



Multi-Supply Order Optimization and Allocation with Markov Decision Making

Leila Hosseini, Mohammad Saber Fallah Nezhad* , Vali Derhami , Mohammad Saleh Owlia 

*Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

(Received: 05/01/2025, Revised: 15/05/2025 Accepted: 27/08/2025, Published: 21/09/2025)

DOR: 20.1001.1.20089198.1404.27.87.3.7

ABSTRACT

In this study, an inventory management model based on a Markov decision process (MDP) framework is developed for a finite planning horizon with discrete time periods. The primary objective of the model is to minimize the total inventory management costs by determining the optimal order quantities and their allocation to suppliers. Ordering costs are modeled as random variables, while In this paper, an inventory management model based on the Markov Decision Process (MDP) framework is developed for a finite horizon and discrete time periods. The primary objective of this model is to minimize the total inventory management costs by determining the optimal order quantities and their allocation to suppliers. Ordering costs are modeled as stochastic variables, while holding costs are represented as linear functions. Utilizing a backward dynamic programming approach, optimal policies have been derived to minimize costs associated with ordering and holding inventory. To evaluate the model, a case study was conducted in a manufacturing company that sources polypropylene raw material from two suppliers. The results indicate that optimal order allocation can significantly reduce the overall supply chain costs by the end of the planning horizon. This cost reduction stems from the optimization of order quantities and the appropriate selection of suppliers based on the policies provided by the model. The proposed model, by incorporating uncertainty in ordering costs, demonstrates applicability in real-world settings. It offers effective tools for improving decision-making and cost reduction in supply chain management and can serve as a practical approach for manufacturing firms with multiple suppliers.

Keywords: Order Quantity, Supplier Allocation, Markov Decision Process, Backward Dynamic Programming

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

 Authors



* Corresponding Author Email: fallahnezhad@yazd.ac.ir

بهینه‌سازی سفارش و تخصیص چند تأمین با تصمیم‌گیری مارکوف

لیلا حسینی^۱، محمد صابر فلاح نژاد^{۲*}، ولی درهمی^۳، محمد صالح اولیا^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران ۲- استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران ۳- استاد، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران ۴- استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

DOR:20.1001.1.20089198.1404.27.87.3.7

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵

چکیده

در این مقاله، یک مدل مدیریت موجودی مبتنی بر چارچوب تصمیم‌گیری مارکوف برای افق زمانی محدود و دوره‌های گسسته توسعه یافته است. هدف اصلی این مدل، کاهش هزینه‌های کلی مدیریت موجودی از طریق تعیین مقادیر بهینه سفارش‌دهی و تخصیص آن‌ها به تأمین‌کنندگان است. هزینه‌های سفارش‌دهی به‌عنوان متغیرهای تصادفی و هزینه‌های نگهداری به‌صورت تابعی خطی مدل‌سازی شده‌اند. با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویای برگشت به عقب، سیاست‌های بهینه‌ای طراحی شده‌اند که هزینه‌های مرتبط با سفارش‌دهی و نگهداری را به حداقل می‌رسانند. برای ارزیابی مدل، یک مطالعه موردی در یک شرکت تولیدی انجام شده است که ماده اولیه پلی‌پروپیلن خود را از دو تأمین‌کننده دریافت می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که تخصیص بهینه سفارش‌ها می‌تواند هزینه‌های کلی زنجیره تأمین را تا پایان دوره برنامه‌ریزی به میزان قابل توجهی کاهش دهد. این کاهش هزینه ناشی از بهینه‌سازی در مقادیر سفارش‌دهی و انتخاب مناسب تأمین‌کنندگان بر اساس سیاست‌های ارائه‌شده توسط مدل است. مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در هزینه‌های سفارش‌دهی، قابلیت کاربرد در محیط‌های واقعی را دارد. این مدل ابزارهای مؤثری برای بهبود تصمیم‌گیری و کاهش هزینه‌ها در زنجیره تأمین فراهم می‌کند و می‌تواند به‌عنوان رویکردی عملی برای شرکت‌های تولیدی با تأمین‌کنندگان متعدد استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: میزان سفارش‌دهی کالا، تخصیص به تأمین‌کننده، فرایند تصمیم‌گیری مارکوف، برنامه‌ریزی پویای برگشت به عقب

۱- مقدمه

در پاسخ به این نیاز، این مقاله با ترکیب نظریه فرآیندهای مارکوفی، برنامه‌ریزی پویا و تحلیل چندتأمین‌کننده‌ای، رویکردی نوین و جامع برای حل این مسئله پیشنهاد می‌دهد که با در نظر گرفتن تغییرات هزینه به‌عنوان متغیر حالت، امکان طراحی سیاست‌های بهینه سفارش‌دهی در افق زمانی بلند مدت را فراهم می‌سازد و به شکاف‌های موجود در ادبیات پاسخ می‌دهد. چنین مدلی می‌تواند در صنایع حساس به هزینه‌های سفارش‌دهی، مانند صنایع تولیدی یا لجستیکی، به‌طور مستقیم مورد استفاده قرار گیرد و ارزش عملیاتی و تحقیقاتی بالایی دارد.

تحقیقات متفاوتی مرتبط با مدیریت موجودی با فرآیند تصمیم‌گیری مارکوف انجام شده است [۲-۸]. در دهه ۱۹۵۰، تحقیقات اولیه بر روی مسئله تعیین اندازه موجودی کلاسیک متمرکز بودند که مدیریت موجودی یک محصول در بازه زمانی محدود و با دوره‌های گسسته را بررسی می‌کردند و هدف آن تأمین

با توجه به پیچیدگی‌های روز افزون در زنجیره‌های تأمین و اهمیت تصمیم‌گیری دقیق در شرایط پویا و همراه با عدم قطعیت، توسعه مدل‌هایی که بتوانند به شکل واقع‌گرایانه سیاست‌های سفارش‌دهی را در افق زمانی بلند مدت بهینه کنند، یک نیاز اساسی و پژوهشی است. این موضوع که در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده، به‌طور مستقیم بر کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش مزیت رقابتی سازمان‌ها اثرگذار است [۱]. با این حال، اغلب مطالعات گذشته در چارچوبی ایستا و با فرض شرایط قطعی انجام شده‌اند و از پویایی سیستم، عدم قطعیت زمانی و وابستگی تصمیمات بین دوره‌ای غافل مانده‌اند.

است. در این سیستم، تولید به صورت تک محصولی و در ابتدای هر دوره زمانی انجام می شود و میزان تولید اضافی در سیستم نگهداری شده و در دوره های بعدی مورد استفاده قرار می گیرد، به طوری که تولیدات بتوانند نیازهای سیستم را در همان دوره یا دوره های بعدی تأمین کنند [۹].

فنگ و گونگ [۱۹]، یک مدل چند هدفه برای انتخاب تأمین کننده سبز و تخصیص سفارش در صنعت خودرو با هدف کاهش هزینه ها، کاهش انتشار کربن و افزایش ارزش خرید ارائه کردند که با استفاده از روش های بهینه سازی، عملکرد تأمین کنندگان را ارزیابی و تحلیل می کند. چن و روسی [۲۰] با استفاده از برنامه ریزی پویا و الگوریتم جستجوی بهینه، سیاست سفارش بهینه برای مدیریت موجودی تحت شرایط تصادفی و محدودیت نقدینگی ارائه دادند که عملکرد را بهبود می بخشد، اما به شبیه سازی نتایج در شرایط واقعی نپرداخته اند. ژنگ و همکاران [۲۱]، با استفاده از مدل تصمیم گیری مارکوف و الگوریتم های مختلف، بهینه سازی هم زمان تعمیر و نگهداری و سفارش قطعات یدکی را در سیستم های چند جزئی با هدف بهبود کیفیت و کاهش هزینه ها در صنعت کاغذ بررسی کردند.

کائور وسای [۲۲] مدلی ترکیبی و چند مرحله ای برای انتخاب و تخصیص سفارش ها به تأمین کنندگان تحت شرایط خطرپذیری و اختلالات ارائه کردند که با ارزیابی تأمین کنندگان از طریق تحلیل پوششی داده ها و اولویت بندی با روش های سلسله مراتبی و تاپسیس، هزینه ها و خطرپذیری کلی را بهینه سازی کرده و کارایی آن را در صنعت خودروسازی از طریق شبیه سازی بررسی کردند. خارووی و پاککالا [۲۳] با استفاده از زنجیره مارکوف گسسته و الگوریتم برنامه ریزی پویای تصادفی، سیاست های بهینه موجودی برای خرده فروشان با نوسانات تصادفی قیمت خرید و تخفیفات را مدل سازی کرده اند و نشان دادند که این مدل نسبت به سیاست مقدار سفارش اقتصادی عملکرد بهتری دارد و سود بیشتری را حاصل می شود، در حالی که مدل های قبلی این نوسانات را در نظر نمی گرفتند. مولاییدی و همکاران [۲۴] با استفاده از روش تصمیم گیری مارکوف و تکرار سیاست، به بهبود مدیریت موجودی مواد خام پرداختند و با بررسی مدل های مختلف و ارزیابی تأثیرات تصمیمات در شرایط پویا و تصادفی، نشان دادند که استفاده از الگوریتم تکرار سیاست در بهبود عملکرد مدیریت موجودی مواد خام مؤثر است.

حسینی و همکاران [۲۵] با استفاده از ترکیب روش های بهترین و بدترین روش و^۳ استدلال شواهدی^۱ برای ارزیابی تأمین کنندگان و

تقاضا بوده اما به صورت پویا و قطعی با دوره سفارش گسسته تحلیل نشده است [۹]. این مدل ها، مانند مدل هریس [۱۰]، بر پایه فرضیات نرخ ثابت تقاضا و هزینه های ثابت طراحی شدند و بدون در نظر گرفتن تأمین کنندگان یا خرده فروشان، از فرمول جذر مربعی^۱ برای محاسبه مقدار بهینه سفارش استفاده می کردند. توسط واگنر و ویتین [۱۱، ۱۲]، ایده الگوریتم حل مسئله پویا با پاسخ بهینه را معرفی شد که بر پایه برنامه ریزی پویا برای مدیریت موجودی با یک محصول و محدودیت ظرفیت بوده، اما نتایج آن ها از طریق شبیه سازی در صنعت خاکورزی بیان شده و به صنایع دیگر تعمیم داده نشده است. ایوانس [۱۳] با بهبود الگوریتم واگنر-ویتین، روشی بهینه برای مدیریت تولید و کاهش هزینه ها ارائه کرده که کارایی را افزایش و نیاز به حافظه را کاهش می دهد، در حالی که الگوریتم اولیه واگنر-ویتین چنین بهبودی نداشت. بعد از آن مقری و همکاران [۱۴] با ایده گرفتن از مدل واگنر و ویتین یک مدل با در نظر گرفتن دو تأمین کننده برای تعیین میزان سفارش به آن ها ارائه دادند.

واگلمنز و همکاران [۱۵]، الگوریتمی بازگشتی مبتنی بر برنامه ریزی پویا و مدل سازی با تئوری گراف و رویکردهای دودویی برای بهینه سازی تولید با هزینه های متغیر و بدون محدودیت ظرفیت ارائه کردند که دقت و کارایی بالاتری نسبت به روش های سنتی دارد، در حالی که الگوریتم های قبلی هزینه های ثابت را فرض می کردند. آگراوال و پارک [۱۶] با هدف بهبود الگوریتم های اقتصادی اندازه دسته بهینه، از برنامه ریزی پویا و الگوریتم های دینامیک و ژنتیک برای بهینه سازی مدل های اقتصادی استفاده کرده و نشان داده اند که این روش ها دقت و سرعت بیشتری دارند. فدرگروین و تزور [۱۷] با استفاده از برنامه ریزی پویا و مدل سازی ماتریسی، الگوریتمی ساده و کارآمد برای بهینه سازی سفارش و موجودی ارائه دادند که زمان اجرا و کارایی را بهبود می دهد، این در حالی بود که تا آن زمان الگوریتم های موجود به این کارایی در صنایع مختلف دست نیافته بودند محمدی و همکاران [۱۸]، با ارائه مدلی بهینه سازی برای تعیین میزان موجودی و برنامه ریزی با توجه به بسته های تقاضا، تأمین کنندگان، تخفیف ها و روش های حمل و نقل، بهینه سازی حجم خرید، تولید و نگهداری موجودی را با استفاده از برنامه ریزی خطی مختلط و الگوریتم سیمپلکس^۲ انجام دادند و نشان دادند که این مدل سود شرکت را افزایش می دهد و عملکرد بهتری نسبت به مدل های قبلی دارد. آزارون [۹] در مقاله ای، با استفاده از فرایندهای تصمیم گیری مارکوف، یک سیستم تولید چند دوره ای تک محصولی را به منظور کاهش هزینه های کل تولید و موجودی پیشنهاد کرده

^۱ Square-root formula

^۲ CPLEX

^۳ Best-Worth Method (BWM)

تأمین‌کنندگان پایدار در شرایط عدم قطعیت ارائه کرده‌اند که هم‌زمان سود سازمان را افزایش داده و پایداری زنجیره تأمین را بهبود می‌بخشد.

دهقانی جوشقانی و همکاران [۳۲] با استفاده از برنامه‌نویسی خطی و عدد صحیح، الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تیریدی، مدل چند دوره‌ای تولید-موجودی-مسیربایی چند سطحی-چند محصولی با عملیات داخلی کرس داک را بررسی کرده و با شبیه‌سازی و تحلیل حساسیت، نشان داده‌اند که این مدل می‌تواند هزینه‌ها را کاهش داده و هماهنگی بین لایه‌های زنجیره تأمین را بهبود بخشد.

ناصری و همکاران [۳۳] در مقاله‌ای با تلفیق روش‌های آماری پیشرفته همچون آزمون خی‌دو و نسبت درست‌نما، مدلی چندمتغیره برای پایش کیفیت، تحویل و هزینه‌های غیرمنتظره تأمین‌کننده ارائه می‌دهد. نوآوری آن در ترکیب ابزارهای پایش آماری و مدل‌سازی خطرپذیری با شاخص‌های استخراج‌شده از منابع علمی و تجربی است که امکان تصمیم‌گیری استراتژیک و به‌هنگام در زنجیره تأمین را فراهم می‌سازد.

کوالهو [۳۴] با استفاده از مدل‌سازی دو مرحله‌ای خطی، ترکیب فرآیند تصمیم‌گیری مارکوف و شبیه‌سازی مونت‌کارلو، مسئله موقعیت مکانی و مدیریت موجودی چند دوره‌ای را بررسی کرده و نشان داده است که این روش می‌تواند با در نظر گرفتن تقاضای احتمالی، بهینه‌سازی تصمیم‌های خرید، حمل و موجودی را انجام داده و هزینه‌های کل را کاهش دهد.

مدرس و همکاران [۱] در مقاله‌ای با ترکیب روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه‌ریزی چند هدفه، مدلی دو سطحی برای سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده توسعه داده که به انتخاب بهینه خرده‌فروشان و کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین کمک می‌کند. نوآوری آن در تلفیق ساخت یافته تصمیم‌گیری چند معیاره با مدل‌سازی کمی روابط فروشنده-خرده‌فروش در محیط‌های پیچیده و غیرقطعی است.

همدان و همکاران [۳۵] در یک مقاله با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی صحیح دو هدفه و نرم‌افزار سیمپلکس، به بهبود انتخاب تأمین‌کننده سبز و تخصیص سفارش‌ها در زنجیره تأمین پایدار پرداخته و عملکرد اقتصادی و زیست‌محیطی را در صنایع مختلف، از جمله خودروسازی، ارتقا می‌بخشند. مدرس و همکاران [۳۶] یک مقاله یک سیاست موجودی با استفاده از برنامه‌ریزی محدودیت‌شانی، بهینه‌سازی عرضه، تولید و توزیع محصولات فاسد شدنی را با هدف کاهش ضایعات، کمبود و هزینه‌های کلی زنجیره تأمین بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کاهش ضریب اطمینان در محدودیت‌های شانی می‌تواند کاهش هزینه‌ها را به همراه داشته باشد. همچنین در مقاله‌ای [۳۷] با توسعه یک مدل زنجیره تأمین دو سطحی مبتنی بر سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده و استفاده از ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و

استفاده از مدل ریاضی دو هدفه، رویکرد جدیدی برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار و بهینه‌سازی تخصیص سفارش‌ها در شرایط عدم قطعیت ارائه کرده‌اند که باعث بهبود عملکرد زنجیره تأمین‌شده است. همچنین جلالی و همکاران [۲۶] بدون توجه به مدیریت موجودی، با به‌کارگیری روش بهترین-بدترین و رویکرد پژوهش توصیفی-پیمایشی، سیستمی برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار در زنجیره تأمین پوشاک ارائه کرده است که با درک ماهیت محصول، پیش‌بینی آلاینده‌گی زیست‌محیطی و مخاطرات اجتماعی، رویه‌ای متناسب برای انتخاب تأمین‌کننده ارائه می‌دهد و درنهایت، گسترش مفهوم پایداری در زنجیره تأمین پوشاک را تسهیل می‌کند.

سان و همکاران [۲۷] با استفاده از مدل‌های تحلیلی و شبیه‌سازی، سیستمی برای بهینه‌سازی توزیع سفارش‌ها بین تأمین‌کنندگان در یک سیستم چند سطحی طراحی کردند که با کاهش هزینه‌ها، به حداکثر کردن سود کمک می‌کند. کاظمی و همکاران [۲۸] با بررسی زنجیره تأمین چهار سطحی محصولات کشاورزی، از تحلیل سوات^۲، نوآوری باز، مدل آنتروپی شانون و روش تصمیم‌گیری چند معیاره آراس برای رتبه‌بندی و انتخاب راهبردهای برتر با توجه به هزینه و بودجه استفاده کرده و نشان داده است که راهبردهای منتخب بیشتر بر افزایش انگیزه و ترویج کشاورزی در جامعه تمرکز دارند. فیض‌اللهی و شرفی [۲۹] در مقاله‌ای به توسعه مدل‌های چند هدفه در زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن عدم قطعیت و محدودیت‌های فازی پرداخته‌اند و برای حل این مسائل پیچیده، از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مانند NSGA-II و MOPSO به عنوان جایگزین روش‌های دقیق استفاده شده است.

مای و همکاران [۳۰] در یک مقاله با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۳ و یادگیری ماشین به ارزیابی تأمین‌کنندگان پایدار و تخصیص سفارش‌ها در صنایع ادویه‌جات و خودرو می‌پردازند، با تمرکز بر شکاف‌های تحقیقاتی در انتخاب تأمین‌کننده چند محصولی و پارامترهای اجتماعی. مدل‌های ریاضی مانند تاپسیس^۴ به کار گرفته شده است و متغیرهای تصمیم شامل هزینه، فاصله حمل‌ونقل و نسبت‌های معیوب است. این رویکرد با داده‌های واقعی اعتبارسنجی شده و نتایج نشان دهنده کارایی بهتر نسبت به پیش‌بینی‌هاست.

عزیزی نطفه و شهرخی [۳۱] طی مطالعاتی، با ترکیب روش تصمیم‌گیری چندمعیاره^۵، منطق فازی نوع ۲ و یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه فازی، چارچوبی برای انتخاب و تخصیص سفارش به

¹ Evidential Reasoning (ER)

² SWOT

³ MCDM

⁴ TOPSIS

⁵ COPRAS

تأمین‌کننده را پر کرده و با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح، به تخصیص بهینه منابع در صنایع مختلف کمک می‌کنند و کارایی این مدل را از طریق شبیه‌سازی‌های دقیق ارزیابی می‌نمایند. وانگ و همکاران [۴۴] با ارائه یک مدل چند هدفه برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین سرد در صنعت غذایی، به بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها و گازهای گلخانه‌ای با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری و تحلیل داده‌های واقعی پرداختند. لو و همکاران [۴۵] در یک مقاله، با استفاده از داده‌های واقعی از یک شرکت مونتاژ ابزارهای تراش، یک مدل چند هدفه زنجیره تأمین طراحی کردند که با استفاده از برنامه‌ریزی خطی فازی، هزینه‌های عملیاتی، خطرپذیری تأمین و عملکرد تأمین‌کنندگان را بهینه‌سازی کرده و نتایج نشان دادند که مدل چندهدفه به‌طور مؤثری باعث بهبود عملکرد زنجیره تأمین می‌شود.

با وجود مطالعات متعددی که در زمینه مدیریت سفارش‌دهی و انتخاب تأمین‌کننده انجام شده، اغلب آن‌ها در محیط‌های ایستا با فرض ثابت بودن هزینه‌های سفارش‌دهی طراحی شده‌اند. در این پژوهش‌ها، تصمیمات هر دوره مستقل از دوره‌های آینده در نظر گرفته شده و اثرات تجمعی و بین‌دوره‌ای تصمیمات لحاظ نشده است. این در حالی است که در محیط‌های واقعی، هزینه‌های سفارش‌دهی تحت تأثیر عواملی چون نوسانات نرخ ارز، تغییرات قیمتی تأمین‌کنندگان و خطرپذیری‌های عملیاتی، به‌شدت متغیر و تصادفی هستند. همچنین، بخش اندکی از پژوهش‌ها مسئله تخصیص سفارش از چند تأمین‌کننده را به‌صورت هم‌زمان، در چارچوبی پویا و با هزینه‌های متغیر بررسی کرده‌اند. این کاستی‌ها نشان می‌دهند که ادبیات موجود در پوشش شرایط عدم قطعیت زمانی و تعامل بین تصمیمات دوره‌ای دارای خلأ قابل توجهی است. پژوهش حاضر با درنظر گرفتن هزینه‌های سفارش‌دهی به‌عنوان متغیرهای حالت در یک فرآیند مارکوفی و با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی پویا، در صدد پر کردن این شکاف مفهومی و کاربردی است.

مدل پیشنهادی این مقاله از چند جهت با مدل‌های کلاسیک متمایز است. برخلاف مدل‌های رایج نظیر مقدار سفارش اقتصادی و واگنر-ویتین یا مدل‌های خطی و ایستا، این مدل با فرض پویایی سیستم طراحی شده و هزینه‌های سفارش‌دهی را به‌عنوان متغیرهای حالت تصادفی وابسته به زمان در نظر می‌گیرد. این ویژگی از طریق مدل‌سازی مارکوفی هزینه‌ها پیاده‌سازی شده که امکان پیش‌بینی روند تغییرات آینده را فراهم می‌سازد. همچنین، مدل به‌صورت چند دوره‌ای طراحی شده و تصمیمات هر دوره با در نظر گرفتن تأثیرات آن بر دوره‌های بعدی اتخاذ می‌شود. در واقع، برخلاف رویکردهای سنتی که به بهینه‌سازی محلی در هر دوره اکتفا می‌کنند، مدل حاضر سیاست‌های سفارش‌دهی را در کل افق برنامه‌ریزی با هدف بهینه‌سازی هزینه کل تدوین می‌کند. این نوع نگرش کل‌نگرانه و

برنامه‌ریزی چندهدفه، روشی ارائه کرده است که با کمینه کردن هزینه‌ها و افزایش قابلیت اطمینان، بهترین خرده‌فروشان را برای برقراری روابط دراز مدت انتخاب می‌کند و تعادلی میان معیارهای کیفی و کمی برقرار می‌سازد.

وانژی و همکاران [۳۸] در یک مقاله با استفاده از روش‌های بهترین-بدترین روش^۱، به ارائه یک مدل دو هدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌ها در زنجیره تأمین پرداخته و با ادغام معیارهای پایداری و بلاک چین، شفافیت و ردیابی اطلاعات را بهبود داده و نتایج آن نشان‌دهنده بهینه‌سازی هزینه‌ها و دستیابی به استراتژی‌های کارآمدتر است. ژنگ و همکاران [۳۹] در مقاله‌ای با استفاده از فرآیندهای تصمیم‌گیری مارکوف به بهینه‌سازی هم‌زمان نگهداری و سفارش قطعات یدکی از چندین تأمین‌کننده می‌پردازند و نتایج نشان می‌دهد و نشان دادند استفاده از این مدل تصمیم‌گیری در سیستم‌های پیچیده با چند تأمین‌کننده بسیار کارآمد است.

مظفری و سبحانی منش [۴۰] در یک مطالعه با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی امکانی چند هدفه، به طراحی بهینه زنجیره تأمین پلاکت‌های خون تحت عدم قطعیت‌های عرضه و تقاضا پرداخته‌اند. نوآوری اصلی آن در ترکیب مکان‌یابی، تولید و تخصیص منابع با در نظر گرفتن کیفیت پلاکت‌ها و کاهش هزینه‌ها در یک چارچوب جامع و واقع‌گرایانه است.

راددانی و همکاران [۴۱] در این مقاله به معرفی یک مدل بهینه‌سازی جدید در انتخاب و تخصیص سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان می‌پردازند که با استفاده از تحلیل پوشش داده، روش‌های فازی، الگوریتم‌های ژنتیک تأثیر عدم قطعیت‌های تقاضا و کیفیت تولید را موردبررسی قرار می‌دهد و همچنین به هزینه، زمان تحویل و معیارهای پایداری توجه می‌کند. نتایج نشان‌دهنده کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت محصولات بوده که به بهبود تصمیمات زنجیره تأمین منجر می‌شود.

نیری و همکاران [۴۲] در مقاله‌ای باهدف بهینه‌سازی پایداری و انطباق در زنجیره تأمین یک سیستم بهداشتی، با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی تأمین‌کنندگان، شبیه‌سازی تصادفی مونت‌کارلو برای انتخاب تأمین‌کنندگان و الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه برای تخصیص سفارش‌ها، نشان داده‌اند که این رویکرد به دلیل مدیریت بهتر عدم قطعیت و پایداری، عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها داشته و کارایی مدل در مطالعه موردی صنعت بهداشت نیز تأیید شده است.

عباسی و ونچرا [۴۳] در مقاله خود با ارائه یک مکانیسم حراجی تکراری و مدل ترکیبی^۲، شکاف‌های تحقیقات پیشین در انتخاب

^۱ Best-Worth Method (BWM)

^۲ Simultaneous Ascending Method with Jump Bidding and Competition (SAM-JBC)

تعداد حالت‌های هزینه سفارش‌دهی هر واحد کالا برابر با W_s است. این حالت‌ها شامل حالت‌های $\{C^{W_1s}, C^{W_2s}, \dots, C^{W_{s}s}\}$ می‌باشد و p_{sij} احتمال تغییرات از حالت $C^{W_{is}}$ به حالت $C^{W_{js}}$ را نشان می‌دهد. این احتمال‌ها یک ماتریس انتقال $W_s \times W_s$ را تشکیل می‌دهند. هزینه‌های سفارش‌دهی هر واحد کالا بر اساس یک فرایند مارکوف گسسته تغییر می‌کنند.

زمانی که هزینه سفارش هر واحد از محصول از تأمین‌کننده s در هر دوره در افق برنامه‌ریزی به‌صورت معین و پویا است، مدل ریاضی بهینه برای به دست آوردن مقادیر بهینه X_{st} به‌صورت زیر بیان می‌شود [۹]:

$$\text{Min} Z = \sum_{s=1}^2 \sum_{t=1}^T C_{st} X_{st} + \sum_{t=1}^{T-1} H_t(I_t) \quad (1)$$

$$(s = 1, 2), (t = 1, 2, \dots, T-1) \quad (2)$$

$$s. t. \sum_{s=1}^2 \lambda_s X_{s1} - D_1 = I_1 \quad (2)$$

$$I_{t-1} + \sum_{s=1}^2 X_{st} D_t I_t \quad (3)$$

$$(s = 1, 2), (t = 1, 2, \dots, T-1) \quad (4)$$

$$I_{T-1} + \sum_{s=1}^2 \lambda_s X_{sT} - D_t = 0$$

$$t = 2, 3, \dots, T-1 \quad (5)$$

$$I_t \geq 0, X_{st} \geq 0 \quad (5)$$

$$(s = 1, 2), (t = 1, 2, \dots, T-1)$$

معادله (۱) تابع هدف است که هزینه کل را حداقل می‌کند. هزینه کل شامل هزینه سفارش‌دهی به ازای هر واحد کالا از هر تأمین‌کننده s و هزینه نگهداری کل کالای سفارش داده‌شده می‌باشد.

معادله (۲) میزان موجودی در دوره اول را نشان می‌دهد. میزان موجودی در دوره اول با کسر میزان تقاضای دوره اول از میزان کل کالای سفارش داده‌شده به نسبت هر تأمین‌کننده s در آن دوره محاسبه می‌شود.

معادله (۳) میزان موجودی در ابتدای هر دوره را نشان می‌دهد. میزان موجودی در ابتدای هر دوره t با کسر میزان تقاضا در هر دوره از حاصل جمع میزان کالای سفارش داده‌شده از هر تأمین‌کننده s در هر دوره t و میزان موجودی مانده از دوره قبل که به هر دوره انتقال پیدا کرده است، به دست می‌آید.

معادله (۴) میزان موجودی در پایان دوره آخر را نشان می‌دهد که با توجه به اینکه موجودی در مرحله آخر مجاز نیست، میزان آن باید صفر باشد.

معادله (۵) نشان می‌دهد که میزان سفارش و موجودی مقداری نامنفی است.

بین دوره‌ای، وجه تمایز اصلی مدل با رویکردهای پیشین به‌شمار می‌آید.

۲- روش تحقیق

علامت‌ها و مفاهیم استفاده‌شده در این مقاله در جدول (۱) ارائه‌شده‌اند. علامت‌های اضافی نیز در بخش‌های مربوطه معرفی شده‌اند.

جدول (۱): علامت و مفاهیم

شاخص‌ها:	
T	تعداد دوره‌های زمانی
S	تعداد تأمین‌کننده‌ها
W_s	تعداد حالت‌ها برای هزینه‌های سفارش‌دهی از هر تأمین‌کننده s
$n = N_1$	تعداد حالت‌های تأمین‌کننده ۱
$m = N_2$	تعداد حالت‌های تأمین‌کننده ۲
$i = \{1, 2, \dots, n\}$	حالت‌های تأمین‌کننده ۱
$l = \{1, 2, \dots, m\}$	حالت‌های تأمین‌کننده ۲
$W_s = \{1, 2\}$	مجموعه حالت‌ها تأمین‌کننده s
$S = \{1, 2\}$	مجموعه تأمین‌کنندگان
$C^{W_{ss}} = \{C^{is}, C^{ls}\}$	مجموعه حالت‌های هزینه سفارش‌دهی برای هر واحد کالا از تأمین‌کننده s در حالت W_s
پارامترها:	
D_t	تقاضای مورد انتظار در دوره t
I_t	سطح موجودی در پایان دوره t
$H_t(I_t)$	هزینه نگهداری هر واحد کالا خریداری‌شده در هر دوره t
C_{st}	هزینه سفارش هر واحد محصول از تأمین‌کننده s در هر دوره t
$(P_s)^u$	ماتریس انتقال مرتبه u برای هزینه‌های سفارش برای هر تأمین‌کننده s
p_{sij}	احتمال انتقال هزینه سفارش از حالت $C^{W_{is}}$ به حالت $C^{W_{js}}$ برای هر تأمین‌کننده s
متغیرهای تصمیم:	
X_{st}	میزان کالا سفارش داده‌شده در دوره t از هر تأمین‌کننده s
X_t	میزان کل کالا سفارش داده‌شده در دوره t
λ	نسبت سفارش از تأمین‌کننده ۱
$1 - \lambda$	نسبت سفارش از تأمین‌کننده ۲

معادله (۹) کل هزینه‌های سفارش و نگهداری کالا و محصول از دوره $j + 1$ که سفارش و یا تولید صورت می‌گیرد تا دوره موردنظر k را نشان می‌دهد. برنامه‌ریزی پویا می‌تواند این برنامه بهینه را نوشته و یک برنامه‌ریزی بهینه جهت سفارش در هر دوره ارائه دهد.

تفاوت این مدل با مدل برنامه‌ریزی پویای کلاسیک در هزینه سفارش است. در این مدل، هزینه سفارش در هر دوره بر اساس نسبتی از سفارش از هر تأمین‌کننده s در ابتدای هر دوره در نظر گرفته می‌شود و هزینه هر واحد سفارش‌دهی در هر دوره $t(C^{W_s})$ نقش متغیر حالت در فرآیند تصمیم‌گیری متوالی تصادفی را دارد.

$V_j(C^{i1}, C^{i2})$ حداقل هزینه کل سفارش‌دهی از دوره $j + 1$ تا T را با توجه به سطح موجودی صفر در پایان دوره j برای هر یک از تأمین‌کنندگان وقتی که هزینه سفارش در ابتدای دوره $j + 1$ است، نشان می‌دهد به طوری که در زمان تصمیم‌گیری، هزینه سفارش برای هر یک از تأمین‌کنندگان برابر با $C_{s(j+1)}^{W_s} = C^{W_s}$ است. احتمال اینکه هزینه سفارش برای هر تأمین‌کننده در ابتدای مرحله $j + 1$ از حالت C^{W_s} به حالت $C^{W_{j+1}}$ در ابتدای مرحله k تغییر کند، برابر با $(P_{sij})^{(k-j)}$ است، چراکه فرآیند مارکوف در زمان گسسته مربوط به انتقال از ضریب هزینه در افق زمانی بدون حافظه است. لذا با این شرایط، تابع برنامه‌ریزی تصادفی بعد از $k - j$ دوره به صورت زیر خواهد بود:

$$V_j(C^{i1}, C^{i2}) = \min_{j < k \leq T} \left\{ \begin{aligned} & [\lambda C^{i1} + (1 - \lambda) C^{i2}] \sum_{r=j+1}^k D_r \\ & + \sum_{t=j+1}^{k-1} H_t \left(\sum_{r=t+1}^k D_r \right) \\ & + \sum_{n=1}^{N_2} \sum_{m=1}^{N_1} (P_1)_{im}^{(k-j)} (P_2)_{ln}^{(k-j)} V_k(C^{m1}, C^{n2}) \end{aligned} \right. \quad (10)$$

$i = 1, 2, \dots, n, l = 1, 2, \dots, m$

معادله (۱۰) حداقل هزینه کل سفارش‌دهی را در کل افق برنامه‌ریزی نشان می‌دهد که شامل سه قسمت می‌باشد. قسمت اول هزینه سفارش‌دهی، قسمت دوم هزینه نگهداری و قسمت سوم میزان انتقال از یک دوره به دوره بعد را مشخص می‌کند.

جانسون و مونته‌گومری [۹، ۴۶، ۴۷] ثابت کرده‌اند که این مدل بهینه به دلیل اینکه $I_{t-1} X_{st} = 0$ دارای یک ویژگی است که به مقدار سفارش در هر دوره فقط یکی از مقادیر صفر و یا $\sum_{j=t}^k D_j$ برای مقادیر $k = t, t + 1, \dots, T$ تخصیص خواهد یافت. بنابراین، اگر تصمیم به برآورده کردن تقاضاها در اول هر دوره $j + 1$ ، j ، برای دوره‌های $k = j + 1, j + 2, \dots$ باید موارد زیر برقرار باشد:

$$\sum_{s=1}^S X_{s(j+1)} = D_{j+1} + D_{j+2} + \dots + D_k = \sum_{r=j+1}^k D_r \quad (6)$$

$$I_t = \sum_{s=1}^2 X_{s(j+1)} - \sum_{r=j+1}^t D_r = \sum_{r=t+1}^k D_r \quad (7)$$

$$I_j = I_k = 0 \quad (8)$$

$$C_{j+1} \sum_{r=j+1}^k D_r + \sum_{t=j+1}^{k-1} H_t \left(\sum_{r=t+1}^k D_r \right) \quad (9)$$

که در آن‌ها

$$(j = 0, 1, \dots, T)$$

$$(k = j + 1, j + 2, \dots, T)$$

$$(t = j + 1, j + 2, \dots, k - 1)$$

معادله (۶) بیانگر میزان سفارش در هر دوره $j + 1$ است. منظور این است که اگر در ابتدای دوره $j + 1$ تصمیم به سفارش کالا از هر تأمین‌کننده s را داشته باشیم، می‌توان از آن سفارش جهت برآورده کردن تقاضای همان دوره، دوره بعد و یا تا دوره‌های بعدی (یا تا آخرین دوره از افق برنامه‌ریزی) استفاده کرد. برای مثال، زمانی که در شروع افق برنامه‌ریزی $j = 0$ است، اگر تصمیم به سفارش کالا از هر تأمین‌کننده s گرفته شود، می‌توان به میزان تقاضای دوره اول، یا به میزان تقاضای دوره‌های اول و دوم، یا به میزان تقاضای تمام دوره‌ها تا دوره آخر سفارش داد.

معادله (۷) بیانگر میزان موجودی در دوره t است. اگر در دوره $j + 1$ تصمیم‌گیری برای میزان سفارش کالا از هر تأمین‌کننده s انجام شود، میزان موجودی در هر دوره t از کسر کل تقاضاها از دوره‌ای که تصمیم‌گیری شروع شده تا دوره موردنظر (یا پایان افق برنامه‌ریزی) از میزان سفارش کالا از هر تأمین‌کننده در همان دوره $j + 1$ به دست می‌آید. این میزان موجودی با میزان تقاضاهای برآورده‌نشده از دوره مورد محاسبه تا دوره موردنظر (یا پایان افق برنامه‌ریزی) برابر است.

معادله (۸) نشان می‌دهد که موجودی ابتدای و انتهای دوره برنامه‌ریزی j و دوره موردنظر (یا پایان افق برنامه‌ریزی) برابر صفر است.

۲-۱- مطالعه موردی

در بخش مطالعه موردی، یک مسئله تصمیم‌گیری چند دوره‌ای در قالب یک زنجیره تأمین واقعی مورد بررسی قرار گرفته است. شرکت مورد نظر، تولیدکننده محصولات پلیمری است که ماده اولیه پلی‌پروپیلن (آنگرید) را از دو تأمین‌کننده داخلی و خارجی دریافت می‌کند. به دلیل نوسانات تصادفی و پیش‌بینی‌ناپذیر در هزینه‌های سفارش‌دهی (ناشی از عوامل محیطی همچون تغییرات نرخ ارز، سیاست‌های تجاری و شرایط بازار) شرکت در مدیریت بهینه هزینه‌های سفارش و نگهداری با چالش‌هایی روبرو شده است. برای پاسخ به این چالش، مدلی طراحی شده که در آن تصمیم‌گیری سفارش‌دهی برای هر دوره از یک افق زمانی چهار دوره‌ای، به صورت پویا و وابسته به حالت سیستم انجام می‌شود.

در این مدل، فرض شده که سطح موجودی در آغاز و پایان افق برنامه‌ریزی برابر صفر است و در هر دوره باید تقاضای مشخص مشتریان به صورت کامل تأمین شود. برای نمایش رفتار نوسانی هزینه‌ها، هزینه سفارش‌دهی هر تأمین‌کننده به صورت متغیر حالت تعریف شده و تغییرات آن با استفاده از ماتریس‌های احتمال انتقال مارکوفی، که بر پایه داده‌های تاریخی شرکت استخراج شده‌اند، مدل‌سازی شده است. وضعیت سیستم در هر دوره شامل چهار مؤلفه اصلی است: شماره دوره، هزینه سفارش‌دهی تأمین‌کننده اول، هزینه تأمین‌کننده دوم، و سطح موجودی فعلی. سپس، فرآیند تصمیم‌گیری با استفاده از برنامه‌ریزی پویای بازگشتی و بر اساس معادله بلمن پیاده‌سازی شده تا در هر گام، ترکیب بهینه سفارش از تأمین‌کنندگان با هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های سفارش‌دهی و نگهداری موجودی تعیین شود.

این رویکرد ضمن پوشش واقع‌گرایانه تغییرات تصادفی هزینه‌ها، امکان تدوین سیاست سفارش‌دهی بهینه را فراهم می‌سازد که با توجه به شرایط لحظه‌ای و پیش‌بینی هزینه‌های آینده، تصمیم‌گیری مؤثر و اقتصادی در زنجیره تأمین را ممکن می‌سازد. جدول مشخصات تقاضا و هزینه‌ها در چهار دوره ($T = 4$) برنامه‌ریزی، به همراه پارامترهای مدل، در ادامه در جدول (۲) ارائه شده است. این مدل به عنوان ابزاری تصمیم‌یار در محیط‌های تولیدی با چند تأمین‌کننده و شرایط هزینه‌ای متغیر، قابلیت اجرایی بالایی دارد و می‌تواند نقش مهمی در بهبود بهره‌وری زنجیره تأمین ایفا کند.

جدول (۲): میزان تقاضا و هزینه‌های نگهداری در هر دوره

T	۱	۲	۳	۴
D_t	۲۰	۱۵	۸	۱۰
H_t	۴۰	۳۰	۲۰	۲۰

هزینه سفارش‌دهی هر واحد محصول که در جدول (۳) نشان داده شده است، تحت تأثیر سیاست‌های دولتی قرار داشته و به طور مداوم در حال تغییر است. این تغییرات با استفاده از یک فرآیند تصادفی مارکوف با زمان گسسته مدل‌سازی شده‌اند که در آن سه حالت برای هر یک از تأمین‌کنندگان تعریف می‌شود. در این مسئله، تعداد حالت‌ها برای هر دو تأمین‌کننده برابر فرض شده و $m=3$ $n=3$ در نظر گرفته شده است. بر این اساس، ۹ حالت ممکن برای ترکیب وضعیت هر دو تأمین‌کننده وجود دارد. به عنوان مثال، در ابتدای دوره اول ممکن است یکی از این ۹ حالت رخ دهد. برای نمونه، حالتی که هزینه سفارش‌دهی هر دو تأمین‌کننده در سطح پایین باشد، با نماد (L, L) نمایش داده می‌شود. یا حالتی که هزینه تأمین‌کننده اول در سطح پایین و هزینه تأمین‌کننده دوم در سطح متوسط باشد، با نماد (L, M) نشان داده می‌شود. تصمیم‌گیری برای سفارش‌دهی در هر وضعیت باید با در نظر گرفتن شرایط خاص آن حالت صورت گیرد.

جدول (۳): میزان هزینه‌های سفارش‌دهی در هر دوره

S	C^{1s}	C^{2s}	C^{3s}
۱	۴۰ (سطح پایین)	۸۰ (سطح متوسط)	۱۲۰ (سطح بالا)
۲	۳۰ (سطح پایین)	۸۰ (سطح متوسط)	۱۳۰ (سطح بالا)

هر وضعیت در طول یک دوره ممکن است با احتمالات مختلف به وضعیت دیگری تغییر کند. این احتمالات در ماتریس انتقال مارکوف برای هر تأمین‌کننده تعیین شده‌اند. تصمیم‌گیرنده، با توجه به این احتمالات و تغییرات ممکن، می‌تواند تصمیمات بهینه برای سفارش‌دهی در دوره‌های آینده را اتخاذ کند. علاوه بر این، هر تصمیم سفارش‌دهی در یک دوره، مستقیماً بر تصمیمات و وضعیت‌های دوره‌های بعد تأثیرگذار خواهد بود.

لذا، برای ارزیابی دقیق‌تر این تأثیرات و تغییرات، از ماتریس انتقال مرتبه‌ای استفاده شده است. این ماتریس امکان بررسی تغییرات وضعیت‌ها را در دوره‌های متوالی فراهم کرده و به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند تا تصمیمات بهینه را با در نظر گرفتن تأثیرات بلندمدت اتخاذ کند. به این ترتیب، ماتریس انتقال نقش کلیدی در این

در اولین دوره تصمیم‌گیری، در هر وضعیتی که شرکت قرار داشته باشد، مشخص می‌شود که در هر دوره چه میزان سفارش باید به هر یک از تأمین‌کنندگان تخصیص داده شود تا هزینه کل در پایان دوره آخر به حداقل برسد. به‌عنوان نمونه، در حالت (L, L) ، هزینه کل بهینه برابر با هزینه کل به‌دست‌آمده در مرحله اول است، زیرا از روش برنامه‌ریزی پویای برگشت به عقب برای حل مسئله استفاده شده است. در این حالت، هزینه کل بهینه برابر با ۳۴۹۰ است. این مقدار زمانی حاصل می‌شود که در دوره اول ۱۸ واحد فقط به تأمین‌کننده دوم تخصیص داده شود، به‌طوری‌که تقاضای دوره اول و دوم برآورده شود. در دوره دوم، هیچ سفارشی به تأمین‌کنندگان تخصیص داده نمی‌شود، لذا هزینه این دوره صفر است. در دوره سوم، ۳۵ واحد به تأمین‌کننده دوم تخصیص داده می‌شود که تقاضای دوره سوم و چهارم را برآورده می‌کند. هزینه کل در این دوره برابر با ۱۴۵۰ است که در هزینه کل منظور می‌شود.

به‌عنوان نمونه دیگر، در حالت (H, H) ، هزینه کل بهینه برابر با ۴۷۱۸ است. این مقدار زمانی به دست می‌آید که در دوره اول ۱۰ واحد فقط به تأمین‌کننده دوم تخصیص داده شود و تقاضای دوره اول برآورده گردد. در دوره دوم، ۸ واحد به تأمین‌کننده دوم تخصیص داده می‌شود که تقاضای این دوره را برآورده کرده و هزینه کل این دوره برابر با ۳۸۷۰ است. در دوره سوم، ۱۵ واحد به تأمین‌کننده اول تخصیص داده می‌شود که هزینه ۳۶۴۰ را ایجاد کرده و تقاضای این دوره را برآورده می‌کند. در دوره چهارم نیز ۲۰ واحد به تأمین‌کننده اول تخصیص داده می‌شود که تقاضای این دوره را پوشش داده و هزینه کل این دوره برابر با ۲۰۰ است.

در هر دو حالت (L, L) و (H, H) ، جواب‌های یکتا به‌دست‌آمده است. اما در حالتی که شرکت در وضعیت (M, M) قرار دارد، در دوره چهارم مشاهده می‌شود که جواب بهینه چندگانه وجود دارد. به‌عنوان مثال، تخصیص‌های زیر به تأمین‌کننده اول و دوم امکان‌پذیر هستند: $(۰ و ۱۸)$ و $(۲ و ۱۶)$ و $(۴ و ۱۲)$ و $(۸ و ۸)$ و $(۱۲ و ۴)$ و $(۱۶ و ۰)$ و $(۱۸ و ۲)$ ، در تمامی این حالات، هزینه کل در دوره چهارم برابر با ۱۶۰۰ بوده و هزینه کل بهینه برابر با ۳۵۹۹ است. نتایج در جدول (۴) نشان داده شده است.

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که شرکت با استفاده از این مدل می‌تواند به‌راحتی میزان سفارش به هر یک از تأمین‌کنندگان را در ابتدای افق برنامه‌ریزی مشخص کند، به‌طوری‌که علاوه بر برآورده شدن تقاضای هر دوره، کمترین میزان هزینه سفارش‌دهی در پایان افق برنامه‌ریزی حاصل شود.

تحلیل ایفا می‌کند و چارچوبی مناسب برای مدل‌سازی تغییرات و تصمیم‌گیری فراهم می‌آورد.

ماتریس انتقال برای هر یک از تأمین‌کنندگان به‌صورت زیر تخمین زده شده است:

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0/2 & 0/8 \\ 0/7 & 0/2 & 0/1 \\ 0/4 & 0 & 0/6 \end{bmatrix} \text{ و } P_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0/2 & 0/8 \\ 0/7 & 0/2 & 0/1 \\ 0/4 & 0 & 0/6 \end{bmatrix}$$

بر اساس موارد فوق، مدلی برای محاسبه هزینه‌های کل، شامل هزینه‌های سفارش‌دهی و هزینه‌های نگهداری، در هر دوره با رویکرد فرایند تصمیم‌گیری مارکوف طراحی شده است. این مدل به‌گونه‌ای است که هزینه‌های سفارش‌دهی در دوره آخر برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، رابطه زیر برقرار است:

$$V_4(C^{i1}, C^{i2}) = 0$$

$$V_j(C^{i1}, C^{i2}) = \min_{j < k \leq T} \left\{ \begin{aligned} & [\lambda C^{i1} + (1 - \lambda) C^{i2}] \sum_{r=j+1}^k D_r \\ & + \sum_{t=j+1}^{k-1} H_t (\sum_{r=t+1}^k D_r) \quad (10) \\ & + \sum_{n=1}^{N_2} \sum_{m=1}^{N_1} (P_1)_{im}^{(k-j)} (P_2)_{ln}^{(k-j)} V_k(C^{m1}, C^{n2}) \end{aligned} \right\}$$

$$i = 1, 2, \dots, n, l = 1, 2, \dots, m$$

در این مدل، شرکت با در نظر گرفتن میزان تقاضا و موجودی، تصمیم می‌گیرد که از کدام تأمین‌کننده و به چه میزان سفارش دهد تا هزینه‌های کل به حداقل برسد. این تصمیم‌گیری در هر دوره بر اساس مدل بهینه‌سازی ارائه‌شده انجام می‌شود و هدف آن کاهش هزینه‌های سفارش‌دهی و نگهداری موجودی در طول دوره‌های برنامه‌ریزی است.

۳- نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در هر ۹ حالت ممکن، جواب‌های حاصل شده بهینه هستند، زیرا برنامه‌ریزی پویا تضمین می‌کند که اگر مدل و شرایط مسئله به‌درستی تعریف شوند، جواب بهینه حاصل خواهد شد. این تضمین به دلیل اصل بهینگی بلمن، تجزیه مسئله به زیر بخش‌های بهینه و استفاده از ساختار بازگشتی برای بررسی سیستماتیک تمام حالت‌ها به‌دست‌آمده است. در این مسئله، تعریف صحیح مدل از طریق در نظر گرفتن هزینه‌ها و محدودیت‌ها به‌درستی انجام‌شده و حل کامل تمام حالت‌ها نیز به‌دقت اجرا شده است. هرچند ممکن است استفاده از ساده‌سازی‌ها یا خطاهای محاسباتی این تضمین را تحت تأثیر قرار دهد، تلاش شده است شرایط مدل‌سازی تا حد ممکن به واقعیت نزدیک باشد تا از نتایج بهینه اطمینان حاصل شود.

جدول (۴): نتایج کسب‌شده از حل مدل

حالت‌ها	دوره	t	۱	۲	۳	۴
L, L	هزینه کل	V*	۳۴۹۰	۰	۱۴۵۰	۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده اول	xt1	۰	۰	۰	۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده دوم	xt2	۱۸	۰	۳۵	۰
M, L	هزینه کل	V*	۳۵۹۹	۲۴۷۰	۰	۱۸۰۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده اول	xt1	۰	۰	۰	۳۵
	میزان سفارش به تأمین کننده دوم	xt2	۱۰	۸	۰	۰
H, L	هزینه کل	V*	۳۹۹۰	۰	۱۸۰۰	۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده اول	xt1	۱۸	۰	۳۵	۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده دوم	xt2	۰	۰	۰	۰
L, M	هزینه کل	V*	۳۴۹۰	۰	۱۴۵۰	۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده اول	xt1	۰	۰	۰	۰
	میزان سفارش به تأمین کننده دوم	xt2	۱۸	۰	۳۵	۰
M, M	هزینه کل	V*	۳۵۹۹	۲۴۷۰	۲۲۰۰	۱۶۰۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده اول	xt1	۰	۰	۰	۰ و ۲ و ۴ و ۸ و ۱۲ و ۱۶ و ۱۸ و ۲۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده دوم	xt2	۱۰	۸	۱۵	۱۸ و ۲۰ و ۱۴ و ۱۶ و ۸ و ۱۲ و ۰ و ۲ و ۴ و ۱۰
H, M	هزینه کل	V*	۴۲۳۵	۳۲۶۸	۲۷۲۰	۱۶۰۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده اول	xt1	۱۰	۸	۰	۲۰
	میزان سفارش به تأمین کننده دوم	xt2	۰	۰	۱۵	۰
L, H	هزینه کل	V*	۳۴۹۰	۰	۱۴۵۰	۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده اول	xt1	۰	۰	۰	۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده دوم	xt2	۱۸	۰	۳۵	۰
M, H	هزینه کل	V*	۳۵۹۹	۲۴۷۰	۲۲۰۰	۱۶۰۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده اول	xt1	۰	۰	۰	۰
	میزان سفارش به تأمین کننده دوم	xt2	۱۰	۸	۱۵	۲۰
H, H	هزینه کل	V*	۴۷۱۸	۳۸۷۰	۳۶۴۰	۲۴۰۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده اول	xt1	۰	۰	۱۵	۲۰
	میزان سفارش دهی به تأمین کننده دوم	xt2	۱۰	۸	۰	۰

۴- نتیجه گیری

این تحقیق، یک مدل مدیریت موجودی با افق زمانی محدود و رویکرد تصمیم‌گیری مارکوف برای شرکت موردنظر طراحی و ارائه شد. این مدل توانست تخصیص بهینه سفارش‌ها را در شرایط عدم قطعیت ممکن سازد. هزینه‌های تأمین‌کنندگان به‌صورت احتمالی و در سه سطح کم (L)، متوسط (M) و زیاد (H) تعریف‌شده و تغییرات این هزینه‌ها با استفاده از ماتریس انتقال احتمالات چندمرحله‌ای مدل‌سازی شد. این ماتریس نه تنها رفتار غیرقطعی هزینه‌ها را در طول زمان نمایش می‌دهد، بلکه اثرات متوالی آن را بر تصمیمات هر دوره برجسته می‌سازد.

ویژگی متمایز مدل پیشنهادی، استفاده از برنامه‌ریزی پویای برگشت به عقب برای تحلیل و بهینه‌سازی سیاست‌های تخصیص سفارش‌ها بود. همچنین، بهره‌گیری از ماتریس انتقال چند مرحله‌ای برای ارزیابی تأثیر تصمیمات جاری بر دوره‌های آینده، امکان کاهش هزینه‌های کل سیستم را به‌طور معناداری فراهم کرد. نتایج این مدل نشان داد که با ترکیب اطلاعات لحظه‌ای هزینه‌های تأمین‌کنندگان، تقاضای دوره‌ای و احتمالات انتقال، تصمیماتی انعطاف‌پذیر و بهینه ارائه می‌شود. تفاوت در هزینه‌ها بیانگر تأثیر مستقیم سطوح هزینه تأمین‌کنندگان بر سیاست‌های تخصیص سفارش‌ها است. همچنین، ترکیب تخصیص‌ها در این دو حالت نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری مدل در مواجهه با شرایط مختلف بود.

تحلیل حساسیت نسبت به پارامتر λ (نسبت تخصیص) نشان داد که تغییر این پارامتر می‌تواند به کاهش یا افزایش هزینه کل منجر شود. مدل توانست با تنظیم مقادیر λ در بازه‌های مختلف، ترکیب بهینه‌ای از سفارش‌ها را بین تأمین‌کنندگان تخصیص دهد. به‌عنوان مثال، در دوره چهارم، تغییر λ از ۰.۱ به ۰.۹ نشان داد که باوجود تغییر ترکیب سفارش‌ها، هزینه کل همچنان ثابت باقی می‌ماند. این ویژگی نشان می‌دهد که مدل با در نظرگیری کلیه مقادیر سفارشی که به هر یک از تأمین‌کنندگان می‌توان تخصیص داد تصمیم‌گیری کرده و محاسبات را انجام داده و بهترین تخصیص که منجر به کمترین هزینه در پایان افق برنامه‌ریزی شود را مشخص می‌کند.

یکی دیگر از نقاط قوت مدل، استفاده از ماتریس انتقال احتمالات بود که امکان پیش‌بینی احتمال وقوع هر سطح هزینه در دوره‌های آتی را فراهم کرد. هرچند به دلیل ماهیت تصادفی فرآیند مارکوف، پیش‌بینی دقیق حالت‌های آینده ممکن نبود، اما مدل با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی پویا توانست تصمیمات بهینه‌ای را بر اساس احتمالات و هزینه‌های پیش‌بینی‌شده ارائه دهد.

درنهایت، مدل پیشنهادی ابزار مؤثری برای مدیریت خطرپذیری‌ها و نوسانات هزینه‌ها در تخصیص سفارش‌ها ارائه کرد. این ابزار توانست با کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی تصمیم‌گیری، رویکردی عملی و قابل‌اعتماد برای بهینه‌سازی مدیریت موجودی تحت شرایط عدم قطعیت فراهم کند.

۴-۱- تحلیل حساسیت

تحلیل‌های انجام‌شده بر روی تغییرات پارامترهای مختلف، ازجمله تقاضا، ماتریس انتقال، هزینه‌های تأمین‌کنندگان و هزینه‌های نگهداری، نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری و توانایی مدل در تخصیص بهینه سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان و کاهش هزینه کل (V^*) است. این تحلیل‌ها که در شرایط متنوعی انجام شده‌اند، تعادل پایدار و پتانسیل بهینه‌سازی مدل را حتی در مواجهه با تغییرات غیرمنتظره تأیید می‌کنند.

تأثیر تغییرات تقاضا: در تحلیل تغییرات تقاضا، مدل توانست با حفظ الگوی تخصیص به تأمین‌کننده با هزینه کمتر، هزینه کل را در مقادیر بهینه کنترل کند. افزایش ۱۰٪ و ۳۰٪ در تقاضا، موجب افزایش هزینه کل به دلیل هزینه‌های بالاتر نگهداری و سفارش‌دهی شد، اما تخصیص همچنان بر تأمین‌کننده با هزینه کمتر متمرکز بود. کاهش تقاضا نیز به کاهش هزینه کل انجامید و تخصیص‌ها تغییری نکردند. تغییرات تصادفی در تقاضا نشان داد که هزینه کل بسته به توزیع تقاضا تغییر می‌کند، اما مدل همچنان توانست تخصیص بهینه را حفظ کند، مگر در موارد خاصی که هزینه تأمین‌کنندگان بالاتر رفت.

تحلیل تغییرات ماتریس انتقال: بررسی ماتریس انتقال نشان داد که تنظیم احتمالات تأثیر مستقیمی بر هزینه کل دارد. در حالتی که احتمال انتقال به سطوح بالاتر (H) افزایش یافت، هزینه کل به دلیل مواجهه بیشتر با تأمین‌کنندگان با هزینه بالا، افزایش یافت. در مقابل، کاهش احتمال انتقال به خود سطوح یا انتقال به سطوح پایین‌تر، هزینه کل را کاهش داد. جالب توجه است که حتی در تغییرات شدید، تخصیص‌ها عمدتاً بر تأمین‌کننده با هزینه کمتر متمرکز باقی ماند. حالت متقارن پایداری بیشتری ایجاد کرد، اما هزینه کل اندکی افزایش یافت.

تأثیر تغییرات هزینه‌های تأمین‌کنندگان: در حالتی که هزینه یک تأمین‌کننده ثابت بود و هزینه تأمین‌کننده دیگر در سطوح مختلف تغییر می‌کرد، مدل به‌طور خودکار تخصیص‌ها را به‌گونه‌ای تنظیم کرد که هزینه کل بهینه شود. افزایش هزینه‌های تأمین‌کننده متغیر موجب انتقال تخصیص‌ها به تأمین‌کننده با هزینه ثابت شد و

استفاده از مدل‌هایی مانند فرایند مارکوف می‌تواند خطرپذیری‌ها را کاهش داده و سیستم را در برابر تغییرات غیرمنتظره مقاوم سازد.

۴-۳- پیشنهادها برای مطالعات آینده

مطالعات آتی می‌توانند به تحلیل تأثیر معیارهای زیست‌محیطی مانند کاهش انتشار کربن و تأمین‌کنندگان سبز بر هزینه و تخصیص سفارش‌ها بپردازند. همچنین توسعه مدل‌های چند سطحی برای مدیریت زنجیره تأمین و ترکیب آن با الگوریتم‌های یادگیری ماشین و تقویتی برای بهبود تصمیم‌گیری‌ها پیشنهاد می‌شود. بررسی تأثیر تغییرات جهانی مانند نوسانات ارز و تحریم‌ها و اعمال این مدل‌ها در صنایع مختلف می‌تواند کارایی آن را در شرایط متنوع نشان دهد. این رویکردها می‌توانند به مدیریت مؤثرتر زنجیره تأمین و کاهش هزینه‌های کل کمک شایانی کنند.

۵- مراجع

- [1] Modares, Farimani, and Dehghanian, "Presentating a Model for the Vendor-Managed Inventory in a Two-Tier Supply Chain of Perishable Products Under Demand Uncertainty (In persian)," *SCMJ*, vol. 26, no. 82, pp. 1-16, 2024, doi: <https://doi.org/10.1001/1.20089198.1402.25.81.1.9>.
- [2] M. Layla, "Analisis persediaan bahan baku yang optimal menggunakan rantai markov di PT. PDM Indonesia," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, Unimed, 2013. [Online]. Available: <https://digilib.unimed.ac.id/id/eprint/10672>
- [3] M. Layla, "Analisis persediaan bahan baku yang optimal menggunakan rantai Markov di PT. PDM Indonesia," *J. Tek. Ind.*, vol. 20, no. 1, 2016, doi: <https://doi.org/10.46306/lb.v4i1.259>.
- [4] G. O. Ferreira, E. F. Arruda, and L. G. Marujo, "Inventory management of perishable items in long-term humanitarian operations using Markov Decision Processes," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 31, pp. 460-469, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.05.010>.
- [5] O. Oktaviyani, D. Dwijanto, and S. Supriyono, "Optimization of production scheduling and planning of raw materials supply using Markov chains (a case study of Kinken Cake & Bakery Kutoarjo)," *Unnes J. Math.*, vol. 7, no. 2, pp. 165-180, 2018, doi: <https://doi.org/10.15294/ujm.v7i2.13894>.
- [6] G. O. Ferreira, E. F. Arruda, and L. G. Marujo, "Inventory management of perishable items in long-term humanitarian operations using Markov Decision Processes," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 31, pp. 460-469, 2018.
- [7] T. Noorida, "Analisa persediaan material pada fire tube boiler stock yang optimal dengan menggunakan Markov chain," *J. Tek. Ind.*, vol. 4, no. 2, pp. 40-49, 2003, doi: <https://doi.org/10.22219/JTUMM.Vol4.No2.40-49>.
- [8] H. Sarjono, E. Edwin, H. Sentosa, and F. Bong, "Analisis Markov chain terhadap persediaan: studi kasus pada CV Sinar Bahagia Group," *Binus Bus. Rev.*, vol. 2, no. 2, pp. 1071-1076, 2011, doi: <https://doi.org/10.21512/bbr.v2i2.1249>.
- [9] A. Azaron, O. Tang, and R. Tavakkoli-Moghaddam, "Dynamic lot sizing problem with continuous-time Markovian production cost," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 120, no. 2, pp. 607-612, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.04.007>.
- [10] D. Erlenkotter, "Ford Whitman Harris and the economic order quantity model," *Operations Research*, vol. 38, no. 6, pp. 937-946, 1990, doi: <https://doi.org/10.1287/opre.38.6.937>.
- [11] H. M. Wagner and T. M. Whitin, "Dynamic version of the economic lot size model," *Manag. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 89-96, 1958, doi: <https://www.jstor.org/stable/30046142>.
- [12] H. M. Wagner and T. M. Whitin, "Dynamic version of the economic lot size model," *Manag. Sci.*, vol. 50, no. 12-supplement, pp. 1770-1774, 2004, doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.5.1.89>.

بالعکس. این رفتار مدل نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری آن در بهینه‌سازی تخصیص‌ها با توجه به تغییرات هزینه تأمین‌کنندگان است.

تأثیر تغییرات هزینه‌های نگهداری: در سناریوهای مرتبط با هزینه‌های نگهداری، تغییرات خطی و تصادفی موردبررسی قرار گرفتند. افزایش خطی هزینه نگهداری، موجب افزایش هزینه کل شد، اما تخصیص‌ها تغییری نکردند. در تغییرات تصادفی، بسته به توزیع هزینه نگهداری، تغییرات هزینه کل بیشتر شد، اما الگوی تخصیص عمدتاً ثابت ماند. این تحلیل نشان داد که حتی در تغییرات ناگهانی هزینه‌های نگهداری، مدل توانایی خود را در مدیریت بهینه هزینه‌ها حفظ می‌کند.

تحلیل ترکیبی تغییرات: در سناریوهای ترکیبی، تغییر هم‌زمان ماتریس انتقال، تقاضا، هزینه تأمین‌کنندگان و هزینه نگهداری موردبررسی قرار گرفت. این تحلیل‌ها نشان داد که تعامل بین پارامترها تأثیری غیرخطی بر هزینه کل دارد. برای مثال، افزایش هم‌زمان تقاضا و هزینه‌های تأمین‌کنندگان منجر به افزایش قابل‌توجه هزینه کل شد، درحالی‌که کاهش متقابل این پارامترها، هزینه کل را به میزان زیادی کاهش داد. تغییرات تصادفی در تمامی پارامترها، رفتار سیستم را غیرقابل‌پیش‌بینی‌تر کرد، اما مدل همچنان توانست تخصیص‌های بهینه را در اکثر موارد حفظ کند.

این تحلیل‌های جامع تأیید می‌کنند که مدل ارائه‌شده در مقاله از پایداری و انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار است. توانایی مدل در مدیریت تغییرات متنوع پارامترها و حفظ تخصیص بهینه به تأمین‌کنندگان، حتی در شرایط پیچیده و ترکیبی، نشان‌دهنده کارآمدی آن در کاهش هزینه کل است. این نتایج نه تنها صحت عملکرد مدل را تأیید می‌کند، بلکه قابلیت آن را برای استفاده در شرایط واقعی با سناریوهای پیچیده اثبات می‌نماید. چنین ویژگی‌هایی، مدل را به ابزاری قدرتمند برای مدیریت هزینه‌ها و تخصیص منابع در محیط‌های پویا تبدیل می‌کند.

۴-۲- پیشنهادهای مدیریتی

برای بهینه‌سازی مدیریت موجودی و کاهش هزینه‌ها، پایش پیوسته هزینه‌های سفارش‌دهی، نگهداری و تقاضا ضروری است. استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی و یادگیری تقویتی برای پیش‌بینی روند تغییرات و ارائه تصمیمات هوشمندانه می‌تواند تأثیر بسزایی داشته باشد. تخصیص انعطاف‌پذیر سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان، به‌ویژه در مواجهه با تغییرات هزینه و تقاضا، به مدیریت بهتر کمک می‌کند. همچنین شفافیت زنجیره تأمین، از طریق فناوری‌هایی مانند بلاک چین، اطلاعات دقیق‌تری برای تصمیم‌گیری فراهم می‌نماید. درنهایت، مدیریت عدم قطعیت‌ها با

- [31] M. A. Nafteh and M. SHAHROKHI, "Presenting Mathematical Programming Model for Sustainable Supplier Selection and Order Allocation Using the COPRAS Method (In Persian)," *SCMJ*, 2023, doi: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089198.1402.25.79.6.0>.
- [32] M. D. Jeshvaghani, M. Amiri, K. Khalili-Damghani, and L. Olfat, "A robust possibilistic multi-echelon multi-product multi-period production-inventory-routing problem considering internal operations of cross-docks: Case study of FMCG supply chain," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 179, p. 109206, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109206>.
- [33] P. naseri, m. abbasi, and k. atashgar, "Designing a Model for Supplier Strategy Selection with Monitoring of Unforeseen Costs (In Persian)," *SCMJ*, vol. 26, no. 83, pp. 17-34, 2024, doi: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089198.1403.26.83.2.1>.
- [34] I. M. Coelho, "A multi-period stochastic location-inventory problem," *Comput. Ind. Eng.*, Universidade de Lisboa (Portugal), 2023. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10451/60538>
- [35] S. Hamdan, A. Cheaitou, A. Shikhli, and I. Alsyoud, "Comprehensive quantity discount model for dynamic green supplier selection and order allocation," *Comput. Oper. Res.*, vol. 160, p. 106372, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106372>.
- [36] A. Modares, N. M. Farimani, and F. Dehghanian, "Presenting a Model for the Vendor-Managed Inventory in a Two-Tier Supply Chain of Perishable Products Under Demand Uncertainty (In Persian)," *SCMJ*, vol. 25, no. 81, pp. 1-15, 2024, doi: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089198.1402.25.81.1.9>.
- [37] A. modares, N. M. Farimani, and V. B. Emrooz, "The Development of the Order Allocation Model based on the Reliability of Retailers (In Persian)," *SCMJ*, vol. 26, no. 82, pp. 1-16, 2024, doi: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089198.1403.26.82.1.8>.
- [38] A. Vaezi, E. Rabbani, and S. A. Yazdian, "Blockchain-integrated sustainable supplier selection and order allocation: A hybrid BWM-MULTIMOORA and bi-objective programming approach," *J. Clean. Prod.*, vol. 444, p. 141216, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141216>.
- [39] M. Zheng, Z. Su, D. Wang, and E. Pan, "Joint maintenance and spare part ordering from multiple suppliers for multicomponent systems using a deep reinforcement learning algorithm," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 241, p. 109628, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.res.2023.109628>.
- [40] M. Mozafari and S. Sobhani-Manesh, "A Multi-Objective Possibilistic Model to Platelet Supply Chain Network Design Considering Uncertainty in Demand and Number of Donors (In Persian)," *SCMJ*, 2025, doi: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089198.1403.26.85.5.8>.
- [41] M. Jafari-Raddani, H. C. Asgarabad, A. Aghsami, and F. Jolai, "A hybrid approach to sustainable supplier selection and order allocation considering quality policies and demand forecasting: a real-life case study," *Information Sciences*, vol. 8, no. 1, pp. 39-69, 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s41660-023-00350-x>.
- [42] S. Nayeri, M. A. Khoei, M. R. Rouhani-Tazangi, M. GhanavatiNejad, M. Rahmani, and E. B. Tirkolae, "A data-driven model for sustainable and resilient supplier selection and order allocation problem in a responsive supply chain: A case study of healthcare system," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 124, p. 106511, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106511>.
- [43] O. Abbaas and J. A. Ventura, "An Iterative Procurement Combinatorial Auction Mechanism for the Multi-Item, Multi-Sourcing Supplier-Selection and Order-Allocation Problem under a Flexible Bidding Language and Price-Sensitive Demand," *Mathematics*, vol. 12, no. 14, p. 2228, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/math12142228>.
- [44] Y. Wang, W. Sun, M. Z. Abedin, P. Hajek, and W. Xue, "A multi-objective lot sizing procurement model for multi-period cold chain management including supplier and carrier selection," *Omega*, vol. 130, p. 103165, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2024.103165>.
- [45] H.-W. Lo, C.-J. Pai, and M. Deveci, "A multi-objective model for integrated supplier order allocation and supply chain network transportation planning decision-making," *Inf. Sci.*, vol. 689, p. 121487, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.121487>.
- [46] L. A. Johnson and D. C. Montgomery, "Operations research in production planning, scheduling, and inventory control," (No Title), 1974, doi: <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA0375727X?l=en>.
- [47] L. Zurich, "Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control," *J. Clean. Prod.*, vol. 26, no. 3, pp. 568-569, 1975, doi: <https://doi.org/10.1057/jors.1975.120>.
- [13] J. R. Evans, "An efficient implementation of the Wagner-Whitin algorithm for dynamic lot-sizing," *J. Oper. Manag.*, vol. 5, no. 2, pp. 229-235, 1985, doi: [https://doi.org/10.1016/0272-6963\(85\)90009-9](https://doi.org/10.1016/0272-6963(85)90009-9).
- [14] Maghari, Ariyanejad, Ebrahimi, and Ghazimoghaddam, "Dynamic planning for supplier selection and order quantity determination (In Persian)," *SCMJ*, vol. 13, no. 33, pp. -, 2011. [Online]. Available: https://scmj.ihu.ac.ir/article_203409_5dc272c63d1a18442e7d65da8bb912b5.pdf.
- [15] A. Wagelmans, S. Van Hoesel, and A. Kolen, "Economic lot sizing: An $O(n \log n)$ algorithm that runs in linear time in the Wagner-Whitin case," *Oper. Res.*, vol. 40, no. 1-supplement-1, pp. S145-S156, 1992, doi: <https://doi.org/10.1287/opre.40.1.S145>.
- [16] A. Aggarwal and J. K. Park, "Improved algorithms for economic lot size problems," *Oper. Res.*, vol. 41, no. 3, pp. 549-571, 1993, doi: <https://doi.org/10.1287/opre.41.3.549>.
- [17] A. Federgruen and M. Tzur, "A simple forward algorithm to solve general dynamic lot sizing models with n periods in $O(n \log n)$ or $O(n)$ time," *Manag. Sci.*, vol. 37, no. 8, pp. 909-925, 1991, doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.37.8.909>.
- [18] M. Mohammadi, M. Esmaelian, and A. Atighehchian, "A Profit-Maximizing Problem With Multi-Item Supplier Selection and Demand Packages," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 27, no. 3, 2020, doi: <https://doi.org/10.2305/ijietap.2020.27.3.5815>.
- [19] J. Feng and Z. Gong, "Integrated linguistic entropy weight method and multi-objective programming model for supplier selection and order allocation in a circular economy: A case study," *J. Clean. Prod.*, vol. 277, p. 122597, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122597>.
- [20] Z. Chen and R. Rossi, "A dynamic ordering policy for a stochastic inventory problem with cash constraints," *Omega*, vol. 102, p. 102378, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102378>.
- [21] J. R. Zheng, Y. Zhou, L. Gu, and Z. Zhang, "Joint optimization of lot sizing and condition-based maintenance for a production system using the proportional hazards model," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 154, p. 107157, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107157>.
- [22] H. Kaur and S. P. Singh, "Multi-stage hybrid model for supplier selection and order allocation considering disruption risks and disruptive technologies," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 231, p. 107830, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107830>.
- [23] S. Kharvi and T. Pakkala, "An optimal ordering inventory policy when the purchase price follows a discrete-time Markov chain," *Commun. Stat. Simul. Comput.*, pp. 1-18, 2022, doi: <https://doi.org/10.1080/03610918.2022.2158340>.
- [24] I. Maulidi, R. Radhiah, C. Hayati, and V. Apriliani, "Optimal Raw Material Inventory Analysis Using Markov Decision Process with Policy Iteration Method," *JTAM*, vol. 6, no. 3, pp. 638-650, 2022, doi: <https://doi.org/10.31764/jtam.v6i3.8563>.
- [25] Z. S. Hosseini, S. D. Flapper, and M. Pirayesh, "Sustainable supplier selection and order allocation under demand, supplier availability and supplier grading uncertainties," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 165, p. 107811, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107811>.
- [26] A. t. Jalali and R. E. Rasi, "Sustainable Supplier Selection In The Clothing supply chain Whit Best-worst method(BWM) (In Persian)," *SCMJ*, vol. 20, no. 61, pp. 47-61, 2019, doi: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089198.1397.20.61.5.8>.
- [27] Y. Sun, S. C. Guo, and X. Li, "An order-splitting model for supplier selection and order allocation in a multi-echelon supply chain," *Comput. Oper. Res.*, vol. 137, p. 105515, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105515>.
- [28] M. J. Kazemi, H. Dezfoulian, and P. Samouei, "Investigating and Selecting the Best Strategies in the Online Ordering System of the Agricultural Supply Chain Using SWOT, Crowdsourcing, and ARAS Methods (In Persian)," *SCMJ*, vol. 25, no. 81, pp. 67-76, 2024, doi: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089198.1402.25.81.4.2>.
- [29] D. Feizollahi and V. Sharafi, "Development of a Closed-Loop Supply Chain Mathematical Model with Demand Constraints and Fuzzy Supplier Capacity and Solving it with Meta-Heuristic Algorithms (In Persian)," *SCMJ*, vol. 25, no. 79, pp. 17-38, 2023, doi: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089198.1402.25.79.2.6>.
- [30] H. Thi Xuan Chi, Uyen My, H., & Huynh Tram, P., "Sustainable Supplier Evaluations and Order Allocation with Multiple Products using Machine Learning," In 4th Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, , 2023, September, doi: <https://doi.org/10.46254/AP04.20230286>.