**Article Code: 1238**

**Inventory model in closed loop supply chain for a deteriorating item with a single producer and multi retailer**

**Abstract**

The importance of remanufacturing used products into new ones has received growing attention throughout the literature. In this paper, a closed loop multi-echelon inventory system is proposed.The supply chain includes a manufacturer, severalretailers and a collector. The model is dealing with deteriorating in all parts of chain. Deteriorating items are depreciated by the time. The model is developed under conditions of deterministicdemand and deterioration rates and no shortages. The purpose of this study is to determine the order size, replenishment, and cycle length of time to minimize the total cost of supply chain. The goldensection search algorithmis developed to derive the optimal solution. To illustrate the results and the effects of model's parameters, a numerical example and sensitivity analysisis given. The results showthat thesensitivity of thecost functionwith respect toparameters such as raw material's prices, use product's prices and deterioratingrateishigh,and estimatesshouldbe donecarefully.

**Keywords**: Closed loop supply chain, Inventory system, Deteriorating item, Golden section search algorithm.

**مدل موجودی در زنجیره تأمین حلقه بسته برای کالای فاسد شدنی با در نظر گرفتن یک تولید کننده و چندین خرده فروش**

**چکیده**

اهمیت بازگشتکالاهای استفاده شده و به کارگیری آن­ها برای تولیدمجدد محصول،در سال­های اخیرمورد توجه محققان قرار گرفته است. در این مقاله، یک سیستم چند سطحی موجودی حلقه بسته در نظر گرفته شده است. زنجیره تأمین مد نظر چند سطحی و شامل یک تولیدکننده، چندین خرده فروش و یک جمع­آوری کنندهمی­باشد. فاسد شدن کالا در همه قسمت­های زنجیره رخ می­دهد و متناسب با زمان در نظر گرفته شده است. در مدل پیشنهادی نرخ تقاضا و فسادپذیری قطعی فرض شده و کمبود مجاز نمی­باشد. هدف این مطالعه تعیین مقادیر اندازه سفارش، زمان بازپرسازی و طول سیکل می­باشد، به گونه­ای که هزینه کل زنجیره حداقل گردد. به منظور حل مدل و یافتن حداقل هزینه، الگوریتم جستجوی طلایی توسعه داده شده است و با ارائه یک مثال عددی و انجام تحلیل حساسیت روی پارامترهای مختلف مدل، نتایج به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت. نتایج نشان می­دهد که حساسیت تابع هزینه نسبت به پارامترهای قیمت مواد خام، قیمت خرید مواد بازگشتی و نرخ فاسد شدن بسیار زیاد بوده و تخمین آن­ها باید با دقت بیشتری انجام شود.

**کلمات کلیدی**: زنجیره تأمین حلقه بسته، سیستم موجودی، کالای فساد پذیر، الگوریتم جستجویطلایی

**1. مقدمه**

با توجه به هزینه­های بالای نگهداری کالا و در نتیجه اهمیت بالای سیستم کنترل موجودی در زنجیره تأمین می­توان از مدیریت موجودی­ها به عنوان یکی از موضوع­های مهم در تجارت و صنعت نام برد [1]. البته با توجه به شرایط ویژه کالاهای فاسد شدنی این موضوع برای این دسته از محصولات از اهمیت بالاتری برخوردار است. به طور کلی کالای فاسد شدنی به کالایی گفته می­شود که با گذشت زمان ارزش خود را از دست می­دهد مانند لبنیات، میوه، سبزیجات، خون، مواد شیمیایی و غیره[2]. در بازار رقابتی امروز ارائه راه­کار مناسب برای مدیریت بهتر تقاضای اقلام فاسد شدنی ضروری به نظر می­رسد. تولیدکنندگان این کالاها می­توانند به منظور پاسخگویی به نگرانی­های زیست محیطی و کاهش هزینه­های سیستم، کالاهای فاسد شده نزد خرده فروش را جمع آوری کرده و با برگرداندن آن­ها به خط تولید و تعمیر و بازسازی آن­ها نسبت به فروش مجدد این اقلام، اقدام نمایند.

از این رو در این مقاله با در نظر گرفتن زنجیره تأمین حلقه بسته­ای شامل یک تولید کننده، چند خرده فروش،یک جمع­آوری کنندهبه ارائه یک مدل موجودی برای کالایی که با گذشت زمان فاسد می شود، پرداخته خواهد شد. تقاضا به صورت قطعی در نظر گرفته شده و کمبود مجاز نخواهد بود. به منظور حل مدل، مسأله پیشنهادی به وسیله الگوریتم جستجوی طلایی توسعه یافته کد شده و تحلیل حساسیت روی پارامترهای مختلف مدل انجام شده است.

با توجه به اهمیت مدیریت موجودی کالا در کاهش هزینه­ها به خصوص برای کالاهای فسادپذیر، مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. قاره و اسکرادر [3] اولین کسانی بودند که مدل موجودی را برای کالاهای فساد پذیر بررسی کردند. آن­ها یک مدل EOQ را برای کالاهای فاسد شدنی با نرخ فاسد شدن ثابت ارائه کردند. رعفت [4] در سال 1991، گویا و گیری [5] در سال 2001 و لی و همکاران [6] در سال 2010 در مقالات خود به مروری بر کارهای انجام شده در زمینه کنترل موجودی کالای فاسد شدنی پرداخته­اند.یانگ هی و همکاران [7] مدل تولید- موجودی کالاهای فاسد شدنی با در نظر گرفتن چندین بازار تقاضا را بهینه سازی کرده و تحلیل حساسیت‌هایی را روی پارامترهای مدل انجام داده­اند. آن‌ها همچنین علاوه بر ارائه رویه حلی برای یافتن زمان سفارش دهی مواد خام، برنامه تولید بهینه‌ای برای محصول نهایی پیشنهاد کردند. لی و دای [8] مدل موجودی کالای فاسد شدنی را با تقاضای وابسته به موجودی و نرخ فسادپذیری قابل کنترل مطالعه کرده­اند. آن­ها کمبود را به صورت پس­افت مجاز دانسته و مدل را با هدف بهینه­سازی سیاست­های بازپرسازی و هزینه فن­آوری­های حفاظت حل نموده­اند. موسی و سانی [9] نیز سیاست­های سفارش­دهی برای کالاهای فاسدشدنی با امکان تاخیر در پرداخت­ها را مورد مطالعه قرار دادند. وی و جانگ [10] یکپارچگی بین سیستم موجودی قطعات و محصول نهایی برای کالای فاسد شدنی، در شرایط وجود چندین اندازه دسته بررسی کرده­اند. شاه و همکاران [11] مدل موجودی بدون مجاز بودن کمبود برای کالاهای فاسد پذیر ارائه کرده­اند. در مدل آن­ها تقاضا به صورت احتمالی فرض شده و برای این منظور از تابع توزیع یکنواخت استفاده شده است. سیسیلیا و همکاران [12] مدل موجودی برای کالاهای فاسد شدنی را با امکان بروز کمبود به صورت پس­افت و تقاضای وابسته به زمان مورد نظر قرار داده و با هدف حداقل نمودن هزینه­های سیستم ها حل نمودند. مهیمی و نخعی [13] نیز دو مسأله کنترل موجودی و قیمت گذاری برای کالاهای فساد پذیر را به صورت همزمان مورد بررسی قرار دادند. آن­ها فاسد شدن را به صورت غیرآنی در نظر گرفته و فرض نمودند تقاضا با زمان رابطه نمایی و با قیمت رابطه خطی دارد.

در مدل­هایی که تاکنون ذکر شد کنترل موجودی کالا تنها در یک سطح تولید کننده یا خرده فروش مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به بحث مهم زنجیره تأمین و اهمیت هماهنگی در زنجیره تأمین در جهت سودآوری کل زنجیره استفاده از مدل‌های کنترل موجودی در زنجیره تأمین نیز مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است. از جمله یان و همکاران [14] که به توسعه یک مدل یکپارچه تولید، ذخیره سازی و توزیع برای اقلام فاسد شدنی در یک زنجیره تأمین دو سطحی پرداخته­اند و روشی برای انجام تصمیم گیری‌های بهینه در زنجیره تأمین، با هدف حداقل کردن کل هزینه‌های سیستم ارائه کردند.عادل [15] به ارائه مدل یکپارچه­ای برای تولید یک محصول جدید و بازتولید کالاهای بازگشتی در افق زمانی محدود پرداخت، او این مدل را برای کالاهای فاسدشدنی بررسی کرد و نرخ تولید، بازتولید، تقاضا، بازگشت و فاسد شدن را متناسب با زمان در نظر گرفت. سجادیه و همکاران [16] زنجیره تأمین دو سطحی را با هدف بهینه سازی سیاست‌های قیمت گذاری، سفارش‌دهی و حمل و نقل مدل کردندو تقاضا را وابسته به قیمت در نظر گرفته اند. در مدل آن‌ها تاکید بر حداکثر کردن سود کل زنجیره می‌باشد. کاردناس بارون و همکاران [17] به توسعه یک الگوریتم بهبود یافته و حل مدل یکپارچه تولید-موجودی در یک زنجیره تأمین سه سطحی پرداختند. از ویژگی­های کار آن­ها می­توان به تقاضای وابسته به قیمت، در نظر گرفتن چندین خرده فروش و تاثیر فاسد پذیری کالا برای شبیه سازی تجارت واقعی اشاره کرد. وانگ و همکاران [18] نیز به دنبال بهینه سازی سیاست­های کنترل موجودی برای کالای فسادپذیر با نرخ فاسد شدن متناسب با زمان در یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل یک تولیدکننده، یک توزیع کننده و یک خرده فروش بوده اند.زانونی و همکاران[19] مسأله یکپارچه موجودی و حمل و‌ نقل کالاهای فاسد شدنی با طول عمر مشخص در حالت یک فروشنده و یک خریدار را بررسی کرده و برای حل آن یک الگوریتم ابتکاری ارائه کردند. وی و همکاران [20] و چانگ و وی [21] به توسعه مدل مربوط به سیستم موجودی یک کالای فاسد شدنی در زنجیره تأمین سبز پرداخته­اند.

یکی دیگر از موضوعاتی که در سالهای اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است موضوع زنجیره تأمین حلقه بسته و بازگشت کالاها می باشد.استفاده از مفهوم زنجیره تامین حلقه بسته برای کالاهای فساد پذیر علاوه بر صرفه جویی در هزینه­ها می­تواند توجیحات زیست محیطی نیز داشته باشد. به همین دلیل مطالعاتی نیز در این زمینه انجام شده است: به عنوان نمونه یانگ و همکاران [22] به معرفی یک زنجیره تأمین حلقه بسته برای کالاهای فاسد شدنی پرداختند، آن‌ها تقاضا را وابسته به قیمت و زنجیره تأمین را در دو سطح با یک تولیدکننده و چند خرده فروش در نظر گرفته و مدل را با هدف حداکثر کردن سود کل زنجیره حل نموده­اند. چانگ و همکاران [23] نیز یک سیستم موجودی با قابلیت تولید مجدد را در یک زنجیره تامین حلقه بسته شامل تامین کننده، تولید کننده، خرده فروش و فروشنده مواد بازیافتی در نظر گرفتند و مدل را با هدف حداکثر کردن سود کل زنجیره حل نمودند. آن­ها برای محاسبه سود کل از دو روش متمرکز و غیر متمرکز استفاده نمودند. نتایج نشان داد که با به­کارگیری سیاست­های متمرکز افزایش قابل توجهی در سود مشترک زنجیره مشاهده خواهد شد. با توجه به اینکه یانگ و همکاران [22] و چانگ و همکاران [23] انبارهای کالای بازگشتی و مواد دمونتاژ شده را در نظر نگرفته­اند در مقاله پیش­رو با افزودن این دو انبار سعی در نزدیک­تر کردن مدل به واقعیت شده است. ضمن این­که در پژوهش­های فوق سیکل تولید و بازتولید جدا از یکدیگر فرض شده در حالی که در این مقاله سیکل تولید و باز تولید یکسان فرض خواهد شد.

در ادامه و در قسمت 2 به بیان مفروضات و مدلسازی ریاضی پرداخته می­شود. حل مدل در قسمت 3 و ارائه مثال عددی و تحلیل حساسیت در قسمت 4 آورده شده است. در پایان و در قسمت 5 نتیجه گیری و پیشنهاد برای کارهای آتی بیان شده است.

**2. مفروضات و مدلسازی**

**1-2- تعریف مسئله**

همان­طور که اشاره شد در این مقاله یک زنجیره تأمین با یک تولیدکننده و چندین خرده فروش و یک جمع آوری کننده در نظر گرفته شده است و سعی در یافتن بهترین سیاست­های بازپرسازی برای یک کالای فاسد شدنی می­باشد. شکل 1 جریان مواد، محصولات و کالای برگشتی را در زنجیره تأمین نشان می­دهد.زنجیره تأمین مد نظر شامل پنج سطح موجودی به شرح زیر می­باشد: 1-سطح موجودی محصول نهایی 2- سطح موجودی خرده­فروش­ها 3- سطح موجودی کالای برگشتی(استفاده شده) 4- سطح موجودی ماده اولیه حاصل از دمونتاژ کالای برگشتی 5- سطح موجودی مواد خام

تولیدکننده مواد اولیه مورد نیاز خود را یا از طریق دمونتاژ کالای بازگشتی و یا با خرید مواد خام تامین می­کند. خرید مواد خام به صورت مقادیر ثابت در فاصله زمانی ثابت صورت می­گیرد. سپس با استفاده از مواد اولیه ذکر شده و با نرخ تولید ثابت شروع به تولید محصول نهایی می­کند و کالای نهایی را در انبار ذخیره می­نماید. کالای نهایی تولید شده بر اساس میزان سفارش هر خرده فروش در اختیار آن­ها قرار می­گیرد. هر خرده فروش با توجه به نرخ تقاضای مشتری نیاز مشتری را ارضا می­کند و کالاهای باقی مانده بر اساس یک نرخ بازگشت که وابسته به قیمت می­باشد توسط تولید کننده جمع­آوری شده و در انبار کالای برگشتیذخیره می­شود، در نهایت با دمونتاژ کالاهای برگشتی و خرید مواد خام ، مواد اولیه برای تولید به دست می­آید.

**2-2-مفروضات**

1- سیستم برای تولید و نگهداری یک کالا در افق زمانی نامحدود بررسی شده است.

2- یک تولیدکننده و چندین خرده فروش در یک زنجیره تأمین حلقه بسته در نظر گرفته شده است.

3- فرایند دارای یک سیکل تولید بوده و مواد اولیه تولید یا به صورت خام خریداری می­شوند و یا از دمونتاژ کالاهای فاسد شده برگشتی به­دست می­آید.

4- نرخ فاسد شدن ثابت در نظر گرفته شده و فاسد شدن به مرور زمان انجام می­شود.

5- نرخ تولید، دمونتاژ و تقاضا ثابت و قطعی فرض شده است.

6- کمبود مجاز نبوده و زمان تدارک صفر در نظر گرفته شده است.

خرده فروش 1

خرده فروش 2

**انبار ماده خام j ام (خرید)**

**انبار ماده j ام (برگشتی)**

**انبار کالای نهایی**

**...**

خرده فروش n

**انبار کالای برگشتی**

**شکل 1: جریان مواد، محصولات و کالای برگشتی در زنجیره تأمین حلقه بسته**

به منظور ارائه مدل ابتدا به بیان مفروضات و نمادها می­پردازیم:

**3-2- نمادها و شاخص­ها**

|  |  |
| --- | --- |
| i | شاخص نشاندهنده خرده فروشان |
| j | شاخص نشان دهنده مواد اولیه مورد نیاز |
|  | نرخ تولید کالای نهایی |
|  | نرخ دمونتاژ کالای بازگشتی |
|  | نرخ بازگشت کالای فاسد شده |
|  | نرخ فاسد شدن کالا در انبار خرده فروش i ام |
| β | نرخ فاسد شدن کالا برای تولیدکننده |
| λ | نرخ فاسد شدن در انبار محصولات برگشتی |
|  | نرخ فاسد شدن در انبار ماده اولیه نوع j بعد از دمونتاژ |
|  | نرخ فاسد شدن در انبار ماده خام نوع j |
|  | نرخ تقاضای کالای نهایی از خرده فروش i ام |
|  | قیمت فروش هر واحد محصول نهایی از تولید کننده به خرده فروش |
|  | قیمت فروش هر واحد کالای نهایی از خرده فروش به مشتری |
|  | قیمت خرید هر واحد کالای برگشتی توسط تولید کننده |
|  | قیمت خرید ماده خام j ام |
|  | قیمت فروش ماده اولیه j بعد از دمونتاژ |
| *n* | تعداد خرده فروش |
|  | تعداد دفعات خرید کالای برگشتی |
|  | تعداد دفعات به دست آمدن ماده نوع j از کالاهای بازگشتی (این تعداد برای همه مواد یکسان است) |
|  | تعداد دفعات خرید ماده خام j ام در هر سیکل |
|  | میزان دریافتی خرده فروش i ام در هر سیکل |
|  | میزان دریافت ماده خام j ام در هر بار خرید |
| *C* | زمان سیکل مشرک |
|  | نسبت استفاده شده از ماده خام نوع j ام در کالای نهایی |
|  | نسبت استفاده شده از ماده برگشتی نوع j ام در کالای نهایی |
|  | هزینه نگهداری هر واحد کالا در انبار خرده فروش i ام |
|  | هزینه نگهداری هر واحد کالا در انبار تولید کننده |
|  | هزینه نگهداری هر واحد کالا در انبار محصولات برگشتی |
|  | هزینه نگهداری هر واحد کالا در انبار ماده اولیه نوع j بعد از دمونتاژ |
|  | هزینه نگهداری هر واحد کالا در انبار ماده خام نوع j ام |
|  | هزینه فاسد شدن هر واحد کالا در انبار خرده فروش i ام |
|  | هزینه فاسد شدن هر واحد کالا در انبار تولید کننده |
|  | هزینه فاسد شدن هر واحد کالا در انبار محصولات برگشتی |
|  | هزینه فاسد شدن هر واحد کالا در انبار ماده اولیه نوع j بعد از دمونتاژ |
|  | هزینه فاسد شدن هر واحد کالا در انبار ماده خام نوع j ام |
|  | هزینه دمونتاژ هر واحد کالای برگشتی (هزینه متغیر دمونتاژ) |
|  | هزینه تولید هر واحد کالای نهایی (هزینه متغیر تولید) |
|  | هزینه سفارش­دهی برای خرده فروش i ام |
|  | هزینه سفارش­دهی ماده خام نوع j |
|  | هزینه سفارش­دهی محصولات برگشتی |
| *Sm* | هزینه Setupبرای تولید کننده |
| *Sr* | هزینه Setupبرای دمونتاژ  |
|  | سطح موجودی انبار خرده فروش i ام |
| *Ir* | سطح موجودی انبار کالای برگشتی |
|  | سطح موجودی انبار ماده برگشتی j ام |
| *IM* | سطح موجودی کالای نهایی |
|  | سطح موجودی ماده خام نوع j |

در ادامه به منظور مدلسازی ریاضی و یافتن سیاست­های بهینه بازپرسازی به تشریح مدل پرداخته می­شود:

**4-2-مدلسازی ریاضی**

**انبار محصول نهایی**

در t=0و در شرایطی که موجودی انبار صفر می­باشد عملیات تولید شروع می­شود و سطح موجودی انبار شروع به زیاد شدن می­کند. از طرفی با توجه به اینکه تولید واحد محصول نیاز به  *واحد زمان نیاز دارد، تولید محصول نهایی باید به گونه­ای برنامه­ریزی شود که تقاضای هر یک از خرده فروشان در زمان مناسب تحویل داده شود.* رابطه 1 بیانگر معادله تغییرات موجودی برای انبار محصول نهایی می­باشد.

|  |  |
| --- | --- |
| (1) |  |

با شرط اولیه .

بعد از حل معادله دیفرانسیل رابطه (1) میزان موجودی این انبار در زمان t از رابطه (2) به دست می­آید:

|  |  |
| --- | --- |
| (2) |  |

تابع هزینه برای انبار محصول نهایی شامل درآمد حاصل از فروش محصول به خرده فروش، هزینه Setup ، هزینه نگهداری، هزینه فاسد شدن و هزینه متغیر تولید می­باشد.

|  |  |
| --- | --- |
| (3) |  |

**انبار مربوط به خرده فروش i ام**

فرض شده است که خرده فروش i ام در هر سیکل میزان واحد از کالای نهایی سفارش می­دهد و در طول سیکل استفاده می­کند به گونه­ای که سطح موجودی در پایان زمان سیکل به صفر خواهد رسید. روابط (4) و (5) به ترتیب نشان­دهنده معادله تغییرات موجودیو میزان موجودی انبار خورده فروش i ام در زمان t می­باشد.

|  |  |
| --- | --- |
| (4) |  |
|  |  |
| (5) |  |

تابع هزینه خرده فروش i ام به صورت زیر به دست می­آید که به ترتیب شامل ، هزینه نگهداری، هزینه سفارش­دهی، هزینه خرید کالا از تولید کننده و هزینه فاسد شدن کالا می­باشد**:**

|  |  |
| --- | --- |
|  (6) |  |

**انبار کالای برگشتی**

از لحظه t=0 و در حالی که سطح موجودی انبار برابر صفر می­باشد برگشت مواد شروع شده و تا زمان ادامه می­یابد، ضمن اینکه همزمان با ورود کالای بازگشتی به انبار دمونتاژ آن­ها شروع می­شود که تا زمان ادامه خواهد داشت. به منظور جلوگیری از افزایش دائمی سطح موجودی در انبار ، تکرار بعدی در شروع خواهد شد. روند این انبار در طول یک سیکل بار تکرار می­شود. با توجه به شکل2مشخص است که نمودار مربوط به کالای برگشتی از دو قسمت مختلف در بازه­های () و () تشکیل شده است.

|  |  |
| --- | --- |
| (7) |  |
|  |  |
| (8) |  |
| (9) |  |
|  |  |
| (10) |  |

تابع هزینه برای انبار کالاهای برگشتی شامل هزینه سفارش­دهی، هزینه نگهداری، هزینه خرید کالای برگشتی و هزینه فاسد شدن می­باشد.

|  |  |
| --- | --- |
| (11) |  |

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**. . .**

**شکل2: نمودار موجودی مربوط به انبارهایخرده فروش ، تولیدکننده ،مواد خام ، مواد بازگشتی ماده اولیه مبنا بعد از دمونتاژو مواد اولیه غیر مبنا بعد از دمونتاژ**

**. . .**

**انبار مواد اولیه نوع j حاصل از دمونتاژ**

با توجه به اینکه دمونتاژ مواد از لحظه t=0 شروع می­شود پس ورود مواد اولیه حاصل از دمونتاژ نیز از زمان صفر شروع خواهد شد و در زمان که زمان پایان دمونتاژ هست خاتمه می­یابد. ضمن اینکه استفاده از این مواد در خط تولید از زمان صفر شروع شده و تا ادامه می­یابد. روند این انبارها در طول یک سیکل بار تکرار خواهد شد. از شکل 2 مشخص است که نمودار مربوط به انبار مواد اولیه نوع j نیز از دو قسمت در بازه­های () و () تشکیل شده است که معادلات تغییرات موجودی و میزان موجودی آن­ها در زمان t در زیر آورده شده است.

|  |  |
| --- | --- |
| (12) |  |
|  |  |
| (13) |  |
| (14) |  |
|  |  |
| (15) |  |

در رابطه (16) به تابع هزینه برای این انبار اشاره شده است که شامل، هزینه Setup، هزینه نگهداری، هزینه متغیر دمونتاژ، هزینه فاسد شدن کالا و درامد حاصل از فروش مواد دمونتاژ شده اضافی می­باشد.

|  |  |
| --- | --- |
| (16) |  |

که در رابطه (16)، مقدار موجودی در زمان بوده و می­باشد.

با توجه به نمودار ممکن است سطح موجودی ماده اولیه دمونتاژ شده در زمان مقداری غیر از صفر باشد که تولید کننده می­تواند مقادیر اضافی را با قیمت به فروش برساند. از این رو درامد حاصل از آن از تابع هزینه مربوط به این انبار کسر شده است.

**انبار مواد خام نوع j (خرید)**

فرض شده است که سطح موجودی ماده خام j ام در t=0 برابر با واحد بوده وتولیدکننده این مقدار از مواد خام را در واحد زمانی مصرف کند، از این رو سفارش باید به گونه­ای انجام پذیرد که در زمان میزان موجودی انبار برابر با باشد.این روند در طول سیکل بار تکرار خواهد شد.تغییرات و میزان موجودی در زمان t برای انبار مواد خام به ترتیب از طریق روابط (17) و (18) بدست می­آید.

|  |  |
| --- | --- |
| (17) |  |
|  |  |
| (18) |  |

تابع هزینه برای انبار ماده خام نوع j شامل هزینه سفارش­دهی، هزینه نگهداری، هزینه خرید و هزینه فاسد شدن می­باشد که به صورت رابطه (19) نشان داده شده است:

|  |  |
| --- | --- |
| (19) |  |

تابع هدف کلی از جمع توابع هزینه فوق به­دست می­آید که در پیوست 1 آورده شده است.

از طرفی با توجه به شکل2 مشخص است که ، با جایگذاری این عبارت در رابطه (5) خواهیم داشت:

|  |  |
| --- | --- |
| (20) |  |

همچنین با جایگذاری در رابطه (2) خواهیم داشت:

|  |  |
| --- | --- |
| *(21)* |  |

با مساوی قرار دادن روابط (20) و (21) مقدار بر حسبCبدست خواهد آمد:

با قرار دادن در رابطه (19) خواهیم داشت:

|  |  |
| --- | --- |
| (23) |  |

که در آن

|  |  |
| --- | --- |
| (24) |  |

از طرفی با توجه به شکل 2 خواهیم داشت:

|  |  |
| --- | --- |
| (25) |  |

در ادامه به بررسی پرداخته خواهد شد:

از مساوی قرار دادن روابط (13) و (15) در زمان مقدار به ازای هر یک از مواد اولیه به دست می­آید:

با توجه به شکل 2 و به دلیل متفاوت بودن مقادیر و برای مواد اولیه مختلف، مقادیر نیز متفاوت خواهد بود. ازاین­رو ماده اولیه­ای که دارای بیشترین مقدار می­باشد به عنوان مبنا انتخاب شده و دمونتاژ محصولات بازگشتی تا زمان ادامه می­یابد، ضمن این­که استفاده از مواد دمونتاژ شده در خط تولید تا زمان ادامه خواهد داشت، در نهایت و با توجه به نمودارهای و در شکل 2 مشخص است که سطح موجودی در زمان برای ماده اولیه مبنا مقدار صفر و برای مواد اولیه غیر مبنا مقداری بیشتر از صفر خواهد بود و همان­گونه که پیش­تر اشاره شد مقادیر باقی­مانده از مواد اولیه غیر مبنا در زمان به فروش می­رسد.

حال به منظور محاسبه مقدار ، دو رابطه (8) و (10) را در زمان برابر قرار می­دهیم:

از طرف دیگر واضح است که .

در نهایت پارامترهای C و و به عنوان پارامترهای مجهول مدل معرفی شده و بقیه پارامترها همان­گونه که بیان شد بر حسب این پارامترها به­ دست خواهند آمد.

هدف از مدل فوق حداقل کردن تابع هدف ارائه شده درپیوست 1 به ازای مقادیر مختلف Cو و می­باشد.

**3- الگوریتم حل**

همانطور که از معادله تابع هزینه در پیوست 1 مشاهده می شود، مدل، حداقل سازی غیرخطی عددصحیح بدون محدودیت است که در آن متغیر C پیوسته و متغیرهای و گسسته می باشند. با مقدار دهی این متغیرهای گسسته مدل تبدیل به حداقل سازی غیرخطی می شود که برای حل آن از الگوریتمجستجوی طلایی توسعه یافته استفاده شده است. با فرض اینکه و و با توجه به قابل شمارش بودن متغیرهای و برای به دست آوردن مقدار بهینه تابع هدف از الگوریتم جستجوی طلایی توسعه یافته به صورت زیر استفاده شده است:

گام 1:­

گام 2:

گام 3:

3-1 انتخاب بازه اولیه C با توجه به محدودیتهای (28) و (29)

|  |  |
| --- | --- |
| (28) |  |
| (29) |  |

و تعیین طول نهایی فاصله عدم قطعیت در الگوریتم

3-2 تعیین مقادیر بهینه به طوری که با استفاده از الگوریتم جستجوی طلاییو محاسبه تابع هزینه به ازای و مقادیر و تعیین شده در گام­های قبلی.

گام 4: اگر باشد قرار داده و برگشت به گام 3، در غیر این صورت رفتن به گام 5.

گام 5:اگر باشد قرار داده و برگشت به گام 2، در غیر این صورت رفتن به گام 6.

گام 6:انتخاب کمترین مقدار را به ازای و .

این الگوریتم توسط نرم افزار Matlab کد نویسی شده و مورد استفاده قرار گرفته است.

**4- مثال عددی**

جهت ارزیابی مدل، یک مثال عددی ارائه شده و سپس به منظور بررسی اثر تغییرات پارامترهای مختلف بر جواب از تحلیل حساسیت استفاده شده است. برای این منظور مثال عددی که توسط یانگ و همکاران [22] به کار رفته است با اندکی تغییرات مورد استفاده قرار گرفته است.

از این رو مثالی با سه خرده فروش و دو نوع ماده اولیه در نظر گرفته شده است، مقادیر دیگر پارامترها به صورت زیر می­باشد:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  | *n=3* |  |
|  |  |  |  |  |



**شکل 3: منحنی تغییرات هزینه بر حسب C به ازای و و در روش عددی**

منحنی تغییرات هزینه بر حسب C به ازای مقادیر بهینه و در شکل 3 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود تابع هزینه بر حسب C محدب می باشد که مقدار و می باشد. در ادامه،جداول1 الی 10تأثیر تغییر در عوامل نرخ فاسد شدن، هزینه نگهداری، هزینه فاسد شدن، هزینه دمونتاژ هر واحد، هزینه تولید هر واحد، قیمت خرید مواد خام، قیمت خرید مواد بازگشتی، نرخ تولید، نرخ بازگشت و نرخ دمونتاژ را بر هزینه کل نشان می­دهند.

|  |
| --- |
| **جدول1 :تحلیل حساسیت با توجه به نرخ فاسد شدن** |
| **پارامتر** | () |  |  |  |  |  |
| () | 3.0716 | 2.0163 | 2.0422 | 3 | 2 | 1 |
| ()2 | 3.236 | 1.4403 | 1.4613 | 3 | 2 | 1 |
| ()3 | 3.3677 | 1.1749 | 1.1975 | 3 | 2 | 1 |
| ()4 | 3.4815 | 0.9322 | 0.9597 | 2 | 1 | 1 |
| ()5 | 3.5823 | 0.8254 | 0.8474 | 2 | 1 | 1 |

|  |
| --- |
| **جدول2 : تحلیل حساسیت با توجه به هزینه نگهداری** |
| **پارامتر** | () |  |  |  |  |  |
| () | 3.0716 | 2.0163 | 2.0422 | 3 | 2 | 1 |
| ()2 | 3.1025 | 1.8803 | 1.9063 | 3 | 2 | 1 |
| ()3 | 3.1315 | 1.7703 | 1.7962 | 3 | 2 | 1 |
| ()4 | 3.1588 | 1.6862 | 1.7122 | 3 | 2 | 1 |
| ()5 | 3.1842 | 1.6763 | 1.7023 | 3 | 3 | 1 |

|  |
| --- |
| **جدول 3: تحلیل حساسیت با توجه به هزینه فاسد شدن** |
| **پارامتر** | () |  |  |  |  |  |
| () | 3.0716 | 2.0163 | 2.0422 | 3 | 2 | 1 |
| ()2 | 3.0916 | 1.9903 | 2.0163 | 3 | 2 | 1 |
| ()3 | 3.1004 | 1.9582 | 1.9842 | 3 | 2 | 1 |
| ()4 | 3.115 | 1.9323 | 1.9582 | 3 | 2 | 1 |
| ()5 | 3.1285 | 1.9063 | 1.9322 | 3 | 2 | 1 |

|  |
| --- |
| **جدول4 : تحلیل حساسیت با توجه به هزینه دمونتاژ هر واحد** |
| **پارامتر** | () |  |  |  |  |  |
| 10 | 3.0716 | 2.0163 | 2.0422 | 3 | 2 | 1 |
| 20 | 3.1794 | 1.8902 | 1.9162 | 3 | 2 | 1 |
| 30 | 3.2302 | 1.8902 | 1.9162 | 3 | 2 | 1 |
| 40 | 3.2811 | 1.8803 | 1.9063 | 3 | 2 | 1 |
| 50 | 3.3319 | 1.8643 | 1.8902 | 3 | 2 | 1 |

|  |
| --- |
| **جدول 5: تحلیل حساسیت با توجه به هزینه تولید هر واحد** |
| **پارامتر** | () |  |  |  |  |  |
| 20 | 3.0716 | 2.0163 | 2.0422 | 3 | 2 | 1 |
| 40 | 3.1708 | 1.9063 | 1.9322 | 3 | 2 | 1 |
| 60 | 3.213 | 1.8902 | 1.9162 | 3 | 2 | 1 |
| 80 | 3.2552 | 1.8803 | 1.9063 | 3 | 2 | 1 |
| 100 | 3.2974 | 1.8803 | 1.9063 | 3 | 2 | 1 |

|  |
| --- |
| **جدول 6: تحلیل حساسیت با توجه به قیمت مواد خام** |
| **پارامتر** | () |  |  |  |  |  |
| 400,410 | 3.0716 | 2.0163 | 2.0422 | 3 | 2 | 1 |
| 500,510 | 3.7641 | 1.7703 | 1.7962 | 3 | 2 | 1 |
| 600,610 | 4.3973 | 1.6603 | 1.6862 | 3 | 2 | 1 |
| 700,710 | 5.0284 | 1.5762 | 1.6022 | 3 | 2 | 1 |
| 800,810 | 5.6579 | 1.4921 | 1.518 | 3 | 2 | 1 |
| **جدول7 : تحلیل حساسیت با توجه به قیمت خرید مواد بازگشتی** |
| **پارامتر** | () |  |  |  |  |  |
| 90 | 3.0716 | 2.0163 | 2.0422 | 3 | 2 | 1 |
| 180 | 3.2437 | 1.8803 | 1.9063 | 3 | 2 | 1 |
| 270 | 3.3588 | 1.8543 | 1.8803 | 3 | 2 | 1 |
| 360 | 3.4738 | 1.8222 | 1.8482 | 3 | 2 | 1 |
| 450 | 3.5887 | 1.7962 | 1.8222 | 3 | 2 | 1 |
| **جدول8 : تحلیل حساسیت با توجه به نرخ تولید** |
| **پارامتر** | () |  |  |  |  |  |
| 9000 | 3.0716 | 2.0163 | 2.0422 | 3 | 2 | 1 |
| 10000 | 3.0631 | 2.0524 | 2.0816 | 3 | 2 | 1 |
| 12000 | 3.0497 | 2.08 | 2.1015 | 2 | 2 | 1 |
| 15000 | 3.0356 | 2.1511 | 2.1768 | 2 | 2 | 1 |
| 20000 | 3.0193 | 2.1551 | 2.1855 | 2 | 1 | 1 |

|  |
| --- |
| **جدول9 : تحلیل حساسیت با توجه به نرخ دمونتاژ \*** |
| **پارامتر** | () |  |  |  |  |  |
| 3000 | 3.1313 | 1.8902 | 1.9162 | 3 | 2 | 1 |
| 4000 | 3.1328 | 1.8902 | 1.9162 | 3 | 2 | 1 |
| 5000 | 3.1338 | 1.8902 | 1.9162 | 3 | 2 | 1 |
| 6000 | 3.1344 | 1.8803 | 1.9163 | 3 | 2 | 1 |
| 7000 | 3.1349 | 1.8803 | 1.9063 | 3 | 2 | 1 |
| **\***: جدول فوق به ازای  *می­باشد.* |

|  |
| --- |
| **جدول 10 : تحلیل حساسیت با توجه به نرخ بازگشت** |
| **پارامتر** | () |  |  |  |  |  |
| 4000 | 3.0716 | 2.0163 | 2.0422 | 3 | 2 | 1 |
| 5000 | 3.1298 | 1.9063 | 1.9322 | 3 | 2 | 1 |
| 6000 | 3.1307 | 1.9063 | 1.9322 | 3 | 2 | 1 |
| 7000 | 3.1313 | 1.8902 | 1.9162 | 3 | 2 | 1 |
| 8000 | 3.1318 | 1.8902 | 1.9162 | 3 | 2 | 1 |

* از جدول2 مشخص است که با افزایشنرخ فاسد شدن در انبارهای مختلف، هزینه کل افزایش می­یابد که دلیل آن فاسد شدن بیشتر مواد و محصولات می­باشد. همچنین با افزایش نرخ فساد پذیری، مقادیر C و کاهش می­یابد.
* جداول 3و 4 نشان می­دهند که با افزایش هزینه­های نگهداری و فاسد شدن هر واحد، هزینه کل افزایش یافته و زمان سیکل کاهش می­یابد. ضمن اینکه افزایش هزیه­های نگهداری و فاسد شدن تاثیر چندانی روی و ندارد.
* بررسی جداول 5 و6 نشان می­دهد که به ازای افزایش و ، هزینه کل سیستم افزایش می­یابد، البته افزایش در هزینه به ازای با شیب بیشتری نسبت به انجام می­گردد از این رو باید توجه بیشتری به فرایند دمونتاژ صورت گیرد.
* از مقایسه جداول 7 و 8 نیز می­توان به این نتیجه رسید که تأثیر افزایش قیمت مواد خام بر هزینه کل بسیار بیشتر از افزایش قیمت مواد بازگشتی می­باشد بنابراین به وضوح روشن است که هر چه هزینه خرید مواد اولیه بیشتر شود، استفاده از مواد بازگشتی در مقایسه با خرید مواد خام به صرفه تر خواهد بود.
* از جدول 9 مشخص است که افزایش نرخ تولید باعث کاهش هزینه کل و افزایش زمان سیکل می­گردد ضمن اینکه و با افزایش نرخ تولید، کاهش می­یابند.
* جداول 10 و 11 نشان می­دهند که با افزایش نرخ­های بازگشت مواد و دمونتاژ، هزینه سیستم افزایش می­یابد. با توجه به ثابت بودن نرخ تولید در این دو جدول مشخص است که افزایش نرخ بازگشت مواد و نرخ دمونتاژ باعث اعمال هزینه­های اضافی به مدل خواهد شد.

**5-نتیجه گیری**

در این مقاله به بررسی سیستم کنترل موجودی کالای فاسد شدنی در یک زنجیره تأمین حلقه بسته شامل یک تولید کننده و چندین خرده فروش پرداخته شده است. پنج انبار مواد خام، محصول نهایی، خرده فروش، کالای بازگشتی و مواد اولیه حاصل از دمونتاژ اقلام بازگشتی در نظر گرفته شده و تابع هزینه هر یک از انبارها به صورت جداگانه محاسبه شده است، درنهایت تابع هزینه کلی از جمع هزینه تمام انبارها محاسبه می­گردد.

با توجه به غیر خطی بودن تابع هدف، الگوریتم جستجوی طلایی به منظور به دست آوردن کمترین هزینه مورد استفاده قرار گرفت. در انتها با استفاده از مثال عددی و تحلیل حساسیت روی پارامترهای مختلف به تشریح مدل و نتایج آن پرداخته شد. همانگونه که پیش­تر اشاره شد تابع هزینه ارائه شده نسبت به پارامترهای قیمت مواد خام، قیمت خرید مواد بازگشتی و نرخ فاسد شدن حساسیت زیادی داشته و باید در تخمین این پارامترها دقت بیشتری اعمال گردد. ضمن اینکه با توجه به تأثیر بیشتر قیمت خرید مواد خام نسبت به قیمت خرید کالای بازگشتی روی هزینه کلی، بازگشت محصولات و استفاده مجدد از آن­ها در تولید توصیه می­شود.به منظور واقعی­تر وکاربردی­تر کردن مدل می­توان شرایطی را در مدل اعمال کرد که در ادامه برخی از آن­ها به عنوان زمینه­های کار در آینده معرفی خواهند شد.

* به کارگیری انواع مختلف تقاضا مانند تقاضای وابسته به قیمت، تقاضای وابسته به سطح موجودی و غیره در مدل.
* حل مدل با فرض مجاز بودن کمبود.
* استفاده از مدل­های تخفیف بر قیمت.

**مراجع**

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | جولای، فریبرز، ربانی، مسعود، هنرور، محبوبه. « مدل کنترل موجودی مرور دایم برای اقلام فاسد شدنی در حالت بدون کمبود با تقاضای احتمالی و امکان تسریع در سفارش»، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، جلد 40، شماره 4، صفحه 494-487، 1385. |
| [2] | نخعی، عیسی، مهیمی، رضا. « قیمت­گذاری و کنترل موجودی به صورت توام برای کالایهای فاسدشدنی با در نظر گرفتن هزینه کمبود به صورت پس­افت پاره­ای»، نشریه بین­المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد 21، شماره 4، صفحه 177-168، 1389. |
| Ghare, P.M., Schrader, G.H., "*A Model for an Exponentially Decaying Inventory*", Journal ofIndustrial Engineering, Vol. 14, 1963, pp. 238–243. | [3] |
| Raafat, F., "*Survey of literature on continuously deteriorating inventory model*", Journal of the Operational Research, Vol. 42, 1991, pp. 27-37. | [4] |
| Goyal, S.K., Giri, B.C., *"Recent trends in modeling of deteriorating inventory*", European Journal of Operational Research, Vol. 134, 2001, pp. 1-16. | [5] |
| Li, R., Lan, H., Mawhinney, J.R., *"A review on deteriorating inventory study*", Journal of Service Science and Management, Vol. 3, 2010, pp. 117-129. | [6] |
| He, Y., Wang, SH. Y., Lai, K., "*An optimal production-inventory model for deteriorating items with multiple-market demand*", European Journal of Operational Research, Vol.203 ,2010, pp. 593–600. | [7] |
| Lee, Y. P., Dye, CH. Y., "*An inventory model for deteriorating items under stock-dependent demand and controllable deterioration rate*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 63, 2012, pp. 474-482. | [8] |
| Musa, A., Sani, B., *"Inventory ordering policies of delayed deteriorating items under permissible delay in payments*", International Journal of Production Economics, Vol. 136, 2012, pp. 75-83. | [9] |
| Wee, H.M., Jong, J.F., "*An integrated multi-lot-size production inventory model for deteriorating items*", Management and Systems, Vol. 5, 1998, pp. 97–114. | [10] |
| Shah, Y. K., Jiaswal, M. C., "*A periodic review inventory model for items that deteriorate continuously in time*", International Journal Production Research*,* Vol. 15, 1977, pp. 179-190. | [11] |
| Sicilia, J, Rosa, M. G., Acosta, J. F., Pablo, D. L., "*An inventory model for deteriorating items with shortages and time-varying demand*", International Journal of Production Economics, In Press, 2014. | [12] |
| Maihami R, Nakhai Kamalabadi I., "*Joint pricing and inventory control for noninstantaneous deteriorating items with partial backlogging and time and price dependent demand*", International Journal of ProductionEconomics, Vol.136, 2012, pp. 116–22. | [13] |
| Yan, C., Banerjee, A., Yang, L., "*An integrated production–distribution model for a deteriorating inventory item*", International Journal of ProductionEconomics, Vol. 133, 2011. pp. 228–232. | [14] |
| Adel, A., A., "*Theory and methodology on the global optimal solution to a General Reverse Logistics Inventory Model for deteriorating items and time-varying rates*", Computers & Industrial Engineering, Vol.60, 2011, pp. 236-247. | [15] |
| Sajadieh, M. S., Akbari Jokar, M. R., "*Optimizing shipment, ordering and pricing policies in a two-stage supply chain with price-sensitive demand*". Transportation Research Part E, Vol.45, 2009, pp. 564–571. | [16] |
| Cardenas-Barron, L.E., Teng, J. T., Trevino-Garza, G., Wee, H. M., Lou, K. R., "*An improved algorithm and solution on an integrated production-inventory model in a three-layer supply chain*", International Journal of Production Economics, Vol. 136, 2012, pp. 384–388. | [17] |
| Wang, K. J., Lin, Y. S., Yu, J. C. P., "*Optimizing inventory policy for products with time-sensitive deteriorating rates in a multi-echelon supply chain*", International Journal of Production Economics, Vol. 130, 2011, pp. 66-76. | [18] |
| Zanoni, S., Zavanella, L., "*Single-vendor single-buyer with integrated transport-inventor system: Models and heuristics in the case of perishable goods*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 52, 2007, pp. 107–123. | [19] |
| Wee, H.M., Lee, M.C., Yu, J., Wang, C.E., "*Optimal replenishment policy for a deteriorating green product: life cycle costing analysis*", International Journal of Production Economics, Vol. 133, 2011, pp.603–611. | [20] |
| Chung, C.J., Wee, H.M., "*Short life-cycle deteriorating product remanufacturing in a green supply chain inventory control system*". International Journal of Production Economics, Vol. 129, 2011, pp. 195–203. | [21] |
| Yang, P. C., Chung, S. L., Wee, H. M., Zahara, E., Peng, C. Y., "*Collaboration for a closed-loop deteriorating inventory supply chain with multi-retailer and price-sensitive demand*", International Journal of Production Economics, Vol. 143, 2013, pp. 557–566. | [22] |
| Chung, SH. L., Wee, H. M., Yang, P. CH., "*Optimal policy for a closed-loop supply chain inventory system with remanufacturing*", Mathematical and Computer Modeling, Vol. 48, 2008, pp. 867–881. | [23] |

**پیوست 1**

تابع هزینه کلی که حاصل جمع توابع هزینه همه انبارها می­باشد به صورت زیر تعریف می­شود: