‌ها در طول زنجیره به‌صورت بهنگام در اختیار باشند و با اعمال مدیریت مؤثر بر آن، کاهش حجم موجودی‌ها و در نتیجه کاهش هزینه‌ها را باعث شود. در این تحقیق، به علت پیروی از سیاست تولید بر اساس تقاضا حجم موجودی محصولات در مرکز تولید و مراکز مشتریان حدود ۲۸٪ کاهش یافته است. حجم موجودی مواد اولیه نیز به‌طور متوسط ۲۰٪ کاهش یافته که این، خود کاهش قابل توجهی را در هزینه‌ها و در نتیجه قیمت تمام‌شده محصولات در پی خواهد داشت.

د) با اجرای مدل برنامه‌ریزی، توزیع به‌صورت دقیق و بهینه انجام خواهد شد. در اجرای مدل در کارخانه مورد مطالعه چنین برنامه‌ای به‌دست آمده است. در این برنامه، وضعیت بهینه ارسال محصولات به هر کدام از مناطق مشتریان مشخص شده است.

ه) مدل تحقیق را می‌توان با اندکی تغییر در سایر محیط‌های صنعتی نیز اجرا نمود.

با توجه به نتایج حاصل از اجرای مدل می‌توان نتیجه گرفت که گسترش و کاربرد این مفهوم در مدیریت عملیات باعث بهبود سیستم و کاراثر شدن آن خواهد شد. در صورتی که شرکت‌های ایرانی بخواهند حضور فعالی در صحنه‌های بین‌المللی داشته باشند، باید توانایی تولید محصولات با قیمت پایین و کیفیت بالا را در خود ایجاد کنند. استفاده از مدل این تحقیق می‌تواند گام هرچند کوچکی را در راستای رسیدن به این هدف بردارد.

۶- مراجع

- [۱] J. T. Douglas and P. M. Griffin,, "Coordinated supply chain management," *European journal of operational research*, vol. ۹۴, no. ۱, pp. ۱-۱۵, ۱۹۹۶.
- [۲] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky and E. Simchi-Levi, *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies*, New York: McGraw-Hill, ۲۰۰۰.
- [۳] S. Chopra and p. Meindle, *Supply chain management: strategy, planning, and operation*, New Jersey: Prentice Hall, ۲۰۰۱.
- [۴] Y. Lee and S. Kim, "Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints," *Computer and industrial Engineering*, vol. ۴۳, no. ۱, pp. ۱۹۰-۱۹۶, ۲۰۰۲.
- [۵] B. H. Tabrizi and J. Razmi, "A Stochastic Programming Based Approach for Supply Chain Network Design under Uncertain Processing Costs," *The 11th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference 2010*, ۲۰۱۰.
- [۶] J. Zhang, Y. Wen and Q. Xu, "Simultaneous optimization of crude oil blending and purchase planning with delivery uncertainty consideration," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. ۵۰, no. ۲۵, p. ۸۴۵۳-۸۴۶۴, ۲۰۱۲.
- [۷] T. A. Oddsdottir, M. Grunow and R. Akkerman, "Procurement planning in oil refining industries considering blending operations," *Computers and Chemical Engineering*, vol. ۵۸, p. ۱-۱۳, ۲۰۱۳.
- [۸] D. Rahmani, R. Ramezani, P. Fattahi and M. Heydari, "A robust optimization model for multi-product two-stage capacitated production planning under uncertainty," *Applied Mathematical Modelling*, vol. ۳۷, no. ۲۰, pp. ۸۹۵۷-۸۹۷۱, ۲۰۱۳.
- [۹] M. Gupta and B. Mohanty, "Multi-Stage Multi-Objective Production Planning Using Linguistic And Numeric Data-A Fuzzy Integer Programming Model," *Computers & Industrial Engineering*, vol. ۸۷, pp. ۴۵۴-۴۶۴, ۲۰۱۵.
- [۱۰] V. Bevilacqua, M. Dotoli, M. Falagario, F. Sciancalepore, D. D'Ambruso, S. Saladino and R. Scaramuzzi, "A Multi-objective Genetic Optimization Technique for the Strategic Design of Distribution Networks," *Advanced Intelligent Computing Theories and Applications. With Aspects of Artificial Intelligence*, vol. ۶۸۳۹, pp. ۲۴۳-۲۵۰, ۲۰۱۲.
- [۱۱] S. Liu and L. G. Papageorgiou, "Multiobjective optimisation of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry," *Omega*, vol. ۴۱, no. ۲, pp. ۳۶۹-۳۸۲, ۲۰۱۳.
- [۱۲] A. Memari, A. R. Abdul Rahim and R. Binti Ahmad, "An Integrated Production-Distribution Planning in Green Supply Chain: A multi-objective evolutionary

approach," *12th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Emerging Potentials, Procedia CIRP*, vol. ۲۶, pp. ۷۰۰-۷۰۵, ۲۰۱۵.

- [۱۳] F. Pan and R. Nagi, "Multi-Echelon Supply Chain Network Design in Agile Manufacturing The International Journal of Management Science, December ۲۰۱۲; December ۲۰۱۳, Vol. ۴۱(۶), pp. ۹۶۹-۹۸۳,," *accepted to OMEGA, The International Journal of Management Science*, vol. ۴۱, no. ۶, pp. ۹۶۹-۹۸۳, December ۲۰۱۳.
- [۱۴] H. Pang, "Study on multi-time periods integrated plan of supply chain under uncertain environment," *Control and Decision Conference (CCDC), 2013 25th Chinese*, pp. ۱۷۹۴ - ۱۷۹۹, ۲۰۱۳.
- [۱۵] L. Ogunwolu, O. Ibidapo-Obe and C. Onyedikam, "Modelling and Analysis of a Supply Chain with Supply, Production and Distribution Reliability Considerations," *International Journal of Supply Chain Management*, vol. ۳, no. ۱, pp. ۲۰۵۱-۲۷۷۱, ۲۰۱۴.
- [۱۶] k. sarrafha, S. H. A. Rahmati, S. T. Akhavan Niaki and A. Zaretalab, "A bi-objective integrated procurement, production, and distribution problem of a multi-echelon supply chain network design: A new tuned MOEA," *Computers & Operations Research*, vol. ۵۴, p. ۳۵-۵۱, February ۲۰۱۵.
- [۱۷] Karbasian, M., Bashiri, M., & Safaei, M. (۲۰۱۱). Complex Integrated Supply Chain Planning with Multiple Modes Supply, Production and Distribution by ELECTRE Method. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, ۲۲(۳), ۱۸۷-۱۹۸.