

تحلیل و بهینه سازی زنجیره تأمین دولایه با برگشت غیر قطعی کالا

عبدالله آقایی*^۱ و فرشید زندی^۲

^۱ استاد دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

^۲ کارشناس ارشد دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

(تاریخ دریافت ۹۰/۱۲/۶، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۹۱/۶/۱۸، تاریخ تصویب ۹۱/۷/۹)

چکیده

تراکم بالای کالاهای بازگشتی در ایستگاه بازتولید، یکی از علل ایجاد تأخیر در بازتولید محصولات بازگشتی است. زمان برای کالاهایی با تکنولوژی بالا مانند قطعات کامپیوتری و الکترونیکی که چرخه عمر کوتاهی دارند و با گذشت زمان ارزش خود را در بازار از دست می‌دهند، اهمیت بسیاری دارد. کالاهای بازگشتی قبل از مرحله بازتولید توسط ایستگاه تست و بازرسی، بر اساس موقعیت فیزیکی و زمان مورد نیاز بازتولید به دو کلاس تقسیم‌بندی می‌شوند: کالاهای پذیرفته شده و کالاهای رد شده. در این تحقیق یک زنجیره تأمین دو لایه با امکان بازگشت کالا مورد بررسی قرار گرفته شده است. این زنجیره تأمین شامل دو مرحله بازتولید محصولات بازگشتی و سیستم انبارش محصولات بازتولیدی است. این زنجیره تأمین به وسیله یک سیستم صف $M/G/1$ مدل شده و با استفاده از روش ماتریس هندسی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. هدف نهایی این تحقیق، بررسی و کمینه‌سازی هزینه سیستم موجودی و بیشینه‌سازی سود حاصل از فرآیند بازتولید به وسیله تعیین بهینه پارامتر حداکثر ظرفیت انبار (S) و مقدار تصمیم پذیرش (k) است.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های صف، سیستم‌های تولید/بازتولید، سیستم‌های موجودی، روش ماتریس هندسی،

تصمیم پذیرش، زنجیره‌های تأمین حلقه بسته

مقدمه

بازگشتی از بازار می‌تواند بر حسب کیفیت به چند دسته بازتولیدی، اسقاطی و قابل تجزیه تقسیم شوند. در این تحقیق، یک زنجیره تأمین دولایه با امکان بازگشت کالا بررسی شده است، که این زنجیره تأمین شامل دو مرحله بازتولید محصولات بازگشتی و سیستم انبارش محصولات بازتولیدی است. این زنجیره تأمین به وسیله یک سیستم صف $M/G/1$ مدل شده و با استفاده از روش ماتریس هندسی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این مقاله به بررسی، تحلیل و کمینه‌سازی هزینه سیستم موجودی و بیشینه‌سازی سود حاصل از فرآیند بازتولید به وسیله تعیین مقدار بهینه پارامتر حداکثر ظرفیت انبار و مقدار تصمیم پذیرش، پرداخته شده است.

۲. مرور ادبیات

تحقیقات زیادی درباره ارائه یک راه حل ابتکاری برای تصمیم‌رد و یا پذیرش محصولات بازگشتی در زنجیره‌های تأمین با حلقه بسته انجام گرفته است. همچنین انواع مدل‌های کمی در این زمینه ارائه شده است. (گواید و ون

یک ایستگاه با ظرفیت محدود که محصولات بازگشتی از بازار برای بازتولید به این ایستگاه فرستاده می‌شود را در نظر بگیرید. تراکم بالا در ایستگاه بازتولید، دلیلی برای تأخیر قابل ملاحظه در بازتولید می‌شود و همین تأخیر، عامل نزول ارزش بازار محصولاتی می‌شود که نسبت به زمان حساس هستند. بنابراین بهتر است که از بازتولید محصولات بازگشتی منصرف شده و این محصولات به قیمت اسقاطی فروخته شوند. کاهش ارزش بازار و خارج شدن از رده بازار در مورد محصولات با تکنولوژی بالا و چرخه عمر کوتاه اتفاق می‌افتد. برای مثال گواید و همکاران [۱] کاهش قیمت چاپگر (پرینتر) نسبت به زمان را ۱٪ در هفته معرفی کردند. پاترسن [۲] کاهش قیمت نسبت به زمان برای حافظه‌های فلش و درایورهای دی وی دی را به ترتیب ۱۵٪ و ۸٪ در ماه آورده‌اند.

یک راه حل ابتکاری برای ایستگاه بازتولیدی با تراکم بالا، این است که برخی از محصولات بازگشتی به ارزش اسقاطی فروخته شوند. تصمیم‌گیری در مورد رد و یا پذیرش محصولات بازگشتی، بر حسب کیفیت و زمان مورد نیاز بازتولید در نظر گرفته می‌شود. محصولات

واسن هاف [۳] و دکر و همکاران [۴]، شی و همکاران [۵] و فلاپر و همکاران [۶].

سوزا و کتزربرگ [۷] با استفاده از شبکه صف $GI/G/1$ یک سیستم بازتولید را در مدل وارد کردند که می‌تواند تقاضای مشتریان را از طریق کالاهای جدید (عملیات تولید با مواد اولیه ی جدید)، کالاهای جدید شده (عملیات باز تولید با استفاده از کالاهای برگشتی) و یا ترکیبی از این دو، تأمین کند و بهترین ترکیب محصول در بلندمدت، برای حداکثر کردن سود، با مد نظر قرار دادن سطح سرویس‌دهی مناسب به مشتریان را تعیین کرده‌اند. کتزربرگ و سوزا [۸] همچنین مسئله خط مونتاژ-جداسازی برای یک تسهیل بازتولید با استفاده از مدل صف $GI/G/1$ را مدل کردند. بایندیر و همکاران [۹] یک مدل برای ارزیابی هزینه‌های موجودی در یک محیط بازتولیدی ارائه کرده‌اند. برای بررسی شرایط پارامترهای سیستم‌های مختلف که هزینه بازتولید را مطلوب می‌کند، نرخ بازگشت به عنوان متغیر تصمیم‌گیری لحاظ شده است و همچنین عملیات تأمین‌کننده بخش‌های جدید و چرخه عمر مفید محصول به عنوان یک شبکه صف مدل‌سازی می‌شود. یک مدل هزینه با فرضیات محیطی ایجاد می‌شود. گواید و همکاران [۱۰] عملکرد قواعد اولویتی ایستا برای تسهیلات به اشتراک گذاشته شده در یک کارگاه بازتولید با تجزیه و مونتاژ دوباره را مورد بررسی قرار داده‌اند که هر دو تسهیلات بازتولیدی، ظرفیت محدود دارند و به صورت یک سیستم صف $M/G/1$ مدل می‌شود. در این مقاله، مزیت‌هایی که انجام عملیات اصلاحی می‌تواند در هزینه‌های موجودی داشته باشد، بررسی شده است. آکسوی و گوپتا [۱۱] مدلی برای ارائه یک برنامه تخصیص بافر بهینه، به طور ویژه برای یک سلول بازتولید با بافرهای محدود و سرورهای غیر قابل اعتماد ارائه کردند. ورسایان و رایان [۱۲] از یک شبکه باز صف با توزیع خدمت‌دهی نمایی برای تصمیم‌گیری در ارتباط با کالاهای برگشتی، استفاده کردند. این مقاله حالتی را بررسی می‌کند که برای یک نوع کالا، هم کالای نو و هم کالای نوشته در بازار موجود است. آن‌ها در مقاله بعدی خود این مدل را توسعه داده و تعیین قیمت و حجم بهینه کالا را در حالتی که زمان خدمت‌دهی به صورت غیرنمایی است و محدودیتی نیز برای تعداد دفعاتی که یک کالا، عملیات نوسازی روی آن انجام می‌شود، وجود دارد، توسعه

دادند. جی و همکاران [۱۳] نیز یک سیستم بازتولیدی را مدل کرده‌اند که کالاهای بازتولید شده دارای کلاس‌های مختلفی از تقاضاهای مشتریان هستند. در این تحقیق فرآیند بازگشت کالاهای برگشتی دارای فرآیند پواسون مرکب فرض شده است. چینگ و همکاران [۱۴] یک سیستم هیبرید تولید-بازتولید را بررسی کرده‌اند. دو نوع موجودی برای مدیریت و کنترل در سیستم وجود دارد: کالای بازگشتی و کالای قابل سرویس که محصولات قابل سرویس با سیاست کنترل موجودی (S, K) مدیریت می‌شوند. فرض شده است که تقاضا و کالاهای بازگشتی از توزیع پواسون پیروی می‌کنند. کارآموزیان و همکاران [۱۵] با استفاده از شبکه صف، یک تسهیل ساخت دوباره که ایستگاه‌های کاری مختلف داشته را مدل و تحلیل کرده‌اند.

گواید و همکاران [۱۶] یک مدل تحلیلی برای تصمیم‌گیری بهینه برای بازگشت‌های محصول ارائه داده و یک سیاست دو مرحله‌ای پیشنهاد دادند. در اولین مرحله، زمان پردازش تصادفی محصول بازگشتی مورد توجه قرار می‌گیرد، در دومین مرحله، در ارتباط با آرایش بهینه تصمیم‌گیری می‌شود. اگر زمان پردازش بزرگ‌تر از حد آستانه k^* ارائه شود، مطالعه عددی نشان‌دهنده برتری سیاست پیشنهادی نسبت به شرایط فعلی صنایع با چشم‌پوشی از ارزش زمانی پول است. ما در این تحقیق، مدل ارائه‌شده توسط گواید و همکاران [۱۶] را به یک زنجیره تأمین دولایه تصمیم دادیم و مقدار حداکثر سقف موجودی را مورد بررسی قرار دادیم.

هریسن [۱۷] این موضوع را با این فرض بررسی کرد که محصولات بازگشتی به کلاس‌های مختلف بر اساس زمان بازتولیدی تقسیم می‌شوند و درآمد ثابت و مقدار ارزش اسقاطی محصولات رده‌شده در مرحله بازرسی، صفر در نظر گرفته شده است، ولی سیستم موجودی را در نظر نگرفته و یک حالت معمولی را مورد بررسی قرار داده است.

با توجه به اهمیت موجودی در یک زنجیره تأمین، این سیستم یکی از اجزای جدایی‌ناپذیر زنجیره تأمین است. یک زنجیره تأمین با سیستم هیبرید تولید-بازتولید، می‌تواند طرح و چیدمان مختلفی از نظر دو زیر زنجیره تولید و بازتولید (و لایه های آنها) داشته باشد. با توجه به

بررسی سیستم بازتولید بدون در نظر گرفتن موجودی پرداخته‌اند. ما در این تحقیق، مقدار سقف انبار موجودی و مقدار پذیرش کالاهای بازگشتی را طوری تعیین می‌کنیم که این دو مقدار تصمیم به صورت یک فرآیند تصادفی دو بعدی مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند و مقدار بهینه آن‌ها طوری تعیین می‌شود که درآمد حاصل از سیستم بازتولید حداکثر شود.

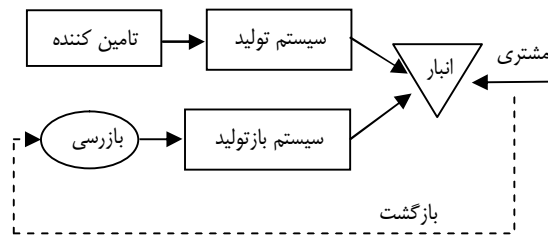
۳. تعریف مسئله

در زنجیره تأمین مورد بررسی این مقاله، امکان برگشت کالاهای تولیدی وجود دارد، بنابراین این جریان بازگشتی در تسهیل بازتولید ایجاد تراکم می‌کند و این تراکم یکی از علل ایجاد تأخیر در بازتولید محصولات بازگشتی است. بنابراین برای جلوگیری از تأخیر حاصل از تراکم در سیستم بازتولید، کالاهای بازگشتی قبل از مرحله بازتولید توسط ایستگاه تست و بازرسی، بر اساس موقعیت فیزیکی و زمان مورد نیاز بازتولید به دو کلاس تقسیم‌بندی می‌شوند. یک مقدار تصمیم (k) به عنوان معیار کلاس‌بندی و یا همان معیار تصمیم پذیرش تعریف می‌شود. از طرفی کالاهایی که بازتولید آن‌ها تکمیل می‌شود، در یک انبار ذخیره می‌شوند. تقاضا با فرآیند ورود پواسون از این انبار با نظم اولین ورود- اولین خروج پاسخ‌گویی می‌شود. این انبار ظرفیت محدود با سقف S دارد. هزینه سفارش برای سفارشات کالا، صفر در نظر گرفته می‌شود. سفارشات که هنگام خالی بودن انبار می‌رسد، به صورت عقب‌افتاده پاسخگویی می‌شود. هزینه فروش از دست رفته کمبود (b) و هزینه نگهداری واحد کالا (h) در انبار به صورت استاندارد خطی در واحد زمان در نظر گرفته می‌شود.

هدف ما در این تحقیق، تعیین سقف حداکثر موجودی انبار (S) و تعیین مقدار زمان فرآیند برای کالاهای بازگشتی به عنوان یک مقدار تصمیم (k) است، به طوری که درآمد کل سیستم و یا به صورت جزئی‌تر، هزینه و سود هر یک از بخش‌های اصلی این سیستم، یعنی سیستم بازتولید و سیستم کنترل موجودی بهینه‌سازی شوند. در اینجا ما هر یک از این سیستم‌های بازتولید و کنترل موجودی را به کمک سیستم‌های صف مورد تحلیل قرار می‌دهیم و تابع سود و هزینه آن‌ها را به ترتیب شکل داده

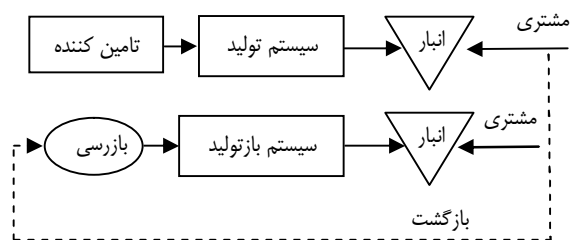
مرور ادبیات انجام‌شده در این حیطة، در این تحقیق چند طرح ممکن برای این منظور ارائه می‌دهیم.

۱. تولید و بازتولید دارای انبار و بهره‌بران مشترک است که شکل (۱) شمای کلی این مدل را نشان می‌دهد. در این مدل محصولات بازتولیدی هیچ تفاوتی با محصولات نو ندارند و می‌توانند با همان شرایط (قیمت و کیفیت) به تقاضا پاسخگو باشند.



شکل ۱: مدل تولید- بازتولید با انبار مرکزی

۲. تولید و بازتولید دارای انبار جداگانه هستند که شکل (۲) شمای کلی از مدل را نشان می‌دهد. در این مدل زنجیره تأمین بازتولید می‌تواند به صورت مستقل از زنجیره تأمین تولید به کار خود ادامه بدهد و بهره‌بران جداگانه داشته باشد و حتی در مکانی متفاوت به کار خود ادامه دهد. کالاهای بازتولید می‌تواند با قیمت‌های متفاوت از کالای نو به بازار عرضه شود.

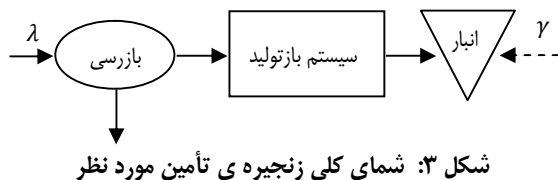


شکل ۲: مدل تولید- بازتولید با انبارهای جدا

ما در این تحقیق روی مدل دوم تمرکز کرده و این مدل را با استفاده از سیستم‌های صف، تحلیل و بهینه‌سازی می‌کنیم. از بین تحقیقات گذشته که در بالا ارائه شد، از تابع درآمد ارائه‌شده توسط گواید و همکاران [۱۶] بهره می‌بریم.

در تحقیقات انجام‌شده، سیستم موجودی و انبارش کالاهای بازگشتی مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین تأخیر حاصل از انسدادی که از تکمیل شدن سیستم موجودی در زنجیره تأمین حاصل می‌شود، در فرمول‌بندی مسائل گنجانده نشده است. گواید و همکاران [۱۶] به

به صورت فروش از دست رفته در نظر گرفته می‌شوند، یعنی تقاضاهایی که هنگام خالی بودن انبار وارد سیستم می‌شوند، به انبار کالای جدید فرستاده می‌شوند. کالاهای بازگشتی از بازار نیز طبق یک الگوی تصادفی با فرآیند پواسون با نرخ λ به سیستم بازتولید مراجعه می‌کنند. ما با استفاده از مدل‌های صف، زنجیره تأمین را با مدل صف $M/G/1$ با ظرفیت محدود سرویس مدلسازی می‌کنیم. این مدل را با استفاده از روش ماتریس هندسی، مدل و تحلیل می‌کنیم و از نتایج به دست آمده برای تحلیل و بهینه‌سازی مشخصه‌هایی از هر دو لایه این زنجیره تأمین استفاده خواهیم کرد. شمای کلی این زنجیره تأمین در شکل (۳) نشان داده شده است:



شکل ۳: شمای کلی زنجیره ی تأمین مورد نظر

۲.۳. مفروضات تحقیق

با وجود اینکه مدلسازی و شبیه این نوع سیستم‌های مورد بحث مزایای فراوانی دارد، اما طراحی این سیستم‌ها برای مسائل واقعی بسیار دشوار است، بنابراین اغلب روش‌های طراحی موجودی-تولید، فرضیاتی را برای ساده سازی اینگونه مسایل در نظر می‌گیرند. در این تحقیق یک مدل ریاضی به همراه رویه حل آن، برای طراحی سیستم بازتولید به همراه موجودی با هدف از بین بردن این نقاط ضعف و در نظرگرفتن ملزومات بازتولیدی به صورت احتمالی و پویا ارائه می‌کند. کنترل موجودی انبار و جریان تقاضای کالاهای بازگشتی از تقاضای کالاهای جدید مستقل است. تقاضا از توزیع پواسون پیروی می‌کند و زمان ورود تقاضاهای مستقل از هم به انبار برای کالاهای بازگشتی بازتولید شده، نمایی با نرخ γ است. در بخش بازتولید، سیستم به صورت فشاری عمل می‌کند، یعنی مقدار محصول برگشتی با نرخ معلوم وارد سلول بازتولید شده و از ایستگاه عبور داده می‌شود. نظم صف به صورت اولین ورودی-اولین سرویس‌شونده (FCFS) خواهد بود. زمان‌های ورود مشتری به سیستم برای محصول برگشتی و تقاضا از کل سیستم متغیر تصادفی هستند. در بخش‌های بعدی هر یک از دو سیستم بازتولید و موجودی شرح داده خواهد شد.

و بهینه‌سازی آنها را به صورت یک مسئله بهینه‌سازی انجام می‌دهیم.

۱.۳. شرح و توصیف مدل

در این بخش به توصیف مدل پیشنهادی مقاله می‌پردازیم. برای تحلیل و بررسی مسائل بهینه‌سازی درآمد و تأمین تقاضای مشتری در یک زنجیره تأمین دولایه شامل سیستم بازتولید و سیستم موجودی مدلسازی، مدلی پیشنهاد شده است. مدل طراحی شده با به کارگیری مبانی تئوری احتمالات، نظریه صف و زنجیره‌های مارکوف، می‌تواند حداکثر سقف انبار سیستم، مدت زمان انتظار مشتری در سیستم و هزینه‌های تأمین را محاسبه کرده و آنها را مورد تحلیل و بررسی قرار دهد. در این مدل، محصولات برگشتی از سوی مشتری در بخش بازتولید به عنوان ورودی سیستم تلقی شده و در نهایت محصول نهایی تولیدشده در اختیار انبار قابل خدمت‌دهی قرار می‌گیرد تا بدین وسیله تقاضای مشتری تأمین شود. این مدل، مدل دومی است که در بخش مرور ادبیات در شکل (۲) به معرفی آن پرداختیم. هدف نهایی این سیستم دو بخشی، کمینه‌سازی هزینه سیستم موجودی و بیشینه‌سازی سود حاصل از فرآیند بازتولید از طریق تعیین مقدار بهینه پارامترهای حداکثر ظرفیت انبار (S) و مقدار تصمیم (k) است.

تراکم بالای کالاهای بازگشتی در تسهیل بازتولید، یکی از علل ایجاد تأخیر در بازتولید محصولات بازگشتی است. زمان برای کالاهایی با تکنولوژی بالا مانند قطعات کامپیوتری و الکترونیکی که با گذشت زمان ارزش خود را در بازار از دست می‌دهند و چرخه عمر کوتاهی دارند، اهمیت بسیاری دارد. در مرحله بازتولید، کیفیت محصولات بازگشتی ماهیت تصادفی دارد. ما در اینجا، برای تصمیم‌پذیرش، یک مدل تحلیلی ارائه می‌کنیم که محصولات بازگشتی بر حسب کیفیت به دو دسته تقسیم می‌شود: محصولاتی که بازتولید می‌شوند و محصولاتی که به ارزش بازیافتی فروخته می‌شوند. سیستم کنترل موجودی انبار و جریان تقاضای کالاهای بازگشتی از تقاضای کالاهای جدید مستقل است و جریان تقاضای ورودی به سیستم، ماهیت تصادفی دارد. زمان ورود تقاضاهای مستقل از هم به انبار برای کالاهای بازگشتی بازتولید شده، نمایی با نرخ γ است. تقاضاهای وارده به انبار

۴. سیستم‌های تولید و موجودی

۴.۱. سیستم باز تولید

همان طور که اشاره کردیم، تراکم بالای کالاهای بازگشتی در تسهیل بازتولید، یکی از علل ایجاد تأخیر در بازتولید محصولات بازگشتی است. بنابراین برای جلوگیری از تأخیر حاصل از تراکم در سیستم بازتولید، کالاهای بازگشتی قبل از مرحله بازتولید توسط ایستگاه تست و بازرسی، بر اساس موقعیت فیزیکی و زمان مورد نیاز بازتولید به دو کلاس تقسیم‌بندی می‌شوند. یک مقدار تصمیم (k) به عنوان معیار کلاس‌بندی و یا همان معیار تصمیم پذیرش تعریف می‌شود.

۱. کالاهای بازگشتی که زمان بازتولید بیشتر از مقدار تصمیم (k) دارند. این کالاها وضعیت کیفی خوبی ندارند و جهت فروش برای بازیافت فروخته می‌شوند. (کلاس ۱)

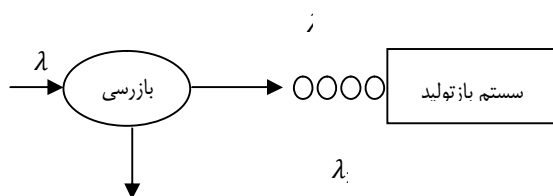
۲. کالاهای بازگشتی که زمان بازتولید معقولی دارند و بازتولید آن‌ها قابل توجیه است. پس به تسهیل بازتولید فرستاده می‌شوند تا پس از بازتولید در انبار فروش ذخیره شوند. (کلاس ۲)

تسهیل موجود در سیستم بازتولید، یک خدمت‌دهنده با ظرفیت محدود دارد که با نرخ μ به بازتولید کالاهای بازگشتی می‌پردازد. فرآیند بازتولید وقتی متوقف می‌شود که فضای انبار ذخیره‌سازی ظرفیت تکمیلی داشته باشد و یا هیچ کالای بازگشتی وجود نداشته باشد. ظرفیت تک خدمت‌دهنده تسهیل بازتولید محدود است و این سیستم فقط یک سفارش را می‌تواند در یک زمان خدمت‌رسانی کند. بعد از اتمام فرآیند بازتولید یک کالا بلافاصله فرآیند بازتولید کالای بعد شروع می‌شود. بنابراین تأخیر بین فرآیندهای بازتولید به صفر می‌رسد. هزینه نگهداری سیستم بازتولید بستگی به زمان تصادفی باز تولید دارد.

۴.۲. تابع سود سیستم باز تولید

محصولات بازگشتی از بازار مشکلات و معایب یکسانی ندارند و در موقعیت‌های مختلف از نظر کیفی و زمان مورد نیاز برای بازتولید قرار دارند. در نتیجه زمان و مواد مورد نیاز برای بازتولید این محصولات، بستگی به موقعیت هر محصول بازگشتی دارد. بنابراین محصولات بازگشتی از بازار قبل از اینکه وارد سیستم بازتولید شوند، در یک

مرحله باید زمان مورد نیاز برای بازتولید آن‌ها تخمین زده شود. در سیستم بازتولید، یک مرحله بازرسی با ظرفیت نامحدود وجود دارد. بنابراین هیچ تأخیری به وجود نمی‌آورد، که این مرحله زمان مورد نیاز برای فرآیند بازتولید هر محصول را تعیین (مشخص، شناسایی) می‌کند. زمان فرآیند بازتولید برای همه محصولات بازگشتی از توزیع یکسان پیروی می‌کند. زمان بازتولید یک متغیر تصادفی X است که از یک توزیع تابع توزیع تجمعی $F(x)$ پیروی می‌کند. محصولات بازگشتی بر حسب زمان تخمین‌زده شده لازم، برای بازتولید، به دو کلاس تقسیم می‌شوند: یک کلاس تشکیل شده از محصولاتی است که به سیستم بازتولید می‌روند (کلاس ۱) و کلاس دیگر محصولاتی هستند که رد می‌شوند و به عنوان محصولات اسقاطی (کلاس ۲) فروخته می‌شوند. ما یک مقدار مشخص (k) را به عنوان یک مقدار تصمیم در نظر می‌گیریم و بر حسب این مقدار تصمیم، تصمیم به رد یا پذیرش برای بازتولید می‌گیریم. شکل (۳) این مسئله تصمیم را نشان می‌دهد [۱۶]. سیستم بازتولید به صورت سیستم صف $M/G/1$ مدل می‌شود. جزئیات بیشتر این سیستم در شکل (۴) نشان داده شده است:



شکل ۴: سیستم باز تولید و مرحله بازرسی

په‌په‌ریسن در سال ۱۹۷۵ این مسئله را با این فرض مورد بررسی قرار داد که محصولات بازگشتی به کلاس‌های مختلف بر اساس زمان بازتولیدی تقسیم می‌شوند و درآمد ثابت و مقدار ارزش اسقاطی محصولات رد شده در مرحله بازرسی را صفر در نظر گرفت. در اینجا ما مشابه روش استفاده‌شده توسط گواید و همکاران [۱۶] مقدار ارزش اسقاطی هر محصول فروخته شده برای بازیافت را مخالف صفر p در نظر می‌گیریم و مقدار درآمد حاصل از فروش محصول بازتولید را r در نظر می‌گیریم.

احتمال اینکه یک محصول بازگشتی از مرحله بازرسی به مرحله بازتولید فرستاده شود $p(x \leq k) = F(k)$ و احتمال اینکه یک محصول بازگشتی رد شود و به بازیافت فرستاده شود: $p(x > k) = 1 - F(k)$. همان طور که

فروخته می‌شوند. مقدار هزینه مربوط به فروش از دست رفته در تابع سود لحاظ شده است.

$\lambda\theta$: نرخ ورود کالای بازگشتی پذیرفته شده برای بازتولید

$E(k)$: میانگین زمانی که واحد کالا در سیستم بازتولید می‌گذراند تا به انبار برود
 $r(t + E(k), u)$: درآمد حاصل از بازتولید (منحنی درآمد-زمان)

$f_1(u)$: تابع چگالی زمان بازتولید محصولات پذیرفته شده برای بازتولید (کلاس ۱)
 $e^{-\beta(t+E(T),u)}$: کاهش نمایی با نرخ تخفیف معلوم β
 π_s : احتمال پر بودن انبار سیستم موجودی

$$R(k) = (1 - \pi_s) \times \left(\lambda \theta \int_0^\infty \int_0^k r(t + E(k), u) \times f_1(u) \times e^{-\beta(t+E(k))} du dt + p\lambda(1 - \theta) \int_0^\infty e^{-\beta t} dt \right) + \pi_s \times p \times \lambda \quad (7)$$

با استفاده از معادلات (۳-۵) و (۴-۵) عبارت بالا به عبارت زیر تبدیل می‌شود.

$$R(k) = (1 - \pi_s) \frac{\lambda e^{-\varphi E(k)}}{\varphi} \int_0^k r_0(u) f(u) du + \frac{\lambda p(1-\theta)}{\beta} + \lambda p \pi_s \quad (8)$$

در تابع سود $R(k)$ همه فاکتورها را داریم و باید مقدار k طوری تعیین شود که سود حداکثر شود. تنها موردی که باید به دست آوریم، متوسط زمانی که یک کالای بازگشتی در سیستم بازتولید است، یعنی $E(k)$ است. این مقدار از حل مدل صف توسط روش ماتریس هندسی (MGM) به دست خواهد آمد.

۳.۴. سیستم موجودی

کالاهایی که بازتولید آن‌ها تکمیل می‌شود، در یک انبار ذخیره می‌شوند. تقاضا با فرآیند ورود پواسون از این انبار با نظم اولین ورود-اولین خروج پاسخ‌گویی می‌شود. این انبار دارای ظرفیت محدود با سقف S است. هزینه سفارش برای سفارشات کالا صفر در نظر گرفته می‌شود. سفارشات که هنگام خالی بودن انبار می‌رسد، به صورت عقب‌افتاده پاسخ‌گویی می‌شود. هزینه فروش از دست رفته کمبود (b) و هزینه نگهداری واحد کالا (h) در انبار به صورت استاندارد خطی در واحد زمان در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که یادآوری کنیم سیاست‌های

اشاره کردیم، بازگشت کالاها از بازار از یک فرآیند پواسون پیروی می‌کند، در نتیجه داریم:

$$\lambda \times p(X \leq k) = \lambda F(k) = \lambda \theta \quad (1)$$

$$\lambda \times p(X > k) = \lambda(1 - F(k)) = \lambda(1 - \theta) \quad (2)$$

نرخ ورود دو کلاس متفاوت توسط فرآیند پواسون پایه‌گذاری می‌شود. بنابراین زمان لازم برای فرآیند کلاس ۱ (پذیرفته شده) برای بازتولید X_I هست:
 $f(x) = \frac{f(x)}{F(k)}$ برای $X \leq k$ و صفر برای جاهای دیگر:

$$F_1(x) = \frac{F(x)}{F(k)} \text{ و } F_2(x) = \frac{F(x)}{1 - F(k)} \quad (3)$$

بنابراین دو حالت برای محصول بازگشتی رخ می‌دهد، یا پذیرش برای بازتولید که درآمد r را به همراه دارد و یا به ارزش اسقاطی p فروخته می‌شود. هزینه بازتولید برای هر واحد تابعی از زمان بازتولید (x) است. قیمت هر کالای بازتولید شده، مستقل از زمان بازتولید است (x) اما با زمان t به صورت نمایی نزول پیدا می‌کند. درآمد خالص (قیمت منهای هزینه) برای هر کار بازتولید شده در زمان t طبق تابع زیر به زمان بازتولید (x) بستگی دارد:

$$r(t, x) = r_0(x) e^{-\alpha t} \quad (4)$$

که در اینجا α نرخ نزول درآمد خالص و $r_0(x)$ تابع هزینه-زمان زمان تولید است. نرخ کلی تخفیف را با φ نشان می‌دهیم که شامل هر دو نرخ تخفیف معمول (β) و نرخ نزول درآمد خالص (α) است و تعریف می‌کنیم:

$$\varphi = \beta + \alpha \quad (5)$$

در سیستم بازتولید هزینه نگهداری مستقیمی در نظر گرفته نشده است و این هزینه نگهداری به صورت پوشیده در نرخ کلی تخفیف (φ) در نظر گرفته شده است.

گواید و همکاران [۱۶] درآمد سیستم بازتولیدی را به صورت زیر مدل کرده‌اند:

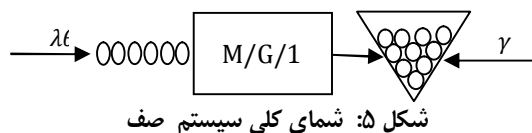
$$R(k) = \frac{\lambda e^{-\varphi E(k)}}{\varphi} \int_0^k r_0(u) f(u) du + \frac{\lambda p(1-\theta)}{\beta} \quad (6)$$

نکته مهم در این سیستم، بازتولید مورد بررسی تحقیق ما، این است که سیستم بازتولید، محصولات خود را در انبار سیستم موجودی با ظرفیت محدود ذخیره می‌کند. در نتیجه در صورت پر بودن انبار، سیستم بازتولید متوقف می‌شود و کالاهای بازگشتی با نرخ p

مشتری با چه احتمالی در سیستم وجود دارد که با π_j نشان داده می شود.

۵. حل سیستم صف

سیستم بازتولید به صورت یک سیستم صف با زمان خدمت‌دهی عمومی و زمان ورود مشتری‌های نمایی مدل می‌شود. این سیستم صف، تفاوت‌هایی با مدل کلاسیک $M/G/1$ دارد. ظرفیت خروجی‌های این صف و طول صف محدود است و همین موضوع سبب می‌شود که نتوان از نتایج مدل‌های کلاسیک صف که در ادبیات سیستم‌های صف موجود است، بهره برد. مدل صف مربوط به این زنجیره تأمین را می‌توان به صورت شماتیک شکل (۵) نشان داد:



۵.۱. زنجیره مارکوف مدل

فرآیند تصادفی حاصل از سیستم صف مورد نظر را می‌توان با یک فرآیند مارکوف شبه تولد و مرگ با حالت‌های (i, j) توصیف کرد. زنجیره مارکوف با زمان پیوسته $\{(i, j); 0 \leq i \leq V, 0 \leq j \leq S\}$ را در نظر بگیرد. در این فرآیند i تعداد کالاهای بازگشتی در سیستم بازتولید است که برای بازتولید پذیرش شده‌اند (کلاس ۱) و j تعداد کالاهای ذخیره شده در سیستم موجودی است که حاضر به پاسخ‌گویی به تقاضای مشتریان است. فضای حالت با نرخ‌های انتقال در شکل (۶) نشان داده شده است.

بردار سطری احتمالات حالت پایدار را برای زنجیره مارکوف $\{(i, j); 0 \leq i \leq V, 0 \leq j \leq S\}$ به صورت: $\pi = [\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_S]$ ، تعریف می‌کنیم. هر π_j با حل معادلات تعادلی به دست خواهد آمد، به طوری که هر $\pi_j = [\pi_{(0,j)}, \pi_{(1,j)}, \dots, \pi_{(v,j)}]$ یک بردار سطری است. هر $\pi_{(i,j)}$ احتمال حالت پایدار مربوط به حالتی است که i کالای بازگشتی (کلاس ۱) در سیستم بازتولید است و تعداد j کالاهای ذخیره شده در سیستم موجودی است:

$$\pi Q = 0 \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^S \pi_j l = l \quad (11)$$

موجودی انبار و نگهداری زنجیره تأمین بازتولید و تقاضاهای ورودی به این انبار مستقل از زنجیره تأمین تولید کالای جدید است.

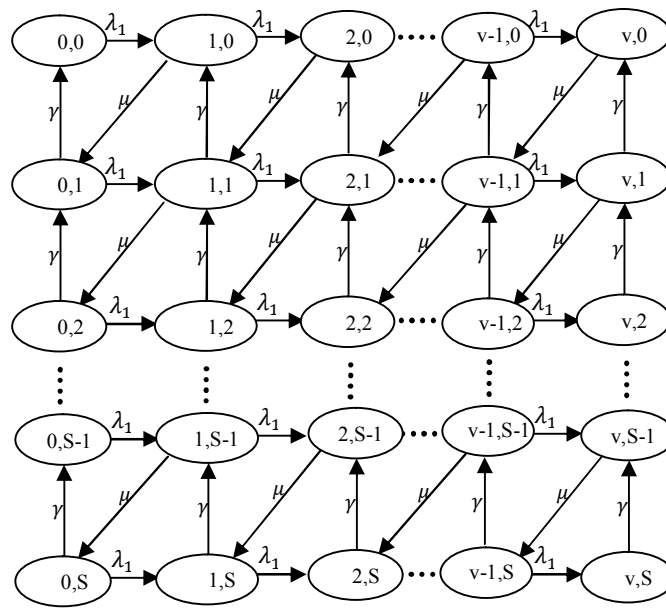
هدف ما در این تحقیق، تعیین سقف حداکثر موجودی انبار (S) و تعیین مقدار زمان فرآیند برای کالاهای بازگشتی به عنوان یک مقدار تصمیم (k) است، به طوری که درآمد کل سیستم و یا به صورت جزئی‌تر، هزینه و سود هر یک از بخش‌های اصلی این سیستم، یعنی سیستم بازتولید و سیستم کنترل موجودی بهینه‌سازی شوند. در اینجا ما هر یک از این سیستم‌های بازتولید و کنترل موجودی را به کمک سیستم‌های صف مورد تحلیل قرار می‌دهیم و تابع سود و هزینه آن‌ها را به ترتیب شکل داده و بهینه‌سازی آن‌ها را به صورت یک مسئله بهینه‌سازی انجام می‌دهیم. در ادامه (در بخش‌های بعد) معیارهای کنترل و بهینه‌سازی هر یک از سیستم‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۴.۴. تابع هزینه سیستم موجودی

کالاهایی که بازتولید آن‌ها تکمیل می‌شود، در انبار ذخیره می‌شوند تا به جریان تقاضا ورودی به سیستم با فرآیند ورود پواسون نظم اولین ورود اولین خروج پاسخ‌گویی شود. ظرفیت انبار نگهداری موجودی به یک سقف معین S محدود می‌شود. هزینه سفارش برای سفارشات کالا صفر در نظر گرفته می‌شود. سفارشات که هنگام خالی بودن انبار می‌رسد، به صورت عقب‌افتاده پاسخ‌گویی می‌شوند. هزینه فروش از دست رفته (b) و هزینه نگهداری واحد کالا (h) در انبار به صورت استاندارد خطی در واحد زمان در نظر گرفته می‌شود. همان طور که مشخص است، موجودی در هر سیستمی ماهیت هزینه‌ای دارد و بنابراین سیستم موجودی مورد نظر ما در زنجیره تأمین نیز دارای تابع هزینه است. این تابع هزینه، دو جزء اصلی هزینه نگهداری کالا در انبار و هزینه کمبود کالا دارد:

$$C(s) = E(H) \times h + \pi_0 \times b \quad (9)$$

در تابع هزینه $C(s)$ همه فاکتورها را داریم و باید مقدار سقف انبار (S) که بین 0 تا S طوری تعیین شود که هزینه موجودی حداقل شود. تنها موردی که باید به دست آورد، احتمال حالت پایدار این موضوع است که چه تعداد



شکل ۶: نمودار نرخ انتقال حالت

استفاده شود. ماتریس مولد زنجیره مارکوف مورد مطالعه ما است:

$$Q = \begin{bmatrix} B_{00}A_0 & 0 & 0 & \dots \\ A_2A_1A_0 & 0 & \dots & \\ 0 & A_2A_1A_0 & \dots & \\ 0 & 0 & A_2A_1 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}$$

که ماتریس‌های B_{00} ، A_0 ، A_1 و A_2 ماتریس‌های مربعی با ابعاد $(S + 1) \times (S + 1)$ هستند. همچنین ماتریس مولد A از جمع ماتریس‌های A_0 ، A_1 و A_2 حاصل شده است. این ماتریس‌ها در عبارات (۲۰) تا (۲۴) نشان داده شده است:

$$B_{00} = \begin{bmatrix} -\lambda_1 - \gamma & \gamma & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\lambda_1 - \gamma & \gamma & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda_1 - \gamma & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \gamma \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_1 - \gamma \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$A_0 = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} -\lambda_1 - \gamma & \gamma & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\lambda_1 - \mu & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda_1 - \mu & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_1 - \mu \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \mu & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \mu & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

با توجه به دیاگرام انتقال ارائه شده برای سیستم صف $M/G/1$ با خروجی محدود، می‌توانیم معادلات تعادلی را به صورت زیر بنویسیم:

$$\lambda_1 \pi_{(i,j)} = \gamma \pi_{(i,j+1)} \quad i = 0, j = 0 \quad (12)$$

$$(\lambda_1 + \gamma) \pi_{(i,j)} = \mu \pi_{(i+1,j-1)} + \gamma \pi_{(i,j+1)} \quad i = 0, 1 \leq j \leq S-1 \quad (13)$$

$$(\gamma + \lambda_1) \pi_{(i,j)} = \mu \pi_{(i+1,j-1)} \quad i = 0, j = S \quad (14)$$

$$(\lambda_1 + \mu) \pi_{(i,j)} = \lambda_1 \pi_{(i-1,j)} + \gamma \pi_{(i,j+1)} \quad 1 \leq i \leq V-1, j = 0 \quad (15)$$

$$(\lambda_1 + \gamma) \pi_{(i,j)} = \lambda_1 \pi_{(i-1,j)} + \mu \pi_{(i+1,j-1)} \quad 1 \leq i \leq V-1, j = S \quad (16)$$

$$(\lambda_1 + \mu + \gamma) \pi_{(n,m)} = \lambda_1 \pi_{(n-1,m)} + \gamma \pi_{(n,m+1)} + \mu \pi_{(n+1,m-1)} \quad 1 \leq i \leq V-1, 1 \leq m \leq S-1 \quad (17)$$

$$\mu \pi_{(i,j)} = \lambda_1 \pi_{(i-1,j)} + \gamma \pi_{(i,j+1)} \quad i = V, j = 0 \quad (18)$$

$$\gamma \pi_{(i,j)} = \lambda_1 \pi_{(i-1,j)} \quad i = V, j = S \quad (19)$$

برای به دست آوردن احتمالات حالت پایدار $\pi_{(i,j)}$ زمانی که $0 \leq i \leq V$ و $0 \leq j \leq S$ است، ما از روش ماتریس هندسی کمک می‌گیریم.

۲.۵. به کارگیری روش ماتریس هندسی

این روش اولین بار توسط نوتس (۱۹۸۱) معرفی شد. روش ماتریس هندسی می‌تواند در فضای حالت چند بعدی

این مدل شامل دو تابع هدف کمینه سازی و بیشینه سازی است. ظرفیت انبار مقادیرهای صحیح مثبت می گیرد و مقدار تصمیم زمان فرآیند برای کالاهای بازگشتی (k) مقادیرهای نامنفی می گیرد. محاسبات مربوط به احتمالات حالت پایدار π محاسبات بازگشتی است و بررسی تحذب تابع هدفهای سود و هزینه، کار مشکلی است. اما به هر حال مثال عددی ارائه شده در بخش بعدی به بررسی نتایج حاصل می پردازد.

ما هر یک از تابع اهداف بهینه سازی حداکثر و حداقل را به طور جداگانه بررسی خواهیم کرد، زیرا که هر یک از بهره بران این زنجیره می توانند جداگانه اقدام به تصمیم گیری کنند و البته به طور همزمان که جمع سود و هزینه به صورت کارآمد نیز مطرح می شود، در حل عددی بررسی شده است.

۱.۶. حل عددی

در این بخش با استفاده از مثالهای عددی رابطه بین سود و هزینه زنجیره تأمین با S و k و همچنین پارامترهای تأثیرگذار دیگر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. تحلیل و بررسی سیستمهای صف به وسیله تکنیکهای محاسباتی استاندارد حاصل از ریاضی کاربردی انجام می شود. این محاسبات می تواند به وسیله نرم افزارهایی مثل *MATLAB* و *mathematica* انجام گیرد (بی آت [۱۹]).

مهم ترین تکنیکهایی که برای این محاسبات استفاده می شوند عبارتند از: ضرب ماتریس، حل معادلات دیفرانسیل (انتگرال گیری) و الگوریتمهای ریشه یابی. بعضی نرم افزارهای سیستمهای صف نیز موجودند (به عنوان نمونه کتاب هستینگز [۲۰]) که نرم افزارهای تئوری صف را در آن ارائه داده است.

۲.۶. داده های مسئله

نرخ مراجعه فرآیند پواسون کالاهای بازگشتی از بازار به سیستم بازتولید ۱، نرخ ورود تقاضای مشتریان به انبار ۱،۰۵ است. تسهیل بازتولید دارای زمان خدمتدهی با توزیع گاما با میانگین ۱،۲ و واریانس ۴ است. توزیع گاما به دلیل انعطاف زیاد در مدل کردن تغییرات، یکی از مهم ترین توزیعهایی است که در مدل کردن تغییرات سیستمهای صف (اکساتر [۱۸]) استفاده می شود. تابع

$$A = A_0 + A_1 + A_2 = \begin{bmatrix} -\gamma & \gamma & 0 & \dots & 0 \\ \mu & -\mu & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \mu & -\mu & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \mu & -\mu \end{bmatrix} \quad (24)$$

با به دست آوردن احتمالات پایدار سیستم، می توان معیارهای عملکرد سیستم صف را برای تحلیل و بهینه سازی به دست آورد. در اینجا معیارهای عملکردی که برای مدل زنجیره تأمین نیاز است، به دست خواهیم آورد. میانگین کالای ذخیره شده، میانگین کالای بازگشتی و میانگین زمان سپری شده در سیستم بازتولید به ترتیب در عبارات زیر نشان داده شده اند:

$$E(H) = \sum_{j=0}^S j \times \pi_j \quad (25)$$

$$E(L) = \sum_{i=0}^S i \times \pi_i \quad (26)$$

با استفاده از قانون لیتل می توان مدت زمان سپری شده توسط یک قلم کالای بازگشتی را با تقسیم میانگین تعداد اقلام موجود در سیستم بازتولید بر نرخ ورود کالاهای بازگشتی پذیرفته شده به دست آورد:

$$E(K) = \frac{E(L)}{\lambda_1} = \frac{\sum_{i=0}^S i \times \pi_i}{\lambda_1} \quad (27)$$

۶. مدل بهینه سازی

در بخشهای قبل، تابع سود و هزینه زنجیره تأمین دو لایه موجودی - بازتولید مورد نظر ارائه داده شد. با توجه به معیارهای عملکرد و پارامترهای معلوم، حداکثر سقف موجودی انبار (S) و مقدار زمان فرآیند برای کالاهای بازگشتی به عنوان یک مقدار تصمیم (k) طوری تعیین خواهند شد که درآمد کل سیستم و یا به صورت جزئی تر، هزینه و سود هر یک از بخشهای اصلی این سیستم، یعنی سیستم بازتولید و سیستم کنترل موجودی بهینه سازی شوند. عبارت (۲۸) مدل بهینه سازی که باید در این سیستم حل شود تا به جواب بهینه ای برای حداکثر سقف موجودی انبار (S) و مقدار تصمیم (k)، برسیم را نشان می دهند:

$$\begin{aligned} \text{Max} R(k) &= \frac{\lambda e^{-\varphi E(K)}}{\varphi} \int_0^k r_0(u) f(u) du + \frac{\lambda p(1-\theta)}{\beta} \\ \text{Min } C(s) &= E(H) \times h + \pi_0 \times b \end{aligned}$$

Subject to:
 $S = 0, 1, 2, \dots$
 $k \geq 0$

(28)

انبار کالاهای بازتولید شده را بین ۱ تا ۲۰ واحد تغییر می‌دهیم و همچنین ظرفیت فضای سیستم بازتولید که کالاهای بازگشتی در آنجا منتظر خدمت‌گیری از تسهیل می‌شوند نیز محدود است و ما برای بررسی‌های نتایج و تحلیل سیستم، این مقدار را از ۱ تا ۸ واحد تغییر می‌دهیم. پس در این روش، حل عددی برای مقدارهای مختلف S ، مقدارهای مختلف از V مورد نظر قرار گرفته و مقدار تصمیم k که به ازای آن مقدار بهینه درآمد آن با توجه به حداقل هزینه و حداکثر سود به دست خواهد آمد، مشخص خواهد شد. برای این منظور از نرم‌افزار *MATLAB 7.6.0* استفاده شده است.

۳.۶. مقدار بهینه حداکثر انبار و مقدار تصمیم

نتایج به دست آمده از مقدارهای تصمیم k و سود و هزینه مربوط به آن، به ازای مقادیر مختلف حداکثر ظرفیت انبار و فضای بافر سیستم بازتولید در جدول (۳) آورده شده است. هر سلول از این جدول، به ترتیب از چپ به راست، نشان‌دهنده مقدار تصمیم، درآمد و هزینه است، یعنی هر سلول جدول به صورت $(k, R(k), C(s))$ است.

برای مقادیر ثابتی از سقف بافر سیستم بازتولید (V) و حداکثر ظرفیت انبار سیستم موجودی، مقدار تصمیم (k) تعیین شده است. برای مثال به ازای سقف بافر برابر با ۸ واحد ($V=8$) و حداکثر ظرفیت انبار برابر با ۱۱ ($S=11$) مقدار تصمیم برابر با ۰.۶۵ واحد زمانی است. یعنی کالاهایی که از بازار بازگشت می‌شوند و زمانی که توسط واحد بازرسی برای آن‌ها به دست آمده است، اگر کمتر از ۰.۶۵ واحد زمانی باشد، پذیرش می‌شود و به واحد بازتولید می‌روند، در غیر این صورت به ارزش اسقاطی یک واحد پولی به چرخه بازگشت فروخته می‌شوند. احتمال اینکه یک محصول بازگشتی با این شرایط مورد پذیرش قرار بگیرد، برابر است با:

$$p = F(x \leq 0.65) = 0.5132 \quad (30)$$

با دقت در نتایج جدول، می‌توان دریافت که با افزایش سقف انبار، درآمد سیستم افزایش می‌یابد، شکل (۷) که بر اساس نتایج جدول (۲) است، به ازای مقدار معین ظرفیت بافر سیستم بازتولید رابطه تغییرات بین مقدار حداکثر

توزیع گاما را به عنوان یک سرویس‌دهنده سیستم‌های صف برای مدل‌سازی استفاده کرده‌اند. قیمت فروش کالاهایی که زمان بازتولید آنها بیشتر از مقدار تصمیم (k) است و برای بازیافت فروخته می‌شود، ۱ واحد پولی است. هزینه واحد نگهداری کالا در انبار ۲ واحد پولی و هزینه فروش از دست رفته برابر ۶ واحد پولی است.

هزینه تولید با گذشت زمان افزایش می‌یابد و سود حاصل از این تولید، از نظر مقدار، را می‌توان ثابت فرض کرد، پس می‌توان نمودار کلی درآمد- زمان را به دست آورد. در این مثال ما با توجه به مطالعه موردی واقعی، اطلاعات حاصل از شرکت تولید ابزار *Pinty Bowes and Robert Power* [۱۶]، را شکل کلی تابع درآمد- زمان به صورت یک نمودار درجه دو بر حسب زمان (کوادریتیک) در نظر می‌گیریم. برای این مثال ما یک تابع درجه دو برای نمودار درآمد- زمان در هزینه را به صورت معادله در نظر می‌گیریم:

$$r(u) = 10 - 0.1u - 0.01u^2 \quad (29)$$

جدول ۱: داده‌های حل عددی

پارامتر	نشانه	مقدار
نرخ ورود مشتری به سیستم موجودی	γ	۱,۰۵
نرخ بازگشت کالا از بازار به سیستم بازتولید	λ	۱
منحنی درآمد- زمان بازتولید	$r_0(u)$	$10 - 0.1u - 0.01u^2$
توزیع زمان سرویس دهی تسهیل بازتولید	G	$\Gamma(1.2,4)$
قیمت فروش کالاهای بازیافتی	p	۱
هزینه ی واحد نگهداری کالا	h	۶
هزینه فروش از دست رفته	b	۱۰
نرخ نزول درآمد	α	۰,۰۷
نرخ تخفیف	β	۰,۰۱

با توجه به محاسبات بازگشتی احتمالات حالت پایدار (π_{ij}) و همچنین وابستگی پارامتر ورود به سیستم بازتولید به مقدار زمان تصمیم (k) و شرایط کلی مسئله، بهترین روش بررسی و حل مسئله، استفاده از روش حل عددی است. حداکثر سقف انبار موجودی سیستم برای

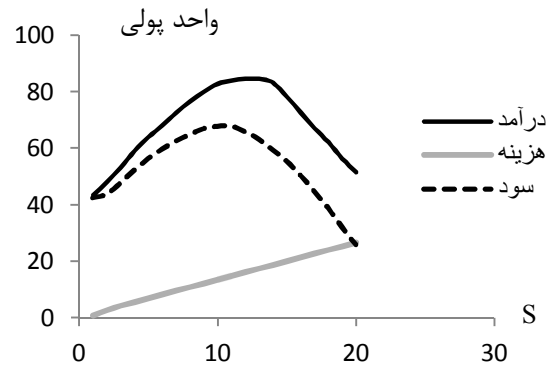
در این نمودار، محور افقی، مقدارهای مختلف سقف انبار و محور عمودی، میزان درآمد را نشان می‌دهد. یعنی تغییرات سود و هزینه مربوط به هر یک از ظرفیت‌های انبار موجودی در نمودار مشخص است. با توجه به این نمودار که ظرفیت بافر بازتولید ۶ واحد کالا در نظر گرفته شده است، مقدار بهینه حداکثر موجودی برابر با ۱۳ واحد به دست آمده است.

۴.۶. تأثیرات نرخ ورود تقاضا و کالای بازگشتی

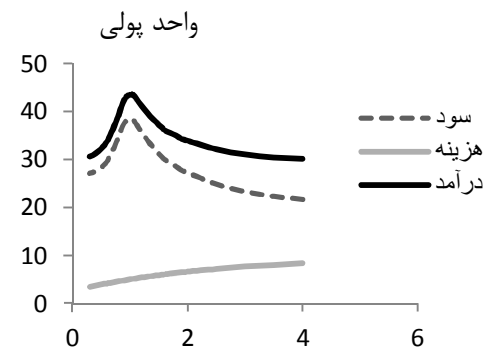
یکی از مشخصه‌های اصلی این مدل، بررسی و تحلیل تقاضای ورودی به مدل و همچنین نرخ بازگشت کالاهای بازگشتی از بازار است. در جدول سود، هزینه و درآمد و همچنین مقدار تصمیم، به ازای نسبت‌های مختلف از نرخ ورود مشتری به نرخ بازگشت کالا به دست آورده شده است.

با توجه به داده‌های ارائه شده در جدول (۳)، می‌توان شکل (۸) را ترسیم کرد، که می‌توان مقدار بهینگی این نسبت را به خوبی ملاحظه کرد. محور افقی این نمودار، نسبت‌های مختلف از نرخ ورود مشتری به نرخ بازگشت کالا است و در محور عمودی، سود و هزینه و همچنین درآمد که با خطچین نشان داده شده، آورده شده است. هنگامی که نرخ ورود مشتری نزدیک به نرخ بازگشت کالا از بازار است، نسبتی نزدیک به یک دارند، زنجیره تأمین از نظر درآمد وضع مطلوبی دارد و همچنین هزینه نسبت به این تغییرات، روند خطی دارد.

ظرفیت انبار سیستم موجودی در برابر درآمد، هزینه و سود را نشان می‌دهد:



شکل ۷: نمودار درآمد بر اساس تغییرات حداکثر ظرفیت انبار، مقدار ظرفیت بافر ثابت و برابر ۶ واحد



شکل ۸: تغییرات درآمد نسبت به تغییرات نرخ ورود کالا و بازگشت کالا از بازار

جدول ۲: نتایج عددی برای ظرفیت‌های مختلف انبار

V				
8	6	4	2	S
(0.35,44.0245,0.7334)	(0.35,43.2563,0.8017)	(0.35,42.3258,0.9999)	(0.35,41.6954,1.488)	1
(0.45,54.0215,4.2528)	(0.45,53.0254,4.2777)	(0.45,52.4895,4.3503)	(0.45,52.2891,4.4856)	3
(0.5,64.7245,6.9468)	(0.5,63.8144,6.9607)	(0.5,63.6987,6.9874)	(0.5,63.2521,6.9198)	5
(0.55,73.1541,9.5855)	(0.55,72.5106,9.591)	(0.55,72.0581,9.5771)	(0.55,71.8098,9.3136)	7
(0.6,79.9847,12.2216)	(0.6,79.9138,12.2187)	(0.6,79.5963,12.1645)	(0.6,78.5897,11.7052)	9
(0.65,84.9875,14.8577)	(0.65,83.8623,14.8465)	(0.65,82.1248,14.7519)	(0.65,81.9074,14.0968)	11
(0.65,86.2564,17.4939)	(0.65,84.5214,17.4744)	(0.65,80.9807,17.3394)	(0.65,79.5899,16.4883)	13
(0.7,82.3513,20.13)	(0.7,78.0412,20.1022)	(0.7,74.6358,19.9268)	(0.7,74.3369,18.8798)	15
(0.05,71.1431,22.7662)	(0.05,66.9845,22.73)	(0.05,66.6415,22.5143)	(0.05,66.0321,21.2714)	17
(0.05,57.5414,25.4023)	(0.05,56.2333,25.3579)	(0.05,55.9632,25.1018)	(0.05,55.7386,23.6629)	19
(0.05,51.0001,26.7204)	(0.05,51.3847,26.6718)	(0.05,50.9521,26.3955)	(0.05,50.698,24.8587)	20

جدول ۳: نتایج حاصل برای در آمد و هزینه به ازای مقادیر مختلف نسبت

	2.5	2	1.5	1.1	1.05	1	0.95	0.9	0.8	0.7	0.5	
k	0.05	0.05	0.7	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.6	0.55	
R(k)	32.12	33.91	37.22	42.83	43.51	43.5	43.26	42.39	39.21	36.25	32.26	
C(s)	7.257	6.683	5.975	5.285	5.19	5.093	4.993	4.892	4.682	4.465	4.006	

۷. نتیجه گیری

در این تحقیق، یک زنجیره تأمین دولایه شامل دو مرحله بازتولید محصولات بازگشتی و سیستم انبارش محصولات بازتولید با امکان بازگشت کالا مورد بررسی قرار گرفته شد. این زنجیره تأمین با یک سیستم صف $M/G/1$ مدل شده و با استفاده از روش ماتریس هندسی مورد تحلیل قرار گرفت. مقدار تصمیم پذیرش (k) کالاهای بازگشتی به عنوان یک متغیر تصمیم سیستم بازتولید با در نظر گرفتن کیفیت کالاهای بازگشتی، تراکم کالاهای بازگشتی در تسهیل بازتولید و ارزش زمانی پول، طوری تعیین شد که درآمد سیستم بازتولید حداکثر شود. همچنین حداکثر سقف انبار (S) سیستم موجودی طوری تعیین شد که حداقل هزینه برای سیستم موجودی به همراه داشته باشد. تابع درآمد و هزینه سیستم‌های موجودی و تولید به طور جداگانه قابلیت بهینه‌سازی دارند و تابع درآمد، از این دو تابع به دست آمده است. مدل پیشنهادی با یک مثال عددی مورد بررسی قرار گرفته است و مقدار بهینه هر یک از توابع درآمد و هزینه و همچنین تابع سود به ازای مقدار بهینه مقدار تصمیم پذیرش حداکثر سقف انبار ارائه شده‌اند. تأثیرات تغییرات نرخ ورود تقاضا و کالای بازگشتی بر مقدار هزینه، درآمد و سود و همچنین مقدار تصمیم نیز مورد بررسی قرار گرفت و هنگامی که نرخ ورود مشتری نزدیک به نرخ بازگشت کالا از بازار است، نسبتی نزدیک به یک دارند، زنجیره تأمین از نظر درآمد، وضع مطلوبی دارد و همچنین هزینه نسبت به این تغییرات روند خطی دارد.

در این مقاله از یک فرآیند تصادفی دوبعدی برای مدل کردن سیستم استفاده شده است. برای واقعی‌تر شدن مدل می‌توان یک فرآیند سه‌بعدی را در نظر گرفت که سه حالت از سیستم را در مدل داخل کند که این کار، مدل را واقعی‌تر می‌کند و تحلیل و بهینه‌سازی را بهبود می‌بخشد.

۱. در این مقاله با فرض اینکه زمان خدمت‌دهی به کالاها از یک توزیع عمومی پیروی می‌کند، از یک سیستم صف $M/G/1$ استفاده شد. سیستم بازتولید می‌تواند دارای ایستگاه‌ها و مراحل متعدد باشد و این سیستم با یک شبکه صف مدل شود و کالاهای برگشتی کلاس‌بندی شده و بر حسب کیفیت و فرآیندهای مورد نیاز، به دسته‌های مختلف تقسیم شوند. برای مدل‌سازی شبکه صف نیز می‌توان از کارآموزیان و همکاران (2010) به عنوان مرجع بهره جست.

۲. در این تحقیق سیستم موجودی با فروش از دست‌رفته فرض گرفته شد. به عنوان یک تحقیق جدید، می‌توان مقدار کمبود را نیز محاسبه کرد و در تابع هزینه سیستم موجودی لحاظ کرد.

۳. در این تحقیق انبار محصولات بازتولید شده از انبار محصولات نو، جدا فرض شد. دلیل این فرض این است که ممکن بود بهره‌بران خط بازتولید در زنجیره تأمین، از بهره‌بران خط اصلی تولید جدا باشند. با فرض اینکه محصولات دونرخی نبوده، یعنی کالای بازتولیدی با کالای تولیدی (نو) هیچ تفاوتی نداشته باشند و هر دو خط، بهره‌بران مشترکی باشند، می‌توان انبار هر دو خط را با یک انبار مدل کرد.

مراجع

- 1- Guide, VDR Jr, Souza, GC., Van Wassenhove, LN. and Blackburn, J. (2006). " Time value of commercial product returns." *Management Science*, 52. PP.1200–1214

- 2- Patterson, A. (2006). "Shining a bright light on returns inventory: Increasing recovery through reactive disposition of returns inventory." *Reverse Logistics Magazine*. Available via http://www.rlmagazine.com/RLMagazine_2ndEdition.pdf
- 3- Guide VDR Jr and Van Wassenhove, LN. (2003). *Business aspects of closed-loop supply chains*. Arnegie Mellon University Press, Pittsburgh PA USA
- 4- Dekker, R, Fleischmann, M., Inderfurth, K. and Van Wassenhove LN. (2005). *Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains*. Springer, Berlin.
- 5- Shi, J. Zhanga, G. ,and Sha, J. (2011). "Optimal production planning for a multi-product closed loop system with uncertain demand and return." *International Journal Computers & Operations Research*, 38, PP. 641–650.
- 6- Flapper, SDP., van Nunen, JAEE and Van Wassenhove, LN. (2005). *Managing closed-loop supply chains*. Springer, Berlin.
- 7- Souza, G. C. and Ketzeberg, M. E. (2002). "Two-State Make-to-Order Remanufacturing with Service-Level Constraints." *International Journal of Production Research*, 40(2), PP. 477-493
- 8- Ketzenberg, M. E. and Souza, G. C. (2003). "Mixed Assembly and Disassembly Operations for Remanufacturing." *Production and Operations Management*, 12(3), PP. 321-335.
- 9- Bayindir, Z. P., Erkip, N. and Gullu, R. (2003). "A model to evaluate inventory costs in a remanufacturing environment." *International Journal of Production Economics*, 81. PP. 597-607.
- 10- V. Daniel R. Guide Jr., Gilvan C. Souza and Erwin van der Laan (2005). "Performance of Static Priority Rules for Shared Facilities in a Remanufacturing Shop with Disassembly and Reassembly." *European Journal of Operational Research*, 164, pp. 341-353.
- 11- Aksoy, H.K. and Gupta, S.M. (2005). "Buffer allocation plan for a remanufacturing cell." *Computers & Industrial Engineering*, 48. PP. 657–677.
- 12- Vorasayan, J. and Ryan, S. M. (2006). "Optimal price and quantity of refurbished products." *Production and Operations Management*, 15(3). PP. 369-383
- 13- Jin, X., Ni, J., and Koren, Y. (2011). "Optimal control of reassembly with variable quality returns in a product remanufacturing system." *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 60. PP. 25–28.
- 14- Ching Wai-Ki , Tang Li and Jung-Gong XUE (2007). "On hybrid remanufacturing systems a matrix geometric approach." International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, May30-June2, Beijing-China.
- 15- Karamouzian, A. Teimoury, E. and Modarres, M. (2010). "A model for admission control of returned products in a remanufacturing facility using queuing theory." *Int J Adv Manuf Technol* DOI 10.1007/s00170-010-2933-7.
- 16- Guide Jr, V.D.R. Daniel, E. D. Gunes, G. C. Souza,L. N. Van Wassenhove (2008). "The Optimality Disposal Decision for Product Returns." *Operation Management Research*, 1. PP. 6-14.
- 17- Harrison, M (1975). "Dynamic scheduling of a multiclass queue: Discount optimality." *Operational Research*, 23. PP. 270–282.
- 18- Axsater, S. (2010). "A Capacity Constraint Production-inventory System with Stochastic Demand and Production Times." *International Journal of Production Research*, 48, 20, PP. 6203-6209.

-
- 19- Bhat, U. N. (2000). *An Introduction to Queuing: Theory Modeling and Analysis in Applications*. USA, Dallas.
- 20- Hastings, K. J. (2006). *Introduction to the Mathematics of Operations Research with Mathematica*. 2nd Ed., Chapman and Hall, New York.
-