Archive of SID

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال هفتم، شماره چهاردهم، بهار و تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۲۹-۴۵

www.ier.basu.ac.ir

ISSN: 2345-2269

DOI: 10.22084/ier.2019.18647.1830

شبیه‌سازی مسئله کنترل موجودی با هزینه سفارش‌دهی متغیر به کمک پویایی سیستم‌ها

عبداله شریفی[۱]، عبدالله آقایی[۲*]، دنیا رحمانی[۳]

۱. دانشجوی دکترا مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. استاد گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۷/۱۲/۱۸

پذیرش ۱۳۹۸/۵/۲۳

کلمات کلیدی:

شبیه‌سازی کنترل موجودی

فسادپذیر

پویایی‌های سیستم

هزینه سفارش‌دهی متغیر

غیرمحدب

خلاصه

وابستگی هزینه‌ی سفارش‌دهی محصول به اندازه سفارش یکی از فرضیات کاربردی و کمتر مورد بررسی قرار گرفته در ادبیات مربوط به مدل مقدار سفارش اقتصادی است. این فرض باعث غیرمحدب شدن تابع هدف و پیچیدگی مدل مسئله می‌شود. همچنین کنترل موجودی محصولاتی که در طی زمان امکان از مد افتادن یا فاسد شدن آن‌ها وجود دارد، بسیار مهم است. در این راستا، شبیه‌سازی مسئله‌ی کنترل موجودی محصولات فسادپذیر با تقاضای تصادفی و وابسته به زمان و قیمت فروش محصول، در نظر گرفته شده است. همچنین وابستگی هزینه سفارش‌دهی به اندازه سفارش و وابستگی هزینه نگهداری به سطح موجودی که از فرضیات کاربردی و عملیاتی در دنیای تجارت هستند نیز در نظر گرفته شده‌اند که مجموعاً باعث می‌شوند از روش‌های معمول ریاضیاتی قادر به حل مسئله نباشیم. برای مدل‌سازی و حل مسئله از روش پویایی‌های سیستم به عنوان یک روش قدرتمند، انعطاف‌پذیر و کاربردی استفاده شده است. یک مثال عددی نیز برای درک بهتر نحوه عملکرد شبیه‌سازی مدل، ارائه شده است و به کمک بهینه‌سازی مقادیر ورودی (نقطه سفارش مجدد و مقدار سفارش)، مقادیر بهینه تابع هدف (میانگین خالص هزینه‌ها) به دست آمده است. نتایج نشان می‌دهند که خط‌مشی پرکردن موجودی پیشنهادی می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های لازم برای مدیریت و کنترل موجودی محصولات فسادپذیر مفید واقع شود.

۱- مقدمه

پژوهشگران زیادی در طی تاریخ سعی در مدل‌سازی و حل مسائل کنترل موجودی کرده‌اند. مدل مقدار سفارش اقتصادی که اولین بار توسط هریس [۱] ارائه شد، یکی از اولین تلاش‌ها برای استفاده از مدل‌سازی ریاضی جهت کمک به مدیران در تصمیم‌گیری‌های روزمره آن‌ها بوده است. هدف این مدل تعیین مقدار بهینه سفارش کالا به نحوی بوده است که هزینه کل سیستم را حداقل سازد. فرضیات پایه‌ای این مدل به شرح زیر است:

- میزان تقاضای سالانه برای کالا مشخص و ثابت است.
- هزینه خرید هر قلم کالا معلوم و در طی مدت‌زمان برنامه‌ریزی ثابت است.
- مدت‌زمان تحویل کالای سفارش داده شده معلوم و ثابت است.
- هزینه سفارش‌دهی کالا معلوم و ثابت است.
- هزینه سالانه نگهداری هر قلم کالا معلوم و ثابت است.
- هیچ محدودیتی در ظرفیت انبارش، سفارش‌دهی یا مسائل مالی وجود ندارد.
- کمبود کالا مجاز نمی‌باشد.

* نویسنده مسئول: عبدالله آقایی

تلفن: ۰۲۱-۸۴۰۶۳۳۶۳؛ پست الکترونیکی: AAghaie@kntu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

فرضیات پایه‌ای مدل مقدار سفارش اقتصادی در زمان خود مناسب و توجیه‌پذیر بوده‌اند، اما از آن زمان تا به حال پژوهشگران بسیاری سعی در کاربردی‌تر کردن فرضیات و تطبیق آن‌ها با نیازهای دنیای تجاری حال حاضر کرده‌اند. در این راستا بسیاری از فرضیات تغییر کرده و مدل‌هایی با فرضیاتی همچون: ارائه تخفیف در قیمت خرید، کمبود مجاز، سفارش ازدست‌رفته، تقاضای غیرقطعی و ... به وجود آمده است.

یکی از فرضیات پایه‌ای که در ادبیات تحقیق به آن کمتر پرداخته شده است، ثابت و مستقل بودن هزینه سفارش‌دهی کالا از اندازه سفارش است. در عمل و در برخی از مواقع این فرض درست نمی‌باشد. در عمل هزینه سفارش‌دهی وابسته به هزینه حمل، هزینه صدور مجوز برای تهیه کالا و هزینه آماده‌سازی ماشین‌آلات تولید کالا توسط تأمین‌کننده است. گوپتا و گوپتا در پژوهشی که منتشر نشده، برای اولین بار هزینه سفارش‌دهی کالا را به صورت یک تابع صعودی پیوسته و وابسته به اندازه سفارش در نظر گرفتند [۲]. پژوهشگران دیگری نیز مثل حریری و ابوالعطا [۳]، ابوالعطا و همکاران [۲]، کتبی و فرگانی [۴] و الوکیل [۵] نیز فرض وابسته بودن هزینه سفارش‌دهی به اندازه سفارش را در نظر گرفته‌اند.

از آنجایی که فرض وابستگی هزینه سفارش‌دهی به اندازه سفارش، آن طوری که باید در ادبیات تحقیق مورد مطالعه قرار نگرفته است، در این مقاله به بررسی مدل‌سازی مسئله کنترل موجودی در حالت متغیر بودن هزینه سفارش‌دهی و وابستگی آن به اندازه سفارش پرداخته شده است. در قسمت دوم، ادبیات تحقیق مربوطه آورده شده و مدل‌سازی ریاضی مسئله مذکور در قسمت سوم ذکر شده است. در قسمت چهارم، جهت نزدیک‌تر شدن فرضیات مسئله مذکور به واقعیت، فرضیات دیگری نیز به مدل اضافه شده و برای مدل‌سازی آن از شبیه‌سازی به کمک پویایی‌های سیستم استفاده شده است. در قسمت انتهایی نیز نتیجه‌گیری پژوهش حاضر و پیشنهاد تحقیقات آینده ذکر شده است.

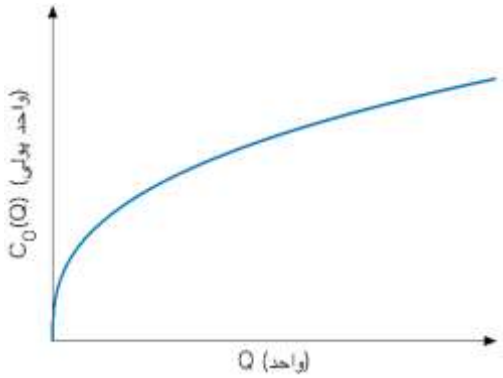
۲- مرور ادبیات تحقیق

در این مقاله مسئله کنترل موجودی به عنوان یکی از پرکاربردترین حوزه‌های کاربردی مهندسی صنایع در دنیای واقعی بررسی شده است. در ادامه به مرور ادبیات تحقیق مربوط به هزینه سفارش‌دهی متغیر، کاربرد تابع هدف غیرمحدب در کنترل موجودی، مسائل کنترل موجودی محصولات فسادپذیر و کاربرد شبیه‌سازی به کمک پویایی‌های سیستم در مسائل کنترل موجودی پرداخته شده است.

اولین پژوهش به چاپ رسیده شده در مورد وابسته بودن هزینه سفارش‌دهی محصولات به اندازه سفارش، پژوهش حریری و ابوالعطا [۳] است که مدل ارائه شده توسط گوپتا و گوپتا را گسترش داده‌اند تا خط‌مشی یک سیستم کنترل موجودی چند محصولی را که هزینه سفارش‌دهی آن یک تابع پیوسته از اندازه سفارش است را تعیین کنند. آن‌ها هزینه کل سیستم موجودی برای تمامی محصولات را به صورت محدود در نظر گرفته و ذکر کردند که تابع هزینه پیشنهادی آن‌ها در شرایط دنیای واقعی می‌تواند به خوبی عمل کند و کاربردی باشد. تابع پیشنهادی آن‌ها برای هزینه سفارش‌دهی در فرمول (۱) ذکر شده است.

$$C_O(Q) = C_0 Q^b \qquad C_0 \geq 0\,, 0 \leq b < 1 \qquad (۱)$$

در این فرمول $C_O(Q)$ هزینه سفارش‌دهی وابسته به اندازه سفارش (Q) بوده و مقادیر b و C_0 را می‌توان به کمک دو نقطه از هزینه سفارش‌دهی در عمل برآورد کرد. همچنین آن‌ها ذکر کردند که اگر $b = 0$ باشد، $C_O(Q) = C_0$ می‌شود که همان هزینه سفارش‌دهی ثابت (فرض پایه‌ای مدل مقدار سفارش اقتصادی) است. در شکل ۱ هزینه سفارش‌دهی برای $0 < b < 1$ نشان داده شده است [۳].



شکل (۱): تابع هزینه سفارش‌دهی $(0 < b < 1)$ [۳]

در پژوهشی دیگر ابوالعطا و همکاران [۲] به بررسی یک مسئله کنترل موجودی احتمالی با دو محدودیت: الف) محدود و ثابت بودن حداکثر سطح موجودی و ب) وابستگی هزینه سفارش‌دهی به اندازه سفارش پرداخته‌اند. آن‌ها از نگرش برنامه‌ریزی هندسی برای به دست آوردن جواب بهینه استفاده کرده‌اند و همچنین هیچ‌گونه کمبود در کالا را نیز در مدل خود در نظر نگرفته‌اند.

فرگانی و الوکیل [۷،۶] در دو پژوهش مختلف به بررسی مسئله فروش ازدست‌رفته در مدل کنترل موجودی احتمالی با توزیع نرمال و پیوسته پرداخته‌اند. در هر دو پژوهش هزینه سفارش‌دهی را نیز متغیر در نظر گرفته‌اند. الوکیل [۵] مسئله کنترل موجودی با سفارش عقب‌افتاده محدود را به همراه هزینه سفارش‌دهی متغیر در نظر گرفته است. او تقاضا و مدت‌زمان تحویل کالا را به صورت توزیع یکنواخت در نظر گرفته و سعی در حداقل کردن هزینه کل سالانه مورد انتظار، تحت محدودیت هزینه نگهداری کرده است.

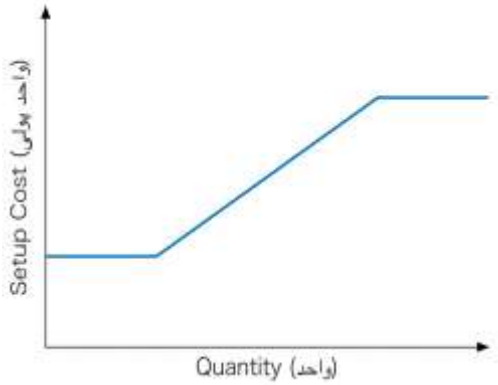
نکته قابل‌توجه در مورد تمامی پژوهش‌های ذکر شده تا به حال این است که تمامی آن‌ها از تابع هزینه سفارش‌دهی وابسته به اندازه سفارش ارائه شده در فرمول ۱ استفاده کرده‌اند و این تابع در تمامی این پژوهش‌ها یکسان است؛ اما این تابع یک محدودیت اساسی دارد. در صورت افزایش اندازه سفارش به مقدار زیاد، هزینه سفارش‌دهی آن نیز به طور قابل‌ملاحظه‌ای زیاد می‌شود. در صورتی که در عمل، سقف معلومی برای هزینه سفارش‌دهی وجود دارد و این هزینه نمی‌تواند به بی‌نهایت میل کند. این محدودیت در قسمت ۳-۳ توضیح داده شده است و در این مقاله برطرف گردیده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

در کتاب راهنمای مسائل موجودی مقدار سفارش اقتصادی، نوشته شده توسط چوی [۸] تابع هزینه سفارش‌دهی را به صورت عمومی در نظر گرفته‌اند که نشان‌دهنده مقیاس‌های اقتصادی و تأثیر آن‌ها در این هزینه است و تأثیر آن را بر روی انواع مدل‌های مقدار سفارش اقتصادی بررسی کرده‌اند. او این تابع را از دید مقعر یا محدب بودن بررسی کرده و به بیش از ۲۰ پژوهش مرتبط که از این نوع توابع هزینه سفارش‌دهی استفاده کردند، رجوع داده است. همچنین ذکر کرده است که توابع هزینه سفارش‌دهی و هزینه نگهداری در حالت عمومی می‌تواند باعث غیرمحدب شدن مسئله شوند.

مندوزا و ونچورا [۹] در پژوهش خود به یک سیستم موجودی زنجیره‌ای پرداختند که هدف آن انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص اندازه سفارش به آن‌ها است. آن‌ها در مدل موجودی خود به جای هزینه سفارش‌دهی، از معادل آن در مدل‌های تولیدی یعنی هزینه تنظیم دستگاه استفاده کرده‌اند که این هزینه وابسته به اندازه سفارش بوده است. به طور مشابه، ماتسویاما [۱۰] نیز یک مدل اندازه سفارش اقتصادی را تغییر داده است تا وجود تخفیف در قیمت خرید و هزینه صعودی تنظیم دستگاه را در آن در نظر بگیرد. تابع هزینه در نظر گرفته شده در پژوهش او در شکل ۲ آورده شده است.



شکل (۲): تابع هزینه صعودی تنظیم دستگاه [۱۰]

در ارتباط با وقوع تابع هدف غیرمحدب در برخی از مسائل کنترل موجودی نیز می‌توان پژوهش‌های مختلفی را در این زمینه یافت. برای مثال می‌توان به پژوهش تینگ و همکاران [۱۱] اشاره نمود که در آن یک سیستم موجودی (r, Q) را با هزینه ثابت کمبود در نظر گرفته و اثبات کردند که تابع هزینه کل مسئله در حالت عمومی غیرمحدب است. آن‌ها یک مثال عددی را نیز برای نشان دادن غیرمحدب بودن تابع هدف خود ارائه کرده‌اند.

چانگ و همکاران [۱۲] یک فرایند حل کامل ریاضی را برای یافتن مقادیر بهینه مدل‌های کنترل موجودی با تقاضای ثابت و قطعی که اندازه سفارش آن‌ها وابسته به میزان اعتبار خریدار است را ارائه کرده‌اند و در آن غیرمحدب بودن تابع هزینه مدل خود را نیز به اثبات رسانده‌اند. لاگادیموس و همکاران [۱۳] نیز مدل اندازه سفارش اقتصادی در حالت گسسته بودن زمان را در نظر گرفته‌اند و به این نتیجه رسیدند که مسئله بهینه‌سازی عدد صحیح دو بعدی به دست آمده از نوع غیرمحدب است.

پژوهش‌های دیگری مانند [۱۸-۱۴] و کتاب سیستم‌های موجودی فسادپذیر [۱۹] همگی انواع مختلفی از توابع هزینه غیرمحدب را در مدل‌های مختلف موجودی و مسائل قیمت‌گذاری مورد بررسی قرار داده‌اند.

در ارتباط با مسائل کنترل موجودی محصولات فسادپذیر نیز می‌توان به پژوهش‌های مختلفی اشاره نمود. اولین بار توسعه مدل کنترل موجودی برای محصولات زوال‌پذیر (فسادپذیر) توسط ابراموویتز [۲۰] در صنعت مد و پوشاک انجام شده است که در آن سطح محصولات در انتهای دوره فروش در نظر گرفته شده است. بعد از او، قار [۲۱] مصرف محصولات زوال‌پذیر را به کمک تابع نمایی منفی زمان در نظر گرفته است. روند انجام پژوهش بر روی این حوزه علم تابه‌حال ادامه داشته است و جدیدترین پژوهش‌های انجام شده اثرات قیمت، میزان تازگی محصول و سطح موجودی با یکدیگر ترکیب شده‌اند تا تابع تقاضا ساخته شود و هدف مورد نظر نیز حداکثر کردن تابع سود بوده است [۲۲].

ون دانسلار و همکاران [۲۳] مسئله کنترل موجودی محصولات فسادپذیر را در سوپرمارکت‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها از داده‌های آماری دو سوپرمارکت زنجیره‌ای در هلند استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که مشهودترین و معنی‌دارترین اختلاف آماری بین محصولات فسادپذیر (با طول عمر قفسه‌ای کمتر از ۳۰ روز) و محصولات فسادناپذیر وجود دارد که این خصوصیات باعث به وجود آمدن نیاز به استفاده از خط‌مشی‌های مختلف کنترل موجودی برای هر کدام از این نوع محصولات می‌شود. به طور میانگین، محصولات فسادپذیر از فروش بالاتر، تعداد کمتر در هر بسته، وابستگی کمتری به روزهای هفته، پتانسیل کمتری برای تعداد دفعات تحویل و میانگین حداقل موجودی پایین‌تری را دارا می‌باشند.

دوآن و لیاو [۲۴] یک خط‌مشی مبتنی بر طول عمر محصول را برای مدیریت موجودی در زنجیره‌تأمین‌ای که در آن محصولات با سطح فسادپذیری بالایی وجود دارند را ارائه کرده‌اند. آن‌ها پلاکت خون (با طول عمر کم ۵ روز) را به عنوان محصول فسادپذیر در نظر گرفتند که هدف آن‌ها حداقل‌سازی نرخ محصولات فاسد شده در سیستم بوده است و همچنین فرض کردند که حداکثر سطح کمبود مجاز برای محصول از قبل مشخص و معلوم می‌باشد. برای حل مسئله نیز از یک روش هیوریستیک ابداعی توسط خود آن‌ها استفاده شده است.

اکبری و همکاران [۲۵] کنترل موجودی برای یک فروشنده را در زنجیره‌تأمین محصولات فسادپذیر و با در نظر گرفتن تخفیف در قیمت را ارائه داده‌اند. آن‌ها یک زنجیره‌تأمین دو سطحی با یک تأمین‌کننده (فروشنده) و چندین خرده‌فروش را در نظر گرفته و تخفیف در قیمت محصول را بعد از زمان خاصی (در صورت فروش نرفتن تا زمان خاص) برای تحریک تقاضا در مدل خود در نظر گرفتند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی را با تابع هدف حداقل‌سازی هزینه کل زنجیره‌تأمین در نظر گرفته و از ترکیب الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ذرات برای حل آن استفاده کرده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

سرکر و همکاران [۲۶] مدلی را توسعه دادند که خط‌مشی سفارش بهینه محصولات را برای مواد فسادپذیر ارائه می‌کند. آن‌ها با در نظر گرفتن نرخ تورم، اجازه تأخیر در پرداخت پول محصول خریداری شده و مجاز بودن کمبود، مسئله خود را مدل کرده و به این نتیجه رسیدند که چرخه زمانی موجودی و میزان سفارش کالا دارای الگوی غیرمحدب، مرتبط با نرخ تورم است.

چن و همکاران [۲۷] مسئله کنترل موجودی و قیمت‌گذاری را با هم ترکیب کرده و آن را برای محصولات فسادپذیر با طول عمر قفسه‌ای ثابت و تقاضای وابسته به قیمت مدل‌سازی کردند. هدف آن‌ها حداکثر کردن سود به وسیله تعیین قیمت بهینه و خط‌مشی مصرف محصول بوده است.

چن و همکاران [۲۸] زنجیره‌تأمین مواد غذایی را با در نظر گرفتن تقاضای اتفاقی و با هدف حداقل ساختن هزینه کل زنجیره‌تأمین در افق زمانی محدود را در نظر گرفته‌اند. آن‌ها به دلیل روابط غیرخطی موجود در مسئله و نیروهای پویای موجود در مدل از پویایی‌های سیستم برای شبیه‌سازی مدل استفاده کرده‌اند تا مقدار بهینه و مدت‌زمان بین دو سفارش را مشخص کنند. آن‌ها مسئله خود را در دو حالت مقدار سفارش اقتصادی و مقدار تولید اقتصادی حل کرده‌اند.

سنا [۲۹] در پژوهش خود به مدل‌سازی ریاضی مسئله کنترل موجودی محصولات فسادپذیر در سوپرمارکت پرداخته است. او فرض کرده که با کاهش قیمت فروش می‌توان تقاضای محصول را تحریک کرد. او مسئله خود را با روش جبری حل کرده و از یک مثال عددی و تحلیل حساسیت برای بررسی مدل خود استفاده کرده است.

شن و همکاران [۳۰] یک مدل ریاضی برای تجزیه و تحلیل پرکردن موجودی برای محصولات فسادپذیر کشاورزی و با در نظر گرفتن همکاری بین خریدار و فروشنده را ارائه داده‌اند. آن‌ها از یک زنجیره‌تأمین ساده دو سطحی استفاده کرده‌اند و به کمک آنالیز عددی، عملکرد خط‌مشی کنترل موجودی پیشنهادی خود را بررسی کرده‌اند.

دابسون و همکاران [۳۱] یک مدل مقدار سفارش اقتصادی را برای محصولات فسادپذیر با تقاضای وابسته به عمر محصول و در حالت قطعی ارائه دادند. آن‌ها مدل ریاضی خود را به وسیله یک مثال عددی حل کردند.

آویناداو و همکاران [۳۲] قیمت بهینه، مقدار سفارش و دوره سفارش را برای مواد فسادپذیر که تقاضای آن‌ها وابسته به قیمت و زمان است را مدل کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که سه هدف را می‌توان به یک هدف مدت‌زمان دوره سفارش تقلیل داد. تابع هزینه آن‌ها غیرمحدب بوده و تقاضا را نیز قطعی در نظر گرفته‌اند. سه مثال عددی را نیز برای ارائه آنالیز حساسیت مسئله خود ارائه داده‌اند.

کوکی و همکاران [۳۳] یک مدل‌سازی ریاضی برای مدل موجودی (r, Q) در حالت سفارش ازدست‌رفته را برای کالاهای فاسدشدنی و با طول عمر ثابت و مدت‌زمان تحویل ثابت ارائه داده‌اند. آن‌ها پژوهش نِنگ چیو [۳۴] که مدل موجودی مرور دائم (r, Q) بوده و همچنین پژوهش نِنگ چیو [۳۵] که مدل موجودی مرور دوره‌ای (R, T) بوده را گسترش داده‌اند.

چن و چن [۳۶] مبحث قیمت‌گذاری و تعیین اندازه سفارش برای محصولات فسادپذیر را به وسیله مدل کنترل موجودی دوره‌ای و با در نظر گرفتن کمبود را بررسی کردند. آن‌ها یک محصول زوال‌پذیر را با تابع تقاضای چند متغیره که وابسته به قیمت و زمان است را در نظر گرفته و به کمک تکنیک‌های برنامه‌ریزی پویا آن را حل کردند.

فنگ و همکاران [۲۲] در پژوهش خود رابطه بین قیمت، میزان تازه بودن محصول و حجم نمایش داده شده از محصول در قفسه، با میزان تقاضای محصول را بررسی کرده‌اند. تابع هدف آن‌ها حداقل‌سازی هزینه کل بوده که از نوع غیرمحدب است و متغیرهای تصمیم‌گیری را نیز قیمت محصول، زمان چرخه و سطح پایانی موجودی در نظر گرفته‌اند. چادهری و همکاران [۳۷] در مقاله مروری خود ادبیات تحقیق مربوط به مدل‌سازی کنترل موجودی محصولات زوال‌پذیر را بررسی کرده‌اند. آن‌ها ۴۱۸ پژوهش مرتبط موجود بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ را بررسی کرده‌اند.

طالعی‌زاده و صالحی [۳۸] در پژوهش خود به بررسی مدل میزان سفارش اقتصادی، تحت شرایط تصادفی بودن مدت زمان تحویل کالا، لحاظ کردن سیاست پرداخت معوقه و فسادپذیری کالا پرداخته‌اند و مقعر بودن تابع متوسط سود را نیز به اثبات رساندند.

روش‌های زیادی برای مدل‌سازی و حل مسائل کنترل موجودی وجود دارد. دسته خاصی از این مسائل را به دلیل پیچیدگی و خواص پویای مسئله، با شبیه‌سازی مدل و حل می‌کنند. در این رابطه ادبیات تحقیق مرتبط مورد بررسی قرار گرفته است که در ادامه نمونه‌ای از آن‌ها آورده شده است.

لنگرودی و امیری [۳۹] در پژوهش خود به مدل‌سازی یک زنجیره‌تأمین چند سطحی، چند محصولی، چند ناحیه‌ای و تحت شرایط عدم قطعیت در تقاضا به وسیله نگرش پویایی‌های سیستم پرداخته‌اند. آن‌ها از مثال عددی برای نشان دادن خروجی مدل خود استفاده کرده‌اند.

پیوتنگنگام و همکاران [۴۰] زنجیره‌تأمین پرورش خوک را در محیط غیرقطعی و به وسیله پویایی‌های سیستم مدل‌سازی کرده‌اند. به دلیل رخدادهای غیرمنتظره‌ای که ممکن است باعث برهم خوردن نظم زنجیره‌تأمین شود، مثل وقوع بیماری‌های مسری، آن‌ها برای مدیریت بهینه زنجیره‌تأمین از ابزارهای پویایی‌های سیستم استفاده کرده‌اند تا بتواند سناریوهای مختلفی را مورد بررسی قرار دهند.

کومار و نیگماتولین [۴۱] یک آنالیز از زنجیره‌تأمین غذایی را به کمک پویایی‌های سیستم انجام داده‌اند. آن‌ها پژوهش خود را بر روی محصولات فاسد نشدنی انجام داده و اثرات تغییرات تقاضا و مدت‌زمان تحویل محصول را بر عملکرد زنجیره‌تأمین سنجیده‌اند. چن و همکاران [۲۸] دو نوع خط‌مشی مختلف را برای پرکردن موجودی محصولات کشاورزی که دارای تقاضای اتفاقی بوده‌اند را به کمک پویایی‌های سیستم مورد بررسی قرار داده‌اند. نکته قابل توجه در پژوهش آن‌ها،

www.SID.ir

Archive of SID

عدم در نظر گرفتن زمان تحویل محصول (صفر در نظر گرفته‌اند) در مدل است.

مینگیشی و تیل [۴۲] به مدل‌سازی و شبیه‌سازی زنجیره‌تأمین غذایی (مرغ و خروس) به وسیله پویایی‌های سیستم پرداخته‌اند. آن‌ها تأثیر یک نوع بیماری خاص را در طی زنجیره‌تأمین مورد بررسی قرار داده‌اند. لی و چانگ [۴۳] برای بررسی پیچیدگی‌های پویایی موجود در مدل‌های کنترل موجودی، از پویایی‌های سیستم استفاده کردند. آن‌ها یک مدل کنترل موجودی را برای محصولات فسادپذیر در یک زنجیره‌تأمین مورد بررسی قرار داده‌اند. پولز [۴۴] در پژوهش خود به مدل‌سازی به کمک پویایی‌های سیستم برای تولید و کنترل موجودی یک تولیدی، در راستای بهبود استراتژی‌های ارزیابی سیستم پرداخته است.

در جدول ۱ خلاصه‌ای از ادبیات تحقیق ذکر شده در این قسمت، ارائه شده است. با توجه به این جدول و ادبیات تحقیق مرور شده متوجه می‌شویم که کنترل موجودی محصولات فسادپذیر، در حالت متغیر بودن هزینه‌ی سفارش‌دهی (وابستگی به اندازه سفارش)، وابستگی هزینه‌ی نگهداری محصول به سطح موجودی، تابع هدف غیرمحدب و غیرقطعی بودن تقاضای محصول (وابستگی به قیمت و زمان) تا به حال و تا آنجایی که نویسندگان اطلاع دارند، انجام نشده است. لذا ترکیب این مفروضات به عنوان شکاف ادبیات تحقیق و نوآوری در این مقاله در نظر گرفته شده است.

جدول (۱): خلاصه ادبیات تحقیق

منبع	موضوع پژوهش	تابع هدف	تابع هزینه‌ی سفارش‌دهی	تابع تقاضا	روش حل
ابوالعطا و همکاران [۲]	کنترل موجودی احتمالی	محدب	متغیر	تصادفی	برنامه‌ریزی هندسی
حریری و ابوالعطا [۳]	کنترل موجودی فرآیند تولید	محدب	متغیر	قطعی	برنامه‌ریزی هندسی
الوکیل [۵]	سفارش عقب‌افتاده	محدب	متغیر	قطعی	لاگرانژ
فرگانی و الوکیل [۶]	فروش ازدست‌رفته	محدب	متغیر	احتمالی	لاگرانژ
تینگ و همکاران [۱۱]	کمبود مجاز	غیرمحدب	ثابت	احتمالی	الگوریتم ابتکاری
چانگ و همکاران [۱۲]	کنترل موجودی	غیرمحدب	ثابت	قطعی	حل کامل ریاضی
اکبری و همکاران [۲۵]	کنترل موجودی محصولات فسادپذیر	محدب	ثابت	غیرقطعی	الگوریتم ابتکاری
چن و همکاران [۲۸]	زنجیره‌تأمین مواد غذایی	محدب	ثابت	اتفاقی	پویایی‌های سیستم
آویناداو و همکاران [۳۲]	کنترل موجودی محصولات فسادپذیر	غیرمحدب	ثابت	غیرقطعی	الگوریتم ابتکاری
لنگرودی و امیری [۳۹]	زنجیره‌تأمین چند سطحی	محدب	ثابت	غیرقطعی	پویایی‌های سیستم
لی و چانگ [۴۳]	کنترل موجودی محصولات فسادپذیر	محدب	ثابت	قطعی	پویایی‌های سیستم
پژوهش حاضر	کنترل موجودی محصولات فسادپذیر	غیرمحدب	متغیر	غیرقطعی	پویایی‌های سیستم

۳- مدل ریاضی اندازه سفارش اقتصادی در حالت متغیر بودن هزینه سفارش‌دهی

۳-۱- بیان مسئله ریاضی

در این مقاله مدل مقدار سفارش اقتصادی ارائه شده توسط هریس [۱] که یکی از اجزای اصلی تئوری کنترل موجودی است، در نظر گرفته شده است. این مدل پایه‌ای یک کالا را در حالت ثابت، قطعی و معلوم بودن تقاضا و در یک افق زمانی نامحدود در نظر می‌گیرد. هدف این مدل تعیین اندازه سفارش به نحوی است که متوسط هزینه‌های بلندمدت سیستم را حداقل سازد. این هزینه‌ها شامل: هزینه سفارش‌دهی، نگهداری و خرید کالا می‌باشد.

به دلیل ثابت بودن هزینه خرید، تبادل اصلی در مسئله بین هزینه سفارش‌دهی و نگهداری است. اندازه زیاد سفارش باعث بالا رفتن هزینه نگهداری هر عدد کالا در واحد زمان می‌شود، در حالی که اندازه کم سفارش نیز باعث بالا رفتن تعداد دفعات سفارش‌دهی کالا و نتیجتاً افزایش هزینه سفارش‌دهی هر عدد کالا در واحد زمان می‌شود. در این مقاله، فرضیات پایه‌ای مدل هریس [۱] در نظر گرفته شده است، با این تفاوت که هزینه سفارش‌دهی هر عدد کالا به جای ثابت و معلوم بودن، وابسته به اندازه سفارش است که در قسمت ۳-۳ و فرمول ۳، تابع آن ذکر شده است.

۳-۲- پارامترهای مدل ریاضی

پارامترهای استفاده شده در مدل ریاضی در جدول ۲ آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۲): پارامترهای مدل ریاضی

پارامتر	شرح	واحد اندازه‌گیری
D	نرخ تقاضای سالیانه (ثابت، قطعی و معلوم)	عدد کالا
h	هزینه نگهداری هر عدد کالا در واحد زمان (ثابت، قطعی و معلوم)	واحد پول
P	قیمت خرید هر عدد کالا (ثابت، قطعی و معلوم)	واحد پول
Q	اندازه سفارش (متغیر تصمیم‌گیری)	عدد کالا
$C_O(Q)$	تابع هزینه سفارش‌دهی (وابسته به اندازه سفارش)	واحد پول
TC	هزینه کل سالانه	واحد پول

۳-۳- مدل‌سازی مسئله

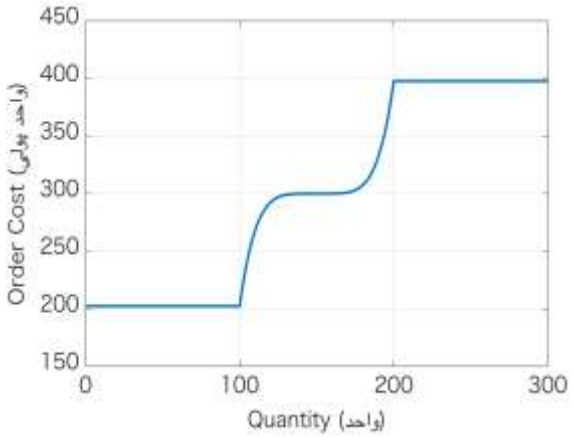
هزینه کل سالانه‌ی سیستم موجودی شامل هزینه خرید، هزینه نگهداری و هزینه سفارش‌دهی سالانه کالاها است (فرمول ۲).

هزینه‌ی کل سالانه = هزینه‌ی سفارش‌دهی سالانه + هزینه‌ی نگهداری سالانه + هزینه‌ی خرید سالانه (۲)

همان‌طور که ذکر شده است، در این مقاله هزینه سفارش‌دهی کالاها وابسته به اندازه سفارش است. با توجه به محدودیت ذکر شده برای فرمول (۱) (به بی‌نهایت میل کردن هزینه سفارش‌دهی با بالا رفتن اندازه سفارش)، با ترکیب تابع هزینه سفارش‌دهی ارائه شده توسط حریری و ابوالعطا [۳] (فرمول ۱) و تابع هزینه ارائه شده توسط ماتسویاما [۱۰] (شکل ۲)، هزینه هر بار سفارش‌دهی، تابعی صعودی و به صورت زیر (فرمول ۳) در نظر گرفته شده است.

$$C_O(Q)=\begin{cases} C_0+(\alpha q_1-\beta)^\gamma & 0<Q\le q_1 \\ C_0+(\alpha Q-\beta)^\gamma & q_1<Q\le q_2 \\ C_0+(\alpha q_2-\beta)^\gamma & q_2<Q \end{cases} \qquad (۳)$$

که در این فرمول q_1 و q_2 مقادیر ثابت $(0\le q_1<q_2)$ بوده که محل شکست تابع هزینه سفارش‌دهی را مشخص می‌کند. C_0 نیز نشان‌دهنده هزینه ثابت سفارش‌دهی می‌باشد $(C_0>0)$. α، β و γ ضرایب ثابت بوده و $\alpha>0$ است (اگر $\alpha<0$ باشد، تابع هزینه سفارش‌دهی نزولی می‌شود). همچنین برای صعودی بودن تابع هزینه سفارش‌دهی $\gamma\ge 1$ و عددی فرد می‌باشد. شکل ۳ تابع هزینه سفارش‌دهی (فرمول ۳) به ازای مقادیر مثال عددی: $q_1=100$ ، $q_2=200$، $C_0=300$ ، $\alpha=0.05$ ، $\beta=7.5$ و $\gamma=5$ را نشان می‌دهد.



شکل (۳): تابع هزینه سفارش‌دهی برای مثال عددی

با توجه به شکل ۳، جهت مثبت شدن یال سمت چپ شکل (به ازا $0<Q\le q_1$) باید مقدار ثابت $C_0+(\alpha q_1-\beta)^\gamma>0$ باشد، که نتیجه می‌دهد:

$$\beta<\alpha q_1+C_0^{\frac{1}{\gamma}} \qquad (۴)$$

جهت مثبت شدن یال سمت راست شکل ۳ (به ازا $q_2<Q$) نیز باید مقدار ثابت $C_0+(\alpha q_2-\beta)^\gamma>0$ باشد، که نتیجه می‌دهد: $\alpha>\frac{-C_0^{\frac{1}{\gamma}}+\beta}{q_2}$. با توجه به فرض $\alpha>0$ داریم:

$$\alpha>\max\left\{0,\frac{-C_0^{\frac{1}{\gamma}}+\beta}{q_2}\right\} \qquad (۵)$$

همچنین جهت مثبت شدن قسمت وسط شکل ۳ (به ازا $q_1<Q\le q_2$) باید $C_0+(\alpha Q-\beta)^\gamma>0$ باشد، که نتیجه می‌دهد: $Q>\frac{-C_0^{\frac{1}{\gamma}}+\beta}{\alpha}$. اگر حداکثر مقدار β (فرمول ۴) را جایگذاری کنیم به $Q>q_1$ می‌رسیم که همواره برقرار است. از طرفی برای صعودی بودی این قسمت از شکل، از مشتق تابع داریم: $\gamma\alpha(\alpha Q-\beta)^{\gamma-1}\ge 0$. از آنجایی که $\gamma\ge 1$، عددی فرد و $\alpha>0$ است، در نتیجه $\gamma-1$ عددی زوج بوده و باعث می‌شود که این رابطه همواره برقرار باشد.

هزینه سفارش‌دهی سالانه به صورت $C_O(Q)\frac{D}{Q}$ می‌باشد که $\frac{D}{Q}$ نشان‌دهنده تعداد دفعات سفارش کالا در سال است. هزینه نگهداری و خرید سالانه نیز بر اساس فرضیات پایه‌ای مدل مقدار سفارش اقتصادی محاسبه می‌شود که برابرند با [۱]:

$$\text{هزینه‌ی نگهداری سالانه}=\frac{1}{2}hQ \qquad (۶)$$

$$\text{هزینه‌ی خرید سالانه}=PD \qquad (۷)$$

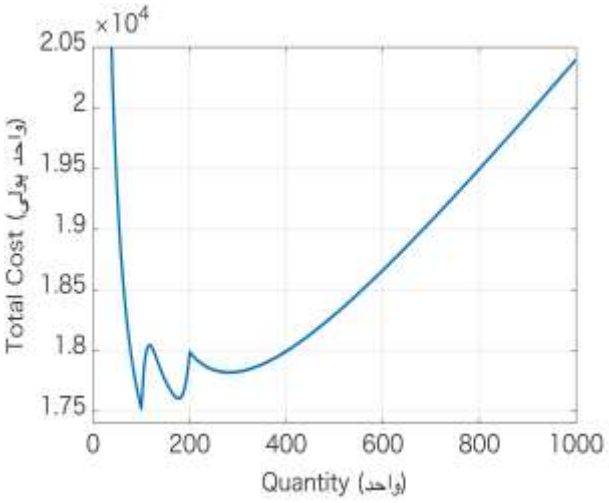
در نهایت با توجه به فرمول‌های ۲، ۳، ۶ و ۷ داریم:

$$TC=C_O(Q)\frac{D}{Q}+\frac{1}{2}hQ+PD \qquad (۸)$$

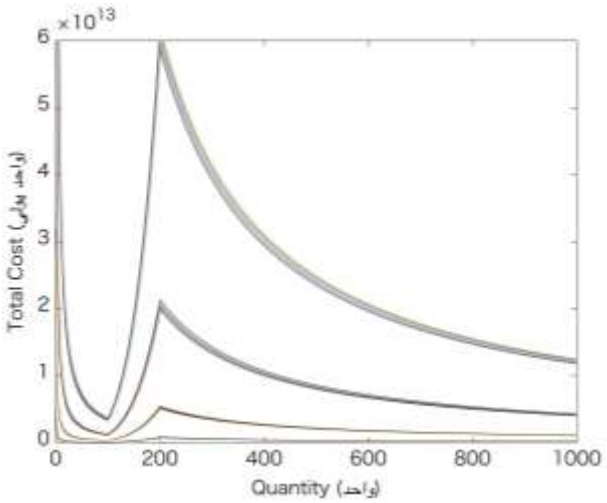
شکل ۴ تابع هزینه کل سالانه را به ازای مقادیر مثال عددی و $D=1000$، $h=10$ و $P=15$ نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۴): تابع هزینه کل سالانه برای مثال عددی



شکل (۵): تابع هزینه کل سالانه برای مقادیر مختلف α و β

با توجه به شکل ۴، متوجه غیرمحدب بودن تابع هزینه کل سالانه (فرمول ۸) برای داده‌های مثال عددی می‌شویم. اثبات غیرمحدب بودن تابع هزینه کل سالانه در حالت کلی غیرممکن است. چون مقادیر α و β وابسته به یکدیگر هستند و نمی‌توان فرمولی برای حالت کلی اندازه سفارش پیدا کرد که به ازای آن، تابع هزینه کل سالانه همواره غیرمحدب شود. از این رو، مشابه با پژوهش‌های لیو و یانگ [۴۵]، کالپاکام و شانتهی [۴۶]، اولسون و تیدسجو [۴۷] و کوکی و همکاران [۳۳] برای اثبات غیرمحدب بودن تابع هزینه کل سالانه از چندین مثال عددی استفاده شده است. با توجه به داده‌های مثال عددی و فرمول (۴ و ۵) به ازای شش مقدار مختلف $\alpha = \{0.1, 0.5, 0.9, 1.3, 1.7, 2.1\}$ و $\beta = \{4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ و ترکیب آن‌ها باهم، ۳۶ تابع هزینه کل سالانه به دست آمده که در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.

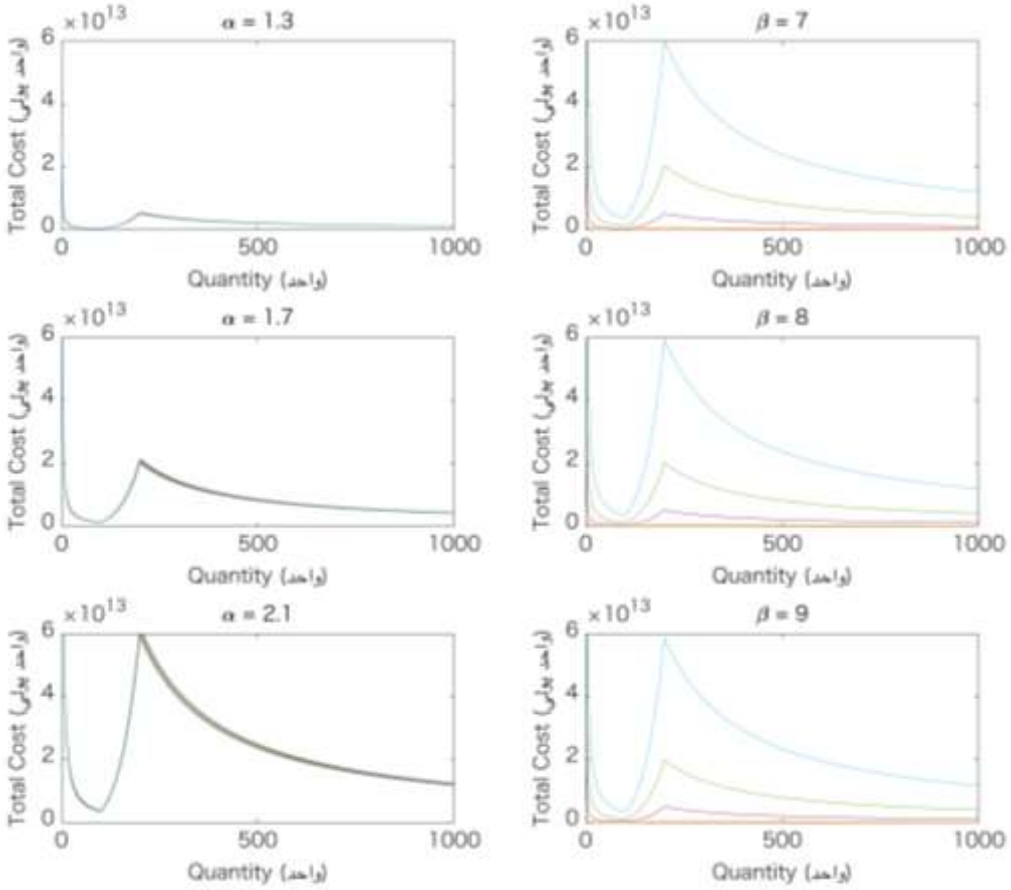
نکته مشترک در تمامی ۳۶ تابع هزینه کل سالانه ترسیم شده در شکل ۵ این است که تمامی آن‌ها غیرمحدب هستند. جهت درک بهتر، در شکل ۶ تابع هزینه کل سالانه به تفکیک سه مقدار مختلف α و β نشان داده شده است.

از سه نمودار ترسیم شده در سمت چپ شکل ۶ متوجه می‌شویم که با افزایش مقدار α، مقدار تابع هزینه کل سالانه (به ازای مقادیر مشخصی از اندازه سفارش) زیاد می‌شود و مقادیر مختلف β تأثیر جزئی در تابع هزینه کل سالانه دارند. همچنین از سه نمودار ترسیم شده در سمت راست شکل ۶ متوجه می‌شویم که با افزایش مقدار β، تابع هزینه کل سالانه تغییر محسوسی ندارد و مقادیر مختلف α تأثیر زیادی در تابع هزینه کل سالانه دارند.

مدل ارائه شده در این قسمت با فرضیات پایه‌ای مدل مقدار سفارش اقتصادی ارائه شده است، اما در عمل به مدل‌های کنترل موجودی بسیار پیچیده و با فرضیات بسیار بیشتری نیاز می‌باشد تا کارایی بالایی در دنیای تجاری داشته باشند. در این راستا، در ادامه (قسمت ۴) یک مدل کاربردی از مدل ریاضی قسمت ۳ آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۶): تابع هزینه کل سالانه به تفکیک سه مقدار مختلف α و β

۴- شبیه‌سازی به کمک پویایی سیستم‌ها

۴-۱- بیان مسئله

در اقتصاد جهانی امروز، محصولات به دلایلی چون تغییر انتظارات مشتریان، سطح رقابت بسیار بالا، کاهش چرخه عمر محصولات، پیشرفت تکنولوژی و ... فاسد می‌شوند. محصولاتی که ارزش آن‌ها در طی زمان از دست می‌رود را فسادپذیر (زوال‌پذیر) گویند. محصولاتی مثل انواع سبزی‌ها، میوه‌ها، محصولات پخته‌شده، نان، شیر، گوشت، خون، مواد رادیواکتیو، مواد شیمیایی، دارو، لباس‌های فصلی، لباس‌های مد روز و محصولات پیشرفته تکنولوژی (مثل کامپیوترها و موبایل‌ها) از نوع فسادپذیر هستند.

کنترل موجودی محصولات فسادپذیر از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا تأثیر مستقیمی بر میزان فروش، قیمت، سطح موجودی، هزینه‌ها (ضایعات، زوال، حمل‌ونقل، نگهداری و ...) و میزان در دسترس بودن محصول دارد که همگی این موارد بر روی میزان سودآوری مؤثر است؛ بنابراین مدیران و پژوهشگران زیادی در جهت درک و مدل‌سازی مسائل کنترل موجودی محصولات فسادپذیر تلاش کرده‌اند و عوامل مختلفی همچون: خصوصیات محصول، سطح رقابت، محدودیت‌های درونی و بیرونی، تأثیر قیمت در تقاضا، در دسترس بودن محصول، ماهیت تقاضا و ... را در محیط‌های مختلف در نظر گرفتند [۳۷].

چادهری و همکاران [۳۷] در مقاله مروری خود به این جمع‌بندی رسیده‌اند که استفاده از متدهای پویا برای در نظر گرفتن اهداف مختلف (شامل در دسترس بودن محصول) در مدل‌سازی کنترل موجودی محصولات فسادپذیر مناسب است. همچنین آن‌ها ذکر کرده‌اند که برخی از فاکتورها و اتفاقاتی که در واقعیت رخ می‌دهد، به‌ندرت در مدل‌ها در نظر گرفته می‌شود. برای مثال ارائه تخفیف در قیمت که به وفور در شرایط دنیای واقعی پیدا می‌شود را فقط تعداد کمی از پژوهشگران در نظر گرفته‌اند.

در این پژوهش مسئله کنترل موجودی محصولی فسادپذیر در نظر گرفته شده است. این مسئله از نوع تک‌محصولی بوده و محصول مورد نظر بر طبق یک نرخ زوال معلوم و ثابت که کسری از موجودی در دست است، فاسد شده و دارای طول عمر قفسه‌ای محدود و ثابت است. سایر مفروضات به کار گرفته شده در مدل‌سازی این مسئله به شرح زیر است:

- تقاضا برای محصول مورد نظر از نوع تصادفی بوده و وابسته به قیمت و زمان است.
- خطی مشی پرکردن موجودی از نوع مرور دائم (r, Q) بوده و هر زمان که سطح موجودی به نقطه سفارش مجدد (r) برسد، به اندازه مقدار سفارش (Q) از محصول سفارش داده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

- مدت‌زمان دریافت کالا از زمان ارسال سفارش، تصادفی بوده و از توزیع نرمال پیروی می‌کند.
- کمبود محصول مجاز و از نوع فروش ازدست‌رفته است.
- قیمت خرید محصول وابسته به اندازه مقدار سفارش بوده و با افزایش تعداد خرید محصول، در قیمت آن تخفیف اعمال می‌شود.
- قیمت فروش محصول به صورت پویا و توسط مدل تعیین می‌شود.
- مسئله کنترل موجودی برای یک هایپر مارکت مدل‌سازی می‌شود که محدودیتی در مقدار سفارش به تأمین‌کننده محصول و ظرفیت انبارش محصول ندارد.
- هزینه‌های سفارش‌دهی محصول متغیر بوده و وابسته به اندازه مقدار سفارش است.
- هزینه‌ی نگهداری محصول نیز متغیر بوده و وابسته به سطح موجودی است.
- هزینه‌ی ضایعات و خرید محصول نیز در نظر گرفته شده است.

برای مسئله مذکور، هدف زیر در نظر گرفته شده است:

❖ حداقل کردن میانگین خالص هزینه‌ها.

چوی [۸] در کتاب خود ذکر کرده است که هزینه‌ی نگهداری محصول در مدل سفارش اقتصادی بر اساس متوسط تعداد محصولات موجود در انبار محاسبه می‌گردد، زیرا بعضی از محصولات مدت‌زمان زیادی در انبار نگهداری می‌شوند و برخی مدت‌زمان کوتاهی را؛ اما در عمل نیاز به تعیین دقیق مدت‌زمان نگهداری محصول در انبار است. در همین راستا، هزینه‌ی نگهداری محصول متغیر و وابسته به سطح موجودی در نظر گرفته شده است.

به دلیل مشکلات موجود برای مدل‌سازی مسئله ذکر شده، از شبیه‌سازی به کمک پویایی‌های سیستم استفاده شده است. پویایی‌های سیستم برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم‌هایی که روابط غیرخطی و اثرات پویا دارند، مناسب است. این نوع مدل توانایی تغییر خود، به وسیله جریانات ورودی و خروجی از سیستم را دارد. مدل‌های پویایی‌های سیستم شامل متغیرهای سطح (حالت)، جریان (نرخ) و مقادیر ثابت می‌باشند. این ساختار سطح و جریان سیستم و روابط بین این متغیرها را می‌توان در نظر گرفت و یک مدل شبیه‌سازی پویایی‌های سیستم را به وسیله نمودارهای جریان تشکیل داد [۲۸]. نمودار علی و معلولی مسئله ذکر شده در این پژوهش، در شکل ۷ آورده شده است. علامت‌های مثبت انتهای فلش‌ها نشان‌دهنده هم‌جهت بودن تغییر دو متغیر دو سمت فلش است. علامت‌های منفی، نشان‌دهنده رفتار معکوس متغیرهای دو طرف فلش است. دو خط موازی ترسیم شده در وسط برخی از فلش‌ها نیز نشان‌دهنده وجود تأخیر زمانی برای اعمال اثر متغیر ابتدای فلش بر روی متغیر انتهای فلش است. برای مثال افزایش فروش ازدست‌رفته سبب ایجاد نارضایتی در مشتریان می‌شود. برای حل این مشکل، به کمک افزایش قیمت فروش محصول مدل سعی می‌کند که تقاضای محصول را کم کند. کاهش تقاضای محصول با یک تأخیر زمانی سبب کاهش فروش ازدست‌رفته محصول می‌شود و تعادل را به سیستم باز می‌گرداند.

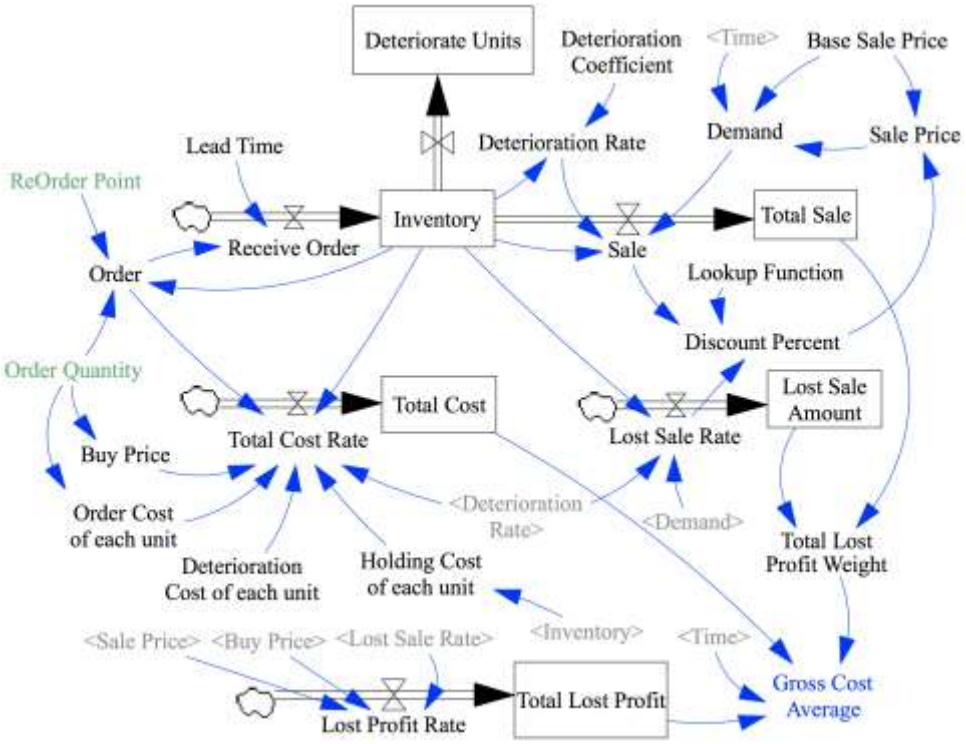
شکل (۷): نمودار علت و معلول کنترل موجودی محصولات فسادپذیر

در شکل ۸ نیز می‌توان نمودار جریان مدل ذکر شده که در نرم‌افزار Vensim DSS ترسیم شده است را مشاهده نمود. در این نمودار متغیرهای نقطه سفارش مجدد و مقدار سفارش، متغیرهای برون‌زا هستند که برای رسیدن به هدف حداقل کردن میانگین خالص هزینه‌ها باید مقادیر بهینه این دو متغیر ورودی را به دست آورد. سایر متغیرهای برون‌زا مثل: هزینه نگهداری هر واحد محصول در زمان، هزینه سفارش‌دهی هر واحد محصول، هزینه انهدام هر واحد محصول و قیمت خرید محصول نیز بستگی به شرایط و محیط دارند.

معادلات ریاضی ذکر شده در این پژوهش تماماً بر اساس روابط موجود در نرم‌افزار شبیه‌سازی Vensim DSS بوده است. در این روابط، پارامترهای ثابت نشان‌دهنده مقادیر ورودی برون‌زا و مقادیر اولیه متغیرهای سطح است. روابط به نحوی نوشته شده‌اند که بتوانند مفاهیم دنیای واقعی را به دقت ترسیم کنند. در جدول ۳ می‌توان شرح، فرمول و واحد تمامی متغیرهای مسئله را مشاهده نمود. همچنین مقادیر ثابت به عنوان ورودی مسئله در نظر گرفته می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۸): نمودار جریان کنترل موجودی محصولات فسادپذیر در نرم‌افزار Vensim DSS

جدول (۳): متغیرهای به کار رفته در مدل‌سازی مسئله

متغیر	فرمول	واحد اندازه‌گیری	شرح
$Inventory\ (t)$	$= \int_{t_0}^{t} (Receive\ Order\ (t) - Sale\ (t) - Deterioration\ Rate\ (t) + Inventory\ (t_0))dt$	Product	سطح موجودی محصول در زمان t
$Deterioration\ Rate\ (t)$	$= Inventory\ (t) * Deterioration\ Coefficient$	Product/Day	نرخ فاسد شدن محصول در زمان t
$Sale\ (t)$	$= IF\ THEN\ ELSE(Inventory\ (t) \geq Demand\ (t) + Deterioration\ Rate\ (t), Demand\ (t), Inventory\ (t) - Deterioration\ Rate\ (t))$	Product/Day	نرخ فروش محصول در زمان t
$Receive\ Order\ (t)$	$= DELAY\ FIXED\ (Order\ (t), Lead\ Time, 0)$	Product/Day	نرخ دریافت محصول در زمان t
$Order\ (t)$	$= IF\ THEN\ ELSE\ (Inventory\ (t) \leq ReOrder\ Point, Order\ Quantity, 0)$	Product	مقدار محصول سفارش داده شده در زمان t
$Deteriorate\ Units\ (t)$	$= \int_{t_0}^{t} (Deterioration\ Rate\ (t) + Deterioration\ Rate\ (t_0))dt$	Product	تعداد محصول فاسد شده در زمان t
$Total\ Sale\ (t)$	$= \int_{t_0}^{t} (Sale\ (t) + Sale\ (t_0))dt$	Product	تعداد محصول فروخته شده در زمان t

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۳): متغیرهای به کار رفته در مدل‌سازی مسئله (ادامه)

متغیر	فرمول	واحد اندازه‌گیری	شرح
$Lost\ Sale\ Rate\ (t)$	$= IF\ THEN\ ELSE\ (Inventory\ (t) \geq Demand\ (t), 0, Demand\ (t) - Inventory\ (t))$	Product/Day	نرخ فروش ازدست‌رفته در زمان t
$Lost\ Sale\ Amount\ (t)$	$= \int_{t_0}^{t} (Lost\ Sale\ Rate\ (t) + Lost\ Sale\ Amount\ (t_0))dt$	Product	حجم فروش ازدست‌رفته در زمان t
$Total\ Lost\ Profit\ Weight\ (t)$	$= \left(XIDZ\left(Lost\ Sale\ Amount\ (t), Total\ Sale\ (t), \frac{Lost\ Sale\ Amount\ (t)}{100}\right) * 100\right)^2$	1/Day	وزن فروش ازدست‌رفته در زمان t
$Discount\ Percent\ (t)$	$= Lookup\ Function\ (XIDZ(Lost\ Sale\ Rate\ (t), Sale\ (t), 0.2))$	Dml	نرخ تخفیف در زمان t
$Sale\ Price\ (t)$	$= Base\ Sale\ Price * (1 - Discount\ Percent\ (t))$	Rial	قیمت فروش محصول در زمان t
$Total\ Cost\ Rate\ (t)$	$= (Order\ (t) * Buy\ Price\ (t)) + (Deterioration\ Rate\ (t) * Deterioration\ Cost\ of\ each\ unit) + (Inventory\ (t) * Holding\ Cost\ of\ each\ unit\ (t)) + (Order\ (t) * Order\ Cost\ of\ each\ unit)$	Rial/Day	نرخ هزینه کل در زمان t
$Total\ Cost\ (t)$	$= \int_{t_0}^{t} (Total\ Cost\ Rate\ (t) + Total\ Cost\ Rate\ (t_0))dt$	Rial	هزینه کل در زمان t
$Lost\ Profit\ Rate\ (t)$	$= Lost\ Sale\ Rate\ (t) * (Sale\ Price\ (t) - Buy\ Price)$	Rial/Day	نرخ سود ازدست‌رفته در زمان t
$Total\ Lost\ Profit\ (t)$	$= \int_{t_0}^{t} (Lost\ Profit\ Rate\ (t) + Lost\ Profit\ Rate\ (t_0))dt$	Rial	سود کل ازدست‌رفته در زمان t
$Gross\ Cost\ Average\ (t)$	$= \frac{Total\ Cost\ (t) + Total\ Lost\ Profit\ Weight\ (t) * Total\ Lost\ Profit\ (t)}{Time}$	Rial/Day	میانگین خالص هزینه‌ها در زمان t
$Demand\ (t)$	مقدار تصادفی تقاضا وابسته به زمان و قیمت فروش محصول (فرمول ۱۱)	Product	تقاضای محصول در زمان t
$Deterioration\ Coefficient$	مقدار تصادفی که از توزیع نرمال پیروی می‌کند	Dml	ضریب فاسد شدن
$Lead\ Time$	مقدار تصادفی که از توزیع نرمال پیروی می‌کند	Day	مدت‌زمان ارسال محصول تا دریافت محصول
$ReOrder\ Point$	مقدار ثابت (ورودی مدل)	Product	نقطه سفارش مجدد
$Order\ Quantity$	مقدار ثابت (ورودی مدل)	Product	مقدار سفارش
$Buy\ Price$	وابسته به اندازه مقدار سفارش	Rial	قیمت خرید هر واحد محصول
$Deterioration\ Cost\ of\ each\ unit$	مقدار ثابت	Rial/ Product*Day	هزینه انهدام هر واحد محصول فاسد شده
$Holding\ Cost\ of\ each\ unit$	وابسته به سطح موجودی	Rial/ Product*Day	هزینه نگهداری هر واحد محصول در روز
$Order\ Cost\ of\ each\ unit$	وابسته به اندازه مقدار سفارش	Rial/ Product	هزینه سفارش‌دهی هر واحد محصول
$Base\ Sale\ Price$	مقدار ثابت	Rial	قیمت فروش پایه (اولیه)

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۲- مثال عددی و تعیین مقدار بهینه ورودی‌ها

در جدول ۴ مقادیر ثابت و معلوم مورد نیاز برای حل مثال عددی از مدل ارائه شده در قسمت ۴-۱، ذکر شده است. واحد اندازه‌گیری هر کدام از این مقادیر نیز مشابه با جدول ۳ است.

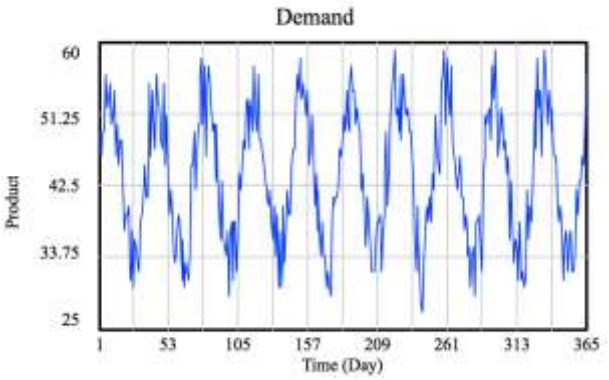
جدول (۴): مقادیر ثابت مثال عددی

متغیر	مقدار
Deterioration Coefficient	$= RANDOM\ NORMAL\ (0.01, 0.09, 0.05, 0.03, 0.01)$
Buy Price	$= \begin{cases} 4400 & \text{Order Quantity} \le 40 \\ 4380 & 40 < \text{Order Quantity} \le 50 \\ 4350 & 50 < \text{Order Quantity} \end{cases}$
Holding Cost of each unit	$= \begin{cases} 30 & Inventory \le 80 \\ 60 & 80 < Inventory \end{cases}$
Order Cost of each unit	$= \begin{cases} 100 & \text{Order Quantity} \le 70 \\ 125 & 70 < \text{Order Quantity} \le 90 \\ 150 & 90 < \text{Order Quantity} \le 100 \\ 200 & 100 < \text{Order Quantity} \end{cases}$
Lead Time	$= RANDOM\ NORMAL\ (1,4,1,0.5,1)$
Deterioration Cost of each unit	$= 100$
Base Sale Price	$= 5225$
Inventory (t=1)	$= 150$

مقدار تصادفی تقاضا که وابسته به زمان و قیمت فروش محصولات، بر طبق ضوابط تقاضا در پژوهش‌های پولز [۴۴] و آباد و جاگی [۴۸] به صورت زیر (فرمول ۹) در نظر گرفته شده است.

$$\text{Demand} = \left[\left(27 + SIN(Time) + 10 * SIN\left(\frac{3.14}{18} * Time\right) + RANDOM\ UNIFORM\ (10,20,15)\right) * \frac{Base\ Sale\ Price}{Sale\ Price}\right] \quad (۹)$$

نمودار تقاضا در طی مدت‌زمان شبیه‌سازی (۳۶۵ روز) برای مثال عددی (جدول ۴) و به ازای ReOrder Point=97 و Order Quantity=51 در شکل ۹ نمایش داده شده است. این نمودار رفتار وابسته به زمان (تقاضای فصلی) و رفتار غیرقطعی (نوسانات جزئی در زمان) میزان تقاضا را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل (۹): نمودار تقاضا در طی مدت شبیه‌سازی

مدت‌زمان شبیه‌سازی ۳۶۵ روز در نظر گرفته شده است. برای تعیین مقدار بهینه نقطه سفارش مجدد و مقدار سفارش (متغیرهای برون‌زای ورودی به شبیه‌سازی) از دستور Optimize که در نسخه Vensim DSS وجود دارد استفاده شده است. در اولین مرحله باید تابع Payoff را تعریف کرد که نشان دهنده‌ی تابع هدف مسئله است. متغیر سطح Gross Cost Average با وزن ۱- (برای حداقل کردن) به عنوان تابع Payoff تعریف شده و دو متغیر گسسته ReOrder Point و Order Quantity نیز به عنوان متغییرهای برون‌زای ورودی انتخاب شده است. در نهایت و بعد از انجام بهینه‌سازی، مقادیر بهینه‌ی به دست آمده برای ورودی‌ها و تابع هدف به شرح جدول ۵ است. واحد اندازه‌گیری هر کدام از این مقادیر نیز مشابه با جدول ۳ است.

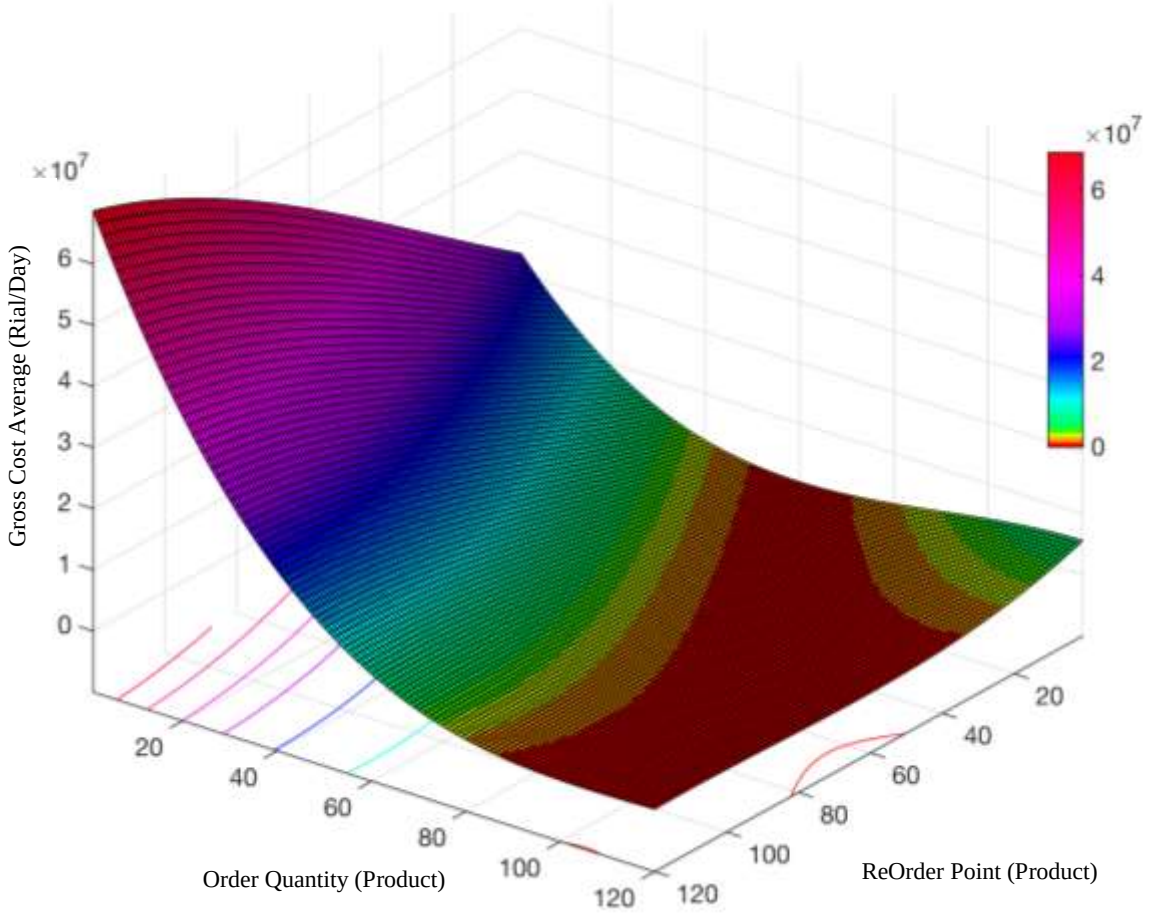
جدول (۵): مقادیر بهینه بدست آمده برای ورودی‌ها و تابع هدف

متغیر / تابع هدف	مقدار
ReOrder Point (نقطه سفارش مجدد)	۹۷
Order Quantity (مقدار سفارش)	۵۱
Gross Cost Average (میانگین خالص هزینه‌ها)	۲۰۴۱۸۸

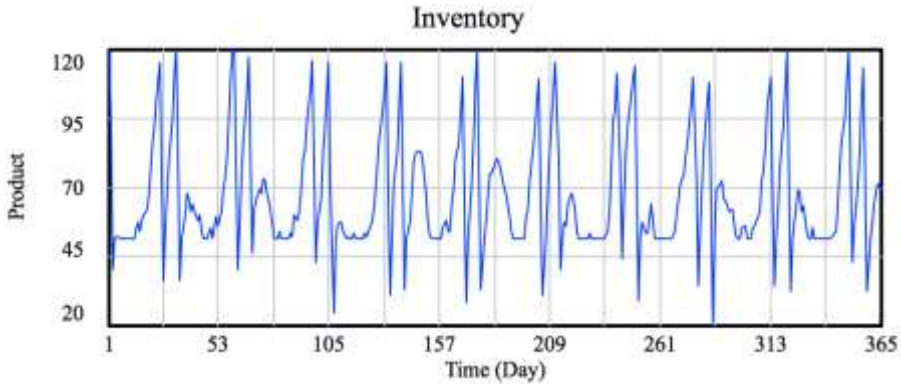
شبیه‌سازی برای ۲۴۰ ترکیب مختلف از ورودی‌ها انجام شده است و در شکل ۱۰ نمودار سه‌بعدی رفتار تابع هدف بر طبق ورودی‌ها ترسیم شده است. این نمودار رفتار متغیر ورودی (نقطه سفارش مجدد و مقدار سفارش) را بر روی تابع هدف (میانگین خالص هزینه‌ها) نشان می‌دهد. نواحی نشان داده شده با رنگ قرمز محدوده‌ی کمترین مقادیر تابع هدف را نشان می‌دهد. در شکل ۱۱ می‌توان نمودار سطح موجودی بهینه را به ازای مقدار بهینه ورودی (جدول ۵) مشاهده نمود. در شکل ۱۲ نیز می‌توان نمودار تابع هدف (میانگین خالص هزینه‌ها) را به ازای مقادیر بهینه ورودی (جدول ۴) در طی مدت شبیه‌سازی مشاهده نمود. همان‌طور که از این شکل پیدا است، در ابتدای مدت شبیه‌سازی میزان نوسانات مقدار متغیر تابع هدف (میانگین خالص هزینه‌ها) بسیار زیاد بوده و به مرورزمان این نوسانات کمتر شده است. دلیل این مسئله در ماهیت مسائل شبیه‌سازی به کمک پویایی‌های سیستم نهفته است. یکی از توانایی‌های اصلی پویایی‌های سیستم، اصلاح مدل در طی زمان است که این کار را به کمک تغییر متغیر وزن فروش ازدست‌رفته (Total Lost Profit Weight) انجام می‌دهد. این متغیر به کمک تغییر نرخ تخفیف (Discount Percent) و نتیجتاً تغییر میزان تقاضا برای محصول، میزان فروش و فروش ازدست‌رفته را تغییر می‌دهد که به کمک آن‌ها متغیر وزن فروش ازدست‌رفته تغییر می‌کند. این تغییرات در مجموع به بالانس شدن مدل، کاهش نوسانات متغیر تابع هدف و در بلندمدت باعث ثبات این متغیر کمک می‌کند.

www.SID.ir

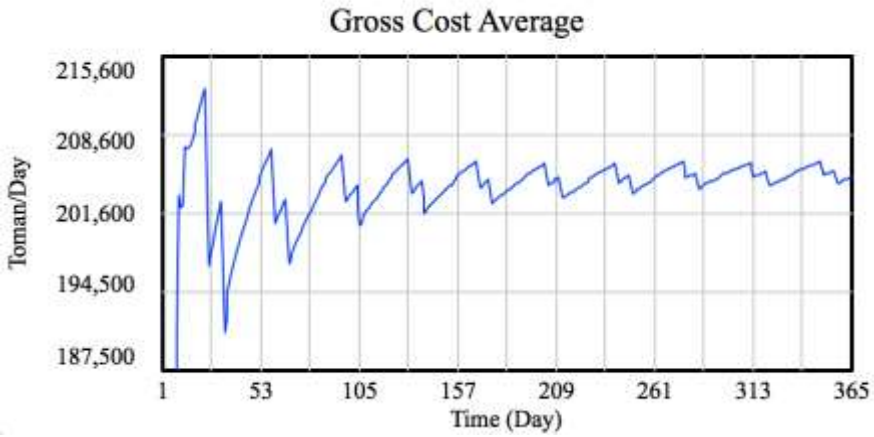
Archive of SID



شکل (۱۰): نمودار سه‌بعدی تابع هدف بر طبق ورودی‌ها



شکل (۱۱): نمودار سطح موجودی بهینه



شکل (۱۲): نمودار میانگین خالص هزینه‌ها در طی مدت شبیه‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آینده

همان طور که در قسمت ۳-۳ نشان داده شده است، تابع هدف مدل کنترل موجودی مقدار سفارش اقتصادی با در نظر گرفتن وابستگی هزینه‌ی سفارش‌دهی به اندازه‌ی سفارش، به صورت یک تابع چند ضابطه‌ای و غیرمحدب تعریف می‌شود. حل مدل‌های غیرمحدب به دلیل وجود چندین نقطه‌ی حداقل محلی در تابع هدف آن‌ها از پیچیدگی خاصی برخوردار است. با این وجود، در این مقاله مدل کنترل موجودی مقدار سفارش اقتصادی کاربردی‌تر شده و فرضیات دیگری نیز به آن اضافه شده تا مدل از حالت پایه‌ای، به یک مدل کاربردی و عملیاتی در دنیای تجاری امروزه تبدیل شود.

در این راستا، مدل کنترل موجودی مقدار سفارش اقتصادی در حالتی که مسئله مورد نظر برای محصولات فسادپذیر (دارای نرخ زوال) و همچنین تقاضای محصول به صورت پویا و تصادفی (وابسته به زمان و قیمت فروش محصول) باشد، در قسمت ۴ مدل شده است. یکی از خواص و مزایای تابع تقاضای ارائه شده در این پژوهش، عدم نیاز به پیروی از توزیع خاصی برای آن است. هر نوع تقاضای غیرقطعی را می‌توان در مدل ارائه شده استفاده نمود. به دلیل پیچیدگی‌های محاسباتی و خواص پویای مدل، حل مدل از روش‌های معمول ریاضیاتی بسیار سخت و در برخی از مواقع نشدنی است. در این مقاله، یک روش قدرتمند و انعطاف‌پذیر برای حل مسائل کنترل موجودی محصولات فسادپذیر، بدون در نظر گرفتن مفروضات خاص (مثل پیروی تقاضا از تابع توزیع خاصی) ارائه داده شده است. شبیه‌سازی مدل ارائه شده به کمک پویایی‌های سیستم و در نرم‌افزار Vensim DSS انجام شده و یک مثال عددی نیز برای ارائه درک بهتری از مدل ذکر شده است. درنهایت، به کمک بهینه‌سازی متغیرهای ورودی (نقطه سفارش مجدد و مقدار سفارش)، مقدار بهینه تابع هدف (میانگین خالص هزینه‌ها) به دست آمده است. نتایج نشان می‌دهند که خط‌مشی پرکردن موجودی پیشنهادی می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های لازم برای مدیریت و کنترل موجودی محصولات فسادپذیر مفید واقع شود.

مدل شبیه‌سازی ارائه شده در این مقاله توانایی مدل‌سازی انواع محصولات فسادپذیر با تقاضای پویا و تصادفی را دارد. همچنین هزینه‌ی سفارش‌دهی محصول وابسته به اندازه سفارش است که یکی از فرضیات کاربردی در دنیای تجاری امروزه است. هزینه‌ی نگهداری محصول نیز وابسته به سطح موجودی بوده که این فرض نیز به‌وفور در دنیای واقعی یافت می‌شود و ارائه‌ی تخفیف در قیمت خرید و فروش محصول نیز در نظر گرفته شده است. برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود که به بررسی مدل در حالت تولیدی (با محدودیت تعداد کالای تولید شده) یا در درون زنجیره‌تامین پرداخته شود. در نظر گرفتن پژوهش حاظر با تابع هدف ماکزیمم سازی سود نیز می‌تواند به کاربردی‌تر شدن مسئله و مرتبط کردن بحث قیمت‌گذاری با کنترل موجودی کمک کند. همچنین در نظر گرفتن فرضیات بیشتری همچون: تقاضای عقب‌افتاده، محدودیت در اندازه سفارش، حمل یا انبارش محصول و ... نیز می‌تواند به عملیاتی‌تر شدن مدل کمک کند.

مراجع

[1] Harris, F. W. (1913). How many parts to make at once. Factory, The Magazine of Management, 10: 135-136.

[2] Abuo-El-Ata, M., Fergany, H. A. and El-Wakeel, M. F. (2003). Probabilistic multi-item inventory model with varying order cost under two restrictions: a geometric programming approach. International Journal of Production Economics, 83: 223-231.

[3] Hariri, A. and Abou-El-Ata, M. (1997). Multi-item production lot-size inventory model with varying order cost under a restriction: a geometric programming approach. Production Planning & Control, 8: 179-182.

[4] Kotb, K. and Fergany, H. A. (2011). Multi-item EOQ model with varying holding cost: a geometric programming approach. International Mathematical Forum. 1135-1144.

[5] El-Wakeel, M. F. (2012). Constrained backorders inventory system with varying order cost: Lead time demand uniformly distributed. Journal of King Saud University-Science, 24: 285-288.

[6] Fergany, A. and El-Wakeel, M. F. (2006). Constrained probabilistic lost sales inventory system with normal distribution and varying order cost. Journal of Mathematics and Statistics, 2: 363-366.

[7] Fergany, A. and El-Wakeel, M. F. (2006). Constrained probabilistic lost sales inventory system with continuous distributions and varying order cost. Journal of Association for the Advancement of Modeling & Simulation Techniques in Enterprises, 27: 3-4.

[8] Choi, T. M. (2014). *Handbook of EOQ Inventory Problems: Stochastic and Deterministic Models and Applications*, Springer US.

[9] Mendoza, A. and Ventura, J. A. (2010). A serial inventory system with supplier selection and order quantity allocation. European Journal of Operational Research, 207: 1304-1315.

[10] Matsuyama, K. (2001). The EOQ-Models modified by introducing discount of purchase price or increase of setup cost. International Journal of Production Economics, 73: 83-99.

[11] Ting, P. S., Hou, K. L. and Chung, K. J. (2009). An accurate and reliable solution algorithm for the (Q, r) inventory system with a fixed shortage cost. Mathematical and Computer Modelling, 49: 128-135.

[12] Chung, K. J., Lin, S. D. and Srivastava, H. M. (2012). The complete solution procedures for the mathematical analysis of some families of optimal inventory models with order-size dependent trade credit and deterministic and constant demand. Applied Mathematics and Computation, 219: 142-157.

[13] Lagodimos, A., Skouri, K., Christou, I. and Chountalas, P. (2018). The discrete-time EOQ

www.SID.ir

Archive of SID

model: Solution and implications. European Journal of Operational Research, 266: 112-121.

[14] Saavedra-Nieves, A., García-Jurado, I. and Fiestras-Janeiro, M. G. (2018). On coalition formation in a non-convex multi-agent inventory problem. Annals of Operations Research, 261: 255-273.

[15] Mendoza, A. and Ventura, J. A. (2005). An Inventory Model with Incremental Quantity Discounts and Transshipment Costs. IIE Annual Conference. Proceedings. Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), 1.

[16] Tabatabaei, S. R. M., Sadjadi, S. J. and Makui, A. (2017). Optimal pricing and marketing planning for deteriorating items. PloS one, 12: e0172758.

[17] Nghia, N. D. and Toan, N. T. (1997). On a Non-convex Optimization Problem in the Inventory Control System. Vietnam Journal of Mathematics, 25: 203-209.

[18] Azizan, N., Su, Y., Dvijotham, K. and Wierman, A. (2018). Optimal Pricing in Markets with Non-Convex Costs. Operations Research (OR).

[19] Nahmias, S. (2011). *Perishable inventory systems*, Springer Science & Business Media.

[20] Abramovitz, M. (1954). Whitin's Inventory Theoty. Kyklos, 7: 287-289.

[21] Ghare, P. (1963). A model for an exponentially decaying inventory. J. ind. Engng, 14: 238-243.

[22] Feng, L., Chan, Y. L. and Cárdenas-Barrón, L. E. (2017). Pricing and lot-sizing polices for perishable goods when the demand depends on selling price, displayed stocks, and expiration date. International Journal of Production Economics, 185: 11-20.

[23] Van Donselaar, K., Van Woensel, T., Broekmeulen, R. and Fransoo, J. (2006). Inventory control of perishables in supermarkets. International Journal of Production Economics, 104: 462-472.

[24] Duan, Q. and Liao, T. W. (2013). A new age-based replenishment policy for supply chain inventory optimization of highly perishable products. International Journal of Production Economics, 145: 658-671.

[25] Akbari, M., Imani, D. M. and Mahmoodjanloo, M. (2017). Optimizing a vendor managed inventory (VMI) supply chain for perishable products by considering discount: Two calibrated meta-heuristic algorithms. Computers & Industrial Engineering, 103: 227-241.

[26] Sarker, B. R., Jamal, A. M. M. and Wang, S. (2000). Supply chain models for perishable products under inflation and permissible delay in payment. Computers & Operations Research, 27: 59-75.

[27] Chen, X., Pang, Z. and Pan, L. (2014). Coordinating Inventory Control and Pricing Strategies for Perishable Products. Operations Research, 62: 284-300.

[28] Chen, W., Li, J. and Jin, X. (2016). The replenishment policy of agri-products with stochastic demand in integrated agricultural supply chains. Expert Systems with Applications, 48: 55-66.

[29] Sana, S. S. (2010). An EOQ Model for Perishable Item with Stock Dependent Demand and Price Discount Rate. American Journal of Mathematical and Management Sciences, 30: 299-316.

[30] Shen, D., Lai, K. K., Leung, S. C. H. and Liang, L. (2011). Modelling and analysis of inventory replenishment for perishable agricultural products with buyer–seller collaboration. International Journal of Systems Science, 42: 1207-1217.

[31] Dobson, G., Pinker, E. J. and Yildiz, O. (2017). An EOQ model for perishable goods with age-dependent demand rate. European Journal of Operational Research, 257: 84-88.

[32] Avinadav, T., Herbon, A. and Spiegel, U. (2013). Optimal inventory policy for a perishable item with demand function sensitive to price and time. International Journal of Production Economics, 144: 497-506.

[33] Kouki, C., Jemaï, Z. and Minner, S. (2015). A lost sales (r, Q) inventory control model for perishables with fixed lifetime and lead time. International Journal of Production Economics, 168: 143-157.

[34] Chiu, H. N. (1995). An approximation to the continuous review inventory model with perishable items and lead times. European Journal of Operational Research, 87: 93-108.

[35] Chiu, H. N. (1995). A heuristic (R, T) periodic review perishable inventory model with lead times. International Journal of Production Economics, 42: 1-15.

[36] Chen, J. M. and Chen, L. T. (2004). Pricing and lot-sizing for a deteriorating item in a periodic review inventory system with shortages. Journal of the Operational Research Society, 55: 892-901.

[37] Chaudhary, V., Kulshrestha, R. and Routroy, S. (2018). State-of-the-art literature review on inventory models for perishable products. Journal of Advances in Management Research, 15: 306-346.

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

[39] Langroodi, R. R. P. and Amiri, M. (2016). A system dynamics modeling approach for a multi-level, multi-product, multi-region supply chain under demand uncertainty. Expert Systems with Applications, 51: 231-244.

[40] Piewthongngam, K., Vijitnopparat, P., Pathumnakul, S., Chumpatong, S. and Duangjinda, M. (2014). System dynamics modelling of an integrated pig production supply chain. Biosystems Engineering, 127: 24-40.

[41] Kumar, S. and Nigmatullin, A. (2011). A system dynamics analysis of food supply chains – Case study with non-perishable products. Simulation Modelling Practice and Theory, 19: 2151-2168.

www.SID.ir

Archive of SID

[42] Minegishi, S. and Thiel, D. (2000). System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain. Simulation Practice and Theory, 8: 321-339.

[43] Lee, C. F. and Chung, C. P. (2012). An Inventory Model for Deteriorating Items in a Supply Chain with System Dynamics Analysis. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 40: 41-51.

[44] Poles, R. (2013). System Dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies. International Journal of Production Economics, 144: 189-199.

[45] Liu, L. and Yang, T. (1999). An (s, S) random lifetime inventory model with a positive lead time. European Journal of Operational Research, 113: 52-63.

[46] Kalpakam, S. and Shanthi, S. (2006). A continuous review perishable system with renewal demands. Annals of Operations Research, 143: 211-225.

[47] Olsson, F. and Tydesjö, P. (2010). Inventory problems with perishable items: Fixed lifetimes and backlogging. European Journal of Operational Research, 202: 131-137.

[48] Abad, P. L. and Jaggi, C. K. (2003). A joint approach for setting unit price and the length of the credit period for a seller when end demand is price sensitive. International Journal of Production Economics, 83: 115-122.

www.SID.ir

Archive of SID

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Spring and Summer 2019, Volume 7., No. 14., pp. 29-45
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2019.18647.1830

Simulation Of Perishable Products Inventory Management Problem With Varying Order Cost By System Dynamics

A. Sharifi[1], A. Aghaei[2*], D. Rahmani[3]

[1]Industrial Engineering Doctoral Student, K. N. Toosi University of Technology
[2]Industrial Engineering Professor, K. N. Toosi University of Technology
[3]Industrial Engineering Assistant Professor, K. N. Toosi University of Technology

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 19 March 2019
Accepted 14 August 2019

***Keywords*:**

Inventory Control Simulation
Perishable
System Dynamics
Varying Order Cost
Non-convex.

ABSTRACT

Dependence of a product order cost to the order quantity is one of the practical and less surveyed assumptions of the literature of economic order quantity model. This assumptions will cause the goal function to be non-convex and increases the complexity of the problem model. Furthermore, inventory management of the products which are likely to be out of fashion or perished over time, has a great importance. In this regard, simulation of the inventory control model of perishable products has been considered in the present study via the stochastic demand of the product which depends on the time and price of the product. In addition, the dependence of the order cost to the order quantity and dependence of holding cost to the inventory level which are among the practical assumptions of the business world have been considered. These factors cause the usual mathematical solutions not to be able to solve the problem. Therefore, system dynamics have been used as a powerful, flexible, and practical solution to model and solve the problem. A numerical example is also presented to provide a better understanding of the simulation operation; and with the assistance of the optimization of the input variables (ReOrder Point, Order Quantity) the optimal amount of the objective function (Gross Cost Average) is reached. The results showed that the proposed replenishment policy can benefit the necessary decisions regarding inventory management and control of the perishable products.

* Corresponding author. A. Aghaei
Tel.: 021-84063363; E-mail address: AAghaie@kntu.ac.ir

www.SID.ir