

به کارگیری سیاست ذخیره پایه تغییر یافته در یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل انبار و خرده‌فروشان

آرزو قهقائی^۱ و مهدی سیف‌برقی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

۲. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۰۵، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۵/۰۹/۰۸، تاریخ تصویب: ۹۶/۰۱/۱۴)

چکیده

در سیاست ذخیره پایه، بلافاصله پس از فروش کالا، به‌منظور تکمیل موجودی سفارش جدید صادر می‌شود؛ درحالی‌که در سیاست ذخیره پایه تغییر یافته، صدور سفارش جدید با مقداری تأخیر انجام می‌گیرد. در این پژوهش، برای اولین بار یک سیستم موجودی دوسطحی مبتنی بر سیاست ذخیره پایه تغییر یافته و مرور پیوسته - که متشکل از یک انبار مرکزی و چند خرده‌فروش یکسان و مستقل است - مطالعه می‌شود. خرده‌فروشان با تقاضای پواسون مواجه هستند و تقاضاهای برآورده‌نشده، در انبار به‌صورت پس‌افت و در خرده‌فروشان به‌صورت ازدست‌رفته درمی‌آیند. عملکرد این سیاست، از طریق شبیه‌سازی ارزیابی شده و هزینه کل آن با هزینه کل سیاست ذخیره پایه مقایسه شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد در سیاست تغییر یافته، در شرایطی که تأخیر اعمال‌شده پیش از همه سفارش‌ها یکسان باشد، هزینه کل به میزان زیادی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تقاضای ازدست‌رفته، تقاضای پس‌افت، ذخیره پایه، زنجیره تأمین، سیستم‌های موجودی چندسطحی، مرور پیوسته.

مقدمه

تحویل داده می‌شود. در سطح پایین زنجیره تأمین، هنگامی که خرده‌فروش موجودی نداشته باشد و مشتری یک سفارش جدید صادر کند، مشتری یا برای دریافت کالا صبر می‌کند یا به خرده‌فروش دیگری مراجعه می‌کند [۴]؛ هرچند در صنایع خرده‌فروشی، هنگامی که تسهیلات موجودی کافی نداشته نباشند، بیشتر تقاضای مشتریان به‌صورت ازدست‌رفته درمی‌آید. از آنجاکه تحلیل سیستم‌های موجودی - که تقاضای برآورده‌نشده در آن‌ها به‌صورت ازدست‌رفته در نظر گرفته می‌شود - از پس‌افت پیچیده‌تر است [۳]، [۴]، [۵] و [۶]، بیشتر پژوهش‌های پیشین، بر سیستم‌های موجودی پس‌افت تمرکز دارند [۷] و [۸].

در این تحقیق، یک زنجیره تأمین دوسطحی متشکل از یک انبار مرکزی و چند خرده‌فروش، به‌صورت یکسان و مستقل در نظر گرفته شده است. سیاست تکمیل موجودی خرده‌فروشان که مبتنی بر سیاست ذخیره پایه است، با اعمال تأخیر پیش از سفارش جدید تغییر یافته است. مزیت این سیاست، جلوگیری از افزایش هزینه موجودی از طریق

در این مقاله، یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک انبار مرکزی و چند خرده‌فروش یکسان - که سیاست ذخیره پایه را به کار می‌برند - در نظر گرفته شده است. در سیاست ذخیره پایه، بلافاصله پس از فروش کالا، به‌منظور تکمیل موجودی سفارش جدید صادر می‌شود. سیستم‌های موجودی مبتنی بر سیاست ذخیره پایه، به‌طور معمول برای کالاهای گران‌قیمت و کم‌مصرف به کار می‌روند [۱] و [۲] که هزینه سفارش‌دهی برای آن‌ها صفر یا کم و زمان تحویل آن‌ها طولانی است [۳]. زمان تحویل سفارش، با توجه به وضعیت موجودی در دست انبار مرکزی (تأمین‌کننده) ثابت یا متغیر است. در صورتی که در یک زنجیره تأمین دوسطحی، انبار مرکزی (سطح بالای زنجیره تأمین) موجودی داشته باشد، خرده‌فروشان با زمان تحویل ثابت که شامل زمان حمل است، سرویس داده می‌شوند، اما اگر موجودی نداشته باشد، سفارش‌های خرده‌فروشان با تأخیر روبه‌رو می‌شود [۱] و به‌محض اینکه کالا به انبار برسد،

ساده برای یافتن سیاست بهینه سفارش‌دهی ارائه داد [۹]. سچی و چنگ، سیاست بهینه ذخیره پایه را با زمان تحویل ثابت در افق برنامه‌ریزی محدود و نامحدود تعیین کردند. آن‌ها فرض کردند تقاضا به صورت تصادفی است و تقاضاهای برآورده‌نشده به صورت ازدست‌رفته و در انبار به صورت پس‌افت در نظر گرفته می‌شود. خرده‌فروشان با تقاضای پواسون مواجه هستند و در نتیجه، انبار نیز تقاضای پواسون می‌یابد [۸]. هزینه سفارش‌دهی، ناچیز در نظر گرفته شده است.

ادامه مقاله بدین شرح است: در بخش بعد، مروری بر پژوهش‌های پیشین انجام می‌گیرد. سپس دو پژوهش اصلی که زیربنای تحقیق حاضر به‌شمار می‌روند، معرفی می‌شوند. نمادها و مدل مسئله برای یک زنجیره تأمین دوسطحی، متشکل از یک انبار مرکزی و تعدادی خرده‌فروش یکسان و مستقل - که سیاست ذخیره پایه تغییر یافته را به‌کار می‌برند - در بخش بعدی ارائه می‌شوند. سپس نتایج شبیه‌سازی توضیح داده می‌شوند. در نهایت، بخش آخر به نتیجه‌گیری و پژوهش‌های آتی می‌پردازد.

دسته دوم: سیستم موجودی یک‌سطحی با سیاست ذخیره پایه تغییر یافته

در پژوهش‌هایی از جمله [۱]، [۱۳]، [۱۴] با در نظر گرفتن تأخیر پیش از صدور سفارش، به سیاست ذخیره پایه تغییر یافته - که در آن بین زمان فروش کالا و سفارش پس از آن، تأخیر اعمال می‌شد - پرداخته شد. هیل یک سیستم موجودی ذخیره پایه و مرور پیوسته را که با تقاضای پواسون مواجه بود و در آن تقاضای برآورده‌نشده به صورت ازدست‌رفته در نظر گرفته می‌شد، مطالعه کرد. از دیدگاه وی، اگر در هنگام صدور سفارش، مقدار باقی‌مانده از زمان تحویل سفارش‌های در راه، از یک حد مشخص و ثابت کمتر باشد، سفارش جدید بلافاصله صادر می‌شود. در غیر این صورت، صدور سفارش جدید با تأخیر انجام می‌گیرد [۱۳]. جانسون یک سیستم موجودی یک‌سطحی مرور پیوسته با تقاضای پواسون را که در آن، تقاضای برآورده‌نشده به صورت ازدست‌رفته در نظر گرفته می‌شد، بررسی کرد. او سیاست استاندارد ذخیره پایه^۲ را تغییر داد و یک حد پایین برای فاصله بین زمان فروش کالا و سفارش جدید به‌منظور کاهش متوسط هزینه ارائه کرد [۱۴]. هیل بیان کرد زمانی که در یک سیستم موجودی یک‌سطحی، تقاضای برآورده‌نشده به صورت ازدست‌رفته درمی‌آید و هنگام فروش کالا تعدادی سفارش در راه وجود دارد، صدور یک سفارش

کاهش موجودی است. انبار، سیاست مرور پیوسته و ذخیره پایه، و خرده‌فروشان سیاست مرور پیوسته و ذخیره پایه تغییر یافته را به‌کار می‌برند؛ در حالی که تقاضاهای برآورده‌نشده در خرده‌فروشان، به صورت ازدست‌رفته و در انبار به صورت پس‌افت در نظر گرفته می‌شود. خرده‌فروشان با تقاضای پواسون مواجه هستند و در نتیجه، انبار نیز تقاضای پواسون می‌یابد [۸]. هزینه سفارش‌دهی، ناچیز در نظر گرفته شده است.

ادامه مقاله بدین شرح است: در بخش بعد، مروری بر پژوهش‌های پیشین انجام می‌گیرد. سپس دو پژوهش اصلی که زیربنای تحقیق حاضر به‌شمار می‌روند، معرفی می‌شوند. نمادها و مدل مسئله برای یک زنجیره تأمین دوسطحی، متشکل از یک انبار مرکزی و تعدادی خرده‌فروش یکسان و مستقل - که سیاست ذخیره پایه تغییر یافته را به‌کار می‌برند - در بخش بعدی ارائه می‌شوند. سپس نتایج شبیه‌سازی توضیح داده می‌شوند. در نهایت، بخش آخر به نتیجه‌گیری و پژوهش‌های آتی می‌پردازد.

پیشینه پژوهش

در پژوهش‌های پیشین، به میزان زیادی به سیستم‌های موجودی مبتنی بر سیاست تکمیل موجودی ذخیره پایه توجه شده است. با توجه به سیاست کنترل موجودی و نوع سیستم مورد بررسی، این پژوهش‌ها را می‌توان در سه دسته زیر طبقه‌بندی کرد: ۱. سیستم موجودی یک‌سطحی با سیاست ذخیره پایه استاندارد، ۲. سیستم موجودی یک‌سطحی با سیاست ذخیره پایه تغییر یافته و ۳. سیستم‌های دوسطحی مبتنی بر سیاست ذخیره پایه.

دسته اول: سیستم موجودی یک‌سطحی با سیاست ذخیره پایه استاندارد

پژوهش‌های پیشین از جمله [۹]، [۱۰]، [۱۱]، [۱۲] سیستم‌های موجودی یک‌سطحی مبتنی بر سیاست ذخیره پایه را در شرایط زمان‌های تحویل تصادفی و قطعی بررسی کرده‌اند. کاروش، یک سیستم موجودی مرور پیوسته مبتنی بر سیاست ذخیره پایه را که تقاضای برآورده‌نشده در آن به صورت ازدست‌رفته در نظر گرفته می‌شد، مطالعه کرد. او با توجه به تقعر تابع هزینه، یک الگوریتم جست‌وجوی

دوسطحی مبتنی بر سیاست سفارش دوره‌ای در نظر گرفتند که سطوح مختلف آن، ظرفیت محدود دارد. در شرایطی که ظرفیت سطوح پایین کمتر از سطوح بالاتر باشد، سیاست بهینه معادل سیاست ذخیره پایه تغییر یافته است که در آن، هریک از اعضا دارای چند سطح ذخیره پایه هستند [۱۸]. مهریزی و همکاران، یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک تولیدکننده و چند انبار متفاوت مبتنی بر سیاست ذخیره پایه را بررسی کردند. آن‌ها اولویت‌های مختلف سرویس‌دهی را مقایسه کردند و شرایطی را که در آن هریک بهتر عمل می‌کنند، مطرح ساختند [۱۹]. محمودی و همکاران نیز یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک انبار و چند خرده‌فروش یکسان در نظر گرفتند. سفارش‌های برآورده نشده، در سطح انبار به صورت پس‌افت و در سطح خرده‌فروش به صورت از دست‌رفته درمی‌آیند. در این پژوهش، سیاست دوره‌ای با سیاست ذخیره پایه مقایسه شد و شرایطی که در آن هریک از سیاست‌های ذکر شده بهتر عمل می‌کنند، بیان شد [۲۰].

بیشتر پژوهش‌های پیشین، بر سیستم‌های موجودی دوسطحی با زمان تحویل ثابت یا تصادفی تمرکز دارند. هرچند برخی از نویسندگان، به دلیل پس‌افت در سطح بالاتر زنجیره تأمین، مقداری تأخیر را علاوه بر زمان ذکر شده تحویل در نظر گرفتند. در شرایطی که تقاضای برآورده نشده به صورت از دست‌رفته درمی‌آید، به دلیل جلوگیری از موجودی مازاد در انبار و در نتیجه هزینه نگهداری، صدور سفارش نیز با تأخیر انجام می‌شود؛ بنابراین، زمان تکمیل موجودی پس از فروش یک واحد کالا، از سه بخش تشکیل می‌شود که شامل تأخیر در صدور سفارش، زمان ثابت حمل و تأخیر در تحویل سفارش است. در پژوهش‌های پیشین، سیاست ذخیره پایه تغییر یافته در زنجیره تأمین یک‌سطحی به کار رفته است. در این مقاله، یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک انبار مرکزی و چند خرده‌فروش یکسان و مستقل در نظر گرفته شده که در آن، در صورتی که انبار مرکزی موجودی نداشته باشد، تقاضای خرده‌فروشان با تأخیر برآورده می‌شود. علاوه بر این، سفارش‌های خود را با تأخیر صادر می‌کنند.

جدید موجب افزایش هزینه نگهداری می‌شود. در این شرایط، اعمال تأخیر بین زمان فروش کالا و صدور سفارش جدید برای تکمیل موجودی به منظور جلوگیری از افزایش موجودی در انبار به صرفه است [۱].

دسته سوم: سیستم‌های دوسطحی مبتنی بر سیاست ذخیره پایه

السون و هیل^۳ یک سیستم موجودی دوسطحی متشکل از یک تأمین‌کننده (تولیدکننده) و چند خرده‌فروش غیریکسان با فرض سیاست ذخیره پایه و پس‌افت را که با تقاضای پواسون مواجه هستند، ارائه کردند. در این پژوهش، زمان تحویل سفارش‌های خرده‌فروشان شامل زمان ثابت تولید، زمان حمل و تأخیر به دلیل پس‌افت در انبار در نظر گرفته شده است. به منظور محاسبه حالت پایدار سطح موجودی و متوسط پس‌افت در خرده‌فروش، زمان تحویل به دو صورت ثابت و تصادفی با توزیع گاما و مستقل از تقاضا لحاظ شده است [۱۵]. سجادی فر و حاج‌آقایی^۴، یک زنجیره تأمین سه‌سطحی مبتنی بر سیاست ذخیره پایه، متشکل از دو انبار و تعدادی خرده‌فروش را به منظور تعیین تابع هزینه بررسی کردند؛ در حالی که خرده‌فروشان با تقاضای پواسون روبه‌رو هستند و زمان تدارک نیز شامل زمان ثابت حمل و تأخیر در تحویل سفارش به دلیل پس‌افت در نظر گرفته شده است [۱۶]. الوارز و هیجدن، یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک انبار مرکزی^۵ و چند انبار غیریکسان مبتنی بر سیاست ذخیره پایه را بررسی کردند. انبارها با تقاضای پواسون و زمان تحویل ثابت مواجه بودند. تقاضاهای برآورده نشده در انبار مرکزی به صورت پس‌افت و در انبارها به صورت از دست‌رفته در نظر گرفته شدند. آن‌ها در شرایطی که امکان تأمین اضطراری وجود دارد و همچنین هیچ سفارش در راهی موجود نیست، سطح خدمت را برآورد کردند [۲]. هیل و همکاران، حالت پایدار یک سیستم موجودی دوسطحی مرور پیوسته شامل یک نوع کالا را- در حالی که انبار سیاست ذخیره پایه و مبتنی بر بسته اقلام^۶ را دنبال می‌کرد- مطالعه کردند. تقاضای برآورده نشده خرده‌فروشان به صورت پس‌افت درمی‌آید و پس از یک تأخیر، علاوه بر زمان ثابت حمل تحویل داده می‌شد [۱۷]. جی و همکاران نیز یک زنجیره تأمین سری

بررسی دو تحقیق اصلی

در این مقاله، با توجه به پژوهش‌های پیشین، زمان لازم برای تکمیل موجودی خرده‌فروشان پس از فروش یک واحد کالا، شامل سه بخش مجزا در نظر گرفته شده است. بخش اول، زمان ثابت حمل از انبار مرکزی به خرده‌فروشان است. بخش دوم شامل زمان تأخیر در تحویل کالا به خرده‌فروشان است که به دلیل کسری در انبار مرکزی اتفاق می‌افتد. در صورتی که انبار مرکزی در زمان صدور سفارش خرده‌فروشان دارای موجودی در دست باشد، مقدار این تأخیر صفر است. بخش سوم، مربوط به زمانی است که خرده‌فروش برای جلوگیری از افزایش هزینه‌های نگهداری، سفارش‌های خود را با مقداری تأخیر صادر می‌کند.

تأخیر در تحویل کالا به دلیل کسری در انبار (سطح بالای زنجیره تأمین)، مبحثی است که در مقاله [۸] مطالعه شده است و در بخش ۱،۳ به تفصیل بررسی می‌شود. همچنین تأخیر در صدور سفارش در سیستم موجودی تک‌سطحی، در تحقیق [۱] مطرح شده است که در بخش ۲،۳ جزئیات آن بیان می‌شود.

تحقیق اول: تخمین زمان تدارک برای خرده‌فروش

زمان تحویل سفارش خرده‌فروشان توسط انبار، شامل زمان ثابت حمل است. در صورتی که انبار در زمان صدور سفارش خرده‌فروشان دارای موجودی در دست نباشد، تقاضای خرده‌فروشان با مقداری تأخیر برآورده می‌شود که در مقاله [۸] مقدار این تأخیر برآورد شده است. پارامترهای این مدل به صورت زیر معرفی می‌شوند:

\bar{L}_r متوسط زمان تدارک خرده‌فروشان؛

L_r زمان حمل کالا از انبار به خرده‌فروشان؛

B_0 متوسط پس‌افت در انبار؛

Λ نرخ تقاضا در انبار.

در این تحقیق، زمان تدارک از انبار به خرده‌فروشان شامل دو بخش زمان حمل و تأخیر در تحویل سفارش است. زمان حمل دارای مقداری ثابت و تأخیر در تحویل سفارش که به علت کسری در انبار اتفاق می‌افتد، دارای مقداری متغیر و متوسط آن برابر با B_0/Λ است؛ بنابراین، متوسط زمان تحویل برای هر یک از خرده‌فروشان براساس فرمول لیتل برابر رابطه (۱) است.

$$\bar{L}_r = L_r + B_0/\Lambda \quad (1)$$

تحقیق دوم: اعمال تأخیر در صدور سفارش جدید

در مقاله [۱] دو سیاست متفاوت ذخیره پایه تغییر یافته و تأخیر کامل و تأخیر ساده در نظر گرفته شده است. در ادامه، سیاست‌های ذکر شده توضیح داده شده‌اند.

الف) سیاست ذخیره پایه تغییر یافته با تأخیر کامل

در این سیاست، با توجه به وضعیت موجودی در دست و تعداد سفارش‌های در راه، در مورد اعمال شدن یا اعمال نشدن تأخیر در صدور سفارش تصمیم‌گیری می‌شود. در صورتی که لازم باشد سفارشی با تأخیر صادر شود، مقدار تأخیر بهینه محاسبه می‌شود. ابتدا پارامترهای مسئله به صورت زیر معرفی می‌شوند:

x سطح موجودی در دست؛

n تعداد سفارش‌های در راه؛

λ نرخ تقاضا در سیستم موجودی تک‌سطحی؛

c هزینه کسری یک واحد کالا؛

S سطح موجودی در سیاست ذخیره پایه تغییر یافته؛

h هزینه نگهداری یک واحد کالا در واحد زمان؛

L زمان حمل کالا به سیستم موجودی تک‌سطحی؛

T تأخیر اعمال شده پیش از صدور سفارش؛

T^* مقدار بهینه تأخیر اعمال شده پیش از صدور سفارش؛

$PSO(T)$ احتمال وقوع کسری در زمان $T + L$ ؛

t_n زمان رسیدن n مین سفارش در راه.

زمانی که تقاضاهای برآورده نشده به صورت ازدست‌رفته در نظر گرفته می‌شوند، اعمال تأخیر در صدور سفارش جدید به منظور تکمیل موجودی، هزینه‌های نگهداری موجودی را کاهش می‌دهد. سیاست ذخیره پایه تغییر یافته با اعمال تأخیر در صدور سفارش‌ها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱. اگر $x = S - 1$ و $n = 0$ ، آنگاه $T = 0$ ؛

۲. اگر $PSO(0) > h/\lambda c$ ، آنگاه $T = 0$ ؛

۳. اگر $PSO(0) < h/\lambda c$ ، تأخیر T باید پیش از

سفارش جدید اعمال شود؛

۴. اگر تأخیر پیش از سفارش جدید در نظر گرفته شود و قبل از صدور سفارش یک فروش اتفاق بیفتد، سفارش اول لغو و برای یک سفارش جدید برنامه‌ریزی می‌شود.

شایان ذکر است اگر پس از صدور یک سفارش $x + n < S$ باشد، یک سفارش جدید با تأخیر T برنامه‌ریزی می‌شود.

اگر مقدار تأخیر صفر باشد ($T = 0$)، بلافاصله پس از فروش یک واحد کالا، صدور سفارش جدید انجام می‌شود و موجودی خرده‌فروش پس از زمان ثابت L یک واحد افزایش می‌یابد. در صورتی که این مقدار مخالف صفر باشد، $T \neq 0$ ، سفارش جدید پس از زمان T صادر می‌شود و موجودی خرده‌فروش پس از زمان $L + T$ یک واحد افزایش می‌یابد. T^* جواب منحصر به فرد معادله $\lambda cPSO(T^*) = h$ بازه $(0, t_n)$ است که از طریق درون‌یابی به دست می‌آید. رابطه فوق، در صورتی دارای جواب است که $\lambda cPSO(0) < h$ و $\lambda cPSO(t_n) > h$ جزئیات مربوط به محاسبه درون‌یابی فوق در مقاله [۱] بیان شده است.

ب) سیاست ذخیره پایه تغییر یافته با تأخیر ساده
علی‌رغم پیچیدگی کاربرد سیاست تأخیر کامل، سیاست تأخیر ساده به محاسبات ساده‌تری نیاز دارد. تأخیر در نظر گرفته شده، T ، به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$T = -\ln((\lambda c - h)/\lambda c) / h \quad (2)$$

زمانی که یک واحد کالا به فروش می‌رسد، سفارشی جدید پس از اعمال تأخیر فوق صادر می‌شود.

نمادها و مدل‌سازی مسئله

همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، زمان تحویل کالا به خرده‌فروشان شامل دو بخش زمان ثابت حمل و تأخیر در تحویل کالا به علت کسری در انبار در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور کاهش هزینه‌های موجودی، صدور سفارش جدید با تأخیر انجام می‌شود. پارامترهای مطرح شده در این تحقیق به صورت زیر تعریف می‌شوند:

N تعداد خرده‌فروشان؛

C_0 متوسط هزینه نگهداری در انبار در واحد زمان؛

C_i متوسط هزینه نگهداری و کسری در خرده‌فروش i

ام در واحد زمان؛

L زمان حمل کالا از انبار به خرده‌فروش؛

\bar{L} متوسط زمان لازم برای تکمیل موجودی خرده‌فروش

پس از فروش یک واحد کالا؛

TC هزینه کل سیستم موجودی در واحد زمان.

اگر مقدار تأخیر قبل از صدور سفارش صفر باشد، متوسط زمان لازم برای تکمیل موجودی به اندازه یک واحد از لحظه فروش کالا، \bar{L} ، براساس رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$\bar{L} = L_r + B_0/\Lambda \quad (3)$$

و اگر مقدار این تأخیر مخالف صفر باشد، مقدار \bar{L} برابر رابطه (۴) است:

$$\bar{L} = L_r + B_0/\Lambda + T \quad (4)$$

در سیستم موجودی مورد بررسی در این مقاله، زمان تکمیل موجودی پس از فروش یک واحد کالا به صورت فوق در نظر گرفته می‌شود و محاسبه هزینه کل اجرای سیاست ذخیره پایه تغییر یافته در این سیستم دوسطحی، با استفاده از شبیه‌سازی براساس رابطه (۵) انجام می‌گیرد:

$$TC = C_0 + \sum_{i=1}^N C_i \quad (5)$$

نتایج شبیه‌سازی

به منظور مقایسه عملکرد سیاست ذخیره پایه تغییر یافته اعمال تأخیر بین زمان فروش یک واحد کالا و صدور سفارش جدید، با سیاست ذخیره پایه که در آن مقدار این تأخیر صفر است، مسائل عددی زیر بررسی شده است (جدول ۱). مدل شبیه‌سازی شده به ازای مقادیر عددی پارامترهای مسئله و همچنین مقادیر مختلف سطح ذخیره پایه برای هر یک از خرده‌فروشان و انبار اجرا می‌شود و براساس کمترین هزینه کل سیستم شامل هزینه نگهداری و کسری سیاست بهینه سفارش‌دهی مشخص می‌شود.

در این بخش، یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک انبار مرکزی و ۵ خرده‌فروش یکسان و مستقل که با تقاضای پواسون مواجه هستند، در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن مقادیر مختلفی برای λ ، h ، c و L_0 سیاست بهینه برای هر مسئله تعیین می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱. مسائل عددی مربوط به خرده‌فروشان و انبار

L_0	c	h_r	λ	\hat{J}_i	L_0	c	h_r	λ	\hat{J}_i
۱	۵	۱	۰/۷۵	۱۷	۱	۵	۱	۰/۲۵	۱
۲	۵	۱	۰/۷۵	۱۸	۲	۵	۱	۰/۲۵	۲
۱	۲۵	۱	۰/۷۵	۱۹	۱	۲۵	۱	۰/۲۵	۳
۲	۲۵	۱	۰/۷۵	۲۰	۲	۲۵	۱	۰/۲۵	۴
۱	۵	۲	۰/۷۵	۲۱	۱	۵	۲	۰/۲۵	۵
۲	۵	۲	۰/۷۵	۲۲	۲	۵	۲	۰/۲۵	۶
۱	۲۵	۲	۰/۷۵	۲۳	۱	۲۵	۲	۰/۲۵	۷
۲	۲۵	۲	۰/۷۵	۲۴	۲	۲۵	۲	۰/۲۵	۸
۱	۵	۱	۱	۲۵	۱	۵	۱	۰/۵	۹
۲	۵	۱	۱	۲۶	۲	۵	۱	۰/۵	۱۰
۱	۲۵	۱	۱	۲۷	۱	۲۵	۱	۰/۵	۱۱
۲	۲۵	۱	۱	۲۸	۲	۲۵	۱	۰/۵	۱۲
۱	۵	۲	۱	۲۹	۱	۵	۲	۰/۵	۱۳
۲	۵	۲	۱	۳۰	۲	۵	۲	۰/۵	۱۴
۱	۲۵	۲	۱	۳۱	۱	۲۵	۲	۰/۵	۱۵
۲	۲۵	۲	۱	۳۲	۲	۲۵	۲	۰/۵	۱۶

را افزایش می‌دهد؛ بنابراین، سیاست ذخیره پایه تغییر یافته، هزینه کل را به ازای برخی از مقادیر پارامترها کاهش می‌دهد. در صورتی که هزینه نگهداری به ازای واحد کالا و واحد زمان نسبتاً بالا باشد، احتمال اثرگذاری سیاست ذخیره پایه تغییر یافته افزایش می‌یابد، اما در شرایطی که هم‌زمان هزینه کسری به‌ازای واحد کالا و نرخ تقاضای مشتری بالا باشد، احتمال کاهش هزینه کل پایین است.

نتیجه‌گیری و پژوهش‌های آتی

در این تحقیق، یک سیستم موجودی دوسطحی مبتنی بر سیاست ذخیره پایه تغییر یافته و مرور پیوسته بررسی شد. در این سیستم، تقاضای برآورده نشده در انبار، به‌صورت پس‌افت و در خرده‌فروشان به‌صورت ازدست‌رفته در نظر گرفته شد. در شرایطی که سیاست ذخیره پایه استاندارد به‌کار گرفته شود، بلافاصله پس از فروش یک واحد کالا، سفارش برای تکمیل موجودی صادر می‌شود.

هزینه نگهداری کالا در انبار مرکزی و زمان تدارک خرده‌فروش، برابر یک فرض شده است ($h_0 = L_r = 1$). مسائل عددی از طریق نرم‌افزار شبیه‌سازی Arena ارزیابی می‌شود و انتخاب زمان اجرای برنامه، برابر ۱۱۰،۰۰۰ واحد زمانی - که شامل ۱۰،۰۰۰ واحد زمانی آماده‌سازی^۷ است - انجام می‌گیرد.

هزینه کل براساس سیاست‌های ذخیره پایه استاندارد و ذخیره پایه تغییر یافته در جدول ۲ آمده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، اثر سیاست تأخیر کامل بسیار کم است. سیاست تأخیر کامل، هزینه کل را در حدود ۰/۱ درصد کاهش می‌دهد؛ درحالی‌که میانگین هزینه کل سیاست تأخیر ساده، به‌طور معناداری ($P\text{-Value}=0.455$) در مقایسه با میانگین هزینه کل سیاست ذخیره پایه استاندارد کاهش یافته است. در سیاست تأخیر ساده، کاهش هزینه کل حدود ۱۳ درصد است. اعمال تأخیر در صدور سفارش جدید سبب کاهش سطح موجودی و در نتیجه کاهش هزینه نگهداری می‌شود، اما هزینه کسری

جدول ۲. مقایسه هزینه کل سیاست ذخیره پایه تغییر یافته و سیاست ذخیره پایه استاندارد

ردیف	تغییرات هزینه سیاست SDP		تغییرات هزینه سیاست SDP		تغییرات هزینه سیاست SDP		تغییرات هزینه سیاست SDP		سیاست بهینه	سیاست بهینه	سیاست ذخیره پایه	سیاست بهینه	سیاست ذخیره پایه	سیاست بهینه	سیاست ذخیره پایه
	در مقایسه با سیاست ذخیره پایه (به درصد)	در مقایسه با سیاست ذخیره پایه (به درصد)	در مقایسه با سیاست ذخیره پایه	در مقایسه با سیاست ذخیره پایه	در مقایسه با سیاست ذخیره پایه	در مقایسه با سیاست ذخیره پایه	در مقایسه با سیاست ذخیره پایه	در مقایسه با سیاست ذخیره پایه							
۱	۰	-۴۵/۵۵۴	۵/۴۱	۱/۱	۵/۶۷	۱/۱	۵/۶۷	۱/۱	۱/۱	۵/۶۷	۱/۱	۱/۱	۵/۶۷	۱/۱	۱/۱
۲	۰/۱۷۰۰۶۸	-۸/۶۷۳۴۷	۵/۳۷	۱/۱	۵/۸۹	۱/۱	۵/۸۹	۱/۱	۱/۱	۵/۸۸	۱/۱	۱/۱	۵/۸۸	۱/۱	۱/۱
۳	۰	-۳۲/۸۰۱۶	۶/۸۴	۲/۱	۱۰/۰۳	۱/۲	۱۰/۰۳	۱/۲	۱/۲	۱۰/۰۳	۱/۲	۱/۲	۱۰/۰۳	۱/۲	۱/۲
۴	۰/۰۹۴۲۱	-۷/۳۹۳۷۲	۱۰/۰۲	۱/۲	۱۰/۸۳	۱/۲	۱۰/۸۳	۱/۲	۱/۲	۱۰/۸۲	۱/۲	۱/۲	۱۰/۸۲	۱/۲	۱/۲
۵	۰	-	-	-	۹/۴۳	۱/۱	۹/۴۳	۱/۱	۱/۱	۹/۴۳	۱/۱	۱/۱	۹/۴۳	۱/۱	۱/۱
۶	۰	-	-	-	۹/۰۷	۱/۱	۹/۰۷	۱/۱	۱/۱	۹/۰۷	۱/۱	۱/۱	۹/۰۷	۱/۱	۱/۱
۷	۰	-	-	-	۱۵/۶۱	۲/۱	۱۵/۶۱	۲/۱	۲/۱	۱۵/۶۱	۲/۱	۲/۱	۱۵/۶۱	۲/۱	۲/۱
۸	۰/۰۵۵۱۵۷	-	-	-	۱۸/۱۴	۱/۲	۱۸/۱۴	۱/۲	۱/۲	۱۸/۱۳	۱/۲	۱/۲	۱۸/۱۳	۱/۲	۱/۲
۹	۰/۲۴۰۰۹۶	-۲۴/۱۲۹۷	۶/۳۲	۲/۱	۸/۳۵	۱/۱	۸/۳۵	۱/۱	۱/۱	۸/۳۳	۱/۱	۱/۱	۸/۳۳	۱/۱	۱/۱
۱۰	-۰/۳۵۲۱۹	-۲۴/۴۳۹۲	۶/۴۰	۳/۱	۸/۴۴	۳/۱	۸/۴۴	۳/۱	۳/۱	۸/۴۷	۳/۱	۳/۱	۸/۴۷	۳/۱	۳/۱
۱۱	۰/۰۷۰۱۱۵	-۲۲/۴۳۸۷	۱۰/۸۵	۲/۲	۱۳/۸۷	۲/۳	۱۳/۸۷	۲/۳	۲/۳	۱۳/۸۶	۲/۳	۲/۳	۱۳/۸۶	۲/۳	۲/۳
۱۲	۰	-۲/۰۸۷۷۲	۱۳/۸۱	۱/۳	۱۴/۲۶	۲/۳	۱۴/۲۶	۲/۳	۲/۳	۱۴/۲۵	۲/۳	۲/۳	۱۴/۲۵	۲/۳	۲/۳
۱۳	۰	-۵/۳۳۳۳۳	۱۰/۶۵	۱/۱	۱۱/۲۵	۱/۱	۱۱/۲۵	۱/۱	۱/۱	۱۱/۲۵	۱/۱	۱/۱	۱۱/۲۵	۱/۱	۱/۱
۱۴	-۰/۲۶۴۷۸	-۶/۰۰۱۷۷	۱۰/۶۵	۱/۱	۱۱/۳۰	۲/۱	۱۱/۳۰	۲/۱	۲/۱	۱۱/۳۳	۲/۱	۲/۱	۱۱/۳۳	۲/۱	۲/۱
۱۵	-۰/۰۴۶۰۸	-۸/۱۵۶۶۸	۱۹/۹۳	۲/۲	۲۱/۶۹	۳/۲	۲۱/۶۹	۳/۲	۳/۲	۲۱/۷۰	۳/۲	۳/۲	۲۱/۷۰	۳/۲	۳/۲
۱۶	۰/۰۴۴۲۸	-۵/۳۹۵۸۴	۲۱/۳۹	۲/۲	۲۲/۶۲	۴/۲	۲۲/۶۲	۴/۲	۴/۲	۲۲/۶۱	۴/۲	۴/۲	۲۲/۶۱	۴/۲	۴/۲
۱۷	۰	-۲۹/۳۵۳۲	۷/۱۰	۴/۱	۱۰/۰۵	۲/۲	۱۰/۰۵	۲/۲	۲/۲	۱۰/۰۵	۲/۲	۲/۲	۱۰/۰۵	۲/۲	۲/۲

در این تحقیق، یک سیستم موجودی مبتنی بر سیاست مرور پیوسته و ذخیره پایه در نظر گرفته شد. در تحقیقات آتی می‌توان سیاست‌های دیگر از جمله سیاست سفارش‌دهی بسته‌ای یا سیاست مبتنی بر دوره سفارش را بررسی کرد. همچنین در این مقاله، عملکرد سیاست ذخیره پایه تغییر یافته در مقایسه با سیاست ذخیره پایه با استفاده از شبیه‌سازی ارزیابی شد که برای تعیین سیاست بهینه در هر مسئله لازم است حالت‌های مختلف بررسی شوند. توسعه مدل ریاضی این سیستم موجودی، ارزیابی عملکرد و تحلیل مسائل عددی مختلف را تسهیل می‌کند.

در صورتی که تقاضای برآورده نشده به صورت ازدست‌رفته در نظر گرفته شود، صدور سفارش براساس این سیاست ممکن است سبب افزایش سطح موجودی و در نتیجه، موجب افزایش هزینه نگهداری شود. سفارش جدید ممکن است براساس وضعیت سیستم، سطح موجودی در دست و تعداد سفارش‌های در راه، به دلیل جلوگیری از هزینه‌های بیشتر نگهداری همراه با تأخیر صادر شود. در این پژوهش، دو سیاست ذخیره پایه تغییر یافته، تأخیر کامل و تأخیر ساده در نظر گرفته شد. برخلاف سیاست تأخیر کامل، سیاست تأخیر ساده سبب کاهش قابل توجهی در هزینه کل شد. همچنین سیاست تأخیر ساده، از لحاظ به‌کارگیری در دنیای واقعی بسیار ساده‌تر و کاربردی‌تر است.

مراجع

- Hill, R.M. (2007). "Continuous-review, lost-sales inventory models with poisson demand, a fixed lead time and no fixed order cost", *European Journal of Operational Research*, Vol. 176, No. 2, PP. 956–963.
- Alvarez, E. and Heijden, M.V.D. (2014). "On two-echelon inventory systems with Poisson demand and lost sales", *European Journal of Operational Research*, Vol. 235, No. 1, PP. 334–338.
- Bijvank, M. and Vis, I.F.S. (2011). "Lost-sales inventory theory: A review", *European Journal of Operational Research*, Vol. 215, No. 1, PP. 1–13.
- Bijvank, M. and Bhulai, S. and Huh, W.T. (2014). "Parametric replenishment policies for inventory systems with lost sales and fixed order cost", *European Journal of Operational Research*, doi: 10.1016/j.ejor.2014.09.018.
- Schneider, F. and Klabjan, D. (2014). "Inventory control in multi-channel retail", *European Journal of Operational Research*, Vol. 227, No. 1, PP. 101–111.
- Bendre, A.B. and Nielsen, L.R., (2013). "Inventory control in a lost-sales setting with information about supply lead times", *International Journal of Production Economics*, Vol. 142, No. 2, PP. 324–331.
- Wang, D. and Tang, O. (2014). "Dynamic inventory rationing with mixed backorders and lost sales", *International Journal of Production Economics*, Vol. 149, No.2, PP. 56–67.
- Andersson, J. and Melchior, P. (2001). "A two-echelon inventory model with lost sales", *International Journal of Production Economics*, Vol. 69, PP. 307–315.
- Karush, W. (1957). A queuing model for an inventory problem. *Operations Research*, Vol. 5, PP. 693–703.
- Sethi, S.P. and Cheng, F. (1997). "Optimality of (s, S) policies in inventory models with markovian demand", *Operations Research*, Vol. 45, No. 6, PP. 931–939.
- Johansen, S.G. (2005). "Base-stock policies for the lost sales inventory system with Poisson demand and Erlangian lead times", *International Journal of Production Economics*, Vol. 93–94, No. 8, PP. 429–437.
- Chen, J., Jackson, P.L. and Muckstadt, J.A. (2011). "Exact analysis of a lost sales model under stuttering Poisson demand", *Operations Research* doi:10.1287/opre.1100.0872.
- Hill, R.M. (1999). "On the suboptimality of (S-1, S) lost sales inventory policies", *International Journal of Production Economics*, Vol. 59, No. 1-3, PP. 387–393.
- Johansen, S.G. (2013). "Modified base-stock policies for continuous-review, lost-sales inventory models

- with Poisson demand and a fixed lead time”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 143, No. 2, PP. 379–384.
15. Olsson, R.J. and Hill, R.M. (2007). “A two-echelon base-stock inventory model with Poisson demand and the sequential processing of orders at the upper echelon”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, No. 1, PP. 310–324.
 16. Hajiaghahi-keshteli, M. and Sajadifar, S.M. (2010). “Deriving the cost function for a class of three-echelon inventory system with N-retailers and one-for-one ordering policy”, *International Journal of Adv Manuf Technol*, Vol. 50, No. 1–4, PP. 343–351.
 17. Hill, R.M., Seifbarghy, M. and Smith, D.K. (2007). “A two-echelon inventory model with lost sales”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 181, No. 2, PP. 753–766.
 18. Jia, O., Suna, L., Hua, X. and Houb, J. (2015). “Optimal policies of a two-echelon serial inventory system with general limited capacities”, *International Journal of Production Research (Ahead-of-print)*, PP. 1–14.
 19. Abouee-Mehrizi, H., Opher B. and Oded, B. (2014). “Exact analysis of capacitated two-echelon inventory systems with priorities”, *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 16, No. 4, PP. 561–577.
 20. Mahmoodi, A. and Haji, A. (2104). “(1, T) Policy for a two-echelon inventory system with perishable-on-the-shelf items”, *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, Vol. 7, No. 16, PP. 31–40.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Truncated Negative Binomial Distribution
 2. Pure Base Stock Policy (PBSP)
 3. Olsson and Hill
 4. Hajiaghahi and Sajjadifar
 5. Central Depot
 6. Batch
 7. Warm Up Period
-