

**Paper Type: Original Article**

Integrating Inventory and Transportation Decisions in Distribution Supply Chains: A Vendor-Managed Inventory Model for Logistics Cost Reduction

Ali Najafi¹, Seyyed Hesamoddin Zegordi^{1,*}

¹ Faculty of Industrial Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; najafi.ali@modares.ac.ir; zegordi@modares.ac.ir.

Citation:

Najafi, A., & Zegordi, S. H. (2026). Integrating inventory and transportation decisions in distribution supply chains: A vendor-managed inventory model for logistics cost reduction. *Management: Modeling, Analysis and Applications*, 3(2), 89-98.

Received: 10/11/2025

Reviewed: 25/01/2026

Revised: 17/03/2026

Accepted: 22/05/2026

Abstract

Purpose: The increasing complexity of distribution networks and the continuous growth of transportation costs have encouraged organizations to integrate inventory and logistics decisions. In this context, Vendor-Managed Inventory (VMI) has emerged as an effective coordination mechanism that improves service levels while reducing operational costs. Although VMI models have been extensively investigated, limited attention has been given to the simultaneous consideration of transportation fleet selection and distribution planning in multi-depot supply chains. Therefore, this study aims to develop an optimization model that integrates inventory and transportation decisions within a supply chain consisting of a manufacturer and multiple distribution centers.

Methodology: This applied study employs mathematical modeling and integer programming techniques. The system under investigation consists of one manufacturer, five distribution centers, and four fast-moving consumer product categories. Under a VMI policy, the proposed model simultaneously determines shipment quantities and the transportation fleet selection. Constraints related to factory storage capacity, distribution center capacities, transportation resources, in-transit inventory, and demand fulfillment requirements are incorporated into the model. The developed formulation is solved using LINGO optimization software.

Findings: The results demonstrate that transportation fleet selection has a substantial impact on logistics costs and that distribution decisions should be aligned with demand volumes, transportation distances, and vehicle capacities. The findings indicate that larger-capacity vehicles are more economical for high-volume distribution centers and long-distance routes. The proposed model simultaneously satisfies all distribution center requirements, prevents inventory shortages, and minimizes transportation costs. Moreover, the optimization model generates optimal solutions within a short computational time, indicating its practicality for real-world applications.

Originality/Value: This study contributes to the supply chain management literature by integrating VMI policies and transportation fleet selection within a unified optimization framework. Its primary contribution lies in jointly addressing inventory coordination, product allocation, and transportation planning in a real industrial setting. The proposed approach provides practical insights for supply chain managers seeking to reduce logistics costs, strengthen coordination between production and distribution activities, and improve the operational efficiency of distribution networks.

Keywords: Logistics, Distribution, Internal management by supplier.



Corresponding Author: zegordi@modares.ac.ir

<https://doi.org/10.22105/mmaa.v3i2.122>

Licensee. **Management: Modeling, Analysis and Application**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



۶

نوع مقاله: پژوهشی

یکپارچه سازی تصمیمات موجودی و حمل و نقل در زنجیره های تامین توزیعی: مدل سازی مدیریت موجودی توسط تامین کننده برای کاهش هزینه های لجستیک

علی نجفی^۱، سید حسام الدین ذگردی^{۱*}^۱دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

هدف: افزایش پیچیدگی شبکه های توزیع و رشد هزینه های حمل و نقل، سازمان ها را ناگزیر ساخته است تا تصمیمات موجودی و لجستیک را به صورت یکپارچه مدیریت کنند. در این میان، رویکرد مدیریت موجودی توسط تامین کننده (VMI) به عنوان یکی از سازوکارهای موثر هماهنگی در زنجیره تامین، امکان بهبود سطح خدمت و کاهش هزینه های عملیاتی را فراهم می کند. با وجود توسعه گسترده مدل های VMI، نقش هم زمان انتخاب ناوگان حمل و نقل و برنامه ریزی توزیع در شبکه های چند شعبه ای کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف توسعه یک مدل بهینه سازی برای یکپارچه سازی تصمیمات موجودی و حمل و نقل در یک زنجیره تامین شامل یک کارخانه و چند مرکز توزیع انجام شد.

روش شناسی پژوهش: این پژوهش از نوع کاربردی بوده و با استفاده از مدل سازی ریاضی و برنامه ریزی عدد صحیح انجام شده است. ساختار مورد مطالعه شامل یک تولیدکننده، پنج مرکز توزیع و چهار گروه محصول تدم مصرف است. مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن سیاست مدیریت موجودی توسط تامین کننده، به طور هم زمان درباره مقدار ارسال کالا و نوع ناوگان حمل و نقل تصمیم گیری می کند. محدودیت های ظرفیت انبار کارخانه، ظرفیت مراکز توزیع، ظرفیت ناوگان حمل و نقل، موجودی در راه و الزامات تامین تقاضا در مدل لحاظ شدند. مدل توسعه یافته با استفاده از نرم افزار LINGO حل و تحلیل شد.

یافته ها: نتایج نشان داد انتخاب نوع ناوگان حمل و نقل تاثیر قابل توجهی بر هزینه های لجستیک دارد و تصمیمات توزیع باید متناسب با حجم تقاضا، فاصله مقصد و ظرفیت وسایل حمل اتخاذ شوند. یافته ها بیانگر آن بود که برای مراکز توزیع با حجم بالاتر و مسیرهای طولانی تر، استفاده از ناوگان با ظرفیت بیشتر موجب صرفه جویی اقتصادی قابل توجهی می شود. همچنین مدل پیشنهادی توانست ضمن تامین کامل نیاز مراکز توزیع و جلوگیری از کمبود موجودی، هزینه های حمل و نقل را به حداقل برساند. حل مدل نیز نشان داد دستیابی به راه حل بهینه در زمان محاسباتی کوتاه امکان پذیر است و مدل از قابلیت کاربرد عملی در محیط های واقعی برخوردار است.

اصالت/ارزش افزوده علم ی: این پژوهش با تلفیق تصمیمات مدیریت موجودی توسط تامین کننده و انتخاب ناوگان حمل و نقل در یک چارچوب بهینه سازی واحد، دیدگاهی جامع تر نسبت به مدیریت عملیات توزیع ارائه می کند. ارزش افزوده اصلی مطالعه در توجه هم زمان به سیاست های VMI، تخصیص جریان کالا و انتخاب وسایل حمل در یک مساله واقعی صنعتی است. نتایج پژوهش می تواند به مدیران زنجیره تامین در طراحی سیاست های توزیع کم هزینه تر، افزایش هماهنگی میان تولید و توزیع و ارتقای بهره وری شبکه های لجستیک کمک کند.

کلیدواژه ها: لجستیک، توزیع، مدیریت موجودی توسط تامین کننده.

۱- مقدمه

بهینه سازی فرایندهای لجستیک از جمله موضوعات کلیدی است که در مهندسی صنایع به شمار می آیند. افزایش رقابت در بازار و ضرورت کاهش هزینه ها شرکت ها را به استفاده از رویکردهای علمی در بهینه سازی فرایندهای توزیع و حمل و نقل سوق داده است. یکی از چالش های اساسی در این حوزه، مدیریت بهینه توزیع محصولات از تولیدکننده به مصرف کننده با هدف کاهش هزینه های لجستیک و جلوگیری از کمبود موجودی در

شعبه های پخش است. مساله توزیع بهینه محصول در شرایط واقعی معمولاً شامل محدودیت هایی همچون ظرفیت انبار کارخانه، ظرفیت ناوگان حمل و نقل، ظرفیت تخلیه، انبار شعبه های پخش و تامین به موقع نیاز شعبه ها است.

پژوهش حاضر با تمرکز بر یک زنجیره تامین دوسطحی شامل تولیدکننده و شعبه های پخش، به بررسی مساله بهینه سازی توزیع و لجستیک پرداخته است. هدف این پژوهش، کاهش هزینه های لجستیکی و اطمینان از تامین کامل نیاز شعبه های پخش است. برای این منظور، یک مدل ریاضی توسعه داده شده است که علاوه بر تعیین مقدار بهینه توزیع کالا، مناسب ترین نوع ناوگان حمل و نقل مناسب را نیز مشخص می کند. مدل پیشنهادی نه تنها به کاهش هزینه های حمل و نقل کمک می کند، بلکه باعث توزیع بهینه محصولات می شود. مطالعه موردی این پژوهش به توزیع محصولات از انبار کارخانه به شعبه های مختلف شرکت پخش اختصاص دارد. نتیجه ها حاصل از این مدل می تواند به تصمیم گیری های موثر در زمینه لجستیک و توزیع کمک کند و راهکارهایی برای بهینه سازی عملیات زنجیره تامین ارائه دهد. این پژوهش می تواند برای دیگر صنایع و سازمان هایی که با چالش های مشابه در مدیریت زنجیره تامین مواجه هستند، مورد استفاده قرار گیرد.

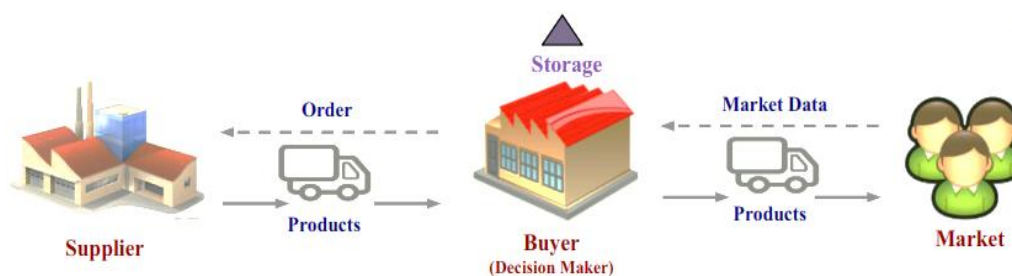
یک کارخانه تولیدی محصولات تند مصرف با مساله بهینه سازی توزیع محصولات و کاهش هزینه های لجستیکی مواجه است. یکی از شاخص های کلیدی حمل و نقل در این کارخانه، هزینه حمل هر کیلوگرم و هزینه حمل یک کارتن محصول است که بر اساس ظرفیت، هزینه کل بارنامه، مسافت و هر نوع ناوگان حمل و نقل متفاوت است. شرکت در تلاش است تا هزینه های زنجیره تامین را کاهش دهد. از سوی دیگر، نیاز هر شعبه های پخش نیز باید به طور کامل تامین شود. به همین منظور، یک مدل ریاضی طراحی شده است که با در نظر گرفتن محدودیت های ظرفیت انبار کارخانه، انبار شعبه های پخش و نوع وسیله حمل و نقل به بهینه سازی توزیع محصولات و کاهش هزینه های حمل و نقل می پردازد. این کارخانه تولیدی روزانه محصولات را تولید می کند و با توجه به تقاضا شعبه های محصولات را توزیع می کند. موجودی مدیریت شده فروشنده^۱ یک مکانیسم هماهنگی مهم در مدیریت زنجیره تامین است که در آن به تامین کننده مسئولیت مدیریت موجودی مطابق با تعداد واحدهای مورد توافق در مکان های خرده فروشی مشخص داده می شود [1]. سیستم VMI می تواند موجودی ها و کمبودها را با استفاده از سیستم های بازایی داده کاهش دهد [2]. علاوه بر این، از آنجایی که فروشنده با توافقات متقابل در سطح موجودی و تقاضا را انتقال می دهد، هم تامین کنندگان و هم توزیع کنندگان می توانند منافع خود را به حداکثر برسانند [3]. در این مقاله ما با یک تولید کننده و پنج انبار پخش و چهار نوع محصول هزینه های لجستیکی و توزیع را با توجه به محدودیت های موجود در مساله بهبود دادیم. در این تحقیق، به دلیل سیاست های داخلی شرکت و رعایت ملاحظات محرمانگی، از ذکر نام محصولات و شعبه های خودداری شده است.

۲- مرور ادبیات

یکی از مهم ترین مشکلات شرکت ها و سازمان ها تصمیم گیری در مورد برنامه ریزی مشکلات تولید و موجودی است. تاکنون مدل های مختلفی در زمینه تولید و سیستم های کنترل موجودی به منظور حل این مشکلات مرتبط با رویکردها و سناریوهای مختلف توسعه مورد بحث قرار گرفته است. در میان مدل های زنجیره تامین سنتی، یک رویکرد غالب وجود دارد که در آن هر سطح زنجیره تامین (به عنوان مثال، تامین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان یا حتی خرده فروشان) به تنهایی مسئول موجودی و فعالیت های کنترل تولید خود هستند [4].

در نتیجه چنین شرایطی، هر طبقه فقط اطلاعاتی در مورد موجودی یا تقاضای رده های همسایه پایین دست و بالادست خود دارد. به ویژه، رده پایین دستی نقش رهبری را در این شیوه مدیریت سیستم زنجیره تامین دارد و رده بالادستی فقط مقدار سفارش تولید را دریافت می کند و باید سفارش های لازم را بر اساس درخواست ها به بخش پایین دست ارائه دهد. بالادستی تقاضای بازار را به طور غیر مستقیم فقط از طریق فعالیت های سفارش پایین دستی درک می کند. در واقع، تامین کننده هیچ گونه مسئولیتی در قبال تصمیم گیری در مورد مقادیر سفارش تولید توسط خریدار و عواقب آن ندارد. شکل ۱ یک تصویر شماتیک از یک زنجیره تامین سنتی را نشان می دهد [5].

¹ Vendor Managed Inventory (VMI)

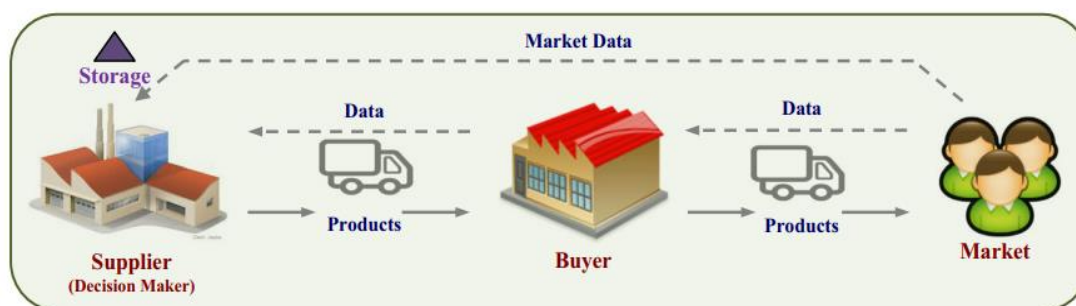


شکل ۱- ساختار سنتی زنجیره‌تامین [5].
Figure 1- Traditional chain structure [5].

این نوع رابطه سنتی بین رده‌های زنجیره‌تامین باعث ایجاد مشکلاتی در مدیریت سنتی زنجیره‌تامین شد. از این‌رو، بسیاری از صنایع تصمیم گرفتند اطلاعات بیشتری را در داخل زنجیره‌تامین به اشتراک بگذارند تا عملکرد زنجیره‌تامین خود را بهبود بخشند [6].

VMI یک رویکرد صنعتی است که مدیریت موجودی مشتری توسط تامین‌کننده انجام می‌شود. VMI امروزه به‌طور گسترده استفاده می‌شود و باعث بهبود زنجیره‌تامین می‌شود [7].

VMI یکی از مکانیسم‌هایی است که اخیراً به‌عنوان یک سیستم یکپارچه‌سازی و هماهنگی^۱ استفاده می‌شود. تحت VMI، پایین‌دستی (توزیع‌کنندگان) دیگر سیستم کنترل تولید و موجودی خود را مدیریت نمی‌کند و مسئولیت خود را به بالادستی (تامین‌کننده) واگذار می‌کند. علاوه‌بر این، با اجرای سیاست VMI، پایین‌دستی به بالادستی اجازه می‌دهد تا به اطلاعات تقاضا و موجودی دسترسی داشته باشد و داده‌های بازار را مستقیماً دریافت می‌کند. برخلاف روش سنتی مدیریت سیستم‌های زنجیره‌تامین، بالادست و پایین‌دست به‌عنوان یک واحد تحت قرارداد VMI عمل می‌کنند. آن‌ها بر اساس یک سیاست پذیرفته‌شده عمل می‌کنند که ایده اصلی آن این است که بالادست داده‌های تقاضا را مستقیماً از بازار دریافت می‌کند و به‌نوبه‌خود باید سیاست‌های تولید و موجودی کالا را برای بالادست و پایین‌دست به‌طور مناسب مدیریت کند [5]. شکل ۲ ساختار زنجیره‌تامین را تحت سیستم VMI نشان می‌دهد.



شکل ۲- ساختار VMI در زنجیره‌تامین [5].
Figure 2- VMI structure outside chain [5].

اگرچه VMI اساساً در بخش مواد غذایی محبوب بوده است، اما کاربردهای آن در بخش‌های دیگری مانند فولاد، کتاب و پتروشیمی گسترش یافته است [8]. دیزنی و تاویل [9] نشان دادند که به اشتراک‌گذاری اطلاعات تقاضا و موجودی در یک زنجیره‌تامین منجر به حداقل‌رساندن هزینه زنجیره‌تامین و برآورده کردن سطح خدمات مشتری می‌شود.

VMI یکی از رویکردهای انبوه اعمال‌شده در زنجیره‌تامین است که می‌تواند تصمیم‌های تکمیلی خریداران متعدد را برای کاهش هزینه‌های مربوط به موجودی هماهنگ کند [10].

¹ Supply Chain Management (SCM)

مدیریت زنجیره تامین عموماً به دنبال کاهش هزینه‌ها، بهبود رضایت مشتری و کسب مزیت رقابتی برای همه اعضای زنجیره است. اگر تصمیم‌های به‌طور مستقل اتخاذ شوند، هیچ تضمینی وجود ندارد که اعضای شبکه به‌طور کلی به تصمیم بهینه برسند. در مدل‌های بهینه‌سازی یکپارچه خریدار-فروشنده، تصمیم‌گیری‌ها به‌صورت متمرکز گرفته می‌شوند و بخش‌های مختلف یکپارچه و هماهنگ می‌شوند [11].

امروزه زنجیره‌های تامین و سیستم‌های تولیدی باید پاسخگو، چابک و انعطاف‌پذیر باشند تا با تغییرات و الزامات بازار سازگار شوند. جهانی‌شدن و رقابت شدید در بازارها چالش‌های بیشتری را به چنین سیستم‌هایی تحمیل می‌کند و پیچیدگی آن‌ها را افزایش می‌دهد. یکی از اهداف اصلی مدیریت زنجیره تامین، هماهنگی سطح‌های مختلف و تصمیم‌های برنامه‌ریزی مرتبط مانند تامین، ساخت، مدیریت موجودی و توزیع است [12]. علاوه بر این، از آنجایی که فروشندگان با توافقات متقابل در سطوح موجودی، نرخ پرکردن و هزینه‌های معامله هدایت می‌شود، هم تامین‌کنندگان و هم مشتریان می‌توانند منافع خود را به حداکثر برسانند [3].

VMI یک رویکرد صنعتی برای همکاری زنجیره تامین است که به موجب آن تولیدکننده مسئولیت موجودی مشتریان را بر عهده دارد و در مورد زمان و میزان تکمیل مجدد تصمیم می‌گیرد. VMI که در اواخر دهه ۱۹۸۰ تأسیس شد، امروزه به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد و یکی از موفق‌ترین رویکردهایی است که یکپارچگی زنجیره تامین را افزایش می‌دهد [7]. VMI توسط ۸۴٪ از شرکت‌های با بیش از ۱ میلیارد دلار درآمد و دوسوم شرکت‌های متوسط به‌کار گرفته شده است [13]. این مدل که بر ادغام و هماهنگی در مدیریت زنجیره تامین تأکید دارد، موجودی مدیریت‌شده توسط فروشنده VMI است که در آن تامین‌کننده مسئول نظارت و حفظ سطح موجودی در نزد مشتریان است. این مدل می‌تواند سطح موجودی را کاهش دهد، هزینه‌های مرتبط را به حداقل برساند و از کمبود موجودی در زنجیره تامین جلوگیری کند. در این مدل VMI، موجودی و مسیریابی را بهینه می‌کند. تامین‌کننده باید اطمینان حاصل کند که هیچ کمبود موجودی برای مشتری رخ نمی‌دهد و درعین حال کل موجودی و هزینه‌های مسیریابی را به حداقل می‌رساند [14]. در طول سال‌ها شکل‌های مختلف VMI در نظر گرفته شده است. با آرایه یک مدل نشان می‌دهد که چگونه اجرای VMI در یک تامین‌کننده و یک خریدار در یک محصولی هزینه‌های زنجیره تامین را کاهش می‌دهد [15]. در سال‌های اخیر بسیاری از محققان تلاش کرده‌اند تا VMI را برای شرایط واقعی توسعه دهند. طرهینی و همکاران [16] یک مدل برای یک تامین‌کننده و چندین خریدار تحت سیاست VMI توسعه دادند. هاریگا و همکاران [17] مدلی تحت VMI در یک زنجیره‌تامینی که تامین‌کننده و چند خرده‌فروش تحت محدودیت‌های زیست‌محیطی در شرایط تک‌محصولی پرداختند. با این حال، در مقالات پیشین به نقش انتخاب نوع وسیله حمل‌ونقل در کاهش هزینه در محصولات تند مصرف به‌گونه‌ای که هیچ انبار با کمبود موجودی مواجه نشود، پرداخت نشده بود.

۳- بیان مساله

این پژوهش به بهینه‌سازی توزیع و لجستیک در یک زنجیره‌تامین دوسطحی شامل یک تولیدکننده، پنج انبار پخش و چهار نوع محصول می‌پردازد. محصولات باید از انبار تولیدکننده به انبارهای پخش شهرهای مختلف منتقل شوند برای جابه‌جایی از دو نوع وسیله حمل‌ونقل (کامیون تک و تریلی) استفاده می‌شود. هزینه حمل برای شهرها، محصولات و نوع ناوگان حمل‌ونقل مختلف متفاوت است. هدف اصلی این پژوهش جلوگیری از کمبود موجودی و تضمین تامین کافی محصولات در انبارهای پخش به‌گونه‌ای که هیچ انباری با کمبود مواجه نشود و توزیع به‌گونه‌ای انجام شود که هزینه‌های لجستیکی از طریق انتخاب نوع ناوگان حمل‌ونقل مناسب کاهش یابد. مدل ریاضی طراحی شده در این تحقیق تلاش می‌کند تا با در نظر گرفتن تفاوت هزینه حمل هر کیلو محصول برای شهرها، محصولات و ناوگان حمل‌ونقل، یک توزیع بهینه آرایه دهد.

مساله توزیع بهینه محصول در شرایط واقعی با محدودیت‌های عملیاتی مختلفی روبه‌رو است. این محدودیت‌ها شامل ظرفیت تخلیه شعبه‌های، ظرفیت انبار شعبه‌های، ظرفیت انبار کارخانه، ظرفیت ناوگان حمل‌ونقل و ارضای تقاضای شعبه‌ها می‌باشد. این مدل ریاضی با هدف کاهش هزینه‌ها می‌تواند یک راهکار بهینه برای تصمیم‌گیری در زمینه توزیع و لجستیک آرایه دهد.

در دنیای واقعی که ظرفیت‌های ناوگان حمل‌ونقل مختلف، هزینه‌های ثابت و متغیر آن‌ها متفاوت است و مسایل دیگری مانند هزینه‌های جریمه و زمان‌های تحویل درگیر هستند، رسیدگی می‌کنند [18]. در این پژوهش یک مدل توزیع با کاهش هزینه‌های لجستیکی در نظر گرفته شده است.

۴- مدل ریاضی پیشنهادی

در این تحقیق، یک مدل بهینه‌سازی برای توزیع کالا طراحی شده است که هدف آن مینیمم کردن هزینه‌های توزیع از طریق بهینه‌سازی تصمیم‌های مربوط به ارسال کالا به شعبه‌های مختلف است. این مدل به‌ویژه برای شرکت‌های فعال در صنعت محصولات تندگردش که با چالش‌های توزیع روزانه و هزینه‌های قابل توجه مواجه هستند، مناسب است. در این تحقیق، هر یک از تصمیم‌های ذیل توسط مدل ارایه خواهد شد:

۱. نوع ناوگان حمل‌ونقل چه باشد.

۲. چه مقدار کالا برای چه شعبه‌های توزیع شود.

این مدل هزینه‌های حمل‌ونقل را با در نظر گرفتن محدودیت‌های توزیع کاهش می‌دهد.

در این بخش، پارامترهای اصلی مدل ارایه شده و شرح داده می‌شوند.

۴-۱- فرضیه‌های مدل ریاضی

۱. تقاضا به صورت قطعی در نظر گرفته شده است.

۲. هزینه نگهداری برای تمام محصولات یکسان است.

۳. پیرو قرارداد با شرکت پخش از هر کالا باید حداقل به اندازه ده روز فروش در انبار پخش محصول وجود داشته باشد.

۴. ظرفیت ماشین باید تکمیل باشد.

پارامترها

I : شعبه‌های پخش

J : مجموعه محصولات

W : وزن محصولات

T : نوع ناوگان

c_{jit} : هزینه انتقال یک کارتن محصول j به شعبه‌های پخش i با ناوگان t

s_{ij} : مقدار موجودی در راه از محصول j به شعبه‌های پخش i

q_j : کل محصولات تولیدی کالای j

y_{ij} : موجودی محصول j در شعبه‌های i

k : فضای انبارش کارخانه

l_{ij} : روند فروش روزانه محصول j در شعبه‌های پخش

b_{ij} : تعداد کارتن موجودی محصول j در انبار کارخانه

T_j : تعداد کارتن تولیدی محصول j در روز بعد

n_i : ظرفیت شعبه های i

متغیر تصمیم

x_{ijt} : مقدار کالای توزیع شده محصول j از کارخانه به شعبه های i با ناوگان t

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^k c_{ijt} \times x_{ijt}. \quad (1)$$

محدودی ها

$$\sum_{t=1}^k x_{ijt} + s_{ij} + y_{ij} \geq 10l_{ij}, \quad \text{for all } j \in \{1, \dots, m\}, \quad \text{for all } i \in \{1, \dots, n\}. \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij2} \times w_j = f_{i2} 22000, \quad \text{for all } i \in \{1, \dots, n\}. \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij1} \times w_j = f_{i1} 10000, \quad \text{for all } i \in \{1, \dots, n\}. \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^k x_{ijt} + \sum_{j=1}^m s_{ij} + \sum_{j=1}^m y_{ij} - \sum_j l_{ij} \leq n_i, \quad \text{for all } i=1, \dots, 31. \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m q_j + \sum_{j=1}^m b_j + \sum_{j=1}^m r_j - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^k x_{ijt} \leq k_j. \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^k x_{ijt} \leq q_j + b_j, \quad \text{for all } j \in \{1, \dots, m\}. \quad (7)$$

$$x_{ijt} \geq 0. \quad (8)$$

$$x_{ijt} \in \mathbb{Z}. \quad (9)$$

$$f_{i1} \in \text{int } f_{i2}. \quad (10)$$

تابع هدف بر مینیمم سازی هزینه حمل و نقل متمرکز است، به گونه ای که هزینه حمل به ازای هر کیلوگرم کاهش یابد. این کاهش هزینه ها، در نهایت منجر به کاهش کلی هزینه های حمل و نقل می شود. این امر، با انتخاب بهینه نوع وسیله حمل و نقل و برنامه ریزی دقیق برای توزیع کالاها حاصل می شود. انتخاب نوع ناوگان حمل مناسب و تخصیص بهینه منابع، باعث بهبود کارایی سیستم حمل و نقل شده و توزیع کالاها را به شیوه ای اقتصادی و کارآمد ممکن می سازد.

محدودیت (۲) بیان می کند که مجموع تعداد کارتن های ارسالی به شعبه، موجودی فعلی شعبه و موجودی در راه باید بزرگتر یا مساوی مصرف ده روز شعبه باشد. این محدودیت تضمین می کند که هیچ شعبه ای با کمبود کالا مواجه نشود و نیازهای روزانه شعبه ها به طور کامل برطرف گردد. پیرو قرارداد شعبه های پخش و کارخانه تولیدی از هر محصول باید به میزان ده روز مصرف در انبار شعبه های پخش وجود داشته باشد.

محدودیت (۳) و محدودیت (۴) تضمین می کنند که مقدار کالای ارسالی به هر مقصد معادل ظرفیت یک وسیله نقلیه باشد. این محدودیت فضای ناوگان حمل و نقل را در نظر می گیرد و اطمینان حاصل می کند که هر وسیله نقلیه به طور کامل بارگیری شود و از ظرفیت آن بهینه استفاده گردد.

محدودیت (۵) فضای انبارش شعبه های را در نظر می گیرد و تضمین می کند که مقدار کالا های ارسالی و موجودی شعبه های از ظرفیت انبار آن فراتر نرود. این امر به بهینه سازی مدیریت موجودی و جلوگیری از پول خواب یا ازدحام کالا در شعبه های کمک می کند.

محدودیت (۶) محدودیت فضای انبارش کارخانه را در نظر می گیرد و تضمین می کند که کالا ها و موجودی انبار از ظرفیت تعریف شده تجاوز نکنند.

محدودیت (۷) تضمین می کند که مجموعه کالا های ارسالی برای هر محصول کمتر از مجموع کالای تولیدی و مانده در انبار باشد.

۵- نتیجه های آزمایش عددی

در این مقاله، ما به بررسی تاثیر نوع وسیله حمل و نقل بر هزینه های لجستیکی در زنجیره تامین مبتنی بر *VMI* پرداخته ایم. تحلیل های انجام شده نشان می دهند که انتخاب مناسب ناوگان حمل و نقل می تواند تاثیر قابل توجهی در کاهش هزینه های حمل و نقل، به ویژه در هزینه های لجستیکی داشته باشد. باتوجه به مدل پیشنهادی، توزیع بهینه بار در بین شعبه های مختلف نه تنها منجر به کاهش هزینه های حمل و نقل می شود، بلکه کارایی کل زنجیره تامین را بهبود می بخشد.

با تغییرات در توزیع و استفاده بهینه از ظرفیت های مختلف وسایل حمل و نقل، می توان از هزینه های اضافی جلوگیری کرد. به عنوان مثال، انتخاب وسایل حمل و نقل سنگین تر و با ظرفیت بالاتر برای فاصله های طولانی تر به طور معمول هزینه ها را کاهش می دهد، در حالی که برای مسافت های کوتاه، وسایل سبک تر می توانند گزینه بهتری باشند. این انتخاب ها همچنین با در نظر گرفتن ویژگی های خاص هر شعبه های پخش، بهینه شده اند.

مدل طراحی شده در این تحقیق با استفاده از نرم افزار لینگو حل شده است. مساله مورد نظر از نوع برنامه ریزی عدد صحیح است که با هدف دستیابی به توزیع بهینه و کاهش هزینه ها طراحی شده است. فرایند حل مساله در مدت زمان کمتر از یک دقیقه به پایان رسیده است که نشان دهنده کارایی بالای مدل و نرم افزار در تحلیل و یافتن راه حل بهینه می باشد. نتیجه های به دست آمده نشان می دهد که مدل ارائه شده علاوه بر کاهش هزینه ها، در دستیابی به یک راه حل کارآمد و عملیاتی نیز موثر است. یافته های این مقاله می تواند به مدیران لجستیک و زنجیره تامین کمک کند تا تصمیم های بهتری در انتخاب نوع ناوگان حمل و نقل و نحوه توزیع بار اتخاذ کنند و در نتیجه به بهبود عملکرد کلی زنجیره تامین و کاهش هزینه ها دست یابند. مقاله های پیشین در این زمینه، بیشتر بر کاهش هزینه های لجستیکی تمرکز کرده اند، اما به ویژه در مورد کالا های تند گردش و روش های بهینه سازی حمل و نقل در این حوزه، به این شکل که در این تحقیق ارائه شده، پرداخته نشده بود. در این تحقیق یک مساله واقعی از دنیای صنعت مدلسازی شده است که به تحلیل شرایط خاص و پیچیدگی های زنجیره تامین در دنیای واقعی پرداخته است. این رویکرد باعث می شود که نتیجه های به دست آمده از مدل ارائه شده، کاربردهای عملی بیشتری داشته باشد و امکان پیاده سازی آن در سیستم های واقعی باشد. نتیجه های حل مدل در جدول ۱ ارائه شده است. در مدل ارائه شده نیاز شعبه های به صورت ثابت فرض شده است که با در نظر گرفتن آن به صورت احتمالی می توان مدل را توسعه داد. در این مدل یک کارخانه و پنج شعبه های پخش و چهار نوع محصول در نظر گرفته شده است، به منظور توسعه این مدل می توان تعداد کارخانه، تعداد شعبه های پخش و تعداد نوع محصول را افزایش داد.

جدول ۱- نتیجه های حل مدل.

Table 1- Result solution model.

نقطه بهینه کلی	نوع جواب
برنامه ریزی خطی عدد صحیح	نوع مدل
2791	تعداد تکرار
Branch and bound	روش حل
50	تعداد متغیر
کمتر از یک ثانیه	زمان
$3/29357 \times 10^8$	مقدار تابع هدف
267	تعداد مراحل مدل
43	تعداد محدودیت ها

در جدول ۲ تعداد و نوع ناوگان برای شعبه های مختلف آورده شده است. برای شعبه های سه که نسبت هزینه تریلی به تک تفاوت معناداری دارد و به عنوان بزرگترین شعبه های از نظر حجم عملیات می باشد به علت نیاز به محصول بیشتر و صرفه جویی در هزینه ها از پنج ناوگان تریلی استفاده شده است. در جدول ۳ تعداد کارتن ارسال از هر محصول به تفکیک داده شده است.

جدول ۲- تعداد و نوع ناوگان.

Table 2- Number and type of navigators.

نام شعبه ها	نوع ماشین
شعبه های ۱	دو تریلی یک تک
شعبه های ۲	دو تریلی یک تک
شعبه های ۳	پنج تریلی
شعبه های ۴	دو تریلی یک تک
شعبه های ۵	دو تریلی یک تک

جدول ۳- تعداد محصولات توزیع شده.

Table 3- Number of products distributed.

شعبه های یک	
محصول ۱	1230
محصول ۲	900
محصول ۳	2500
محصول ۴	200
شعبه های دو	
محصول ۱	960
محصول ۲	500
محصول ۳	1770
محصول ۴	1600
شعبه های سه	
محصول ۱	4150
محصول ۲	4500
محصول ۳	500
محصول ۴	600
شعبه های چهار	
محصول ۱	630
محصول ۲	1600
محصول ۳	1400
محصول ۴	1200
شعبه های پنج	
محصول ۱	4330
محصول ۲	260
محصول ۳	60
محصول ۴	180

۶- نتیجه‌گیری

این پژوهش به بهینه‌سازی توزیع و لجستیک در یک زنجیره‌تامین دوسطحی شامل یک تولیدکننده، پنج انبار پخش و چهار نوع محصل تدمصرف می‌پردازد. محصولات از کارخانه به انبارهای شهرهای مختلف با دو نوع ناوگان حمل‌ونقل (کامیون تک و تریلی) منتقل می‌شوند و هزینه حمل‌ونقل بنا به شهر و نوع ناوگان حمل‌ونقل متفاوت است. هدف مدل، جلوگیری از کمبود موجودی در انبارها و کاهش هزینه‌های لجستیکی از طریق انتخاب بهینه ناوگان حمل‌ونقل است. این مدل با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی مانند ظرفیت انبارها، ناوگان و تامین تقاضا رویکردی عملی در کاهش هزینه‌ها و بهبود تصمیم‌گیری در توزیع ارایه می‌دهد. در این تحقیق، مدل بهینه‌سازی حمل‌ونقل مبتنی بر VMI برای کاهش هزینه‌های لجستیکی در زنجیره‌تامین طراحی و ارایه شد. نتیجه‌ها نشان می‌دهند که انتخاب صحیح وسیله حمل‌ونقل می‌تواند تاثیر قابل توجهی در کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی زنجیره‌تامین داشته باشد. به‌ویژه، مدل پیشنهادی بر اساس تحلیل هزینه‌های حمل‌ونقل در مقیاس پرکیلو (هزینه حمل هر کیلو محصول) و بهینه‌سازی توزیع بار بین شعبه‌های مختلف، منجر به کاهش هزینه‌های کلی سیستم شده است. در این مدل، برای شهرهای نزدیک از کامیون تک که از نظر هزینه حمل‌ونقل به‌صرفه‌تر است، استفاده شده و نیاز همه شعبه‌های تامین شده است. همچنین برای شهرهای دور، ناوگان تریلی که حمل‌ونقل آن نسبت به ماشین تک به‌صرفه‌تر است به‌کار گرفته شده است و مدل به‌درستی این تفکیک را با در نظر گرفتن محدودیت‌های توزیع انجام داده است. استفاده از نرم‌افزار لینگو برای حل مساله نشان داد که مدل ارایه‌شده نه تنها قادر به یافتن راه‌حل‌های بهینه در مدت زمان کوتاهی است، بلکه به‌طور موثری هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و قابلیت اجرا در شرایط واقعی را دارا است. این ویژگی‌ها مدل را به ابزاری کاربردی و عملیاتی برای مدیران زنجیره‌تامین و لجستیک تبدیل خواهد کرد.

منابع

- [1] Aviv, Y., & Federgruen, A. (1998). *The operational benefits of information sharing and vendor managed inventory (VMI) programs*. <https://core.ac.uk/download/pdf/11007644.pdf>
- [2] Angulo, A., Nachtmann, H., & Waller, M. A. (2004). Supply chain information sharing in a vendor managed inventory partnership. *Journal of business logistics*, 25(1), 101–120. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2004.tb00171.x>
- [3] Wang, C. X. (2009). Random yield and uncertain demand in decentralised supply chains under the traditional and VMI arrangements. *International journal of production research*, 47(7), 1955–1968. <https://doi.org/10.1080/00207540701666220>
- [4] Sadeghi, J., Sadeghi, S., & Niaki, S. T. A. (2014). Optimizing a hybrid vendor-managed inventory and transportation problem with fuzzy demand: An improved particle swarm optimization algorithm. *Information sciences*, 272, 126–144. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.02.075>
- [5] Mokhtari, H., & Rezvan, M. T. (2020). A single-supplier, multi-buyer, multi-product VMI production-inventory system under partial backordering. *Operational research*, 20(1), 37–57. <https://doi.org/10.1007/s12351-017-0311-z>
- [6] Lin, K. P., Chang, P. T., Hung, K. C., & Pai, P. F. (2010). A simulation of vendor managed inventory dynamics using fuzzy arithmetic operations with genetic algorithms. *Expert systems with applications*, 37(3), 2571–2579. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.08.020>
- [7] Ghasemi, E., Lehoux, N., & Rönnqvist, M. (2024). A multi-level production-inventory-distribution system under mixed make to stock, make to order, and vendor managed inventory strategies: An application in the pulp and paper industry. *International journal of production economics*, 271, 109201. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109201>
- [8] Disney, S. M., & Towill, D. R. (2003). The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains. *International journal of production economics*, 85(2), 199–215. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00110-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00110-5)
- [9] Disney, S. M., & Towill, D. R. (2002). A procedure for the optimization of the dynamic response of a vendor managed inventory system. *Computers & industrial engineering*, 43(1–2), 27–58. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(02\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00061-X)
- [10] Yu, Y., Hong, Z., Zhang, L. L., Liang, L., & Chu, C. (2013). Optimal selection of retailers for a manufacturing vendor in a vendor managed inventory system. *European journal of operational research*, 225(2), 273–284. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.09.044>
- [11] Karimpoor, M., Nasiri, G. R., & Monabbati, S. E. (2023). Production, distribution, and capacity planning for an integrated buyer-vendor system incorporating different production and shipping scenarios. *Computers & industrial engineering*, 184, 109545. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109545>
- [12] Andres, B., Sanchis, R., Lamothe, J., Saari, L., & Hauser, F. (2017). Integrated production-distribution planning optimization models: A review in collaborative networks context. *International journal of production management and engineering*, 5(1), 31. <https://dx.doi.org/10.4995/ijpme.2017.6807>
- [13] Fang, X., So, K. C., & Wang, Y. (2008). Component procurement strategies in decentralized assemble-to-order systems with time-dependent pricing. *Management science*, 54(12), 1997–2011. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1080.0934>
- [14] Laganà, D., Malaguti, E., Monaci, M., Musmanno, R., & Paronuzzi, P. (2024). An iterated local search matheuristic approach for the multi-vehicle inventory routing problem. *Computers & operations research*, 169, 106717. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2024.106717>

- [15] Yao, Y., Evers, P. T., & Dresner, M. E. (2007). Supply chain integration in vendor-managed inventory. *Decision support systems*, 43(2), 663–674. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2005.05.021>
- [16] Tarhini, H., Karam, M., & Jaber, M. Y. (2020). An integrated single-vendor multi-buyer production inventory model with transshipments between buyers. *International journal of production economics*, 225, 107568. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107568>
- [17] Hariga, M., As'Ad, R., & Ben-Daya, M. (2022). Vendor managed inventory coordination under contractual storage agreement and carbon regulation policies. *IEEE access*, 10, 66098–66112. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3183988>
- [18] hong Zhao, Q., Chen, S., Leung, S. C. H., & Lai, K. K. (2010). Integration of inventory and transportation decisions in a logistics system. *Transportation research part e: Logistics and transportation review*, 46(6), 913–925. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.03.001>