تحقیقات حسابداری و حسابرسی، پاییز ۱۴۰۴، شماره ۶۷، از صفحه ۵۱ تا ۶۶

بهینه‌سازی و کنترل موجودی در شرایط عدم اطمینان با استفاده از سیستم دینامیکی

اردشیر احمدیان
دانشجوی دکترای حسابداری، گروه حسابداری واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
فاطمه صراف
دانشیار، گروه حسابداری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
زهره حاجیها[1]©
استاد، گروه حسابداری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
ناصر خانی
دانشیار، گروه مدیریت، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۱ مهر ۱۴۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۲۵ فروردین ۱۴۰۴)

کنترل موجودی برای اطمینان از حفظ سطح موجودی کالا است. اگر تولید بدونه برنامه‌ریزی مناسب انجام شده باشد موجب کاهش سرمایه درگردش شده و مخارج انبارداری و نگهداری محصولات را افزایش خواهد داد، و درصورتی‌که مقدار تولید و محصولات انبار شده متناسب نباشد ممکن است موجب از دست رفتن سفارشات جدید شود و به همین دلیل تعیین مقدار بهینه موجودی در هر مرحله از تولید و در مرحله بسته بندی و انبار بسیار با اهمیت است. داده‌های مربوطه از سامانه کدال و از صورت‌های مالی شرکت استخراج شده است. بررسی ها نشان از انباشت موجودی و تفاوت بین میزان تولید و فروش را دارد در این مقاله با استفاده از روش سیستم دینامیکی به بهینه کردن مقادیر موجودی کالا، مخارج بهره و مخارج انبارداری و همچنین مخارج مربوط به سفارش گذاری در شرکت ذوب آهن اصفهان می‌پردازیم. نتایج به دست آمده با استفاده از این سیستم نشان می‌دهد که این روش توانایی تعدیل بهای تمام شده موجودی‌ها و بهینه کردن مقدار و نقطه سفارش مجدد موجودی کالا را دارد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی موجودی‌ها، کنترل موجودی‌های انبار، سیستم دینامیکی، بهای تمام شده تولید، تعدیل مخارج انبار.

[1] drzhajiha@iau.ac.ir
© (نویسندهٔ مسئول)
مقاله علمی – پژوهشی

مقدمه

واحدهای تجاری باید فرآیندهای سازمان را به نحوی برنامه‌ریزی و کنترل نمایند. تا موجب شود که مقدار بهینه موجودی در مراکز هزینه در هر مرحله تعیین گردد و از انباشت موجودی در این واحدها جلوگیری شود. اولین بار هریس [۲۵] در سال ۱۹۱۳ مدل مقدار سفارش اقتصادی را ارائه نمود وی با تعیین مقدار بهینه سفارش کالا سعی داشت تا بهای تمام شده موجودی ها را تعدیل نماید. پژوهشگران بعد از او تلاش کردند تا مدل مقدار سفارش اقتصادی را کاربردی‌تر نمایند و فرضیات جدیدی همچون سفارشات از دست رفته، در نظرگرفتن تخفیف مربوط به خرید و تقاضای تصادفی خرید را به آن اضافه کنند.

مطالعات در مورد سیاست های کنترل موجودی با بررسی دوره ای در شرایط عدم قطعیت با مدل کلاسیک نیوز وندر (مدل نیوز وندر، مدلی ریاضی برای محاسبه بهینه ترین مقدار موجودی) آغاز می‌گردد. [۹،۱۲،۱۶]

به دلیل ماهیت روزانه روزنامه ها، مدل نیوز وندر بهای مربوط به موجودی را بر اساس میزان موجودی در پایان روز محاسبه می-کند. پیرو این روش و به دلایل اثباتی ریاضی، مطالعات بعدی در مورد سیاست‌های کنترل موجودی با بررسی دوره‌ای، معمولاً بهای مربوط به موجودی را بر اساس میزان موجودی در پایان هر دوره بررسی، محاسبه می¬نمایند (برای مثال، رجوع کنید به، [۱۳،۱۴،۳۶،۳۵]. با این حال، بهای مربوط به موجودی نگهداری شده، مانند سرمایه¬ی مرتبط با موجودی در دسترس، بهای امکانات و فضای انبار، و بهای ناشی از خرابی و منسوخی و غیره، معمولاً بطور مستمر در طول زمان رخ می¬دهند. طبق نظر نهمیاس[۳۱]، مهمترین جزء بها برای موجودی در دسترس، بهای فرصت از دست رفته برای سرمایه، سرمایه گذاری شده در موجودی است که به طور مستمر در طول زمان رخ می¬¬دهند. استدلال های مشابهی نیز می¬تواند برای بهای کسری ناشی از سفارشات از دست رفته (تکمیل نشده) انبار ارائه کرد. در واقعیت، بهای کسری موجودی نه تنها به مبلغ موجودی بلکه به مدت زمان انتظار جهت دریافت(تکمیل) موجودی بستگی دارد. از آنجایی که مقدار موجودی در پایان دوره بررسی، تغییرات در طول دوره را نادیده می¬گیرد، حسابداری بهای تمام شده پایان دوره، ارزیابی دقیقی از بهای مربوط به موجودی ارائه نمی‌دهد[۳۴]. در نتیجه، سیاست کنترل موجودی، بهای سیستمی که بر اساس میزان موجودی پایان دوره ارزیابی شده است را به حداقل می¬رساند، ممکن است بهینه نباشد. چون ارزیابی حسابداری بهای تمام شده پایان دورهی مربوط به موجودی در واقعیت بطور مستمر در طول زمان رخ می‌دهند.

بسیاری از واحدهای اقتصادی در واقعیت با مشکل کمبود سرمایه در گردش مواجه هستند اما با بررسی دقیق مستندات انبار، متوجه می‌شویم که مقدار زیادی از سرمایه آنها به خرید و انباشت بی‌مورد موجودی مواد و کالا اختصاص یافته است. لذا در این تحقیق به بررسی مقدار بهینه موجودی انباشت و تولید شده هر مرحله از مراحل تولید می‌پردازیم تا از تولید بی‌رویه محصولات جلوگیری نماییم. اگر تولید بدونه برنامه‌ریزی مناسب انجام شده باشد موجب کاهش سرمایه درگردش شده و مخارج انبارداری و نگهداری محصولات را افزایش خواهد داد. لازم به ذکر است که درصورتی‌که مقدار تولید و محصولات انبار شده

متناسب نباشد ممکن است موجب از دست رفتن سفارشات جدید شود و به همین دلیل تعیین مقدار بهینه موجودی در هر مرحله از تولید و در مرحله بسته بندی و انبار بسیار با اهمیت است. مقدار موجودی بهینه باید به حدی باشد که هم از کاهش سرمایه در گردش و افزایش مخارج انبارداری جلوگیری نماید و هم اینکه موجب از دست رفتن سفارشات جدید مشتریان نشود. سرمایه در گردش یکی از مهمترین موضوعات حوزه حسابداری مدیریت است. و این مهم بر سودآوری و تداوم فعالیت شرکت¬ها تاثیرگذار است اعمال صحیح مدیریت بر سرمایه گردش و جلوگیری از اتلاف منابع نقدی و موجودی¬ها باعث بهبود عملکرد و خلق ارزش خواهد شد.[۴]

اکثر راه حل ها برای مشکل مدیریت موجودی، تمرکز اطلاعات را فرض می کنند که با محدودیت های سازمانی در شبکه های زنجیره تامین ناسازگار است. مشکل را می توان به طور طبیعی به مسائل فرعی تجزیه کرد که هر کدام با یک موجودیت مستقل مرتبط هستند و آن را به یک سیستم چند عاملی تبدیل می کنند. سه تغییر چند عاملی از الگوریتم بهینه‌سازی سیاست پروگزیمال از طریق شبیه‌سازی شبکه‌های زنجیره تامین مختلف و سطوح عدم قطعیت بررسی می‌شوند.[۳۰]

مروری بر ادبیات تحقیق

با توجه به اینکه این تحقیق در زمینه بهینه‌سازی و کنترل موجودی و سفارش‌های از دست‌رفته در شرایط عدم اطمینان با استفاده از سیستم داینامیکی در شرکت ذوب آهن اصفهان است تحقیق مشابهی در دنیا وجود ندارد لذا در زیر فقط به تحقیقاتی پرداخته می شود که تا حدودی به این تحقیق شباهت دارند .

از نظر فنی، روش ذخیره حداقل موجودی را می توان در همه روش های حسابداری بهای تمام شده مورد استفاده قرار داد، در صورتیکه این توزیع‌ها (محدود کننده) برای تمام سطوح موجودی طبقه را بتوان مشخص کرد و بهای مربوط به موجودی مورد انتظار ضروری را می‌توان بر اساس چرخه سفارش مجدد سیستم یکپارچه کرد. با این حال، به نظر می رسد موارد مذکور، زمانی که بهای نگهداری موجودی و سفارش از دست رفته به طور مداوم در زمان افزایش می یابد، دست و پا گیر باشند. با توجه به ادبیات، رائو[۳۳]سیاست های کنترل موجودی بازنگری -دوره ای تحت حسابداری بهای تمام شده پیوسته را با علاقه نو، آغاز کرد.

رودی و همکاران،[۳۴] این موضوع را برای مدل نیوز وندر یک مرحله ای کلاسیک مطالعه کردند. آنها نشان دادند که وقتی بهای مربوط به موجودی واقعاً به طور مستمر در طول زمان رخ می¬دهد. ، حسابداری بهای تمام شده پایان دوره با استفاده از پارامترهای بهای تمام شده پیوسته یکنواخت منجر به میزان بالاتر سفارش نسبت به مقدار بهینه شده و در نتیجه بهای مربوط به موجودی افزایش می‌یابد. با این وجود، آنها دریافتند که استفاده از حسابداری بهای تمام شده پایان دوره را می‌توان با تعدیل پارامترهای بهای تمام شده و توزیع تقاضا توجیه کرد.

سفارشات با مقطع زمانی بازه ثابت یک روش متداول برای زنجیره‌های تامین جهت سهولت و یکپارچه-سازی حمل و نقل و بارگیری و برنامه‌ریزی لجستیک/تولید است. [۲۳،۲۸]. با استناد به چائو و ژو[۱۳]، سیاست سفارش با مقطع زمانی بازه ثابت بهینه برای سیستم موجودی متوالی باید منظم و هماهنگ باشد

علاوه براین، با داشتن یک برنامه بازپرسازی منظم و هماهنگ، مطالعات قبلی نشان دادند که داشتن حداقل موجودی برای برنامه ریزی کوتاه مدت و بلند مدت می تواند بهینه باشد[۱۳،۱۴،۱۶،۱۹،۳۶]. بر اساس این یافته‌ها، خط مشی حداقل موجودی با فاصله ثابت که منظم و هماهنگ است را برای سیستم موجودی متوالی در نظر می‌گیریم. در راستای تمرکز بر اثرات روش حسابداری بهای تمام شده، فرض می‌کنیم که برنامه بازپرسازی سیستم به صورت برون سازمانی تعیین می‌شود و بنابراین فقط بهای نگهداری موجودی و سفارش از دست رفته را در نظر می‌گیریم. ساختار بهای سیستم شامل بهای خطی برای نگهداری یک واحد موجودی در دسترس در واحد زمان در هر مرحله و بهای خطی سفارشات از دست رفته در یک واحد تقاضا در واحد زمان در است.

بهای سفارش از دست رفته و بهای نگهداری موجودی مورد انتظار به صورت فوری را می توان با ضرب کردن انتظارات در پارامترهای بهای مناسب به دست آورد. طبق حسابداری بهای تمام شده پایان دوره، بهای مربوط به موجودی مورد انتظار در پایان فواصل سفارش ثابت در مرحله ۱ ارزیابی می شود. این روش ارزیابی بها در مقالات اولیه توسط ارو و همکاران[۹] و بلمن و همکاران [۱۲] آغاز شد و به قراردادی جهت مطالعات مدل‌های موجودی بازنگری- دوره‌ای مبدل شده است[۱۳،۱۴،۱۶،۳۵،۳۶].

هدف از مطالعه او مقایسه سیاست بازنگری- دوره ای (R, T) بود که در آن موجودی در یک بازه ثابت (T)سفارش داده می شود تا موقعیت موجودی را به (R) افزایش دهد، با سیاست بازنگری پیوسته ,Q) (rکه هر زمان موقعیت موجودی به r کاهش یابد، برای یک سیستم تک مرحله ای، یک میزان ثابت با اندازه Q سفارش داده شود. از آنجایی که خط مشی (Q, r)موقعیت موجودی را نظارت می کند و بهای مربوط به موجودی را به طور مداوم در زمان ارزیابی می کند، سیاست (R, T) باید بر این اساس ارزیابی و بهینه گردد. مطالعه وی این واقعیت را برجسته کرد که به موجب آن بهای مربوط به موجودی اغلب به طور مداوم در زمان افزایش می یابند و منجر به مطالعات دیگری در مورد سیاست‌های کنترل موجودی با بازنگری دوره‌ای تحت زمان – پیوسته و برنامه حسابداری بهای تمام شده دیگری گردید.[۱۰،۱۱،۲۷،۳۴]. متعاقباً، فنگ و رائو[۲۰] تلاش کردند تا سیاست(R, T) را به یک سیستم متوالی دو مرحله‌ای تحت حسابداری بهای تمام شده پیوسته گسترش دهند. با توجه به مشکلات پیش رو در یافتن ارزیابی قابل ارائه، شبیه سازی را برای ارزیابی بهای سیستم مورد استفاده قرار دادند. اخیراً، وانگ[۳۷] یک سیستم توزیع دو سطحی را در نظر گرفت که متشکل از یک انبار (مخزن) و گروهی از خرده فروشان یکسان است که بازه سفارش ثابت مشترک را اتخاذ می کنند. با فرض اینکه موجودی در دسترس انبار در هنگام مواجه با کمبود موجودی برای به حداقل رساندن بهای سیستم به طور بهینه اختصاص داده می شود، او رویکردی را برای ارزیابی بهای مربوط به موجودی در خرده فروشان به طور مداوم در طول زمان و بر اساس شرایط موجودی در دسترس در انبار توسعه داد.

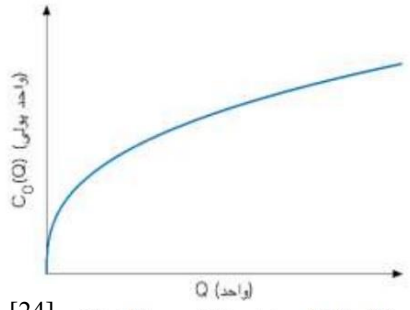
در همین حال، وانگ و لیو [۳۸] سیستم متوالی دو مرحله‌ای را که توسط فنگ و رائو در [۲۰] مطرح شده بود، بازبینی کردند. آنها مشاهده کردند که با توجه به زمان سپری شده از نقطه سفارش مجدد انبار تا زمانی که تقاضا در خرده فروشی به سطح حداقل موجودی (ذخیره شده-بنیانه) انبار برسد، بهای مورد

انتظار در خرده فروش را می توان به عنوان یک سیاست تک مرحله ای (R, T)با تمدید زمان سررسید ارزیابی نمود. هنگامی که تقاضا از فرآیند پواسون پیروی می کند، آنها ارزیابی بهای ساده را برای سیستم ایجاد کردند. در مجموع، ادبیات مربوط به سیاست‌های کنترل موجودی بازنگری-دوره‌ای برای سیستم‌های موجودی که در آن بهای مربوط به موجودی به طور مداوم در زمان افزایش می‌یابد، هنوز هم بسیار محدود است. این مورد ویژه برای سیستم های کنترل موجودی چند مرحله¬ای هم صدق میکند.

حریری و ابوالعطا[۲۴] مدل ارائه شده توسط گوپتا و گوپتا را گسترش دادند تا خط مشی یک سیستم کنترل موجودی چند محصولی را که بهای سفارش‌دهی آن مربوط به اندازه سفارش است را تعیین کنند. تابع پیشنهادی آنها برای بهای سفارش به شرح زیر است.

$$C_0(Q) = C.Q^b \qquad C. \geq ۰\,,۰ \leq b < ۱ \qquad (۱)$$

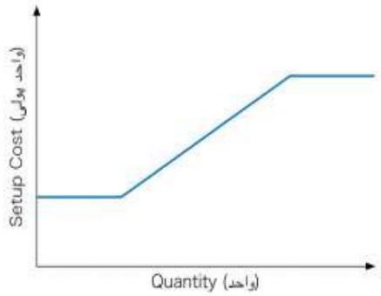
در این فرمول $C_0(Q)$ بهای سفارش دهی وابسته، (Q) اندازه سفارش و مقادیر b و $C.$ را می‌توان به کمک دو نقطه از بهای سفارش‌دهی در عمل برآورد کرد. در شکل ۱ بهای سفارش دهی برای $۰ < b < ۱$ نشان داده شده است.[۲۴]



شکل (۱): تابع هزینه سفارش‌دهی $(0 < b < 1)$ [24]

ابوالعطا و همکاران [۸] به بررسی کنترل موجودی احتمالی با دو محدودیت ۱)محدود و ثابت بودن میزان موجودی و ۲) وابستگی بهای سفارش‌دهی به مقدار سفارش پرداخته‌اند. آنها با استفاده از برنامه‌ریزی هندسی مقدار بهینه را محاسبه کردند. فرگانی و الوکیل [۲۱،۲۲] به بررسی میزان فروش ازدست‌رفته در مدل کنترل موجودی احتمالی با توزیع نرمال و پیوسته پرداخته‌اند. و هزینه سفارش‌دهی را متغیر در نظر گرفتند. الوکیل [۱۷] مسئله کنترل موجودی با سفارش عقب‌افتاده را به همراه بهای سفارش‌دهی متغیر در نظر گرفته است. او تقاضا و مدت‌زمان تحویل کالا را به صورت توزیع یکنواخت در نظر گرفته و سعی در کمینه کردن مخارج مورد انتظار، کرده است.

ماتسویاما[۲۹] به بررسی تخفیف در بهای خرید پرداخت و مخارج صعودی تنظیم دستگاه را در نظر گرفت. او تابع مخارج در نظرگرفته شده در پژوهش خود را به شکل زیر بیان نمود.



شکل (۲): تابع هزینه صعودی تنظیم دستگ [29]

لوئیس و سیگوراد [۲۶] نشان داده شده است که کنترل موجودی دوسویه مشکل به حداکثر رساندن تولید واحدهای مرتب شده به صورت سری را از طریق پیکربندی مجدد خودکار حلقه‌های کنترل موجودی، زمانی که گلوگاه‌های موقت یا دائمی در هر بخش از فرآیند رخ می‌دهد، حل می‌کند.

یادگیری ماشین پتانسیل زیادی در حوزه های مختلف نشان داده است، اما در تنظیمات بهینه سازی کنترل موجودی نسبتاً محدود باقی مانده است. اوانگلوس و همکاران [۱۸] یک چارچوب جدید کمینه‌سازی بهای موجودی را پیشنهاد دادند که از مدل‌های مبتنی بر درخت تصمیم‌گیری پیشرفته برای تقریب عملکرد موجودی در سطح آیتم، با در نظر گرفتن الگوهای تقاضا و پارامترهای کلیدی سیاست تکمیل مجدد به عنوان ورودی، استفاده می‌کردند. رویکرد پیشنهادی تقریب‌های مبتنی بر داده‌ها را قادر می‌ساخت که در مقایسه با شبیه‌سازی موجودی استاندارد سریع‌تر عمل کنند، در حالی که از نظر روش‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی تقاضا یا برآورد سطح موجودی، فروش از دست رفته، و تعداد سفارش‌ها و غیره، انعطاف‌پذیر هستند. نتایج آنها نشان داد که به‌ویژه نوع یادگیری انتقالی می‌تواند منجر به پیشرفت‌های قابل‌توجهی هم از نظر بهای موجودی کل و هم از نظر سطح خدمات تحقق‌یافته داشته باشد.

حسینی و همکاران[۱] به هماهنگی یک زنجیره تامین با شرایط کنترل موجودی توسط فروشنده(VMI) با یک بالادست و یک پایین دست پرداختند. زنجیره تامین با یک تامین کننده و یک خرده فروش با محدودیت ظرفیت انبار تحت تقاضا تصادفی در نظر گرفته شده است. زمان تحویل، متغیر و وابسته به حجم محموله است. آنها به این نتیجه رسیدند که با افزایش تقاضا در مدت زمان تحویل، سیستم (VMI) بسیار بهتر از سیستم سنتی عمل می‌کند.

شریفی و همکاران[۲] فرضیه وابستگی هزینه‌ی سفارش‌دهی محصول به اندازه سفارش را مورد بررسی قرار دادند. آنها موجودی محصولاتی که در طی زمان امکان از مد افتادن یا فاسد شدن را داشتند با استفاده از مدل سازی و به کمک روش سیستم داینامیک بهینه کردند.

طاهر بهرامی و همکاران [۳] یک مدل جدید برای کنترل موجودی با بهینه سازی فرآیند تعمیر و نگهداری همراه با عدم قطعیت در بودجه ارائه کردند که در آن، به منظور پیش بینی تقاضای محصولات مختلف با کمترین میزان خطا از الگوریتم خوشه بندی k-means استفاده شده است. همچنین، از الگوریتم بهینه

سازی ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب برای حل مساله کنترل موجودی استفاده کردند. نتایج نشان داد که وقتی تعداد محصولات و نرخ قیمت ثابت هستند؛ در سناریوهای مازاد عرضه و تعادل عرضه و تقاضا، فروشنده باید فاصله زمانی حراج را کاهش دهد، به این ترتیب، موجودی کالا در اسرع وقت به بازار عرضه میشود.

زنجیره بلوکی به عنوان دفتر کل توزیع شده غیرمتمرکز یا ساختار اطلاعاتی تعریف شده است که می تواند انواع مختلفی از اطلاعات مانند تراکنش ها و سوابق را که شبیه سازی شده و بین اعضای یک شبکه به اشتراک گذاشته می شود, نگهداری کند. موجودی مدیریت شده توسط تامین کننده با موانع عمده ای در زنجیره تامین امروزی مواجه می شود, از جمله اعتماد, یکپارچگی داده ها, شفافیت و قابلیت ردیابی برای تعاملات متعدد تامین کننده و مشتری. زنجیره بلوکی یک دفتر کل توزیع شده است که تضمین می کند داده ها به شیوه ای شفاف, ایمن و مطمئن در میان ذینفعان زنجیره تامین مبادله شوند. مزایای استفاده از فناوری زنجیره بلوکی برای عملیات موجودی مدیریت شده توسط تامین کننده در زنجیره تامین شامل کنترل غیرمتمرکز, امنیت, قابلیت ردیابی و تراکنش های دارای مهر زمانی است. [۵]

تولید کننده سعی می کند محصولات درخواستی را تولید و در چندین مرحله برای توزیع کننده ارسال کند. در چنین حالتی توزیع کننده و تولید کننده در نظر دارند سود نهایی و یکپارچه خود را حداکثر کنند. بر این اساس مقدار بهینه هر بار سفارش و مقدار بهینه ارسالی هر مرحله تولیدکننده, قیمت فروش توزیع کننده و تولید کننده به گونه ای تعیین می‌شود که سود سیستم حداکثر گردد. [۶]

ملک پورکلبادی و باقری نژاد [۷] مدلی دوهدفه پیشنهادکرد و هزینه های کل را به عنوان تابع هدف اول و کمبود را به عنوان هدف کمینه می کند. و نشان داد که برای حل مسائل استفاده از الگوریتم تکاملی پارتوی قوی بهتر عمل می کند.

روش تحقیق

در این مقاله فرضیات مدل مقدار سفارش اقتصادی را در نظر می‌گیریم با این تفاوت که مخارج سفارش دهی کالا وابسته به اندازه سفارش است.

پارامترهای مدل

پارامترهای استفاده شده در مدل به شرح جدول ۱ آورده شده است.

جدول (۱) : پارامترهای مدل

پارامتر	شرح
D	نرخ تقاضای سالیانه
h	مخارج نگهداری هر واحد موجودی کالا در واحد زمان
P	بهای تولید هر واحد موجودی کالا
Q	میزان سفارش
C.(Q)	تابع بهای سفارش‌دهی

TC	مخارج کل سالانه

مدل مسئله

مخارج کل سالانه شامل بهای تولید، مخارج نگهداری و بهای سفارش‌دهی سالانه موجودی است فرمول (۲)

(۲) مخارج کل سالانه = بهای سفارش دهی سالانه + مخارج نگهداری سالانه + بهای تولید سالانه

در این مقاله بهای سفارش‌دهی موجودی کالا وابسته به اندازه سفارش است. با در نظر گرفتن این مورد، با ترکیب تابع بهای سفارش‌دهی ارائه شده توسط حریری و ابوالعطا[۲۴] و تابع ارائه شده توسط ماتسویاما[۲۹]، بهای هر بار سفارش‌دهی، تابعی صعودی است و به صورت زیر ارائه می‌شود فرمول (۳)

$$C_{\cdot}(Q)=\begin{cases} C_{\cdot}+(\alpha q_{1}-\beta)^{\gamma} & 0 < Q \le q_{1} \\ C_{\cdot}+(\alpha Q-\beta)^{\gamma} & q_{1} < Q \le q_{2} \\ C_{\cdot}+(\alpha q_{2}-\beta)^{\gamma} & q_{2} < Q \end{cases} \quad (۳)$$

در فرمول فوق q_1 و q_2 محل شکست تابع بهای سفارش‌دهی را تعیین می‌کند و ثابت ($0<q_1<q_2$) است. $C_{\cdot}$ بهای ثابت سفارش‌دهی را نشان می‌دهد ($C_{\cdot} > 0$). α، β، و γ ضرایب ثابت بوده و $\alpha > 0$ است. اگر $\alpha < 0$ باشد، تابع بهای سفارش‌دهی نزولی می‌شود. همچنین برای صعودی بودن تابع بهای سفارش‌دهی $\gamma \geq 1$ و عددی فرد است.

بهای سفارش‌دهی سالانه به صورت $C_{\cdot}(Q)\frac{D}{Q}$ است که $\frac{D}{Q}$ نشان‌دهنده تعداد دفعات سفارش موجودی کالا در سال است. مخارج نگهداری و بهای تولید سالانه نیز بر اساس فرضیات ابتدایی مدل مقدار سفارش اقتصادی و به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{مخارج نگهداری سالانه} = \frac{1}{2}hQ \quad (۴)$$

$$\text{بهای تولید سالانه} = PD \quad (۵)$$

با توجه به فرمول‌های فوق، به فرمول ۶ دست می‌یابیم

$$TC = C_{\cdot}(Q)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Hq + PD \quad (۶)$$

شبیه سازی با استفاده از سیستم داینامیک

این پژوهش مربوط به شرکت ذوب آهن اصفهان است داده های مربوطه از صورتهای مالی این شرکت در سامانه کدال بین سال‌های ۱۳۹۸ الی ۱۴۰۱ و اطلاعات بودجه‌ای سال ۱۴۰۲ به دست آمده است. و با استفاده از نرم افزار Vensim DSS بهینه شده است.

هدف این مقاله کمینه کردن میانگین خالص مخارج مربوط به موجودی کالای شرکت ذوب آهن است.

طبق نظریه چوی[۱۵]، مخارج نگهداری محصول در مدل سفارش اقتصادی بر اساس میانگین سطح محصولات موجود در انبار به‌دست می‌آید. چون مدت زمان نگهداری محصولات متغیر است و مخارج نگهداری آن به میزان موجودی انبار وابسته است. اما در عالم واقعیت نیاز به تعیین دقیق مدت‌زمان نگهداری محصول در انبار است.

تعیین دقیق مدت زمان نگهداری محصولات کار دشواری است. در این شرایط، شبیه سازی با استفاده از سیستم دینامیکی به ما کمک می‌کند تا به این مهم دست یابیم.

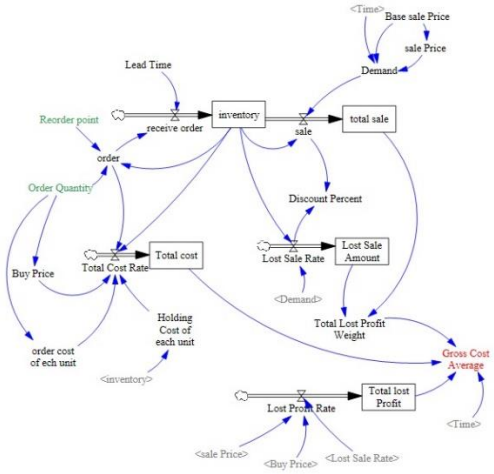
مفروضات به کار گرفته شده در مدل سازی این مسئله به شرح زیر است:

- تقاضا برای محصول مورد نظر از نوع تصادفی بوده و وابسته به قیمت و زمان است
- خطی مشی پرکردن موجودی از نوع مرور دائم(r, Q) بوده و هر زمان که سطح موجودی به نقطه سفارش مجدد (r) برسد، به اندازه مقدار سفارش(Q) از محصول سفارش داده می شود
- مدت زمان دریافت کالا از زمان ارسال سفارش، تصادفی بوده و از توزیع نرمال پیروی می کند
- کمبود محصول مجاز و از نوع فروش ازدست رفته است
- هزینه های سفارش دهی محصول متغیر بوده و وابسته به اندازه مقدار سفارش است
- هزینه ی نگهداری محصول نیز متغیر بوده و وابسته به سطح موجودی است

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

❖ حداقل کردن میانگین خالص هزینه ها

جریان مدل فوق و روابط بین عملیات مربوط به موجودی کالا در شرکت ذوب آهن اصفهان در نرم افزار شبیه‌سازی Vensim DSS ترسیم شده است. (شکل ۳) . معادلات این پژوهش بر اساس روابط تعریف شده در نرم افزار شبیه سازی است. در این روابط، پارامترهای ثابت نشان‌دهنده مقادیر ورودی برون‌زا و مقادیر اولیه متغیرهای سطح است. روابط نوشته شده بر اساس روابط شرکت ترسیم شده است.



شکل ۳: نمودار جریان کنترل موجودی در نرم افزار شبیه‌سازی Vensim DSS

داده های شرکت ذوب آهن اصفهان، استخراج شده از سامانه کدال

در جدول ۲ مقادیر ثابت مورد نیاز برای بهینه کردن موجودی با استفاده از مدل ارائه شده ذکر شده است.

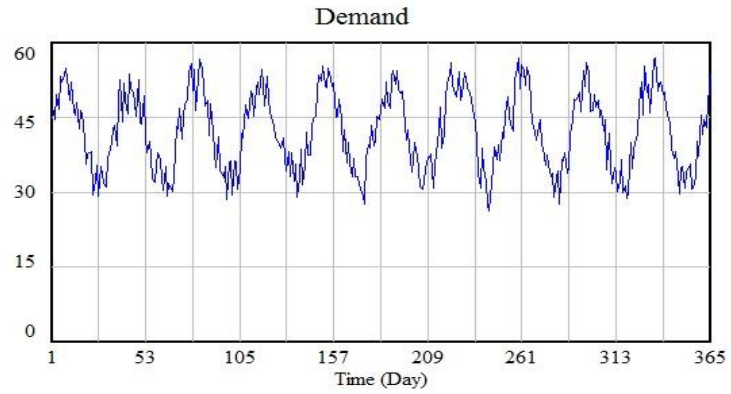
جدول ۲ : داده های ثابت شرکت ذوب آهن اصفهان، استخراج شده از سامانه کدال

متغیر		مقدار
Deterioration Coefficient	=	RANDOM NORMAL (۰.۰۱, ۰.۰۹, ۰.۰۵, ۰.۰۳, ۰.۰۱)
Buy Price		۱۹۰۰ Order Quantity ≤ ۴۰
	=	۱۸۸۰ ۴۰ < Order Quantity ≤ ۵۰
		۱۸۵۰ ۵۰ < Order Quantity
Holding Cost of each unit		۱۶ Inventoty ≤ ۸۰
	=	۲۰ ۸۰ < Inventoty
Order Cost of each unit		۴۲ Order Quantity ≤ ۵۰
	=	۵۵ ۵۰ < Order Quantity ≤ ۹۰
		۶۴ ۹۰ < Order Quantity ≤ ۱۰۰
		۸۶ ۱۰۰ < Order Quantity
Base Sale Price	=	۲۱۰
Inventory (t = ۱)	=	۲۳۰

مقدار تصادفی تقاضا وابسته به زمان و قیمت فروش محصوالت است و بر طبق ضوابط تقاضا در پژوهشهای پولز [۳۲] به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

$$Demand=[(۲۷+SIN(Time)+۱۰*SIN(\frac{3.14}{18} * Time)+RANDOM\ UNIFORM\ (۱۰, ۲۰, ۱۵))* \frac{Base\ Sale\ Price}{Sale\ Price} \quad (۷)$$

نمودار تقاضا در طی مدت زمان شبیه‌سازی (۳۶۵روز) برای اطلاعات استخراج شده ازصورت‌های مالی شرکت ذوب آهن اصفهان بین سال‌های ۱۳۹۸ الی ۱۴۰۱ و اطلاعات بودجه‌ای سال ۱۴۰۲ و به ازای نقطه سفارش= ۱۶۹و مقدار سفارش= ۵۱ در شکل ۴ نمایش داده شده است. این نمودار رفتار وابسته به زمان و رفتار غیرقطعی میزان تقاضا را به خوبی نشان می‌دهد.



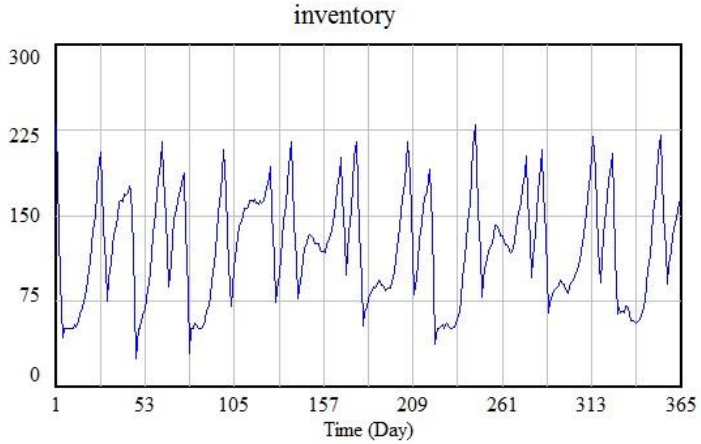
شکل ۴ : نمودار تقاضا در مدت شبیه‌سازی

برای تعیین مقدار بهینه نقطه سفارش مجدد و مقدار سفارش، اطلاعات لازم را در نرم افزار شبیه سازی ارسال می‌نماییم و دستور بهینه سازی را صادر می نماییم. اطلاعات زیر از پردازش نرم افزار Vensim DSS به دست آمده است. و مقادیر بهینه تابع را نشان می‌دهد. (جدول ۳)

جدول ۳ : مقادیر بهینه به‌دست آمده برای محاسبه تابع هدف

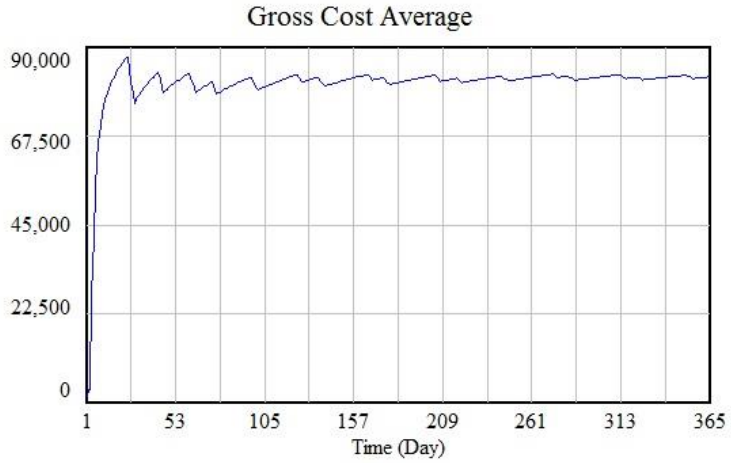
مقدار	متغیر/تابع هدف
۱۶۹	Reorder Point (نقطه سفارش مجدد)
۵۱	Order Quantity(مقدار سفارش)
۲۹،۴۲۵،۳۱۰	Gross Cost Average (میانگین خالص مخارج)

سطح موجودی بهینه به ازای مقدار ثابت بهینه ورودی در شکل ۵ نشان داده شده است این نمودار بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از جدول ۳ ترسیم شده است.



شکل ۵ : نمودار سطح موجودی بهینه

شکل شماره ۶ میانگین خالص مخارج را به ازای مقادیر بهینه ورودی در طی مدت شبیه‌سازی نشان می‌دهد. ملاحظه می نمایید که در ابتدای مدت شبیه سازی، نوسانات مقدار متغیر تابع هدف بسیار زیاده است و به مرور زمان این نوسانات کمتر می‌گردد. این موضوع به دلیل استفاده از سیستم داینامیکی است سیستم داینامیکی توانایی اصلاح مدل در طی زمان را به خوبی دارد. این سیستم با تغیر در متغیرها، در مجموع به بالانس شدن مدل، کاهش نوسانات متغیر تابع هدف و در بلندمدت باعث ثبات این متغیر ها می‌شود.



شکل ۶ : نمودار میانگین خالص مخارج در طی مدت شبیه سازی

نتیجه‌گیری

در این مقاله، با استفاده از سیستم دینامیکی به بررسی اطلاعات دریافتی ازصورت‌های مالی سامانه کدال شرکت ذوب آهن اصفهان پرداخته شد. هدف، کمینه کردن مخارج بهینه هریک از محصولات شرکت ذوب آهن اصفهان در شرایط عدم قطعیت است. مدل شبیه‌سازی ارائه شده در این مقاله در مورد محصولات فسادپذیر با تقاضای پویا و تصادفی انجام شده است که در آن موضوع بهای سفارش‌دهی وابسته به اندازه سفارش درنظر گرفته شده است.اما در این پژوهش مقدار موجودی کالا، مخارج انبارداری و بهره سرمایه در گردش و سفارشات از دست‌رفته به عنوان متغیر درنظر گرفته شده است. با بهینه کردن مقدار موجودی و مخارج مذکور، مخارج آنها تعدیل می‌شود. هرچند ریسک این کار می‌تواند انعطاف پذیری واحد اقتصادی را در مقابل سفارشات غیرمنتظره تحت تاثیر قرار دهد. در کنترل موجودی، مقدار موجودی انبار، بهای تمام شده کالا، مخارج نگهداری موجودی، میزان سفارشات هر مرحله و زمان سفارشات از اهمیت ویژه برخوردار است، واحدهای تجاری باید فرآیندهای سازمان را به نحوی برنامه‌ریزی و کنترل نمایند. تا موجب شود که مقدار بهینه موجودی در هر مرحله تعیین گردد و از انباشت موجودی در این واحدها جلوگیری شود. مقادیر بهینه به‌دست آمده از تابع هدف نشان می‌دهد که این روش توانایی تعدیل بهای تمام شده موجودی‌ها و بهینه کردن مقدار و نقطه سفارش مجدد موجودی کالا را دارد. و بهای تمام شده خالص

مخارج را به مبلغ قابل ملاحظه ای کمتر کرد. لذا به شرکت ذوب آهن اصفهان پیشنهاد می‌گردد به منظور کاهش مخارج انبارداری و بهره سرمایه در گردش و همچنین برخواردی از انعطاف مناسب در برابر سفارشات غیرمنتظره، فرآیندهای تولید، انبارداری و برنامه‌ریزی تولید را مورد بررسی مجدد قرار دهد. این تحقیق بر خلاف سایر تحقیقات مشابه، بر اساس مدل داینامیک است و مطالعه موردی مختص شرکت ذوب آهن اصفهان می‌باشد. لازم به ذکر است که برای بهینه کردن مقدار موجودی انبار، داده‌های مربوط به مخارج انبارداری، بهره سرمایه درگردش، سفارشات از دست رفته ، را به عنوان پارامترهای مقاله تعیین کرده‌ایم برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که این تحقیق را برای شرکت‌های سفارش‌محور بررسی نموده و مقدار بهینه موجودی کالا را با توجه به تولید پروژه ای و یکسان نبودن تولیدات بررسی نمایند.

فهرست منابع

۱. حسینی، سیدسهیل، حیدری، جعفر، محمودزاده خامنه، سروناز (۱۳۹۵). " مقایسه زنجیره تامین سنتی و کنترل موجودی توسط فروشنده (VMI)**"**. سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع.

۲. شریفی، عبداله، آقایی، عبداله، رحمانی، دنیا (۱۳۹۸). " شبیه سازی مسئله کنترل موجودی با هزینه سفارش دهی متغیر به کمک پویایی سیستم ها ". **پـــژوهـــشهای مهنـــدســـی صنـــایع در سیستـــمهـــای تولیـــد**، سال ۷، شماره ۱۴، بهار و تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۲۹-۴۵.

۳. طاهربهرامی، ندا، نجفی، علی، کریم‌زندی، مسعود (۱۴۰۳). " ارائه مدل کنترل موجودی با بهینه سازی فرآیند تعمیر و نگهداری همراه با عدم قطعیت در بودجه". **اولین کنفرانس ملی تحقیقات کاربردی نوین در کسب و کار و توسعه صنعتی**.

۴. عرشیان‌نژاد، هادی، پورزمانی، زهرا، جهانشاد، آزیتا (۱۳۹۷). "تاثیر سرمایه در گردش بر سودآوری در کسب و کار". **مطالعات حسابداری و حسابرسی**، انجمن حسابداری ایران، سال ۷، شماره ۲۶، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۹۳-۱۰۴.

۵. قاسمی، رضا، اخوان، پیمان، فتاحی ولیلایی، امید، عباسی، مرتضی، (۱۴۰۲). "طراحی یک مدل یکپارچه مبتنی بر فناوری زنجیره بلوکی برای مدیریت موجودی توسط تامین کننده" .**مدیریت زنجیره تامین**، دوره ۲۵، شماره ۷۸، صفحه ۲۳-۳۶.

۶. صادقی، هیبت اله، فاروقی، هیوا، صیدی، روژین، (۱۴۰۲) "تعیین سیاست بهینه بازپرسازی در سیستم یکپارچه فروشنده–خریدار با در نظر گرفتن دریافت چندگانه". **تحقیق در عملیات و کاربردهای آن**، دوره ۲۰، شماره ۲، صفحه ۴۹-۶۷.

۷. ملک پورکلبادی نژاد، سمیه، باقری نژاد، جعفر، (۱۴۰۲). " ارائه مدلی دو هدفه مکانیابی-موجودی برای طراحی شبکه لجستیک مستقیم/معکوس یکپارچه" . **مهندسی سیستم و بهره وری**، دوره ۳ ، شماره ۱، صفحه ۱-۴۰.

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

9. Arrow, K., Harris, T., Marschak, J., (1951). "Optimal inventory policy". **Econometrica** 19, 250–272.
10. Avinadav, T., (2015). "Continuous accounting of inventory costs with Brownian-motion and poisson demand processes". **Annals of Operations Research** 229 (1), 85–102.
11. Avinadav, T., Henig, M.I., (2015). "Exact accounting of inventory costs in stochastic periodic-review models". **International Journal of Production Economics** 169,89–98.
12. Bellman, R., Glicksberg, I., Gross, O., (1955). "On the optimal inventory equation". **Man agement Science** 2, 83–104.
13. Chao, X., Zhou, S.X., (2009). "Optimal policy for a multiechelon inventory system with batch ordering and fixed replenishment intervals". **Operations Research** 57 (2), 377–390.
14. Chen, F., Zheng, Y., (1994). "Evaluating echelon stock (R, nQ) policies in serial produc tion/inventory systems with stochastic demand". **Management Science** 40 (10), 1262–1275.
15. Choi, T. M. (2014). "Handbook of EOQ Inventory Problems: Stochastic and Deterministic Models and Applications". **Springer US**.
16. Clark, A.J., Scarf, H., (1960). "Optimal policies for a multi-echelon inventory problem". **Manage. Sci**. 6 (4), 475–490.
17. El-Wakeel, M. F. (2012). "Constrained backorders inventory system with varying order cost: Lead time demand uniformly distributed". **Journal of King Saud University-Science**, 24,285-288.
18. Evangelos, T,. Evangelos, S,. Vassilios, A,. (2023). "Optimizing inventory control through a data-driven and model-independent framework". **EURO Journal on Transportation and Logistics**. 12, 100103
19. Federgruen, A., Zipkin, P., (1984). "Computational issues in an infinite-horizon, multi echelon inventory model". **Oper. Res**. 32 (4), 818–836.
20. Feng, K., Rao, U.S., (2007). "Echelon-stock (r, nt) control in two-stage serial stochastic inventory systems". **Oper. Res. Lett**. 35, 95–104.
21. Fergany, A. and El-Wakeel, M. F. (2006). "Constrained probabilistic lost sales inventory system with continuous distributions and varying order cost". **Journal of Association for the Advancement of Modeling & Simulation Techniques in Enterprises**, 27: 3-4.
22. Fergany, A. and El-Wakeel, M. F. (2006). "Constrained probabilistic lost sales inventory system with normal distribution and varying order cost". **Journal of Mathematics and Statistics**, 2, 363-366.
23. Graves, S., (1996). "A multi-echelon inventory model with fixed replenishment inter vals". **Manage. Sci**. 42 (1), 1–18.
24. Hariri, A. and Abou-El-Ata, M. (1997). "Multi-item production lot-size inventory model with varying order cost under a restriction: a geometric programming approach". **Production Planning & Control**, 8: 179-182.
25. Harris, F. W. (1913). "How many parts to make at once. Factory", **The Magazine of Management**, 10, 135-136.

26. Lucas, F,. Sigurd, S,. (2023). “Bidirectional Inventoty Control with Optimal Use of Invtermediate Storage and Minimum Flow Constraints”. **IFAC PapersOnLine** 56-2, 2665-2670
27. Liu, F., Song, J., (2012). “Good and bad news about the (s, t) policy. Manuf. Serv”. **Oper. Manage**. 14 (1), 42–49.
28. Marklund, J., (2011). “Inventory control in divergent supply chains with time-based dispatching and shipment consolidation”. **Nav. Res. Logist**. 58 (1), 59–71.
29. Matsuyama, K. (2001). “The EOQ-Models modified by introducing discount of purchase price or increase of setup cost”. **International Journal of Production Economics**, 73,83-99.
30. Marwan, M,. Damien, B,. Niki K,. Ehecatl,. Max, M, (2024), “An analysis of multi-agent reinforcement learning for decentralized inventory control systems”. **Computers and Chemical Engineering**. 188,108783
31. Nahmias, S., (2009). **Production and Operations Analysis**. McGraw-Hill/Irwin, New York, NY.
32. Poles, R. (2013). “System Dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies”. **International Journal of Production Economics**, 144: 189-199. 29
33. Rao, U., (2003). “Properties of the periodic-review (r, t) inventory control policy for stationary, stochastic demand”. **Manuf. Serv. Oper. Manage**. 5 (1), 37–53.
34. Rudi, N., Groennevelt, H., Randall, T.R., (2009). “End-of-period vs. continuous account ing of inventory related costs”. **Oper. Res**. 57 (6), 1360–1366.
35. Shang, K., Zhou, S.X., (2010). “Optimal and heuristic echelon (r, nQ, T) policies in serial inventory systems with fixed costs”. **Operations Research** 58 (2), 414–429.
36. Van Houtum, G.J., Scheller-Wolf, A., Yi, J., (2007). “Optimal control of serial in ventory systems with fixed replenishment intervals”. **Oper. Res**. 55 (4), 674–687.
37. Wang, Q., (2013). “A periodic-review inventory control policy for a two-level supply chain with multiple retailers and stochastic demand”. **Oper. Res**. 230,53–62
38. Wang, Q., Liu, C., (2015). “Exact evaluation and optimization of the (r, nt) policy for a two-stage serial inventory system”. **Oper. Res. Lett**. 43 (6), 550–557

Accounting & Auditing Researches, Autumn 2025, No. 67. pp. 51-66

Optimization and Controlling of Inventory Under Uncertainty with Dynamic System

Ardeshir Ahmadian
Ph.D. Candidate in Department of Accounting, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Fatemeh Saraf
Associate Prof., Department of Accounting, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Zohreh Hajiha[1]©
Prof., Department of Accounting, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Naser Khani
Associate Prof., Department of Management, Najaf Abad Branch, Islamic Azad University, Najaf Abad, Iran

(Received: October 02, 2024; Accepted: April 14, 2025)

Inventory control is to ensure that inventory levels are maintained. If production is done without proper planning, it will reduce investment and increase storage and maintenance costs, and if the quantity and products stored may cause the products to lose new orders. For this reason, it is very important to determine the optimal amount of inventory at each stage of production and at the stage of packaging and storage. The information related to Kodal system has been extracted from the financial statements of the company. Investigations show the accumulation of inventory and the difference between the amount of production and sales. In this article, using the dynamic system method, optimization of existing goods, interest expenses and storage expenses, as well as expenses related to ordering in Isfahan Iron and Steel Company. let's pay The results obtained by using this system show that this method can handle all inventories and optimize the quantities and reorder points of the existing goods.

Keywords: Inventory Optimization, Warehouse Inventory Control, Dynamic System, Cost of Production, Adjustment of Warehouse Expenses.

[1] drzhajiha@iau.ac.ir (Corresponding Author)