

مدل‌سازی و حل یک مسئله موجودی چند محصولی با در نظر گرفتن وجود اقلام معیوب در محموله‌های سفارشی و گزینه‌های خرید یا تعمیر

خسایار امیرحسینی^۱، محمد محمدی^{۲*}، سیدحمیدرضا پسندیده^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران

۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران

۳. دانشیار گروه مهندسی صنایع دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۱۳، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۵/۰۹/۲۴، تاریخ تصویب: ۹۵/۱۰/۱۲)

چکیده

در این پژوهش، یک مسئله موجودی چند محصولی با فرض وجود اقلام معیوب ارائه شده است که دو رویکرد خرید یا تعمیر برای مواجهه با اقلام معیوب و تأمین تقاضا وجود دارد. در مدل‌سازی این مسئله از پژوهش جابر و همکاران ایده گرفته شده است. مدل ریاضی پیشنهادی، هزینه موجودی برای هر نوع محصول را در حالت خرید یا تعمیر اقلام معیوب محاسبه می‌کند و با توجه به هزینه‌های موجودی و شرایط عملیاتی، در مورد خرید یا تعمیر اقلام معیوب تصمیم‌گیری می‌کند. برای توسعه بیشتر و همچنین نزدیک کردن مدل مسئله به شرایط واقعی، محدودیت‌هایی مانند محدودیت بودجه در دسترس و ظرفیت انبار به مدل مسئله اضافه شده است. برای حل این مسئله از روش دقیق استفاده شده است و مثال‌های عددی برای آن حل شده است. همچنین، برای درک اهمیت برخی از پارامترهای مسئله، تحلیل حساسیت انجام گرفته است.

واژه‌های کلیدی: اقلام معیوب، تعمیر، خرید، روش‌های دقیق، مدل مقدار سفارش اقتصادی.

مقدمه

انجام گرفته در این حوزه نیز می‌توان به پژوهش سلامه و جابر [۵] در سال ۲۰۰۰ اشاره کرد. آن‌ها در پژوهش خود یک مدل EOQ را تحت شرایطی که هر محموله دارای اقلام معیوب و درصد این اقلام تصادفی باشد، توسعه دادند. محموله‌ها ابتدا به صورت ۱۰۰ درصد بازرسی می‌شدند و در انتهای دوره بازرسی، اقلامی که معیوب شناخته می‌شدند، از موجودی برداشت و در بازار دیگری با قیمت کمتر فروخته می‌شدند. در واقع، یکی از اصلی‌ترین فرضیات این مطالعه عدم دسترسی به تأمین‌کننده بود. سایر پژوهشگران نیز به این کار توجه بسیاری داشتند و نقد و توسعه گسترده‌ای روی آن انجام گرفت و از جمله آن‌ها می‌توان به پژوهش کاردناس بارون [۶] اشاره کرد که در همان سال این کار را تصحیح کرد یا گویال و کاردناس بارون [۷] که در سال ۲۰۰۲ یک روش ساده‌تر و کاربردی‌تر برای تعیین اندازه سفارش ارائه کردند. چانگ [۸] در سال ۲۰۰۴ این مدل را با این فرض توسعه داد که درصد اقلام معیوب و

سطح مناسب موجودی، موضوعی مهم برای بسیاری از صنایع است و باید تصمیمات مهمی در این زمینه اتخاذ شود [۱]. در این راستا، مدل اندازه سفارش اقتصادی (EOQ)^۱ اولین مدل موجودی بود که هریس [۲] در سال ۱۹۱۳ ارائه داد. مدل ارائه‌شده بسیار ساده بود و محدودیت‌هایی در هم‌نوایی با شرایط واقعی داشت. یکی از این محدودیت‌ها، فرض نبود اقلام معیوب در محموله‌های سفارشی بود. شاید در هر محموله اقلامی وجود داشته باشد که در بازه تعریف‌شده قابل قبول قرار نداشته باشند؛ بنابراین، خریدار باید با توجه به شرایط خود تصمیم مناسب را اتخاذ کند. وجود اقلام معیوب، در محموله‌های سفارشی، یک پنجره باز در این حوزه پژوهشی است. پرتس [۳]، روزنبلات و لی [۴] در سال ۱۹۸۶ از اولین پژوهشگرانی بودند که به صورت جداگانه مطالعاتی را در این خط پژوهشی انجام دادند. از معروف‌ترین پژوهش‌های

سلیمی [۱۴] در سال ۲۰۱۲ پژوهشی ارائه کردند که در کنار توجه به اقلام معیوب، به مفاهیم قیمت‌گذاری^۲ نیز اشاره شده بود. آن‌ها مسئله را در دو حالت بررسی کردند. در حالت اول، هیچ رابطه‌ای بین قیمت سفارش، قیمت فروش خریدار و تقاضا وجود نداشت و در حالت دوم بین سه فاکتور ذکر شده رابطه وجود داشت. در همان سال، طولگیری و همکاران [۱۵] فرض خطا در بازرسی را در پژوهش خود در نظر گرفتند، اما به‌منظور جلوگیری از برگشت از فروش، یک مرحله بازرسی دیگر را پس از دوباره‌کاری اقلام معیوب در نظر گرفتند که این بازرسی بی‌نقص بود. همچنین، آن‌ها سیستم موجودی خود را با توجه به تورم و ارزش زمانی پول و همچنین فرض وجود تخفیف توسعه دادند. از آخرین پژوهش‌های ارائه شده در این حوزه نیز می‌توان به پژوهش اچ سو و اچ سو [۱۶] در سال ۲۰۱۳ اشاره کرد. آن‌ها در پژوهش خود علاوه بر فرض‌هایی مانند کمبود پس‌افت و وجود اقلام معیوب، امکان ارتکاب خطای نوع اول و نوع دوم را در بازرسی اقلام فرض کردند. موسوی-حیدر و همکاران [۱۷] نیز در سال ۲۰۱۳ پژوهشی را انجام دادند. آن‌ها فرض کردند محموله‌های دریافتی ابتدا بازرسی می‌شوند، اما این بازرسی به‌صورت یک نمونه‌گیری به‌منظور پذیرش انجام می‌گیرد. در صورتی که شرایط پذیرش مهیا شود، بازرسی دیگری انجام نمی‌گیرد و اگر محموله دریافتی رد شود، این محموله به‌صورت ۱۰۰ درصد بازرسی می‌شود. تابع هدف در مسئله پیشنهادی آن‌ها، اندازه اقتصادی سفارش و همچنین بهترین طرح از نظر حد متوسط کیفیت خروجی^۳ را تعیین می‌کند. در پژوهش جابر و همکاران [۱۸] مدل سفارش اقتصادی تک‌محصولی با فرض وجود اقلام معیوب ارائه شده است؛ به‌طوری‌که تأمین‌کننده، در مسافت دوری واقع است و اقلام معیوب یا باید به‌صورت اورژانسی دوباره خریداری شوند یا تعمیر شوند. در زمینه جایگزینی اقلام معیوب می‌توان به پژوهش تیموری و کاظمی [۱۹] در سال ۲۰۱۵ نیز اشاره کرد. آن‌ها یک مدل زنجیره تأمین سه سطحی را در نظر گرفته بودند که در آن اقلام فاسدشدنی وجود داشتند و آن‌ها جایگزین می‌شدند. قیمت‌گذاری برای اقلام نیز از دیگر نوآوری‌های آن‌ها در این مطالعه بود. در سال

تقاضا، فازی باشد. این کار تمام فرضیات موجود در پژوهش سلامه و جابر را تعقیب می‌کرد، اما در حالت اول نرخ اقلام معیوب فازی بود و در حالت دیگر تقاضا فازی بود. در سال ۲۰۰۷ می‌توان به پژوهش وی و همکاران [۹] اشاره کرد. در این تحقیق تقریباً معروف نیز فرضیات مطرح شده در پژوهش سلامه و جابر ارائه شده بود، اما به آن کمبود به‌صورت سفارش‌های عقب‌افتاده نیز اضافه شده بود. آن‌ها با مثال‌های عددی و همچنین یک الگوریتم نشان دادند که مدل آن‌ها کارایی بیشتری دارد. مده و جابر [۱۰] در سال ۲۰۰۸ تأثیر سرعت بازرسی و همچنین پروسه‌های تأمین را در اندازه سفارش اقتصادی مطالعه کردند. در سیستم موجودی پیشنهادی آن‌ها، اقلام معیوب چند محموله، با هم در یک محموله قرار می‌گرفتند. این کار را نیز وهاب و جابر در سال ۲۰۱۰ [۱۱] توسعه دادند. آن‌ها در پژوهش خود برای اقلام معیوب و سالم هزینه‌های نگهداری مختلف را در کنار تأثیر یادگیری در نظر گرفتند. همچنین، آن‌ها تأثیر هر حالت را در اندازه سفارش اقتصادی نشان دادند. در سال ۲۰۱۱ می‌توان به پژوهش خان و همکاران [۱۲] اشاره کرد. آن‌ها در تحقیق خود دوباره فرض ارتکاب خطا توسط بازرس را در نظر گرفتند. در نظر گرفتن خطاهای نوع اول و دوم و همچنین هزینه‌های مربوط به آن‌ها در یک رویکرد جدید، از جمله نوآوری‌های ارائه شده در این پژوهش بود. خان و همکاران [۱۳] در همان سال در پژوهشی دیگر تمام تحقیقاتی را که براساس مطالعه سلامه و جابر ارائه شده بود بازنگری و نقد کردند. این پژوهش معروف‌ترین پژوهش بازنگری ارائه شده در این حوزه پژوهشی است. آن‌ها پژوهش‌های ارائه شده را به شش دسته مختلف تقسیم کردند: دسته اول فقط اقلام معیوب و اصلاحات و کاربرد پژوهش سلامه و جابر را بررسی کرده‌اند؛ دسته دوم کمبود را در مدل‌های خود فرض کرده‌اند؛ در دسته سوم پژوهش‌ها مفاهیم کنترل کیفیت وجود داشته است؛ در دسته چهارم وجود اقلام معیوب در زنجیره تأمین دسته‌بندی شده است؛ در دسته پنجم پژوهش‌ها از اعداد فازی استفاده شده است. سرانجام در دسته ششم پژوهش‌هایی وجود داشتند که در آن‌ها فرضیات دیگری مانند تخفیف، ارزش زمانی پول، مجازبودن دیرکرد در پرداخت مطرح شده بود. رضایی و

ارائه دهند. کاظمی و همکاران [۲۴] نیز از همین تکنیک برای حل مدل ارائه‌شده استفاده کردند. البته آن‌ها یک مدل چند محصولی تولید اقتصادی ارائه کردند که در آن تقاضا فازی بود و همچنین محدودیت فضا وجود داشت. می‌توان به پژوهش چن [۲۵] در سال ۲۰۱۶ نیز به‌عنوان یکی از پژوهش‌های اخیر اشاره کرد که در آن یک سیستم زنجیره تأمین دوسطحی با فرض وجود اقلام معیوب و همچنین قیمت‌گذاری ارائه شد. در این پژوهش، دو سیاست همکاری و عدم همکاری برای قیمت‌گذاری مقایسه شدند. همچنین، رضایی [۲۶] در سال ۲۰۱۶ در پژوهشی یک سیستم موجودی ارائه داد که در آن محموله‌های دریافتی که دارای اقلام معیوب بودند توسط طرح‌های نمونه‌گیری به‌منظور پذیرش بازرسی می‌شدند. هدف این پژوهش تعیین اندازه سفارش و همچنین طرح نمونه‌گیری مناسب برای حداکثرسازی سود بود. به‌تازگی، خان و همکاران [۲۷] یک سیستم زنجیره تأمین تحت سیاست VMI^۴ ارائه کردند که در آن نیز در محموله‌های دریافتی اقلام معیوب وجود داشت و خرده‌فروش برای مواجهه با آن‌ها تصمیم می‌گرفت. موضوع اقلام معیوب همچنین در مطالعات دیگر مانند اقلام معیوب در سیستم‌های زنجیره تأمین و با استفاده از تئوری‌های صف نیز بررسی شده است [۲۸].

در پژوهش حاضر، تحقیق جابر و همکاران [۱۸] با هدف نزدیک‌تر کردن مدل مسئله به شرایط واقعی توسعه داده شده است؛ به‌طوری‌که یک سیستم چند محصولی ارائه شده است که در آن محموله‌های سفارشی، دارای اقلام معیوب هستند و برای هر محصول باید تصمیم‌گیری شود که خرید اضطراری یا تعمیر صورت گیرد. همچنین، برای نوآوری بیشتر محدودیت‌هایی مانند محدودیت در بودجه در دسترس و فضای مورد نیاز برای انبار کالا وجود دارد که فضای مسئله را به واقعیت نزدیک‌تر کرده‌اند. این محدودیت‌ها احتمالی هستند و با یک درصد اطمینان مشخصی ارضا می‌شوند. درواقع، انواع مختلف محصول در این دو محدودیت با یکدیگر رقابت می‌کنند. جدول ۱ به‌خوبی نوآوری‌های ارائه‌شده در این پژوهش را در مقایسه با پژوهش‌های اخیر در زمینه این موضوع پژوهشی مشخص می‌کند.

۲۰۱۵ ژو و همکاران [۲۰] یک مدل تولید اقتصادی (EPQ) را ارائه کردند که در آن اقلام معیوب هم در محصولات خریداری‌شده وجود داشت و هم در محصولات تولیدشده. همچنین، تولیدکننده برای خرید کالای خام مورد نیاز خود با یک تخفیف - که یک‌بار اتفاق می‌افتاد - مواجه بود. آن‌ها برای حل مسئله ارائه‌شده از روش‌های دقیق استفاده کردند. پژوهش کومار و گسوارمی [۲۱] نیز در سال ۲۰۱۵ انجام گرفت. آن‌ها نیز یک مدل EPQ را با در نظر گرفتن اقلام معیوب ارائه کردند که در آن هم پارامترهای تصادفی و هم پارامترهای فازی وجود داشت. در مدل آن‌ها تولید در بازه‌های تصادفی که ماهیت فازی داشتند از کنترل خارج و اقلام معیوب تولید می‌شد که درصد اقلام معیوب تولیدشده نیز یک پارامتر فازی بود. نرخ تقاضا از جمله پارامترهای تصادفی بود. در مدل آن‌ها محدودیتی برای بودجه در دسترس و تعداد فروش از دست‌رفته وجود داشت. در نهایت، مدل به‌دست‌آمده غیرخطی و پیچیده بود؛ بنابراین، برای حل آن از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده شد. در این پژوهش از الگوریتم PSO برای جست‌وجوی جواب نزدیک به بهینه استفاده شد. طالع‌زاده و حسنی [۲۲] یک مدل کنترل موجودی چند محصولی ارائه کردند که در آن‌ها موضوع اقلام معیوب در کنار پرداخت معوق بررسی شده بود. آن‌ها مسئله تحت بررسی را با استفاده از روش‌های دقیق حل کردند. پسندیده و همکاران [۲۳] توسعه داده شد. آن‌ها در پژوهش خود فرض کردند که اقلام معیوب خود به گروه‌های متفاوتی تقسیم می‌شوند؛ بنابراین، برای دوباره کار هر کدام از این گروه‌ها باید کارهای متفاوتی انجام گیرد. مسئله یک سیستم چند محصولی یا یک ماشین ارائه شده بود که کمبود به‌صورت فروش از دست‌رفته و پساقت بود. این مدل که در سال ۲۰۱۵ ارائه شده است، از کامل‌ترین مدل‌های ارائه‌شده در موضوع اندازه تولید اقتصادی و اقلام معیوبی است که دوباره کاری می‌شوند. مدل مسئله در پژوهش آن‌ها به‌صورت یک مدل غیرخطی پیوسته اما مقید مدل‌سازی شد. آن‌ها برای حل از روش آزادسازی لاگرانژ استفاده کردند و در نهایت با استفاده از تکنیک مشتق‌گیری توانستند یک نتیجه‌گیری کامل و کلی برای حل مسئله

جدول ۱. بررسی نوآوری‌های ارائه‌شده در مطالعات انجام‌گرفته

ردیف	موضوع	موضوع	موضوع	موضوع
*	*			جابر و همکاران [۱۸]
*	*	*		طالعی‌زاده و حسنی [۲۲]
*	*	*		پسندیده و همکاران [۲۳]
*				رضایی [۲۶]
*				خان و همکاران [۲۷]
*	*	*	*	پژوهش حاضر

با توجه به جدول ۱، ارائه‌کردن مدل موجودی به‌صورت چند محصولی با در نظر گرفتن گزینه‌های خرید اضطراری و تعمیر برای مواجهه با اقلام معیوب، اولین نوآوری این پژوهش نسبت به پژوهش‌های اخیر است. همچنین، اضافه‌کردن محدودیت‌های احتمالی یکی دیگر از نوآوری‌هایی است که در پژوهش‌های اخیر به آن پرداخته نشده است.

در ادامه، مدل‌سازی ریاضی مسئله با توجه به فرضیات مطرح‌شده انجام می‌گیرد. سپس حل مسئله و ارائه یک راه‌حل برای حل آن و طراحی مثال عددی مناسب صورت می‌گیرد. بعد از آن، تحلیل حساسیت روی برخی از پارامترهای مدل انجام می‌گیرد و در آخرین قسمت نتیجه‌گیری و همچنین فرصت‌های آتی مطالعاتی در این حوزه پژوهشی ارائه می‌شود.

مدل‌سازی

در این قسمت، فرضیات مطرح‌شده و مدل‌سازی ریاضی مسئله ارائه می‌شود. ابتدا، فرضیات مسئله مطرح‌شده ارائه می‌شود. سپس مدل‌سازی ریاضی براساس فرضیات مطرح‌شده صورت می‌گیرد.

فرضیات و نشانه‌گذاری

در پژوهش حاضر، فرضیات اصلی - که مدل‌سازی مسئله با توجه به آن‌ها انجام گرفته است - به‌صورت زیر است. این فرضیات براساس فرضیات مطرح‌شده در پژوهش جابر و همکاران [۱۸] ارائه شده‌اند.

۱. تمام فرضیات مدل EOQ از جمله پیوسته‌بودن تقاضا، افق زمانی نامحدود و... در نظر گرفته شده‌اند.

- دسترسی به تأمین‌کننده کالا به‌منظور تعمیر یا تعویض کالا وجود ندارد.
 - در مدل چند محصولی ارائه‌شده، انواع مختلف محصولات به‌صورت مستقل سفارش داده می‌شوند و هزینه‌های مربوط به موجودی آن‌ها مستقل از هم در نظر گرفته می‌شود.
 - هر محموله ابتدا به‌صورت ۱۰۰ درصد بازرسی می‌شود و در پایان دوره بازرسی، اقلام معیوب از موجودی غربال می‌شوند. این اقلام باید یا برای تعمیر فرستاده شوند یا به‌صورت اضطراری از تأمین‌کننده دیگری خریداری شوند.
 - زمان حمل‌ونقل تا کارگاه تعمیر و همچنین زمان مورد نیاز برای تعمیر کالا در نظر گرفته شده‌اند. امکان پذیر بودن تعمیر برای یک کالا با توجه به این زمان‌ها و نرخ تقاضا تعیین می‌شود.
 - هزینه‌های سفارش، خرید و نگهداری اضطراری و همچنین حمل‌ونقل تا محل کارگاه تعمیر، انجام‌دادن تعمیر روی کالای معیوب و نگهداری کالای تعمیرشده، برای انواع مختلف کالاها در نظر گرفته شده است.
- فرضیات زیر برای پشتیبانی از نوآوری‌های ارائه‌شده در این پژوهش مطرح شده‌اند:
- محدودیت‌های ظرفیت انبار و بودجه در دسترس در نظر گرفته شده است که احتمالی هستند و توزیع آن‌ها نرمال است. این فرض به فرض‌های مطالعه جابر اضافه شده است.
 - محصولات به‌صورت مستقل سفارش داده می‌شوند و همچنین تصمیم‌گیری برای تعمیر یا خرید اضطراری اقلام معیوب موجود در محموله‌های دریافتی هر محصول جداگانه انجام می‌گیرد.
 - همه اقلام معیوب موجود در هر محصول یا تعمیر می‌شوند یا به‌ازای همه آن‌ها سفارش اضطراری انجام می‌گیرد.
 - نرخ اقلام معیوب در این پژوهش یک پارامتر احتمالی با توزیع نرمال است.
- جدول ۲ علامت‌گذاری برای اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

جدول ۲. علامت‌گذاری اندیس‌ها، پارامترهای و متغیرهای تصمیم مسئله

تعریف	اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم
j	اندیس مربوط به نوع محصول
y_j	اندازه سفارش برای محصول j ام
$t_{I,j}$	زمان مورد نیاز برای بازرسی اندازه انباشته
$t_{T,j}$	زمان مورد نیاز برای ارسال و دریافت محصول j ام
D_j	نرخ تقاضای محصول j
ρ_j	کسر اقلام معیوب در محصول j ام
T_j	دوره محصول j ام
x_j	نرخ بازرسی محصول j ام
S_j	هزینه راه‌اندازی خط تولید برای تعمیر محصول j ام
A_j	هزینه ثابت حمل‌ونقل برای محصول j ام
$c_{1,j}$	هزینه مواد اولیه و نیروی انسانی برای یک واحد محصول j ام
$c_{T,j}$	هزینه مورد نیاز برای حمل‌ونقل یک واحد محصول j ام
h'_j	هزینه نگهداری هر واحد محصول j در هر واحد زمان (در تسهیلات تعمیر)
h_j	هزینه نگهداری هر واحد محصول j (واقع در حدود کیفیت) در هر واحد زمان
$c_{R,j}$	هزینه‌ای که خریدار باید برای تعمیر هر واحد محصول j متحمل شود
$t_{R,j}$	زمان مورد نیاز برای تعمیر محصول j ام
R_j	نرخ تعمیر برای محصول j ام
$h_{R,j}$	هزینه نگهداری هر واحد محصول تعمیرشده j ام در واحد زمان
$h_{E,j}$	هزینه نگهداری هر واحد محصول j ام که به‌صورت اضطراری خریداری شده است در واحد زمان
m_j	نرخ ارزش افزوده هر محصول j
$c_{E,j}$	هزینه خرید اضطراری هر واحد محصول j
K_j	هزینه سفارش محصول j
$c_{U,j}$	هزینه خرید هر واحد محصول j
$c_{I,j}$	هزینه بازرسی هر واحد محصول j
z_j	برابر است با ۱ اگر محصول j تعمیر شود در غیر این صورت (خرید اضطراری) برابر است با ۰
Sp_j	فضای مورد نیاز برای یک واحد محصول j
Budget	کل بودجه در دسترس
Cap	ظرفیت انبار
$E [.]$	امید ریاضی متغیر احتمالی
σ	انحراف معیار ریاضی متغیر احتمالی

فرمول سازی

بر اساس فرضیات مطرح شده، زمانی که یک محموله دریافت می شود، با نرخ تقاضای D_j مصرف و همچنین به صورت همزمان با نرخ x_j ، $(x_j > D_j)$ بازرسی می شود. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود، پس از سپری شدن زمان مورد نیاز برای بازرسی کامل یک اندازه

$$\rho_j * y_j \text{ انباشته } t_{I,j} = \frac{y_j}{x_j}$$

از موجودی برداشته می شوند. آن ها باید تعمیر یا به صورت اورژانسی خریداری شوند. در حالت تعمیر، آن ها به قسمت تسهیلات تعمیر فرستاده می شوند که ارسال، تعمیر و بازگشت آن ها زمانی به اندازه $t_{R,j} + t_{I,j}$ صرف می کند. فرض می شود $t_{T,j} + t_{R,j} + t_{I,j} \leq T_j$ در غیر این صورت کمبود رخ می دهد که در پژوهش حاضر این موضوع بررسی نشده است. با توجه به هزینه تعریف شده برای نیروی انسانی، مواد اولیه و تعمیر برای هر نوع محصول j ، مجموع کل هزینه ها برای تعمیر اقلام معیوب در یک اندازه انباشته y_j ، TCR_j به صورت رابطه ۱ محاسبه می شود:

$$TCR_j = S_j + 2A_j \quad (1)$$

$$+ \rho_j y_j (c_{1,j} + 2c_{T,j}) + h'_j t_{R,j}$$

در نهایت، هزینه تعمیر هر واحد محصول j که به خریدار تحمیل می شود $(c_{R,j})$ از رابطه ۲ به دست می آید:

$$c_{R,j}(y_j) = (1 + m_j) \left(\frac{S_j + 2A_j}{\rho_j y_j} + c_{1,j} + 2c_{T,j} + h'_j \frac{\rho_j^2 y_j^2}{2R_j} \right) \quad (2)$$

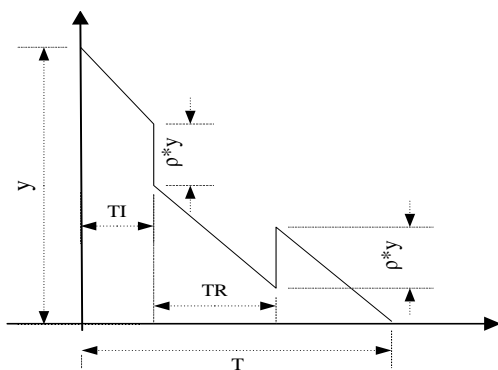
مجموع هزینه نگهداری از دو قسمت اصلی تشکیل شده است؛ هزینه نگهداری برای اقلام با کیفیت درست و هزینه نگهداری برای اقلامی که تعمیر شده اند. در نهایت، با توجه به شکل ۱ مجموع کل هزینه نگهداری (THC_j) برابر است با:

$$THC_j = h_j \left(\frac{y_j^2 (1 - \rho_j)^2}{2D_j} + \frac{\rho_j y_j^2}{x_j} \right)$$

$$+ h_{R,j} \left(\frac{\rho_j y_j^2}{D_j} - \rho_j y_j \left(\frac{y_j}{x_j} + \frac{\rho_j y_j}{R_j} + t_{T,j} \right) - \frac{\rho_j^2 y_j^2}{2D_j} \right) \quad (3)$$

هزینه سالیانه موجودی در حالتی که اقلام معیوب محصول (j) تعمیر می شوند (ITC_j^R) از رابطه ۴ به دست می آید:

$$ITC_j^R = \frac{K_j D_j}{y_j} + c_{U,j} D_j + c_{I,j} D_j + c_{R,j}(y_j) \rho_j D_j + h_j \left(\frac{y_j (1 - \rho_j)^2}{2} + \frac{\rho_j y_j}{x_j D_j} \right) + h_{R,j} \left(\frac{\rho_j y_j - \rho_j D_j \left(\frac{y_j}{x_j} + \frac{\rho_j y_j}{R_j} + t_{T,j} \right)}{-\frac{\rho_j^2 y_j}{2}} \right) \quad (4)$$



شکل ۱. نمودار موقعیت موجودی در حالت تعمیر

همان طور که گفته شد ρ_j یک متغیر تصادفی است که دارای تابع توزیع است، پس ارزش انتظاری هزینه کل در حالت تعمیر $EITC_r(y_j)$ از رابطه ۵ به دست می آید.

$$EITC_r(y_j) = \frac{K_j D_j}{y_j} + c_{U,j} D_j + c_{I,j} D_j$$

موارد ارضا می‌شود. برای حل این مشکل از واریانس این متغیر استفاده شده است. بدین ترتیب، این محدودیت با $(1-\alpha)\%$ اطمینان ارضا می‌شود.

همچنین، با توجه به ظرفیت تعریف شده برای انبار Cap ، محدودیت ظرفیت انبار به صورت رابطه ۸ تعریف می‌شود.

$$\sum_{j=0}^J y_j Sp_j + \sigma_{Cap} Z_{1-\alpha} \leq E(Cap) \quad (۸)$$

سرانجام مدل نهایی مسئله تعریف شده به صورت رابطه ۹ است:

$$\min(f) = \sum_{j=0}^J EITC_b(y_j)(1-z_j) + \sum_{j=0}^J EITC_r(y_j)z_j \quad (۹)$$

S.T

$$EITC_b(y_j) = \frac{K_j D_j}{y_j} - C_s E(\rho_j) D_j + c_{U,j} D_j + c_{I,j} D_j + c_{E,j} E(\rho_j) D_j + h_j \left(\frac{y_j (1 - 2E(\rho_j) + E(\rho_j)^2)}{2} + \frac{E(\rho_j) y_j D_j}{x_j} \right) + h_{E,j} E(\rho_j)^2 \frac{y_j}{2} \quad (۱۰)$$

$$EITC_r(y_j) = \frac{K_j D_j}{y_j} + c_{U,j} D_j + c_{I,j} D_j + (1+m_j) \left(\frac{S_j + 2A_j + c_{1,j} E(\rho_j)}{E(\rho_j) y_j} + 2c_{T,j} E(\rho_j) + h'_j \frac{E(\rho_j)^2 y_j^2}{2R_j} \right) D_j \quad (۱۱)$$

$$+ h_j \left(\frac{y_j (1 - 2E(\rho_j) + E(\rho_j)^2)}{2} + \frac{E(\rho_j) y_j D_j}{x_j} \right)$$

$$\left(\frac{S_j + 2A_j + c_{1,j} E(\rho_j)}{E(\rho_j) y_j} + 2c_{T,j} E(\rho_j) + h'_j \frac{E(\rho_j)^2 y_j^2}{2R_j} \right) D_j + h_j \left(\frac{y_j (1 - 2E(\rho_j) + E(\rho_j)^2)}{2} + \frac{E(\rho_j) y_j D_j}{x_j} \right) + h_{R,j} \left(\begin{array}{l} E(\rho_j) y_j \\ -D_j \left(\frac{E(\rho_j) y_j}{x_j} + \frac{E(\rho_j)^2 y_j}{R_j} \right) \\ + E(\rho_j) t_{T,j} \\ - \frac{E(\rho_j)^2 y_j}{2} \end{array} \right) \quad (۵)$$

در حالت خرید اقلام معیوب برداشته و اسقاط می‌شوند. سپس برای تأمین تقاضا، آن‌ها به صورت اضطراری خریداری می‌شوند. هزینه‌های نگهدار، سفارش و... مشابه حالت تعمیر محاسبه می‌شوند و در نتیجه ارزش انتظاری هزینه کل سالیانه موجودی در حالت خرید $(EITC_b(y_j))$ از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$EITC_b(y_j) = \frac{K_j D_j}{y_j} - C_s E(\rho_j) D_j + c_{U,j} D_j + c_{I,j} D_j + c_{E,j} E(\rho_j) D_j + h_j \left(\frac{y_j (1 - 2E(\rho_j) + E(\rho_j)^2)}{2} + \frac{E(\rho_j) y_j D_j}{x_j} \right) + h_{E,j} E(\rho_j)^2 \frac{y_j}{2} \quad (۶)$$

با توجه به بودجه در دسترس $Budget$ ، محدودیت بودجه، به صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود.

$$\sum_{j=1}^J c_{U,j} y_j + \sigma_{Budget} Z_{1-\alpha} \leq E(Budget) \quad (۷)$$

همان‌طور که اشاره شد، بودجه در دسترس یک پارامتر احتمال با توزیع نرمال است. در نتیجه، اگر فقط به امید ریاضی آن بسنده شود، این محدودیت فقط در ۵۰ درصد

جدول ۳. مقادیر پارامترهای مسئله برای حل مثال عددی

مقادیر	پارامترها
(۰/۰۱۵، ۰/۰۳)	$t_{T,j}$
(۱۶۰۰، ۴۰۰)	D_j
(۰/۳، ۰/۱)	$E[\rho_j]$
(۰/۰۱، ۰/۰۲)	$V(\rho_j)$
(۲۵۰۰، ۳۰۰۰)	x_j
(۱۰، ۲۰)	S_j
(۱۰، ۲۰)	A_j
(۵، ۱۰)	$c_{1,j}$
(۵، ۱۰)	$c_{T,j}$
(۱۰، ۲۰)	h'_j
(۲، ۵)	h_j
(۱، ۱۰)	$c_{1,j}$
(۱۵۰۰، ۲۵۰۰)	R_j
(۱۰، ۱۵)	$h_{R,j}$
(۱۵، ۲۵)	$h_{E,j}$
(۰/۱، ۰/۲)	m_j
(۱۰۰۰، ۲۰۰۰)	K_j
(۱۰، ۱۵)	$c_{U,j}$
$c_{U,j}^*(1/4, 1/8)$	$c_{E,j}$
(۱، ۴)	Sp_j
(۲۵۰۰، ۷۰۰۰)	$E(Budget)$
(۵۰، ۱۰۰)	σ_{Budget}
(۵۰۰، ۱۰۰۰)	$E(Cap)$
(۸، ۱۵)	σ_{Cap}

یک مثال عددی با استفاده از داده‌های جدول ۳ حل شده است که جدول ۴ نتایج حل این مثال را نشان می‌دهد.

کل هزینه سیستم موجودی ۴۹۰۹۷۶ به دست آمده است. شایان ذکر است در برخی محصولات مانند محصول ۸، با اینکه ارزش انتظاری هزینه موجودی در حالت تعمیر

$$+h_{R,j} \begin{pmatrix} E(\rho_j)y_j \\ -D_j \left(\frac{E(\rho_j)y_j}{x_j} + \frac{E(\rho_j)^2 y_j}{R_j} \right) \\ +E(\rho_j)t_{T,j} \\ -\frac{E(\rho_j)^2 y_j}{2} \end{pmatrix}$$

$$\sum_{j=1}^J c_{U,j} y_j + \sigma_{Budget} Z_{1-\alpha} \leq E(Budget) \quad (12)$$

$$\sum_{j=0}^J y_j Sp_j + \sigma_{Cap} Z_{1-\alpha} \leq E(Cap) \quad (13)$$

$$z_j * \left(\frac{E(\rho_j)y_j}{R_j} + t_{T,j} + \frac{y_j}{x_j} + \sigma_{\rho_j} Z_{1-\alpha} \right) \leq \frac{y_j}{D_j} \quad (14)$$

شایان ذکر است محدودیت ۱۴ برای جلوگیری از کمبود تعبیه شده است. این محدودیت بیان می‌کند که اگر گزینه تعمیر برای محصولی انتخاب شود، این انتخاب باید با توجه به امکانات بازرسی و تعمیر (سرعت بازرسی، تعمیر و حمل و نقل) صورت گیرد. با توجه به احتمالی بودن پارامتر ρ_j این محدودیت نیز به صورت احتمالی مطرح می‌شود.

روش حل

مسئله پیشنهادی، یک مسئله غیرخطی و عدد صحیح مختلط^۵ است. این مسائل پیچیدگی لازم را برای حل با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری دارند [۲۹]، اما می‌توان در اندازه کوچک، آن‌ها را با استفاده از روش‌های دقیق حل کرد. برای این کار نرم‌افزار GAMS به‌عنوان یک راه حل دقیق پیشنهاد می‌شود. پس کافی است یک مثال عددی تولید شود و سپس با استفاده از نرم‌افزار این مثال حل شود. جدول ۳ مقادیر پارامترها برای تولید یک مثال عددی را نشان می‌دهد. تمامی پارامترها از توزیع یکنواخت پیروی می‌کنند که بازه تغییر آن‌ها در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

شده‌اند. برای این کار با توجه به داده‌های جدول ۲ یک مثال عددی حل می‌شود. سپس مقادیر هریک از پارامترها به‌طور جداگانه افزایش داده می‌شود و اندازه افزایش یا کاهش تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. جدول‌های ۵ تا ۹ نتایج به‌دست‌آمده را نشان می‌دهند. هریک از محصولات تقاضا، نرخ اقلام معیوب و هزینه سفارش‌دهی ویژه خود را دارند، اما در این قسمت فرض شده است مقادیر این پارامترها برای تمام محصولات یکسان است.

کمتر از حالت خرید است، گزینه خرید انتخاب شده است؛ زیرا با توجه به نرخ تقاضا، بازرسی، زمان مورد نیاز برای تعمیر و حمل‌ونقل، تعمیر این محصول، بدون مواجه شدن با کمبود، امکان‌پذیر نیست.

تحلیل حساسیت

در این قسمت، تحلیل حساسیت روی برخی از پارامترهای مهم مسئله انجام می‌گیرد. از میان پارامترهای مسئله، D_j ، $E(Cap)$ ، $E(Budget)$ ، $E(\rho_j)$ ، K_j برگزیده

جدول ۴. نتایج یک مثال عددی با ۱۰ نوع محصول مختلف

product	y_j	$EITC_r(y_j)$	$EITC_b(y_j)$	z_j
۱	۴۲	۳۹۵۹۷/۷۱	۳۹۲۲۶/۶۶	۰
۲	۶۲	۶۴۶۳۷/۱۴	۶۵۸۵۴/۸۴	۰
۳	۴۸	۶۰۴۳۳/۲۰	۵۹۰۰۹/۳۹	۰
۴	۴۷	۴۴۳۱۸/۹۸	۴۵۱۲۱/۱۴	۱
۵	۳۷	۳۷۶۹۵/۷۸	۳۸۳۳۵/۰۸	۱
۶	۴۲	۳۹۹۹۵/۵۳	۴۲۰۶۲/۷۴	۱
۷	۳۰	۴۸۰۵۶/۹۲	۴۷۷۳۱/۰۸	۰
۸	۵۰	۶۷۷۴۴/۸۳	۷۱۹۸۵/۹۰	۰
۹	۵۰	۲۷۲۰۵/۵۲	۲۶۹۶۰/۸۵	۰
۱۰	۳۷	۵۷۶۱۸/۰۱	۵۸۱۹۶/۸۱	۰

جدول ۷. نتایج تحلیل حساسیت پارامتر بودجه در دسترس

	۰٪+	۲۵٪+	۵۰٪+	۷۵٪+
Budget	۵۰۰۰	۶۲۵۰	۷۵۰۰	۸۷۵۰
F	۹۰۶۹۸۵	۷۷۲۱۴۴/۶	۶۸۳۵۳۵/۱	۶۲۱۰۶۵/۲

جدول ۵. نتایج تحلیل حساسیت پارامتر تقاضا

	۰٪+	۲۵٪+	۵۰٪+	۷۵٪+
D	۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۵۰۰	۱۷۵۰
F	۷۵۲۱۶۹/۲	۹۴۰۰۶۳/۷	۱۱۷۹۵۸/۲۸	۱۳۱۵۸۵۲

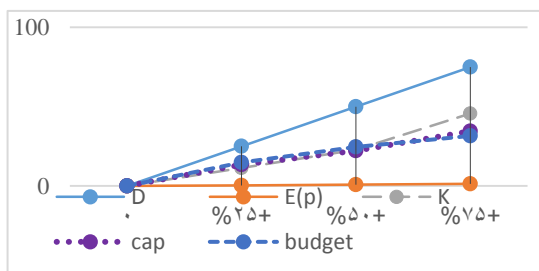
جدول ۸. نتایج تحلیل حساسیت پارامتر نرخ اقلام معیوب

	۰٪+	۲۵٪+	۵۰٪+	۷۵٪+
$E[\rho]$	۰/۱	۰/۱۲۵	۰/۱۵	۰/۲
F	۶۱۲۸۲۵/۴	۶۱۴۶۳۲/۴	۶۱۷۸۱۷/۳	۶۲۱۰۶۵/۲

جدول ۶. نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ظرفیت انبار

	۰٪+	۲۵٪+	۵۰٪+	۷۵٪+
Cap	۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۵۰۰	۱۷۵۰
F	۷۵۲۱۶۹/۲	۶۵۱۲۱۶/۳۶	۵۸۵۳۱۱/۵	۴۹۲۷۳۷

این موضوع در مقدار کم این پارامتر است. این پارامتر همیشه مقدار بسیار کمتر از ۱ دارد و به همین دلیل روند افزایش یا کاهش که در مقدار پارامترها برگزیده شده است، مقدار زیادی به آن اضافه نکرده است. این موضوع در دنیای واقعی بسیار مفید است. اگر در تخمین متوسط نرخ اقلام معیوب موجود در محموله‌ها تا ۷۵ درصد اشتباه کرده باشیم، مقادیر هزینه‌ها کمتر از ۲ درصد تغییر اضافه می‌شود. پارامترهای اضافه‌شده به مسئله مانند بودجه در دسترس و ظرفیت انبار، تأثیر یکسانی بر افزایش یا کاهش مقدار تابع هدف دارند، اما با توجه به داده‌های مسئله ممکن است در حد ۱ تا ۲ درصد از یکدیگر پیشی بگیرند. طبق جدول ۹، وقتی پارامتر $E(Cap)$ ، ۷۵ درصد افزایش می‌یابد تأثیرگذاری بیشتری نسبت به پارامتر بودجه در دسترس دارد. این موضوع مربوط به داده‌های مسئله است. داده‌های جدول ۹ در شکل ۲ به صورت یک نمودار نمایش داده می‌شوند.



شکل ۲. نمودار اندازه تغییرات مقدار تابع هدف

شایان ذکر است برای راحتی مقایسه، قدر مطلق داده‌ها در این نمودار قرار گرفته‌اند. این نمودار نیز نتیجه‌گیری‌های قبلی را تصدیق می‌کند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این پژوهش، یک مسئله موجودی چند محصولی با فرض وجود اقلام معیوب در محموله دریافتی در شرایطی که دو سیاست تعمیر یا خرید برای اقلام معیوب وجود داشت، ارائه شد. این مسئله به صورت یک مسئله غیرخطی عدد صحیح، تحت شرایطی که محدودیت‌های ظرفیت انبار و بودجه در دسترس وجود داشت، مدل‌سازی شد. برای حل این مسئله از نرم‌افزار GAMS به عنوان یک راه‌حل دقیق استفاده شد و همچنین در طراحی مثال عددی تلاش شد

جدول ۹. نتایج تحلیل حساسیت پارامتر هزینه سفارش

	۰٪+	۲۵٪+	۵۰٪+	۷۵٪+
K	۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۵۰۰	۲۵۰۰
F	۴۶۳۰۱۰/۸	۵۱۵۴۸۵/۴	۵۶۸۷۵۵/۷	۶۷۴۲۸۲/۱

جدول ۱۰ نتایج تحلیل‌شده از جدول‌های ۵ تا ۹ را نشان می‌دهد. در این جدول، ستون اول نام پارامتر و ستون‌های سوم تا چهارم درصد افزایش یا کاهش تابع هدف را نسبت به تغییرات پارامترها نشان می‌دهد.

جدول ۱۰. تغییرات تابع هدف نسبت به پارامترها

	۲۵٪	۵۰٪	۷۵٪
D	۲۵	۵۰	۷۵
E(ρ)	۰/۳۹	۰/۸۱	۱/۳۴
K	۱۱	۲۳	۴۶
E(Cap)	-۱۳	-۲۲	-۳۴
E(Budget)	-۱۵	-۲۵	-۳۲

همان‌طور که جدول ۱۰ نشان می‌دهد، مسئله نسبت به پارامتر تقاضا بیشترین حساسیت را دارد. اگر این پارامتر افزایش می‌یافت، مسئله در دست حل، غیر قابل حل می‌شود. پس از پارامتر تقاضا، پارامترهای K ، $E(Budget)$ و $E(Cap)$ تقریباً حساسیت یکسانی دارد. افزایش این پارامترها مقدار تابع هدف را تقریباً به یک میزان افزایش یا کاهش می‌دهد. وقتی پارامتر K بیش از ۵۰ درصد افزایش می‌یابد، حساسیت بیشتری نسبت به پارامترهای ظرفیت انبار و بودجه در دسترس پیدا می‌کند. دلیل این مسئله در فعال شدن یک یا هر دو محدودیت مربوط به بودجه یا ظرفیت انبار است. وقتی هزینه سفارش دهی افزایش می‌یابد، اندازه سفارش اقتصادی نیز افزوده می‌شود، اما در صورتی که محدودیتی در تعیین اندازه سفارش اقتصادی وجود داشته باشد، نقطه سفارش اقتصادی دیگر افزوده نمی‌شود و فقط هزینه سفارش افزوده می‌شود. در نتیجه، اگر محدودیت‌های مسئله فعال شوند، تأثیر پارامتر مربوط به هزینه سفارش بیشتر می‌شود. مسئله نسبت به پارامتر $E(\rho_j)$ کمترین حساسیت را دارد. دلیل

مسئله، مدل مسئله را به شرایط واقعی نزدیک‌تر کرد؛ مانند در نظر گرفتن کمبود به صورت پس‌افت یا فروش از دست‌رفته یا تعریف مسئله در حالی که شرایط مختلفی برای تولید یا خرید وجود دارد.

از آنجاکه این مسئله غیرخطی و مختلط است، حل آن با استفاده از روش‌های دقیق، به‌ویژه در اندازه بزرگ بسیار مشکل و هزینه‌بر است؛ بنابراین، در محور دوم می‌توان روی ارائه الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای حل این مسئله تمرکز کرد.

تا تمامی حالات ممکن بررسی شود. اهمیت برخی از پارامترهای مسئله در قسمت تحلیل حساسیت روشن شد. در این قسمت مشخص شد که مسئله پیشنهادی نسبت به پارامتر تقاضا بیشترین حساسیت و همچنین نسبت به پارامتر نرخ اقلام معیوب کمترین حساسیت را دارد. از میان پارامترهای اضافه‌شده، پارامتر مربوط به بودجه در دسترس حساسیت یکسانی در مقایسه با پارامتر مربوط به ظرفیت انبار داشت.

در پژوهش‌های آتی می‌توان بر دو محور کلی و مهم تمرکز کرد. در محور اول، می‌توان با توسعه فرض‌های

مراجع

1. Biswajit, S., Cárdenas-Barrón, L.E, Sarkar, M., Singgih, M.L (2014). "An economic production quantity model with random defective rate", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 33, No. 3, PP. 423-435.
2. Harris, F. W. (1913). "How many parts to make at once", *Factory Magaz Manage*, Vol. 10, No.2, PP. 135-136.
3. Porteus, E. L. (1986). "Optimal lot sizing, process quality improvement and setup cost reduction", *Operations Research*, Vol. 34, No. 1, PP. 137-144.
4. Rosenblatt, Hau L. Lee, (1984). "Economic production cycles with imperfect production process", *IIE Transactions*, Vol. 18, No. 1, PP. 48-55.
5. Salameh, M. K. and Jaber, M. Y. (2000). "Economic production quantity model for items with imperfect quality", *International Journal of Production Economics*, Vol. 64, No. 1-3, PP. 59-64, 200.
6. Cárdenas-Barrón, L. E. (2000). "Observation on: Economic production quantity model for items with imperfect quality" *International Journal of Production Economics*, Vol. 67, No. 2, P. 201-201
7. Goyal, S. K and Cárdenas-Barrón, L. E. (2002). "Note on: Economic production quantity model for items with imperfect quality – a practical approach", *International Journal of Production Economics*, Vol. 77, No. 1, PP. 85-87.
8. Chang, H. C. (2004). "An application of fuzzy sets theory to the EOQ model with imperfect quality items", *Computers & Operations Research*, Vol. 31, No. 12, PP. 2079-2092.
9. Wee, H. M., Yu, J., Chen, M. C. (2007). "Optimal inventory model for items with imperfect quality and shortage backordering", *Omega*, Vol. 1, No. 35, PP. 7-11.
10. Maddah, B., Jaber, M. Y. (2008). "Economic order quantity for items with imperfect quality: Revisited", *International Journal of Production Economics*, Vol. 112, No. 2, PP. 808-815.
11. Wahab, M. I. M. and Jaber, M. Y. (2010). "Economic order quantity model for items with imperfect quality, different holding costs, and learning effects: A note", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 58, No. 1, PP. 186-190.
12. Khan, M., Jaber, M. Y., Bonney, M. (2011). "An economic order quantity (EOQ) for items with imperfect quality and inspection errors", *International Journal of Production Economics*, Vol. 133, No. 1, PP. 113-118.
13. Khan, M., Jaber, M. Y., Guiffrida, A. L. and Zolfaghari, S. (2011). "A review of the extensions of a modified EOQ model for imperfect quality items", *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 132, No. 1, PP. 1-12.
14. Rezaei, J. and Salimi, N. (2012). "Economic order quantity and purchasing price for items with imperfect quality when inspection shifts from buyer to supplier", *International Journal of Production Economics*, Vol. 137, No. 1, PP. 11-18.

15. Taheri-Tolgari, J., Mirzazadeh, A. and Jolai, F. (2012). "An inventory model for imperfect items under inflationary conditions with considering inspection errors", *Computers & Mathematics with Applications*, Vol. 63, No. 6, PP. 1007-1019.
16. Hsu, J. T., Hsu, L. F (2013). "An EOQ model with imperfect quality items, inspection errors, shortage backordering, and sales returns", *International Journal of Production Economics*, Vol. 143, No. 1, PP. 162-170.
17. Moussawi-Haidar, L., Salameh, M. and Nasr, W. (2013). "An instantaneous replenishment model under the effect of a sampling policy for defective items", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, No. 3, PP. 719-727.
18. Jaber, M. Y., Zanoni, S., Zavanell, L. E. (2014). "Economic order quantity models for imperfect items with buy and repair options", *Int. J. Production Economics*, Vol. 155, PP. 126-131.
19. Teimoury, E. and Kazemi, S. M. M. (2015). "Development of pricing model for deteriorating items with constant deterioration rate considering replacement", *School of Industrial Engineering, Iran University of Science & Technology*, Vol. 49, No. 1, PP. 1-9.
20. Zhou, Y.W., Chen, J., Yongzhong, W., Zhou, W. (2015). "EPQ models for items with imperfect quality and one-time-only discount", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 39, No. 3-4, PP. 1000-1018.
21. Kumar, R. Sh., Goswami, A. (2015). "A fuzzy random EPQ model for imperfect quality items with possibility and necessity constraints", *Applied Soft Computing*, Vol. 34, PP. 838-850.
22. Taleizadeh, A. and Hasani, M. (2015). "A multi-product inventory control model with imperfect production process and rework under delayed payment policy", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 49, No. 2, PP. 223-235.
23. Pasandideh, S. H. R., Akhavan Niaki, S. T., Nobil, A. H., Cárdenas-Barrón, L. E. (2015). "A multiproduct single machine economic production quantity model for an imperfect production system under warehouse construction cost", *International Journal of Production Economics*, Vol. 169, PP. 203-214.
24. Kazemi, A., Malekian, M. R. and Sarrafha, K. (2012). "Presenting a new model for inventory control of multi-item Economic Production Quantity (EPQ) with fuzzy random demand", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 46, No. 1, PP. 53-62.
25. Chen, T. H. (2016). "Optimizing pricing, replenishment and rework decision for imperfect and deteriorating items in a manufacturer-retailer channel", *International Journal of Production Economics*, Vol. 183, Part B, PP. 539-550
26. Rezaei, J. (2016). "Economic order quantity and sampling inspection plans for imperfect items", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 96, PP. 1-7.
27. Khan, M., Jaber, M. Y., Zanoni, S., Zavanella, L. (2016). "Vendor managed inventory with consignment stock agreement for a supply chain with defective items", *Department of Mechanical and Industrial Engineering*, Vol. 183, No. 15-16, PP. 7102-7114.
28. Aghaei, A. and Zandi, F. (2010). "Analyzing and optimization a two echelon supply chain with uncertainly returned product", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 46, No. 2, PP. 119-132.
29. Gen, M. and Cheng, R. (1997). *Genetic algorithms and engineering design*, John Wiley & sons, New York.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Economic Order Quantity
2. Pricing
3. Average Out Going Limit (AOQL)
4. Vendor Manage Inventory
5. Mix Integer Non-Linear Program (MINLP)