نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
IERPS
ISSN: 2345-2269
نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
سال پنجم، شماره یازدهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۶، صفحه ۲۱۱-۲۲۷
www.ier.basu.ac.ir
DOI: 10.22084/ier.2017.11326.1511

بهینه‌سازی ذخیره اطمینان در زنجیره‌های تامین حلقه بسته با استفاده از مدل خدمات تضمین‌شده

کاظم فرحی‌نژاد[۱]، محمدرضا غلامیان[۲،*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
۲. استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۳۹۵/۰۵/۲۰
پذیرش ۱۳۹۶/۰۹/۰۷

کلمات کلیدی:
ذخیره اطمینان
مدل خدمات تضمین‌شده
لجستیک معکوس
زنجیره تأمین حلقه بسته

خلاصه

یکی از مسائل مهم در مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت موجودی اقلام در مواجهه با عدم قطعیت تقاضا می‌باشد. یکی از موضوعاتی که در مواجهه با عدم قطعیت تقاضا به آن پرداخته می‌شود، موضوع جایگذاری ذخیره اطمینان در زنجیره تأمین می‌باشد. بدین منظور در این مقاله، زنجیره‌ی تأمینی را در نظر می‌گیریم که در آن امکان بازگشت محصولات ثانویه (محصولات فرعی) تولیدشده درون زنجیره به ایستگاه‌های دیگر جهت انجام فرآیندهای تولید مجدد وجود دارد. همچنین، اگر پس از انجام فرآیند ایستگاه آخر و عبور از تمام ایستگاه‌ها، محصولات شرایط لازم را برای استفاده نداشته باشند، ابتدا بازیافت و سپس مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرند. سپس بر این اساس زمان بازپرسازی عادی، زمان بازپرسازی اقلام تولید مجدد شده و همچنین زمان اقلام بازیافت‌شده تعیین گردیده و به‌منظور ارائه روابط منطقی جهت به دست آوردن ذخیره اطمینان موردنیاز، تعداد حالات موجود بین این زمان‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه با استفاده از روابط به‌دست‌آمده و مدل خدمات تضمین‌شده، یک مدل یکپارچه بهینه‌سازی ذخیره اطمینان در زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه می‌شود. در نهایت، با ارائه چند مثال به تحلیل نتایج حاصل از مدل در شرایط مختلف پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که بسته به ساختار زنجیره تأمین موردنظر، در نظر گرفتن رویکرد جدید می‌تواند منجر به کاهش و در برخی موارد افزایش هزینه‌های نگهداری شود.

۱- مقدمه

در شرایط رقابتی دنیای امروز سازمان‌ها مجبور هستند زنجیره تأمین خود را به نحوی پیکره‌بندی نمایند که به کمک آن بتوانند تقاضاهای مشتریان را در زمان‌های وعده داده‌شده برآورده نمایند. طی سال‌های اخیر، مدیریت یکپارچه زنجیره تأمین به یک استراتژی مهم به کار گرفته شده توسط سازمان‌ها جهت کاهش هزینه‌ها ضمن تأمین نیازهای مشتریان تبدیل‌شده است. در دنیای واقعی بسیاری از زنجیره‌های تأمین سیستم‌های چند سطحی هستند، یعنی سیستم‌هایی شامل چند مرحله که در آن هر مرحله با یک فرایند مانند تدارک، تولید و یا حمل ونقل اقلام همراه است. چنین زنجیره‌های تأمینی در محیطی که شامل عدم قطعیت‌های مختلف، مانند عدم قطعیت در تقاضای مشتری، زمان‌های انتظار بازپرسازی و تغییر در هزینه‌های مواد، تولید و یا حمل‌ونقل است فعالیت می‌کنند. این عوامل کنترل موجودی را مشکل‌تر می‌کنند. ذخیره اطمینان به‌عنوان یک لایه جهت مقابله با عدم قطعیت در سیستم‌های موجودی استفاده می‌شود. به عبارتی ذخیره اطمینان به‌عنوان یک اهرم برای کاهش خطر کمبود موجودی در این سیستم‌ها به کار می‌رود [۱]. این مسئله که به‌منظور تعادل دو ریسک کمبود موجودی و نگهداری غیرضروری موجودی استفاده می‌شود، به‌صورت سیستم‌های چند سطحی یا تک سطحی مورد بررسی قرار می‌گیرد [۲].

یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های بین دو رویکرد سیستم موجودی تک سطحی و سیستم موجودی چند سطحی به وجود زمان انتظار

* نویسنده مسئول: محمدرضا غلامیان
تلفن: ۷۳۲۲۵۰۶۷-۰۲۱؛ پست الکترونیکی: Gholamian@iust.ac.ir

برمی‌گردد. در رویکرد تک سطحی زمان انتظار که می‌تواند شامل زمان جابجایی مواد و زمان حمل‌ونقل باشد به‌عنوان یک عامل خارجی و ثابت درنظرگرفته می‌شود. درحالی‌که در رویکرد سیستم موجودی چند سطحی، زمان انتظار یک ایستگاه پایین‌دست به سطح موجودی و عدم قطعیت تقاضای ایستگاه‌های بالادست بستگی دارد. در این حالت، ذخیره اطمینان اهمیت فوق‌العاده‌ای پیدا می‌کند چرا که با کنترل آن می‌توان به تنظیم و بهینه‌سازی زمان‌های انتظار در ایستگاه‌های مختلف پرداخت. همچنین رویکرد تک سطحی هر مرحله از زنجیره را به‌طور مستقل در نظر گرفته و وابستگی بین سطح خدمت و عملکرد هزینه مراحل مختلف بین تأمین کننده - مشتری را نادیده می‌گیرد. به‌طورکلی، روش‌های تک سطحی عموماً منجر به سطوح ضعیف خدمات مشتری گردیده و ذخیره اطمینان تعریف‌شده در این حالت منجر به راه‌حل‌های هزینه‌ای غیر بهینه می‌گردد. در رویکرد چند سطحی، هر مرحله نشان‌دهنده یک محل بالقوه برای نگهداری موجودی اطمینان می‌باشد. این رویکردها به بهینه‌سازی تصمیمات موجودی با در نظر گرفتن تمام مراحل زنجیره تأمین به‌طور هم‌زمان، از منابع خارجی تا مشتری نهایی می‌پردازند [۳]. اگرچه این امر ممکن است منجر به چالش‌های محاسباتی قابل‌توجهی شود، چنین رویکردی نتایج بهتری را از نظر بهبود سطح خدمات ارائه‌شده به مشتریان و کاهش کل هزینه موجودی فراهم می‌کند.

به‌طورکلی در سیستم‌ها یا زنجیره‌های تأمین چند سطحی دو رویکرد برای در نظر گرفتن مسئله بهینه‌سازی ذخیره اطمینان وجود دارد. مدل (رویکرد) خدمات تضمین‌شده و مدل (رویکرد) خدمات احتمالی که به ترتیب توسط توسط سیمپسون[1] [۴] و کلارک و اسکارف[2] [۵] معرفی شدند. تفاوت این دو رویکرد در مکانیزم بازپرسازی آن‌ها می‌باشد. مدل خدمات تضمین‌شده فرض می‌کند که هر ایستگاه می‌تواند یک زمان سرویس یا تحویلی را مشخص کند که در آن زمان همیشه خدمت موردنظر را برای ایستگاه‌های بعدی به انجام می‌رساند. به عبارتی در این مدل هر ایستگاه یک زمان سرویس که ماهیت قطعی و قابل پیش‌بینی دارد را برای مشتری یا ایستگاه بعدی خود در نظر می‌گیرد که با توجه به آن، درصورتی‌که این زمان تعهد شده از مجموع زمان دریافت سرویس خود ایستگاه و مدت زمان فعالیت آن ایستگاه که زمان بازپرسازی ایستگاه نامیده می‌شود، کمتر باشد؛ باید مقدار ذخیره اطمینان کافی نگهداری نماید. مدت زمان مطرح شده (تفاضل بین زمان بازپرسازی و زمان سرویس) را زمان بازپرسازی خالص هر ایستگاه می‌گویند. در این مدل برای برآورده ساختن تقاضا حد بالایی در نظر گرفته می‌شود. به عبارتی در این مدل فرض می‌شود که سیاست ذخیره اطمینان برای برآورده ساختن بخشی از تقاضا که در محدوده سطح سرویس قابل ارائه توسط سازمان مشخص می‌شود، طراحی‌شده است [۶]. به‌طور مثال اگر تقاضای مشتریان دارای توزیع نرمال و سطح سرویس ارائه شده توسط سازمان ۹۵ درصد باشد، بخشی از سطح نمودار که در محدوده موردنظر قرار می‌گیرد برای درنظرگرفتن ذخیره اطمینان مورد بررسی قرار می‌گیرد. علت استفاده از رویکرد خدمات تضمین شده، جدید بودن رویکرد و مشاهده اثرات استفاده از این رویکرد در زنجیره‌های مختلف بوده است. در این زمینه می‌توان به‌صرفه جویی ۱۳۰ میلیون دلاری هزینه‌های موجودی در شرکت HP، کاهش ۱۱ درصدی موجودی اینتل، کاهش ۷ درصدی موجودی پروکتر اند گمبل و ... پس از پیاده سازی این رویکرد اشاره نمود. از جمله زنجیره‌هایی که این روش تاکنون در آن‌ها به مرحله اجرا در آمده است، می‌توان به صنایع الکترونیک، صنایع شیمیایی، صنایع خودروسازی، نیمه‌هادی‌ها، سخت افزار یارانه، تصویربرداری دیجیتال و ... اشاره نمود.

همان‌طور که اشاره شد، در مدل خدمات تضمین‌شده برای برآورده ساختن تقاضا در یک بازه زمانی درحرکت روبه‌جلو حد مشخصی درنظرگرفته می‌شود. حال اگر اثر میزان اقلام بازگشتی که چه از فرآیندهای خود سیستم براثر وجود برخی نواقص حاصل‌شده‌اند و چه اقلامی که از خارج وارد سیستم شده‌اند را در نظر بگیریم، مقدار تقاضای هر دوره دچار تغییراتی خواهد شد. درنتیجه میزان ذخیره اطمینان موردنیاز نیز باحالتی که هیچ‌گونه بازگشتی به سیستم وجود ندارد متفاوت خواهد بود. به‌منظور بررسی اثر بازگشت محصولات و یا اقلام ثانویه به چرخه تولیدی بر روی میزان ذخیره اطمینان موردنیاز، مینر[3] [۷] مدل خدمات تضمین‌شده و مدل لجستیک معکوس را در ساختار شبکه‌ای عمومی (با حلقه) با یکدیگر ترکیب نمود و با به دست آوردن روابط جدید برای میزان تقاضای هر دوره به تحلیل نتایج پرداخت. این مقاله را می‌توان به‌نوعی توسعه تحقیقات مینر دانست که در آن مسئله لجستیک معکوس به‌صورت کامل‌تری در مدل خدمات تضمین شده در نظر گرفته شده است.

این مقاله از بخش‌های زیر تشکیل‌شده است. در بخش ۲ به‌مرور ادبیات تحقیقات صورت گرفته می‌پردازیم. در بخش ۳ مفاهیم و روابط موردنیاز مدل را مطرح نموده و سپس مدل ریاضی بسط داده می‌شود. بخش ۴ به ارائه چند مثال عددی و تحلیل نتایج اختصاص دارد و در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی ارائه خواهد شد.

۲- مرور ادبیات

مدل‌های موجود بهینه‌سازی ذخیره اطمینان در زنجیره تأمین را بر اساس ساختار شبکه می‌توان به شبکه‌های سریالی، مونتاژی، توزیعی، درخت پوشا و شبکه‌های عمومی تقسیم‌بندی نمود. تحقیقات اولیه عمدتاً بر روی شبکه‌های سریالی تمرکز کرده‌اند [۴] و [۵]. سیمپسون یک زنجیره تولید سریالی را به‌صورت دنباله‌ای از مراحل در حال پردازش مدل‌سازی نمود. در شبکه‌های سریالی، فرض می‌شود که در هر مرحله عملیات خاصی روی مواد صورت گرفته و

1. Simpson
2. Clark & Scarf
3. Minner

سپس مواد از یک مرحله به مرحله بعد منتقل می‌گردند. البته زمانی پردازش هر مرحله آغاز می‌گردد که مواد از مراحل قبل آماده شده باشند. این زمان همان زمان سرویس تضمین شده مرحله بالادست می‌باشد. این موضوع برای مراحل پایین دست بعدی نیز صادق است. لذا در این مدل، هدف تعیین زمان سرویس موجودی در هر مرحله از تولید به‌منظور برآورد ساختن تقاضای مراحل پایین‌دست جهت حداقل نمودن هزینه‌های موجودی است. وی تحت این فرض نشان داد ازآنجایی‌که تابع هزینه مقعر مدل در یک فضای محدب کران‌دار اتفاق می‌افتد، جواب بهینه در یکی از گوشه‌های فضای شدنی قرار می‌گیرد. بدین معنا که یا در هر ایستگاه زمان سرویس برابر صفر است ($S_i = 0$) که در این صورت مقدار ذخیره اطمینان کافی باید نگهداری شود. یا زمان سرویس از رابطه ($S_i = S_{i+1} + T_i$) به دست می‌آید. در این رابطه S_i زمان سرویس ایستگاه مربوطه و T_i زمان فرآیند آن ایستگاه می‌باشد و اندیس i+1 نشان‌دهنده ایستگاه تأمین‌کننده می‌باشد. لذا در این حالت هیچ گونه نیازی به ذخیره اطمینان وجود ندارد [۸].

اخیراً اروگوز و همکاران [۹] مروری جامع بر ادبیات این حوزه انجام داده و به دسته‌بندی تحقیقات چاپ‌شده پیرامون مسائل بهینه‌سازی ذخیره اطمینان با استفاده از مدل خدمات تضمین‌شده پرداخته‌اند. گریوز و شونمیر [۱۰] نتایج در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت در یک مدل ذخیره پایه تک ایستگاهی را در یک زنجیره تأمین چند ایستگاهی و تحت یک سیاست ذخیره پایه ثابت اصلاح‌شده مورد استفاده قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که تحت یک سیاست ذخیره پایه، اضافه نمودن محدودیت باعث بهبود هزینه‌های موجودی می‌شود. طالعی زاده و صالحی [۱۱] یک مدل کنترل موجودی برای کالاهای فسادپذیر که در آن طول دوره کنترل موجودی کاملاً یک متغیر تصادفی است، تحت سیاست پرداخت معوقه توسعه دادند.

ازآنجایی‌که موضوع اصلی این مقاله در ارتباط با بررسی مدل خدمات تضمین‌شده در شرایط تولید مجدد و لجیستک معکوس می‌باشد، در ادامه به بررسی مرور ادبیات این شرایط پرداخته شده است. رویکرد اولیه در زمینه تعیین هم‌زمان میزان تولید و اندازه دسته تولید مجدد توسط چریدی[1] [۱۲] ایجاد شده است. او مدل سنتی مقدار سفارش اقتصادی (EOQ) را برای اقلام قابل تعمیر با فرض مشخص بودن نرخ‌های تولید و بازیابی (تعمیر) و بدون در نظر گرفتن هزینه دورریز تجزیه و تحلیل نمود. نامیاز و ریورا[2] [۱۳] مدل چریدی را به حالتی که نرخ بازیافت/ تعمیر متناهی است، تعمیم دادند. علی رغم عدم بررسی نرخ‌های بهینه بازگشت و استفاده مجدد، مبینی و همکاران[3] [۱۴] یک توسعه چندمحصولی این مدل‌ها را مورد بررسی قرار دادند. در این مدل‌ها تمام اقلام بازگشت داده‌شده قابل‌استفاده مجدد هستند. ریشتر [۱۵] و [۱۶] فرض کرد که اقلام جمع‌آوری شده ممکن است قابل بازیابی باشند و یا قابل بازیابی نباشند. این فرضیات توسط ریشتر نشان می‌دهد که برخی از اقلام ممکن است به‌عنوان یک ماده دورریختنی دفع شوند. در ادامه ریشتر [۱۷] و ریشتر و دوباس[4] [۱۸] مدل‌های قبلی خود را توسعه دادند تا نشان دهند که یک سیاست بنگ-بنگ یا بدون مواد زائد (تمام اقلام بازگشتی تعمیر شوند) و یا بدون تعمیر (تمام اقلام به‌عنوان ماده دور ریختنی دفع شوند) در مقایسه با سیاست آمیخته بهینه است. دوباس و ریشتر [۱۹] این مدل‌ها را با فرض نرخ تولید و تعمیر محدود توسعه دادند؛ و سپس در تحقیق مشابه دیگری [۲۰] مدل‌ها برای چرخه‌های تولید و تعمیر چندگانه تعمیم داده شدند. گریوز[5] [۲۱] نشان داد که زمان صرف شده جهت تعیین راه‌حل بهینه برای شبکه‌های سریالی به‌وسیله‌ی یک مدل برنامه‌ریزی پویا کاهش می‌یابد. ایندفرث[6] [۲۲] یک الگوریتم برنامه‌ریزی پویا برای سیستم‌های توزیع ارائه داد. به‌طور مشابه مینر [۲۳] یک الگوریتم برنامه‌ریزی پویا برای شبکه‌های سریالی، توزیع و مونتاژ تحت معیارهای مختلف سرویس ارائه داد.

مبینی و همکاران توسعه‌هایی بر روی مدل چریدی پیشنهاد کردند که در آن سفارش عقب افتاده مجاز است. آن‌ها دو حالت را در نظر گرفتند. در حالت اول، تنها یک قلم کالا در نظر گرفته شد که در آن نرخ بازیابی ثابت و معین بوده و محدودیت ظرفیتی وجود ندارد. در حالت دوم، چند قلم کالا در نظر گرفته شد ولی ظرفیت تعمیر برای تولید مجدد محدود شده بود. تیونتر[7] [۲۴] مدل چریدی را با فرض تمایز بین هزینه‌های نگهداری برای اقلام تازه تولیدشده و تعمیر شده و داشتن بیش از یک چرخه تولید و تعمیر، در نظر گرفت. تیونتر[۲۵] نرخ‌های بازگشت و تقاضای کالا را به‌صورت تصادفی در نظر گرفت و فرض نمود که هیچ‌گونه زمان انتظاری وجود ندارد. بعلاوه هزینه‌های تخفیف نیز به‌منظور ایجاد شرایط واقعی‌تر در مدل لحاظ شده بود.

سعادنی و جابر[8] [۲۶] وجود یک محدودیت در کار ریشتر [۱۵] و [۱۶] را نشان دادند. این محدودیت مربوط به زمانی است که اقلام بازگشتی که زمان زیادی از عمر آن‌ها نمی‌گذرد، بدون هیچ‌گونه اقدام تعمیر (بازیابی)، انباشته شوند. آن‌ها همچنین مدل را با فرض داشتن تغییر در هزینه‌های راه‌اندازی تولید مجدد، توسعه دادند. سعادنی و همکاران [۲۷] تبدیل اجزای یک محصول به مواد تعمیر شده، تولید مجدد شده و یا چندین بار بازیافت شده را موردبحث قراردادند. آن‌ها یک مدل ریاضی توسعه دادند که در آن محصولات و اجزای آن‌ها می‌توانند چندین بار تعمیر شوند قبل از اینکه محصول ویژگی‌های خود را از دست بدهد و یا دیگر نتواند تعمیر شود. این فرض

1. Schrady
2. Nahmias & Rivera
3. Mabini, Pintelon, & Gelders
4. Richter & Dobas
5. Graves
6. Inderfurth
7. Teunter
8. Saadany

واقع‌بینانه‌تر بوده و تغییرات جدیدی را در مدل‌سازی ایجاد می‌کند.

گریوز و ویلمز به ارائه یک مدل پایه‌ای خدمات تضمین‌شده پرداختند. آن‌ها با فرض λ_i به‌عنوان زمان پردازش، h_i هزینه نگهداری و Z_i زمان خدمت‌رسانی به ایستگاه تقاضای i و در نظر گرفتن سایر فرضیات ذکرشده مدل ریاضی رویکرد خدمات تضمین‌شده را به‌صورت زیر ارائه کردند. در این مدل مجموعه ایستگاه‌های تأمین، میانی و پایانی به ترتیب با مجموعه‌های A، P و E شناخته می‌شوند.

$$\text{Min } C = \sum_{i\in A\cup P\cup E} h_i k_i \sigma_i \sqrt{SI_i + \lambda_i - S_i} \qquad (۱)$$

$$SI_i + \lambda_i \geq S_i \qquad \forall i \in A \cup P \qquad (۲)$$

$$SI_i - S_j \geq 0 \qquad \forall (j,i) \in W(i,j) \qquad (۳)$$

$$S_i \leq Z_i \qquad \forall i \in E \qquad (۴)$$

$$SI_i, S_i \geq 0 \quad \text{(Int.)} \qquad \forall i \in A \cup P \qquad (۵)$$

در مدل ریاضی فوق تابع هدف مسئله به کمینه‌سازی هزینه نگهداری ذخیره اطمینان می‌پردازد. در این رابطه که بر اساس رابطه سطح سرویس نوع یک می‌باشد، h_i نرخ هزینه نگهداری، K_i ضریب سطح سرویس سازمان (بر اساس رابطه $\varphi^{-1}(b) = K_i$) و $\sigma_i\sqrt{SI_i + \lambda_i - S_i}$ انحراف معیار تقاضا در طول زمان بازپرسازی می‌باشد. رابطه (۲) شرط لزوم وجود ذخیره اطمینان را نشان می‌دهد. به عبارتی دیگر ذخیره اطمینان زمانی موردنیاز است که زمان بازپرسازی خالص هر ایستگاه مثبت باشد. رابطه (۳) نشان می‌دهد که زمان خدمت‌رسانی ورودی هر مرحله (ایستگاه) حداقل به‌اندازه زمان سرویس خروجی ایستگاه‌های تأمین کننده آن می‌باشد؛ یعنی آغاز فرآیند هر ایستگاه منوط به اتمام فعالیت تمام ایستگاه‌های تأمین کننده آن ایستگاه می‌باشد. همچنین رابطه (۴) تضمین می‌کند که زمان تحویل در ایستگاه‌های تقاضا از زمان خدمت‌رسانی تضمین‌شده بیشتر نشود و درنهایت رابطه (۵) به بیان مثبت و عدد صحیح بودن زمان‌های خدمت‌رسانی خروجی و ورودی می‌پردازد.

در ادامه، مینر [۷] اثر فعالیت‌های لجستیک معکوس و هزینه استفاده مجدد را بر روی هزینه‌های ذخیره اطمینان تحلیل نمود. وی حالتی را در نظر گرفت که در آن امکان بازگشت محصولات ثانویه از یک ایستگاه به ایستگاه‌های پیشین به‌منظور انجام فرآیندهای اصلاح و تولید مجدد فراهم شده بود. سپس به بررسی شرایط مختلف حاصله از مقایسه زمان‌های بازپرسازی عادی و تولید مجدد با یکدیگر و بازمان پردازش پرداخت. وی نشان داد که هنگام طراحی زنجیره تأمین بایستی بین هزینه‌ها و نیازمندی‌های ذخیره اطمینان با هزینه‌های دفع و خرید تعادل وجود داشته باشد.

در بررسی‌های صورت گرفته در تحقیقات داخلی، عمدتاً مطالعات بر جهت‌گیری‌های کلی در زمینه زنجیره‌های تأمین حلقه بسته متمرکز بوده و به مسئله خدمات تضمین شده پرداخته نشده است. از جمله تحقیقات متأخر می‌توان به توسعه مدل چند سطحی-چند محصولی [۲۸]، مکان‌یابی همراه با تعیین سیاست‌های حمل‌ونقل [۲۹]، مکان‌یابی همراه با تعیین ظرفیت [۳۰] و همچنین به‌کارگیری مدل‌های برنامه ریزی تصادفی [۳۱] و برنامه ریزی فازی استوار [۳۲] در لجستیک معکوس اشاره نمود.

این مقاله توسعه‌ای بر مدل مینر در حالتی است که در آن امکان بازگشت اقلام ایستگاه‌های مختلف به ایستگاه‌های قبلی جهت انجام فرآیندهای تولید مجدد، بازیافت و استفاده مجدد محصولات وجود دارد. به عبارتی در این تحقیق حالت‌های بیشتری از فعالیت‌های لجستیک معکوس در مسئله جایگذاری ذخیره اطمینان در زنجیره تأمین در نظر گرفته‌شده و سپس با توجه به افزایش تعداد حالات بازگشت و به‌تبع آن افزایش تعداد پارامترهای زمانی از قبیل زمان بازپرسازی اقلام تولید مجدد شده و یا بازیافت شده در طول دوره مورد بررسی، تعداد حالات موجود بین این پارامترها توسعه داده‌شده است. همچنین امکان استفاده از هر یک از این حالات در شرایط مختلف با درنظرگرفتن روابط موجود مورد بررسی قرار داده می‌شود.

۳- تعریف مسئله، معرفی نمادها و روابط و مدل ریاضی

۳-۱- تعریف مسئله

برگشت محصولات به زنجیره تأمین به دو صورت برگشت‌های داخلی و برگشت‌های خارجی تعریف می‌گردد. برگشت داخلی در اثر نقصان در انجام فرآیندها ایجادشده و منجر به تولید محصولات ثانویه می‌شود. در مقابل برگشت‌های خارجی در اثر نامرغوب بودن برخی محصولات تولیدی که در اختیار مشتریان قرار گرفته و یا از طریق جمع‌آوری محصولات بلااستفاده موجود در بازار به علت برخی منافع هزینه‌ای و یا زیست‌محیطی، حاصل می‌گردد. لذا محصولات به‌صورت تصادفی می‌توانند پس از مصرف و یا در حین فرآیند تولید به ایستگاه‌های مختلف قبلی زنجیره تأمین بازگردند. عموماً فرض می‌شود که این برگشت محصولات دارای توزیع نرمال با میانگین μ و انحراف معیار σ می‌باشد. در برگشت‌های داخلی، مقادیر بازگشتی درصدی از تولید یک ایستگاه می‌باشد. عموماً دو نوع برگشت داخلی وجود دارد؛ برگشت رو به عقب که در آن اقلام ثانویه در ایستگاه‌های پیشین مورد استفاده قرار می‌گیرند و برگشت رو به جلو که در آن اقلام ثانویه در خط تولید دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برگشت‌های خارجی نیز ازآنجایی‌که محصول از خط تولید خارج شده و در اختیار مشتری قرار گرفته است، محصولات ثانویه به‌صورت یک متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شوند. در برگشت‌های رو به عقب، بر روی محصولات ثانویه تولید شده عملیات تولید مجدد، بازیافت یا انهدام صورت می‌پذیرد. اگر بتوان از محصول یا اجزای آن استفاده نمود، مواد حاصله به‌صورت بخشی از موجودی جهت ارضای تقاضای دوره آتی در نظر گرفته می‌شود. در هر صورت مقدار این مواد از تقاضای دوره کمتر است؛ اما در حالت برگشت‌های خارجی و برگشت روبه‌جلو مقادیر محصولات ثانویه ممکن است از مقدار تقاضای دوره تجاوز کرده و جهت ارضای تقاضای دوره‌های بعدی نیز بکار رود. نهایتاً درصورتی‌که محصولات ثانویه قابل بازیافت و یا تولید مجدد نباشند نسبت به انهدام آن‌ها اقدام می‌شود. معمولاً به‌منظور

ساده‌سازی مسئله، از همبستگی بین مقادیر برگشتی در واحد زمان و همچنین همبستگی بین مقادیر تقاضا و برگشتی محصولات چشم‌پوشی می‌شود.

۳-۲- معرفی نمادهای به کار رفته در مدل

در این بخش پس از ارائه مفروضات به کار رفته در مسئله، به‌منظور بیان و تفسیر روابط موجود و همچنین ارائه مدل ریاضی به معرفی اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم به کار گرفته شده پرداخته می‌شود.

مفروضات

- درصورتی‌که محصول با عبور از تمام ایستگاه‌ها و انجام تمام فرآیندهای موردنیاز در ایستگاه پایانی شرایط لازم را برای استفاده نداشته باشد، بازیافت شده و مجدداً به‌صورت مواد اولیه در زنجیره مورداستفاده قرار می‌گیرد.
- زمان مورد نیاز برای انجام فرآیند در هر ایستگاه پس از انجام عملیات بازیافت به دو صورت ممکن است اتفاق بیافتد، مشابه با فرآیند اولیه قبل از بازیافت و متفاوت با فرآیند اولیه.
- به‌منظور انجام عملیات تولید مجدد در هر ایستگاه، پس از دریافت اقلام بازگشتی از تمام ایستگاه‌ها، ابتدا اقلام مورد بازرسی و در صورت نیاز عملیات اولیه قرار گرفته و سپس عملیات اصلی بر روی آن‌ها انجام می‌شود.

جدول (۱): اندیس‌ها و مجموعه‌ها

i / j	اندیس ایستگاه‌های تولیدی و نگهداری موجودی
t	دوره زمانی
A	مجموعه ایستگاه‌های اولیه (خرید)
P	مجموعه ایستگاه‌های در حال فرآیند(میانی)
E	مجموعه ایستگاه‌های پایانی

۳-۳- تحلیل مدل

اجزای زنجیره تأمین معمولاً به‌صورت شبکه‌ای با مجموعه رئوس و کمان‌ها نمایش داده می‌شود. در این شبکه رئوس مجموعه ایستگاه‌های کاری یا همان مکان‌های انجام فرآیندهای مختلف و کمان‌ها نیز ارتباطات بین ایستگاه‌ها می‌باشد. رویکرد کنترل کیمبال [۳۳] فرض می‌کند که ارتباطات در این شبکه به‌صورت ضریب استفاده اقلام ($a_{i,j}$) هر ایستگاه در هر یک از ایستگاه‌های دیگر می‌باشد. به عبارتی با در اختیار داشتن تقاضای خارجی، می‌توان مقدار تقاضای هر ایستگاه میانی و مقدار بهینه بازپرسازی را به دست آورد. روابط زیر بیان‌کننده این مسئله است.

$$D_{i,t}^{gross}=D_{i,t} \qquad \forall\, i \in E \qquad (۶)$$

$$D_{i,t}^{gross}=\sum_{j\in n(i)} a_{i,j}Q_{j,t} \qquad \forall\, i \in A \cup P \qquad (۷)$$

$$Q_{i,t}=D_{i,t}^{gross}-R_{i,t} \qquad \forall\, i \in A \cup P \qquad (۸)$$

رابطه (۶)، تقاضای ایستگاه‌های پایانی را نشان می‌دهد. رابطه (۷)، میزان تقاضای ایستگاه‌های اولیه و میانی را بر اساس درصد سفارشات ایستگاه‌های بعدی نمایش داده و درنهایت در رابطه (۸) $Q_{i,t}$ تعداد بازپرسازی اقلام را در هریک از ایستگاه‌های اولیه و میانی با در نظرگیری میزان بازگشتی هر ایستگاه محاسبه می‌کند. همچنین می‌توان با داشتن ضریب استفاده از اقلام در هر ایستگاه ($a_{i,j}$)، ضریب استفاده از اقلام در تولید یک واحد از محصول نهایی ($g_{i,j}$) را نیز محاسبه نمود. این موضوع در رابطه (۹) نشان داده شده است.

جدول (۲): پارامترها

$a_{i,j}$	تعداد اقلام i موردنیاز برای تولید یک واحد قلم j
$g_{i,j}$	کل تعداد محصول i موردنیاز برای فرآیند یک قلم محصول نهایی j
v(i)	مجموعه ایستگاه‌هایی پیشین ایستگاه i که به‌صورت مستقیم به ایستگاه i متصل هستند و مواد موردنیاز برای فرآیند ایستگاه i را آماده می‌سازند.
V(i)	مجموعه تمام ایستگاه‌های پیشین ایستگاه i
n(i)	مجموعه ایستگاه‌های پسین ایستگاه i که به‌صورت مستقیم توسط ایستگاه i تأمین می‌شوند.
N(i)	مجموعه تمام ایستگاه‌های پسین ایستگاه i
w(i)	مجموعه ایستگاه‌هایی که اقلام را برای تولید مجدد به ایستگاه i می‌فرستند.
λ_i	زمان انجام فرآیند ایستگاه i
λ_i^{bp}	زمان انجام فرایند تولید مجدد در ایستگاه i
λ_i^{ins}	زمان انجام بازرسی و انجام عملیات اولیه بر روی انواع اقلام بازگشتی به ایستگاه i جهت آغاز فرآیند اصلی تولید مجدد
λ^{rec}	زمان انجام بازیافت اقلام
λ_i^{new}	زمان جدید انجام فرآیند ایستگاه i پس از بازیافت
$D_{i,t}$	تقاضای دریافت شده توسط ایستگاه i در دوره t
$D_{i,t}^{gross}$	تقاضای ناخالص ایستگاه i در دوره t $(i \in A \cup P)$
$D_{i,t}^{net}$	تقاضای خالص ایستگاه i در دوره t $(i \in A \cup P)$
$\mu_{i,t}$	میانگین تقاضای ایستگاه i در دوره t $(i \in A \cup P \cup E)$
$\sigma_{i,t}$	انحراف معیار تقاضای ایستگاه i در دوره t $(i \in A \cup P \cup E)$
$\rho_{i,j}$	همبستگی تقاضا بین محصولات نهایی درون یک دوره $(i,j \in E)$
$R_{i,t}$	تعداد قلم بازگشتی i جهت تولید مجدد و استفاده مجدد در دوره t
$RR_{i,t}$	تعداد قلم بازگشتی i جهت بازیافت و استفاده مجدد در دوره t
L_i^r	زمان انتظار بازپرسازی اقلام در ایستگاه i از منبع عادی
L_i^{bp}	زمان انتظار اقلام تولید مجدد شده که در فرآیند ایستگاه i دوباره استفاده می‌شود.
L_i^{rec}	زمان انتظار بازپرسازی مواد بازیافت شده در فرآیند ایستگاه i
$L_{bp(i)}^r$	زمان انتظار بازپرسازی محصولات ثانویه که توسط فرآیند j=bp(i) ایجادشده‌اند.
z_i	زمان سرویس متعهد شده هر یک از ایستگاه‌های پایانی به مشتریان $(i \in E)$
b_i	سطح سرویس ایستگاه i
k_i	ضریب سطح سرویس ایستگاه i ام
h_i	نرخ هزینه نگهداری ایستگاه i
$W(i,j)$	مجموعه ارتباطات بین رئوس شبکه
$WW(j,i)$	مجموعه ارتباطات معکوس شبکه(جریانات رو به عقب)

جدول (۳): متغیرهای تصمیم

SI_i	زمان سرویس ورودی ایستگاه i
S_i	زمان سرویس خروجی ایستگاه i (زمانی که هر ایستگاه برای برآوردن تقاضای سایر ایستگاه‌ها متعهد می‌شود)
T_i	زمان موردنیاز پوشش داده‌شده توسط ذخیره اطمینان در ایستگاه i
$Q_{i,t}$	تعداد بازپرسازی اقلام در ایستگاه i در دوره t

$$g_{i,j} = \sum_{l\in n(i)} a_{i,l} g_{l,j} \ , \ g_{i,i} = 1 \quad \forall\, i \in A \cup P \qquad (۹)$$

بر این اساس، میانگین و واریانس تقاضای ایستگاه‌های اولیه و میانی به‌صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$\mu_i = \sum_{j\in E} g_{i,j}\mu_j \qquad \forall\, i \in A \cup P \qquad (۱۰)$$

$$\sigma_i^2 = \sum_{j\in E}\sum_{l\in E} g_{i,j} g_{i,l}\sigma_j\sigma_l\rho_{j,l} \qquad \forall\, i \in A \cup P \qquad (۱۱)$$

از طرفی در حالت بازگشت‌های داخلی میزان بازگشت اقلام یک متغیر تصادفی وابسته و به‌صورت ضریبی از مقدار بازپرسازی $Q_{bp(i),t}$ محصولات ثانویه است که توسط فرآیند ایستگاه j=bp(i) تولید می‌شود.

$$R_{i,t} = a_{bp(i),i} Q_{bp(i),,t} \quad \forall\, i \in A \cup P, j \in ww, t \in T \qquad (۱۲)$$

در حالت بازپرسازی عادی، مقدار موردنیاز خالص $Q_{i,t}$ پس از طی دوره $L_i^r = \max_{j\in v(i)}\{S_j\} + \lambda_i$ بازپرسازی می‌شود. به عبارتی مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک سفارش ارسال‌شده به ایستگاه بالادست، پس از انجام فرآیند مورد نیاز آماده تحویل به ایستگاه بعدی شود؛ اما در حالت استفاده مجدد، اقلام تولید مجدد شده پس از طی $L_i^{bp} = \lambda_i^{bp}$ دوره در بازگشت‌های خارجی آماده تحویل می‌شوند. علت این امر این است که در این حالت تنها مدت زمانی که اقلام مورد بازتولید قرار می‌گیرند در چرخه مورد نظر اهمیت دارد. حال به‌منظور ارائه رابطه‌ای برای مدت زمان آماده شدن اقلام در بازگشت‌های داخلی از لم زیر استفاده می‌کنیم.

لم ۱: در بازگشت‌های داخلی، اقلام پس از طی مدت زمان $L_i^{bp} = \max_{j\in w(i)}\{L_{bp(i)}^r\} + \lambda_i^{ins} + \lambda_i^{bp}$ دوره آماده تحویل می‌شوند.

اثبات: علت استفاده از این رابطه وجود این فرض است که زمانی که تمام اقلام بازگشتی از ایستگاه‌های مختلف به ایستگاه مورد نظر رسیدند، ابتدا عملیات بازرسی و در صورت نیاز عملیات اولیه انجام گرفته و سپس فرآیند اصلی تولید مجدد بر روی تمام اقلام صورت می‌گیرد.

در ادامه به‌منظور به دست آوردن رابطه‌ای برای محاسبه مدت زمان لازم برای آماده شده اقلام پس از بازیافت از لم زیر استفاده می‌کنیم.

لم ۲: طبق فرضی که محصول در صورت عدم داشتن شرایط لازم برای استفاده پس از عبور از تمام ایستگاه‌ها، بازیافت و مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد، اقلام پس از طی مدت زمان $L_i^{rec} = L_{j,j\in E}^r + \lambda^{rec} + \lambda_i$ آماده تحویل به ایستگاه بعدی می‌شوند.

اثبات: در این رابطه چون فرض شده است که اقلام از ایستگاه‌های پایانی به عقب بازمی‌گردند، از زمان انتظار بازپرسازی عادی ایستگاه پایانی و همچنین مدت زمان مورد نیاز برای بازیافت استفاده شده است. درنهایت نیز پس از ورود به ایستگاه موردنظر، فرآیند مربوطه بر روی آن انجام می‌شود. همچنین در برخی صنایع پس از بازیافت محصولات و تبدیل آن‌ها به مواد اولیه، مدت زمان موردنیاز برای انجام فرآیند متفاوت باحالت اولیه خواهد بود. به عبارتی مدت زمان جدید فرآیند ایستگاه در این حالت برابر λ_i^{new} خواهد بود. لذا اقلام بازگشتی به‌منظور تحویل به ایستگاه بعدی پس از طی مدت زمان $L_i^{rec} = L_{j,j\in E}^r + \lambda^{rec} + \lambda_i^{new}$ آماده می‌شوند.

ازآنجایی‌که حالت بازپرسازی اصلی، سفارش دهی عادی است زمان سرویس ایستگاه i محدود به زمان انتظار بازپرسازی عادی است. به عبارتی ($S_i \le L_i^r$). پیاده‌سازی زمان سرویس در یک محیط احتمالی تقاضای مشتریان به‌منظور جایگذاری ذخیره اطمینان بازمان بازپرسازی در ارتباط می‌باشد. به‌منظور بررسی مقدار ذخیره اطمینان موردنیاز باید مقدار تقاضای ناخالص و خالص هر ایستگاه و همچنین زمان‌های انتظار را در نظر گرفت. زمان بازپرسازی کل برای تعیین مقدار تقاضای ناخالص ایستگاه i به‌وسیله بیشترین مقدار سه زمان انتظار یا به عبارتی $\max\{L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}\}$ به دست می‌آید. رابطه (۱۳) به‌خوبی مدت زمانی که به‌وسیله ذخیره اطمینان جهت مقابله با عدم قطعیت تقاضا باید پوشش داده شود را نشان می‌دهد.

$$T_i = \max\{L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}\} - S_i \qquad \forall\, i \in A \cup P \qquad (۱۳)$$

بسته به مقادیر $S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}$ و با در نظر گرفتن روابط جایگشت می‌توان بیست و چهار حالت برای جایگشت چهار عضو در نظر گرفت؛ اما ازآنجایی‌که حالت بازپرسازی اصلی، همان بازپرسازی عادی است، نیمی از حالات که در آن $S_i \ge L_i^r$ است، موردقبول نبوده و بنابراین تعداد حالات ممکن دوازده حالت خواهد بود. فرض بر آن است که در هر دوازده حالت شرایط زیر در نظر گرفته می‌شود.

۱- در این حالات برای محاسبه تقاضای ناخالص هریک از ایستگاه‌های اولیه و میانی در دوره مورد بررسی t، مقدار تقاضای دریافت شده پس از زمان سرویس تا انتهای بازه مورد بررسی یا به عبارتی ($S_i \le t \le \max\{L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}\}$) را در نظر می‌گیریم.

۲- در این حالات هرگاه در طول کل بازه مورد بررسی از زمان انتظار بازپرسازی عادی عبور کنیم ($t \ge L_i^r$)، یک سفارش بازپرسازی عادی تکمیل و در واقع از میزان تقاضای کل بازه کاسته می‌شود.

۳- هرگاه در طول بازه از زمان بازپرسازی اقلام تولید مجدد شده عبور کنیم ($t \ge L_i^{bp}$)، به تعداد اقلام بازگشتی جهت تولید مجدد از تقاضای کل کاسته می‌شود. در واقع در دوره مورد اشاره اقلام ثانویه بازگشت داده شده و عملیات تولید مجدد آن‌ها به پایان رسیده است.

۴- هرگاه در طول بازه از زمان بازپرسازی اقلام بازیافت شده عبور کنیم ($t \ge L_i^{rec}$)، به میزان اقلام بازیافت شده از تقاضای کل

کاسته می‌شود. در واقع در این دوره محصولات ثانویه بازگشت داده‌شده و عملیات بازیافت و تولید مجدد آن‌ها به پایان رسیده است.

۵- تنها در حالاتی شرط ($L_i^{rec} \le L_i^r$) رخ می‌دهد که زمان انجام فرآیند ایستگاه پس از بازیافت، متفاوت بازمان انجام فرآیند اولیه آن ایستگاه باشد. به عبارتی در این حالت مدت زمان انجام فرآیند ایستگاه بر روی اقلام پس از انجام فرآیند بازیافت، λ_i^{new} خواهد بود.

اکنون به‌منظور درکی بهتر از این روابط، دوازده حالت فوق را دسته بندی می‌کنیم. بدین منظور ابتدا فرض می‌کنیم که هیچ‌گونه بازگشت اقلامی وجود ندارد. لذا باوجود S_i و L_i^r دو حالت متصور است؛ اما همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، حالتی که در آن $S_i \ge L_i^r$ است، موردقبول نبوده و لذا یک حالت باقی می‌ماند. حال با در نظر گرفتن L_i^{bp} و قرار دادن آن در مکان‌های مختلف بین S_i و L_i^r و لحاظ نمودن محدودیت فوق، سه حالت به وجود می‌آید (مینر[۷]). در نهایت در این تحقیق با توسعه مدل مینر و با درنظرگرفتن L_i^{rec} و قرار دادن آن بین عناصر پیشین، چهار حالت در هر یک از سه حالت فوق یا به عبارتی دوازده حالت به وجود می‌آید. این روابط در سه دسته، دسته بندی شده‌اند. در چهار حالت اولیه زمان سرویس هر ایستگاه از زمان انتظار بازپرسازی عادی و زمان انتظار بازپرسازی عادی نیز از زمان بازپرسازی اقلام بازگشتی تولید مجدد شده کوچک‌تر است. حال در ادامه با فرض قرار داشتن در دوره دلخواه t، به بررسی هریک از این چهار حالت می‌پردازیم.

۱) $S_i \le L_i^r \le L_i^{bp} \le L_i^{rec}$

اگر زمان سرویس از هر سه زمان انتظار کوچک‌تر باشد، ذخیره اطمینان مورد نیاز باید کل بازه زمانی یا به عبارتی ($L_i^{rec} - S_i$) را شامل شود. حال طی بازه زمانی ($L_i^{rec} - L_i^r$) مقادیر سفارش داده شده بازپرسازی می‌شوند و همچنین در طول بازه ($L_i^{rec} - L_i^{bp}$) اقلام بازگشتی و بازیابی شده بازپرسازی می‌شوند؛ بنابراین:

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = D_i^{gross}[t+S_i,t+L_i^{rec}] - Q_i[t+L_i^r,t+L_i^{rec}] - R_i[t+L_i^{bp},t+L_i^{rec}] = D_i^{gross}[t+S_i,t+L_i^r] + (D_i^{gross} - Q_i)[t+L_i^r,t+L_i^{rec}] + (D_i^{gross} - Q_i - R_i)[t+L_i^{bp},t+L_i^{rec}] \quad (۱۴)$$

در رابطه فوق، ابتدا طول بازه‌هایی که در هر یک از آن‌ها برخی اقلام (اقلام عادی، اقلام تولید مجدد شده، اقلام بازیافت شده و مورد استفاده مجدد قرار گرفته) بازپرسازی می‌شوند و همچنین بازه‌ای که شامل وجود تقاضای ناخالص در طول دوره می‌شود، نشان داده شده است. سپس با شکست بازه کل به زیر بازه‌ها وجود هریک از عناصر در زیر بازه‌ها تشریح شده است.

۲) $S_i \le L_i^r \le L_i^{rec} \le L_i^{bp}$

در این حالت نیز ازآنجایی‌که زمان سرویس از هر سه زمان انتظار کوچک‌تر می‌باشد، ذخیره اطمینان مورد نیاز باید کل بازه زمانی یا به عبارتی ($L_i^{bp} - S_i$) را شامل شود. حال طی بازه زمانی ($L_i^{bp} - L_i^r$) مقادیر سفارش داده شده و همچنین در طول بازه ($L_i^{bp} - L_i^{rec}$) اقلام بازگشتی و بازیافت شده بازپرسازی می‌شوند.

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = D_i^{gross}[t+S_i,t+L_i^{bp}] - Q_i[t+L_i^r,t+L_i^{bp}] - R_i[t+L_i^{bp},t+L_i^{rec}] = D_i^{gross}[t+S_i,t+L_i^r] + (D_i^{gross} - Q_i)[t+L_i^r,t+L_i^{bp}] + (D_i^{gross} - Q_i - R_i)[t+L_i^{bp},t+L_i^{rec}] \quad (۱۵)$$

۳) $S_i \le L_i^{rec} \le L_i^r \le L_i^{bp}$

این حالت نیز مانند دو حالت قبل است و زمان سرویس از هر سه زمان انتظار کوچک‌تر است و ذخیره اطمینان برای کل بازه ($L_i^{bp} - S_i$) مورد نیاز می‌باشد. در طول بازه ($L_i^{bp} - L_i^{rec}$) اقلام بازگشتی و بازیافت شده بازپرسازی می‌شوند. در نهایت در طول بازه ($L_i^{bp} - L_i^r$) مقادیر سفارش داده شده بازپرسازی می‌شوند. لازم به ذکر است همان‌طور که اشاره شد، این حالت و سایر حالات دیگری که در آن ($L_i^{rec} \le L_i^r$) لحاظ شده است، زمانی اتفاق می‌افتند که مدت زمان انجام فرآیند ایستگاه مربوطه پس از انجام فرآیند بازیافت، λ_i^{new} باشد.

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = D_i^{gross}[t+S_i,t+L_i^{bp}] - RR_i[t+L_i^{rec},t+L_i^{bp}] - Q_i[t+L_i^r,t+L_i^{bp}] = D_i^{gross}[t+S_i,t+L_i^{rec}] + (D_i^{gross} - RR_i)[t+L_i^{rec},t+L_i^r] + (D_i^{gross} - RR_i - Q_i)[t+L_i^r,t+L_i^{bp}] \quad (۱۶)$$

۴) $L_i^{rec} \le S_i \le L_i^r \le L_i^{bp}$

در این حالت ذخیره اطمینان مورد نیاز برای مدت زمان انتظار بازپرسازی عادی و بازپرسازی محصولات ثانویه استفاده می‌شود. در طول بازه ($L_i^{bp} - L_i^{rec}$) اقلام بازگشتی و بازیافت شده بازپرسازی می‌شوند و در نهایت در طول بازه ($L_i^{bp} - L_i^r$) مقادیر سفارش داده شده بازپرسازی می‌شوند.

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = D_i^{gross}[t+S_i,t+L_i^{bp}] - RR_i[t+L_i^{rec},t+L_i^{bp}] - Q_i[t+L_i^r,t+L_i^{bp}] = -RR_i[t+L_i^{rec},t+S_i] + (D_i^{gross} - RR_i)[t+S_i,t+L_i^r] + (D_i^{gross} - RR_i - Q_i)[t+L_i^r,t+L_i^{bp}] \quad (۱۷)$$

در حالات (۸-۵) زمان بازپرسازی اقلام بازگشتی تولید مجدد شده کوچک‌تر از زمان بازپرسازی عادی می‌باشد. در سایر حالاتی که در ادامه به آن‌ها پرداخته‌شده است، تنها روابط ساده‌شده ارائه شده است.

۵) $S_i \le L_i^{bp} \le L_i^r \le L_i^{rec}$

این حالت به‌مانند حالت اول است با این تفاوت که زمان انتظار بازپرسازی محصولات ثانویه از زمان انتظار عادی کوچک‌تر است.

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = D_i^{gross}[t+S_i,t+L_i^{bp}] + (D_i^{gross} - R_i)[t+L_i^{bp}, t+L_i^r] + (D_i^{gross} - R_i - Q_i)[t+L_i^r, t+L_i^{rec}] \quad (۱۸)$$

۶) $S_i \le L_i^{bp} \le L_i^{rec} \le L_i^r$

در این حالت نیز ذخیره اطمینان برای کل بازه یا به عبارتی ($L_i^r - S_i$) مورد نیاز است. طی بازه ($L_i^r - L_i^{bp}$) محصولات ثانویه بازیابی و طی بازه ($L_i^r - L_i^{rec}$) اقلام بازگشتی بازیافت شده مقادیر سفارش داده شده و همچنین در طول بازه ($L_i^{bp} - L_i^{rec}$) اقلام بازگشتی و بازیافت شده بازپرسازی می‌شوند.

بازپرسازی می‌شوند.

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = D_i^{gross}[t+S_i, t+L_i^{bp}] + (D_i^{gross} - R_i)\ [t+L_i^{bp}, t+L_i^{rec}] + (D_i^{gross} - R_i - RR_i)\ [t+L_i^{rec}, t+L_i^r] \quad (۱۹)$$

$$S_i \le L_i^{rec} \le L_i^{bp} \le L_i^r \quad (۷)$$

مشابه حالت‌های قبل، مقدار تقاضای خالص به‌صورت زیر می‌باشد.

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = D_i^{gross}[t+S_i, t+L_i^{rec}] + (D_i^{gross} - RR_i)\ [t+L_i^{rec}, t+L_i^{bp}] + (D_i^{gross} - RR_i - R_i)\ [t+L_i^{bp}, t+L_i^r] \quad (۲۰)$$

$$L_i^{rec} \le S_i \le L_i^{bp} \le L_i^r \quad (۸)$$

در این حالت نیز همانند حالت ۴، ذخیره اطمینان در طول بازه زمان انتظار بازپرسازی عادی و بازپرسازی محصولات ثانویه استفاده می‌شود. تفاوت این دو حالت در این است که در این حالت زمان بازپرسازی محصولات ثانویه کوچک‌تر از زمان بازپرسازی عادی است.

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = -RR_i[t+L_i^{rec}, t+Si] + (D_i^{gross} - RRi)[t+Si, t+L_i^{bp}] + (D_i^{gross} - RRi - R_i)\ [t+L_i^{bp}, t+L_i^r] \quad (۲۱)$$

در حالات (۱۲-۹) زمان سرویس هر ایستگاه تنها از زمان انتظار بازپرسازی عادی کوچک‌تر است. (از زمان انتظار بازپرسازی اقلام بازگشتی تولید مجدد شده بزرگ‌تر است)

$$L_i^{bp} \le S_i \le L_i^r \le L_i^{rec} \quad (۹)$$

در این حالت ذخیره اطمینان مورد نیاز برای مدت زمان انتظار بازپرسازی عادی و زمان انتظار بازپرسازی محصولات بازگشتی بازیافت شده استفاده می‌شود.

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = -R_i[t+L_i^{bp}, t+Si] + (D_i^{gross} - Ri)\ [t+Si, t+L_i^r] + (D_i^{gross} - Ri - Q_i)\ [t+L_i^r, t+L_i^{rec}] \quad (۲۲)$$

$$L_i^{bp} \le S_i \le L_i^{rec} \le L_i^r \quad (۱۰)$$

این حالت به‌مانند حالت قبل است با این تفاوت که زمان انتظار بازپرسازی عادی از زمان انتظار بازپرسازی اقلام بازگشتی بازیافت شده بزرگ‌تر است. در این حالت مدت زمان انجام فرآیند ایستگاه مورد نظر پس از انجام فرآیند بازیافت، λ_i^{new} خواهد بود.

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = -R_i[t+L_i^{bp}, t+S_i] + (D_i^{gross} - R_i)\ [t+S_i, t+L_i^{rec}] + (D_i^{gross} - R_i - RR_i)\ [t+L_i^{rec}, t+L_i^r] \quad (۲۳)$$

$$L_i^{bp} \le L_i^{rec} \le S_i \le L_i^r \quad (۱۱)$$

در این حالت ذخیره اطمینان موردنیاز تنها برای مدت زمان انتظار بازپرسازی عادی استفاده می‌شود.

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = -R_i[t+L_i^{bp}, t+L_i^{rec}] + (-R_i - RR_i)\ [t+L_i^{rec}, t+S_i] + (D_i^{gross} - R_i - RR_i)\ [t+S_i, t+L_i^r] \quad (۲۴)$$

$$L_i^{rec} \le L_i^{bp} \le S_i \le L_i^r \quad (۱۲)$$

در این حالت نیز به‌مانند حالت قبل ذخیره اطمینان موردنیاز تنها برای مدت زمان انتظار بازپرسازی عادی استفاده می‌شود.

$$D_i^{net}[S_i, L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}] = -RR_i[t+L_i^{rec}, t+L_i^{bp}] + (-RR_i - R_i)\ [t+L_i^{bp}, t+S_i] + (D_i^{gross} - RR_i - R_i)\ [t+S_i, t+L_i^r] \quad (۲۵)$$

در این بخش به معرفی و ارائه روابط موجود بین عناصر مورد بررسی در طی بازه‌های مختلف پرداخته شد. در بخش بعدی با استفاده از روابط بسط داده شده فوق که هریک از آن‌ها در شرایط مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند، به بیان مدل ریاضی می‌پردازیم.

۳-۴- مدل ریاضی

در این بخش با درنظرگرفتن مدل پایه خدمات تضمین‌شده و برخی روابط دیگر در جریان تولید اقلام که در بخش‌های قبل مطرح شد، به ارائه یک مدل یکپارچه بهینه‌سازی ذخیره اطمینان با استفاده از رویکرد خدمات تضمین‌شده در زنجیره تأمین حلقه بسته می‌پردازیم.

$$Min\ C = \sum_{i \in A \cup P \cup E} h_i \sigma_i k_i \sqrt{SI_i + \lambda_i - S_i} \quad (۲۶)$$

$$SI_i + \lambda_i \ge S_i \qquad \forall\, i \in A \cup P \quad (۲۷)$$

$$SI_i - S_j \ge 0 \qquad \forall\, (j,i) \in W(i,j) \quad (۲۸)$$

$$S_i \le Z_i \qquad \forall\, i \in E \quad (۲۹)$$

$$D_i = \sum_{\forall (i,j)} a_{i,j} * \mu_5 \qquad \forall\, (i,j) \in W(i,j) \quad (۳۰)$$

$$R_i = \sum_{\forall (j,i) \in W1(j,i)} a_{j,i} * Q_j \qquad \forall\, i \in A \cup P \quad (۳۱)$$

$$RR_i = a_{j,i} * \mu_j \qquad \forall\, i \in A \cup P, j \in E \quad (۳۲)$$

$$Q_i = D_i - (R_i + RR_i) \qquad \forall\, i \in A \cup P \quad (۳۳)$$

$$\sigma_i = (Q_i / D_j) * \sigma_j \qquad \forall\, i \in A \cup P, j \in E \quad (۳۴)$$

$$Q_i \ge 0 \qquad \forall\, i \in A \cup P \quad (۳۵)$$

$$SI_i, S_i \ge 0 \ \ (Int.) \qquad \forall\, i \in A \cup P \quad (۳۶)$$

در تابع هدف این مسئله که به کمینه‌سازی هزینه نگهداری ذخیره اطمینان می‌پردازد، پس از احراز یکی از دوازده حالتی که در بخش قبل بیان شد، از جایگزینی $\sigma_i^{net}(L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}, S_i) = \sqrt{V(D_i^{net}(L_i^r, L_i^{bp}, L_i^{rec}, S_i))}$ به‌جای $\sigma_i \sqrt{SI_i + \lambda_i - S_i}$ استفاده می‌شود.

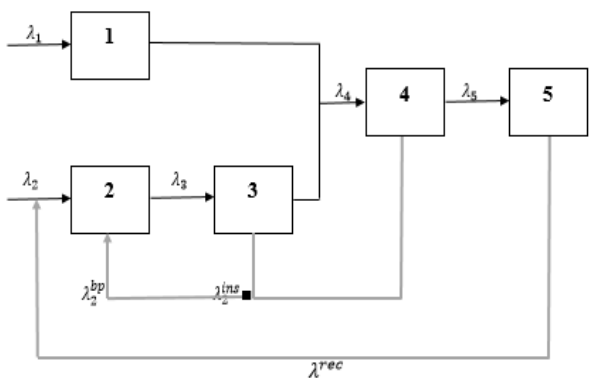
رابطه (۲۷) شرط وجود ذخیره اطمینان را نشان می‌دهد؛ یعنی زمانی وجود ذخیره اطمینان ضرورت پیدا می‌کند که زمان انتظار بازپرسازی بزرگ‌تر از زمان سرویس آن ایستگاه باشد. رابطه (۲۸) شرایط آغاز زمان فرآیند را نشان می‌دهد که در آن زمان آغاز فرآیند هر ایستگاه از زمان سرویس تمام ایستگاه‌هایی که به‌صورت مستقیم آن ایستگاه را تأمین می‌کنند بزرگ‌تر است. رابطه (۲۹) به زمان سرویس ایستگاه‌های پایانی اشاره می‌کند که به زمان سرویس متعهد شده به مشتریان محدود می‌باشد. رابطه (۳۰) میزان تقاضای ناخالص هر یک از ایستگاه‌های اولیه و میانی را نمایش می‌دهد. رابطه (۳۱) میزان بازگشت اقلام جهت تولید مجدد را تعیین می‌کند. همچنین در روابط (۳۲) و (۳۳) که در این مسئله به مدل‌های پیشین اضافه

گردیده است، میزان اقلام بازگشتی جهت بازیافت و استفاده مجدد و همچنین مقدار بازپرسازی هر ایستگاه پس از بازگشت اقلام نشان داده شده است. رابطه (۳۴) نیز میزان انحراف معیار تقاضای هر ایستگاه را نشان می‌دهد. در نهایت روابط (۳۵) و (۳۶) نیز شرط موجه بودن متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

۴- مثال عددی

برای درک بهتر مسئله کلیه حالات در قالب چند مثال، مشابه مثال ارائه شده توسط مینر [۷] تشریح و با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز (و در قالب سالور BARON) حل می‌گردد. در این مثال که ساختار آن در شکل یک نشان داده شده است، بخشی از اقلام ایستگاه‌های ۳ و ۴ جهت تولید مجدد و بخشی از اقلام ایستگاه ۵ جهت بازیافت و استفاده مجدد به ایستگاه شماره ۲ بازگردانده می‌شوند.

در این مثال‌ها (مثال ۱ تا ۴) ابتدا حالتی را در نظر می‌گیریم که در آن هیچ‌گونه بازگشت اقلامی وجود ندارد (سیستم قدیم) سپس حالتی را در نظر می‌گیریم که در آن تنها بازگشت اقلام تولید مجدد شده در نظر گرفته شده است (سیستم جدید ۱) و در نهایت حالتی در نظر گرفته می‌شود که در آن امکان بازگشت اقلام به‌منظور تولید مجدد و همچنین بازیافت وجود دارد (سیستم جدید ۲)؛ اما در مثال ۵ برخلاف مثال‌های قبل تنها حالتی که هر دو نوع بازگشت اقلام یعنی اقلام تولید مجدد شده و بازیافت شده در نظر گفته می‌شوند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس با توجه به ساختار زنجیره تأمین و یا همان زمان انجام فرآیندها که ممکن است متفاوت باشد، سه حالت مختلف که در هریک از آن‌ها از یکی از حالات دوازده‌گانه استفاده‌شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل (۱): مثالی از یک شبکه با سه جریان برگشت

در ادامه به ارائه جداول حاصل از حل مدل در هر یک از مثال‌ها و بررسی برخی نکات موجود در جداول پرداخته می‌شود. نتایج حاصل از مدل با استفاده از نرم‌افزار گمز ۲۴,۱,۲ و بر روی یک کامپیوتر شخصی چهار هسته‌ای ۲,۲ گیگاهرتز و ۶ گیگابایت رم به‌دست‌آمده است.

در مثال ۱ زمان انتظار بازپرسازی اقلام تولید مجدد شده در حالتی که تنها اقلام بازگشتی تولید مجدد شده در نظر گرفته می‌شوند باحالت قبل از آن یکسان می‌باشد ($L_i^r = L_i^{bp} = 4$) و در نظر گرفتن بازگشت اقلام در طول بازه مورد بررسی تنها منجر به نگهداری موجودی اضافی در ایستگاه شماره ۲ شده و به دنبال آن هزینه نگهداری موجودی افزایش پیدا می‌کند. در حالت درنظرگرفتن هم‌زمان اقلام بازگشتی تولید مجدد شده و اقلام بازیافت شده با توجه پارامترهای ورودی و حل مدل، بزرگ‌تر بودن زمان بازپرسازی اقلام بازیافتی از زمان بازپرسازی اقلام تولید مجدد شده و همچنین

جدول (۴): ورودی‌های مسئله

	سطح سرویس هر یک از ایستگاه‌ها (بر حسب درصد)					زمان انجام فرآیند و هزینه از هریک در ایستگاه‌ها					زمان انجام فرآیند بر روی اقلام بازگشتی			ضرایب استفاده اقلام در سایر ایستگاه‌ها								تقاضا	
	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	λ^{rec}	λ_2^{ins}	λ_2^{bp}	α_{52}^{bp}	α_{42}^{bp}	α_{32}^{bp}	α_{45}	α_{34}	α_{23}	α_{14}	σ_5	μ_5	
مثال ۱	۹۵	۹۵	۹۰	۹۰	۹۵	۲-۳	۴-۳	۱-۳.۵	۱-۸.۵	۲-۱۱/۵	۲	۲	۰	۰/۰۵	۰/۴	۰/۱	-	۱/۵	-	-	۴	۱۰	
مثال ۲	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۴-۱	۱-۱	۱-۲	۱-۴	۲-۴/۵	-	۲	-	۰/۰۵	۰/۵	۰/۱	-	۱/۵	-	-	۴	۱۰	
مثال ۳	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۲-۲	۷-۱	۱-۴	۱-۸	۲-۱۲	۲	-	-	۰/۰۵	۰/۵	۰/۶	-	۱/۵	-	-	۴	۱۰	
مثال ۴	۹۵	۹۵	۹۰	۹۰	۹۵	۲-۳	۶-۳	۱-۳.۵	۱-۸.۵	۲-۱۱/۵	۲	۰	۲	۰/۱	۰/۲	۰/۴	-	۱/۵	-	-	۴	۱۰	
مثال ۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۲-۲	۷-۱	۱-۴	۱-۸	۲-۱۲	۲ - ۲	۲ - ۲	۲ - ۲	۰/۰۵	۰/۵	۰/۱	-	۱/۵	-	-	۴	۱۰	

بزرگ‌تر بودن زمان بازپرسازی اقلام تولید مجدد شده از زمان بازپرسازی عادی، بیانگر این واقعیت است که در این مثال حالت ۱ به وقوع پیوسته است. در این حالت به علت بزرگ‌تر بودن زمان انتظار بازپرسازی اقلام بازیافت شده از زمان بازپرسازی عادی ($L_i^{rec} = 8$) ، هزینه‌ها افزایش می‌یابد.

در مثال ۲ نیز همانند مثال قبل، نتایج حکایت از استفاده از حالت ۱ می‌دهد. در این مثال سیستم بدون در نظر گرفتن اقلام بازگشتی دارای هزینه کمتری است. دلیل این امر ایجاد موجودی اضافی در ایستگاه شماره ۲ بدون ایجاد شرایطی برای کاهش موجودی اطمینان می‌باشد.

جدول (۵): نتایج حاصل از مثال ۱

	سیستم قدیم					سیستم جدید (۱)					سیستم جدید (۲)				
i	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
μ_i	۱۰	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۱۵	۱۰	۱۰
σ_i	۳	۴/۵	۴/۵	۳	۳	۳	۳/۳	۴/۵	۳	۳	۳	۲/۷	۴/۵	۳	۳
S_i	۲	۴	۵	۰	۰	۲	۴	۳	۴	۰	۲	۴	۲	۰	۰
SS_i	۰	۰	۰	۰	۱۳/۹۶	۰	۰	۸/۲۱	۰	۱۲/۰۹	۰	۱/۴	۱۰/۰۶	۶/۷۰	۶/۹۸
C	۱۶۰/۸۴					۱۶۷/۷۵					۱۷۶/۶۲				

جدول (۶): نتایج حاصل از مثال ۲

	سیستم قدیم					سیستم جدید (۱)					سیستم جدید (۲)				
i	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
μ_i	۱۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۸,۵	۱۵	۱۰	۱۰
σ_i	۳	۴/۵	۴/۵	۳	۳	۳	۳	۴/۵	۳	۳	۳	۲/۵۵	۴/۵	۳	۳
S_i	۲	۱	۲	۳	۰	۱	۰	۱	۲	۰	۱	۰	۱	۲	۰
SS_i	۰	۰	۰	۰	۱۲/۰۹	۶/۹۸	۸/۱۸	۰	۰	۹/۸۷	۶/۹۸	۱۰/۱۳	۰	۰	۹/۸۷
C	۵۴/۵۹					۵۹/۵۸					۶۱/۵۲				

جدول (۷): نتایج حاصل از مثال ۳

	سیستم قدیم					سیستم جدید (۱)					سیستم جدید (۲)				
i	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
μ_i	۱۰	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۰/۵	۱۵	۱۰	۱۰
σ_i	۳	۴/۵	۴/۵	۳	۳	۳	۳	۴/۵	۳	۳	۳	۰/۱۵	۴/۵	۳	۳
S_i	۱	۰	۱	۲	۰	۱	۰	۱	۲	۰	۱	۰	۱	۲	۰
SS_i	۰	۱۴/۸۱	۰	۰	۹/۸۷	۰	۱۳/۷۴	۰	۰	۹/۸۷	۰	۱۴/۸۱	۰	۰	۹/۸۷
C	۱۳۸/۰۲					۱۳۴/۶۲					۱۳۳/۲۸				

جدول (۸): نتایج حاصل از مثال ۴

	سیستم قدیم					سیستم جدید (۱)					سیستم جدید (۲)				
i	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
μ_i	۱۰	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۳	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۶	۱۵	۱۰	۱۰
σ_i	۳	۴/۵	۴/۵	۳	۳	۳	۳/۹	۴/۴۵	۳	۳	۳	۱/۸	۴/۵	۳	۳
S_i	۲	۶	۲	۰	۰	۲	۶	۲	۳	۰	۲	۶	۲	۳	۰
SS_i	۰	۰	۱۲/۹۸	۶/۷۰	۶/۹۸	۰	۰	۱۲/۹۸	۰	۱۱/۰۳		۰	۱۲/۹۸	۰	۱۲/۴۸
C	۱۸۲/۶۷					۱۷۲/۳۳					۱۸۸/۹۸				

جدول (۹): نتایج حاصل از مثال ۵

	حالت ۱(حالت ۵ از حالات ۱۲گانه)					حالت ۲(حالت ۶ از حالات ۱۲ گانه)					حالت ۳(حالت ۷ از حالات ۱۲ گانه)				
i	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
μ_i	۱۰	۸	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۳	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۶	۱۵	۱۰	۱۰
σ_i	۳	۲/۴	۴/۵	۳	۳	۳	۲/۴	۴/۵	۳	۳	۳	۱/۸	۴/۵	۳	۳
S_i	۱	۰	۱	۲	۰	۱	۰	۱	۲	۰	۱	۰	۱	۲	۰
SS_i	۰	۲۰/۱	۰	۰	۹/۸۷	۰	۱۹/۱۳	۰	۰	۹/۸۷	۰	۱۹/۹۴	۰	۰	۹/۸۷
C	۱۳۸/۵۳					۱۳۷/۵۷					۱۳۸/۳۸				

در مثال ۳ بزرگ‌تر بودن زمان بازپرسازی اقلام بازیافت شده از زمان بازپرسازی اقلام عادی و همچنین بزرگ‌تر بودن زمان بازپرسازی اقلام عادی از زمان بازپرسازی تولید مجدد شده، بیانگر این واقعیت است که در این مثال حالت ۵ به وقوع پیوسته است. ازآنجایی‌که اقلام بازگشتی تولید مجدد شده پس از ($L_i^{bp} = 3$) دوره در سیستم جدید(۱) و پس از ($L_i^{bp} = 4$) دوره در سیستم جدید(۲) قبل از زمان انتظار بازپرسازی عادی ($L_i^r = 7$) در دسترس می‌باشند، در هر دو حالت درنظرگرفتن اقلام بازگشتی تولید مجدد شده و حالت درنظرگرفتن هم‌زمان اقلام تولید مجدد شده و بازیافت شده مدت زمان نگهداری موجودی و به دنبال آن هزینه‌های نگهداری نیز کاهش می‌یابد.

در مثال ۴ که در آن از حالت ۹ استفاده‌شده است، در حالت درنظرگرفتن اقلام بازگشتی تولید مجدد شده ازآنجایی‌که زمان انتظار تولید مجدد کمتر از زمان سرویس و زمان انتظار بازپرسازی عادی است، در طول بازه زمانی ذخیره اطمینان کمتری موردنیاز است و به دنبال آن هزینه‌ها کاهش می‌یابد؛ اما در حالتی که اقلام بازگشتی بازیافت شده نیز در نظر گرفته می‌شوند ازآنجایی‌که زمان انتظار بازپرسازی اقلام بازیافت شده بسیار بیشتر از زمان بازپرسازی عادی است ($L_i^r = 6 << L_i^{rec} = 13$) طول بازه مورد بررسی برای درنظرگرفتن ذخیره اطمینان بزرگ‌تر و میزان ذخیره اطمینان موردنیاز نیز با شیب بیشتری افزایش پیدا کرده و منجر به افزایش هزینه‌ها می‌شود.

نتایج حاصل از مثال ۵ که با فرض متفاوت بودن زمان انجام فرآیند ایستگاه پس از بازیافت بازمان اولیه فرآیند ایستگاه و استفاده از سه حالت مختلف از حالات دوازده‌گانه ارائه شده در بخش‌های قبل می‌باشد، حاکی از برابری تقریبی هزینه‌ها در هر سه حالت است.

البته می‌توان با ارائه مثال‌های متعدد، حالت‌های دیگر را نیز مورد مطالعه قرار داد. بااین‌حال جهت رعایت اختصار، تنها تحلیل‌های حالات دیگر به شرح زیر مورد اشاره قرار می‌گیرد.

در حالات ۱ و ۲ ، ۶ الی ۸ و ۱۰ الی ۱۲، ازآنجایی‌که زمان بازپرسازی اقلام بازیافت شده و زمان بازپرسازی اقلام بازگشتی داخلی کوچک‌تر از زمان بازپرسازی اقلام عادی است، انتظار بر این است که میزان موجودی نگهداری شده نسبت به حالتی که بازگشت اقلام در نظر گرفته نمی‌شود کاهش یافته و به دنبال آن هزینه نگهداری نیز کاهش یابد.

از طرفی در حالات ۳ الی ۵ و ۹، ازآنجایی‌که در دو حالت (۵ و ۹) زمان بازپرسازی اقلام بازیافت شده و در دو حالت (۳ و ۴) زمان بازپرسازی اقلام بازگشتی داخلی از زمان بازپرسازی عادی اقلام بزرگ‌تر است، بسته به میزان اختلاف ایجاد شده و طول بازه مورد بررسی، هزینه‌های نگهداری ممکن است کاهش یا افزایش یابد.

۴-۱- مثال واقعی

در این بخش به ارائه یک مثال واقعی (مثال ۶) از شرکت گلدیران نماینده رسمی محصولات خانگی ال‌جی (سایدبای‌ساید، لباسشویی، یخچال، مایکروفر، جاروبرقی، کولرگازی، انواع تلویزیون‌های Plasma، LED، LCD و...) پرداخته می‌شود. ساختار زنجیره تأمین معرفی‌شده در قالب شکل (۲) ارائه‌شده است. در این زنجیره ایستگاه (پایانی) ۱۵ تقاضای مشتریان را دریافت می‌کند.

داده‌های این مسئله در جداول ذیل مشخص شده است. باید به این نکته اشاره نمود که در این مثال ضریب استفاده هر قلم در سایر ایستگاه‌ها برابر یک ($a_{i,j} = 1$) در نظر گرفته شده است. لذا به‌منظور سادگی در جدول ۱۱ تنها ضرایبی آورده شده است که در آن: $a_{i,j} \neq 1$

قابل ذکر است که نسخه کامل این مثال در منبع [۳۴] آمده است.

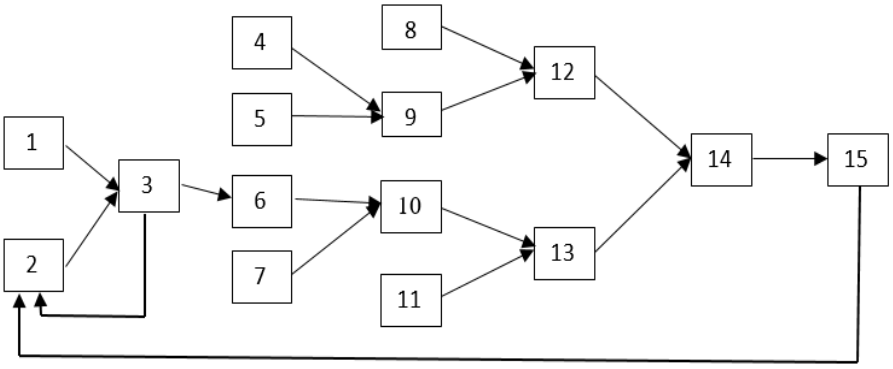
جدول (۱۰): ورودی‌های مثال ۶

μ_{15}	σ_{15}	λ_2^{bp}	λ_2^{ins}	λ^{rec}	α_{32}^{bp}	$\alpha_{15,2}^{bp}$	$\alpha_{9,12}^{bp}$
۱۰	۳	۳	۰	۲	۰,۴	۰,۱	۱,۵

در این مثال (مثال ۶)، با درنظرگرفتن مجموعه $(S_i, L_i^r, L_i^{rec}, L_i^{bp}) = (4, 4, 6, 14)$ مشخص می‌شود که از حالت ۲ استفاده شده است. در این مثال سیستم بدون در نظر گرفتن اقلام بازگشتی دارای هزینه کمتری است. دلیل این امر ایجاد موجودی اضافی در ایستگاه شماره ۲ بدون ایجاد شرایطی برای کاهش موجودی اطمینان می‌باشد. همچنین هزینه نگهداری موجودی با درنظرگرفتن امکان بازگشت اقلام جهت بازیافت علاوه بر امکان انجام فرآیند تولید مجدد که در این تحقیق توسعه داده

شده است، نسبت به حالتی که تنها بازگشت اقلام تولید مجدد شده را در نظر بگیریم کاهش می‌یابد. علت این امر کاهش ذخیره اطمینان مورد نیاز در ایستگاه‌های شماره ۲ و ۱۴ می‌باشد.

در این مثال (مثال ۶)، با درنظرگرفتن مجموعه $(S_i, L_i^r, L_i^{rec}, L_i^{bp}) = (4, 4, 6, 14)$ مشخص می‌شود که از حالت ۲ استفاده شده است. در این مثال سیستم بدون در نظر گرفتن اقلام بازگشتی دارای هزینه کمتری است. دلیل این امر ایجاد موجودی اضافی در ایستگاه شماره ۲ بدون ایجاد شرایطی برای کاهش موجودی اطمینان می‌باشد. همچنین هزینه نگهداری موجودی با درنظرگرفتن امکان بازگشت اقلام جهت بازیافت علاوه بر امکان انجام فرآیند تولید مجدد نسبت به حالتی که تنها بازگشت اقلام تولید مجدد شده را در نظر بگیریم کاهش می‌یابد. علت این امر کاهش ذخیره اطمینان مورد نیاز در ایستگاه‌های شماره ۲ و ۱۴ می‌باشد.



شکل (۲): زنجیره تأمین محصول الکترونیکی

جدول (۱۱): سایر ورودی‌های مثال ۶

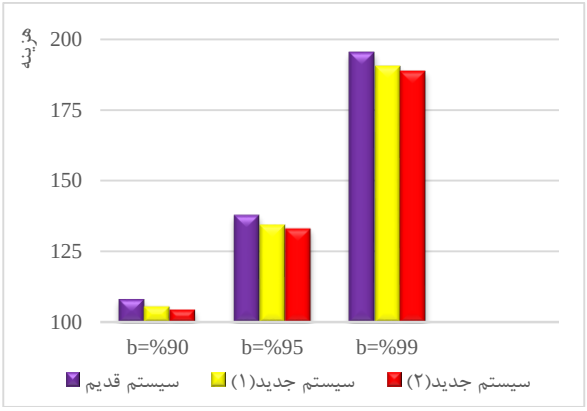
i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
λ_i	۲	۲	۷	۱	۲	۵	۲	۱	۵	۴	۳	۵	۴	۶	۲
h_i	۲۳	۲۲	۲۳/۵	۲۲/۵	۲۴	۲۴	۲۵	۲۳	۲۵	۲۶	۲۴	۲۵/۵	۲۷	۲۸/۵	۳۰
b_i	۹۹	۹۵	۹۵	۹۰	۹۰	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۹	۹۹	۹۰	۹۰	۹۵	۹۹

جدول (۱۲): نتایج حاصل از مثال ۶

	i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
μ_i	جدید(۲)	۱۰	۵	۱۰	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
	جدید(۱)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
	قدیم	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
σ_i	جدید(۲)	۳	۱/۵	۳	۴/۵	۴/۵	۳	۳	۳	۴/۵	۳	۳	۳	۳	۳	۳
	جدید(۱)	۳	۳	۳	۴/۵	۴/۵	۳	۳	۳	۴/۵	۳	۳	۳	۳	۳	۳
	قدیم	۳	۳	۳	۴/۵	۴/۵	۳	۳	۳	۴/۵	۳	۳	۳	۳	۳	۳
S_i	جدید(۲)	۲	۴	۱۱	۱	۲	۱۶	۲	۱	۸	۲۰	۳	۱۳	۲۴	۰	۰
	جدید(۱)	۲	۳	۱۰	۱	۲	۱۵	۲	۱	۷	۱۹	۳	۱۲	۲۷	۰	۰
	قدیم	۲	۲	۹	۱	۲	۱۴	۳	۱	۷	۱۸	۳	۱۲	۲۷	۰	۰
SS_i	جدید(۲)	۰	۷/۱۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۷/۰۳	۹/۸۹
	جدید(۱)	۰	۷/۷۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸/۳۵	۹/۸۹
	قدیم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸/۳۵	۹/۸۹
C		سیستم قدیم					سیستم جدید (۱)							سیستم جدید (۲)		
		۱۱۰۴/۵۲					۱۲۷۴/۱۱							۱۲۲۴/۲۵		

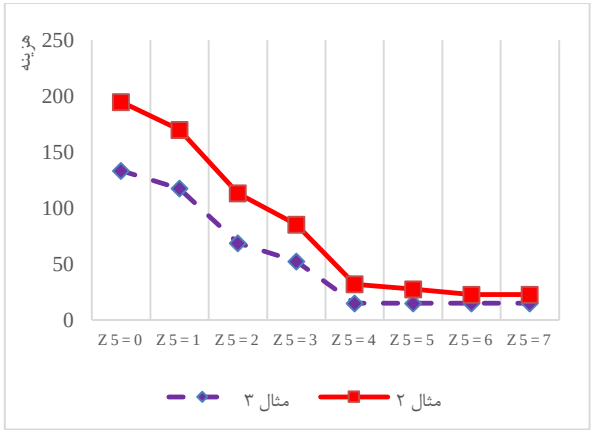
۴-۲- تحلیل حساسیت

در این بخش به‌منظور بررسی چگونگی اثرگذاری برخی پارامترهای سیستم بر روی هزینه‌های نگهداری، با درنظرگرفتن مثال‌های قبل به تحلیل حساسیت می‌پردازیم.



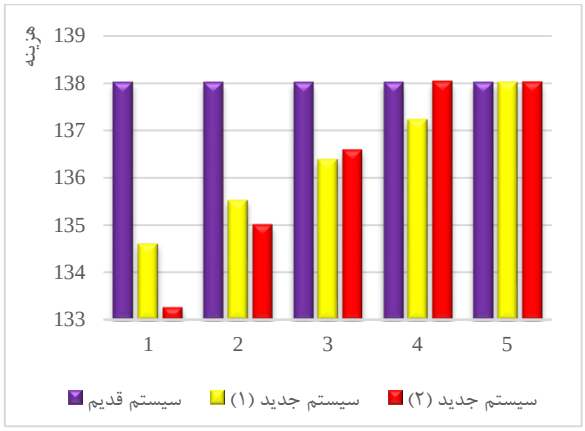
شکل (۳): اثر سطح سرویس بر روی هزینه نگهداری (مثال ۳)

در این نمودار که بر اساس داده‌های مثال ۳ می‌باشد، مشخص است که با افزایش سطح سرویس، هزینه نگهداری ذخیره اطمینان افزایش پیدا می‌کند. از طرفی با در نظر گرفتن ضریب سطح سرویس موجود در تابع هدف و همچنین مقادیر موجود در جدول توزیع نرمال، اختلاف تغییر تابع هدف در بازه دوم یعنی بازه سطح سرویس (۹۹-۹۵) درصد نسبت به بازه قبل افزایش پیدا کرده است.



شکل (۴): اثر زمان سرویس متعهد شده به مشتریان بر روی هزینه نگهداری (سیستم جدید (۲))

در این نمودار که با استفاده از داده‌های مثال‌های ۲ و ۳ و به‌منظور بررسی اثر زمان سرویس متعهد شده به مشتریان (Z_i) بر روی هزینه نگهداری ترسیم شده است، مشخص می‌شود که با افزایش زمان سرویس متعهد شده، ابتدا هزینه نگهداری کاهش‌یافته و سپس با درنظرگرفتن حداکثر زمان مورد نیاز برای انجام تمام فرآیندها به علت عدم تأثیرگذاری این زمان نمودار ثابت می‌شود. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است، در مثال ۲ پس از مقدار $Z_5=6$ و در مثال ۳ پس از مقدار $Z_5=4$ این اتفاق رخ می‌دهد.



شکل (۵): اثر زمان تولید مجدد بر روی هزینه نگهداری (مثال ۲)

در نمودار فوق که بر اساس داده‌های مثال ۲ می‌باشد، در ابتدا محاسبات بر اساس ($\lambda_2^{bp}=1$) در سیستم جدید (۱) صورت گرفته است و نتایج حاکی از هزینه نگهداری ۱۳۴,۶۲ با زمان‌های انتظار ($L_2^{bp}=3$ و $L_2^{r}=7$) می‌باشد. سپس λ_2^{bp} را تا مقدار ۵ که منجر به زمان انتظار تولید مجدد ($L_2^{bp}=7$) می‌شود افزایش داده و مشاهده می‌گردد که با توجه به اینکه زمان انتظار در هر دو حالت سیستم قدیم و سیستم جدید(۱) برابر شده است، هزینه نگهداری نیز در این دو حالت برابر گردیده است. همچنین در سیستم جدید(۲) که در آن بر اساس ($\lambda_2^{bp}=1$) و با در نظر گرفتن زمان انتظار ($L_2^{bp}=4$) هزینه نگهداری برابر با ۱۳۳,۲۸ شده است، با افزایش مقادیر λ_2^{ins} و λ_2^{bp} به‌دلخواه (در هر تکرار مجموع افزایش دو مقدار، مقدار کل L_2^{bp} را تعیین می‌کند) و به‌طوری‌که در این حالت $L_2^{bp}=7$ شود، مقدار هزینه نگهداری نیز به مقدار ۱۳۸,۰۳ خواهد رسید. مشاهده می‌شود که با برابر شدن مقدار L_2^{bp} در هر سه حالت مقدار تابع هدف یکسان شده است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در سال‌های اخیر، تلاش‌های بسیاری پیرامون ارائه خدمت در زمان‌های موردنظر مشتریان جهت کسب رضایت حداکثری صورت پذیرفته است. لذا مسئله جایگذاری ذخیره اطمینان که جهت مقابله با عدم قطعیت تقاضا و ارائه خدمت در زمان مقتضی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به یکی از مسائل مهم زنجیره تامین تبدیل شده است. همچنین با در نظر گرفتن میزان تقاضای مشتریان و اثر بازگشت اقلام جهت انجام فرآیندهای بازیابی و ورود مجدد به زنجیره، بر روی میزان بازپرسازی هر ایستگاه و زمان‌های بازپرسازی، مسئله یکپارچه جایگذاری ذخیره اطمینان و لجستیک معکوس از اهمیت دوچندانی برخوردار می‌باشد. ازاین‌رو در این مقاله در ابتدا به تشریح مسئله یکپارچه جایگذاری ذخیره اطمینان و لجستیک معکوس پرداخته شد. سپس به‌منظور ارائه رویکردی برای شبکه‌های زنجیره تأمین، سیستمی در نظر گفته شد که در آن با مشخص بودن تقاضای مشتریان، ضرایب استفاده اقلام در هر یک از ایستگاه‌ها و

همچنین میزان اقلام بازگشتی به هر یک از ایستگاه‌ها جهت تولید مجدد، بازیافت و یا انهدام، به تعیین تقاضای ایستگاه‌های میانی اقدام شد. همچنین با تعیین تقدم و تأخر زمان‌های انتظار بازپرسازی به بررسی کلیه حالات ممکن جهت تعیین میزان ذخیره اطمینان در طول بازه موردنظر پرداخته شد. بعلاوه، پس از معرفی روابط موجود بین زمان‌های انتظار، یک مدل ریاضی یکپارچه جایگذاری ذخیره اطمینان و لجستیک معکوس ارائه و با ذکر چند مثال به تحلیل نتایج حاصل از مدل اقدام شد. نتایج نشان داد بسته به ویژگی‌های زنجیره تأمین از قبیل زمان‌های انجام فرآیند، روابط بین ایستگاه‌ها، سطح سرویس ارائه‌شده و هزینه‌های نگهداری، درنظرگرفتن بازگشت اقلام به زنجیره تأمین جهت انجام فرآیندهای بازیابی، در برخی موارد منجر به وجود موجودی اضافی و در برخی موارد منجر به کاهش میزان موجودی اطمینان و به دنبال آن کاهش هزینه‌های نگهداری می‌شود. در واقع، درصورتی‌که زمان بازپرسازی اقلام بازگشتی داخلی و اقلام بازیافت شده بزرگ‌تر از زمان بازپرسازی عادی اقلام باشد، تقاضای خالص و به‌تبع آن ذخیره اطمینان در طول دوره مورد بررسی نسبت به حالت عدم درنظرگرفتن بازگشت اقلام افزایش می‌یابد؛ لذا هزینه‌های نگهداری نیز افزایش پیدا می‌کند؛ اما درصورتی‌که زمان بازپرسازی اقلام بازگشتی داخلی و اقلام بازیافت شده کوچک‌تر از زمان بازپرسازی عادی اقلام باشد، ذخیره اطمینان کمتری نسبت به حالتی که بازگشت اقلام درنظر گرفته نمی‌شود، احساس شده و درنتیجه هزینه‌های نگهداری کاهش می‌یابد. ازجمله زنجیره‌هایی که تاکنون این رویکرد در آن‌ها پیاده‌سازی شده است می‌توان به صنایع خودروسازی، الکترونیک، دیجیتال و... اشاره نمود.

پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی به درنظرگرفتن احتمالی تقاضای مشتریان و اقلام بازگشتی و یا زمان‌های انجام فرآیندهای تولید مجدد، بازیافت و زمان موردنیاز هر ایستگاه پس از بازیافت پرداخته شود. همچنین می‌توان امکان ارسال اقلام بازگشتی هر یک از ایستگاه‌ها به ایستگاه‌های مختلف و یکپارچه‌سازی زمان‌های بازپرسازی را مورد بررسی قرار داد. از طرفی با لحاظ نمودن ظرفیت تولید در هر یک از ایستگاه‌ها به بررسی استفاده از اقلام بازگشتی در سایر خطوط (برگشت داخلی رو به جلو) پرداخت. همچنین می‌توان با اعمال محدودیت بر روی حداقل کیفیت موردنیاز برای انجام فرآیند تولید مجدد، اقلامی که دارای این ویژگی نبوده را از رده خارج و جهت انهدام به ایستگاه‌های مربوطه ارسال نمود.

مراجع

[1] Eruguz, A.S., Jemai, Z., Sahin, E., Dallery, Y., (2016). "A Comprehensive Survey of Guaranteed-Service Models for Multi-Echelon Inventory Optimization", International Journal of Production Economics, 172: 110-125.

[2] Eruguz, A.S., Jemai, Z., Sahin, E., Dallery, Y., (2014). "Optimising reorder intervals and order-up-to levels in guaranteed service supply chains", International Journal of Production Research, 52(1): 149-164.

[3] Klosterhalfen, S., Minner, S., (2010). "Safety stock optimisation in distribution systems: A comparison of two competing approaches", International Journal of Logistics Research and Applications, 13(2): 99-120.

[4] Simpson, O.F., (1958). "In-process inventories", Operations Research, 6: 863-873.

[5] Clark, A.J., Scarf, H., (1960). "Optimal policies for a multi-echelon inventory problem", Operations Research, 6(4): 475-490.

[6] Graves, S.C., Willems, S.P., (2003). "Supply chain design: Safety stock placement and supply chain configuration", In Handbooks in OR and MS. Amsterdam, North-Holland: Elsevier, 11: 95-132.

[7] Minner, S., (2001). "Strategic safety stocks in reverse logistics supply chains", International Journal of Production Economics, 71(1-3): 417-428.

[8] Sitompul, C., Aghezzaf, E.H., Dullaert, W., Van Landeghem, H., (2008). "Safety stock placement problem in capacitated supply chains", International Journal of Production Research, 46(17): 4709-4727.

[9] Eruguz, A.S., Jemai, Z., Sahin, E., Dallery, Y., (2016). "A Comprehensive Survey of Guaranteed-Service Models for Multi-Echelon Inventory Optimization", International Journal of Production Economics, 172: 110-125.

[10] Graves, S.C., Schoenmeyr, T., (2016). "Strategic safety-stock placement in supply chains with capacity constraints", Manufacturing & Service Operations Management, 18(3): 445-460.

[۱۱] طالعی‌زاده، عطاالله، صالحی، علی، (۱۳۹۴). «مدل کنترل موجودی با طول دوره بازپرسازی تصادفی و پرداخت معوقه برای کالاهای فسادپذیر»، دو فصلنامه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۳(۵): ۱۳-۲۵.

[12] Schrady, D.A., (1967). "A deterministic inventory model for reparable items", Naval Research Logistics Quarterly, 14: 391-398.

[13] Nahmias, S., Rivera, H., (1979). "A deterministic model for a repairable inventory system with a finite repair rate", International Journal of Production Research, 17(3): 215-22l.

[14] Mabini, M.C., Pintelon, L.M., Gelders, L.F., (1992). "EOQ type formulations for controlling repairable inventories", International Journal of Production Economics, 28(1): 21-33.

[15] Richter, K., (1996a). "The EOQ repair and waste disposal model with variable setup numbers", European Journal of Operational Research, 96: 313-324.

[16] Richter, K., (1996b). "The extended EOQ repair and waste disposal model", International Journal of Production Economics, 45: 443-448.

[17] Richter, K., (1997). "Pure and mixed strategies for the EOQ repair and waste disposal problem", OR Spectrum, 19(2): 123-129.
[18] Richter, K., Dobos, l., (1999). "Analysis of the EOQ repair and waste disposal problem with integer setup numbers", International Journal of Production Economics, 59: 463-467.
[19] Dobos, I., Richter, K., (2003). "A production/recycling model with stationary demand and return rates", Central European Journal of Operations Research, 11(1): 35-46.
[20] Dobos, I., Richter, K., (2004). "An extended production/recycling model with stationary demand and return rates", International Journal of Production Economics, 90(3): 311-323.
[21] Graves, S.C., (1988). "Safety Stocks in Manufacturing Systems", Journal of Manufacturing and Operations Management, 1: 67-101.
[22] Inderfurth, K., (1991). "Safety stock optimization in multi-stage inventory systems", International Journal of Production Economics, 24(1-2): 103-113.
[23] Minner, S., (1997). "Dynamic programming algorithms for multi-stage safety stock optimization", OR Spectrum, 19(4): 261-271.
[24] Teunter, R.H., (2001). "Economic order quantities for recoverable item inventory system", Nav. Res. Logist. 48(6): 484-495.
[25] Teunter, R.H., (2002). "Economic order quantities for stochastic discounted cost inventory system with remanufacturing", Int. J. Logist. 5(2): 161-175.
[26] El Saadany, A.M.A., Jaber, M.Y., (2008). "The EOQ repair and waste disposal model with switching costs", Computers & Industrial Engineering, 55(1): 219-233.
[27] El Saadany, A.M.A., Jaber, M.Y, Bonney, M., (2013). "How many times to remanufacture?", Int. J. Prod. Econ. 143(2): 598-604.
[۲۸] توکلی مقدم، رضا، امیدی رکاوندی، مجتبی، قدرت نما، علی، (۱۳۹۲). «مدل سازی ریاضی برای طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس»، فصلنامه مدرس علوم انسانی (پژوهش های مدیریت در ایران) ، ۱۷(۴): ۴۳-۶۳.
[۲۹] رشیدی کمیجان، علیرضا، لطفی، محمدرضا، تقوی، سید مجتبی، (۱۳۹۴). «ارائه مدل یکپارچه زنجیره تامین پیشرو - معکوس با توجه به مکانیابی تسهیلات و تعیین سیاستهای حمل و نقل بطور هم‌زمان»، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید ، ۲۶(۲): ۱۵۸-۱۶۹.
[۳۰] کرباسیان، سعید، رضوی، سید مصطفی، صفری، حسین، (۱۳۹۵). «مکان یابی و تعیین ظرفیت عناصر زنجیره تامین حلقه بسته»، پژوهشنامه بازرگانی، ۲۰(۷۸): ۱-۲۷.
[۳۱] بشیری، مهدی، شیری، مهدیه، (۱۳۹۴). «طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن مراکز جمع آوری چند بخشی در شرایط عدم قطعیت و حل آن با دو الگوریتم ابتکاری و فرا ابتکاری»، دو فصلنامه پژوهشهای مهندسی صنایع در سیستمهای تولید، ۳(۵): ۲۷-۴۱.
[۳۲] فرخ، مجتبی، آذر، عادل، جندقی، غلامرضا، (۱۳۹۵). «طراحی مدل زنجیره تامین حلقه بسته با رویکرد برنامه ریزی فازی استوار جدید»، نشریه پژوهش های نوین در تصمیم گیری، ۱(۳): ۱۳۱-۱۶۰.
[33] Kimball, G.E., (1988). "General principles of inventory control", Journal of Manufacturing and Operations Management, 1: 119-130.
[۳۴] فرحی‌نژاد، کاظم، (۱۳۹۵). ارائه یک مدل یکپارچه برای بهینه سازی ذخیره اطمینان با استفاده از رویکرد خدمات تضمین شده در زنجیره تأمین حلقه بسته، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2017, Volume 5, No. 11, pp. 211-227
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2017.11326.1511

Optimization the Safety Stock in Closed-Loop Supply Chains with Guaranteed Service Model

K. Farahinejad[1], M.R. Gholamian[1,*]

[1] Department of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 10 August 2016
Accepted 28 November 2017

***Keywords*:**

Safety Stock
Closed-Loop Supply Chain
Reverse Logistics
Guaranteed Service Model

ABSTRACT

One of the major topics in supply chain management is inventory control or management on all the items in general supply chain in the face of customer demand uncertainty. One of the issues that will be addressed in the face of demand uncertainty is the safety stock placement in supply chain. Therefore, in this paper, we consider the supply chain with the possibility of returning corrupted products in the chain to other stations for remanufacturing. In addition, at final station after passing through all the stations, if the product could not pass necessary conditions of usage, it is recycled and then reused in former stations. According to the above explanation, the replenishment times for regular, remanufactured and recycled items were determined and the permutations of these times were examined to provide logical relations in obtaining the required safety stock. Finally, based on achieved relations and in the frame of guaranteed service model, an integrated model of safety stock optimization in closed-loop supply chain was developed. Also, by conducting several examples, the results of the presented model under different situations are analyzed. The results showed that depending on the structure of the supply chain, taking into account the new approach could be to decrease and in some cases increase the holding costs.

* Corresponding author. Mohammad Reza Gholamian
Tel.: 021-73225067; *E-mail address: Gholamian@iust.ac.ir*