

مدل‌سازی و حل مساله چندهدفه بازپرسازی موجودی در مراکز توزیع با در نظر گرفتن موعد

تحویل و محدودیت ظرفیت

انسیه علی‌دادیانی^{*}، احمدماکویی[†]

^{*} کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

[†] دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

خلاصه

در صنایع بزرگ، حجم کالاهای مورد استفاده در چرخه تولید بسیار زیاد بوده و معمولاً بسیار سرمایه‌بر هستند. از این رو در سیستم‌های تولیدی و مخصوصاً سیستم‌های توزیع برنامه‌ریزی بازپرسازی انبارها، مراکز توزیع و حتی قفسه‌های فروش محصول در کنار مسائل مرتبط با حمل و نقل مواد بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

هدف اصلی این مقاله ارائه مدلی چندهدفه در حوزه بازپرسازی موجودی با در نظر گرفتن موعد تحویل در چرخه تصمیم‌گیری می‌باشد و همزمان تعداد دفعات بازپرسازی و مقدار بازپرسازی تعیین می‌شود. این مدل برای بازپرسازی موجودی انبار یک توزیع‌کننده با سیستم سفارشی توسعه یافته و دو هدف بازپرسازی و هزینه را مدنظر قرار داده است. محدودیت‌ها نیز ناظر بر ظرفیت انبار و محدودیت‌های سفارش‌دهی است. مساله با روش‌های استاندارد برنامه‌ریزی چندهدفه در فضای گسسته و پیوسته حل شده و دو تحلیل به صورت "تغییر تعداد بازپرسازی" و "تغییر نسبت هزینه نگهداری و کمبود" انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد بازپرسازی، هزینه سیستم افزایش یافته است و همچنین در تعداد مشخصی از بازپرسازی با افزایش تعداد دفعات، به دلیل افزایش هزینه‌های ناشی از انجام بازپرسازی غیرضروری، جهش قابل توجهی در هزینه‌ها رخ می‌دهد. همچنین با افزایش هزینه نگهداری و کاهش هزینه کمبود، مجموع موجودی‌ها در پایان دوره‌ها کاهش می‌یابد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۲/۲/۱۷

پذیرش ۱۳۹۲/۶/۲

کلمات کلیدی:

بازپرسازی،

مدیریت موجودی،

مدل‌سازی چندهدفه

موعد تحویل

۱- مقدمه

در سیستم‌های نوین تولید، سازمان‌ها به دنبال کاهش میزان موجودی و نگهداری آن در حداقل ممکن هستند. به گونه‌ای که مواد اولیه هنگام نیاز، وارد سیستم شده و کالای تکمیل شده برای مشتریان ارسال گردد. البته با حذف کامل انبار امکان دسترسی به مواد اولیه در موقع نیاز وجود ندارد. بنابراین سازمان‌ها با به‌کارگیری مدیریت زنجیره‌ی عرضه و ایجاد روابط بلندمدت با مشتریان و تهیه‌کنندگان مواد اولیه به میزان چشمگیری موفق به کاهش

موجودی انبار شده‌اند.

مسائل مطرح در حوزه بازپرسازی موجودی با هدف مدیریت بهینه ارقام مختلف در قفسه‌های انبار و یا مراکز فروش انجام می‌شود. بنا به تعریف موسسه جان گالت^۱، بازپرسازی به معنای انتقال مواد از یک فضای ذخیره‌سازی بزرگ به محل پاسخگویی تقاضا (مثلاً قفسه یک فروشگاه) و مستندسازی این انتقال است. در این تعریف مقدار انتقال (مقدار سفارش) و بازه انتقال (دوره بازپرسازی) به عنوان پارامترهای اصلی در بازپرسازی موجودی تعریف شده‌اند. عوامل متعددی مانند مقدار و نوسانات تقاضا، موعد تحویل، تخفیفات خرید

۱. نویسنده مسئول.

تلفن: ۰۲۱-۷۳۲۲۵۰۰۴، پست الکترونیکی: amakui@iust.ac.ir

2. John Galt

است که در آن تقاضا در حال افزایش است. با این حال، تحقیقات محدودی در حوزه بازاریابی با تقاضای کاهشی وجود دارد. ژاو و همکاران [۵] روشی برای حل مساله‌ای با کاهش تقاضا به صورت خطی پیشنهاد داده و الگوریتمی تحلیلی توسعه داده‌اند که به کمک آن می‌توان روش‌های پیشنهاد شده را با تغییرات اندکی در پارامترها به کار برد. بر اساس نتایج بدست آمده متوسط عملکرد رویکرد ترکیبی ارائه شده نسبت به دیگر روش‌های ابتکاری بهتر است.

یاو و همکاران [۶] به بررسی یک مدل بازاریابی برای مدیریت موجودی چند محصول در انبار مرکزی با محدودیت فضای انبار پرداخته‌اند. دوره بازاریابی هر یک از مواد اولیه مشخص بوده و ضریبی از یک مقدار پایه است. برای حل مدل یک روش ابتکاری دومرحله‌ای ارائه شده است که در آن دوره بازاریابی به گونه‌ای تعیین می‌شود که حداکثر فضای مورد نیاز انبار حداقل شود. با اعمال مکانیزم‌های مشخصی، نشان داده شده است که روش ابتکاری در بازه قابل قبولی به جوابی نزدیک به جواب بهینه رسیده‌اند در مقایسات انجام شده، عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌های ابتکاری مشابه داشته است.

همچنین تنگ و چانگ [۷] مدل بازاریابی بهینه برای خرده فروش را با استفاده از روش سفارش اقتصادی ارائه داده‌اند. در این مدل خرده فروش به پیشنهاد تأمین‌کننده مجاز به انجام M دوره تأخیر است و می‌تواند محصول خود را با N دوره تأخیر به مشتری ارائه دهد ($N < M$). این مقاله کاستی‌های مدل EPQ^* را رفع و پیش فرض‌های کم اهمیت را نادیده می‌گیرد.

چن و همکاران [۸] هزینه‌های مربوط به بازاریابی را بررسی و مساله را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی ترکیبی عدد صحیح فرموله نموده‌اند. برای پیدا کردن جواب بهینه مساله، روش جستجوی کامل با اعمال فرضیات این مقاله در الگوریتم ندر-مید^۳ به کار گرفته شده است. فرضیات این مساله شامل فرض قطعیت تقاضاست که تابع آن به صورت مستمر و بر اساس زمان تغییر می‌کند. وجود کمبود در چرخه عمر محصول نیز مجاز می‌باشد. هدف این مدل تعیین تعداد بهینه و مقدار بازاریابی و همچنین زمان آغاز کمبود در چرخه عمر محصول است.

چانگ و همکاران [۹] هدف مدل ارائه شده توسط وو و همکاران [۱۰] را تغییر و به حداکثرسازی سود کل تبدیل نموده‌اند. همچنین سقفی برای موجودی با توجه به محدودیت فضای خرده فروشان تعریف نموده و در نهایت فرض عدم رخداد کمبود حذف شده است. سپس الگوریتمی ارائه شده تا جواب بهینه به دست آید.

مساله سفارش‌دهی هماهنگ قطعات با تقاضای قطعی ولی وابسته به زمان توسط بکتور و همکاران [۱۱] مورد بحث قرار گرفته است. در این مساله هزینه سفارش‌دهی در هر دوره شامل یک مقدار

و فضای انبار در تعیین این دو پارامتر موثرند.

زیپ‌کین [۱] در تشریح مساله بازاریابی، مسائل موجود را از دو دیدگاه تأمین و تقاضا به صورت زیر تشریح نموده است.

- از دیدگاه تأمین: توجه به اصل صرفه به مقیاس، محدودیت‌های ظرفیت و پیش بینی اثرات تأخیر در تحویل مدنظر است.
- از دیدگاه تقاضا: پیوستگی و یا تناوب در تقاضا، غیرقابل پیش‌بینی بودن و تغییرات آن در طول زمان چالش برانگیز خواهد بود.

با این مقدمه مشخص می‌شود که مساله بازاریابی بدنال این موضوع است که در چه دوره‌هایی چه مقدار موجودی باید برای پاسخگویی به تقاضا تأمین شود. با در نظر گرفتن این دو عامل، یکی از حالات چهارگانه جدول تعیین سیاست بازاریابی رخ می‌دهد [۲] و [۳].

جدول ۱: حالات چهارگانه زیپ کین برای مدل‌های بازاریابی

دوره مقدار	ثابت	متغیر
ثابت	بازپرسی ثابت (۱)	سیستم نقطه سفارش (۲)
متغیر	بازپرسی دوره‌ای (۳)	بازپرسی وابسته به تقاضا (۴)

حالت اول: بازپرسی ثابت- که ساده‌ترین حالت است و نقطه سفارش بر اساس نرخ مصرف و موعد تحویل مشخص می‌شود.

حالت دوم: سیستم نقطه سفارش- که در تقاضاهای متغیر، موردی و یا بسیار پرمصرف کاربرد دارد.

حالت سوم: بازپرسی دوره‌ای- که در آن ضمن در نظر گرفتن موجودی اطمینان، سقفی برای انبار کالا تعریف و مقدار بازاریابی تعیین می‌شود.

حالت چهارم: بازپرسی وابسته به تقاضا- که بیشتر برای کالاهای گران‌قیمت با هزینه نگهداری زیاد بکار رفته و یا در حالت متغیر بودن موعد تحویل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

همان‌طور که گفته شد مساله بازاریابی به دنبال پیدا کردن مقدار و دوره بازاریابی است. یکی از آخرین مقاله‌هایی که راجع به بازاریابی بهینه نوشته شده، مدل ناقص EMQ^* توسط لین و همکاران [۴] می‌باشد که از مدل‌سازی ریاضی و محاسبات دیفرانسیلی استفاده کرده تا سیاست سفارش‌دهی بهینه را ارائه و هزینه کل را حداقل نماید. در این تحقیق به جای استفاده از محاسبات، از روش ساده جبری برای حل مساله بازاریابی استفاده شده که در آن متوسط هزینه تولید در بلندمدت برای مدل ناقص EMQ بهینه می‌گردد.

روش‌های زیادی برای تعیین سیاست‌های بازاریابی ارائه شده

3. Economic Production Quantity
4. Nedler-Mead

1. Zipkin
2. Economic Manufacturing Quantity

بدون در نظر گرفتن کمبود و با فرض افزایش/کاهش خطی روند تقاضا بررسی می‌کند. بر این اساس، جواب ارائه شده توسط دو معادله جواب دقیق مدل می‌باشد. به‌طور مشابه رویکرد بهبود متوالی جدیدی برای تعیین زمان و حجم بازپرسازی به منظور حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های موجودی در شرایط افزایش غیر خطی تقاضا توسط ونگ ارائه شده است [۱۶]. این روش با سایر روش‌های محاسباتی مقایسه شده است و در آن با در نظر گرفتن توالی زمانی معکوس برای بازپرسازی به‌صورتی که دقیقاً با نقطه پایان دوره زمانی انطباق دارد، برآورده شدن تقاضا در بازه زمانی تعیین شده را تضمین می‌کند.

نتایج مطالعه‌ای که توسط ابوت و پالکار [۱۷] ارائه شده راجع به مساله موجودی یک فروشگاه چند محصولی است که فروش آن وابسته به فضای قفسه‌هاست. از آن جا که فروش به خالی بودن مقدار محصول در قفسه‌ها بستگی دارد، فضای اختصاص یافته به محصول با گذشت زمان کاهش می‌یابد مگر اینکه بازپرسازی صورت گیرد. در این تحقیق دستیابی به زمان بهینه جهت بازپرسازی در شرایط تعریف شده مدنظر قرار گرفته است. فرض بر این است که میزان فروش با فضای قفسه رابطه خطی دارد. این مقاله راه حل دقیق و تقریبی برای حالت تک محصولی و چند محصولی ارائه می‌دهد. در حالت تک محصوله، اثر انعطاف فضای در اختیار بر دوره بهینه بازپرسازی مورد بررسی قرار گرفته است. برای حالت چندمحصوله یک روش محاسباتی با استفاده از توان‌های ماتریس ارائه شده و حدود خطا برای این روش استخراج شده است.

چیانگ [۱۸] به بررسی مدل بازنگری دوره‌ای موجودی با چرخه بازپرسازی مشخص پرداخته است به‌گونه‌ای که در آن سفارشات همیشه در ابتدای چرخه دریافت می‌شود. مدل‌سازی مساله در دو حالت سفارش عقب‌افتاده و فروش از دست رفته با استفاده از برنامه‌ریزی پویا انجام شده است. در این دو حالت هزینه نگهداری و کمبود بر اساس موجودی پایان دوره تعریف شده است نه بر اساس موجودی پایان چرخه بازپرسازی. به عبارتی هزینه نگهداری بر اساس متوسط موجودی در هر چرخه و هزینه کمبود بر اساس مدت زمان کمبود محاسبه می‌شود تا محدودیت‌های موجود در حل مدل و تقریب مقادیر مربوطه رفع شود. در حالت سفارش عقب‌افتاده، مقدار سفارش پایه از طریق روش‌های محاسباتی به‌دست آمده و در حالت فروش از دست رفته، شرایط همگرایی برای دستیابی به مقدار بهینه برای پارامترها تبیین شده است. در این تحقیق نشان داده شده است که وجود موجودی پایه در حالت وجود سفارش عقب‌افتاده حالت بهینه‌ای را ارائه می‌دهد در صورتی که در حالت وجود فروش از دست رفته، مقدار بهینه سفارش تابعی از مقدار موجودی در دست است.

کیم [۱۹] به بررسی مساله بازپرسازی برای سیستم برون‌سپاری دوسطحی می‌پردازد که در آن شرکتی تولید محصول مشخصی را برون‌سپاری نموده و مواد اولیه مورد نیاز برای تولید آن را تامین

ثابت به ازای هر بار سفارش و یک مقدار ثابت به ازای هر نوع قطعه است. برای حل این مساله، تعدادی از روش‌های ابتکاری معرفی شده و عملکرد روش‌ها نسبت به روش ارائه شده توسط مؤلفین مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی نشان‌دهنده میزان اثربخشی روش‌های ابتکاری و کیفیت روش ابتکاری ارائه شده است.

طالعی‌زاده و همکارانش [۱۲] مقدار بازپرسازی را ثابت و دوره‌های بازپرسازی را متغیر در نظر گرفته‌اند به‌صورتی که دوره‌های زمانی بین دو بازپرسازی متغیر تصادفی فازی است. مدل ارائه شده، یک مدل چند محصولی است که تقاضا در آن ثابت فرض شده و هدف آن کمینه کردن هزینه‌های مربوط به خرید، نگهداری و کمبود است و فضای در نظر گرفته شده برای موجودی و سطح خدمت از محدودیت‌های این مدل به شمار می‌رود. این مساله یک مدل عدد صحیح غیرخطی است که برای حل آن روشی ترکیبی از روش پارتو، تاپسیس^۱ و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. کارآیی روش ارائه شده به کمک مثال عددی مورد بررسی قرار گرفته است. طالعی‌زاده و همکاران [۱۳] در مدل دیگری باز هم مقدار بازپرسازی را ثابت و دوره‌های زمانی بازپرسازی را متغیر تصادفی مستقل و هم‌توزیع در نظر گرفته‌اند. در این مدل تقاضای ورودی به سیستم ثابت و مشخص است و ضمناً در صورت بروز کمبود، درصدی پس‌افت و درصدی فروش از دست رفته خواهیم داشت. هزینه‌های سیستم موجودی شامل هزینه‌های خرید، نگهداری، پس‌افت و فروش از دست رفته است. مدل چند محصولی بوده و محدودیت فضای انبار برای مساله در نظر گرفته شده است. در هر سیکل سقف موجودی به نحوی تعیین می‌شود که سود حاصله حداکثر شود. این مدل با شبیه‌سازی تیرید و در قالب یک مثال عددی حل شده است.

سرکار و همکارانش [۱۴] سیستم تقاضای وابسته به زمان را برای بازپرسازی موجودی کالای فاسدشدنی و برآورده‌سازی برخی تقاضاها بصورت پس‌افت در دوره زمانی خاص و با بازه متغیر بازپرسازی مورد بررسی قرار داده و ضمن ارائه راه‌حلی برای حل مدل، مثالی عددی را مورد بررسی قرار داده‌اند.

لو و همکاران [۱۵] دوره و مقدار بازپرسازی را متغیر در نظر گرفته و برای تعیین زمان بازپرسازی مدلی با نام "مدل دو معادله‌ای" شامل دو معادله اصلی و یک الگوریتم زمانی تناوبی ارائه داده‌اند. معادله اول زمان بازپرسازی بهینه را برای تعداد مشخصی از بازپرسازی‌ها مشخص می‌کند؛ معادله دوم تعداد بهینه بازپرسازی‌ها را تعیین می‌کند. الگوریتم زمانی تناوبی شامل دو رویه اصلی برای حل معادلات اول و دوم می‌باشد. در مقایسه با بسیاری از روش‌های تقریبی، این مدل معادله اول را که یک سیستم معادلات غیرخطی همزمان است، با استفاده از یک روش ماتریسی به‌صورت دقیق حل می‌کند. این مطالعه همچنین مدل‌های پایه‌ای بازپرسازی موجودی را

1. TOPSIS

گروه‌بندی آنها را دوچندان می‌کند. برای تفکیک موضوعی مسائل بازپرسازی در مراجع مختلف شاخص‌های مختلفی ارائه شده است. این شاخص‌ها در نه دسته به‌صورت زیر تعریف شده‌اند.

- ۱- سیستم بازنگری موجودی (مستمر-C/دوره‌ای-T)
 - ۲- سیستم سفارش‌دهی (سقف مشخص-R/مقدار مشخص-Q)
 - ۳- تعداد اهداف (یک هدفه-SO/چند هدفه-MO)
 - ۴- قطعیت (Det) و یا عدم قطعیت (InD) متغیرها و پارامترها
 - ۵- وجود (L) و یا نبود (NL) موعد تحویل
 - ۶- دوام کالا (فاسدشدنی-Dec/بقای طولانی-ND)
 - ۷- رخداد کمبود (عدم رخداد کمبود-NS، تامین تقاضا بصورت پس‌افت-BO) و یا فروش از دست رفته-LS)
 - ۸- تعداد کالاها (یک محصول-SI/چندمحصوله-MI)
 - ۹- استراتژی تخفیف (با تخفیف-WD/بدون تخفیف-WOD)
- با توجه به مطالب اخیر می‌توان مسائل مدیریت موجودی را به‌صورت زیر کدگذاری کرد. در

جدول تعدادی از مراجع مورد استفاده در این مقاله در قالب کدینگ تعریف شده مشاهده می‌شود.

(تخفیف، تعداد اقلام، کمبود، دوام کالا، موعد تحویل، قطعیت، تعداد اهداف، سیستم سفارش‌دهی، سیستم بازنگری)

موضوع مورد بررسی در این مقاله مساله بازپرسازی در یک سیستم سفارشی با بازنگری دوره‌ای است که در آن بایستی مقدار سفارش مواد در دوره‌های مختلف مشخص شود. این مساله به دنبال حداقل کردن هزینه درکنار دستیابی به تعداد دفعات مشخصی از بازپرسازی است. باتوجه به شرایط تعریف شده، کلیه کمبودها به صورت پس‌افت جبران خواهد شد. فروشندگان در مدت زمان مشخصی پس از دریافت سفارش، آن را تحویل خواهند داد. لازم به ذکر است که کالای مورد بررسی در این مساله فاسدشدنی نیست. با در نظر گرفتن این موارد، کدینگ مساله تعریف شده در این مقاله به صورت زیر است.

(T, Q, MO, Det, L, ND, BO, SI, WOD)

می‌کند. مدل ارائه شده دارای سه ویژگی است. اولاً شرکت تنها تصمیم‌گیرنده در مورد بازپرسازی است و هدف آن به حداقل رساندن هزینه کل سیستم است. همچنین تصمیمات بازپرسازی بر اساس موقعیت سیستم (شامل تقاضا، تولید و فرایند تحویل) به‌صورت پویا انجام می‌شود. سوم اینکه ارسال و تحویل زمانی انجام می‌شود که N تقاضای جدید پس از بازپرسازی دریافت شود. مدل به صورت یک مساله تصمیم‌گیری مارکوف فرموله شده است. در این مقاله روشی عددی برای یافتن نظام حمل و نقل و مقدار بازپرسازی ارائه شده است.

ژو [۲۰] به بررسی سیستم دوره‌ای بازپرسازی موجودی و قیمت‌گذاری همزمان باتوجه به درآمد و سرعت وصول پرداخته است. تقاضا در این سیستم به‌طور تصادفی و به‌صورت متوالی در دوره‌های مختلف و باتوجه به هزینه توزیع رخ می‌دهد. برآورده‌سازی تقاضا در برخی موارد بصورت پس‌افت انجام می‌شود. هدف اصلی در این مدل حداکثرسازی سود حاصل از فروش بادر نظر گرفتن اهداف بازپرسازی، قیمت‌گذاری و برآورده‌سازی تقاضاست. در این مساله بازپرسازی موجودی از یک سیستم دومرحله‌ای با قابلیت هشداردهی استفاده شده و در نتایج تحقیق نشان داده شده که سرعت تحصیل درآمد در کسب سود بیشتر بسیار موثر است.

لیان کوئی [۲۱] به بررسی سیستم بازنگری مستمر موجودی توسط یک خرده‌فروش که با تقاضای ثابت مواجه است پرداخته و دو گزینه به‌صورت "ارائه با امنیت بیشتر" و "با هزینه کمتر" را مورد بررسی قرار داده است. در بررسی مساله موضوع کیفیت ارائه خدمات تامین‌کنندگان نیز مورد توجه قرار گرفته و مدلی جهت دستیابی به حالت بهینه از حیث منبع‌یابی و همچنین تصمیمات بازپرسازی ارائه نموده است. همچنین به بررسی و تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترها پرداخته است.

۲- گروه‌بندی محتوایی مسائل حوزه بازپرسازی موجودی

تنوع زیاد مسائل تعریف شده در حوزه مدیریت موجودی و نزدیکی و مشابهت آن‌ها ضرورت تعیین چارچوبی جهت تفکیک مسائل و

جدول ۲: کدگذاری تعدادی از مراجع بر اساس دسته‌بندی پیشنهادی

نام مرجع	کد مرجع
[۸] چن و همکاران ۲۰۰۷	(C, Q, SO, InD, NL, ND, BO, SI, WOD)
[۹]-چانگ و همکاران ۲۰۱۰	(-, SO, Det, NL, LS, -, MI, WOD)
[۱۱]-بوکتور و همکاران ۲۰۰۴	(T, -, SO, Det, NL, Dec, -, SI, WOD)
[۱۲]-طلالی زاده و همکاران ۲۰۰۹	(T, -, SO, InD, NL, ND, -, MI, WOD)
[۱۳]-طلالی زاده، آریا نژاد، ماکوئی ۱۳۸۸	(T, R, SO, InD, NL, ND, BO/LS, MI, WOD)
[۱۵]-لو و همکاران ۲۰۰۲	(C, Q, SO, Det, NL, NS, Det, SI, WOD)

گرفته شده است. در واقع لحاظ نمودن موعد تحویل برای سفارشات و ایجاد قابلیت رخداد کمبود در کنار سایر عوامل، منعکس‌کننده شرایط واقعی حوزه بازپرسازی موجودی در کلیه کسب و کارهاست. یکی از

نوآوری این تحقیق در ارائه مدل چند هدفه‌ای است که در آن همزمان علاوه بر حداقل‌سازی هزینه، دوره و مقدار بازپرسازی نیز تعیین شده و محدودیت‌های محیط واقعی بصورت همزمان در نظر

M : عدد بسیار بزرگ
 D : تقاضا در کل افق برنامه‌ریزی
 h : هزینه نگهداری هر واحد موجودی در هر دوره
 R : هزینه جبران هر واحد سفارش عقب‌افتاده در هر دوره
 W : ظرفیت انبار توزیع‌کننده
 N : تعداد بازپرسازی مطلوب
 P_i : هزینه خرید هر واحد کالا از فروشنده i ام ($i=1, \dots, n$)
 L_i : موعد تحویل فروشنده i ام ($L_i = \alpha_i T \mid \alpha_i \in \mathbb{Z}^+$)
 O_i : هزینه ثابت سفارش‌دهی به فروشنده i ام
 d_j : تقاضا در دوره j ام ($j = 1, \dots, m$)
 SC_i : ظرفیت فروشنده i ام

متغیرها:

Q_{ij} : مقدار سفارش به فروشنده i ام در دوره j ام $Q_{ij} \in \mathbb{Z}$ و
 $(\sum_i \sum_j Q_{ij} = \sum_j d_j = D$
 Z_{ij} : متغیر صفر و یک؛ اگر Q_{ij} مثبت باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.
 I_j : موجودی انتهای دوره j ام ($I_0 = I_n = 0$)
 U_j : متغیر صفر و یک؛ در صورتی که I_j مثبت باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.

۳-۱- مدل‌سازی اهداف

دو تابع هزینه و بازپرسازی بصورت زیر در مدل تعریف شده‌اند.
تابع هزینه: هزینه کل سیستم شامل چهار نوع هزینه سفارش‌دهی (OC)، خرید (PC)، سفارش عقب‌افتاده (BC) و نگهداری (HC) است. به عبارتی خواهیم داشت:

$$TC = OC + PC + HC + BC$$

مقادیر هر یک از منابع هزینه در ادامه تشریح شده است.
سفارش‌دهی (OC): که بصورت مجموع حاصلضرب تعداد دفعات سفارش‌دهی در هزینه ثابت هر بار سفارش‌دهی به فروشنده‌گان و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m O_i Z_{ij}$$

خرید (PC): بصورت مجموع حاصلضرب قیمت خرید هر واحد کالا در تعداد سفارش به هر فروشنده تعریف و به‌صورت زیر مدل شده است:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_i Q_{ij}$$

نگهداری موجودی (HC): مجموع هزینه نگهداری هر واحد موجودی اضافی در انتهای هر دوره برای انتقال به دوره بعد

$$h \sum_{j=1}^m U_j I_j$$

جبران سفارش به‌صورت پس‌افت (BC): که معادل مجموع هزینه جبران هر واحد کمبود در هر دوره می‌باشد. بنابراین خواهیم داشت:

نکات مهم این تحقیق، ارائه مدلی ساده با به‌کارگیری اصول برنامه‌ریزی عدد صحیح است که فهم و به‌کارگیری آن را بسیار ساده می‌سازد.

۳- مدل‌سازی و حل مساله

در مدل مورد بررسی یک مرکز توزیع در نظر دارد تا برنامه بازپرسازی موجودی مواد خود را به گونه‌ای تهیه کند که از یک سو تقاضای مشتریان را در افق برنامه‌ریزی مشخص برآورده ساخته و از سوی دیگر به اهداف سازمانی خود دست یابد. این مدل توسعه یافته مدل کانگ و لی [۲۲] است به گونه‌ای که مطابق آنچه در محیط واقعی رخ می‌دهد، امکان رخداد کمبود و وجود موعد تحویل برای سفارشات در نظر گرفته شده است. مفروضات مدل به شرح زیر است:

- دو هدف هزینه (شامل مجموع هزینه سفارش‌دهی، خرید، نگهداری موجودی و جبران تقاضای پس‌افت) و هدف بازپرسازی (به‌صورت تعداد مشخصی بازپرسازی در قالب محدودیت‌های مساله) تعریف شده است.
- بازنگری موجودی به‌صورت دوره‌ای است.
- تقاضا در کل افق برنامه‌ریزی قطعی است.
- سفارش‌دهی در ابتدای دوره انجام می‌شود.
- افق برنامه‌ریزی شامل تعداد مشخصی دوره زمانی مساوی با مقادیر مشخص تقاضاست.
- موجودی انبار در ابتدای افق برنامه‌ریزی صفر است.
- دریافت سفارشات با صرف زمان مشخصی که ضریب عدد صحیحی از طول دوره‌هاست انجام می‌شود.
- در تأمین نیازمندی‌ها، تعداد فروشندگان مهم نیست.
- ظرفیت فروشندگان محدود است.
- فضای انبار توزیع‌کننده محدود است.
- حداکثر یکبار سفارش در هر دوره از هر فروشنده دریافت می‌شود.
- تاخیر در تحویل محصول به مشتری مجاز بوده و با صرف هزینه مشخص، تاخیرات جبران خواهد شد. این هزینه وابسته به تعداد تقاضاهای پس‌افت بوده و مستقل از قیمت خرید است.
- هزینه نگهداری موجودی، ثابت و مستقل از قیمت خرید است.
- باتوجه به اینکه تقاضا در هر دوره مشخص است می‌توان برنامه‌ریزی را به گونه‌ای انجام داد که موجودی انتهای افق برنامه‌ریزی صفر گردد. بنابراین هزینه فروش از دست رفته و هزینه حذف موجودی اضافی در پایان افق برنامه‌ریزی نخواهیم داشت. با در نظر گرفتن اینکه موجودی ابتدا و انتهای افق برنامه‌ریزی صفر است، لزوماً باید مجموع تقاضاها با مجموع سفارشات در کل افق برنامه‌ریزی برابر باشد. با در نظر گرفتن این موارد پارامترها و متغیرهای مساله به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

پارامترها:

T : طول دوره‌ها

m : تعداد دوره‌ها در افق برنامه‌ریزی (افق برنامه‌ریزی $= mT$)

n : تعداد فروشندگان

$$U_j = \begin{cases} 0 & \text{if } I_j \leq 0 \\ 1 & \text{if } I_j > 0 \end{cases} \quad \forall i, j$$

$$U_j = \{0,1\}$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } Q_{ij} = 0 \\ 1 & \text{if } Q_{ij} > 0 \end{cases} \quad \forall i, j$$

$$Z_{ij} = \{0,1\}$$

با در نظر گرفتن این موارد، مدل مساله به صورت زیر به دست خواهد آمد.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m O_i Z_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_i Q_{ij} + h \sum_{j=1}^m U_j I_j + R \sum_{j=1}^m (U_j - 1) I_j$$

S.t.

$$I_j = I_{j-1} + \sum_{i|\alpha_i < j} Q_{i(j-\alpha_i)} - d_j (I_0 = 0) \quad \forall j \quad (1-1)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Z_{ij} = N \quad (1-2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij} = \sum_{j=1}^m d_j = D \quad (1-3)$$

$$I_j \leq W \quad \forall j \quad (1-4)$$

$$0 \leq Q_{ij} \leq SC_i, Int \quad \forall i, j \quad (1-5)$$

$$U_j = \begin{cases} 0 & \text{if } I_j \leq 0 \\ 1 & \text{if } I_j > 0 \end{cases} \quad \forall i, j \quad (1-6)$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } Q_{ij} = 0 \\ 1 & \text{if } Q_{ij} > 0 \end{cases} \quad \forall i, j \quad (1-7)$$

$$U_j = \{0,1\} \quad \forall j \quad (1-8)$$

$$Z_{ij} = \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (1-9)$$

در این مدل تابع هدف غیرخطی بوده و مجموعاً $2m(n+1)$ متغیر دارد که نیمی از آن‌ها متغیرهای صفر و یک هستند. تعداد محدودیت‌ها برابر $4mn+3m+2$ عدد است که از این میان $2mn$ محدودیت غیر خطی، $m+2$ محدودیت خطی و مابقی محدودیت‌های تعیین کننده کران متغیرها هستند.

۳-۳- ساده‌سازی مدل

مشاهده می‌شود که تابع هدف به دلیل ضرب متغیرهای I و U به یک هدف غیرخطی تبدیل شده است. با تعریف متغیرهای I_j^+ و I_j^- و همچنین در نظر گرفتن این موضوع که $I_j = I_j^+ + I_j^-$ نیز تعریف شرایط به صورت زیر، می‌توان تابع هدف و محدودیت‌ها را ساده‌تر نمود.

$$I_j^- \leq 0, Int \quad \forall j$$

$$I_j^+ \geq 0, Int \quad \forall j$$

$$I_j^- * I_j^+ = 0 \quad \forall j$$

در این صورت محدودیت‌های اخیر جایگزین محدودیت‌های ۶-۱ و ۸-۱ شده و تابع هدف و محدودیت‌های ۱-۱ و ۴-۱ به صورت زیر تغییر می‌کنند:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m O_i Z_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_i Q_{ij} + h \sum_{j=1}^m I_j^+ - R \sum_{j=1}^m I_j^-$$

$$(I_j^+ + I_j^-) = (I_{j-1}^+ + I_{j-1}^-) + \sum_{i|\alpha_i < j} Q_{i(j-\alpha_i)} - d_j \quad \forall j$$

$$I_j^- + I_j^+ \leq W \quad \forall j$$

در مورد محدودیت ۷-۱ نیز می‌توان با تعریف عدد بسیار بزرگ M

$$R \sum_{j=1}^m (U_j - 1) I_j$$

روابط اخیر به سادگی به دست خواهند آمد. توجه به این نکته ضروری است که رخداد کمبود در انتهای هر دوره به معنای موجودی منفی است و از این رو مقدار تابع هزینه جبران سفارشات همواره غیرمنفی خواهد بود.

بنابراین خواهیم داشت:

$$TC = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m O_i Z_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_i Q_{ij} + h \sum_{j=1}^m U_j I_j + R \sum_{j=1}^m (U_j - 1) I_j$$

تابع تعداد بازپرسازی: این هدف به دنبال محدود کردن تعداد دفعات بازپرسازی است. با توجه به این که سفارش‌دهی در ابتدای هر دوره انجام شده و سفارشات نیز در ابتدای هر دوره می‌رسند، تعداد دفعات بازپرسازی برابر با تعداد دفعات سفارش‌دهی خواهد بود. از این رو محدودیت زیر برای برآورده‌سازی هدف تعداد بازپرسازی تعریف شده است.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Z_{ij} = N$$

۳-۲- مدل‌سازی محدودیت‌ها

باتوجه به مفروضات، شش گروه محدودیت در این مساله به صورت زیر تعریف شده است.

۱. موجودی دوره‌ها: موجودی انتهای هر دوره برابر است با مجموع موجودی انتهای دوره قبل و سفارشات رسیده در ابتدای دوره جاری، منهای تقاضای دوره جاری (موجودی ابتدای دوره اول و انتهای افق برنامه‌ریزی صفر است). بنابراین خواهیم داشت:

$$I_j = I_{j-1} + \sum_{i|\alpha_i < j} Q_{i(j-\alpha_i)} - d_j \quad \forall j$$

۲. فضای انبار: با توجه به انبار توزیع‌کننده، برای نگهداری اقلام

اضافی در هر دوره سقفی تعریف شده است. بنابراین:

$$I_j \leq W \quad \forall j$$

۳. ظرفیت فروشندگان: هر یک از فروشندگان در هر دوره سقفی

برای تامین سفارشات دارند.

$$Q_{ij} \leq SC_i \quad \forall i, j$$

۴. توازن عرضه و تقاضا: با توجه به ضرورت تأمین کلیه تقاضاها در

افق برنامه‌ریزی، مجموع سفارش به فروشندگان بایستی بیش از مجموع تقاضای دوره‌ها باشد. از طرفی در انتهای افق برنامه‌ریزی نباید موجودی در انبار وجود داشته باشد. بنابراین

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij} = \sum_{j=1}^m d_j = D$$

۵. عدد صحیح بودن مقادیر سفارشات: واحد تقاضا و به تبع آن

واحد سفارشات مقادیر گسسته هستند.

$$0 \leq Q_{ij}, Int \quad \forall i, j$$

۶. متغیرهای صفر و یک: متغیرهای U و Z متغیرهای صفر و یک و

وابسته به مقدار موجودی و مقدار سفارش هستند.

در ادامه به حل مدل و تحلیل حساسیت پارامترها و متغیرهای مساله در قالب یک مثال عددی پرداخته می‌شود. در مثال مورد بررسی یک توزیع کننده به دنبال تهیه برنامه بازپرسازی موجودی خود برای برآورده‌سازی تقاضا در افق ۱۰ دوره‌ای می‌باشد. برای تأمین تقاضای موجود، ۶ فروشنده بالقوه وجود دارد که اطلاعات مربوط به هر یک شامل موعد تحویل فروشنده، هزینه سفارش‌دهی به آنها، قیمت خرید هر واحد کالا و سقف میزان سفارش به آن‌ها به همراه تعداد تقاضا در دوره‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است.

گنجایش انبار توزیع کننده حداکثر ۲۰۰۰ واحد بوده و تعداد دفعات بازپرسازی برابر ۱۱ مرتبه تعیین شده است. هزینه نگهداری هر واحد موجودی در هر دوره برابر با ۱۰ واحد پولی و هزینه سربار پاسخگویی به هر واحد تقاضا به صورت پس‌افت در هر دوره برابر ۱۵ واحد پولی است. به عبارت تیمقادیر اولیه پارامترها به شرح است.

$$n=6, \quad m=10, \quad W=2000, N=11, \quad R=15, \quad h=10.$$

به کمک پارامترهای تعریف شده، مدل به روش شاخه و کران و به کمک نرم‌افزار *Matlab7.1* حل و ارزیابی‌های لازم روی آن انجام شده است. ابتدا مساله در دو حالت پیوسته و گسسته حل شده و سپس دو نوع تحلیل روی متغیرها و پارامترها انجام شده است که در ادامه به بررسی حل مدل در سه حالت ذکر شده پرداخته می‌شود.

حل مدل در شرایط گسسته و پیوسته

در مدل ارائه شده مقادیر Q عدد صحیح هستند. از این رو برای ارزیابی کیفیت مدل‌سازی، مدل در حالت پیوسته نیز حل شده و ضمن تغییر مقدار تقاضا در دوره‌های مختلف، مقادیر به‌دست آمده برای متغیرها و تابع هدف مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. تغییرات تقاضا در جدول ۴ و نتایج به دست آمده در دو حالت گسسته و پیوسته در جدول ۵ نمایش داده شده است. همان‌طور که نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد، تغییر تعداد تقاضا ارتباط مستقیمی با هزینه مساله دارد. همچنین مشاهده می‌شود که عموماً فروشنده و بازه های زمانی منتخب جهت سفارش‌دهی به آنها در حالات مختلف مشابه است. تنها در حالتی که مجموع تقاضا ۶۶۰۷ است تقاضا قابل برآورده‌سازی توسط ۱۰ بازپرسازی است و Q_{51} تنها برای ارضای محدودیت تعداد مشخص بازپرسازی مقدار مثبت گرفته است. در تقاضای ۵۱۰۷ نیز کل تقاضا با ۸ مرتبه بازپرسازی قابل برآورده سازی است و Q_{51} ، Q_{32} و Q_{12} برای ارضای محدودیت تعداد مشخص بازپرسازی مقدار مثبت گرفته‌اند.

همچنین در جواب‌های به‌دست آمده مشخص است که مقادیر به دست آمده برای مساله در حالت پیوسته همواره کمتر از حالت گسسته است. اختلاف نسبی بین مقدار بهینه تابع هدف در حالت گسسته و پیوسته نیز با کاهش تقاضا افزایش یافته است که این موضوع به دلیل بیشتر شدن اثر هزینه‌های ثابت در مقادیر پایین تر تقاضا است.

محدودیت‌های زیر را جایگزین نمود:

$$Q_{ij} \leq M * z_{ij} \quad \forall i, j$$

$$M * (z_{ij} - 1) < Q_{ij} \quad \forall i, j$$

محدودیت اول ضرورت یک بودن مقدار z را در حالتی که Q مثبت باشد ایجاد و محدودیت دوم ضرورت صفر بودن آن را در حالتی که Q صفر است ایجاد می‌کند.

با اعمال این ساده‌سازی‌ها مدل به‌صورت زیر تبدیل خواهد شد.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m O_i Z_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_i Q_{ij} + h \sum_{j=1}^m I_j^+ - R \sum_{j=1}^m I_j^-$$

S.t.

$$(I_j^+ + I_j^-) = (I_{j-1}^+ + I_{j-1}^-) + \sum_{i|a_i < j}^n Q_{i(j-a_i)} - d_j (I_0 = 0) \quad \forall j \quad (2-1)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Z_{ij} = N \quad (2-2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij} = \sum_{j=1}^m d_j = D \quad (2-3)$$

$$I_j^- + I_j^+ \leq W \quad \forall j \quad (2-4)$$

$$I_j^- * I_j^+ = 0 \quad \forall j \quad (2-5)$$

$$Q_{ij} \leq M * z_{ij} \quad \forall i, j \quad (2-6)$$

$$M * (z_{ij} - 1) < Q_{ij} \quad \forall i, j \quad (2-7)$$

$$0 \leq Q_{ij} \leq SC_{i, Int} \quad \forall i, j \quad (2-8)$$

$$I_j^- \leq 0, Int \quad \forall j \quad (2-9)$$

$$I_j^+ \geq 0, Int \quad \forall j \quad (2-10)$$

$$z_{ij} = \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (2-11)$$

با این ساده‌سازی علی‌رغم عدم تغییر تعداد متغیرها، هدف هزینه خطی شده و تنها m محدودیت غیرخطی وجود دارد. به تعداد محدودیت‌ها نیز $2m$ مورد اضافه شده که مربوط به کران بالا و پایین متغیرها بوده و تاثیری روی زمان حل مساله ندارد. لازم به ذکر است که به دلیل خطی بودن اکثر محدودیت‌ها، حل مساله ساده‌تر می‌شود.

۳-۴- حل مدل، تحلیل حساسیت و اعتبار سنجی آن

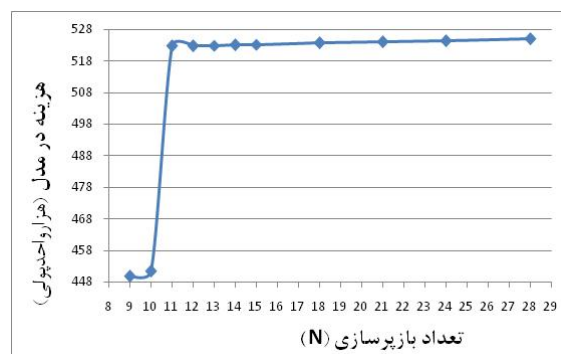
باتوجه به مساله واضح است که Q_{ij} ها متغیرهای مستقل (اصلی) مساله و سایر متغیرها شامل I_j^+ ، I_j^- ، z_{ij} متغیرهای وابسته هستند به گونه‌ای که با مشخص شدن Q مقدار z مربوطه و به تبع آن، مقادیر I_j^+ ، I_j^- بر اساس روابط ۱-۲، ۲-۴ و ۲-۵ تعیین و I_j از رابطه $I_j = I_j^+ + I_j^-$ به راحتی قابل محاسبه خواهد بود. مساله پیش رو یک مساله عدد صحیح با m محدودیت غیرخطی بوده و از روش شاخه و کران قابل حل می‌باشد. با توجه به استقلال متغیرهای Q ، فضای جواب‌های موجه معادل مجموعه مقادیر قابل قبول برای Q ها بر اساس محدودیت‌ها خواهد بود. با دقت در محدودیت‌ها مشاهده می‌شود که دو محدودیت اصلی تاثیرگذار بر متغیر Q محدودیت‌های ۳-۲ و ۸-۲ خواهد بود. لذا در روش شاخه و کران مورد استفاده افزای مجموعه جواب‌های موجه بر اساس حضور و یا عدم حضور یک تأمین کننده در مجموعه جواب موجه تعریف شده است.

تغییر تعداد بازپرسازی ها

تعیین تعداد بازپرسازی باید به گونه‌ای انجام شود که بتوان ضمن تضمین قابلیت برآورده‌سازی تقاضا، هزینه‌ها را نیز کاهش داد. در این حالت انتظار می‌رود که با افزایش تعداد بازپرسازی‌ها تا یک مقدار مشخص، هزینه سیستم کاهش و پس از آن به دلیل الزام در انجام بازپرسازی اضافی هزینه افزایش یابد.

در شکل هزینه سیستم بر اساس مدل تدوین شده در مقابل تعداد بازپرسازی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در تعداد بازپرسازی کمتر از ۹ بار نمی‌توان تقاضا را برآورده نمود.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد بازپرسازی، هزینه سیستم افزایش می‌یابد و در تغییر تعداد بازپرسازی از ۱۰ به ۱۱ بار جهش قابل توجهی مشاهده می‌گردد. این مساله نشان‌دهنده افزایش غیرمنطقی هزینه به دلیل الزام در انجام بازپرسازی بیش از حد مورد نیاز است.



شکل ۱: تغییر مقدار بهینه تابع هدف بر اساس تعداد بازپرسازی‌ها

تغییر نسبت هزینه نگهداری و هزینه کمبود

با توجه به تأثیر مستقیم هزینه نگهداری (h) و کمبود موجودی (R) در تابع هدف، مقدار نسبی این پارامترها تغییر نموده‌اند (در سمت راست جدول تغییرات منطقی مشاهده می‌شود و برای انعکاس بهتر تغییرات، در سمت چپ جدول، مقادیر بسیار بزرگ برای هر یک از پارامترها

تعریف شده است).

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش هزینه نگهداری و کاهش هزینه کمبود، مجموع موجودی‌ها در پایان دوره‌ها کاهش می‌یابد. این موضوع قابل پیش‌بینی بوده است؛ بدین معنا که با افزایش هزینه نگهداری نسبت به هزینه کمبود، رخداد تأخیر نسبت به نگهداری موجودی اضافی مقرون به صرفه‌تر خواهد بود. از این رو سفارش‌دهی به گونه‌ای انجام می‌شود که موجودی انبار در انتهای دوره به حداقل برسد.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

هدف اصلی تعریف شده در این تحقیق توسعه مدلی برای سیستم‌های بازپرسازی موجودی در مراکز توزیع در شرایط واقعی کسب و کار بوده است.

در این تحقیق بعد از تعریف دقیق محدوده، مدلی با در نظر گرفتن دو هدف هزینه و تعداد بازپرسازی تعریف و توسط شش گروه اصلی از محدودیت‌ها تکمیل گردید. سپس ارزیابی و تحلیل عددی مدل بازپرسازی موجودی در شرایط گسسته و پیوسته انجام و دو نوع بررسی و تحلیل حساسیت روی متغیرها و پارامترهای مساله انجام شد. از مشخصه‌های این مدل تعریف موعد تحویل در برنامه‌ریزی، تعریف چند هدف در چرخه تصمیم‌گیری و تعیین تعداد و مقدار بازپرسازی بصورت همزمان است. در نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که مدل ارائه شده به جواب‌های قابل اتکا در ارتباط با حالات مختلف پارامترها و متغیرها دست خواهد یافت.

وجود برخی محدودیت‌ها سبب شده در مواردی ساده‌سازی‌هایی صورت پذیرد و یا زوایایی از مساله پوشش داده نشود. از جمله مواردی که در تحقیقات آتی می‌تواند مورد توجه و بررسی بیشتر قرار گیرد می‌توان به ساده‌سازی فرضیات، ایجاد وابستگی میان اهداف، توسعه شرایط غیرقطعی، برنامه‌ریزی خرید چند قطعه و همچنین مطالعه موردی مدل در محیط واقعی اشاره نمود.

جدول ۳: اطلاعات تقاضا در دوره‌های مختلف و مقادیر پارامترهای مربوط به فروشندگان

شماره دوره (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
مقدار تقاضا (d_j)	634	368	428	1200	1822	691	1618	1100	393	271
شماره فروشنده (i)										
موعد تحویل (L_i)	1	2	1	2	1	3				
هزینه ثابت سفارش‌دهی (O_i)	130	170	145	140	165	163				
قیمت خرید هر واحد (P_i)	51	48	49	52	46	44				
ظرفیت فروشنده (SC_i)	1000	1050	930	960	990	850				

جدول ۴: اطلاعات تغییر تقاضا در حالات مختلف

شماره دوره (j)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	مجموع تقاضا
d _j	۶۳۴	۳۶۸	۴۲۸	۱۲۰۰	۱۸۲۲	۶۹۱	۱۶۱۸	۱۱۰۰	۳۹۳	۲۷۱	۸۵۲۵
d _j	۶۳۴	۳۶۸	۴۲۸	۱۲۰۰	۱۳۲۲	۶۹۱	۱۶۱۸	۱۱۰۰	۳۹۳	۲۷۱	۸۰۲۵
d _j	۶۳۴	۳۶۸	۴۲۸	۱۲۰۰	۱۳۲۲	۶۹۱	۱۱۱۸	۱۱۰۰	۳۹۳	۲۷۱	۷۵۲۵
d _j	۶۳۴	۳۶۸	۲۵۰	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۶۹۱	۱۱۱۸	۱۱۰۰	۳۹۳	۲۷۱	۷۰۲۵
d _j	۶۳۴	۳۶۸	۲۵۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۶۹۱	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۳۹۳	۲۷۱	۶۶۰۷
d _j	۶۳۴	۳۶۸	۲۵۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۶۹۱	۵۰۰	۵۰۰	۳۹۳	۲۷۱	۵۱۰۷

جدول ۵: اثر تغییر تقاضا بر انتخاب فروشندگان و مقدار تابع هدف در شرایط گسسته و پیوسته

مجموع تقاضا	مقدار بهینه تابع هدف		
	گسسته	پیوسته	اختلاف %
۸۵۲۵	۵۲۷۹۰۲	۵۲۲۶۷۵	۰.۹۹
۸۰۲۵	۵۰۴۶۵۹	۴۹۸۶۷۵	۱.۱۸
۷۵۲۵	۴۸۱۳۲۱	۴۷۴۶۷۵	۱.۳۸
۷۰۲۵	۴۵۶۴۸۸	۴۴۹۹۶۳	۱.۴۳
۶۶۰۷	۴۳۶۴۷۱	۴۲۹۵۹۸	۱.۵۷
۵۱۰۷	۳۶۱۷۹۷	۳۵۴۶۸۳	۱.۹۶

جدول ۶: اثر تغییر "نسبت هزینه نگهداری به هزینه جبران کمبود" بر "موجودی انتهایی دوره"

هزینه نگهداری (h)	هزینه کمبود (R)	مجموع موجودی انبار در انتهای دوره‌ها	هزینه نگهداری (h)	هزینه کمبود (R)	مجموع موجودی انبار در انتهای دوره‌ها
۵	۲۰	۵۹۷۱	۰	۲۱۰۰	۵۹۸۸
۱۰	۱۵	۵۹۵۱	۱۰۰	۲۰۰۰	۵۵۸۷
۲۰	۵	۵۹۱۲	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۲۴۸۷
۲۴	۱	۵۸۹۴	۱۵۰۰	۵۰۰	۲۰۲۷
-	-	-	۲۰۰۰	۱۰۰	۱۸۲۷
-	-	-	۲۱۰۰	۰	۱۶۶۰

مراجع

- [6] Yao, M.G., Chu, W.M., Lin, Y.F. (2008). Determination of replenishment dates for restricted-storage, static demand, cyclic replenishment schedule, Computers & Operations Research 35, 3230 – 3242.
- [7] Teng, J.T., Chang, C.T. (2009). Optimal manufacturer's replenishment policies in the EPQ model under two levels of trade credit policy, European J. of Operational Research 195, 358–363.
- [8] Chen, C.K., Hung, T.W., Weng T.C. (2007), Optimal replenishment policies with allowable shortages for a product life cycle, Computers and Mathematics with Applications 53, 1582–1594.
- [9] Chang, C.T., Teng, J.T., Goyal, S.K. (2010), Optimal replenishment policies for non-instantaneous deteriorating items with stock-dependent demand, Int. J. Production Economics 123, 62–68.
- [10] Wu, K.S., Ouyang, L.Y., Yang, C.T. (2006). An optimal replenishment policy for non-
- [1] Zipkin, P. H. (2000). Foundations of Inventory Management, New York- McGraw Hill.
- [2] Christophe (2009). The 4 Inventory Replenishment Models. <http://www.logisitik.com/learning-center/the-4-inventory-replenishment-models.html>
- [3] RPM retails Company (2010), Simple Stock Replenishment Rules. <http://www.shift-rpm.com/resources/Articles/Simple%20Stock%20Replenishment%20Rules.pdf>
- [4] Lin, H.D. Peter Chiu, Y.S., Ting, C.K. (2008). A note on optimal replenishment policy for imperfect quality EMQ model with rework and backloging, Computers and Mathematics with Applications 56, 2819-2824.
- [5] Zhao, G.Q., Yang, J., Rand G.K. (2001). Heuristics for replenishment with linear decreasing demand, Int. J. Production Economics 69, 339-345.

- [16] Wang, S.P. (2002). On inventory replenishment with non-linear increasing demand, *Computers & Operations Research* 29, 1819–1825.
- [17] Abbott, H., Palekar, U.S. (2008). Retail replenishment models with display-space elastic demand, *European J. of Operational Research*, 186, 586–607.
- [18] Chiang, C. (2006). Optimal ordering policies for periodic-review systems with replenishment cycles, *European J. of Operational Research*, 170, 44–56.
- [19] Kim, E. (2004). Stochastic vendor managed replenishment with demand dependent shipment, *European J. of Operational Research*, 152, 723–744.
- [20] Zhu, S.X. (2012). Joint pricing and inventory replenishment decisions with returns and expediting, *European J. of Operational Research*, 216-1, 105-112.
- [21] Qi, L. (2013). A continuous-review inventory model with random disruptions at the primary supplier, *European J. of Operational Research*, 225-1, 59-74.
- [22] Kang, H.Y., Lee, A.H.L. (2010), Inventory replenishment model using fuzzy multiple objective programming- A case study of a high-tech company in Taiwan, *Applied Soft Computing* 10, 1108–1118.
- instantaneous deteriorating items with stock-dependent demand and partial backlogging. *Int. J. Production Economics* 101, 369–384.
- [11] Fayez F., Laporte, B.G., Rendaud J. (2004). Models and Algorithms for the Dynamic-Demand Joint Replenishment Problem, *Int. J. of Production Research*, 42, 2667-2678.
- [12] Taleizadeh, A., AkhavanNiaki, S.T., Aryanezhad, M.B. (2009). A hybrid method of Pareto, TOPSIS and genetic algorithm to optimize multi-product multi-constraint inventory control systems with random fuzzy replenishments, *Mathematical and Computer Modeling* 49, 1044-1057.
- [۱۳] طالع‌زاده عطاء‌اله، آریان‌زاد میربهدادرقلی، ماکویی احمد، (۱۳۸۸). کاربرد شبیه سازی تبرید در بهینه‌سازی یک مدل کنترل موجودی چند محصولی همراه با محدودیت فضا و بازرسازی تصادفی، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۲، جلد ۲۰، صص ۱۰-۱.
- [14] Sarkar, T., Ghosh, S.K., Chaudhuri, K.S. (2012). An optimal inventory replenishment policy for a deteriorating item with time-quadratic demand and time-dependent partial backlogging with shortages in all cycles, *Applied Mathematics and Computation*, 218(18), 9147-9155.
- [15] Lo, W.Y., Tsai, C.H., Li, R.K. (2002). Exact solution of inventory replenishment policy for a linear trend in demand -two equation model, *Int. J. Production Economics* 76, 111-120.



Multi-Objective Optimization of Inventory Replenishment Problem for Distribution Centers by Considering Lead-Time and Capacity Constraints

E. Alidadiani*, A. Makui^{1, †}

* Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Tehran, Iran

† Department of Industrial Engineering, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 May 2013

Accepted 24 August 2013

Keywords:

Replenishment,
Inventory Management,
Multi-Objective Modeling,
Lead-Time.

ABSTRACT

In the big industries, the volume of commodities that used in a production cycle is capital-intensive. Therefore, the inventory management would be important especially in determining the capacity of warehouses, managing costs and responding to transportation concerns. It will be more considerable in the area of replenishment planning for distribution centers and even selling shelves.

The main objective of this paper is to provide a multi-objective replenishment model by considering lead-time for the orders as well as obtaining the optimal numbers of replenishments and the quantities of orders. This model designed for the make-to-order inventory replenishment system by using a distributor. Confining the total numbers of replenishments as well as minimizing inventory costs is the two defined objectives. The inputs of the model are delivery limitations of suppliers and capacity constraint of distributor's warehouse. The model solved by standard multi-objective methods in discrete and continuous space. Then the two sensitivity analyses performed on the "numbers of replenishments" and "ratio of holding and back-order cost". The results show that the total cost of system would be raise upon increasing numbers of replenishments. Also After a specific value for the number of replenishments, the total cost would have significant jump because of enforcing to do unnecessary replenishments.

¹ Corresponding author.

Tel.: +98 2173225004; E-mail addresses: amakui@iust.ac.ir

