نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
IERPS
نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
سال نهم، شماره نوزدهم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، صفحه ۷۱-۹۳
www.ier.basu.ac.ir
ISSN: ۲۲۶۹-۲۳۴۵
DOI: 10.22084/ier.2022.24851.2042

طراحی مدل توسعه‌یافته موجودی در زنجیره‌تأمین با نگرش برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کننده

راحله عباسی‌بسطامی[1*]، رضا احتشام‌راثی[2]، صادق عابدی[3]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
۲. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران
۳. استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۴۰۰/۴/۱۴
پذیرش ۱۴۰۰/۹/۱۲
(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:
زنجیره‌تأمین
برنامه‌ریزی احتیاجات مواد
انتخاب تأمین‌کننده
سیستم موجودی

خلاصه

برنامه‌ریزی احتیاجات مواد، روش اولویت برنامه‌ریزی است که محاسبه مواد موردنیاز برای پاسخ‌گویی به تقاضا در تمام محصولات و قطعات را در یک یا چند بخش کارخانه انجام می‌دهد. همچنین به‌سبب این‌که انتخاب تأمین‌کننده مناسب برای سازمان، صرفه‌جویی‌های معناداری بهبار می‌آورد، مهم‌ترین فعالیت عمل خرید، انتخاب تأمین‌کننده مناسب است. هدف از این پژوهش، طراحی یک مدل موجودی توسعه‌یافته جهت شناسایی و انتخاب تأمین‌کنندگان و همچنین برنامه‌ریزی احتیاجات مواد در زنجیره‌تأمین است. بدین منظور یک سیستم موجودی شامل پارامترهای اصلی سطح موجودی اولیه، نرخ کمبود و تصمیم‌گیری در حالت کمبود عرضه طراحی گردید. سپس مدل توزیع برای ارتباط مابین موجودی‌های واحدهای زنجیره‌تأمین و توزیع‌کنندگان طراحی شد و پس از مدل‌سازی تقاضا برای هر واحد زنجیره‌تأمین، مدل موجودی جهت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کنندگان براساس شبیه‌سازی پویا برای زنجیره‌تأمین انجام شد. آنگاه برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس تغییرات تقاضا و تغییرات ظرفیت تولید و تغییرات موجودی حساسیت‌سنجی شد و درنهایت تأمین‌کنندگان انتخاب شدند. نتایج نشان داد که با افزایش تقاضا، هزینه مواد اولیه جدید نیز افزایش می‌یابد. همچنین در ۸۰ درصد ظرفیت تولید پایه، برنامه‌ریزی احتیاجات مواد غیرقابل اجرا است و قادر به تأمین تقاضای پایه نیست. کاهش ظرفیت منجربه هزینه‌های بالای موجودی می‌شود. با ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد ظرفیت پایه، کاهش در هزینه‌های تولید دیده شد. همچنین با موجودی اولیه بالا، کاهش در کل هزینه‌ها مشاهده شد و در ۱۲۰ درصد موجودی اولیه پایه، اگرچه هزینه‌های موجودی افزایش یافت، هزینه مواد اولیه جدید به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. همچنین حساسیت برای انتخاب تأمین‌کننده نسبت‌به پارامتر هزینه ثابت سفارش‌دهی از تأمین‌کننده از سایر پارامترهای هزینه‌ای کمتر است.

۱. مقدمه

برنامه‌ریزی احتیاجات مواد، روش اولویت برنامه‌ریزی است که محاسبه مواد موردنیاز برای پاسخ‌گویی به تقاضا در تمام محصولات و قطعات را در یک یا چند بخش کارخانه انجام می‌دهد. با این کار از یک طرف تداوم تولید حفظ می‌شود و از طرف دیگر از انبار کردن بیش از اندازه مواد جلوگیری می‌گردد [۱،۲]. همچنین از فعالیت‌های مهم برای

* نویسنده مسئول: رضا احتشام‌راثی
تلفن: ۰۲۸-۳۳۸۶۶۳۲۶۰؛ پست الکترونیکی:
rezaehteshamrasi@gmail.com

موفقیت زنجیره‌تأمین شرکت‌ها خرید مؤثر و کارآمد است. عمل خرید به‌سبب فاکتورهایی مثل جهانی شدن، ارزش افزوده افزایش یافته در عرضه و تغییرات فن‌آوری سریع، در مدیریت زنجیره‌تأمین، توجه بسیار زیادی را به‌خود معطوف کرده است. مهم‌ترین فعالیت عمل خرید، انتخاب تأمین‌کننده مناسب است، زیرا انتخاب تأمین‌کننده مناسب برای سازمان، صرفه‌جویی‌های معناداری به‌بار می‌آورد [۳]. درواقع در بازار رقابتی امروزه تولیدکنندگان درصدد بهبود وضع داخلی نیستند بلکه انتخاب بهترین بازارها و بهترین تأمین‌کنندگان در صدر برنامه‌های آن‌ها قرار گرفته است [۴]. مدیریت موفق زنجیره‌تأمین نیازمند یک استراتژی تأمین منبع مؤثر و کارآمد است تا عدم قطعیت را در عرضه و تقاضا تا حد امکان حذف نماید. تصمیمات منبع‌یابی بیشتر از همیشه حیاتی هستند، زیرا با افزایش هزینه‌های خرید در مقایسه با هزینه‌های کل، تابع خرید و تصمیمات خرید در هر شرکتی از اهمیت قابل ملاحظه ای برخوردار است [۵].

شناسایی و انتخاب فقط تأمین‌کنندگان جهت مینیمم کردن هزینه کل زنجیره و افزایش تولید کافی به‌نظر نمی‌رسد بلکه به‌ازاء انتخاب هر تأمین‌کننده لازم است برنامه‌ریزی احتیاجات مواد نیز مدنظر قرار گیرد.

۱-۲. بررسی شکاف تحقیقاتی

خلفی‌زاده و همکاران در سال ۲۰۱۹ الگوریتم‌های چندهدفه‌ای را توسعه دادند که بتواند در یک شبکه تأمین چندمرحله‌ای شامل چند تأمین‌کننده، تولیدکننده، انبار، خرده‌فروش و مشتریان داخلی و خارجی، سود را حداکثر و زمان تدارک[1] را حداقل کند [۶]. بیلال و حسین در سال ۲۰۱۹ در پژوهشی یک مدل چندهدفه برای یک زنجیره‌تأمین چندمحصولی، چنددوره‌ای و چهارسطحی را تحت اثر عدم قطعیت پیشنهاد دادند که بتوان به‌کمک آن، هزینه کل زنجیره را کاهش و تعداد محصولات را افزایش داد [۷]. همچنین داس و همکاران در سال ۲۰۱۹، یک زنجیره‌تأمین سه‌محصوله چهارسطحی را براساس سیستم موجودی–سفارش به‌جهت داشتن یک سیستم بهینه موجودی توسعه دادند و بدین‌منظور حاشیه سود و زمان تدارک و تغییر در تقاضا را پایه محاسباتی خود قرار دادند [۸]. دوان و ونچورا، در پژوهش خود یک طرح تخفیف قیمت عرضه‌کننده و دوره‌های زمانی انعطاف‌پذیر با هدف انتخاب تأمین‌کننده با درنظر گرفتن فرکانس سفارش و زمان تدارک در یک مدل برنامه‌ریزی موجودی برای یک زنجیره‌تأمین چنددوره‌ای، چندتأمین‌کننده‌ای و چندمرحله‌ای انجام دادند، نتایج نشان داد که طول زمان سفارش در انتخاب تأمین‌کننده نقش مؤثری دارد [۹]. درادامه سوتریسنو و تجاجانا در سال ۲۰۲۱، مدل بهینه‌سازی برای کنترل موجودی ادغام شده با انتخاب تأمین‌کننده با درنظر گرفتن تخفیف انجام دادند که شامل چهار تأمین‌کننده با سه نوع محصول بود [۱۰] و پویا و همکاران در سال ۲۰۲۱، از رویکرد پویایی سیستم استفاده کرده و سیستم MRP را براساس مدل موجودی مدل‌سازی و شبیه‌سازی کردند و براساس سه سناریوی تقاضای تصادفی-زمان هدایت تصادفی، تقاضای تصادفی-زمان هدایت قطعی و پیشنهاد شرکت و سه سیاست اندازه‌گیری برای اندازه بچ، شامل مقدار سفارش ثابت، سفارش دوره‌ای ثابت و مقدار سفارش اقتصادی مورد ارزیابی قرار دادند [۱۱].

در بررسی کار این پژوهشگران شکاف‌های علمی بدین شرح دیده می‌شود: الف) عدم نگرش همزمان به برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کننده، زیرا هردو عامل جهت مدیریت موفق زنجیره‌تأمین واقعی می‌باشند و دانستن تأثیر هم‌زمان این دو عامل برروی زنجیره‌تأمین بسیار حائز اهمیت است. ب) اکثر مدل‌های موجودی چندین مفهوم هزینه‌ای و نیز احتیاجات سطح سرویس‌دهی به مشتری را در داخل یک تابع هدف تکی جایگزین می‌کنند، سپس تصمیمات بهینه در مورد این‌که چقدر سفارش داده شود و چه وقتی سفارش داده شود، توسط روش‌های سنتی بهینه‌سازی آغاز می‌شود، درحالی‌که موارد زیادی در مسائل مربوط به سیستم‌های واقعی کنترل موجودی وجود دارد که تصمیم گیرندگان مایل به بهینه‌سازی بیش از یک هدف که بعضاً ممکن است با یکدیگر در تضاد نیز باشند، هستند. ج) در مورد مسأله مدل تکمیل موجودی توأم چند کالا در حالت پویا، تاکنون به حالتی‌که بیش از یک هدف در مدل درنظر گرفته شده و درنتیجه بر کارایی کاربردی و عملی آن بیفزاید، پرداخته نشده است.

۱-۳. هدف و نوآوری پژوهش

باتوجه به مطالب گفته شده این پژوهش قصد دارد انتخاب تأمین‌کننده و برنامه‌ریزی احتیاجات مواد را به‌عنوان هدف اصلی دیده و مدل‌سازی انتخاب تأمین‌کننده و برنامه‌ریزی احتیاجات در زنجیره‌تأمین چندسطحی انجام دهد.

لذا یک مدل ریاضی چند هدفه فازی را (مرجع [۶]) برای شناسایی و انتخاب تأمین‌کنندگان و همچنین برنامه‌ریزی مواد اولیه در زنجیره‌تأمین فوق پیشنهاد می‌دهیم که هدف آن مینیمم کردن هزینه کل زنجیره و افزایش محصولات (مرجع [۷]) بوده و دارای عدم قطعیتی همانند تقاضا و ظرفیت باشد همچنین جهت بهینه‌سازی از مرجع [۸] تبعیت کرده و براساس مدل موجودی مدل‌سازی و شبیه‌سازی (مرجع [۱۱]) شود.

منظور از مدل موجودی عبارت است از روش‌هایی جهت اطمینان از حفظ سطح موجودی کالا و بررسی و نگه‌داشت سطحی از موجودی است، که هزینه‌های سیستم را کمینه نماید. سیستم موجودی جریانی است که ضمانت می‌کند اقلام موجود سازمان با درنظر گرفتن عوامل زمان، مکان، تعداد، کیفیت و هزینه، برای بخش‌های مدیریت عملیات تولید، توزیع، فروش، مهندسی در دسترس باشد. آنچه در سیستم موجودی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، میزان سفارش و زمان سفارش است.

بدین‌منظور لازم است یک سیستم موجودی شامل پارامترهای اصلی سطح موجودی اولیه، نرخ کمبود و تصمیم‌گیری در حالت کمبود عرضه، طراحی گردد و مدل‌سازی تقاضا برای هر واحد زنجیره‌تأمین و

1. Lead time

شبیه‌سازی پویا براساس مدل موجودی، توسعه یافته و برای برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کنندگان پیاده‌سازی گردد.

۲. مروری بر ادبیات پژوهش

۲-۱. برنامه‌ریزی احتیاجات مواد

لولای و دولگایی، پارامترهای بهینه در برنامه‌ریزی احتیاجات مواد را در شرایط عدم اطمینان مشخص کردند و زمان تدارک را مورد بررسی قرار دادند و زمان تدارک را به‌عنوان انحراف تصادفی مطرح نمودند. همچنین برنامه‌ریزی احتیاجات مواد را با رویکرد مقدار سفارش زمانی (POQ) مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. ایندرفارت به بررسی چگونگی محافظت در برابر ریسک‌های عرضه و تقاضا در سیستم برنامه‌ریزی احتیاجات مواد پرداختند و بااستفاده از تجزیه و تحلیلی از کنترل موجودی تصادفی، نشان دادند، چگونه قوانین کنترل عملکرد برنامه‌ریزی احتیاجات مواد می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد و چگونه پارامترهای مناسب کنترل برای لوازم را می‌توان به‌طور مشخص نشان داد [۱۳]. میرمحمدی و کیانفر، یک الگوریتم شاخه و حد در مقاله خود ارائه دادند و به‌جهت تعیین اندازه‌های زیاد برای یک آیتم در برنامه‌ریزی احتیاجات مواد از تقاضای مرحله به مرحله و هزینه ثابت سفارش با زمان تأخیر صفر استفاده کردند. آن‌ها سعی کردند یک الگوریتم بهینه و کارا برای مسأله تخفیف در موقع سفارش در یک برنامه‌ریزی احتیاجات مواد به‌دست آورند [۱۴]. لی و همکارنش، یک شبکه فعال فرآیند برنامه‌ریزی احتیاجات مواد را در یک محیط پایگاه داده توزیع شده پیشنهاد کردند و بهبود عملکرد فرآیند پیشنهادی را با یک مطالعه شبیه‌سازی شده نشان دادند [۱۵]. صلاح‌الدین، در مقاله خود به بررسی فاکتورهای تأثیرگذار در اجرای برنامه‌ریزی احتیاجات مواد در بخش صنایع مصر پرداخت و به عواملی چون حمایت مدیریت، جو سازمانی و ... اشاره کرد [۱۶]. پترونی، فاکتورهای اساسی و کلیدی در پیاده‌سازی برنامه‌ریزی احتیاجات مواد در شرکت‌های متوسط و کوچک را مورد بررسی قرار داد و تعدادی عنصر را به‌عنوان عوامل کلیدی در اجرای آن شناسایی و معرفی کرد که باتوجه به آن‌ها، اجرای برنامه‌ریزی احتیاجات مواد موفق‌آمیزتر خواهد بود، از جمله: حمایت مدیران ارشد، حمایت و درگیر شدن بخش‌های کارکردی در کار، آموزش فنی افراد دررابطه با نرم‌افزارها، اطلاعات برنامه‌ریزی و ... [۱۷]. میکلو و همکاران، در پژوهشی تحت عنوان MRP تقاضا محور: ارزیابی رویکرد جدید در مدیریت احتیاجات مواد، با هدف بررسی پویایی برنامه‌ریزی احتیاجات مواد برمبنای تقاضامحوری انجام دادند. آن‌ها براساس یک سیستم موجودی مبتنی بر کانبان، برنامه شبیه‌سازی را براساس متغیر بودن تقاضا طراحی کردند و به این نتیجه رسیدند که سیستم های MRP تقاضا محور می‌تواند جواب‌گویی مناسبی داشته باشد [۱۸].

۲-۲. انتخاب تأمین‌کننده

چپرا و میندل بیان می‌دارند که به‌جز قیمت، فاکتورهای مهم دیگری هم وجود دارد که در هزینه‌های تأمین مؤثر است و هنگام تصمیم‌گیری درباره فرآیند تأمین باید آن‌ها را درنظر گرفت. در میان این فاکتورها کیفیت و مدت زمان تحویل از مهم‌ترین این فاکتورها می‌باشند [۱۹]. دیکسون، اهمیت ۲۳ معیار را براساس مطالعه برروی مدیران خرید برای مسأله انتخاب تأمین‌کننده، شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و به این نتیجه رسید که سه عامل کیفیت استاندارد، تحویل به‌موقع کالا و سابقه عملکرد، عوامل ضروری و بسیار مهمی هستند که در امر انتخاب تأمین‌کننده مطرح است [۲۰]. روا و کیسر، شصت شاخص را برای مسأله انتخاب تأمین‌کننده درنظر گرفتند [۲۱]. باخ و همکاران، پنجاه و یک شاخص را برای مسأله انتخاب تأمین‌کننده درنظر گرفته‌اند [۲۲]. بندر و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح یک‌هدفه را برای کمینه کردن هزینه خرید، حمل‌ونقل و هزینه‌های موجودی در شرایط چندمحصولی و چنددوره‌ای با محدودیت‌های کیفیت فروشنده، شرایط تحویل و ظرفیت فرموله نمودند [۲۳]. وبر و همکاران ۷۴ مقاله را در مورد معیارهای تأمین‌کنندگان بررسی نمودند و نشان دادند که قیمت، مهم‌ترین معیار برای انتخاب تأمین‌کننده است. آن‌ها همچنین نشان دادند که انتخاب تأمین‌کننده یک مسأله چندمعیاره بوده که اهمیت شاخص‌ها به موقعیت و وضعیت خرید بستگی دارد [۲۴]. وبر و کارنت برای اولین بار یک مدل چندهدفه در شرایطی که اهداف با هم در تعارض هستند را برای تخصیص سفارشات به تأمین‌کنندگان ارائه نمودند [۲۵]. در مدل برنامه‌ریزی عددصحیح برای انتخاب تأمین‌کننده روسندال و همکاران، خریدار باید اقلام مختلفی را از تأمین‌کنندگان مختلف خریداری نماید. ظرفیت تأمین‌کنندگان محدود و کیفیت و زمان تحویل نیز متفاوت بود. در این مدل تأمین‌کننده محصولات را در بسته‌هایی برای مدل تخفیف ارائه می‌دهد [۲۶]. دگریو و همکاران علاوه‌بر مروری بر مدل‌های به‌کار رفته در انتخاب تأمین‌کننده، استفاده از مفهوم هزینه کل مالکیت را به‌عنوان پایه و اساسی جهت مقایسه مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده پیشنهاد دادند [۲۷]. دی بویر و همکاران مروری را بر مطالعات انجام شده در زمینه انتخاب تأمین‌کننده انجام دادند و در این تحقیق، چارچوبی را ارائه کردند که مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده را از تعریف مسأله و فرموله کردن معیارها و کیفیت تأمین‌کنندگان بالقوه تا انتخاب نهایی تأمین‌کننده شامل می‌شد [۲۸]. باسنت و لونگ در پژوهشی، طرح اندازه انباشته موجودی چنددوره‌ای را ارائه نمودند که در شرایط چندمحصولی و چندتأمین‌کننده بررسی می‌گردید. در این طرح هر کدام از محصولات می‌توانند به‌واسطه مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان معتبر تأمین گردند. هزینه سفارش وابسته به تأمین‌کننده در هر دوره زمانی که به آن تأمین‌کننده سفارش داده شود، اختصاص می‌یابد. هزینه نگهداری وابسته به محصول نیز برای هر محصول به‌ازای موجودی که در قالب افق برنامه‌ریزی شده از دوره‌ای به دوره بعد منتقل می‌گردد، محاسبه می‌گردید [۲۹]. گوسن و همکاران مسأله تأمین خرید چندکالایی از مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان را با درنظر گرفتن فقط مینیمم کردن تابع هزینه خرید مطرح نمودند به‌صورتی که سایر معیارهای مؤثر در مدل ریاضی خطی آن‌ها وجود نداشت. آن‌ها در

تحقیق خود فرض نمودند همه تأمین‌کنندگان فقط طرح تخفیف کلی را پیشنهاد نموده‌اند [۳۰]. رضایی و داوودی شرایطی از زنجیره‌تأمین در حالت چندمحصولی و چندتأمین‌کننده را درنظر گرفتند که همه آن‌ها دارای محدودیت ظرفیت بودند. در این پژوهش فرض گردید الزاماً همه کالاهای دریافتی از تأمین‌کنندگان در سطح کیفیت ایده‌آل نمی‌باشند. همچنین همه اقلام با کیفیت غیرمطلوب معیوب نمی‌باشند [۳۱]. ویلیام هو و همکاران نیز، مروری بر رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد استفاده در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده داشتند. آن‌ها این رویکردها را به دو دسته ترکیبی و غیرترکیبی تقسیم نمودند. تحقیق آن‌ها به این نتیجه رسید که رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره، بهتر از رویکردهای مبتنی‌بر هزینه است [۳۲]. عمید و همکاران، یک مدل چندهدفه خطی فازی را برای مسأله انتخاب تأمین‌کننده توسعه دادند. ابهام و عدم قطعیت موجود در داده‌های ورودی در مدل آن‌ها لحاظ شده بود [۳۳]. همچنین عمید و همکاران یک مدل فازی چندهدفه وزن‌دار را برای انتخاب تأمین‌کننده در حالت تخفیف کلی ارائه دادند. در مدل مذکور هم‌زمان هم عدم دقت اطلاعات (تئوری فازی) و هم تعیین میزان سفارش به هریک از تأمین‌کنندگان در حالت تخفیف درنظر گرفته شد [۳۴]. ابراهیم و همکاران برای اولین بار مدل‌های مختلف تخفیف را با یکدیگر در قالب برنامه‌ریزی چندهدفه بررسی نمودند [۳۵]. هاله و حمیدی یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی را برای تخصیص سفارش به تأمین‌کننده در حالت عدم قطعیت و در بازه‌های زمانی مختلف ارائه دادند. در این مدل برای غلبه بر عدم اطمینان بر اطلاعات از مدل فازی و از تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت مشخص کردن بهترین میزان تخصیص سفارش به هریک از تأمین‌کنندگان استفاده شد [۳۶]. ژیا و وو مسأله انتخاب تأمین‌کننده چندهدفه‌ای را تحت شرایط تخفیف مقدار اقتصادی مطرح نمودند [۳۷]. کراما و همکاران در تحقیق خود استراتژی‌های خرید را در مورد یک شرکت که دارای کارخانه‌های متعددی است شرح دادند. مدل تخفیف تأمین‌کنندگان به‌صورت تخفیف کلی بود و در برنامه‌ریزی‌ها هم سفارش گروهی و هم سفارش تکی مدنظر قرار داده شد [۳۸]. دینگو همکاران یک روش بهینه‌سازی بااستفاده از الگوریتم ژنتیک را معرفی کردند. مدل پیشنهادی آن‌ها ساختارهای تأمین‌کنندگان منتخب را فراهم می‌آورد [۳۹]. فریمن و همکاران در مقاله خود بااستفاده از روش AHP و TOPSIS به بررسی معیارها و امتیازدهی تأمین‌کنندگان باتوجه به عوامل اقتصادی و زیست‌محیطی پرداختند [۴۰]. وار و همکاران، یک برنامه‌ریزی غیرخطی عددصحیح را برای مدل‌سازی مسأله انتخاب تأمین‌کننده به‌صورت پویا، توسعه دادند. در پژوهش خود از یک برنامه غیرخطی عددصحیح برای مقابله با مسأله انتخاب تأمین‌کننده پویا استفاده کردند [۴۱]. ژو و یان برای مسأله انتخاب تأمین‌کننده سه هدف: مینیمم کردن هزینه کل، مینیمم کردن تعداد اقلام برگشتی و مینیمم کردن تأخیر در تحویل را تعریف کردند و با درنظر گرفتن محدودیت‌های مسأله ابتدا مدل چندهدفه عددصحیح را برای مسأله تعریف کردند، سپس اهداف و محدودیت‌ها را به‌صورت فازی درنظر گرفته و سپس مدل فازی را به مدلی قطعی تبدیل کرده و در آخر به حل مسأله بااستفاده از الگوریتم بهینه‌سازی (POS) پرداختند [۴۲]. زیدان و همکاران از سه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده نموده تا حساسیت مؤثر و غیرمؤثر تأمین‌کنندگان را تحلیل کنند. در مرحله اول از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، برای وزن‌دهی به معیارها استفاد نمودند و سپس بااستفاده از روش تاپسیس فازی متغیرهای کیفی را به یک متغیر کمی تبدیل نموده و در مرحله دوم از تحلیل پوششی داده‌ها جهت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان مؤثر و غیرمؤثر استفاده نمودند [۴۳]. وانگ و سو یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح برای طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته که شامل تأمین‌کنندگان، کارخانه‌های تولیدی، مراکز توزیع و مراکز اسقاط می‌باشد، ارائه دادند. تابع هدف این مدل کمینه‌سازی هزینه شبکه لجستیک بود که شامل هزینه ثابت تسهیلات، هزینه حمل‌ونقل مواد و هزینه پردازش در تسهیلات می‌باشد. همچنین الگوریتمی ژنتیک برمبنای درخت گسترده بااستفاده از نمایش کدگذاری تعیین‌کننده برای این مدل توسعه داده شد [۴۴]. پیشوایی و همکاران برای طراحی یکپارچه شبکه‌های لجستیک پیشرو معکوس از مدل MINLP دوهدفه برای کمینه‌سازی هزینه‌های کل و بیشینه‌سازی پاسخ‌گویی شبکه لجستیک استفاده کردند و برای حل مدل، یک الگوریتم ابتکاری برمبنای الگوریتم ممتیک پیشنهاد نمودند [۴۵]. دوان و ونچورا، پژوهشی باعنوان انتخاب تأمین‌کننده پویا و و مدل مدیریت موجودی برای یک زنجیره‌تأمین سریال با یک طرح تخفیف قیمت عرضه‌کننده و دوره‌های زمانی انعطاف‌پذیر با هدف انتخاب تأمین‌کننده با درنظر گرفتن فرکانس سفارش و زمان تدارک در یک مدل برنامه‌ریزی موجودی برای یک زنجیره‌تأمین چنددوره‌ای، چندتأمین‌کننده‌ای و چندمرحله‌ای انجام دادند، نتایج نشان داد که طول زمان سفارش در انتخاب تأمین‌کننده نقش مؤثری دارد [۹].

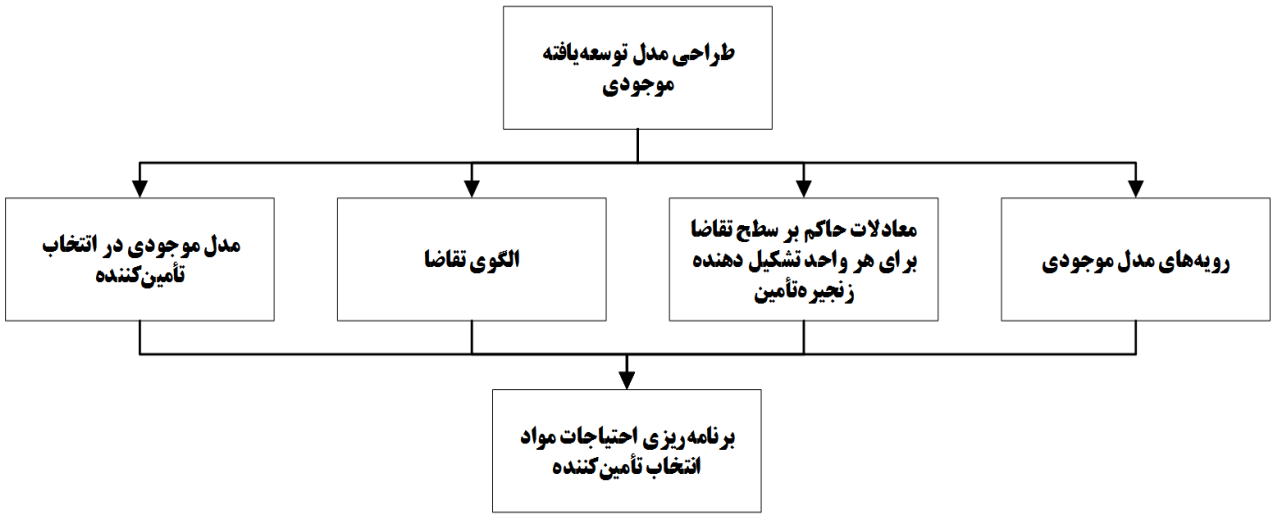
۲-۳. مدل‌های موجودی

کلین و ونچورا جهت ایجاد یک سیاست سفارش‌دهی ساده‌تر برای پیاده‌سازی در صنعت، مدلی را ارائه دادند که در آن زمان‌های تکمیل موجودی تنها به ابتدای پریودهای زمانی گسسته محدود شد [۴۶]. مون و چا، دو الگوریتم برای حل مدل تکمیل موجودی توأم چند کالا در حالت پویا، وقتی تأمین‌کننده تخفیف‌های مقداری کلی پیشنهاد می‌کند، توسعه دادند. نویسندگان دو قضیه اثبات کردند که سپس در توسعه دو الگوریتم را برای پیدا کردن جواب به‌کار بردند [۴۷]. خوجا و همکاران فرض کردند که هزینه‌ی هر واحد محصولات در یک افق زمانی محدود و متناسب با یک آهنگ پیوسته نسبت به زمان کاهشی یا افزایشی است و یک الگوریتم برای حل مدل تکمیل موجودی توأم چند کالا در حالت پویا، ارائه دادند [۴۸]. سجادی و همکاران مدلی را فرموله کردند که در آن‌ها مدل تکمیل موجودی توأم چند کالا در حالت پویا به‌عنوان یک زیرمسأله به‌کار رفت، آن‌ها مدل بهینه‌سازی تصمیمات موجودی یک فروشنده که به‌طور هم‌زمان چندین قطعه برای تولید محصول نهایی به‌کار می‌برد، را توسعه دادند [۴۹]. چان و

همکاران یک رویکرد حل برای برنامه‌ریزی تحویل از یک تأمین‌کننده به چندین خریدار توسعه دادند، که خریداران مدل تکمیل موجودی توأم چند کالا در حالت پویا را برای تکمیل موجودی خود از تأمین‌کننده به‌کار بردند و در ادامه مسأله برنامه‌ریزی تحویل تحت چهار هدف مختلف فرموله شد [۵۰]. هوک، یک مدل توسعه‌یافته از مدل تکمیل موجودی توأم چند کالا در حالت پویا را برای دربرگرفتن موارد عملی و با درنظر گرفتن ظرفیت‌های انبار و حمل‌ونقل و محدودیت بودجه ارائه داد و یک رویکرد ساده برای محاسبه حد پایین مناسب برای سیکل مشترک پایه ارائه نمود [۵۱]. اولسن، حالتی از مسأله مدل تکمیل موجودی توأم چند کالا در حالت پویا را درنظر گرفت که در آن هزینه‌های جزئی سفارش‌دهی به یکدیگر وابسته‌اند. وابستگی خطی هزینه‌های جزیی سفارش‌دهی در مدل تکمیل موجودی توأم چند کالا در حالت پویا، هنگامی رخ می‌دهد که هزینه وارد کردن یک آیتم در یک سفارش به این‌که کدامیک از کارهای دیگر در سفارش هستند، بستگی دارد. وی در ادامه، یک الگوریتم تکاملی[1] (EA) را برای حل چنین مسأله ای ارائه داد [۵۲]. در مقاله‌ای که کوناک و همکاران ارائه دادند به مطالعه‌ای از مسأله مدل تکمیل موجودی توأم چندکالا در حالت پویا، تحت تقاضاهای نامعین مشتری و تخمین نادقیق واحد هزینه نگهداری پرداختند [۵۳]. سو، مسأله مدل تکمیل موجودی توأم چندکالا در حالت پویا را برای مدل‌سازی تصمیمات موجودی برای یک کارخانه مرکزی و شعبه‌های آن در یک سیستم تولید به‌هنگام به‌کار گرفت [۵۴]. لی یک مدل تکمیل موجودی توأم چندکالا در حالت پویا وقتی چندین خریدار وجود دارند مدل‌سازی کرده و با توسعه‌ای از الگوریتم RAND آن را حل نمود [۵۵].

۳. روش پژوهش

در بررسی ادبیات پژوهش، عامل مشترک جهت مدیریت انتخاب تأمین‌کننده و برنامه‌ریزی احتیاجات مواد، استفاده از رویکرد سیستم موجودی است. جهت پیاده‌سازی سیستم کنترل موجودی برروی زنجیره‌تأمین به‌جهت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کننده، ابتدا مدل توسعه‌یافته موجودی را طراحی می‌کنیم و برمبنای آن شیوه‌ای برای برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کننده براساس مدل موجودی به‌دست می‌آوریم. کلیات روش پژوهش در شکل (۱) نشان داده شده است که درادامه هر بخش توضیح داده خواهد شد.



شکل (۱): کلیات روش پژوهش

۳-۱. طراحی مدل توسعه یافته موجودی

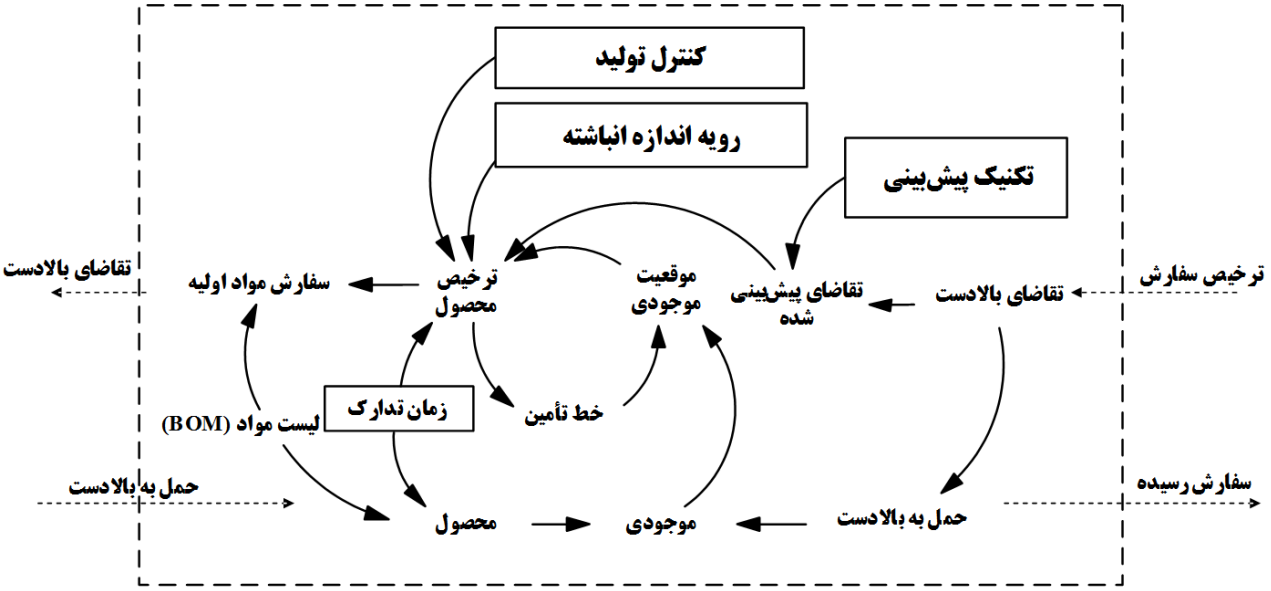
شکل (۲) گردش کار زنجیره‌تأمین یک کارخانه را نشان می‌دهد. در این گردش کار، زنجیره‌تأمین بالادست شامل تأمین‌کنندگان اولیه (که می‌توانند مونتاژکننده و یا سازنده باشند) و تأمین‌کنندگانشان هستند که همه این مسیرها از مواد سرچشمه می‌گیرد. فعالیت‌های اصلی این قسمت خرید و حمل است. زنجیره‌تأمین داخلی، شامل همه پردازش‌های استفاده شده به‌وسیله‌ی یک سازمان در تبدیل داده‌های حمل شده به سازمان توسط تأمین‌کنندگان، به خروجی‌ها است، از زمانی که مواد وارد سازمان (کارخانه) می‌شود تا زمانی که محصول نهایی برای توزیع به خارج سازمان (کارخانه) حرکت می‌کند. فعالیت‌ها شامل حمل مواد، مدیریت موجودی و ساخت است. مشاهده می‌شود که زنجیره‌تأمین وقتی محصول واگذار یا مصرف می‌گردد، پایان می‌پذیرد. فعالیت‌ها شامل بسته‌بندی، انبار و حمل است. این فعالیت‌ها ممکن است بااستفاده از چندین توزیع‌کننده انجام شود مثل عمده‌فروشان و خرده‌فروشان. ایـــن قسمت می‌تواند به سمت راست به‌همین ترتیب گسترش یابد.

لذا جهت جهت مدل‌سازی هر واحد تشکیل دهنده زنجیره‌تأمین شبیه‌سازی دولایه‌ای[2] با مدل‌های زیر پیشنهاد می‌گردد (شکل (۳)).

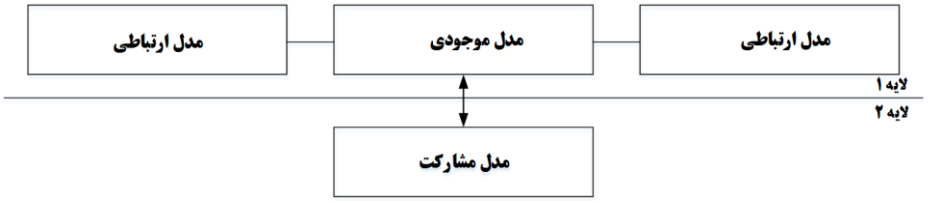
1. Evolutionary algorithms

2. Two layer simulation

- مدل موجودی[۱] شامل سطح موجودی اولیه[۲]، نرخ کمبود[۳] و تصمیم‌گیری در حالت کمبود عرضه[۴]
- مدل ارتباطی[۵] شامل زمان تدارک سفارش[۶] و زمان تدارک تولید[۷] و رویه تخصیص[۸] (در اینجا محصول) و لیست مواد[۹].
- مدل مشارکتی[۱۰] : مدل کردن پروسه سفارش (پیش‌بینی تقاضا و رویه سفارش) به‌منظور تجدید ذخایر موجودی برای هر واحد زنجیره‌تأمین در کل زنجیره‌تأمین می‌باشد و همچنین این مدل همان منطقه مشترک در مدل چندسطحی را شبیه‌سازی می‌کند.



شکل (۲): گردش کار یک زنجیره‌تأمین



شکل (۳): مدل‌سازی پیشنهادی هر واحد تشکیل‌دهنده زنجیره‌تأمین

لایه ۱، از دو مدل ارتباطی و یک مدل موجودی تشکیل گردیده است. مدل موجودی به‌منظور مدل کردن زنجیره‌تأمین مابین واحدهای زنجیره‌تأمین استفاده شده است. مدل مشارکتی (لایه ۲) به‌منظور مدل کردن پروسه سفارش و تنظیم مجدد زنجیره‌تأمین به‌کار می‌رود. انتخاب چنین ساختاری، باعث می‌شود بتوان سیستم را کمی کرد. هدف از لایه ۱، ایجاد شبکه‌ای خاص به کمک اتصال دو مدل ارتباطی و مدل موجودی است.

سطح موجودی به‌صورت پویا بر پایه تعداد سفارشات رسیده و تعداد محصولات حمل شده تغییر می‌کند. تمرکز در این مدل براساس تصمیم‌گیری در حالت کمبود عرضه است که آیا در انتظار کلیه‌ی سفارشات باشد و یا تمام سفارشات ازدست‌رفته را نادیده بگیرد.

پارامترهای ورودی که کاربر، برای شروع کار مدل موجودی وارد می‌کند، عبارتند از: سطح موجودی اولیه[۱۱]، نرخ کمبود[۱۲] و تصمیم‌گیری در حالت کمبود عرضه. پارامتر سطح موجودی اولیه برحسب واحد محصول است و به‌عنوان مثال می‌تواند ۱۰۰۰ واحد یک محصول باشد. پارامتر نرخ کمبود برحسب محصول در واحد زمان بوده و به‌عنوان مثال می‌تواند ۵ واحد محصول در روز (ثابت) و یا توزیع نرمال با میانگین ۵ و انحراف معیار ۲ واحد در روز (تابع توزیع) و یا ۱۰٪ ترخیص سفارش (معادله) باشد. تصمیم‌گیری در حالت کمبود عرضه صفر بدین معنی است که وقتی کمبود عرضه اتفاق می‌افتد زنجیره‌تأمین، سفارشات ازدست‌رفته[۱۳] را لغو کند و اگر یک باشد، بدین معنی است که اگر کمبود عرضه اتفاق بیفتد، زنجیره‌تأمین درانتظار

1. Inventory model
2. Initial inventory level
3. Defect rate
4. Decision when supply shortage
5. Linkage model
6. Order lead time
7. Production lead time
8. Allocation policy
9. BOM (Bill of Material)
10. Contribution model
11. Initial inventory level
12. Defect rate
13. Missed order

تمامی سفارشات است.

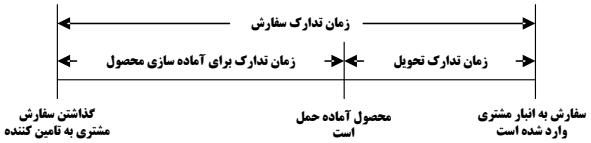
۳-۱-۱. رویه‌های مدل موجودی

به‌کمک مجموعه این رویه‌ها می‌توان از مدل توسعه‌یافته موجودی جهت پیاده‌سازی MRP و انتخاب تأمین‌کننده استفاده کرد. رویه حمل محصول، رفتار حمل محصول به مشتری برحسب زمان و در دوره زمانی T را بررسی می‌نماید. به‌منظور محاسبه تعداد محصول آماده حمل، لازم است از تعداد تقاضای مشتریان و تعداد محصولات موجود در انبار آگاه بوده و درنتیجه تعداد کل محصولات حمل شده به مشتری را محاسبه نمود. رویه ترخیص سفارش، تعداد ترخیص سفارش[1] در دوره زمانی T نسبت‌به تأمین‌کننده را بررسی می‌نماید و سفارشات از دست رفته قبلی و براساس تصمیم‌گیری در حالت کمبود عرضه (صفر یا یک) محاسبه می‌گردد. در صورت صفر بودن انتخاب تصمیم‌گیری در حالت کمبود عرضه، سفارشات ازدست‌رفته براساس زمانی‌که ذخیره‌سازی بهطور کامل توسط تأمین‌کننده انجام نشده باشد، محاسبه می‌گردد. رویه سطح موجودی، رفتار موجودی واحدهای زنجیره‌تأمین در دوره زمانی T را بررسی می‌نماید. سطح موجودی در دسترس به‌صورت پویا بر پایه تعداد سفارشات رسیده و تعداد محصولی که برای مشتری ارسال شده و تعداد مرجوعی‌ها تعیین می‌گردد. این رویه همچنین وضعیت موجودی را براساس اندازه‌گیری محصولات قابل تولید برای سفارشات آتی محاسبه می‌نماید. وضعیت موجودی برابر است با مجموع سطح موجودی و زمان‌بندی دریافت کالا به این معنی که سفارشاتی وجود دارد که هنوز دریافت نشده است، منهای کالاهایی که به سمت مشتری ارسال شده است.

۳-۱-۲. رویه‌های مدل ارتباطی

این مدل برای ارتباط بین اطلاعات مدل و جریان محصول مابین موجودی واحدهای زنجیره‌تأمین، توسعه پیدا کرده است. اطلاعات و جریان محصول مابین واحدهای زنجیره‌تأمین معمولاً دارای تأخیر در پروسه جریان خود هستند. این مدل برای اطلاعات و جریان محصول دارای تأخیر زمانی طراحی شده است. به‌دلیل این‌که جریان محصول و اطلاعات در دو بخش توزیع و حمل محصول وجود دارد، بنابراین مدل ارتباطی دارای دو مدل توزیع و تولید خواهد بود.

مدل ارتباطی توزیع[2]، اشاره به مرحله‌ای دارد که محصول از تأمین‌کننده به مشتری در زنجیره‌تأمین، حمل و ذخیره می‌گردد. بدین منظور مواد اولیه و اجزاء و قطعات از تأمین‌کنندگان به سازندگان (تولیدکنندگان) منتقل گردیده و تولیدات نهایی از سازندگان به مشتریان نهایی منتقل می‌گردد. این مدل برای ارتباط مابین موجودی‌های واحدهای زنجیره‌تأمین و توزیع‌کنندگان طراحی شده است. پارامترهای اصلی برای شبیه‌سازی مدل مذکور عبارتند از: زمان تدارک سفارش[3]، زمان تدارک تحویل[4] و رویه تخصیص[5] (در اینجا خرده‌فروش). زمان تدارک سفارش، دوره زمانی از رسیدن سفارش مشتری تا پایان حمل آن به انبار مشتری می‌باشد و زمان تدارک تحویل دوره زمانی حمل سفارش آماده شده به انبار مشتری است. شکل (۴) این دوره‌های زمانی را نشان می‌دهد.

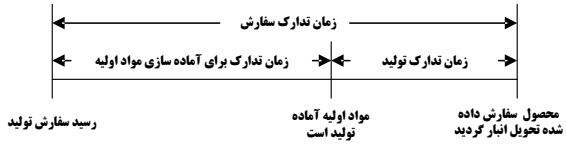


شکل (۴): دوره زمانی زمان تدارک سفارش مدل ارتباطی توزیع

در این مدل می‌توان، برای زمان تدارک سفارش و زمان تدارک تحویل مقدار زمانی ثابت (به‌عنوان مثال ۵ روز) و یا تابع توزیع (به‌عنوان مثال توزیع نرمال با میانگین ۵ و انحراف معیار ۲ روز) درنظر گرفت. مشخصاً زمان تدارک برای آماده‌سازی محصول از حاصل تفریق زمان تدارک سفارش و زمان تدارک تحویل به‌دست خواهد آمد. رویه تخصیص عبارت است از نرخ محصولی که تأمین‌کننده به‌سمت مشتری خود حمل می‌نماید در مواقعی که تأمین‌کننده ذخیره تأمین دارد، این پارامتر توسط یک معادله قابل تعریف است. رویه تقاضای مشتری در مدل ارتباطی توزیع، رفتار تعداد تقاضای مشتریان را در دوره زمانی T بررسی می‌کند. تقاضای مشتری در این مدل عبارت است از تعداد نیازهای مشتریانی که تأمین‌کننده آن نیازها را به فوریت ارسال می‌دارد. این پارامتر متکی بر تعداد محصولاتی که دارای سفارش هستند (ترخیص سفارش) و زمان تدارک آماده‌سازی می‌باشد. رویه دریافت سفارش در مدل ارتباطی توزیع، رفتار تعداد محصولاتی که به سمت مشتری حمل شده و تعداد محصولاتی که از طرف تأمین‌کننده رسیده را در دوره زمانی T بررسی می‌کند. این رویه، کمیت مذکور را در زمان $t \le T1$ که آن نیز متکی بر تعداد کل محصولاتی که به‌سمت مشتری حمل شده و رویه تخصیص است را محاسبه می‌کند. در نتیجه، تعداد سفارشاتی که در زمان $t \le T1$ از تأمین‌کننده رسیده است، متکی‌بر تعداد محصولاتی که به‌سمت مشتری حمل شده و زمان تدارک تحویل، خواهد بود. رویه مدل ارتباطی تولید، برای ارتباط مابین موجودی‌های واحدهای زنجیره‌تأمین و تولید محصول توسعه پیدا کرده است. پارامترهای اصلی برای شبیه‌سازی مدل مذکور عبارتند از: زمان تدارک سفارش[6] و زمان تدارک تولید[7] و رویه تخصیص[8] (در اینجا محصول) و لیست مواد[9]. در این مدل، زمان تدارک سفارش عبارت است از دوره زمانی که یک سفارش محصول دریافت شده، تولید و سپس به انبار تولیدکننده حمل گردد و زمان تدارک تولید عبارت است از دوره زمانی که مواد اولیه آماده تولید گردد تا این‌که سفارش محصول

1. Order release
2. Distribution
3. Order lead time
4. Delivery lead time
5. Allocation policy
6. Order lead time
7. Production lead time
8. Allocation policy
9. BOM (Bill of Material)

به انبار تولیدکننده حمل گردد. شکل (۵) این دوره‌های زمانی را نشان می‌دهد.



شکل (۵): زمان تدارک سفارش در مدل ارتباطی تولید

عامل لیست مواد (BOM) در مدل مذکور عبارت است از تعداد واحد مواد اولیه که برای تولید یک واحد محصول استفاده می‌شود. به‌طور مثال برای یک واحد محصول، می‌توان سه واحد مواد اولیه درنظر گرفت. رویه تقاضای مشتری در مدل ارتباطی تولید، رفتار تعداد تقاضاهای مشتریان را در دوره زمانی T بررسی می‌کند. تقاضای مشتری در این مدل عبارت است از تعداد مواد اولیه که به فوریت برای تولید محصول موردنیاز است. این پارامتر متکی بر تعداد سفارش تولید (ترخیص سفارش) و زمان تدارک آماده‌سازی و لیست مواد می‌باشد. رویه دریافت سفارش در مدل ارتباطی تولید، رفتار تعداد محصولاتی که به‌سمت مشتری حمل شده (تعداد مواد اولیه آماده تولید) و تعداد محصولاتی که از طرف تأمین‌کننده رسیده (تعداد محصولی که تولید شده و به انبار تحویل گردیده) را در دوره زمانی T به‌دست می‌آورد. این رویه کمیت عامل تعداد مواد اولیه‌ی آماده تولید را در زمان $t\leq T1\leq$ که آن نیز متکی بر تعداد مواد اولیه موجود و رویه تخصیص است را به‌دست می‌آورد. در نتیجه، تعداد محصولی که تولید شده و به انبار تحویل گردیده است در زمان $t\leq T1\leq$ متکی‌بر تعداد مواد اولیه‌ی آماده تولید و زمان تدارک تولید و لیست مواد (BOM)، خواهد بود.

۳-۱-۳. لایه مدل مشارکت

هدف مدل مشارکت، مدل کردن پروسه سفارش (پیش‌بینی تقاضا و رویه سفارش) به‌منظور تجدید ذخایر موجودی برای هر واحد زنجیره‌تأمین در کل زنجیره‌تأمین می‌باشد. پس از تشکیل (تعریف) ساختار مدل‌های موجودی و مدل‌های ارتباطی برای شبکه تأمین مورد نظر (لایه ۱)، پروسه سفارش برای هر واحد زنجیره‌تأمین، مدل می‌شود (لایه ۲). مدل مشارکت برپایه مبانی بنیادی رویه‌های موجودی در واحد زنجیره‌تأمین مبنی‌بر سفارش، توسعه پیدا کرده است. این مدل دربرگیرنده شش نوع رویه موجودی است، که عبارتند از: سیستم موجودی پیوسته[1]، سیستم موجودی سطح حدودی سفارش دوره‌ای[2]، سیستم مینیمم–ماکزیمم[3]، سفارش برنامه‌ریزی شده[4]، سیستم ذخیره پایه[5] و رویه سفارش خاص[6]. این مدل پنج پارامتر ورودی اصلی دارد که شامل سه رویه محاسباتی و دو ورودی وضعیت موجودی، متصل به مدل موجودی و زمان تدارک سفارش، متصل به مدل ارتباطی، می‌باشد. هدف رویه اول برآورد میانگین و انحراف معیار تقاضای مشتری است. مقادیر به‌دست آمده به‌کمک زمان تدارک از مدل ارتباطی، رویه موجودی رویه دوم را به‌روزرسانی کرده، سطح هدف[7] و نقطه سفارش مجدد[8] را محاسبه می‌نماید. حاصل کار رویه دوم، به‌کمک وضعیت موجودی از مدل موجودی، تعداد ترخیص سفارش به تأمین‌کننده در رویه سوم را محاسبه کرده که خود یک ورودی مجدد برای مدل موجودی و همچنین ورودی برای محاسبه برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کننده محسوب خواهد شد.

۳-۱-۴. لایه مشارکت با نگرش برنامه‌ریزی احتیاجات مواد (MRP)

برنامه‌ریزی مواد موردنیاز، روشی است که با یک پیش‌بینی برای تقاضای محصول ساخته شده شروع می‌شود و وابستگی تقاضا را به انواع اجزاء موردنیاز و نیازهای کمی دقیق و زمان‌بندی سفارشات جهت تأمین یک برنامه تولید، تعیین می‌کند. اهداف سیستم برنامه‌ریزی مواد، کاهش میزان موجودی انبار و کاهش زمان تولید و تحویل کالا و برآورد زمان واقعی تحویل کالا و افزایش بازدهی تولید است. انواع سیستم‌های برنامه‌ریزی مواد عبارتند از [۵۶]:

- سیستم بازنگری کلی، که بررسی برنامه‌ای اساسی تولید در فواصل معینی مانند هفته یا ماه انجام می‌شود و کلیه تغییرات لازم در آن به‌عمل می‌آید به‌طوری‌که برنامه کاملاً جدید و به‌روز حاصل می‌شود.
- سیستم بازنگری موردی،که در آن چنین نظمی وجود ندارد و هر گاه تغییری در برنامه لازم شد بدون درنظر داشتن دوره زمانی خاص در برنامه منعکس می‌شود و برنامه را به‌روز درمی‌آوریم.

روش‌های تعیین میزان سفارش عبارتند از:

- سفارش براساس نیاز هر دوره: میزان سفارش یا ساخت براساس نیاز هر یک از دوره‌ها تعیین می‌شود.
- سفارش دوره‌ای: در این سفارشات مجموع نیاز چنددوره باتوجه به هزینه‌های سفارش، ساخت و انبارداری محاسبه می‌گردد.

ورودی‌های MRP عبارتند از: زمان بندی اصلی تولید[9] (MPS)، لیست مواد و قطعات (BOM) و پرونده ثبت موجودی[10]. در برنامه‌ریزی اصلی تولید، میزان محصول و زمان تولید آن در طول دوره مشخص می‌شود و به‌عبارت دیگر این برنامه مشخص می‌کند که چه ماده‌ای چه وقت و به چه میزان تولید خواهد شد. در این برنامه باید کل تقاضا برای هر قلم نهایی مشخص شود که معمولاً شامل دو قسمت است، الف) مقداری که از طریق سفارشات دریافت شده از مشتریان تعیین می‌گردد، ب) مقدار تقاضای نامعلوم که به‌وسیله پیش‌بینی‌های آماری به‌دست می‌آید. لیست مواد و قطعات نشان دهنده اجزا تشکیل‌دهنده محصول است که شامل کلیه اجزا محصول، ترتیب ساخت و تعداد

1. Continuous inventory system
2. Periodic order-up-to level inventory system
3. Min-Max system
4. Scheduled ordering
5. Base stock system
6. Special ordering policy
7. Target level
8. Reorder point
9. Master production schedule
10. Inventory records File

هریک از اجزا برای ساخت یک واحد محصول است.

لازمه سیستم MRP داشتن اطلاعات دقیق از وضعیت موجودی کالا و قطعات موردنیاز در انبار می‌باشد. بااستفاده از این اطلاعات می‌توان فعالیت‌های سفارش و تهیه کالا را در مواقع لزوم برنامه‌ریزی کرد. در فرآیند MRP پس از آن‌که یک برنامه اصلی عملی برای تولید یک قلم نهایی خاص داده شد، قدم بعدی تبدیل تقاضای دوره‌ای به نیازهای لازم برای تولید است و این تبدیل از طریق پرونده صورت مواد به اجرا در می‌آید. برای هر دوره، MRP مقدار موردنیاز در هر بخش را با بسط نیازهای سطح به سطح تعیین می‌کند که با مراجعه به بایگانی موجودی کالا با کاهش نیاز کل برای یک قلم به‌وسیله مقدار موجودی، مقدار نیازهای خالص آن دوره مشخص می‌شود. براساس زمان تأخیر تولید، نیازهای خالص برای این قلم کالا به‌موقع به انبار برگردانده می‌شود، به‌طوری‌که در زمان نیاز در دسترس خواهد بود. سپس پرونده وضعیت موجودی با نقل تغییرات موجودی کالا به‌روز درمی‌آید. مهمترین دستاورد برنامه MRP شامل گزارش‌های کنترل تولید و موجودی کالا می‌باشد. این گزارشات اختیاری هستند و برای کمک به مدیریت در برنامه‌ریزی و کنترل عملکرد، طراحی می‌شوند. (گزارشات اولیه) این گزارشات شامل جداول سفارشات برنامه‌ریزی شده ، تغییرات در تاریخ‌های سررسید، حذف یا توقف سفارشات باز و اطلاعات مربوط به وضعیت موجودی کالا می‌باشد. وظیفه اصلی برنامه‌ریزی مواد موردنیاز، اطمینان از موجود بودن مواد به‌صورتی است که حداقل ممکن سطح موجودی را حفظ نماید. هدف از برآورد تعداد نیازهای ناخالص[1] در زمان‌بندی MRP به‌منظور محاسبه نیازهای خالص[2] و سپس نوبت به محاسبه تعداد ترخیص سفارش برنامه‌ریزی شده و همچنین سطح موجودی برنامه‌ریزی شده براساس زمان تدارک سفارش و وضعیت وموجودی و نیازهای خالص دارد.

وظیفه اصلی برنامه‌ریزی احتیاجات مواد موردنیاز، اطمینان از موجود بودن مواد به‌صورتی است که حداقل ممکن سطح موجودی را حفظ نماید. مدل مذکور پنج پارامتر ورودی اصلی دارد که شامل سه رویه محاسباتی و دو ورودی وضعیت موجودی، متصل به مدل موجودی و زمان تدارک سفارش، متصل به مدل ارتباطی، می‌باشد. هدف رویه اول برآورد تعداد نیازهای ناخالص[3] در زمان‌بندی MRP به‌منظور محاسبه نیازهای خالص[4] در رویه دوم است و رویه سوم وظیفه محاسبه تعداد ترخیص سفارش برنامه‌ریزی شده و همچنین سطح موجودی برنامه‌ریزی شده (بازخورد رویه دوم) را براساس زمان تدارک سفارش و وضعیت و موجودی و نیازهای خالص دارد و براساس داشتن ترخیص سفارش برنامه‌ریزی شده، ترخیص سفارش جدید محاسبه می‌گردد.

۳-۱-۵. انتخاب تأمین‌کننده به‌کمک مدل موجودی توسعه یافته

مدل پیشنهادی جهت انتخاب تأمین‌کننده شامل پارامترهای زیر است:

الف) مجموعه‌ها شامل: I: تعداد محصولات (i)، J: تعداد محصولات (j)، T: تعداد دوره‌های زمانی (t)، S: مجموعه تأمین‌کنندگان، I_j: مجموعه مواد اولیه که توسط تأمین‌کننده j تأمین می‌شود.

ب) پارامتر ها شامل: m_{it}: تقاضای بالقوه محصول i در دوره زمانی t و $m_{it} > 0$، β: حساسیت تقاضای محصول i برای قیمت فروش محصول در دوره زمانی $(p_{it})t$ و $I > \beta > 0$، U_{ijt}: قیمت مواد اولیه i از تأمین‌کننده j در دوره زمانی t و $(j \in s)$، h_{it}: هزینه نگهداری هر واحد محصول i در دوره زمانی t، O_{jt}: هزینه ثابت سفارش‌دهی از تأمین‌کننده t و $(j \in s)$، C_{ijt}: ظرفیت نهایی تولید محصول j توسط تأمین‌کننده i در هر دوره، W: ظرفیت کلی انبار در هر دوره، w_i: ظرفیت اشغال شده توسط i در انبار در هر دوره.

ج) متغیرهای تصمیم شامل، X_{ijt}: مقدار محصول سفارش داده شده i از تأمین‌کننده j و در دوره زمانی t، Z_{jt}: متغیر ۰ و ۱ که اگر تأمین‌کننده در دوره انتخاب گردد برابر با ۱ و در غیر این‌صورت صفر، D_{it}: تقاضای واقعی محصول I در دوره زمانی t که وابسته به قیمت محصول i در دوره ی زمانی t است، P_{it}: قیمت فروش محصول i در دوره t، I_{it}^{+}: سطح موجودی مثبت محصول i در دوره زمانی t (متغیر واسطه)، I_{it}^{-}: سطح موجودی منفی محصول i در دوره ی زمانی t (متغیر واسطه) است.

تابع هدف شامل حداکثر کردن سود از طریق کسر کل هزینه‌های خرید، کل هزینه‌های سفارش‌دهی و کل هزینه موجودی از درآمد کل می‌باشد:

$$\max z \quad \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} P_{it}D_{it} - \left(\begin{array}{l} \sum_{i\in I_j}\sum_{j\in s}\sum_{t=1}^{T} U_{ijt}D_{ijt} \\ +\sum_{j\in s}\sum_{t=1}^{T} O_{jt}Z_{jt} \\ +\sum_{j\in s}\sum_{t=1}^{T} n_{jt} \\ +\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} h_{it}I_{it}^{+} \end{array} \right) \qquad (۱)$$

شرط محدویت تابع تقاضا که وابسته به قیمت:

$$D_{it} = m_{it} - \beta_i p_{it} \qquad (۲)$$

محدودیت تضمین‌کننده تخصیص هزینه سفارش‌دهی در صورت انتخاب تأمین‌کننده j:

$$\left(\sum_{t=1}^{T} D_{it}\right) Z_{jt} - X_{ijt} \geq 0 \quad \forall\, i \; and \; t \; and \; j \in s \qquad (۳)$$

محدودیت تضمین ظرفیت تأمین‌کننده j برای تولید محصول:

$$X_{ijt} \leq C_{ijt} \quad \forall\, i \; and \; t \; and \; j \in s \qquad (۴)$$

محدودیت فضای ذخیره سازی و ظرفیت انبار:

$$\sum w_i I_{it}^{+} \leq W \quad \forall\, i \; and \; t \qquad (۵)$$

1. Gross requirements
2. Net requirements
3. Gross requirements
4. Net requirements

محدودیت منطقی صفر بودن موجودی اول و آخر دوره:

$$I_{io}^{+} - I_{io}^{-} = I_{iT}^{+} - I_{iT}^{-} = ۰ \quad (۶)$$

محدودیت مجموع تأمین‌کنندگان:

$$\sum_{j \in s} Z_{jt} \leq S \quad (۷)$$

محدودیت موجودی:

$$\sum_{i} I_{it}^{+} - \sum_{i} I_{it}^{-} = \sum_{i} I_{it-۱}^{+} + \sum_{i,j} X_{ijt} - \sum_{i} D_{it} - \sum_{i} I_{it-۱}^{-} \quad \forall\, i \; and \; t \quad (۸)$$

شرایط مرزی:

$$X_{ijt} \in z \cup \{۰\} \quad \forall\, i \; and \; t \; and \; j \in s \quad (۹)$$

$$Z_{jt} \in \{۰, ۱\} \quad \forall\, i \; and \; t \; and \; j \in s \quad (۱۰)$$

$$D_{it} \in z \cup \{۰\} \quad \forall\, i \; and \; t \; and \; j \in s \quad (۱۱)$$

$$P_{it} \geq ۰ \quad \forall\, i \; and \; t \quad (۱۲)$$

۳-۲. معادلات حاکم بر سطح تقاضا

برای هر واحد این زنجیره‌تأمین مابین هر دو سطح (به‌طور مثال برای سطح مابین خرده‌فروش و توزیع کننده) و هر مرحله، دارای دو نوع تقاضا هستیم، که برای راحتی آن‌ها را سمت راست و سمت چپ می‌نامیم، سمت راست تقاضای محصول برای سمت چپ صادر می‌کند و سمت چپ براساس سفارش محصول سمت راست، تقاضای وی را تأمین می‌کند و این سلسله برای هر محصول از مشتری تا تأمین‌کننده می‌تواند ادامه داشته باشد. باتوجه به شرایط خاص فرض انجام شده، برای بیان تقاضای سمت راست هر محصول پیشنهاد می‌شود از مدل سری زمانی متوسط مرکزی اتورگرسیو تصادفی درجه اول یا مشابه آن استفاده کرد. باتوجه به شرایط خاص فرض انجام شده، برای بیان تقاضای سمت راست هر محصول از مدل سری زمانی متوسط مرکزی اتورگرسیو تصادفی درجه اول به شرح زیر استفاده می‌نماییم:

$$d_{\mathrm{R},t} = \mu_d + \rho(d_{\mathrm{R},t-۱} - \mu_d) + \varepsilon_t \quad (۱۳)$$

که در معادله بالا، ρ ثابت اتورگرسیو $(-۱ < \rho < ۱)$ و d_t تقاضا در زمان t و μ_d متوسط تقاضا است برای جلوگیری از تقاضای منفی فرض می‌کنیم که $\mu_d >> ۴\sigma_d$ باشد و ε_t نویز تصادفی پروسه می‌باشد و برای تقاضای سمت چپ براساس سفارش سمت راست خواهیم داشت:

$$d_{\mathrm{L},t} = o_{\mathrm{R},t} \quad (۱۴)$$

که o_t سفارش در زمان t سمت راست است. حال با فرض این‌که زمان تدارک[1] برای هر سطح دارای واحد جایگزینی[2] باشد بالانس موجودی مابین دو سمت به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$ns_{x,t} = ns_{x,t-۱} - d_{x,t} + o_{x,t-۲} \quad (۱۵)$$

که در معادله بالا اندیس x سطح چپ یا راست و ns ذخیره خالص است. برای هر رویه سفارش مابین دو سمت متوقع دونوع پیش‌بینی تقاضا هستیم. یکی پیش‌بینی تقاضا برای رسیدن به هدف مطلوب (ایده‌آل) برای بازه زمانی بعدی و دیگری پیش‌بینی تقاضا برای بازه زمانی بعدی پس از آن‌که آن تقاضا مرتفع گردید. به‌طور مثال ایندو پیش‌بینی برای بازه زمانی t و سمت راست عبارتند از:

$$dwip_{\mathrm{R},t} = E[d_{\mathrm{R},t+۱}] = \rho d_{\mathrm{R},t} \quad (۱۶)$$

$$\hat{d}_{\mathrm{R},t} = E\left[d_{\mathrm{R},t+۲}\right] = \rho^{۲} d_{\mathrm{R},t} \quad (۱۷)$$

و پیش‌بینی برای بازه زمانی t و سطح چپ عبارتند از:

$$dwip_{\mathrm{L},t} = E\left[o_{\mathrm{R},t+۱}\right] = \rho^{۳} d_{\mathrm{R},t} + \frac{\rho^{۲} d_{\mathrm{R},t} - o_{۱,t}}{Tw} + \frac{tns - ns_{\mathrm{R},t} - o_{\mathrm{R},t-۱} + \rho d_{\mathrm{R},t}}{Ti} \quad (۱۸)$$

$$\hat{d}_{\mathrm{L},t} = E\left[o_{\mathrm{R},t+۲}\right] = \left((\rho^{۳} + \rho^{۴}) d_{\mathrm{R},t} + \frac{۱}{Tw}\left(\rho^{۲} d_{\mathrm{R},t} - o_{\mathrm{R},t} - \frac{\rho^{۲} d_{\mathrm{R},t} - o_{\mathrm{R},t}}{Tw} - \frac{tns - ns_{\mathrm{R},t} - o_{\mathrm{R},t-۱} + \rho d_{\mathrm{R},t}}{Ti} \right) \right) \quad (۱۹)$$

در معادله بالا tns مقدار ذخیره خالص هدف[3] که وابسته به زمان نبوده و عبارت است از ذخیره‌ای که باید به آن دست یافت و دو کنترلر Tw و Ti که به‌ترتیب بیانگر میزان قوت بازخورد خطی مقدار ذخیره خالص[4] و حلقه های بازخورد کار در جریان[5] می‌باشد. مساوی بودن ایندو به معنای انطباق و عدم تساوی به معنای عدم انطباق بوده و اگر هردو عدد یک باشند به‌معنای لینک بودن دو کنترلر می‌باشد. در حالت $Tw = Ti = ۱$ مقدار ذخیره خالص برای سمت چپ و راست از هر واحد زنجیره باتوجه به هرنوع رویه سفارش و باتوجه به معادلات (۳) الی (۷) به‌صورت معادلات (۲۰) و (۲۱) بیان می‌گردد [۵۹-۵۷].

بنابراین واریانس تقاضا و سفارشات مابین هر واحد زنجیره‌تأمین به شرح معادلات (۲۲) الی (۲۴) خواهند بود.

در حالت $Tw = Ti$ مقدار ذخیره خالص برای سمت چپ و راست باتوجه به هر نوع رویه سفارش به‌صورت معادلات (۲۵) و (۲۶) محاسبه می‌گردد.

بنابراین واریانس تقاضا و سفارش مابین دو سمت به‌صورت معادلات (۲۷) و (۲۸) بیان می‌گردد.

هرگاه $Tw \neq Ti$ باشد مقدار ذخیره خالص برای سمت چپ و راست باتوجه به هرنوع رویه سفارش به‌صورت معادلات (۲۹) و (۳۰) محاسبه می‌گردد.

بنابراین واریانس سفارشات مابین دو سمت همانند معالات (۳۱) و (۳۲) خواهند بود.

مقادیر علائم به‌کار رفته در معادلات بالا که به‌منظور عدم پیچیدگی معادله به‌کار رفته است در معادلات (۳۳) الی (۴۶) نشان داده شده است.

1. Lead time
2. Replenishment
3. Target net stock
4. Linear feedback gains in the net stock
5. Work in progress feedback loops

$$Var[NS_{\mathrm{R}}] = (۲ + ۲\rho + \rho^{۲})\sigma_{\varepsilon}^{۲} \tag{۲۰}$$

$$Var[NS_{\mathrm{L}}] = \left(۲ + \rho\left(۴ + \rho\left(۶ + \rho\left(۶ + \rho\big(۴ + \rho(۲ + \rho)\big)\right)\right)\right)\right)\sigma_{\varepsilon}^{۲} \tag{۲۱}$$

$$Var[NS_{\mathrm{L}}] = (۲ + ۴\rho + ۶\rho^{۲} + ۶\rho^{۳} + ۴\rho^{۴} + ۲\rho^{۵} + \rho^{۶})\sigma_{\varepsilon}^{۲}$$

$$Var[D_{\mathrm{R}}] = \sum_{t=۰}^{\infty}(\rho^{t})^{۲} = \frac{۱}{۱ - \rho^{۲}}\sigma_{\varepsilon}^{۲} \tag{۲۲}$$

$$Var[O_{\mathrm{R}}] = \frac{۲\rho(\rho^{۳} + \rho^{۴} - ۱ - \rho) - ۱}{\rho^{۲} - ۱}\sigma_{\varepsilon}^{۲} \tag{۲۳}$$

$$Var[O_{\mathrm{L}}] = \frac{۲\rho(\rho - ۱)(۱ + \rho)(۱ + \rho^{۲})(۱ + \rho + \rho^{۲} + \rho^{۳} + \rho^{۴}) - ۱}{\rho^{۲} - ۱}\sigma_{\varepsilon}^{۲} \tag{۲۴}$$

$$Var[NS_{\mathrm{R}}] = \frac{Ti(۲ + Ti(۱ + p)^{۲}) - ۱}{۲Ti - ۱}\sigma_{\varepsilon}^{۲} \tag{۲۵}$$

$$Var[NS_{\mathrm{L}}] = \Big((۱ + \rho)^{۲} - ۴Ti(۱ + \rho)^{۲} + ۲Ti^{۳}\rho^{۲}(۱ + \rho)(۳ + ۲\rho) - Ti^{۲}(۱ + \rho)^{۲}(۲\rho^{۲} - ۵) + Ti^{۴}\rho^{۴}\big(۲ + \rho(۲ + \rho)\big)\Big)/Ti^{۴}\sigma_{\varepsilon}^{۲} \tag{۲۶}$$

$$Var[O_{\mathrm{R}}] = \frac{\begin{pmatrix}Ti + \rho + Ti\rho + ۲Ti\rho^{۲} + \\ ۲(Ti - ۱)\rho^{۳} + ۲(Ti - ۲)Ti\rho^{۴} - ۲Ti^{۲}\rho^{۵}\end{pmatrix}}{(۲Ti - ۱)(Ti(\rho - ۱) - \rho)(\rho^{۲} - ۱)}\sigma_{\varepsilon}^{۲} \tag{۲۷}$$

$$\begin{aligned}Var[O_{\mathrm{L}}] = \Bigg(&۲Ti(\rho - ۱)(۱ + \rho)^{۳}(۷\rho - ۱) - ۲(\rho - ۱)\rho(۱ + \rho)^{۳} + ۲Ti^{۲}(\rho - ۱)(۱ + \rho)^{۳}(۶ - ۲۰\rho + \rho^{۳}) + \\ &۲Ti^{۷}\rho^{۴}(۱ + \rho - ۲\rho^{۳} - ۲\rho^{۴} + ۲\rho^{۶}) - ۲Ti^{۳}(\rho - ۱)(۱ + \rho)^{۲}\Big(۱۴ + \rho\big(\rho\big(\rho\big(۵ + \rho(۵ + \rho)\big) - ۳۰\big) - ۱۵\big)\Big) + \\ &۲Ti^{۴}(\rho - ۱)(۱ + \rho)^{۲}\Big(۱۵ + \rho\big(\rho\big(\rho\big(۹ + \rho(۹ + ۵\rho)\big) - ۲۶\big) - ۶\big)\Big) + Ti^{۶}\Bigg(۱ + \rho\Bigg(۱ - ۲(\rho - ۱)\rho\Big(۵ + \\ &\rho\Big(۱۰ + \rho\big(۴ + \rho(۵\rho^{۳} + ۳\rho^{۴} - ۵ - ۷\rho)\big)\Big)\Big)\Bigg)\Bigg) + Ti^{۵}\Bigg(۱۲ + \rho\Bigg(۱۳ + ۲\rho\Big(\rho\Big(\rho\Big(۲۶ + \rho\big(۲۲ + \rho(\rho^{۳} + \rho^{۴} - ۵ - \\ &۱۵\rho - ۸\rho^{۲})\big)\Big) - ۱۵\Big) - ۲۰\Big)\Bigg)\Bigg)\Bigg)/\big(Ti^{۵}(۲Ti - ۱)(Ti(\rho - ۱) - \rho)(\rho - ۱)(۱ + \rho)\big)\sigma_{\varepsilon}^{۲}\end{aligned} \tag{۲۸}$$

$$Var[NS_{۱}] = \frac{Ti^{۲}\big(Tw + Ti(Tw - ۱)(۱ + Tw + Tw\rho)^{۲} + Tw^{۲}(Tw + ۲\rho + Tw\rho^{۲})\big)}{Tw(۲Ti(Tw - ۱) + Tw)(Ti + (Ti - ۱)Tw)}\sigma_{\varepsilon}^{۲} \tag{۲۹}$$

$$Var[NS_{۲}] = \left(\rho^{۲} + \rho^{۳} + \frac{\rho}{Tw} - \frac{\rho}{Tw^{۲}} - \frac{۱}{TiTw} + \frac{۲ + \rho}{Ti}\right)^{۲}\sigma_{\varepsilon}^{۲} + \left(\rho^{۲} + \frac{\rho}{Tw} + \frac{۱}{Ti}\right)^{۲}\sigma_{\varepsilon}^{۲} \tag{۳۰}$$

$$\begin{aligned}Var[O_{۱}] = \Bigg(&۴Tw\Big(Tw^{۳}\rho^{۲} + ۲Ti^{۳}(Tw - \rho)(\rho - ۱)\rho^{۲}(۱ + Tw\rho)^{۲} \\ &+ TiTw^{۲}\Big(\rho(۲\rho(\rho - ۲) - ۱) + Tw\big(۱ + \rho(\rho - ۱)\big)(۲\rho^{۲} - ۱)\Big) \\ &+ Ti^{۲}Tw\Big(\rho + \rho^{۲}\big(۳ + ۲\rho(\rho - ۲)\big) + Tw(\rho - ۱)(۲\rho^{۲} - ۱)\big(۱ + \rho(۲\rho - ۱)\big)\Big) \\ &+ Tw^{۲}(۱ + \rho)\big(۲\rho^{۲}(\rho - ۱)\big(۱ + \rho(\rho - ۱)\big) - ۱\big)\Big)\Big) \\ &/\Big((۲Ti(Tw - ۱) + Tw)(Ti + (Ti - ۱)Tw)\Big(\sqrt{Ti}(Tw(\rho - ۲) - \rho) \\ &- \rho\sqrt{Ti(۱ + Tw)^{۲} - ۴Tw^{۲}}\Big)\Big(\sqrt{Ti}(Tw(\rho - ۲) - \rho) + \rho\sqrt{Ti(۱ + Tw)^{۲} - ۴Tw^{۲}}\Big)(\rho^{۲} \\ &- ۱)\Big)\sigma_{\varepsilon}^{۲}\end{aligned} \tag{۳۱}$$

$$\begin{aligned}Var[O_{۲}] = -\Big(&۱۶\big(\alpha\beta + ۲Ti^{۶}(\rho - ۱)\rho^{۲}(۱ + Tw\rho)^{۲}(\chi) + ۲Ti^{۲}Tw^{۴}(\rho^{۲} - ۱)(\phi + \omega) + Ti^{۳}Tw^{۳}\tau \\ &+ Ti^{۴}Tw^{۲}(\varphi + \upsilon + \eta) + Ti^{۵}Tw(\xi + \lambda)\big)\Big) \\ &/\Big(Ti^{۳}Tw(Ti + (-۱ + Ti)Tw)(۲Tw^{۲} + Ti(-۱ + Tw^{۲}) - \psi)(۲Tw^{۲} + Ti(-۱ + Tw^{۲}) \\ &+ \psi)\big(\sqrt{Ti}(Tw(-۲ + \rho) - \rho) - \zeta\big)\big(\sqrt{Ti}(Tw(-۲ + \rho) - \rho) + \zeta\big)(-۱ + \rho^{۲})\Big)\sigma_{\varepsilon}^{۲}\end{aligned} \tag{۳۲}$$

$$\psi = \sqrt{Ti}(Tw - ۱)\sqrt{Ti(۱ + Tw)^{۲} - ۴Tw^{۲}} \tag{۳۳}$$

$$\zeta = \rho\sqrt{Ti(۱ + Tw)^{۲} - ۴Tw^{۲}} \tag{۳۴}$$

$$\alpha = ۲Tw^{۷}\rho^{۲}(۱-\rho^{۲})(Tw(۲+\rho)-۱) - ۲TiTw^{۵}(۱+\rho^{۲}) \quad (۳۵)$$

$$\beta = \Big(\rho^{۲} + Tw\rho(\rho - ۱ - ۴\rho^{۲}) + Tw^{۳}(\rho-۲)(\rho+\rho^{۲}-۱)(۱+\rho+\rho^{۲}) + Tw^{۲}(۲\rho-۱)\big(۱+\rho(\rho(۲+\rho)-۱)\big)\Big) \quad (۳۶)$$

$$\chi = ۲Tw^{۲}(۱+۲\rho)(-۱+\rho^{۲})^{۲} - ۲Tw^{۴}(-۱+\rho)(۱+\rho)\big(-۱+\rho^{۲}(۲+۳\rho)\big) + Tw^{۶}\big(-۱+۲\rho(-۱-\rho+\rho^{۳}+\rho^{۴})\big) + Tw^{۵}\Big(۲+\rho\big(۳+۲\rho^{۲}(۱+\rho)(-۲+\rho^{۲})\big)\Big) - ۲Tw(-۱+\rho)(۱+\rho)^{۲}(-۱+۲\rho) - ۲Tw^{۳}(-۱+\rho)\rho(۱+\rho)(۲+\rho)(-۱+(-۱+\rho)\rho) + ۲\rho(-۱+\rho^{۲}) \quad (۳۷)$$

$$\phi = \rho(۲\rho(۲-\rho)-۱) + Tw^{۴}(۱+\rho)\big(۱+\rho(۱+\rho)(۱+۲\rho+\rho^{۳}+\rho^{۴})\big) \quad (۳۸)$$

$$\varphi = ۲(\rho-۱)\rho(۱+\rho)\big(\rho(۸+\rho(۴\rho-۱۱))-۲\big) + ۲Tw(\rho-۱)(۱+\rho)\big(\rho(۲+\rho)\big(۷+\rho(۱۰\rho-۱۳)\big)-۲\big) - ۴Tw^{۲}\Big(۳+\rho\big(\rho^{۲}\big(۱۲+\rho(۱+\rho)(۲\rho-۳)(۲+\rho^{۲})\big)-۹\big)\Big) + Tw^{۵}\Big(\rho\Big(۲\rho\Big(۳۰+\rho\big(۸+\rho(۱۵\rho^{۳}+۱۱\rho^{۴}+\rho^{۵}-۳\rho^{۶}-۴\rho^{۷}-۲۸-۱۹\rho)\big)\Big)-۳\Big)-۱۶\Big) \quad (۳۹)$$

$$\xi = \Big(۲Tw^{۲}(\rho-۱)\rho(۱+\rho)\big(۸+\rho(\rho(۲-\rho+۵\rho^{۳})-۱۰)\big) + ۲Tw^{۴}\rho\big(۴+\rho(\rho(\rho(۹+\rho(۱-۲(\rho-۱)\rho)^{۲})-۹)-۵)\big) - ۲Tw(\rho-۱)\rho(۱+\rho)(۳\rho-۴)(۳\rho-۱) - ۲Tw^{۳}(\rho^{۴}-۴\rho+۲\rho^{۵}+۷\rho^{۶}-۳\rho^{۷}-۸\rho^{۸}+۵\rho^{۹}) + ۲\rho^{۲}\big(۴+\rho(\rho-۷+۷\rho^{۲}-۵\rho^{۳})\big)\Big) \quad (۴۰)$$

$$\phi = \rho(۲\rho(۲-\rho)-۱) + Tw^{۴}(۱+\rho)\big(۱+\rho(۱+\rho)(۱+۲\rho+\rho^{۳}+\rho^{۴})\big) \quad (۴۱)$$

$$\lambda = Tw^{۶}(\rho-۱)\Big(\rho\Big(۹+۲\rho^{۲}\big(\rho(۱+\rho)\big(۳+\rho(۷-۲\rho-۳\rho^{۳}+\rho^{۴})\big)-۷\big)\Big)-۱\Big) - Tw^{۷}(۱ + \rho)\Big(۲\rho^{۲}\Big(\rho\Big(\rho\Big(۲+\rho\Big(۴+\rho\Big(۴+\rho\Big(-۳+\rho\big(-۴+\rho(-۱+\rho+۲\rho^{۲})\big)\Big)\Big)\Big)\Big)-۵\Big)-۱\Big) + Tw^{۵}\rho\Big(\rho\Big(۵+۲\rho\Big(۹+\rho\Big(\rho\Big(۳+\rho\big(۱۱+\rho(\rho(۲\rho^{۲}+۵\rho^{۳}-۹-۲\rho)-۵)\big)\Big)-۹\Big)\Big)\Big) - ۱۷\Big) \quad (۴۲)$$

$$\tau = ۲Tw^{۲}(\rho-۱)(۱+\rho)\Big(\rho\Big(۱۱+\rho\big(۱۳+\rho(\rho-۱۶-۳\rho^{۲}+\rho^{۳})\big)\Big)-۸\Big) - ۲(\rho-۱)\rho(۱+\rho)\big((\rho-۷)(\rho-۱)\rho-۳\big) - ۲Tw(\rho-۱)(۱+\rho)\big(\rho\big(۱۳+\rho(\rho(۱۱\rho-۵)-۸)\big)-۳\big) + Tw^{۵}\Big(\rho\Big(۲+\rho\Big(۳۳+۲\rho\big(۶+\rho(۲\rho^{۳}+\rho^{۴}+\rho^{۵}+\rho^{۶}+\rho^{۷}-۱۲-۱۱\rho)\big)\Big)\Big)-۱۴\Big) - ۲Tw^{۴}(\rho-۱)(۱+\rho)\Big(۱۵+\rho\big(\rho\big(\rho\big(\rho(۴+\rho(۳+\rho)(۴+۳\rho))-۱۴\big)-۲۲\big)-۵\big)\Big) - ۲Tw^{۳}(\rho-۱)(۱+\rho)\Big(\rho\Big(۷+\rho\Big(۱۷+\rho\Big(\rho\Big(۱+\rho\big((\rho-۱۲)\rho-۴\big)\Big)-۲\Big)\Big)\Big)-۱۱\Big) \quad (۴۳)$$

$$\upsilon = ۲Tw^{۴}\rho\Big(۲+\rho\big(\rho\big(\rho\big(۱۹+\rho^{۲}(\rho(۱۳\rho-۱)-۱۶)\big)-۱\big)-۱۶\big)\Big) + ۲Tw^{۳}(\rho-۱)(۱+\rho)\Big(\rho\Big(۸+\rho\big(\rho\big(\rho\big(۵+\rho(\rho(۴\rho-۱۵)-۱)\big)-۲\big)-۸\big)\Big)-۶\Big) \quad (۴۴)$$

$$\omega = Tw^{۲}\rho\Big(۷+\rho^{۲}\big(۲۱+\rho(۶+\rho)\big)\Big) + Tw\big(\rho\big(۱+\rho(۳\rho(\rho-۴)-۴)\big)-۱\big) + Tw^{۳}\Big(۳-\rho\Big(۶+\rho(۱+\rho)\Big(۱۱+\rho\big(۷+\rho(۳\rho-۴)\big)\Big)\Big)\Big) \quad (۴۵)$$

$$\eta = Tw^{۶}\Big(۱۳+\rho\Big(۳+\rho\Big(۲\rho\Big(\rho\Big(۱۶+\rho\big(۱۳+\rho^{۲}(\rho(\rho^{۳}-۷-۲\rho)-۸)\big)\Big)-۵\Big)-۳۳\Big)\Big)\Big) \quad (۴۶)$$

۳-۳. الگوی تقاضا

در این پژوهش، مدل سری زمانی به‌عنوان الگوی تقاضا درنظر گرفته می‌شود. این مدل الگوی مناسبی برای مدل‌سازی تقاضا در زنجیره‌های چندمحصولی است. الگوی برداری اتورگرسیو مرتبه اول به‌صورت زیر است [۶۰]:

$$D_t = \phi_{۱} D_{t-۱} + a_t \quad (۴۷)$$

در رابطه ((۳)-(۳۵)) D_t یک بردار*m) ۱ (شامل متغیرها، $\phi_{۱}$ بردار ضرایب(m*m) و a_t نیز بردار خطا *m) ۱(با میانگین و واریانس برداری به‌ترتیب صفر و Σ است. مؤلفه‌های بردار a_t؛ $a_t^{۱}$ و $a_t^{۲}$ متغیرهای تصادفی مستقل و هم توزیع ۱ (i.i.d) با میانگین صفر و واریانس $\sigma_{۱۱}$ و $\sigma_{۲۲}$

1. Independent and identically distributed: (i.i.d)

هستند و کوواریانس بین a_t^1 و a_t^2 نیز با σ_{12} نشان داده می‌شود. ماتریس واریانس بردار تقاضا (m*m) با تأخیر زمانی k نیز با $\Gamma(k)$ نمایش می‌یابد و به‌منظور پرهیز از محاسبات پیچیده ریاضی فرض می‌کنیم زنجیره دارای دو محصول است=m) ۲ (در این‌صورت اگر تقاضا و جزء خطای محصول i در دوره t به‌ترتیب با نماد D_t^i و a_t^i نشان داده شود، معادله (۴۸) حکم‌فرما است.

بنابراین باتوجه به رابطه (۴۷) فرآیند اتورگرسیو مرتبه اول برداری برای تقاضای دو محصول به‌صورت معادلات (۴۹) و (۵۰) نوشته خواهد شد. اگر در این فرآیند معادله (۵۴) را داشته باشیم. فرآیند اتورگرسیو برداری مرتبه اول، ایستا خواهد بود و در این‌صورت در مورد واریانس تقاضا رابطه (۵۲) برقرار است. به‌منظور تعیین واریانس تقاضای هریک از محصولات، تابع ماتریس کوواریانس برای الگوی اتورگرسیو برداری مرتبه اول با تأخیر زمانی k را به‌صورت معادلات (۵۳) تا (۵۵) درنظر می‌گیریم.

باید توجه داشت که برای $k \geq 1$ داریم:$E(D_{t-k}a'_t) = 0$ به‌ازای $k = 1$ خواهیم داشت $\Gamma(1) = \Gamma(0)\phi'_1$ و درنتیجه معادلات (۵۶) و (۵۷) برقرار می‌شود.

چنانچه در معادله فوق ماتریس‌های ϕ_1 و Σ معلوم باشند و با درنظرگرفتن دو سری زمانی، می‌توان $\Gamma(0)$ را براساس معادلات (۵۸) و (۵۹) به‌دست آورد.

درنتیجه پاسخ معادله که عناصر ماتریس اتوکوواریانس ($\Gamma(0)$) است که توسط معادلات(۶۰) تا (۶۲) به‌دست می‌آید.

مشخص است که γ_{11} و γ_{22} واریانس تقاضای محصولات ۱ و ۲ و γ_{12} نیز کوواریانس بین تقاضای دو محصول است.

$$D_t = \begin{bmatrix} D_t^1 \\ D_t^2 \end{bmatrix}, a_t = \begin{bmatrix} a_t^1 \\ a_t^2 \end{bmatrix}, \quad \phi_1 = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{bmatrix} \tag{۴۸}$$

$$\begin{bmatrix} D_t^1 \\ D_t^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{t-1}^1 \\ D_{t-1}^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \end{bmatrix} \tag{۴۹}$$

$$\begin{cases} D_t^1 = \phi_{11} D_{t-1}^1 + \phi_{12} D_{t-1}^2 + a_t^1 \\ D_t^2 = \phi_{21} D_{t-1}^1 + \phi_{22} D_{t-1}^2 + a_t^2 \end{cases} \tag{۵۰}$$

$$\left| \frac{(\phi_{11} + \phi_{22}) \pm \sqrt{(\phi_{11} - \phi_{22})^2 + 4\phi_{12}\phi_{21}}}{2} \right| < 1 \tag{۵۱}$$

$$\begin{cases} Var(D_t^1) = Var(D_{t-1}^1) = Var(D_{t-2}^1) = \ldots = \gamma_{11} \\ Var(D_t^2) = Var(D_{t-1}^2) = Var(D_{t-2}^2) = \ldots = \gamma_{22} \end{cases} \tag{۵۲}$$

$$\Gamma(k) = E[D_{t-k}D'_t] = E[D_{t-k}(\phi_1 D_{t-1} + a_t)'] = E[D_{t-k}D'_{t-1}\phi'_1 + D_{t-k}a'_t] \tag{۵۳}$$

$$k = 0 = \begin{cases} \Gamma(-1)\phi'_1 + \Sigma \\ k \geq 1 \quad \Gamma(k-1)\phi'_1 = \Gamma(0)(\phi'_1)^k \end{cases} \tag{۵۴}$$

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} \end{bmatrix}, \qquad \Gamma(0) = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{12} & \gamma_{22} \end{bmatrix} \tag{۵۵}$$

$$\phi_1 = \Gamma'(1)\Gamma^{-1}(0) \tag{۵۶}$$

$$\Sigma = \Gamma(0) - \Gamma(-1)\Gamma^{-1}(0)\Gamma(1) = \Gamma(0) - \Gamma'(1)\Gamma^{-1}(0)\Gamma(1) \tag{۵۷}$$

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{12} & \gamma_{22} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{12} & \gamma_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{21} \\ \phi_{12} & \phi_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} \end{bmatrix} \tag{۵۸}$$

$$\begin{bmatrix} 1 - \phi_{11}^2 & -2\phi_{11}\phi_{12} & -\phi_{12}^2 \\ -\phi_{11}\phi_{21} & 1 - \phi_{11}\phi_{22} - \phi_{12}\phi_{21} & -\phi_{12}\phi_{22} \\ -\phi_{21}^2 & -2\phi_{21}\phi_{22} & 1 - \phi_{22}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_{11} \\ \gamma_{12} \\ \gamma_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{22} \end{bmatrix} \tag{۵۹}$$

$$\gamma_{11} = \frac{A}{B}$$

$$\begin{aligned} A = {} & \sigma_{11}\big((1 - \phi_{11}\phi_{22})(1 - \phi_{22}^2) - \phi_{12}\phi_{21}(1 + \phi_{22}^2)\big) + 2\phi_{12}\sigma_{12}(\phi_{11}(1 - \phi_{22}^2) + \phi_{12}\phi_{21}\phi_{22}) \\ & + \phi_{12}^2\sigma_{22}(1 - \phi_{12}\phi_{21} + \phi_{11}\phi_{22}) \end{aligned} \tag{۶۰}$$

$$B = 1 + (\phi_{11}\phi_{22} - \phi_{12}\phi_{21} - 1)(\phi_{11}\phi_{22} + \phi_{12}\phi_{21} + \phi_{11}^2 + \phi_{22}^2) + (\phi_{12}\phi_{21} - \phi_{11}\phi_{22})^3$$

$$\gamma_{12} = \frac{A}{B}$$

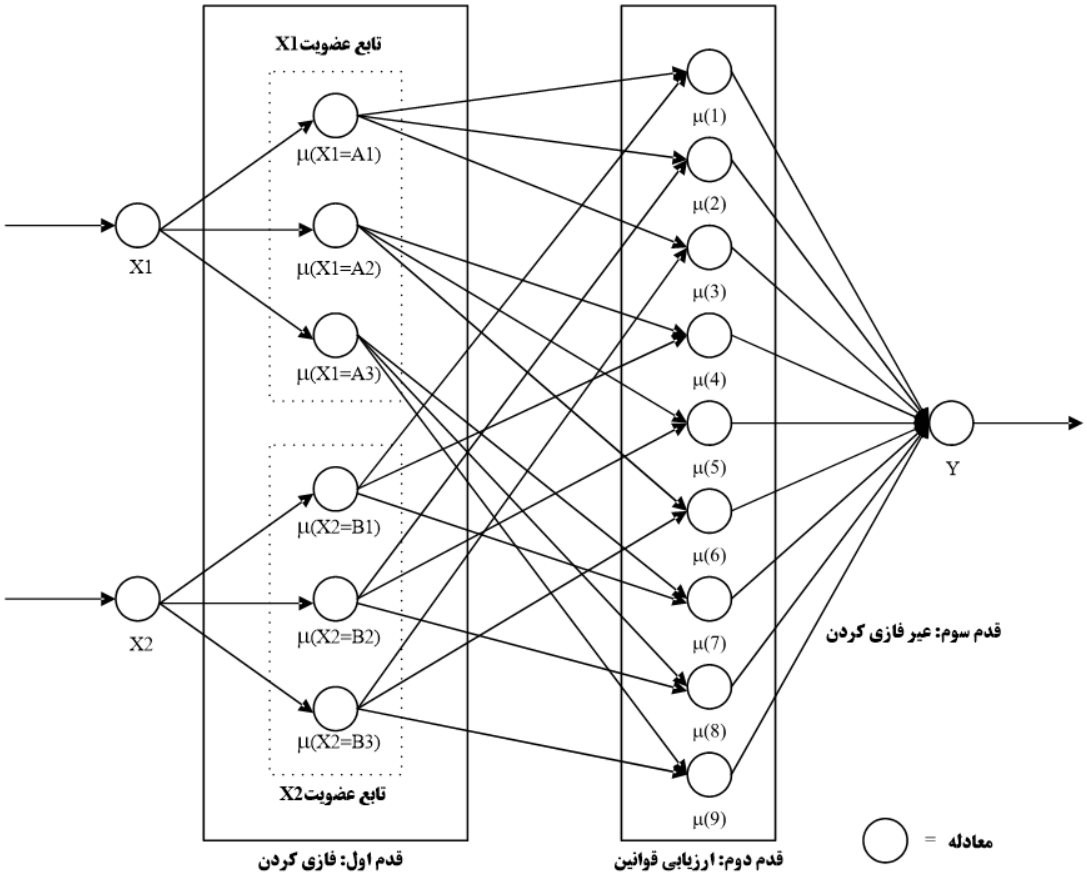
$$A = \phi_{21}\sigma_{11}[\phi_{11}(1 - \phi_{22}^2) + \phi_{12}\phi_{21}\phi_{22}] + \sigma_{12}[(1 - \phi_{11}^2)(1 - \phi_{22}^2) - \phi_{12}^2\phi_{21}^2] + \phi_{12}\sigma_{22}[\phi_{22}(1 - \phi_{11}^2) + \phi_{11}\phi_{12}\phi_{21}] \tag{۶۱}$$

$$B = 1 + (\phi_{11}\phi_{22} - \phi_{12}\phi_{21} - 1)(\phi_{11}\phi_{22} + \phi_{12}\phi_{21} + \phi_{11}^2 + \phi_{22}^2) + (\phi_{12}\phi_{21} - \phi_{11}\phi_{22})^3$$

$$\gamma_{22} = \frac{A}{B}$$

$$\begin{aligned} A = {} & \phi_{21}^2\sigma_{11}[1 + \phi_{11}\phi_{22} - \phi_{12}\phi_{21}] + 2\phi_{21}\sigma_{12}[\phi_{22}(1 - \phi_{11}^2) + \phi_{11}\phi_{12}\phi_{21}] + \sigma_{22}[(1 - \phi_{11}\phi_{22})(1 - \phi_{11}^2) - \phi_{12}\phi_{21}(1 \\ & + \phi_{11}^2)] \end{aligned} \tag{۶۲}$$

$$B = 1 + (\phi_{11}\phi_{22} - \phi_{12}\phi_{21} - 1)(\phi_{11}\phi_{22} + \phi_{12}\phi_{21} + \phi_{11}^2 + \phi_{22}^2) + (\phi_{12}\phi_{21} - \phi_{11}\phi_{22})^3$$



شکل (۶): مدل سیستم استنتاج فازی برای سیستم کنترل فازی–عصبی تطبیقی

۴. نتایج

۴-۱. آماده‌سازی داده‌ها

بانک اطلاعاتی جهت مطالعه موردی که دارای اطلاعات کافی در زمینه فوق باشد از دانشگاه warwick استخراج شد. این بانک اطلاعاتی شامل اطلاعات گردش کار المان‌های چندین زنجیره‌تأمین از کارخانه بزرگ و متوسط است که برای مقاصد علمی ذخیره شده است. برنامه ورود اطلاعات برمبنای وب بوده و با php نوشته شد که اطلاعات لازم را در یک بانک اطلاعاتی از نوع MySQL ذخیره می‌کند. همچنین برنامه پیش‌بینی تقاضای مشتری به‌دلیل نوع اطلاعات ارائه شده در بانک اطلاعاتی با برنامه MATLAB ANFIS نوشته شده است می‌توان برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کننده را محاسبه کرد.

جدول (۱) کلیات داده‌های زنجیره‌تأمین را نشان می‌دهد که شامل ۸ محصول، ۶ تأمین‌کننده و ۵ دوره زمانی، هزینه حمل‌ونقل و ظرفیت کلی انبار در هر دوره می‌باشد. همچنین جدول (۲) مقدار تولید، جدول (۳) سطح موجودی محصولات، جدول (۴) مواد اولیه که توسط تأمین‌کننده j تأمین می‌گردد، جدول (۵) تقاضای محصولات در هر دوره، جدول (۶) مقادیر متغیرها و جدول (۷) هزینه ثابت سفارش‌دهی از تأمین‌کننده را نشان می‌دهد.

این تحقیق ۵۴۰ داده ورودی/خروجی را برای تولید یک سیستم فازی–عصبی تطبیقی بااستفاده از الگوریتم یادگیری ANFIS جمع‌آوری کرده است. ۲۰٪ از داده‌های جمع‌آوری شده (۱۰۸ داده) به‌عنوان داده‌های آزمایشی برای تأیید سیستم فازی–عصبی به‌دست آمده استفاده شد. خطای این برآورد بااستفاده از یک درصد خطا (درصد خطا) همان‌طور که در معادله ۶۳ نشان داده شده است تعیین می‌شود.

$$\%error = \frac{N_e \times ۱۰۰}{N} \quad (۶۳)$$

که N_e تعداد تخمین نادرست و N تعداد داده‌های آزمون می‌باشد. تعداد تخمین‌های نادرست این سیستم فازی–عصبی برابر با ۱ درحالی‌که تعداد داده‌ها برابر با ۱۰۸ است. درنتیجه درصد خطا برای این سیستم استنتاج فازی برابر با ۰/۹۳% یا دقت بیش از ۹۹% است. برای توزیع‌کننده دارای دو ورودی هستیم، اولین ورودی سطح موجودی توزیع‌کننده بر نقطه واقعی فروش و دومین ورودی سطح موجودی توزیع‌کننده بر نقطه پیش‌بینی فروش است و خروجی آن تصمیم‌گیری برای تکمیل ذخیره توزیع‌کننده است. خروجی یک بدین معناست که کارخانه درخواست سفارش را برای توزیع‌کننده تکمیل نماید و خروجی صفر بدین معناست که هیچ درخواست سفارشی از جانب توزیع‌کننده، تکمیل نمی‌شود. مدل سیستم استنتاج فازی برای سیستم کنترل فازی–عصبی تطبیقی، همانند شکل (۶) طراحی شده است. این طراحی شامل سه قدم: فازی کردن، ارزیابی قوانین و غیر فازی کردن است.

جدول (۱): کلیات داده‌های زنجیره‌تأمین

توضیحات	مقدار	نام پارامتر
تعداد محصولات	۸	I
تعداد تأمین‌کنندگان	۶	J
تعداد دوره‌های زمانی (ماهانه)	۵	T
ظرفیت وسایل نقلیه	۲۰	v
هزینه حمل و نقل	۵۰	α
ظرفیت کلی انبار	۷۰۰۰	w

جدول (۲) :تعداد تولید (اطلاعات پایه)

	مقدار تولید کالاهای نهایی				
	دوره زمانی				
محصول	۱	۲	۳	۴	۵
P1	۱۳۷۲۰/۰۰	۲۷۰۰۰/۰۰	۲۷۰۰۰/۰۰	۲۷۰۰۰/۰۰	۲۷۰۰۰/۰۰
P2	۱۲۹۲/۱۳	۷۰۰۰/۰۰	۷۰۰۰/۰۰	۷۰۰۰/۰۰	۷۰۰۰/۰۰
P3	۶۶۱/۶۳	۲۴۶۴/۹۳	۰/۰۰	۲۱۷۳/۴۴	۱۸۲۰/۰۰
P4	۰/۰۰	۱۲۵۶/۳۹	۴۰۵۳/۲۶	۷۷۶/۰۵	۱۷۲۳/۹۵
P5	۱۴۷۴/۱۵	۵۲۹/۷۹	۱۰۲۴/۵۰	۹۴۷/۵۷	۰/۰۰
P6	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۴۰/۰۰
P7	۲۷۱۰/۰۰	۲۲۰۰/۰۰	۰/۰۰	۱۷۸۵/۵۸	۳۸۰۱/۰۴
P8	۱۶۸/۲۹	۵۵۶/۲۲	۱۱۰۰/۰۰	۱۰۰۰/۰۰	۱۰۰۰/۰۰

جدول (۳:) سطح موجودی محصولات

	موجودی کالاهای تکمیل شده					
	موجودی اولیه	دوره زمانی				
	۰	۱	۲	۳	۴	۵
P1	۱۳۲۸۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
P2	۵۷۰۷/۸۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
P3	۰/۰۰	۶۶۱/۶۳	۲۷۳۶/۵۶	۴۷۶/۵۶	۰/۰۰	۰/۰۰
P4	۳۸۶۱/۳۵	۳۴۷۶/۳۵	۵۳۲/۷۴	۰/۰۰	۷۷۶/۰۵	۰/۰۰
P5	۰/۰۰	۱۴۷۴/۱۵	۹۶۷/۹۳	۹۲/۴۳	۰/۰۰	۰/۰۰
P6	۵۱۰/۰۰	۵۱۰/۰۰	۵۱۰/۰۰	۵۱۰/۰۰	۵۱۰/۰۰	۰/۰۰
P7	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۴/۴۲	۰/۰۰	۰/۰۰
P8	۸۷۵/۴۹	۵۴۳/۷۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

جدول (۴): مواد اولیه که توسط تأمین‌کننده j تأمین می‌گردد (I_j)

تأمین‌کننده/محصول	تأمین‌کننده ۱	تأمین‌کننده ۲	تأمین‌کننده ۳	تأمین‌کننده ۴	تأمین‌کننده ۵	تأمین‌کننده ۶
P1	۱	۱	۰	۰	۱	۰
P2	۰	۱	۰	۱	۰	۱
P3	۱	۱	۰	۱	۰	۰
P4	۱	۱	۱	۱	۱	۱
P5	۰	۱	۱	۱	۱	۱
P6	۱	۱	۰	۰	۱	۱
P7	۱	۰	۱	۰	۱	۰
P8	۱	۱	۱	۱	۱	۰

جدول (۵): تقاضای محصولات در هر دوره (m_{it})

	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵
P1	۲۵۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۳۰۰۰	۲۸۰۰۰	۳۰۰۰۰
P2	۳۷۹۰۰	۴۴۸۰۰	۴۰۰۰۰	۴۸۰۰۰	۳۲۸۰۰
P3	۵۰۱۰۰	۴۶۹۰۰	۵۲۱۰۰	۴۱۹۰۰	۵۳۴۰۰
P4	۶۱۵۰۰	۷۲۷۰۰	۶۵۰۰۰	۷۸۲۰۰	۷۱۴۰۰
P5	۸۰۶۰۰	۸۷۹۰۰	۸۵۳۰۰	۵۰۷۰۰	۵۲۲۰۰
P6	۳۷۱۰۰	۴۱۷۰۰	۳۵۸۰۰	۴۳۲۰۰	۳۳۵۰۰
P7	۳۸۲۰۰	۴۴۵۰۰	۴۰۸۰۰	۳۳۱۰۰	۴۱۲۰۰
P8	۱۵۳۰۰	۲۱۴۰۰	۱۷۶۰۰	۱۵۱۰۰	۳۲۰۰۰

جدول (۶): مقادیر (β_i) و (w_i) و (h_i)

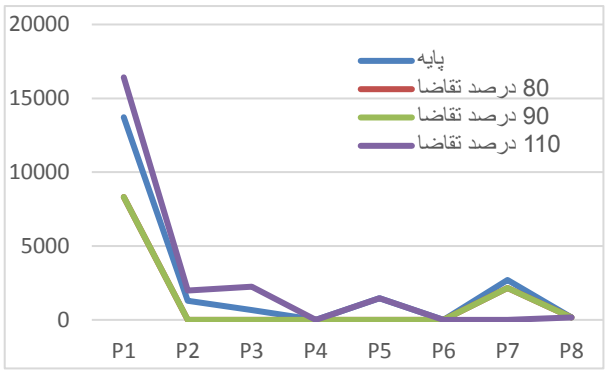
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
حساسیت تقاضا	۰/۰۶	۰/۷	۰/۱۵	۰/۴	۰/۳۵	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱
ظرفیت اشغال شده	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۲	۰/۱۷
هزینه نگهداری	۲۴	۳۲	۲۴	۳۲	۲۴	۲۴	۳۲	۳۲

۴-۲. تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس تغییرات تقاضا

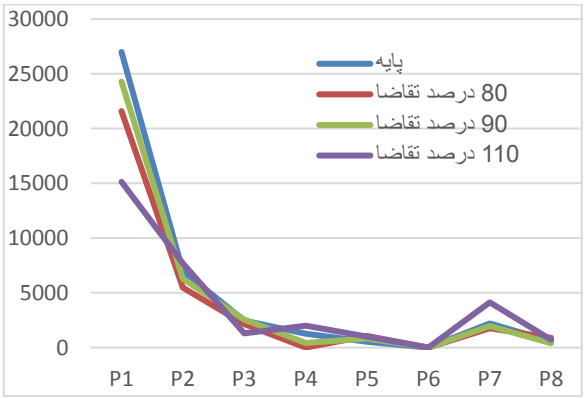
تجزیه و تحلیل حساسیت را برای برنامه‌ریزی احتیاجات مواد برای هشت محصول و براساس پنج دوره زمانی با نگرش ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰ درصد تقاضا در شکل های (۷) الی (۱۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، تأثیر تغییر پارامترها در کالاهای نهایی، نشان داده شده است، تقاضای کالاهای تمام شده از ۸۰ درصد تقاضای پایه تا ۱۲۰ درصد تقاضای پایه تغییر می‌کند. عامل عمده‌ای که باعث کاهش ۸۰ درصدی تقاضای پایه می‌شود، هزینه مواد اولیه جدید است. با افزایش تقاضا، هزینه مواد اولیه جدید نیز افزایش می‌یابد.

۴-۳. تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس تغییرات ظرفیت تولید

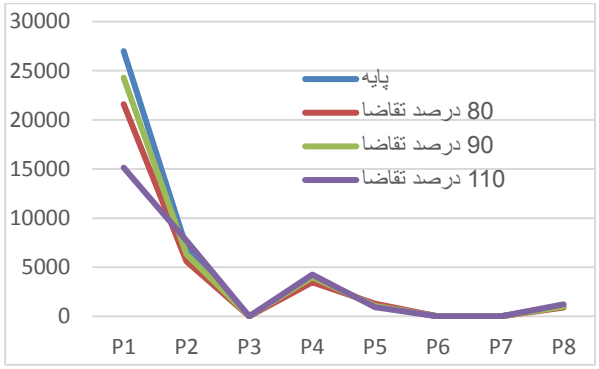
در شکل‌های (۱۲) الی (۱۶) تجزیه و تحلیل حساسیت را برای برنامه‌ریزی احتیاجات مواد برای هشت محصول و براساس پنج دوره زمانی با نگرش ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد ظرفیت تولید نشان داده شده است. باتوجه به شکل‌ها، میانگین استفاده از ظرفیت تولید در افق برنامه‌ریزی ۵ ماهه تعیین می‌شود. ظرفیت تولید کل کارخانه از ۸۰ درصد تا ۱۲۰ درصد ظرفیت تولید پایه متفاوت است. دیده می‌شود که در ۸۰ درصد ظرفیت تولید پایه، برنامه‌ریزی احتیاجات مواد غیرقابل اجرا است و قادر به تأمین تقاضای پایه نیست. کاهش ظرفیت منجربه هزینه‌های بالای موجودی می‌شود. با ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد ظرفیت پایه، هزینه‌های تولید درحال کاهش است که به‌دلیل کاهش در هزینه‌های موجودی در ظرفیت بیشتر است و پیشنهاد می‌شود که درصورت لزوم تولید با ظرفیت بیشتری انجام شود تا موجودی کمتری ایجاد شود. همچنین مشاهده می‌شود که استفاده از ظرفیت برخی از دوره ها زیاد نیست، یکی از دلایل استفاده از ظرفیت کم می‌تواند فصلی بودن تقاضای محصولات تولید شده باشد و راه‌حل این است که تخصیص مجدد ظرفیت برای بهبود استفاده کلی از ظرفیت کارخانه‌های تولید موردنیاز باشد. استفاده از ظرفیت کم نیز نشانه‌ای برای بخش بازاریابی برای افزایش فروش محصولات تولید شده است. حساسیت به ظرفیت همچنین برای تصمیمات استراتژیک بلندمدت برای شرکت مفید است. مقدار حاشیه‌ای ظرفیت شاخص مفیدی برای مدیریت برای تعیین ظرفیت مناسب منابع است.



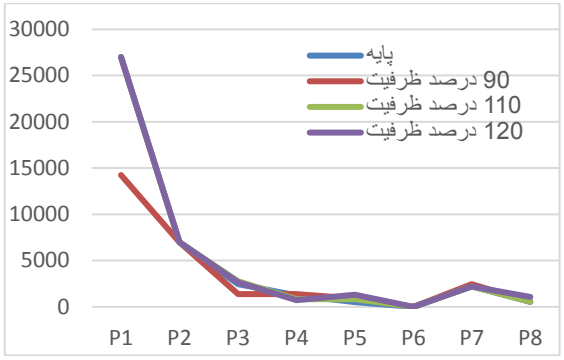
شکل (۷): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰درصد تقاضا در دوره زمانی اول



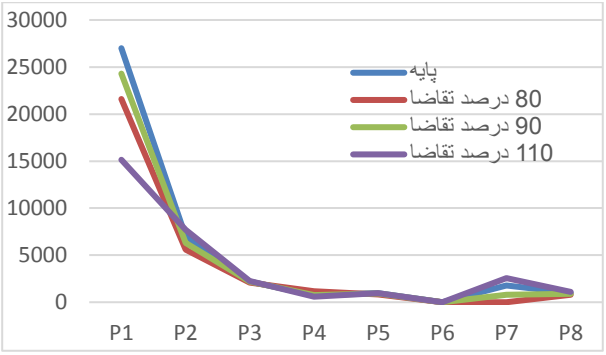
شکل (۸): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰درصد تقاضا در دوره زمانی دوم



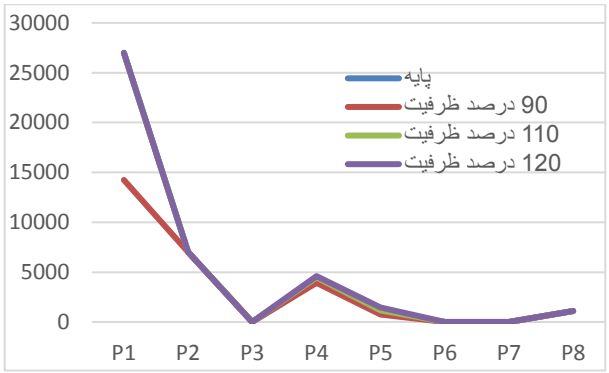
شکل (۹): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰درصد تقاضا در دوره زمانی سوم



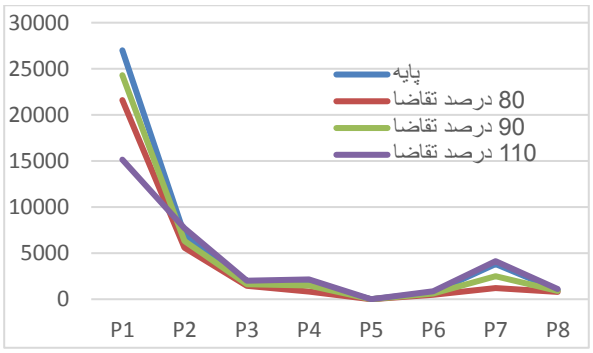
شکل (۱۳): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد ظرفیت تولید دوره زمانی دوم



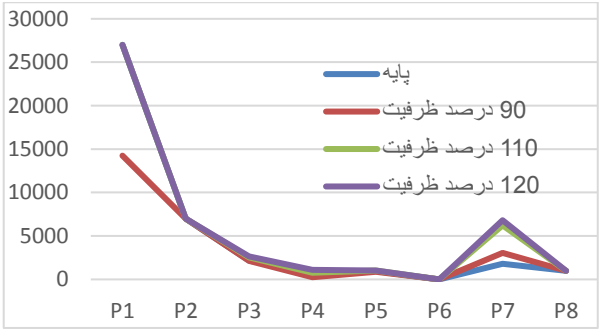
شکل (۱۰): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰درصد تقاضا در دوره زمانی چهارم



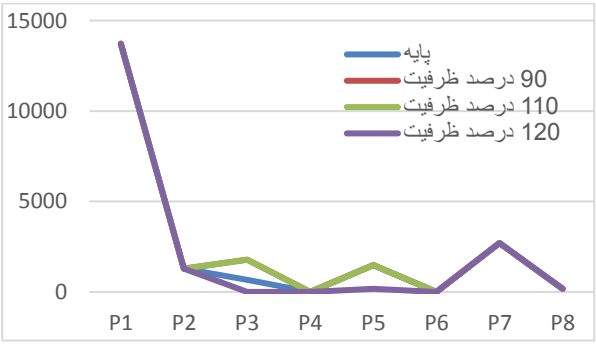
شکل (۱۴): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد ظرفیت تولید در دوره زمانی سوم



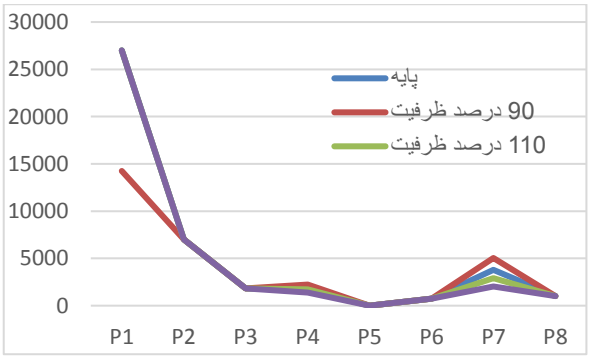
شکل (۱۱): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰درصد تقاضا در دوره زمانی پنجم



شکل (۱۵): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد ظرفیت تولید در دوره زمانی چهارم



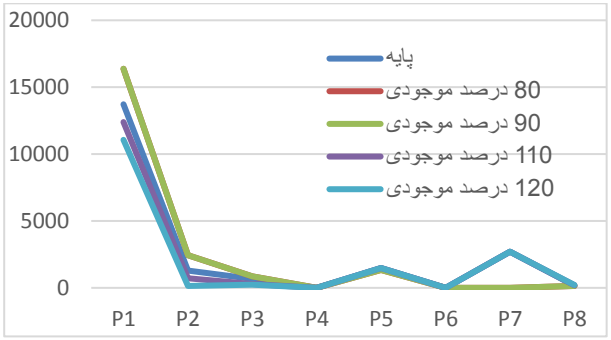
شکل (۱۲): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد ظرفیت تولید در دوره زمانی اول



شکل (۱۶): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد ظرفیت تولید در دوره زمانی پنجم

۴-۴. تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس تغییرات موجودی اولیه

شکل‌های (۱۷) الی (۲۱) تجزیه و تحلیل حساسیت را برای برنامه‌ریزی احتیاجات مواد برای هشت محصول و براساس پنج دوره زمانی با نگرش ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد موجودی اولیه نشان داده شده است. همچنین باتوجه به شکل‌ها، تأثیر موجودی اولیه بر هزینه‌ها و ظرفیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد قابل توجه است. موجودی اولیه محصولات و کالاهای نهایی از ۸۰ درصد تا ۱۲۰ درصد مورد اصلی متفاوت است. با موجودی اولیه بالا، کاهش در کل هزینه‌ها در جدول مشاهده می‌شود. در ۱۲۰ درصد موجودی اولیه پایه، اگرچه هزینه‌های موجودی افزایش می‌یابد، هزینه مواد اولیه جدید (به‌دلیل تولید کمتر محصولات) به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. این امر باعث کاهش هزینه کلی می‌شود. با افزایش موجودی اولیه، استفاده از ظرفیت کاهش می‌یابد. با موجودی اولیه کمتر هزینه‌های تولید به‌دلیل مصرف بیشتر مواد اولیه تازه افزایش می‌یابد. زیرا تولید بیشتر با موجودی اولیه کمتر موردنیاز است. با موجودی کمتر اولیه استفاده از ظرفیت نیز در حال افزایش است.



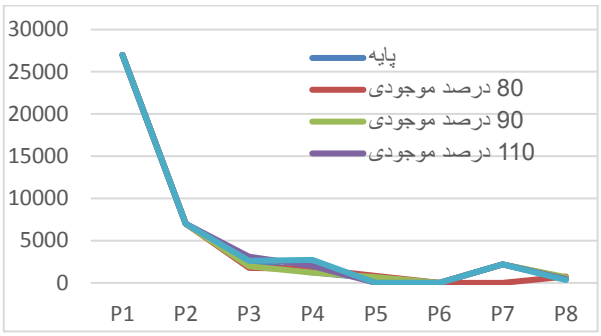
شکل (۱۷): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰درصد موجودی در دوره زمانی اول

۴-۵. انتخاب تأمین‌کنندگان

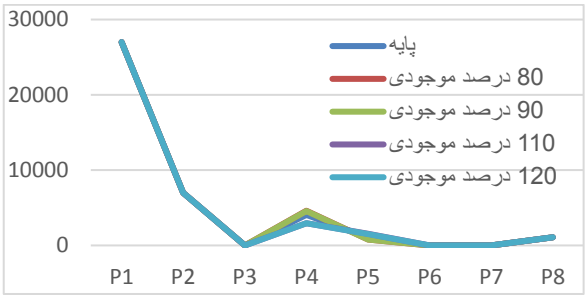
باتوجه به نتایج می‌توانیم تأمین‌کنندگان را انتخاب کنیم که مجموعه جواب متغیر (Z_{jt}) در جدول (۸) نشان داده شده است.

براساس محاسبات مقادیر متغیر Z_{jt} نشان می‌دهد که از بین ۶ تأمین‌کننده، تأمین‌کنندگان ۴ و ۵ انتخاب نشده‌اند و تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ و ۳ و ۶ در دوره‌های زمانی مختلف انتخاب گردیده‌اند. همچنین در جدول (۹) مقدار محصول سفارش داده شده برای تأمین‌کنندگان منتخب نشان داده شده است و جدول (۱۰) نشان‌دهنده قیمت محصولات در هر دوره می‌باشد.

حساسیت‌سنجی انتخاب تأمین‌کننده، در شکل (۲۲) مشاهده می‌شود که میزان اثرگذاری پارامتر هزینه نگهداری هر واحد محصول برروی مقدار تابع هدف از سایر پارامترها بیشتر است و همچنین میزان حساسیت تابع هدف برای انتخاب تأمین‌کننده نسبت‌به پارامتر هزینه ثابت سفارش‌دهی از تأمین‌کننده از سایر پارامترهای هزینه‌ای کمتر است و چنانچه مقدار پارامتر حساسیت تقاضای محصول برای قیمت فروش تغییر یابد، تأثیر آن برروی تابع هدف به‌صورت نمودار زیر است. مطابق شکل (۲۳)، با افزایش پارامتر حساسیت تقاضای محصول، مقدار تابع هدف به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته است.

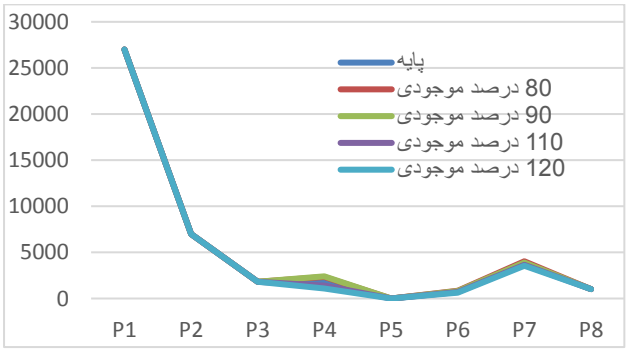


شکل (۱۸): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰درصد موجودی در دوره زمانی دوم



شکل (۱۹): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰درصد موجودی در دوره زمانی سوم

شکل (۲۰): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰درصد موجودی در دوره زمانی چهارم



شکل (۲۱): تجزیه و تحلیل حساسیت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد براساس ۸۰ و ۹۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰درصد موجودی در دوره زمانی پنجم

جدول (۷): هزینه ثابت سفارش‌دهی از تأمین‌کننده j در دوره t (o_{jt})

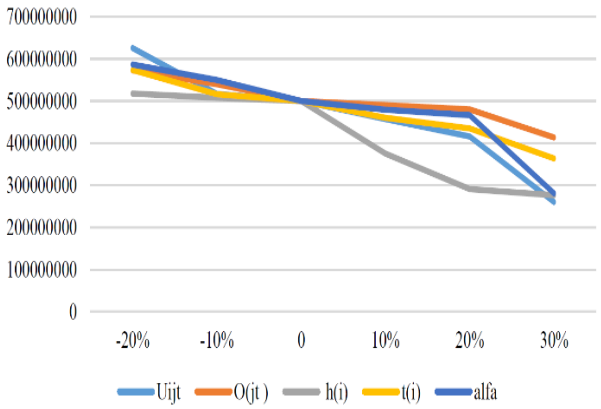
	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵
تأمین‌کننده ۱	۲۵۹	۲۷۸	۲۹۷	۳۱۸	۳۴۰
تأمین‌کننده ۲	۲۲۸	۲۷۸	۲۷۸	۲۷۸	۲۷۸
تأمین‌کننده ۳	۲۳۰	۲۴۶	۲۶۳	۲۸۲	۳۰۲
تأمین‌کننده ۴	۲۲۲	۲۳۷	۲۵۴	۲۷۲	۲۹۱
تأمین‌کننده ۵	۲۹۰	۳۱۰	۳۳۲	۳۵۵	۳۸۰
تأمین‌کننده ۶	۲۲۱	۲۳۷	۲۵۳	۲۷۱	۲۹۰

جدول (۸): جواب مقدار محصول سفارش داده شده برای تأمین‌کنندگان منتخب (X_{ijt})

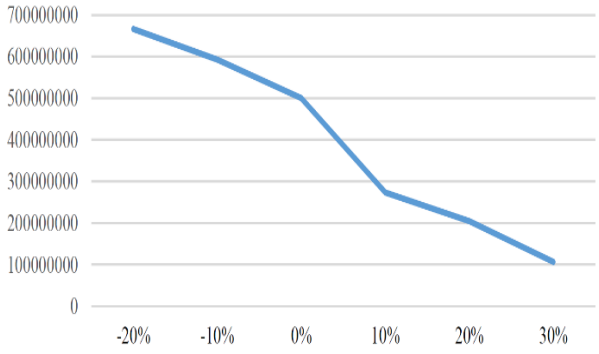
		دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵
P1	تأمین‌کننده ۱	۱۰۰	۰	۷۸	۱۰۰	۵۵
	تأمین‌کننده ۲	۰	۰	۱۰۰	۰	۰
P2	تأمین‌کننده ۶	۹۹	۹۹	۹۹	۸۶	۹۹
P3	تأمین‌کننده ۱	۱۰۰	۸۸	۹۰	۴۹	۱۰۰
P4	تأمین‌کننده ۱	۰	۷۶	۱۰۰	۹۲	۱۰۰
	تأمین‌کننده ۶	۹۱	۷۵	۹۱	۹۹	۹۴
P5	تأمین‌کننده ۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۶	۱۰۰
P6	تأمین‌کننده ۱	۸۵	۱۰۰	۱۰۰	۹۹	۱۰۰
	تأمین‌کننده ۶	۷۳	۹۰	۷۳	۶۹	۸۲
P7	تأمین‌کننده ۱	۵۲	۰	۰	۱۰۰	۰
	تأمین‌کننده ۳	۱۰۰	۰	۰	۰	۰
P8	تأمین‌کننده ۱	۰	۱۰۰	۱۰۰	۴	۰

جدول (۹): قیمت محصولات در هر دوره (P_{jt})

	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵
P1	۴۱۵۰۰۰	۳۳۱۶۶۶	۳۸۱۶۶۶	۴۶۵۰۰۰	۴۹۸۳۳۴
P2	۵۴۰۰۰۰	۶۳۸۵۷۱	۵۷۰۰۰۰	۶۸۴۲۸۵	۴۶۷۱۴۲
P3	۳۳۳۳۳۴	۳۱۲۰۰۰	۳۴۶۶۶۷	۲۷۸۶۶۷	۳۵۵۳۳۴
P4	۱۵۳۵۰۰	۱۸۱۵۰۰	۱۶۲۲۵۰	۱۹۵۲۵۰	۱۷۸۲۵۰
P5	۲۳۰۰۰۰	۲۵۰۸۵۷	۲۴۳۴۲۸	۱۴۴۵۷۱	۱۴۸۸۵۷
P6	۲۸۴۶۱۵	۳۲۰۰۰۰	۲۷۴۶۱۵	۳۳۱۵۳۸	۲۵۶۹۲۳
P7	۲۵۴۰۰۰	۲۹۶۰۰۰	۲۷۱۳۳۴	۲۲۰۰۰۰	۲۷۴۰۰۰
P8	۱۵۲۰۰۰	۲۱۳۰۰۰	۱۷۵۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۳۱۹۰۰۰



شکل (۲۲): تغییر تابع هدف در انتخاب تأمین‌کننده بازای تغییر در پارامترهای هزینه



شکل (۲۳): تغییر تابع هدف در انتخاب تأمین‌کننده به‌ازای تغییر در پارامتر حساسیت تقاضای محصول

همان‌طور که از نتایج حاصل از حل برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کننده مشاهده می‌شود، نه‌تنها تضادی درون نتایج مشاهده نمی‌شود بلکه تغییرات اعمال شده مربوط به پارامترهای ورودی، جواب‌های حاصل به‌صورت منطقی تأثیر پذیرفته‌اند و در ناحیه پایدار قرار می‌گیرند که این موضوع خود دلیلی بر اعتبار مدل و کارایی روش حل است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که می‌توان بااستفاده از مدل پیشنهادی و تولید بیشتر، موجودی‌ها را به‌میزان قابل‌توجهی افزایش داد تا پیش‌بینی تقاضا را برآورده شود. همچنین تجزیه و تحلیل حساسیت تأثیر ظرفیت کل، تقاضا، موجودی اولیه را به‌درستی نشان می‌دهد.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ابتدا مدل دو لایه‌ای توسعه‌یافته موجودی طراحی گردید که بتواند هر واحد تشکیل‌دهنده زنجیره‌تأمین را شبیه‌سازی نماید و شامل سه مدل موجودی، ارتباطی و مشارکتی بود. مدل موجودی شامل سطح موجودی اولیه، نرخ کمبود و تصمیم‌گیری در حالت کمبود عرضه و مدل ارتباطی شامل زمان تدارک سفارش و زمان تدارک تولید و رویه تخصیص و لیست مواد و مدل مشارکتی شامل مدل کردن پروسه سفارش (پیش‌بینی تقاضا و رویه سفارش) به‌منظور تجدید ذخایر موجودی برای هر واحد زنجیره‌تأمین در کل زنجیره‌تأمین بود. سپس در ادامه معادلات حاکم بر سطح تقاضا برای هر واحد تشکیل‌دهنده زنجیره‌تأمین به‌دست آمد و میانگین و انحراف معیار تقاضای مشتری برآورد گردید و همچنین رویه‌های مدل موجودی، رویه حمل محصول، رویه ترخیص سفارش، رویه سطح موجودی، رویه مدل ارتباطی به‌دست آمد که رویه مدل ارتباطی شامل رویه دریافت سفارش در مدل ارتباطی توزیع، رویه مدل ارتباطی تولید، رویه دریافت سفارش در مدل ارتباطی تولید بود و سپس براساس برنامه‌ریزی احتیاجات مواد، لایه مدل مشارکت با نگرش سری‌های زمانی طراحی شد و برآن اساس میانگین و انحراف معیار تقاضای مشتری در مدل مشارکت تعریف شد و سپس رویه برآورد نیازهای ناخالص، رویه محاسبه نیازهای خالص، حاسبه ترخیص سفارش برنامه‌ریزی شده و محاسبه ترخیص سفارش جدید به‌دست آمد و در نهایت به‌کمک سیستم کنترل فازی-عصبی تطبیقی تقاضا پیش‌بینی گردید و درنهایت معادلات حاکم بر انتخاب تأمین‌کننده به‌دست آمد. در یک جمع‌بندی، طراحی سیستم موجودی که شامل پارامترهای اصلی سطح موجودی اولیه، نرخ کمبود و تصمیم‌گیری در حالت کمبود عرضه انجام شد و مدل توزیع برای ارتباط مابین موجودی‌های واحدهای زنجیره‌تأمین و توزیع‌کنندگان طراحی شد و پس‌از آن تقاضای برای هر واحد زنجیره‌تأمین مدل‌سازی گردید و درنهایت شبیه‌سازی پویا برای زنجیره‌تأمین براساس مدل موجودی جهت برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کنندگان انجام شد.

در این پژوهش مشخص شد که چگونه براساس پیش‌بینی تقاضا امکان برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کننده امکان‌پذیر است ولی آنچه در پیش‌بینی تقاضا حساسیت‌سنجی نشده است، تخفیفات دوره‌ای است که کارخانه ممکن است برروی محصولات خود اعمال کند، لذا پیشنهاد می‌شود، تحلیل حساسیت برروی این پارامتر نیز متمرکز شود زیرا این پارامتر برروی موجودی‌ها و مشخصاً برروی برنامه‌ریزی احتیاجات موارد و انتخاب تأمین‌کننده تأثیرگذار خواهد بود. مسأله دیگری که در این پژوهش به آن پرداخته نشده است، اثر مدیریت تقاضا و اثربخشی آن برروی مدیریت زنجیره‌تأمین در برنامه‌ریزی احتیاجات موارد و انتخاب تأمین‌کننده است. مشخصاً این تحلیل می‌تواند برروی روش تولید تأثیرگذار باشد. نتایج این پژوهش براساس داده‌های موجود، محدود به پنج دوره زمانی یک ماهه بوده و درصورتی که تعداد دوره‌های زمانی افزایش یابد مشخصاً برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کننده می‌تواند تحت تأثیر افزایش تعداد دوره‌های زمانی قرار گیرد، لذا درصورت وجود اطلاعات، بررسی دوره‌های زمانی بیشتر و یا اثر کوتاه یا بلند بودن بازه هر دوره زمانی، پژوهشی مجزا را می‌طلبد. هر کدام از محصولات مورد مطالعه در این پژوهش به‌عنوان محصولی واحد درنظر گرفته شده‌اند بدین‌معنا که مواد اولیه مربوط به آن محصول از ابتدای خط تولید تأمین شده و در انتها محصولی تولید می‌شود ولی درواقعیت ممکن است محصول مذکور خود از چند زیرمحصول تولید گردد و هر کدام از این زیرمحصولات دارای مواد اولیه خاص خود و یا مشترک با زیرمحصولات دیگر باشد لذا پژوهشی مجزا در این حالت ضروری به‌نظر می‌رسد.

پیشنهادات آتی برای این پژوهش عبارتند از: الف) توسعه مدل چندهدفه برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی احتیاجات مواد اولیه و انتخاب تأمین‌کننده در یک زنجیره‌تأمین مبتنی برIoT . ب) طراحی یک مدل موجودی-مکان‌یابی در زنجیره‌تأمین با درنظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای پایین دست. ج) طراحی استوار برای زنجیره‌تأمین چندهدفه با عدم قطعیت در تقاضای مشتری و هزینه تولید و درنظر گرفتن الزامات زیست‌محیطی د) طراحی شیوه‌های یادگیر (همانند یادگیری عمیق) برروی پیش‌بینی تقاضا در برنامه‌ریزی احتیاجات مواد و انتخاب تأمین‌کننده.

مراجع

[1] J. Mula, R. Poler, and J. P. Garcia-Sabater, "Material Requirement Planning with fuzzy constraints and fuzzy coefficients," Fuzzy Sets and Systems, vol. 158, no. 7, pp. 783-793, 2007.

[۲] ح. شاهبندرزاده, غ. جمالی, ی. براتی, "به‌کارگیری مدلی جهت بررسی عوامل اثرگذار بر پیاده سازی برنامه‌ریزی احتیاجات مواد در زنجیره‌تأمین," presented at the همایش بین‌المللی مدیریت, ۱۳۹۳.

[3] F. E. Boran, S. Genç, M. Kurt, and D. Akay, "A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method," Expert Systems with Applications, vol. 36, no. 8, pp. 11363-11368, 2009.

[۴] ا. قلی پور, ع. صفایی, م. پایدار, "یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در محیط چندمعیاره،

چندذینفعی و احتمالی," at the presented اولین کنفرانس بین‌المللی بهینه‌سازی سیستم‌ها و مدیریت کسب‌وکار, ۱۳۹۶.

[5] N. Aissaoui, M. Haouari, and E. Hassini, "Supplier selection and order lot sizing modeling: A review," Computers & operations research, vol. 34, no. 12, pp. 3516-3540, 2007.

[6] S. Khalifehzadeh, M. B. Fakhrzad, Y. Z. Mehrjerdi, and H. Hosseini_Nasab, "Two effective metaheuristic algorithms for solving a stochastic optimization model of a multi-echelon supply chain," Applied Soft Computing, vol. 76, pp. 545-563, 2019.

[7] M .M. Billal and M. Hossain, "Multi-Objective Optimization for Multi-Product Multi-Period Four Echelon Supply Chain Problems Under Uncertainty," Journal of Optimization in Industrial Engineering, 2019.

[8] D. Das, N. B. Hui, and V. Jain, "Optimization of stochastic,(Q, R) inventory system in multi-product, multi-echelon, distributive supply chain," Journal of Revenue and Pricing Management, vol. 18, no. 5, pp. 405-418, 2019.

[9] L. Duan and J. A. J. E. J. o. O. R. Ventura, "A dynamic supplier selection and inventory management model for a serial supply chain with a novel supplier price break scheme and flexible time periods," vol. 272, no. 3, pp. 979-998, 2019.

[10] Sutrisno, Widowati, and R. H. Tjahjana, "Piecewise objective optimisation model for inventory control integrated with supplier selection considering discount," International Journal of Logistics Systems and Management, vol. 38, no. 1, pp. 65-78, 2021.

[11] A. Pooya, N. Fakhlaei, and A. Alizadeh-Zoeram, "Designing a dynamic model to evaluate lot-sizing policies in different scenarios of demand and lead times in order to reduce the nervousness of the MRP system," Journal of Industrial and Production Engineering, vol. 38, no. 2, pp. 122-136, 2021.

[12] M.-A. Louly and A. Dolgui, "Optimal MRP parameters for a single item inventory with random replenishment lead time, POQ policy and service level constraint," International Journal of Production Economics, vol. 143, no. 1, pp. 35-40, 2013.

[13] K. Inderfurth, "How to protect against demand and yield risks in MRP systems," International Journal of Production Economics, vol. 121, no. 2, pp. 474-481, 2009.

[14] S. H. Mirmohammadi, S. Shadrokh, and F. Kianfar, "An efficient optimal algorithm for the quantity discount problem in material requirement planning," Computers & Operations Research, vol. 36, no. 6, pp. 1780-1788, 2009.

[15] H.-G. Lee, N. Park, H.-I. Jeong, and J. Park, "Grid enabled MRP process improvement under distributed database environment," Journal of Systems and Software, vol. 82, no. 7, pp. 1087-1097, 2009.

[16] S. I. Salaheldin, "Factors influencing the stage of MRP implementation: an empirical study," Problems and perspectives in management, no. 3, pp. 89-102, 2004.

[17] A. Petroni, "Critical factors of MRP implementation in small and medium-sized firms," International Journal of Operations & Production Management, vol. 22, no. 3, pp. 329-348, 2002.

[18] R. Miclo, M. Lauras, F. Fontanili, J. Lamothe, and S. A. J. I. J. o. P. R. Melnyk, "Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management," vol. 57, no. 1, pp. 166-181, 2019.

[19] S. Chopra and P. Meindl, "Supply chain management. Strategy, planning & operation," in Das summa summarum des management: Springer, 2007, pp. 265-275.

[20] G. W. Dickson, "An analysis of vendor selection systems and decisions," Journal of purchasing, vol. 2, no. 1, pp. 5-17, 1966.

[21] C. Rao and G. Kiser, "Educational buyers' perceptions of vendor attributes," Journal of Purchasing and Materials Management, vol. 16, no. 4, pp. 25-30, 1980.

[22] J. Bache, R. Carr, J. Parnaby, and A. Tobias, "Supplier development systems," International Journal of Technology Management, vol. 2, no. 2, pp. 219-228, 1987.

[23] P. S. Bender, R. W. Brown, M. H. Isaac, and J. F. Shapiro, "Improving purchasing productivity at IBM with a normative decision support system," Interfaces, vol. 15, no. 3, pp. 106-115, 1985.

[24] C. A. Weber, J. R. Current, and W. Benton, "Vendor selection criteria and methods," European journal of operational research, vol. 50, no. 1, pp.۱۹۹۱ ,۱۸-۲ .

[25] C. A. Weber and J. R. Current, "A multiobjective approach to vendor selection," European journal of operational research, vol. 68, no. 2, pp. 173-184, 1993.

[26] E. C. Rosenthal, J. L. Zydiak, and S. S. Chaudhry, "Vendor selection with bundling," Decision Sciences, vol. 26, no. 1, pp. 35-48, 1995.

[27] Z. Degraeve and F. Roodhooft, "A mathematical programming approach for procurement using activity based costing," Journal of Business Finance & Accounting, vol. 27, no. 1-2, pp. 69-98, 200.۰

[28] L. De Boer, E. Labro, and P. Morlacchi, "A review of methods supporting supplier selection," European journal of purchasing & supply management, vol. 7, no. 2, pp. 75-89, 2001.

[29] C. Basnet and J. M. Leung, "Inventory lot-sizing with supplier selection," Computers & Operations Research, vol. 32, no. 1, pp. 1-14, 2005.

[30] D. R. Goossens, A. Maas, F. C. Spieksma, and J. Van de Klundert, "Exact algorithms for procurement problems under a total quantity discount structure," European Journal of Operational Research, vol. 178, no. 2, pp. 603-626, 2007.

[31] J. Rezaei and M. Davoodi, "A deterministic, multi-item inventory model with supplier selection and imperfect quality," Applied Mathematical Modelling, vol. 32, no. 10, pp. 2106-2116, 2008.

[32] W .Ho, X. Xu, and P. K. Dey, "Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review," European Journal of operational research, vol. 202, no. 1, pp. 16-24, 2010.

[33] A. Amid, S. Ghodsypour, and C. O'Brien, "Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain," International Journal of production economics, vol. 104, no. 2, pp. 394-407, 2006.

[34] A. Amid, S. Ghodsypour, and C. O'Brien, "A weighted additive fuzzy multiobjective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply chain,"

International Journal of Production Economics, vol. 121, no. 2, pp. 323-332, 2009.

[35] R. M. Ebrahim, J. Razmi, and H. Haleh, "Scatter search algorithm for supplier selection and order lot sizing under multiple price discount environment," Advances in Engineering Software, vol. 40, no. 9, pp. 766-776, 2009.

[36] H. Haleh and A. Hamidi, "A fuzzy MCDM model for allocating orders to suppliers in a supply chain under uncertainty over a multi-period time horizon," Expert Systems with Applications, vol. 38, no. 8, pp. 9076-9083, 2011.

[37] W. Xia and Z. Wu, "Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments," Omega, vol. 35, no. 5, pp. 494-504, 2007.

[38] Y. Crama and A. Torres, "Optimal procurement decisions in the presence of total quantity discounts and alternative product recipes," European Journal of Operational Research, vol. 159, no. 2, pp. 364-378, 2004.

[39] H. Ding, L. Benyoucef, and X. Xie, "A simulation optimization methodology for supplier selection problem," International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 18, no. 2-3, pp. 210-224, 2005.

[40] J. Freeman and T. Chen, "Green supplier selection using an AHP-Entropy-TOPSIS framework," Supply Chain Management: An International Journal, vol. 20, no. 3, pp. 327-340, 2015.

[41] N. R. Ware, S. Singh, and D. Banwet, "A mixed-integer non-linear program to model dynamic supplier selection problem," Expert Systems with Applications, vol. 41, no. 2, pp. 671-678, 2014.

[42] J. Xu and F. Yan, "A multi-objective decision making model for the vendor selection problem in a bifuzzy environment," Expert systems with applications, vol. 38, no. 8, pp. 9684-9695, 2011.

[43] M. Zeydan, C. Çolpan, and C. Çobanoğlu, "A combined methodology for supplier selection and performance evaluation," Expert Systems with Applications, vol. 38, no. 3, pp. 2741-2751, 2011.

[44] H.-F. Wang and H.-W. Hsu, "A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm ",Computers & operations research, vol. 37, no. 2, pp. 376-389, 2010.

[45] M. S. Pishvaee, R. Z. Farahani, and W. Dullaert, "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design," Computers & operations research, vol ,۳۷ .no. 6, pp. 1100-1112, 2010.

[46] C. Klein and J. A. Ventura, "An optimal method for a deterministic joint replenishment inventory policy in discrete time," Journal of the Operational Research Society, vol. 46, no. 5, pp. 649-657, 1995.

[47] I. Moon and B. Cha, "The joint replenishment problem with resource restriction," European Journal of Operational Research, vol. 173, no. 1, pp. 190-198, 2006.

[48] M. Khouja, Z. Michalewicz, and S. S. Satoskar, "A comparison between genetic algorithms and the RAND method for solving the joint replenishment problem," Production Planning & Control, vol. 11, no. 6, pp. 556-564, 2000.

[49] H. Siajadi, R. N. Ibrahim*, P. B. Lochert, and W. M. Chan, "Joint replenishment policy in inventory-production systems," Production Planning & Control, vol. 16, no. 3, pp. 255-262, 2005.

[50] C. K. Chan, L. Y.-o. Li, C. T. Ng, B. K.-s. Cheung, and A. Langevin, "Scheduling of multi-buyer joint replenishments," International Journal of Production Economics, vol. 102, no. 1, pp. 132-142.۲۰۰۶ ,

[51] M. Hoque, "An optimal solution technique for the joint replenishment problem with storage and transport capacities and budget constraints," European journal of operational research, vol. 175, no. 2, pp. 1033-1042, 2006.

[52] A. L. Olsen, "Inventory replenishment with interdependent ordering costs: an evolutionary algorithm solution," International Journal of Production Economics, vol. 113, no. 1, pp. 359-369, 2008.

[53] A. Konak, D. W. Coit, and A. E. Smith, "Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial," Reliability Engineering & System Safety, vol. 91, no. 9, pp. 992-1007, 2006.

[54] S.-L. Hsu, "Optimal joint replenishment decisions for a central factory with multiple satellite factories," Expert Systems with Applications, vol. 36, no. 2, pp. 2494-2502, 2009.

[55] Q. Li, "Solving the multi-buyer joint replenishment problem with the RAND method," Computers & Industrial Engineering, vol. 46, no. 4, pp. 755-762, 2004.

[56] R. J. A. s. c. Sadeghian, "Continuous materials requirements planning (CMRP) approach when order type is lot for lot and safety stock is zero and its applications," vol. 11, no. 8, pp. 5621-5629, 2011.

[57] T. Hosoda and S. M. J. O. Disney, "On variance amplification in a three-echelon supply chain with minimum mean square error forecasting," vol. 34, no. 4, pp. 344-358, 2006.

[58] J. R. Trapero, N. Kourentzes, and R. J. O. Fildes, "Impact of information exchange on supplier forecasting performance," vol. 40, no. 6, pp. 738-747, 2012.

[59] T. W. Liao and P.-C. J. I. J. o. P. E. Chang, "Impacts of forecast, inventory policy, and lead time on supply chain inventory—a numerical study," vol. 128, no. 2, pp. 527-537, 2010.

[60] W. W. Wei, "Time series analysis," in The Oxford Handbook of Quantitative Methods in Psychology: Vol. 2, 2006.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2022, Volume 9., No. 19., pp. 71-93
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2022.24851.2042

Designing an Extended Inventory Model in the Supply Chain with Material Requirements Planning and Supplier Selection

R. Abbasi Bastami[1*], R. Ehtesham Rasi[2], S. Abedi[3]

[1,] PHD student, Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
[2,] Assistant Professor, Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
[3] Assistant Professor, Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 5 July 2021
Accepted 3 December 2021

***Keywords*:**

Supply Chain
Material Requirements Planning
Supplier Selection
Inventory System

ABSTRACT

Material Requirements Planning (MRP) is a priority planning method that calculates the materials needed to meet the demand for all products and parts in one or more parts of the factory. Because choosing the right supplier for the organization brings significant savings, the most important activity of the buying operation is choosing the right supplier. The aim of this study is to design an extended inventory model to identify and Supplier Selection and Material Requirements Planning in the supply chain. For this purpose, an inventory system including the main parameters of initial inventory level, defect rate and decision when supply shortage was designed. Then the distribution model was designed for the relationship between the inventories of supply chain units and distributors. After modeling the demand for each supply chain unit, the inventory model was performed to Material Requirements Planning and Supplier Selection based on dynamic simulation for the supply chain. Material Requirements Planning was then sensitized based on changes in demand and changes in production capacity and changes in inventory and finally suppliers were selected. The results showed that with increasing demand, the cost of new raw materials also increases. Also, at 80% of the base production capacity, the Material Requirements Planning is unworkable and is not able to meet the basic demand. Reduced capacity leads to high inventory costs. With 110 and 120% of base capacity, there was a reduction in production costs. Also, with high initial inventory, a decrease in total costs was observed, and in 120% of the basic initial inventory, although inventory costs increased, the cost of new raw materials decreased significantly. Also, the sensitivity for selecting a supplier to the fixed cost parameter of ordering from the supplier is less than other cost parameters.

[*] Corresponding author. R. Abbasi Bastami
Tel.: 02833866326; E-mail address: rezaehteshamrasi@gmail.com