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

سوده مشیری[1] ، علیرضا رشیدی کمیجان[2]

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 زیمابند 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 عرضه‌ی 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 درنتیجه قیمت تمام‌شده محصولات در پی خواهد داشت.

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

---

[1] دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع - صنایع، دانشگاه ایوانکی، ایوانکی

[2] دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه، فیروزکوه

فیروزکوه ، صندوق پستی: ۱٤۸، 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 نه‌تنها 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 قابل‌توجهی 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 سازمان ها در اکثر زمینه ها به طور مکرر و همیشگی وجود داشته که این موضوع خود یکی از دلایل قدرتمند به منظور ارائه مدل های مناسب و کاربردی مسائل زنجیره تامین بوده و باعث هرچه نزدیکتر شدن مسائل به شرایط دنیای واقعی می گردد. تصمیمات مربوط به انتخاب تامین کنندگان، 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 می شود مربوط به برنامه ریزی خرید است، به‌گونه‌ای که کمبود اقلام، روند فعالیت‌ها را در سازمان مختل نسازد و با حداقل سرمایه گذاری 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 تامین است. همچنین مسال برنامه ریزی توزیع در زنجیره تامین نیز در برگیرنده تصمیماتی برای پیدا کردن کانالی جهت تحویل کالا از یک سازنده به یک توزیع کننده یا مشتری است. این مسائل وابستگی متقابلی به یکدیگر دارند از این رو بایستی آنها را به طور همزمان در یک روش یکپارچه به کار برد تا هزینه ها با سود حاصل از آن در زنجیره مینیممم (ماکزیمم) شود[٤]

[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 زیمابند آریافر، به تولید تسمه‌های بسته‌بندی در انواعPP[1]وPet[2]می‌پردازد که البته تسمه PP خود دارای زیرمجموعه‌های مختلفی است، که این تنوع با تغییر نوع ماده اولیه و کشش و حرارت وارده به تسمه در حین تولید به دست می‌آید. از آنجایی که صنعت تولید تسمه‌های 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 کارخانه‌های فعال در این زمینه، که دارای صادرات به برخی از کشورها نیز می‌باشد و برای تولید خود به‌غیر از موارد خاص، تمام مواد اولیه خود را از مواد تولیدشده در ایران تهیه می‌کند، حائز اهمیت است. به علاوه چنین تحقیقی برای اولین بار در صنعت تولید تسمه اتومات انجام می‌پذیرد.

در بررسی همه‌جانبه برنامه کارخانه مذکور، وجود پاره‌ای از مشکلات در برنامه‌ریزی آن‌ها مشخص شد. ازجمله اینکه تنوع تسمه تولیدی کارخانه بالا و تعداد خطوط تولید، ۴ خط می‌باشد. درنتیجه 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 زمانبندی صحیح از تولید در دست باشد، تعویض خط به میزان کمتری انجام گرفته و صرفه‌جویی بزرگی در استفاده از زمان و مواد اولیه ایجاد می‌شود. همچنین به دلیل کوچک بودن انبار مواد اولیه، در طول تولید گاهاً با مشکل کمبود بعضی از مواد اولیه مواجه می‌شوند. به‌علاوه به دلیل در دسترس نبودن یک برنامه تولید مشخص، واحد نت دائماً با مشکل برای سرویس ماهیانه دستگاه‌ها در زمان توقف خط تولید مواجه است. با توجه به این موارد، به لزوم ایجاد یک برنامه یکپارچه برای کارخانه مذکور پی می‌بریم.

نحوه کلی تولید کارخانه بدین‌صورت است، ابتدا مواد اولیه موردنیاز توسط مکنده وارد قیف انباره مواد شده و در آنجا گازگیری می‌شوند، مواد از زیر قیف وارد اکسترودر می‌شود 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 می‌شود. حال برای کالیبره کردن اولیه سایز، تسمه از روی غلتک‌های کشنده اول عبور می‌کند و پس از آن وارد کوره شماره یک می‌شود. اکنون نوبت سایز کردن و آنیل شدن کریستالی مواد است پس تسمه از کشنده دوم عبور می‌کند، سپس از غلتک عاج می‌گذرد تا تسمه‌ها دارای عاج شوند. پس از آن تسمه جهت تنش‌گیری و صاف شدن وارد کوره دوم می شود و بعد از آن بلافاصله برای تثبیت

[1] پلی پروپیلن
[2] پلی اتیلن ترفتالات

وارد حوضچه آب سرد می‌شود. درنهایت تسمه‌ها از کشنده سوم عبور کرده و توسط دستگاه جمع کن 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 به‌واسطه مدیریت یکپارچه زنجیره که منجر به افزایش سود تمامی اعضا (تأمین‌کننده، کارخانجات و مشتریان) می‌شود، به‌وجود 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 [٦]. 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 اویل (شرکت نفت و گاز نروژی) و تجزیه‌وتحلیل‌های 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 به‌سرعت، 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]. بویلاکوآ 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 ε- محدودیت

و لکسیکو گراف استفاده می‌کنند [۱۱]. معماری و همکاران به برنامه‌ریزی یکپارچه تولید-توزیع در زنجیره تأمین سبز با رویکرد تکاملی چند هدفه پرداختند (مطالعه موردی تولید خودرو). آن‌ها یک مدل ریاضی چند هدفه جدید را در شبکه زنجیره تأمین سبز شامل تولیدکنندگان، مراکز توزیع و فروشندگان ایجاد کردند. اهداف اصلی به حداقل رساندن هزینه‌های تولید، توزیع، نگهداری، هزینه کمبود در نمایندگی‌های مجاز و همچنین به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی شبکه لجستیک بود [۱۲]. پان و ناگی مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین یکپارچه را با هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های عملیاتی از تأمین 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 تأمین یکپارچه شامل تأمین‌کننده، سازنده و مشتری با در نظر گرفتن شرایطی که مواد اولیه و تقاضای مشتری غیر معین می‌باشد را معرفی نمود. تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌های مربوط به زنجیره تأمین مورد بررسی می‌باشد. مدل ریاضی ارائه شده با استفاده از الگوریتم پایه بهینه‌سازی ازدحام ذرات مورد حل قرار گرفت[۱٤] . اوگان ولو و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای حداقل کردن هزینه‌های زنجیره تأمین ایجاد کردند و با استفاده از قابلیت اطمینان خرید، تولید و توزیع، بهترین تأمین‌کننده، تسهیلات تولید و توزیع‌کننده، مقادیر مواد اولیه‌ای که از هر تأمین‌کننده باید تهیه شود، مقدار تولید محصول و میزان محصول ارسالی به هر توزیع‌کننده را مشخص نمودند [۱٥]. صراف‌ها و همکاران ساختاری چند دوره‌ای را در جریان طراحی شبکه زنجیره تأمین مشتمل بر تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع و خرده‌فروشان، جهت دست‌یابی به زمان تحویل بهینه محصولات با توجه به حداقل‌سازی زمان‌های بیکاری و زمان حمل‌ونقل از کارخانه به مراکز توزیع و خرده‌فروشان در نظر گرفتند. مدل مذکور که در دسته مسائل NP-Hard قرار می‌گیرد توسط برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برنامه‌ریزی شده است و برای آن یک الگوریتم ابتکاری به نام (MOBBO) با پارامترهای تغییریافته جهت دست‌یابی به راه‌حل بهینه ارائه‌شده است [۱٦]. کرباسیان و همکاران،(۲۰۱۱) به برنامه ریزی زنجیره تأمین 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، توزیعناب، و استراتژی های انتخاب تأمین 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 می شود.
- روش تحقیق ایجاد یک مدل یکپارچه خرید-تولید-توزیع برای کارخانه زیمابند و حل مدل با کمک داده های دریافتی از کارخانه و رفع مشکلات سیستم از طریق نتایج حاصله از حل مدل می یاشد.
- نحوه جمع آوری داده ها به صورت میدانی و ابزار گردآوری داده ها مصاحبه، مشاهده می باشد.
- ابزار مورد استفاده در این تحقیق نرم افزار گمز است که کاربرد آن برای حل دقیق مدل های ریاضی می باشد. پس از ورود مدل و داده های 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 به‌صورت فروش ازدست‌رفته 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 ($j \in J$)

J_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 می‌کنند

N: مجموعه تمام وسایل نقلیه مورداستفاده

n: اندیس وسیله نقلیه ($n \in N$)

S: مجموعه تمام تأمین‌کنندگان

s: اندیس تأمین‌کننده ($s \in S$)

S_i: مجموعه تأمین‌کنندگانی که می‌توانند ماده اولیه i را تهیه کنند

I_s: مجموعه مواد اولیه‌ای که تأمین‌کننده 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 تأمین‌کننده s

FC_{st}: هزینه ثابت سفارش دهی به تأمین‌کننده 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_{rj}: قیمت فروش هر کیلوگرم محصول j

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

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

Cap_t: ظرفیت زمانی تولید در کارخانه در روز t

SU_j: هزینه آماده‌سازی تولید محصول j توسط کارخانه

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

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

$time''_k$: زمان رفت‌وبرگشت 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 برحسب کیلوگرم

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

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

L_{ist}: حداقل عرضه ماده اولیه i توسط تأمین‌کننده 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 عرضه‌کننده s ارسال می‌شود.

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

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

In_{vit}: 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 نشان‌دهنده خرید و یا عدم خرید ماده اولیه i از تأمین‌کننده s در روز t

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

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

محدودیت‌ها و تابع هدف

محدودیت‌های مدل به این شرح است:

s. t.

$$\sum_{j\in J}\left(time_j\, X'_{jt} + time'_j\, e_{jt}\right) \le Cap_t \quad \forall t \in T \qquad (۱)$$

$$\sum_{j\in J} Ap_j\, Inv'_{jt} + \sum_{i\in I} Ar_i\, Inv_{it} \le V \quad \forall t \in T \qquad (۲)$$

$$\sum_{k\in K} time''_k\, Z'_{knt} \le Hour \quad \forall n \in N, t \in T \qquad (۳)$$

$$\sum_{j\in J_K} X''_{jknt} \le SP_n\, Z'_{knt} \quad \forall t \in T, n \in N, k \in K \qquad (۴)$$

$$\sum_{n\in N} X''_{jknt} + SH_{jkt} + Inv''_{jk(t-۱)} = D_{jkt} + Inv''_{jkt} \quad \forall k \in K, \; t \in T, j \in J_K \qquad (۵)$$

$$\sum_{s\in S_i} X_{ist} + Inv_{i(t-۱)} = \sum_{j\in J_i} r_{ij}\, X'_{jt} + Inv_{it} \quad \forall i \in I, t \in T \qquad (۶)$$

$$X'_{jt} + Inv'_{j(t-۱)} = \sum_{k\in K_j}\sum_{n\in N} X''_{jknt} + Inv'_{jt} \quad \forall t \in T, j \in J \qquad (۷)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{s\in S_i}\sum_{t\in T}(C'_{is}\, X_{ist} + TC_s\, X_{ist} + Z_{ist}\, FC_{st}) \le B \qquad (۸)$$

$$L_{ist}\, Z_{ist} \le X_{ist} \le U_{ist}\, Z_{ist} \quad \forall i \in I, s \in S_i, t \in T \qquad (۹)$$

$$X'_{jt} \le Me_{jt} \quad \forall j \in J, t \in T \qquad (۱۰)$$

$$e_{jt}, Z_{ist}, Z'_{knt} : Binary, \; X_{ist}, X'_{jt}, X''_{knt}, Inv_{it}, Inv'_{jt}, SH_{jkt}, Inv''_{jkt} \ge ۰ \qquad (۱۱)$$

تابع هدف مسأله نیز به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} Max \sum_{j\in J}\sum_{k\in K_j}\sum_{n\in N}\sum_{t\in T} Pr_j\, X''_{jknt} &- \sum_{i\in I}\sum_{s\in S_i}\sum_{t\in T} C'_{is}\, X_{ist} - \sum_{i\in I}\sum_{s\in S_i}\sum_{t\in T} Z_{ist}\, FC_{st} - \sum_{j\in J}\sum_{t\in T} SU\, e_{jt} \\ &- \sum_{j\in J}\sum_{t\in T} C_j\, X'_{jt} - \sum_{i\in I}\sum_{t\in T} h_i\, Inv_{it} - \sum_{j\in J}\sum_{t\in T} h'_j\, Inv'_{jt} \\ &- \sum_{j\in J}\sum_{k\in K_j}\sum_{t\in T} h''_{jk}\, Inv''_{jkt} - \sum_{j\in J}\sum_{k\in K_j}\sum_{t\in T} SC_{jkt}\, SH_{jkt} - \sum_{i\in I}\sum_{s\in S_i}\sum_{t\in T} TC_s\, X_{ist} \\ &- \sum_{k\in k}\sum_{n\in N}\sum_{t\in T} FTC_{kn}\, Z'_{knt} \qquad (۱۲) \end{aligned}$$

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 اشغال‌شده توسط مواد اولیه خریداری‌شده 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 به‌دفعات 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 $X''jknt$ 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 ازدست‌رفته 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 به‌اضافه‌ی مقدار ماده اولیه خریداری‌شده 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 به‌علاوه مقدار موجودی آن در انبار در ابتدای روز، برابر است با مقدار محصول ارسال‌شده به مشتریان به‌اضافه‌ی 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 خریداری‌شده در هر روز از هر تأمین‌کننده نباید از این حدود تجاوز کند. این محدودیت علاوه بر نشان دادن ظرفیت تأمین، ارتباط بین $Xist$ و $Zist$ 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 ejt برقرار می‌شود. این محدودیت نشان می‌دهد که در صورت تولید محصول j و مقدار گرفتن متغیر $X'jt$، متغیر ejt برابر با یک خواهد شد و به‌عکس. 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، به‌صورت 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.

٤- یافته ها

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: pp، pet، کربن، استبلایزر (stb)، رنگ، r٦٠ و r٤٠ 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 ٨ (m٨)، تسمه سایز ١٠ (m١٠)، تسمه اتومات سایز ١٠(am١٠)، تسمه سایز ١٢ (m١٢)، تسمه اتومات سایز ١٢ (am١٢)، تسمه سایز ١٦ (m١٦)، تسمه اتومات سایز ١٦ (am١٦)، تسمه ١٦ pet

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، AXM، LG 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 r٦٠ از پتروشیمی مارون و r٤٠ از پتروشیمی مارون باید صورت بگیرد و مقادیر آن‌ها در هر روز به شرح جدول ١ می‌باشد.

جدول ۱ برنامه خرید

Table ۱ Purchase planning

روز	pp	pet	کربن	stb از LG	Sam از stb	رنگ	r۶۰	r۴۰
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**	r۶۰	r۴۰
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

Production planning۳Table

روز	m۸	m۱۰	am۱۰	m۱۲	am۱۲	m۱۶	am۱۶	pet۱۶
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 m۱۲ و am۱۲ به ترتیب ۸۷ و ۶۱.۲۳۱ کیلوگرم و برای باقی محصولات صفر، در پایان روز دوم برای m۸، ۸۳

کیلوگرم و برای باقی محصولات صفر، در پایان روز سوم برای m۱۶ و pet۱۶ به ترتیب ۱۳۸.۲۳۱و ۱۱۱.۱۵۴ کیلوگرم و برای باقی محصولات صفر، در پایان روز چهارم برای m۱۰ و am۱۶ به ترتیب ۱۴۳ و ۱۱.۲۷۳کیلوگرم و برای باقی محصولات صفر، در پایان روز پنجم برای m۸، 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.

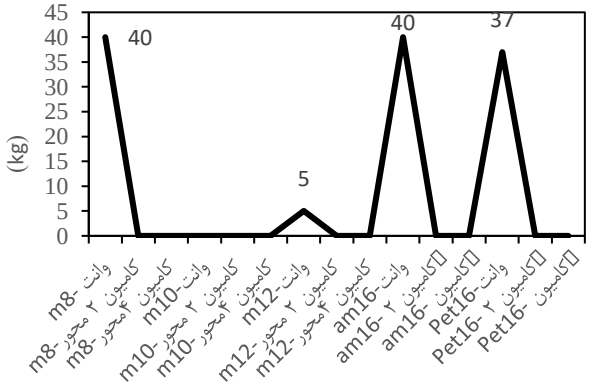

Fig. ۱ forwarding planning to istkul factory in fisrt day

شکل ۱ برنامه ارسال به کارخانه ایستکول در روز اول

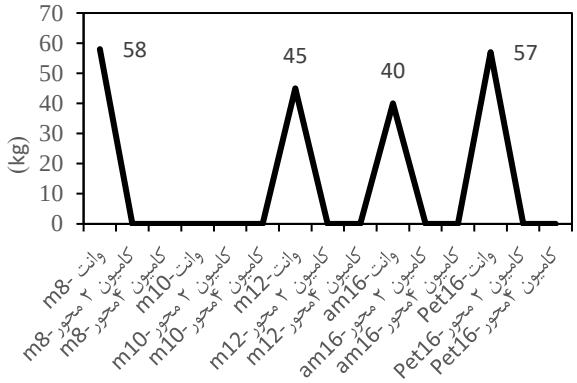

Fig. ۲ forwarding planning to istkul factory in second day

شکل ۲ برنامه ارسال به کارخانه ایستکول در روز دوم

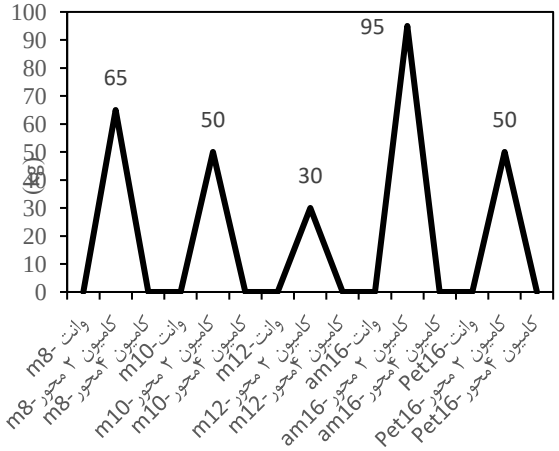

Fig. ۳ forwarding planning to istkul factory in fourth day

شکل ۳ برنامه ارسال به کارخانه ایستکول در روز چهارم

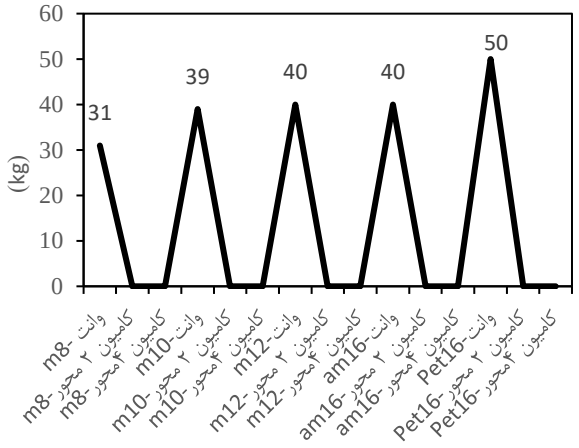

Fig. ٤ forwarding planning to istkul factory in sixth day

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 د هر روز) مشخص شده است.

کمبود مشتریان: کمبود برای محصولات m۱۰ و pet۱٦ در روز اول اتفاق می‌افتد. مقادیر آن و مشتریانی که با کمبود روبه‌رو می‌شوند به شرح زیر هستند:

جدول ۱ کمبود محصولات

Table ۱ Products shortage

محصولات	ایستکول	مشعل گاز	بامداد کارتن	البرز کاشی
m۱۰	۴۰	۳۵	۴۲	۰
pet۱٦	۰	۰	۰	۲۷.۷۶۹

موجودی مشتریان در انتهای دوره: موجودی محصول کارخانه ایستکول در پایان روز اول برای محصول m۱۲ با مقدار ۵ کیلوگرم و پایان روز چهارم و پنجم برای محصول m۸ با مقدار مساوی ۱۵ کیلوگرم رخ می‌دهد. کارخانه مشعل گاز در پایان روز سوم برای محصول pet۱٦ با مقدار ۵۳ کیلوگرم، روز چهارم برای محصول pet۱٦ با مقدار ۴.۱۵۴ کیلوگرم و در پایان روزهای پنجم و ششم برای محصول m۸ با مقدار مساوی ۶.۷۵۰ کیلوگرم موجودی خواهد داشت. کارخانه لاستیک ثامن در پایان روز دوم برای محصولات m۱۰ با مقدار ۳.۴۴۴ کیلوگرم و am۱٦ با مقدار ۶۰ کیلوگرم و در پایان روز ششم برای m۱۰ با مقدار ۷ کیلوگرم موجودی دارد. موجودی محصول کارخانه فارما شیمی تنها در پایان روز دوم برای محصول am۱٦ با مقدار ۴۵ کیلوگرم رخ می‌دهد. کارخانه لمینت

خاور در پایان روز پنجم برای محصول m۸ با مقدار ۳۶ کیلوگرم و در روز ششم برای محصول m۱۰ با مقدار ۱.۶۱۵ کیلوگرم موجودی خواهد داشت. کارخانه بامداد کارتن در پایان روز اول برای am۱۲ با مقدار ۴۱ کیلوگرم و برای m۸ 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 m۱۲، ۵۸ کیلوگرم و برای محصول am۱۲، ۲۵.۷۶۹ کیلوگرم، در پایان روزهای دوم و سوم برای محصول m۱٦ مقدار مساوی ۰.۷۶۹ کیلوگرم و در پایان روز چهارم برای pet۱٦، ۷ کیلوگرم خواهد بود.

آنالیز حساسیت

برای آنالیز حساسیت مقادیر تقاضا را، برای تمام مشتریان و در تمام دوره‌های زمانی، به میزان هربار ٪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 کمبود، 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.

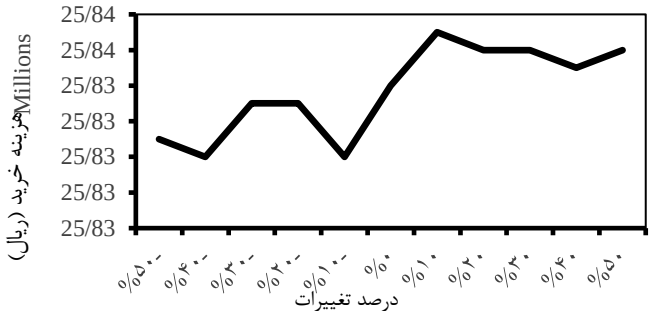

Fig. ۵ Diagram of purchase cost changes toward demand Changes

شکل۵ نمودار تغییرات هزینه خرید نسبت به تغییرات تقاضا

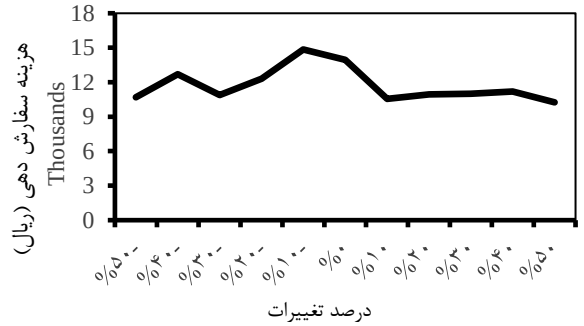

Fig. ٦ Diagram of ordering cost changes toward demand Changes

شکل۶ نمودار تغییرات هزینه سفارش دهی نسبت به تغییرات تقاضا

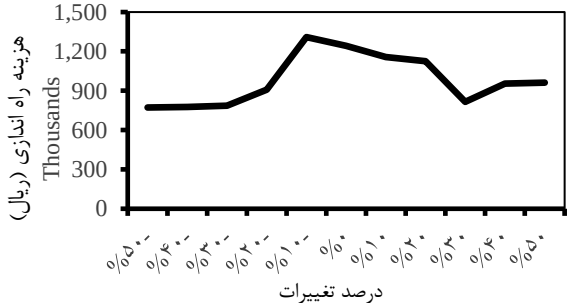

Fig. ۷ Diagram of set up cost changes toward demand Changes

شکل۷ نمودار تغییرات هزینه راه‌اندازی نسبت به تغییرات تقاضا

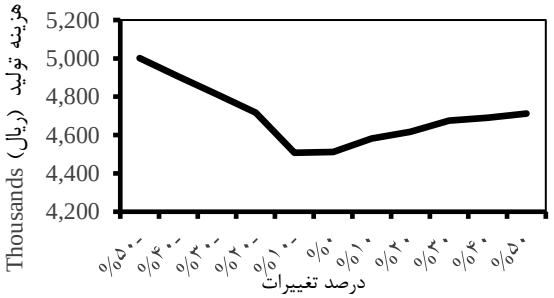

Fig. ۸ Diagram of production cost changes toward demand Changes

شکل۸ نمودار تغییرات هزینه تولید نسبت به تغییرات تقاضا

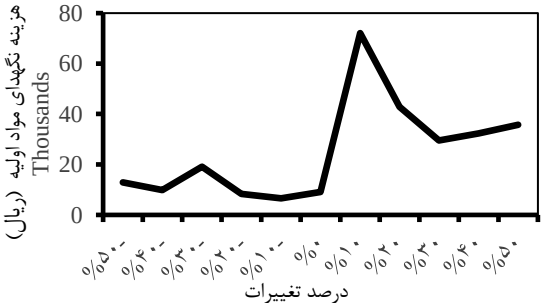

Fig. ۹ Diagram of maintenance cost changes of raw materials toward demand Changes

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

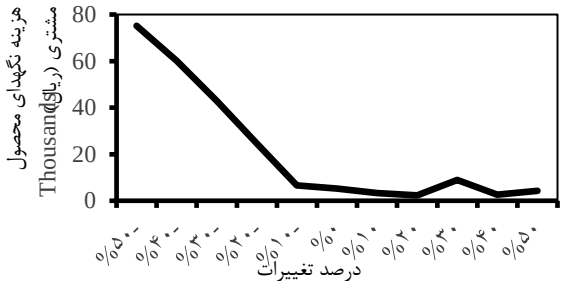

Fig. ۱۱ Diagram of cost changes of product maintenance to the customer toward demand Changes

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

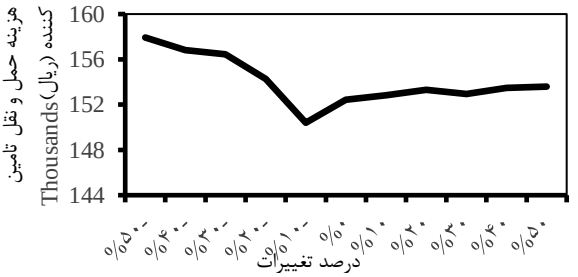

Fig. ۱۲ Diagram of cost changes of supplier transportation toward demand Changes

شکل.۱۲ نمودار تغییرات هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کننده نسبت به تغییرات تقاضا

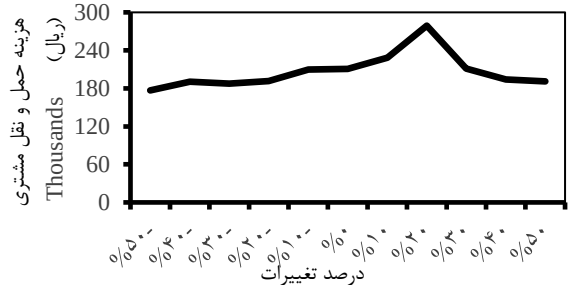

Fig. ۱۳ Diagram of customer's transportation cost changes toward demand Changes

شکل.۱۳ نمودار تغییرات هزینه حمل‌ونقل مشتری نسبت به تغییرات تقاضا

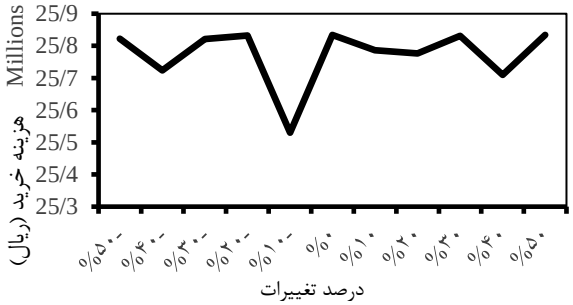

Fig. ١٤ Diagram of purchase cost changes toward supplying maximum Changes

شکل۱۴ نمودار تغییرات هزینه خرید نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

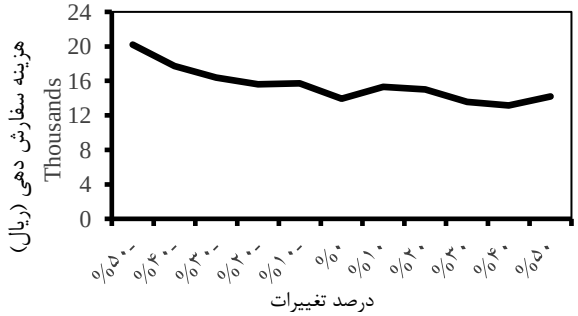

Fig. ١٥ Diagram of ordering cost changes toward supplying maximum Changes

شکل۱۵ نمودار تغییرات هزینه سفارش دهی نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

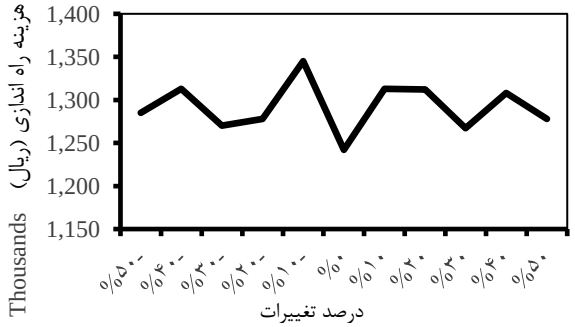

Fig. ١٦ Diagram of set up cost changes toward supplying maximum Changes

شکل۱۶ نمودار تغییرات هزینه راه‌اندازی نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

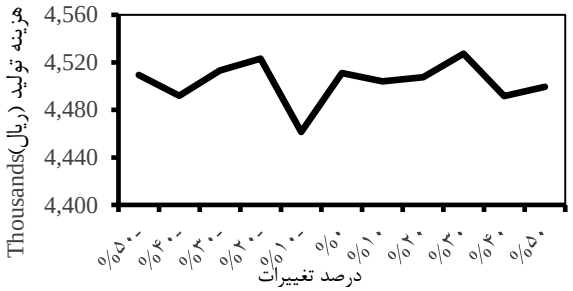

Fig. ۱۷ Diagram of production cost changes toward supplying maximum Changes

شکل۱۷ نمودار تغییرات هزینه تولید نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

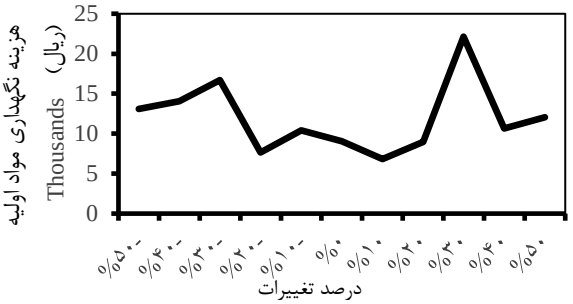

Fig. ۱۸ Diagram of maintenance cost changes of raw materials toward supplying maximum Changes

شکل۱۸ نمودار تغییرات هزینه نگهداری مواد اولیه نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

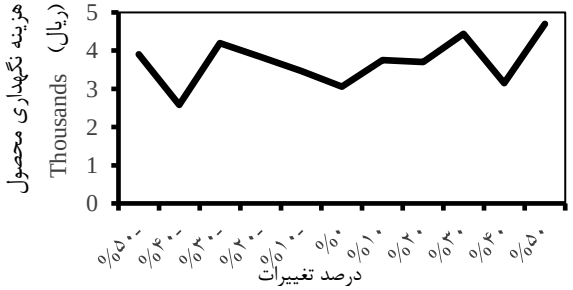

Fig. ۱۹ Diagram of maintenance cost changes of product toward supplying maximum Changes

شکل۱۹ نمودار تغییرات هزینه نگهداری محصول نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

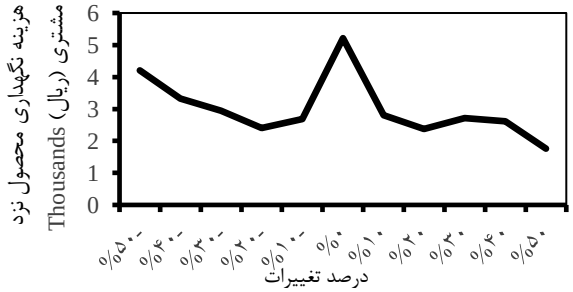

Fig. ۲۰ Diagram of cost changes of product maintenance to the customer toward supplying maximum Changes

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

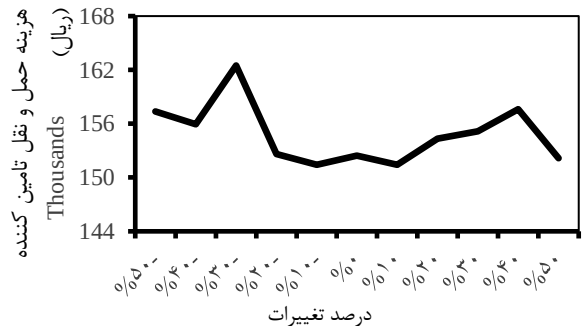

Fig. ۲۱ Diagram of cost changes of supplier transportation toward supplying maximum Changes

شکل.۲۱ نمودار تغییرات هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کننده نسبت به تغییرات حداکثر عرضه

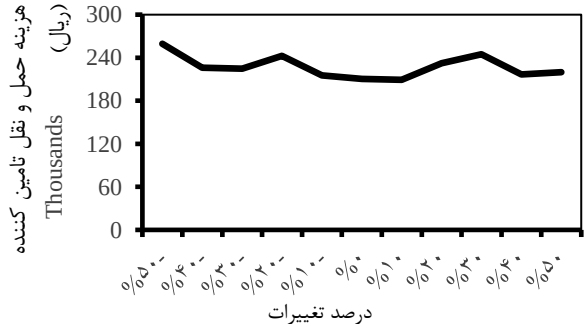

Fig. ۲۲ Diagram of cost changes of supplier transportation toward supplying maximum Changes

شکل.۲۲ نمودار تغییرات هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کننده 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 حالاتی 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 استثنا 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 زیمابند انجام گرفت.

با توجه به مدل های سه سطحی که در بخش مفاهیم نظری و پیشینه به آن ها اشاره شد می توان 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 محدودیت ها 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 تصمیم گیری 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 باقی 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 موردمطالعه، کارایی مدل در بهینه‌سازی وضعیت موجود مورد تأیید قرار گرفت. درمجموع استفاده از مدل تحقیق، نتایج مثبتی برای کارخانه‌ی موردمطالعه در پی دارد که برخی از آن‌ها به شرح زیر هستند:

الف) ازآنجاکه 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 درنتیجه 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 قابل‌مشاهده 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 درنتیجه 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 کاهش‌یافته که این، خود کاهش قابل‌توجهی را در هزینه‌ها و درنتیجه 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 موردمطالعه چنین برنامه‌ای به‌دست آمده است. در این برنامه، وضعیت بهینه ارسال محصولات به هرکدام 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 کاراتر 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.

٦- مراجع

[١] J. T. Douglas and P. M. Griffin,, "Coordinated supply chain management," *European journal of operational research,* vol. ٩٤, no. ١, pp. ١-١٥, ١٩٩٦.

[٢] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky and E. Simchi-Levi, Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies, New York: McGraw-Hill, ٢٠٠٠.

[٣] S. Chopra and p. Meindle, Supply chain management: strategy, planning, and operation, New Jersey: Prentice Hall, ٢٠٠١.

[٤] Y. Lee and S. Kim, "Production-distrubution planninng in supply chain considering capacity constraints," *Computer and industrial Engineering,* vol. ٤٣, no. ١, pp. ١٩٠-١٩٦, ٢٠٠٢.

[٥] 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 Conferece 2010,* ٢٠١٠.

[٦] 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. ٥٠, no. ٢٥, p. ٨٤٥٣–٨٤٦٤, ٢٠١٢.

[٧] T. A. Oddsdottir, M. Grunow and R. Akkerman, "Procurement planning in oil refining industries considering blending operations," *Computers and Chemical Engineering,* vol. ٥٨, p. ١– ١٣, ٢٠١٣.

[٨] D. Rahmani, R. Ramezanian, P. Fattahi and M. Heydari, "A robust optimization model for multi-product two-stage capacitated production planning under uncertainty," *Applied Mathematical Modelling,* vol. ٣٧, no. ٢٠, pp. ٨٩٥٧-٨٩٧١, ٢٠١٣.

[٩] 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. ٨٧, pp. ٤٥٤-٤٦٤, ٢٠١٥.

[١٠] V. Bevilacqua, M. Dotoli, M. Falagario, F. Sciancalepore, D. D'Ambruoso, 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. ٦٨٣٩, pp. ٢٤٣-٢٥٠, ٢٠١٢.

[١١] S. Liu and L. G. Papageorgiou, "Multiobjective optimisation of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry," *Omega,* vol. ٤١, no. ٢, pp. ٣٦٩-٣٨٢, ٢٠١٣.

[١٢] 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. ٢٦, pp. ٧٠٠-٧٠٥, ٢٠١٥.

[١٣] F. Pan and R. Nagi, "Multi-Echelon Supply Chain Network Design in Agile Manufacturing The International Journal of Management Science, December ٢٠١٢;December ٢٠١٣, Vol. ٤١(٦), pp. ٩٦٩–٩٨٣.," *accepted to OMEGA, The International Journal of Management Science,* vol. ٤١, no. ٦, pp. ٩٦٩-٩٨٣, December ٢٠١٣.

[١٤] H. Pang, "Study on multi-time periods integrated plan of supply chain under uncertain environment," *Control and Decision Conference (CCDC), 2013 25th Chinese,* pp. ١٧٩٤ - ١٧٩٩, ٢٠١٣.

[١٥] 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. ٣, no. ١, pp. ٢٠٥١-٣٧٧١, ٢٠١٤.

[١٦] 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. ٥٤, p. ٣٥–٥١, February ٢٠١٥.

[١٧] Karbasian, M., Bashiri, M., & Safaei, M. (٢٠١١). Complex Integrated Supply Chain Planning with Multiple Modes Supply, Production and Distribution by ELECTRE Method. International Journal of Industrial Engineering & Production Research, ٢٢(٣), ١٨٧-١٩٨.