



**Research in Production and Operations Management**  
**University of Isfahan E-ISSN: 2981-0329**  
Vol. 16, Issue 2, No. 41, summer 2025  
DOI: 10.22108/POM.2025.142574.1575



(Research paper)

## **Developing Sustainable Pharmaceutical Supply Chains via a Shared Warehouse Strategy**

**Yahia Zare Mehrjerdi \***

Faculty of Industrial engineering, Yazd University, Yazd, Iran, yzare@yazd.ac.ir

**Mehdi Bagheri**

Faculty of Industrial engineering, Yazd University, Yazd, Iran, mbagheri.pgu@gmail.com

**Mohammad Ali Vahdat**

Faculty of Industrial engineering, Yazd University, Yazd, Iran, mavahdat@gmail.com

**Mohammad Saleh Owlia**

Faculty of Industrial engineering, Yazd University, Yazd, Iran, owliams@yazd.ac.ir

**Purpose:** Given the importance of the key issue of health, developing a sustainable pharmaceutical supply chain to provide timely and quality services is essential. One of the challenges in the pharmaceutical supply chain is the perishability of drug products. In this regard, developing strategies to ensure drugs spend less time in the distribution cycle and are made available to patients promptly is of great importance.

**Design/methodology/approach:** In this article, considering a three-level supply chain including a main distributor, a set of sub-distributors, and pharmacies, a novel approach to pharmaceutical supply chain integration through the development of a shared warehousing strategy has been addressed. Mathematical modelling has been conducted in both integrated (with shared warehousing strategy) and non-integrated forms. Due to the complexity of the integrated mathematical model, the problem has been solved using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm to evaluate the model's performance in small, medium, and large scales.

**Findings:** The supply chain cost in the integrated model improves as the problem scale increases. Based on the results, the difference between the integrated and non-integrated models is minimal at small scales, but as the problem scale grows, the objective function shows an improvement of up to 18.5%. One of the favourable outcomes of the integrated model is the reduction in the average order cycle time, which stems from consolidating orders in shared warehouses and increasing the exit rate of drugs from warehouses due to the aggregation of pharmacy demand.

\* Corresponding author, 0000-0002-4731-4985

2981-0329 / © University of Isfahan



This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

**Practical implications:** One of the key reasons for the success of this strategy in the study was the reduction of inventory redundancy and optimal utilization of space and resources. By centralizing inventory in a shared warehouse, distributors can reduce leasing, manpower, and transportation costs. Additionally, the geographical location of the warehouse has decreased delivery time and enhanced operational efficiency. The numerical results of the study confirm that the proposed strategy can be regarded as an approach that integrates environmental and social considerations alongside economic factors. The effectiveness of this strategy is attributed to the reduction in the storage time of pharmaceutical products, decreased levels of expired inventory, the benefits of economies of scale, and the timely response to healthcare needs.

**Originality/value:** The implementation of the shared warehousing strategy has been introduced as a novel approach to integrating the pharmaceutical supply chain.

**Keywords:** Pharmaceutical supply chain, Integrated model, Shared warehouse



پژوهش در مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۶، شماره ۲، پیاپی ۴۱، تابستان ۱۴۰۴

دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۳ ص ۱۲۱-۱۴۹



DOI: 10.22108/POM.2025.142574.1575

(مقاله پژوهشی)

## توسعه زنجیره تأمین پایدار دارویی با ارائه استراتژی احداث انبار مشترک

یحیی زارع مهرجردی<sup>۱\*</sup>؛ مهدی باقری قلعه نویی<sup>۲</sup>؛ محمد علی وحدت<sup>۳</sup>؛ محمد صالح اولیاء<sup>۴</sup>

۱- استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، yzare@yazd.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، mbagheri.pgu@gmail.com

۳- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، mavahdat@gmail.com

۴- استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، owlams@yazd.ac.ir

**چکیده:** با توجه به اهمیت موضوع کلیدی سلامت، توسعه یک زنجیره تأمین پایدار دارویی با هدف ارائه خدمات مطلوب و به موقع، ضروری است. یکی از چالش‌های زنجیره تأمین دارو، زوال‌پذیری محصولات دارویی است. در این راستا، توسعه استراتژی‌هایی از اهمیت بالایی برخوردار است که دارو مدت‌زمان کمتری در چرخه توزیع قرار داشته باشد و در دسترس بیماران قرار گیرد. در این مقاله با در نظر داشتن زنجیره تأمین سه سطحی شامل توزیع‌کننده اصلی و مجموعه‌ای از توزیع‌کنندگان فرعی و داروخانه‌ها، به رویکرد جدید یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین دارو با توسعه استراتژی انبار مشترک توجه شده است. مدل‌سازی ریاضی به دو صورت یکپارچه با استراتژی انبار مشترک و غیر یکپارچه انجام شده است. با توجه به پیچیدگی مدل ریاضی یکپارچه، برای ارزیابی عملکرد مدل مسئله در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ذرات حل شده است. در نهایت نتایج حاصل از مدل یکپارچه در مقایسه با مدل غیر یکپارچه، نشان‌دهنده کاهش هزینه‌های زنجیره و کاهش مدت‌زمان دوره سفارش با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله است.

**واژه‌های کلیدی:** زنجیره تأمین دارو، یکپارچه‌سازی، انبار مشترک



## ۱- مقدمه

حوزه سلامت در هر کشوری، از با اهمیت‌ترین حوزه‌ها و زنجیره تأمین آن، دارای جایگاهی استراتژیک است. چالش‌های این حوزه شامل کاهش هزینه‌ها، تضمین تحویل به‌موقع، زوال‌پذیری و آثار آن بر محیط‌زیست و هزینه‌ها و کاهش زمان حمل و نقل برای عکس‌العمل بهتر به محیط پیرامون است (Janatyan et al., 2019). در مقاله حاضر در راستای چالش‌های مطرح‌شده، یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل توزیع‌کننده اصلی، که واردکننده داروهای خارجی است، شبکه‌ای از توزیع‌کنندگان فرعی و داروخانه‌ها بررسی می‌شود.

یکی از چالش‌های مدیریت موجودی در زنجیره تأمین دارو، زوال‌پذیری محصولات است. عمر قفسه‌ای دارو، دوره زمانی است که دارو پایدار و قابلیت استفاده آن بالای ۹۰ درصد است (Coffey, 2013). در تحقیقی در سال ۲۰۰۳ در ایالات متحده آمریکا، داروهای منقضی‌شده حدود ۵۰۰ میلیون دلار در سال ضرر به‌همراه داشته است. در سال ۲۰۰۷، بخش سلامت شیکاگو حدود یک میلیون دلار به‌واسطه منقضی‌شدن داروها از دست داده است (Masoumi et al., 2012). طبق تحقیقات داروخانه‌ها، در سال حدود ۵۰۰ میلیون دلار هزینه منقضی‌شدن محصولات را می‌پردازند (Karaesmen et al., 2011). با توجه به هزینه‌های زوال‌پذیری، کارایی مدل‌های موجودی و اهداف آن، وابستگی زیادی به کاهش این هزینه‌ها دارد. این هزینه با استفاده از سیاست‌های مشارکتی یا هماهنگی بازیگران زنجیره تأمین کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهند استراتژی‌های همکاری‌های زنجیره تأمین، هزینه‌ها را به‌طور مؤثر کاهش می‌دهند (Olaniyi & Pugal, 2024).

استراتژی‌های مدیریتی و تکنیک‌های لجستیک، خلأ فناوری‌های نگهداری را پوشش می‌دهد و توزیع کارآمد و چابک دارو در شبکه را موجب می‌شود. این حوزه یک شکاف تحقیقاتی است که توجه بسیار کمی به این حوزه شده است. مستوفی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۳)، سیاست مدیریتی هماهنگی اعضای زنجیره را با استفاده از تئوری بازی‌ها در راستای کاهش زوال‌پذیری بررسی کردند. در این پژوهش، به استراتژی مدیریتی توسعه انبار مشترک در این راستا توجه شده است.

یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های تأثیرگذار بر عملکرد زنجیره تأمین دارو، مدیریت موجودی‌هاست. معمولاً بین اهداف سیستم‌های سلامت و سیستم کنترل موجودی آنها، تناقضاتی وجود دارد که هماهنگی بخش‌های مختلف را بیش از پیش ضروری می‌کند؛ برای مثال اگر کمبود در سیستم اتفاق بیفتد، بیماران و کادر درمانی ممکن است نسبت به سیستم بی‌اعتماد شوند و از طرف دیگر اگر موجودی زیاد نگهداری شود، به سرمایه‌گذاری درخور توجه بر موجودی اضافی منجر می‌شود و هزینه‌های مرتبط با سرمایه راکد را به‌دنبال دارد (Maestre et al., 2018). در این شرایط، مدل‌های یکپارچگی و هماهنگی با فراهم‌کردن انگیزش‌های لازم برای اعضا، به عملکرد سراسری و فردی اعضای زنجیره تأمین منجر می‌شود.

در این مقاله، به یک شبکه توزیع دارو شامل توزیع‌کننده اصلی، شبکه‌ای از توزیع‌کنندگان فرعی و داروخانه‌ها با هدف بهینه‌سازی طول دوره سفارش‌ها در پاسخ مناسب و به‌موقع به بیماران و به‌کارگیری استراتژی‌های هماهنگی و مشارکت بین بازیگران زنجیره تأمین توجه شده است. استراتژی پیشنهادی در مدیریت موجودی شبکه توزیع دارویی مطالعه‌شده، یکپارچه‌سازی و تلفیق توزیع‌کنندگان فرعی با احداث انبار مشترک در راستای کاهش مدت زمان

ماندن محصولات دارویی در انبار و بهره‌مندی از سیاست صرفه‌جویی نسبت به مقیاس، پاسخ به موقع به نیازهای درمانی و در نهایت کاهش هزینه‌های موجودی است. این استراتژی مدیریت بهتر موجودی‌ها، کاهش ضایعات و در دسترس بودن پیوسته داروها را به همراه دارد (Ogbewe et al., 2024).

در ادامه این مقاله، در بخش دوم پیشینه تحقیقات مرتبط با موضوع تحقیق بررسی می‌شود تا شکاف‌های تحقیقاتی و نوآوری تحقیق بهتر مشخص شود. بخش سوم روش‌شناسی تحقیق و روش حل براساس داده‌های جمع‌آوری شده ارائه می‌شود. بخش چهارم، شرکت مطالعه‌شده و یافته‌های تحقیق معرفی می‌شود. در بخش پنجم بحث درباره نتایج است و در بخش ششم، تحلیل حساسیت مدل ارائه و در نهایت در بخش هفتم، نتیجه‌گیری مقاله بیان شده است.

## ۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

### ۲-۱ مدل‌های موجودی دارو

تاکنون تحقیقات درخور توجهی درباره مدل‌های موجودی مرتبط با دارو انجام شده است. کاکده و ویتالکار<sup>۲</sup> (۲۰۲۴)، چالش‌های مدیریت موجودی را در زنجیره تأمین دارو بررسی کردند و با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل داده‌ها و روش‌های مدیریت موجودی مانند JIT برای بهینه‌سازی موجودی، کاهش هزینه‌ها، بهبود دسترسی به داروها و کاهش کمبود دارو را نشان دادند. روجاس و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۴)، بر مدل‌های موجودی با تقاضای تصادفی تمرکز دارند و به نیاز به رویکردهای پیچیده برای مدیریت عدم قطعیت در تقاضا تأکید می‌کنند. وانگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۵) با فرض احتمالی بودن تقاضا و بهره‌مندی از داده‌های واقعی در راستای تعیین مقادیر بهینه موجودی، موجودی اطمینان و زمان بازپرسازی، از رویکرد تلفیقی شبیه‌سازی سیستم دینامیک و الگوریتم هیوریستیک پاول استفاده کردند. ازغندی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۸) با بررسی انواع اختلالاتی که موجب ایجاد کمبود در زنجیره تأمین دارو می‌شود، یک مدل ریاضی موجودی را تحت شرایط عدم قطعیت، با هدف حداقل‌سازی کمبود تحت شرایط این اختلال، ارائه کردند.

### ۲-۲ زوال‌پذیری

بسیاری از محققان، تحقیقات زیادی را درباره سیاست بازپرسازی موجودی کالاهای فاسدشدنی انجام داده‌اند. یو و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۲۰)، یک مدل کنترل موجودی محصولات فسادپذیر را تحت سیاست زیست‌محیطی انتشار گاز کربن توسعه دادند. در این مقاله با توسعه تجهیزات نگهداری محصولات زوال‌پذیر، نرخ زوال‌پذیری کاهش و در نتیجه آن، سود افزایش می‌یابد. احمدی و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۲۲) در راستای کاهش محصولات دارویی منقضی‌شده و حداکثر سازی سطح خدمت، یک مدل موجودی هوشمند را در زنجیره تأمین سلامت توسعه دادند. رمدهانی و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۲۲) برای دستیابی به اهداف پایداری و کاهش ضایعات دارویی در یک زنجیره تأمین دو سطحی، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیر خطی را توسعه دادند.

## ۳-۲ هماهنگی و یکپارچگی

با توجه به ساختار زنجیره تأمین دارو و حضور بازیگران متعدد، مطالعات متعددی برای هماهنگی و یکپارچگی مدل‌های موجودی انجام شده است. پریان و مالا<sup>۹</sup> (۲۰۲۰) با تأکید بر کیفیت مواد اولیه و محصولات نهایی زوال‌پذیر، که منقضی شده‌اند، یک مدل موجودی دارویی را با تأکید بر دستیابی به سطح خدمت مطلوب در دو سطح بیمارستان و شرکت دارویی ارائه و برای دستیابی به سطح بهینه خدمت، از تئوری بازی‌ها استفاده کردند. الرابی و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۲۱) با توسعه یک مدل موجودی متمرکز و سیاست موجودی بین داروخانه‌های محلی و بیمارستان‌ها و مقایسه آن با مدل غیرمتمرکز فعلی، به اهداف کاهش هزینه‌های سیستم و پاسخگویی مناسب به عدم قطعیت‌های موجود، دست یافتند. تات و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۲۱) با در نظر داشتن فاکتورهای اجتماعی در زنجیره تأمین دو سطحی دارو، با طراحی یک قرارداد تسهیم هزینه، سود کل زنجیره را افزایش دادند. مالزوارن و اوزاکومار<sup>۱۲</sup> (۲۰۲۲) با هدف دستیابی به اهداف پایداری و تمرکز بر کاهش داروهای منقضی شده، یک مدل هماهنگ و مشارکتی را در یک زنجیره تأمین دو سطحی توسعه دادند. تات و حیدری<sup>۱۳</sup> (۲۰۲۱) وجود داروهای تاریخ گذشته را با اهداف پایداری متناقض تشخیص و با طراحی استراتژی مشارکت و همکاری اعضای زنجیره، مدلی را برای دستیابی به این اهداف توسعه دادند. نعمت‌الهی و همکاران<sup>۱۴</sup> (۲۰۲۲) با در نظر گرفتن طول عمر داروها، استراتژی همکاری تسهیم سود را برای تعیین سطح بهینه موجودی اطمینان داروخانه‌ها و زمان بهینه بازدید و بازسازی توزیع‌کنندگان به کار بردند. مستوفی و همکاران (۲۰۲۳)، همکاری بین توزیع‌کنندگان را با استفاده از انبارهای مشترک را یک استراتژی برای کاهش زوال محصول پیشنهاد دادند. یک مطالعه دیگر، استراتژی‌های دیجیتال‌سازی را در زنجیره تأمین دارو بررسی و بر اهمیت ایجاد سیستم‌های زنجیره تأمین پایدار و انعطاف‌پذیر تأکید کرده است. این استراتژی‌ها شامل انبارهای مشترک برای بهینه‌سازی منابع و کاهش هزینه‌ها هستند (Shashi, 2023).

با توجه به بررسی انجام شده، مطالعات انجام شده در حوزه تحقیق همان‌طور که در جدول ۱ به صورت خلاصه مشاهده می‌شود، به‌طور هم‌زمان زوال‌پذیری، مدل‌های چند محصولی، استراتژی‌های یکپارچگی و استراتژی انبار مشترک در هیچ‌یک از مقالات سال‌های اخیر مشاهده نشده است که در این مقاله بررسی خواهد شد.

جدول ۱- خلاصه پیشینه موضوع

Table 1- Summary of the literature

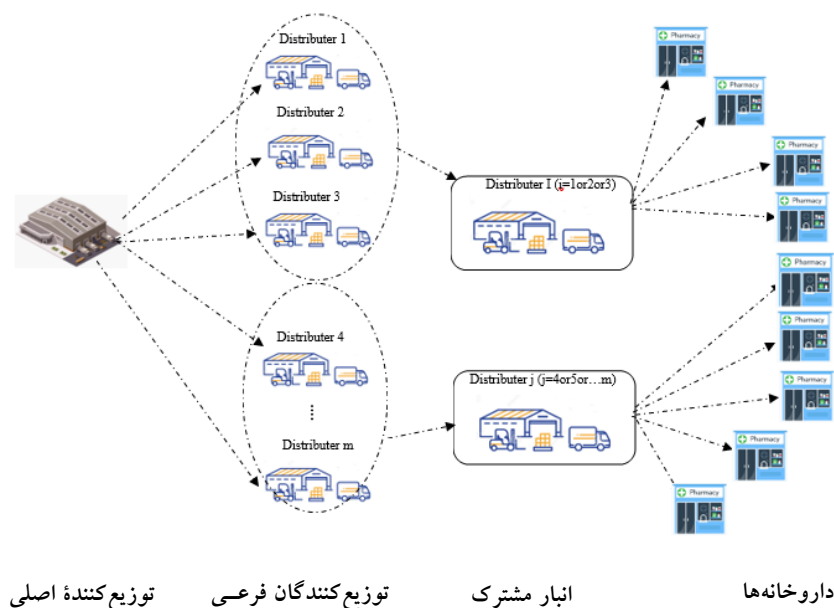
منابع	حالت‌ها		زنجیره تأمین		اعضای		استراتژی		استراتژی نوآورانه		عدم قطعیت
	زوال‌پذیری	زوال‌پذیری	توزیع‌کننده	داروخانه	توزیع‌کننده	ساز	مدیریت زنجیره	یکپارچگی	انبار مشترک	تجدید	
سرسی و همکاران <sup>۱۵</sup> (۲۰۲۵)	*		*			*	*	*	*	*	
کاکده و ویتالکار (۲۰۲۴)	*		*			*			*	*	
مویزروا و اکومونتو <sup>۱۶</sup> (۲۰۲۴)							*	*	*		
مستوفی و همکاران (۲۰۲۳)	*	*				*	*	*	*	*	
رمدهانی و همکاران (۲۰۲۲)	*	*	*	*	*				*	*	
تات و حیدری (۲۰۲۱)	*	*	*	*	*			*	*	*	

منابع	حالت‌ها		زنجیره تأمین		اعضای		استراتژی		عدم	
	زوال‌ناپذیری	زوال‌پذیری	تک‌محصولی	تک‌محصولی	توزیع‌کننده	ساز	مدیریت زنجیره	استراتژی نوآورانه	زنجیره	قطعییت
نعمت‌الهی و همکاران (۲۰۲۱)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
مالزوارن و اوزاکومار (۲۰۲۲)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
تات و همکاران (۲۰۲۱)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
الرابی و همکاران (۲۰۲۱)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
یو و همکاران (۲۰۲۰)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
پریان و مالا (۲۰۲۰)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
پوتری و همکاران (۲۰۱۹)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
مقاله حاضر	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

### ۳- روش‌شناسی پژوهش

#### ۳-۱ تعریف مسئله

در این تحقیق، شبکه‌ای از توزیع‌کنندگان مطالعه شده است که هر کدام وظیفه تأمین داروهای خاصی را برای یک محدوده جغرافیایی بر عهده دارند. هر توزیع‌کننده مجموعه‌ای از داروخانه‌ها را پوشش می‌دهد که در شبکه زنجیره تأمین، به عبارتی هر داروخانه متناسب به یک توزیع‌کننده است. با توجه به اینکه داروها وارداتی‌اند، هزینه سفارش‌دهی داروها، نسبتاً زیاد است. همچنین هر کدام از داروها عمر محدودی دارند و اگر قبل از رسیدن به عمر خود از انبار توزیع‌کنندگان خارج نشوند، فاسد می‌شوند و هزینه‌های اضافی را به توزیع‌کنندگان تحمیل می‌کنند. در شکل ۱، شبکه زنجیره تأمین مدنظر نشان داده شده است.



شکل ۱- شبکه زنجیره تأمین مطالعه‌شده

Fig. 1- Research Supply Chain Network

دیگر مفروضات مدل به شرح زیر است:

- (۱) مدل پیشنهادی، یک مدل چند محصولی است؛
  - (۲) تقاضای داروخانه‌ها و بیماران از توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار مشخص پیروی می‌کند؛
  - (۳) هر کدام از داروها عمر مشخص دارند و دوره سفارش محصولات در داروخانه برای جلوگیری از فاسدشدن داروها باید کمتر از حداکثر عمر مفید داروها باشد؛
  - (۴) توزیع‌کنندگان فرعی از سیستم کنترل موجودی نقطه سفارش (RP,Q) استفاده می‌کنند؛
  - (۴) دوره سفارش برای همه محصولات یک توزیع‌کننده فرعی یکسان در نظر گرفته می‌شود؛
  - (۵) تلفیق توزیع‌کنندگان فرعی و احداث انبار مشترک، با در نظر گرفتن شهرهای شیراز، اصفهان و بوشهر انجام می‌شود؛
  - (۶) داروخانه‌ها از سیستم موجودی مرور دوره‌ای استفاده می‌کنند؛
  - (۷) کمبود در زنجیره تأمین بررسی شده مجاز است.
- نمادگذاری استفاده شده در تحقیق، به شرح زیر است:

اندیس	توضیحات
I	اندیس داروخانه‌ها
K	اندیس داروها
J	اندیس توزیع‌کنندگان فرعی
پارامتر	توضیحات
$P_j$	مجموعه تمام داروخانه‌های تحت پوشش توزیع‌کننده فرعی $j$
$d_{ik}$	میانگین تقاضای داروخانه $i$ برای داروی $k$
$v_{ik}$	واریانس تقاضای داروخانه $i$ برای داروی $k$
$D_{ik}$	میانگین تقاضای توزیع‌کننده فرعی $j$ برای داروی $k$
$V_{ik}$	واریانس تقاضای توزیع‌کننده فرعی $j$ برای داروی $k$
$h_{jk}$	هزینه نگهداری یک واحد دارو $k$ در توزیع‌کننده فرعی $j$
$h_{ik}$	هزینه نگهداری یک واحد دارو $k$ در داروخانه $i$
$\pi_{jk}$	هزینه هر واحد کمبود پس‌افت شده داروی $k$ در توزیع‌کننده فرعی $j$
$\pi_{ik}$	هزینه هر واحد کمبود فروش از دست رفته داروی $k$ در داروخانه $i$
$O_j$	هزینه سفارش‌دهی از سوی توزیع‌کننده فرعی $j$ در هر بار سفارش
$O_i$	هزینه سفارش‌دهی از سوی داروخانه $i$ در هر بار سفارش
$LF_k$	عمر مفید داروی $k$
$LT_j$	متوسط مدت‌زمان تحویل از توزیع‌کننده اصلی به توزیع‌کننده فرعی $j$
$LT_{ij}$	متوسط مدت‌زمان تحویل از توزیع‌کننده فرعی $j$ به داروخانه $i$
$FC_j$	هزینه ثابت تسهیلات توزیع‌کننده فرعی $j$

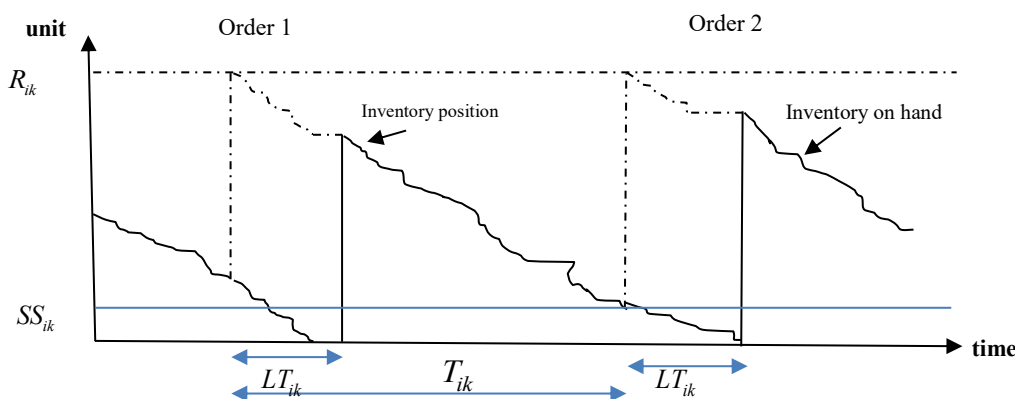
FA <sub>jj</sub>	هزینه ثابت (مازاد) احداث انبار مشترک در توزیع کننده j در صورت تلفیق توزیع کننده فرعی j به آن
VT	هزینه ثابت حمل و نقل یک واحد محصول در واحد مسافت
LP <sub>k</sub>	مدت زمان مورد انتظار از زمان تحویل دارو k از سوی توزیع کننده فرعی به داروخانه‌ها تا زمان مصرف دارو از سوی بیماران
LP' <sub>k</sub>	مدت زمان مورد انتظار از زمان تحویل دارو k به بیمار در داروخانه تا زمان صرف دارو از سوی بیماران
RP <sub>jk</sub>	نقطه سفارش توزیع کننده فرعی j برای داروی k
dis1 <sub>j</sub>	مسافت حمل و نقل از توزیع کننده اصلی تا توزیع کننده فرعی j
dis2 <sub>ij</sub>	مسافت حمل و نقل از داروخانه i تا توزیع کننده فرعی j
Es <sub>ik</sub>	کمبود مورد انتظار برای داروی k در داروخانه i
Eh <sub>ik</sub>	موجودی در دست مورد انتظار برای داروی k در داروخانه i
$\alpha$	احتمال مواجه نشدن با کمبود توزیع کنندگان فرعی
$\alpha'$	احتمال مواجه نشدن با کمبود داروخانه‌ها
<b>متغیر</b>	<b>توضیحات</b>
SS <sub>jk</sub>	موجودی اطمینان داروی k در توزیع کننده فرعی j
T <sub>j</sub>	مدت زمان یک دوره سفارش توزیع کننده فرعی j
T <sub>i</sub>	مدت زمان یک دوره سفارش داروخانه i
$\gamma_{jj'}$	متغیر باینری با مقدار ۱ در صورتی که توزیع کننده فرعی j، انبار مشترک انتخاب شود و توزیع کننده فرعی j' به آن تخصیص یافته باشد و با آن تلفیق شود
$\gamma_{jj}$	متغیر باینری با مقدار ۱ در صورتی که توزیع کننده فرعی j، انبار مشترک انتخاب شود
R <sub>ik</sub>	حداکثر سطح موجودی داروی k در داروخانه i
$\Pi_j^{nc}$	تابع هزینه توزیع کننده فرعی j
$\Pi^{nc}$	تابع هزینه زنجیره تأمین غیر یکپارچه
$\Pi^c$	تابع هزینه زنجیره تأمین یکپارچه در حالت احداث انبار مشترک
TAC <sub>i,j</sub>	تابع هزینه داروخانه‌های منسوب به توزیع کننده فرعی j

### ۲-۳ مدل‌های کنترل موجودی

#### ۱-۲-۳ سیستم کنترل موجودی داروخانه‌ها

در شکل ۲، نمودار موجودی یک داروخانه نمایش داده شده است. تقاضای داروخانه‌ها احتمالی و با توزیع نرمال است. سیاست توزیع تقاضای مورد نیاز داروخانه‌ها، به این صورت است که داروخانه‌ها در دوره‌های مشخص، موجودی هر قلم دوره خود را بررسی می‌کنند و سپس آن را به میزانی سفارش می‌دهند که سطح موجودی‌شان به میزان از پیش تعیین شده‌ای برسد؛ از این رو، سیاست تنظیم موجودی داروخانه‌ها سیاست (R, T)

است که در آن،  $R$  سطح موجودی هدف و  $T$  دوره‌های مرور است. با فرض اینکه در لحظه مرور، سطح موجودی  $I$  باشد، مقدار سفارش برابر  $Q=R-I$  است که این میزان سفارش پس از یک مدت‌زمان مشخص، تحویل داده می‌شود.



شکل ۲- نمودار موجودی داروخانه

Fig. 2- Pharmacy Inventory Chart

تقاضای داروی  $k$  در داروخانه  $i$  در مدت‌زمان طول دوره به اضافه مدت‌زمان تحویل از توزیع نرمال با میانگین  $d_{ik}(T_i + LT_i)$  و انحراف معیار  $v_{ik}\sqrt{T_i + LT_i}$  پیروی می‌کند؛ از این رو سطح موجودی هدف برای داروی  $k$  در داروخانه  $i$  به صورت مجموع تقاضا در مدت‌زمان تحویل، به اضافه طول یک دوره و سطح موجودی اطمینان با استفاده از رابطه ۱ تعیین می‌شود.

$$R_{ik} = d_{ik}(T_i + LT_i) + Z_{\alpha'} v_{ik} \sqrt{T_i + LT_i} \quad \forall i, k \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $Z_{\alpha'}$  نشان‌دهنده فاکتور اطمینان انتخابی برای داروخانه  $i$  و داروی  $k$  است و در  $P(X_{ik} \geq R_{ik}) = \alpha'$  صدق می‌کند. در این رابطه  $\alpha'$  مقدار مشخص و سطح پذیرفتنی کمبود در بازه  $T_i + LT_i$  است. کمبود مورد انتظار در هر دوره برای داروی  $k$  در داروخانه  $i$  براساس مدل مرور دوره‌ای زمانی که تقاضا دارای توزیع نرمال باشد، براساس رابطه ۲ برآورد می‌شود.

$$ES_{ik} = v_{ik} \sqrt{T_i + LT_i} [f_z(z) - Z_{\alpha'} [1 - \Phi_z(z)]] = v_{ik} \sqrt{T_i + LT_i} G_z(z_{\alpha'}) \quad (2)$$

در این رابطه  $f_z(z)$  و  $\Phi_z(z)$  به ترتیب تابع چگالی و تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد و در رابطه فوق، عبارت  $G_z(z_{\alpha'})$  با استفاده از رابطه (۳) تعریف می‌شود و با معلوم بودن  $Z_{\alpha'}$ ، از جداول استاندارد استخراج شدنی است.

$$G_z(z_{\alpha'}) = \int_{z_{\alpha'}}^{\infty} (t - z_{\alpha'}) \cdot f_z(z) \cdot dt \quad (3)$$

اویانگ و چانگ<sup>۱۷</sup> (۲۰۰۰) موجودی در دست مورد انتظار را برای داروی  $k$  در داروخانه  $i$  در سیستم مرور دوره‌ای، به صورت زیر نشان دادند.

$$Eh_{ik} = R_{ik} - d_{ik}LT_i - \frac{d_{ik}T_i}{2} + ES_{ik} \quad \forall i, k \quad (4)$$

بر اساس رابطه اول،  $R_{ik}$  تابعی از فاکتور اطمینان  $Z_{\alpha'}$  است. بر این اساس، برای سهولت محاسبات در تابع هزینه موجودی داروخانه‌ها، با جای‌گذاری رابطه ۱ در رابطه ۴ داریم

$$Eh_{ik} = \left[ \frac{d_{ik}T_i}{2} + Z_{\alpha'} v_{ik} \sqrt{T_i + LT_i} + v_{ik} \sqrt{T_i + LT_i} G_z(z_{\alpha'}) \right] \quad \forall i, k \quad (5)$$

با توجه به اینکه در این حالت، همه داروها با هم سفارش داده می‌شود، مدل بهینه‌سازی که برای این منظور استفاده می‌شود، به شرح زیر است:

مدل ۱:

$$TAC_{ij} = \frac{O_i}{T_i} + \sum_k \left( h_{ik} \left( \left[ \frac{d_{ik} T_i}{2} + Z_{\alpha'} v_{ik} \sqrt{T_i + LT_i} + v_{ik} \sqrt{T_i + LT_i} G_Z(Z_{\alpha'}) \right] \right) + \frac{\pi_{ik}}{T_i} [v_{ik} \sqrt{T_i + LT_i} G_Z(Z_{\alpha'})] \right) v_{i,j} \quad (6)$$

s.t.

$$T_i + \frac{Z_{\alpha'} v_{ik} \sqrt{T_i + LT_i}}{d_{ik}} + LT_i + LP'_k \leq LF_k \quad \forall i, k \quad (7)$$

$$T_i \geq 0 \quad (8)$$

در این مدل، رابطه ۶ تابع هزینه موجودی است که به ترتیب شامل هزینه سفارش‌دهی، هزینه نگهداری و هزینه کمبود و رابطه ۷، محدودیت مربوط به طول عمر داروهاست.

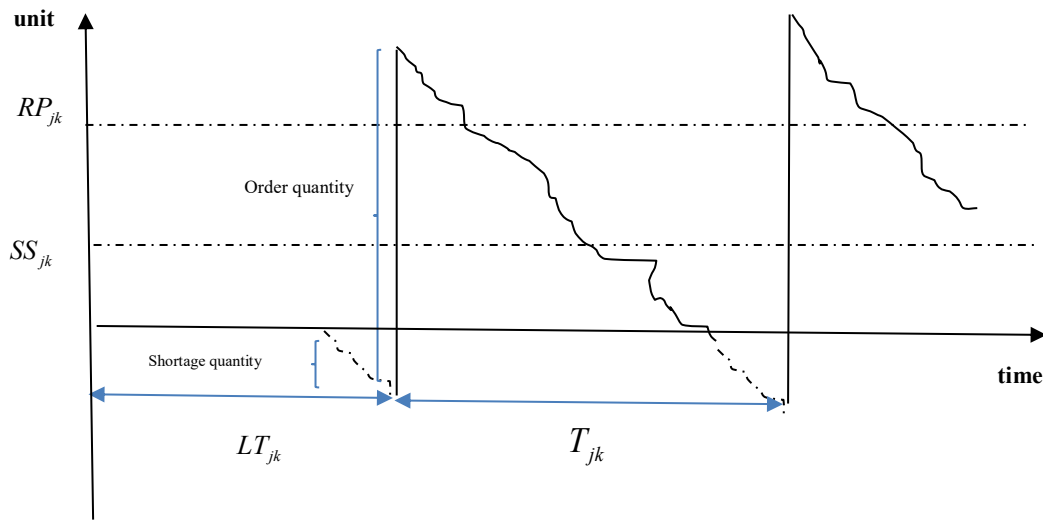
$$\frac{\partial TAC_{ij}}{\partial T_i} = -\frac{1}{T_i^2} + \sum_k \left( h_{ik} \left( \left[ \frac{d_{ik}}{2} + (Z_{\alpha'} v_{ik} + v_{ik} G_Z(Z_{\alpha'})) \frac{1}{\sqrt{T_i + LT_i}} \right] \right) + \pi_{ik} v_{ik} G_Z(Z_{\alpha'}) \left[ \frac{-LT_i}{T_i^2 \sqrt{T_i + LT_i}} \right] \right) = 0 \quad (9)$$

با استفاده از روش تقریب عددی برای رابطه ۹، مقادیر بهینه  $T_i$  بررسی و با استفاده از شرایط لم ۱، محدب بودن تابع اثبات می‌شود. نکته مهم این است در صورتی که مقدار بهینه به دست آمده برای  $T_i$  در محدودیت دوره عمر دارو صدق نکرد، مقدار بهینه برابر با مقداری است که محدودیت را به تساوی تبدیل می‌کند. برای اعتبارسنجی پاسخ‌های به دست آمده با توجه به لم ۱، محدب بودن تابع تحت شرایط مطرح شده، اثبات می‌شود. لم ۱: برای هر داروی نوع  $k$ ، در صورتی که رابطه ۱۰ برقرار باشد، تابع رابطه ۶ محدب است.

$$\forall k \quad T_i^3 \leq \frac{\pi_{ik}}{h_{ik} Z_{\alpha'}} (3T_i^2 + 12T_i LT_i + 8LT_i^2) \quad (10)$$

### ۳-۲-۲ سیستم کنترل موجودی توزیع‌کنندگان

در نمودار شکل (۳)، نمودار موجودی توزیع‌کننده فرعی نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، این توزیع‌کننده از سیستم موجودی مرور دائم و مدل کنترل موجودی نقطه سفارش  $(RP_{kj}, Q_{jk})$  استفاده می‌کند. در این سیستم، زمانی که سطح موجودی به  $RP_{jk}$  رسید، توزیع‌کننده به میزان  $Q_{jk}$  واحد داروی  $k$  را سفارش می‌دهد. این سفارش به مدت زمان  $LT_j$  به طول می‌انجامد تا به انبار توزیع‌کننده برسد و اگر تقاضا در این مدت بیشتر از  $RP_{jk}$  بود، توزیع‌کننده با کمبود مواجه می‌شود.



شکل ۳- نمودار موجودی توزیع کننده فرعی j

Fig. 3- Inventory control diagram of sub-distributor j

با در نظر گرفتن سطح اطمینان  $\alpha$  و با توجه به اینکه تقاضای توزیع نرمال دارد، سطح موجودی اطمینان  $SS_{jk}$  با استفاده از رابطه (۱۱) تعیین می شود.

$$SS_{jk} = Z_{\alpha} \cdot V_{jk} \cdot \sqrt{LT_j} \quad (11)$$

در رابطه فوق،  $Z_{\alpha}$  نشان دهنده مقداری از یک متغیر توزیع نرمال استاندارد است که مقدار توزیع تجمعی توزیع احتمال در آن، متغیر برابر  $\alpha$  است. همچنین  $V_{jk}$  انحراف معیار تقاضای توزیع کننده فرعی j از داروی k است که به تعداد داروخانه های تخصیص داده به آن بستگی دارد. با مشخص بودن سطح اطمینان در یک توزیع کننده فرعی، متوسط کمبود در هر دوره، با استفاده از رابطه (۱۲) به دست می آید.

$$E(D_{jk} \geq RP_{jk}) = V_{jk} \cdot G_z(Z_{\alpha}) \quad (12)$$

هرکدام از توزیع کنندگان، مسئول تأمین موجودی برای تقاضای داروخانه های منسوب به خودند. به وضوح، توزیع کننده j مقدار سفارش خود را به نحوی تعیین می کند که مجموع هزینه ها حداقل شود. این هزینه ها شامل نگهداری، سفارش دهی، کمبود، حمل و نقل و هزینه ثابت تسهیلات توزیع کننده j می شود؛ از این رو، توزیع کننده j از مدل (۲) برای تعیین سیاست بهینه خود استفاده می کند:

#### مدل (۲)

$$\text{Min } \Pi_j^{nc} = \sum_k \left( \frac{O_j}{T_j} + h_j \left( \frac{D_{jk} \cdot T_j}{2} + Z_{\alpha} V_{jk} \sqrt{LT_j} \right) + \frac{\pi_{jk} V_{jk} G_z(Z_{\alpha})}{T_j} \right) + FC_j + \sum_{i \in P_j} V T_{kj} (\text{dis}1_j + \text{dis}2_{ij}) d_{ik} \quad (13)$$

s.t.

$$T_j \leq LF_k - LP_k - LT_j - \frac{Z_{\alpha} \cdot V_{jk} \cdot \sqrt{LT_j}}{D_{j,k}} \quad \forall j, k \quad (14)$$

$$T_j \geq 0 \quad \forall j \quad (15)$$

رابطه (۱۳)، تابع هدف توزیع کننده را نشان می دهد که عبارات آن به ترتیب هزینه سفارش دهی، نگهداری متوسط موجودی مورد نیاز داروخانه ها و موجودی اطمینان، هزینه کمبود و هزینه متغیر حمل و نقل سفارش داروخانه ها از توزیع کننده اصلی به توزیع کننده فرعی و از توزیع کننده فرعی به آنهاست. هزینه ثابت حمل و نقل سفارش های دسته ای که از توزیع کننده اصلی به توزیع کننده فرعی انجام می شود، در عبارت هزینه ثابت سفارش دهی نهفته است. رابطه (۱۴) نیز، محدودیتی است که عمر محدود محصولات را به زنجیره تأمین تحمیل می کند. تابع هدف، یک تابع محدب پیوسته است و با استفاده از شرط بهینگی مرتبه اول و قراردادن مشتق تابع نسبت به  $T_j$  برابر با صفر مقدار بهینه  $T_j$  با استفاده از رابطه ۱۶ استخراج می شود.

$$\frac{\partial \Pi_j^{nc}}{\partial T_j} = \frac{-\left(\sum_k O_j + \sum_k (\pi_{jk} \cdot V_{jk} \cdot G_z(z_\alpha))\right)}{T_j^2} + \frac{\sum_k h_{jk} \cdot D_{jk}}{2} = 0 \rightarrow$$

$$T_j = \sqrt{\frac{2(\sum_k O_j + \sum_k (\pi_{jk} \cdot V_{jk} \cdot G_z(z_\alpha)))}{\sum_k h_{jk} \cdot D_{jk}}} \quad (16)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_j^{nc}}{\partial T_j^2} = \frac{(\sum_k O_j + \sum_k (\pi_{jk} \cdot V_{jk} \cdot G_z(z_\alpha)))}{T_j^3} \geq 0$$

### ۳-۲-۳ مدل های کنترل موجودی زنجیره تأمین

#### ۳-۲-۳-۱ مدل کنترل موجودی غیریکپارچه زنجیره تأمین

هرکدام از توزیع کنندگان، مسئول تأمین موجودی برای تقاضای داروخانه های منسوب به خودند. در این حالت، متوسط تقاضای توزیع کننده ز و واریانس تقاضای آنها مانند مدل موجودی تعریف شده برای توزیع کنندگان فرعی است. توزیع کنندگان و داروخانه های منسوب به هریک از آنها، مقدار سفارش خود را به نحوی تعیین می کنند که مجموع هزینه های موجودی در کل زنجیره حداقل شود. این هزینه ها شامل سفارش دهی، نگهداری، کمبود و حمل و نقل برای توزیع کنندگان فرعی و سفارش دهی، نگهداری، کمبود برای داروخانه ها می شود؛ از این رو، در حالت غیر یکپارچه، از مدل (۳) برای تعیین سیاست بهینه اعضای زنجیره تأمین استفاده می شود:

مدل (۳)

$$\text{MIN } \Pi^{nc} = \sum_j \left( \Pi_j^{nc} + \sum_{i \in P_j} \text{TAC}_{ij} \right) \quad (17)$$

$$T_j \leq \text{LF}_k - \text{LP}_k - \text{LT}_j - \frac{Z_\alpha \cdot V_{jk} \cdot \sqrt{\text{LT}_j}}{D_{j,k}} \quad \forall j, k \quad (18)$$

$$T_i + \frac{Z_\alpha \cdot V_{ik} \cdot \sqrt{T_i + \text{LT}_i}}{D_{ik}} + \text{LT}_i + \text{LP}'_k \leq \text{LF}_k \quad \forall i, k \quad (19)$$

$$T_j, T_i \geq 0 \quad \forall i, j \quad (20)$$

رابطه (۱۷) تابع هدف مربوط به زنجیره تأمین بررسی شده را نشان می دهد که عبارات آن به ترتیب هزینه توزیع کننده فرعی و داروخانه های منسوب به هریک از آنهاست. رابطه (۱۸) و (۱۹) نیز، محدودیت هایی است که عمر محدود را محصولات به زنجیره تأمین تحمیل می کند.

### ۳-۲-۳ مدل یکپارچه توزیع کنندگان با احداث انبار مشترک

احداث انبار مشترک و تلفیق توزیع کنندگان، به کاهش هزینه‌های توزیع و مشکلات مربوط به زوال‌پذیری منجر می‌شود. امکان‌سنجی تلفیق و احداث انبار مشترک، هم در طراحی زنجیره تأمین و شروع کار شرکت‌های توزیع‌کننده بررسی می‌شود و هم این ایده نسبت به تلفیق توزیع کنندگان موجود برای یک طراحی بهینه، به کار می‌رود. مدل یکپارچه توزیع کنندگان در این حالت، به شرح مدل (۴) ارائه می‌شود:

#### مدل (۴)

$$\begin{aligned} \text{Min } \Pi^c = & \sum_k \sum_j \left( \frac{O_j}{T_j} + h_{jk} \left( \frac{D_{jk} \cdot T_j}{2} + Z_{\alpha} \cdot V_{jk} \cdot \sqrt{LT_j} \right) + \frac{\pi_{jk} V_{jk} G_z(Z_{\alpha})}{T_j} \right) + \\ & + \sum_{j'} \sum_{i \in P_{j'}} VT \cdot (\text{dis1}_j + \text{dis2}_{ij}) d_{ik} y_{jj'} \\ & + \sum_j FC_j y_{jj} + \sum_j \sum_{j' | j' \neq j} FA_{jj'} y_{jj'} + \sum_j \sum_{j' | j' \neq j} \sum_{i \in J'} TAC_{ij} y_{jj'} \end{aligned} \quad (21)$$

s.t.

$$D_{jk} = \sum_{j'} D_{j'k} \cdot y_{jj'} \quad \forall j, k \quad (22)$$

$$\sum_j y_{jj'} = 1 \quad \forall j' \quad (23)$$

$$\sum_j y_{jj} \geq 1 \quad (24)$$

$$y_{jj'} - y_{jj} \leq 0 \quad \forall j, j' \quad (25)$$

$$T_j \leq LF_k - LP_k - LT_j - \frac{Z_{\alpha} \cdot V_{jk} \cdot \sqrt{LT_j}}{D_{jk}} \quad \forall j, k \quad (26)$$

$$T_i + \frac{Z_{\alpha} \cdot V_{ik} \cdot \sqrt{T_i + LT_i}}{D_{ik}} + LT_i + LP'_k \leq LF_k \quad \forall i, k \quad (27)$$

$$T_i \geq 0, T_j \geq \varepsilon, y_{jj'} = 0 \text{ or } 1 \quad y_{jj} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall j \quad (28)$$

رابطه (۲۱)، تابع هدف در مدل یکپارچه را نشان می‌دهد که با توجه به رابطه (۲۲) که تقاضا را به انبارهای مشترک اختصاص می‌دهد، تنها شامل هزینه‌های مربوط به انبارهای مشترک است و اجزای هزینه آن مشابه به هزینه توزیع‌کننده‌ها در حالت مدل ۳ است؛ اما تنها با این تفاوت که هزینه‌های داروخانه‌های هر توزیع‌کننده را به توزیع‌کننده‌ای مرتبط کرده است که به آن تخصیص یافته است. رابطه (۲۳) نشان می‌دهد که هر توزیع‌کننده باید به یک انبار مشترک تخصیص یابد. مطابق با رابطه (۲۴)، حداقل یک انبار مشترک باید در شبکه زنجیره تأمین وجود داشته باشد تا تقاضای داروخانه‌ها تأمین شود. در رابطه (۲۵)، در صورتی که توزیع‌کننده‌ای به‌عنوان انبار مشترک انتخاب نشود، مقدار  $y_{jj}$  برابر ۱ نمی‌شود و بر این اساس، اجازه تخصیص دیگر توزیع‌کنندگان به آن فراهم نیست. رابطه (۲۶) و (۲۷) نیز محدودیت عمر مفید محصولات بوده است که با توجه به تعریف تقاضا در رابطه (۲۲)، تنها برای انبارهای مشترک محاسبه می‌شود. رابطه (۲۸)، طول دوره سفارش هرکدام از توزیع‌کنندگان را بزرگ‌تر از عدد بسیار کوچکی قرار می‌دهد و این تمهید از این رو استفاده شده است که اگر یک توزیع‌کننده به‌عنوان انبار مشترک انتخاب نشده باشد، آنگاه مقدار  $T_j$  آن اگر صفر باشد، در تابع هدف مشکل تقسیم بر صفر ایجاد و باعث خطا در

حل مدل می‌شود؛ از این رو، به جای اینکه تنها  $T_j$  بزرگ‌تر یا مساوی صفر قرار داده شود، آن را بزرگ‌تر یا مساوی عدد بسیار کوچک قرار می‌دهد تا مشکل تقسیم بر صفر را حل کند.

در مدل ۴ با مشخص شدن متغیرهای  $y_{ij}$  در محدودیت ۲۵، تابع هدف مدل، مجموعی از چندین تابع هدف محذب می‌شود که با قراردادن مشتق آن برابر با صفر، مقدار متغیرهای  $T_j, T_i$  را به دست آورد و محدودیت ۲۶ و ۲۷ برای هر کدام از مقادیر  $T_j, T_i$  نقض شد، مقدار  $T_j, T_i$  نیز برابر با عددی خواهد بود که این محدودیت‌ها را به شکل تساوی تبدیل کند؛ بنابراین کافی است از یک الگوریتم شمارش کامل و یا یک الگوریتم فراابتکاری (در صورت زیادبودن متغیرها) برای تعیین مقادیر  $y_{ij}$  استفاده کرد.

### ۳-۳ روش حل

در این مقاله برای حل مدل یکپارچه، از الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی ذرات برای یافتن جواب‌های نزدیک به بهینه و برای حل مدل غیریکپارچه، از روش‌های محاسباتی دقیق استفاده شده است. بر این اساس، چگونگی حل مسئله از طریق این الگوریتم تشریح داده می‌شود. همچنین پارامترهای مربوط به الگوریتم با روش تاگوچی تعیین می‌شود.

### ۱-۳-۳ الگوریتم بهینه‌سازی ذرات

این الگوریتم الهام‌گرفته از رفتار ماهی‌ها و پرندگان است و از تعدادی ذره استفاده می‌کند که تشکیل یک ازدحام می‌دهند و در فضای جواب، به دنبال بهترین جواب حرکت می‌کنند. هر ذره در فضای جست‌وجو، مسیر حرکت خود را براساس تجربیات فردی حرکات خود و همچنین تجربیات حرکات ذرات دیگر، تعیین می‌کند. هر ذره، بهترین موقعیت خود<sup>۱۸</sup> و ارزش آن موقعیت و همچنین بهترین موقعیت کل ازدحام<sup>۱۹</sup> و ارزش آن موقعیت را که تاکنون یافت شده است، در حافظه حفظ و بر این اساس، مسیر حرکت خود را به‌روز می‌کند.

اگر فرض شود که هر ذره در یک فضای  $n$  بعدی حرکت می‌کند، بردار موقعیت ذره  $i$  و همچنین بردار سرعت ذره  $i$  به ترتیب با  $\mathbf{x}_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,n}) \in \mathbb{R}^n$  و  $\mathbf{v}_i = (v_{i,1}, v_{i,2}, \dots, v_{i,n}) \in \mathbb{R}^n$  نشان داده می‌شود و سپس بعد از هر تکرار الگوریتم، موقعیت حرکت و سرعت ذره با استفاده از روابط (۲۸) و (۲۹)، به‌روز می‌شود.

$$\mathbf{v}_i^{k+1} = \chi[\mathbf{v}_i^k + c_1 r_1^k (\text{pbest}_i - \mathbf{x}_i^k) + c_2 r_2^k (\text{gbest} - \mathbf{x}_i^k)] \quad (29)$$

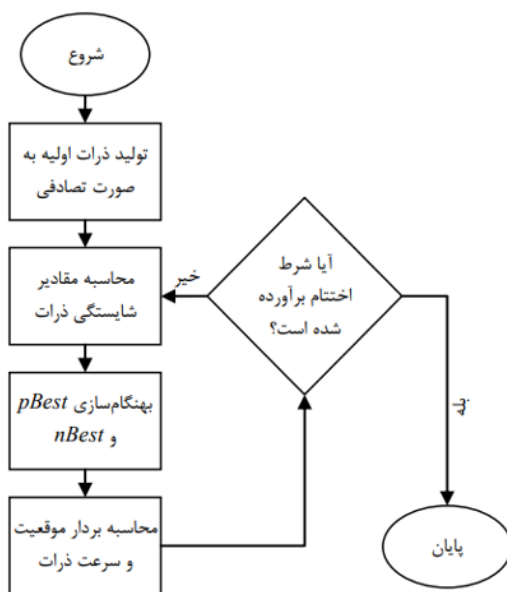
$$\mathbf{x}_i^{k+1} = \mathbf{x}_i^k + \mathbf{v}_i^{k+1} \quad (30)$$

در رابطه (۲۹)،  $\chi$  به‌جای مؤلفه اینرسی<sup>۲۰</sup> (Serani et al., 2016)  $c_1$  مؤلفه ادراکی و  $c_2$  مؤلفه آموزش اجتماعی نامیده می‌شود. همچنین  $r_1$  و  $r_2$  اعداد تصادفی بین ۰ و ۱ هستند. بر این اساس به‌منظور فراهم‌کردن شرایط لازم برای جلوگیری از واگرایی ذرات، باید شرایط زیر فراهم باشد.

$$\chi = \frac{2}{\sqrt{2-\varphi-\sqrt{\varphi^2-4\varphi}}} \text{ where } \varphi = c_1 + c_2, \varphi > 4 \quad (31)$$

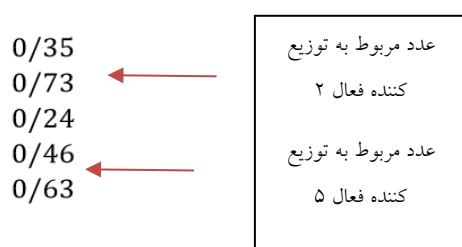
همچنین شرایط آغازین الگوریتم نیز باید مشخص شود. بردار موقعیت ذرات به‌صورت تصادفی و یا با استفاده از روش‌های ابتکاری ایجاد می‌شود و ذرات اولیه باید طوری مقاردهی شوند که پراکندگی کافی را تضمین کنند.

بردار سرعت اولیه عموماً صفر در نظر گرفته می‌شود؛ ولی اگر قرار است به صورت تصادفی مقداردهی شود، باید این مقادیر بسیار کوچک باشند. به طور کلی ساختار الگوریتم بهینه‌سازی ذرات به صورت شکل ۴ است.



شکل ۴- ساختار الگوریتم بهینه سازی ذرات

Fig. 4. Structure of particle optimization algorithm



شکل ۶- ستون توزیع کننده ۱

Fig. 6. Distributer column 1

$$R = \begin{bmatrix} 0/35 & 0/17 & 0/61 & 0/39 & 0/26 \\ 0/73 & 0/6 & 0/42 & 0/28 & 0/51 \\ 0/24 & 0/68 & 0/43 & 0/7 & 0/1 \\ 0/46 & 0/45 & 0/27 & 0/38 & 0/48 \\ 0/63 & 0/91 & 0/29 & 0/41 & 0/88 \end{bmatrix}$$

شکل ۵- ماتریس R جهت تعیین جواب اولیه

Fig. 5. Matrix R is used to determine the initial solution

در این مقاله برای حل مدل یکپارچه، تخصیص اولیه به صورت تصادفی به دست می‌آید. به این ترتیب که با فرض اینکه ۵ توزیع کننده وجود داشته باشد، با تشکیل یک ماتریس ۵ در ۵ و تولید اعداد تصادفی، در درایه‌های قطری ماتریس، سطر یا ستونی متناظر با عدد بزرگ‌تر از ۰/۵، توزیع کننده فعال در نظر گرفته می‌شود. حال اگر با این اعداد تولید شده، توزیع کننده‌ای فعال نشود، در ستون متناظر با این توزیع کننده، از بین اعداد تولید شده، تنها اعداد متناظر با سطر توزیع کنندگان فعال در نظر گرفته و این توزیع کننده به توزیع کننده فعال با بزرگ‌ترین عدد تخصیص داده می‌شود.

برای مثال، در ماتریس R (شکل ۵) با بررسی درایه‌های قطری، توزیع کننده ۲ و ۵، توزیع کنندگان فعال زنجیره انتخاب شده‌اند. بر این اساس، توزیع کنندگان ۱، ۳ و ۴ باید به یکی از این توزیع کنندگان تخصیص یابند. با توجه به شکل ۶ و اعداد ستون مربوط به آن، توزیع کننده ۱ به توزیع کننده فعال ۲ تخصیص می‌یابد. به همین ترتیب توزیع کننده ۳ به توزیع کننده ۲ و توزیع کننده ۴ به توزیع کننده ۵ تخصیص می‌یابد. مسئله با این جواب اولیه، شروع به حل می‌کند.

## ۳-۳-۲ بهینه‌سازی تنظیمات پارامتر الگوریتم ذرات با استفاده از روش تاگوچی

تنظیمات پارامترهای الگوریتم‌های فراابتکاری، تأثیر زیادی بر عملکرد آنها دارد. تحلیل تاگوچی معمولاً در بهینه‌سازی تنظیمات پارامتر استفاده می‌شود. روش تاگوچی به‌جای استفاده مستقیم از مقادیر راه‌حل، از نسبت سیگنال به نویز (S/N) برای ارزیابی راه‌حل‌ها استفاده می‌کند. در این نسبت، S درجه مطلوبیت و N درجه بی‌فایده بودن است؛ بنابراین، هدف افزایش هرچه بیشتر این نسبت است. با توجه به تعداد فاکتورها و سطوح، ۹ آزمایش تاگوچی برای بهینه‌سازی تنظیمات پارامتر طراحی و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار مینی‌تب استفاده شده است. برای مقادیر پارامترهای در نظر گرفته شده در آزمایش‌ها، سه سطح انتخاب می‌شود. به عبارت دیگر، چهار پارامتر تعداد ذرات n، تعداد تکرارها m، مؤلفه ادراکی  $C_1$  و مؤلفه آموزشی اجتماعی هرکدام با سه سطح در فرآیند کالیبراسیون الگوریتم ذرات در نظر گرفته شده است (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج اجرای الگوریتم تاگوچی

Table 2. Result of running Taguchi Algorithm

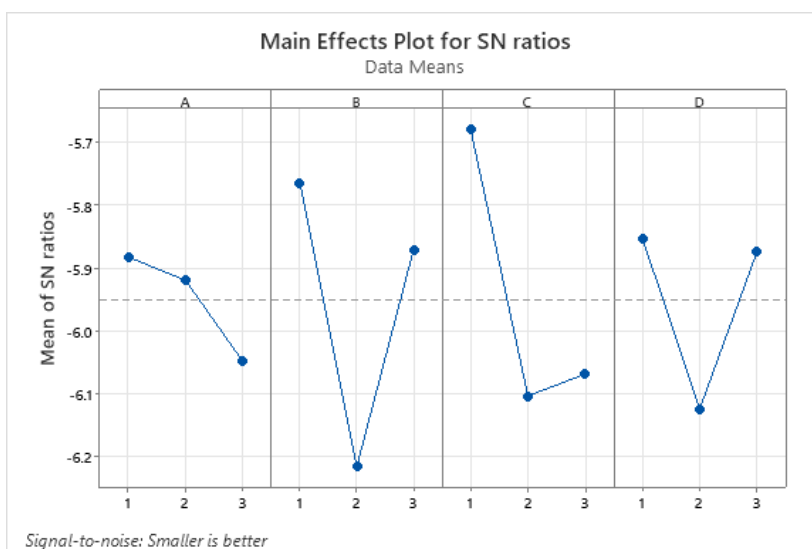
n	m	$C_1$	$C_2$	n	m	$P_c$	$P_m$	R	زمان اجرا (ثانیه)
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱/۸۴۶	۱۳۳۸۹
۱	۲	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۲/۱۰۸	۹۴۲۲
۱	۳	۳	۳	۱	۳	۳	۳	۱/۹۵۹	۱۳۳۷۳
۲	۱	۲	۳	۲	۱	۲	۳	۱/۹۵۲	۱۴۳۸۶
۲	۲	۳	۱	۲	۲	۳	۱	۲/۰۴۳	۱۶۳۵۴
۲	۳	۱	۲	۲	۳	۱	۲	۱/۹۳۷	۴۵۷۴۲
۳	۱	۳	۲	۳	۱	۳	۲	۲/۰۳۱	۱۷۵۴۰
۳	۲	۱	۳	۳	۲	۱	۳	۱/۹۸۸	۲۸۷۶۴
۳	۳	۲	۱	۳	۳	۲	۱	۲/۰۰۱	۳۷۹۱۵

جدول ۳- سطوح پارامترها

Table 3 Parameters Level

پارامتر	۱	۲	۳
n	۵	۱۰	۱۵
m	۵	۱۰	۱۵
$C_1$	۲	۲/۲۵	۲/۰۵
$C_2$	۲/۰۵	۲/۱	۲/۵

با مراجعه به جدول آرایه‌های استاندارد تاگوچی، نتایج حاصل از اجرای ۹ آزمایش در جدول ۲ نمایش داده شده است. مقادیر ۱، ۲ و ۳ معرف سطوح هریک از پارامترها بوده است که در جدول ۲ مقادیر کمی آنها برای الگوریتم مشخص شده است. شکل ۵ میانگین نرخ (S/N) را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقادیر کمتر (S/N) مطلوب است، براساس شکل ۷ مقادیر بهینه پارامترها برابر است با  $n=15$ ،  $m=10$ ،  $C_1=2/25$  و  $C_2=2/1$



شکل ۷- تنظیم پارامتر الگوریتم بهینه‌سازی ذرات

Fig. 7- Setting parameters for PSO

#### ۴- مطالعه موردی

در این تحقیق، به یک شرکت دارویی توجه شده است که مأموریت واردات داروهای خارجی را بر عهده داشته است و بیش از ۲۰۰ نوع دارو از شرکت‌های دارویی مطرح دنیا وارد و از طریق شبکه‌ای از توزیع‌کنندگان فرعی، در سطح کشور توزیع می‌کند.

توزیع‌کننده اصلی در شهر تهران واقع شده و توزیع‌کنندگان فرعی با استقرار در استان‌های مختلف با تامین داروها از توزیع‌کننده اصلی، داروها را به داروخانه‌ها در سراسر کشور تحویل می‌دهند (شکل ۸). ۱۳ توزیع‌کننده فرعی فعال ذکر شده در استانهای اصفهان، فارس و بوشهر هستند و صرفاً مراکز هر استان تحت پوشش قرار گرفته است. همچنین تعداد داروخانه‌های تحت پوشش در اصفهان، شیراز و بوشهر به ترتیب ۱۰۰، ۲۰۰ و ۶۰ داروخانه است.



شکل ۹- احداث انبار مشترک

Fig. 9- Establishment of a shared warehouse



شکل ۸- شبکه اولیه زنجیره تامین

Fig. 8- Primary supply chain network

با توجه به استقرار هریک از توزیع کنندگان فرعی در منطقه‌ای از شهرهای مورد نظر، نحوه این تخصیص در آنها بررسی خواهد شد. به عنوان مثال در شکل ۹ دو تخصیص وجود دارد و یک توزیع کننده در این تخصیص قرار نگرفته است. بر این اساس توزیع کنندگان از ۵ نقطه مشخص شده در شکل ۸، به سه نقطه در شکل ۹ کاهش یافته و داروخانه‌های پوشش داده شده توسط توزیع کنندگان فرعی، بر اساس ساختار جدید پوشش داده خواهند شد (شکل ۱۰). به عنوان مثالی دیگر، در شیراز موقعیت هر کدام از توزیع کنندگان در مناطق مختلف در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰- احداث انبار مشترک در شیراز

Fig. 10- Establishment of a shared warehouse in Shiraz



شکل ۹- شبکه زنجیره با احداث انبار مشترک

Fig. 9- The supply chain network establishes a shared warehouse

در راستای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، مسئله در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ براساس مدل‌های یکپارچه و غیریکپارچه بررسی و حل می‌شود. جزئیات مربوط به هریک از ابعاد در جدول ۴ نشان داده شده است؛ برای مثال مسئله شماره ۹ که مسئله اصلی است، دارای ۱۳ توزیع کننده فرعی است و تعداد داروخانه‌های منتسب به هریک از این توزیع کنندگان در ستون سوم و تعداد داروهای بررسی شده در ستون آخر نمایش داده شده است.

جدول ۴- اطلاعات مربوط به ابعاد مختلف مسئله

Table. 4. Information related to various dimensions

اندازه مسئله	مسئله	تعداد توزیع کننده	تعداد داروخانه	تعداد دارو
کوچک	۱	۲	۱۶،۲۱	۵
	۲	۳	۱۷،۲۱،۲۲	۱۰
	۳	۴	۲۱،۲۲،۱۹،۲۰	۱۵
متوسط	۴	۶	۲۰،۱۹،۲۲،۲۳،۱۷،۱۶	۲۵
	۵	۷	۲۱،۱۹،۲۲،۲۰،۱۷،۱۸،۱۴	۳۰
	۶	۹	۲۰،۱۹،۲۲،۲۳،۱۷،۱۶،۱۷،۲۳،۱۸	۴۰
بزرگ	۷	۱۱	۲۰،۱۹،۲۲،۲۳،۱۷،۱۶،۱۷،۲۳،۱۸،۲۰،۱۸	۱۱۳
	۸	۱۲	۱۶،۱۹،۱۱،۱۳،۲۰،۲۲،۲۳،۲۰،۱۵،۱۸،۱۳،۱۰	۱۱۳
	۹	۱۳	۱۶،۱۹،۱۱،۱۳،۲۰،۲۲،۲۳،۲۰،۱۵،۱۸،۱۳،۱۰،۹	۱۱۳



جدول ۷- مقادیر بهینه زمان دوره سفارش و تابع هدف غیر یکپارچه برای مسئله شماره ۹

Table.7- Optimal values of period length and objective function for integrated and non-integrated model for problem number 9

شماره توزیع کننده	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
زمان دوره سفارش غیر یکپارچه (سال)	۰/۲۱	۰/۲۰۷	۰/۲۲۱	۰/۲۱۴	۰/۱۸۷	۰/۱۹۵	۰/۱۹۳	۰/۲۰۱	۰/۲۱۲	۰/۱۹۳	۰/۲۳۲	۰/۲۲۴	۰/۲۴۵
تابع هدف غیر یکپارچه (e+12)	۱/۵۱۲	۱/۸۸۳	۱/۲۵۱	۱/۴۳۰	۲/۰۰۷	۲/۱۶۴	۲/۳۴۲۴	۲/۳۵۹	۱/۸۶۷	۲/۰۷۱	۱/۸۶۳	۱/۷۶۴	۱/۵۶۹

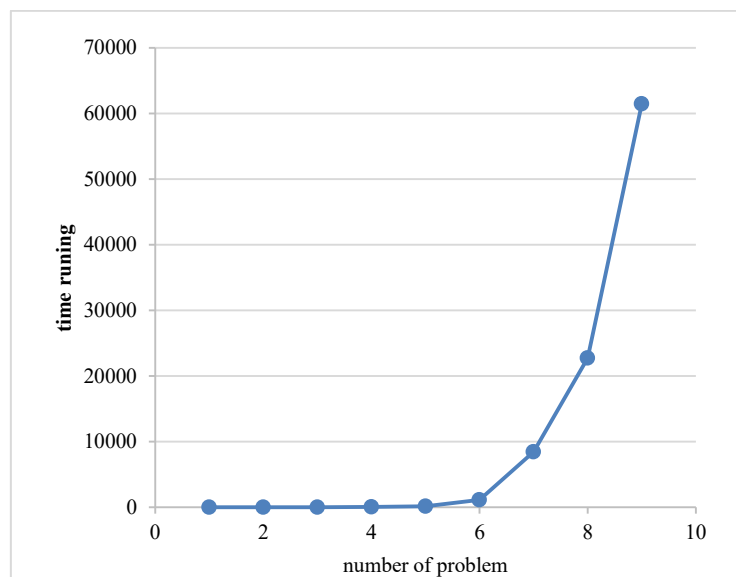
جدول ۸- مقادیر بهینه متوسط زمان دوره سفارش و تابع هدف مدل یکپارچه و مقایسه با مدل غیر یکپارچه برای مسئله شماره ۹

Table 8- Optimal values of average order cycle time and objective function of integrated model and comparison with non-integrated model for problem number 9

انبار مشترک	توزیع کننده‌های تلفیق شده	متوسط زمان دوره سفارش (سال)	مقدار تابع هدف در مدل یکپارچه (e+12)	اختلاف تابع هدف یکپارچه و غیر یکپارچه (%)	اختلاف زمان دوره (%)
۴	۱۲۸	۰/۱۶۰۹	۴/۷۲۶	۱۴/۹۱	۲۴/۴۶
۵	۱۳،۱۱،۱۰،۶،۳،۱	۰/۱۲۳	۹/۸۲۲	۲۱	۴۱/۹
۷	۹،۲	۰/۱۵۳	۵/۰۵۷	۱۷	۲۴/۸

## ۵ - بحث

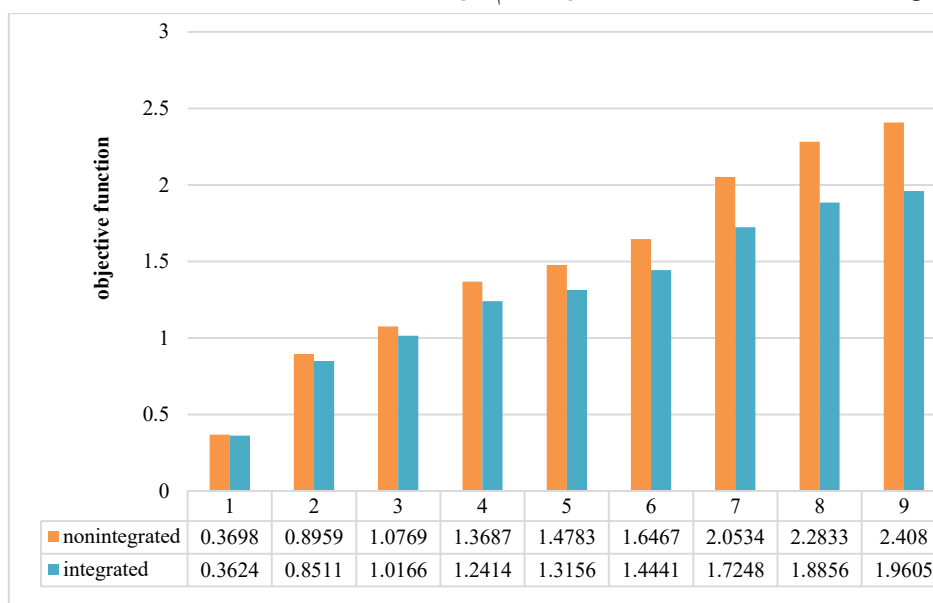
زمان حل مسئله برای مدل یکپارچه با افزایش ابعاد مسئله افزایش می‌یابد (شکل ۱۲). دلیل این امر، بررسی انواع حالات ممکن برای انتخاب توزیع کنندگان فرعی برای احداث انبار مشترک با توجه به محدودیت‌ها و تابع هدف مسئله است.



شکل ۱۲- مقایسه زمان اجرای مسائل یکپارچه با افزایش ابعاد  
Fig. 12- Comparison of solution time for integrated model

همچنین مقدار تابع هدف مدل یکپارچه در نتیجه بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله بهبود می‌یابد (شکل ۱۳). براساس نتایج به دست آمده، اختلاف مدل یکپارچه و غیر یکپارچه در ابعاد کوچک کم است و با افزایش ابعاد مسئله، تابع هدف تا ۱۸/۵ درصد بهبود به همراه دارد. بر این اساس فرصت‌های رشد و بهبود برای مدل پیشنهادی در ابعاد

بزرگ‌تر بسیار بیشتر است. نتایج این بخش با نتایج مقاله مؤمنی و باقری<sup>۲۱</sup> (۲۰۲۲) مقایسه می‌شود که استراتژی انبار مشترک در زنجیره تأمین‌های با افزایش پیچیدگی مسئله، بهبود بیشتری حاصل می‌کند؛ اما آنها فقط دو جزء زنجیره تأمین یعنی خرده‌فروش و توزیع‌کننده با استراتژی انبار مشترک یکپارچه شده بود؛ ولی در اینجا مشارکت به سطح توزیع‌کننده اصلی و فرعی نیز توسعه داده شده است که سطح بیشتری از مشارکت را در نظر می‌گیرد و اثربخشی بیشتری برای کل زنجیره تأمین محصولات دارویی فراهم می‌کند.



شکل ۱۳- مقایسه تابع هدف مسئله یکپارچه و غیر یکپارچه

Fig.13- Comparison of the objective function value

همچنین احداث انبار مشترک در کاهش طول دوره سفارش و کاهش هزینه‌ها تأثیر چشمگیری به همراه دارد؛ به طوری که با احداث انبار مشترک، متوسط زمان دوره سفارش برای انبار مشترک نسبت به متوسط زمان تمامی توزیع‌کنندگانی که به محل‌های ذکر شده اختصاص می‌یابند، کاهش درخور توجهی داشت و در محل‌های توزیع‌کننده ۴، ۵ و ۷ به ترتیب ۲۴/۴۶، ۴۱/۹ و ۲۴/۸ کاهش متوسط طول دوره مشاهده شد. این یافته‌ها با مطالعات مویزروا و اکومونتو همخوانی دارد؛ به طوری که در آن کاهش زمان سفارش تا ۳۰٪ در زنجیره‌های تأمین با استفاده از انبار مشترک گزارش شده است (Mwizerwa & Akumuntu, 2024).

با مقایسه هزینه‌های مدل غیر یکپارچه و یکپارچه، هزینه‌های انبار مشترک در حالت یکپارچه کمتر از مجموع هزینه‌های توزیع‌کنندگان اختصاص داده شده به انبار مشترک در حالت غیر یکپارچه است. بر این اساس با احداث انبار مشترک در محل‌های توزیع‌کننده ۴، ۵ و ۷ به ترتیب ۱۴/۹۱، ۲۱ و ۱۷ درصد کاهش هزینه‌ها مشاهده می‌شود. این نتایج با مطالعاتی همسو است که کاهش هزینه‌ها را تا ۲۰٪ از طریق همکاری افقی و بهینه‌سازی انبار گزارش کرده‌اند (Cerçi et al., 2025). همچنین نتایج مطالعات شن<sup>۲۲</sup> (۲۰۲۱)، کاهش ۳۰ درصدی هزینه‌های عملیاتی زنجیره و بهبود کارایی را با اجرای سیاست‌های مشابه به همراه داشته است.

در این مطالعه، تأثیر استراتژی انبار مشترک بر یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین دارو در سطح توزیع‌کنندگان بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از انبار مشترک برای ذخیره‌سازی و توزیع داروها، به کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهبود زمان دوره سفارش منجر می‌شود. یکی از دلایل اصلی موفقیت این استراتژی در این مطالعه، کاهش افزونگی

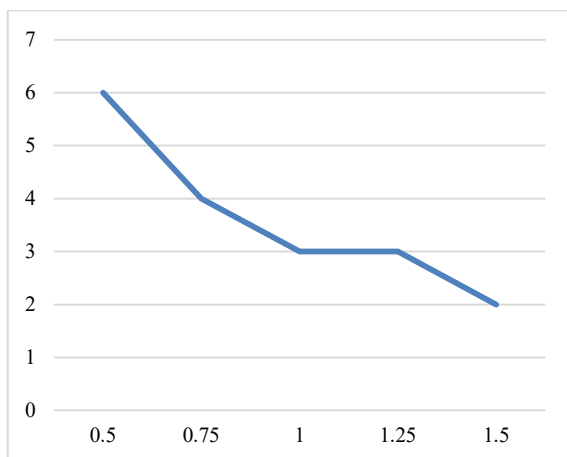
موجودی و استفاده بهینه از فضا و منابع بود. با متمرکز کردن موجودی در یک انبار مشترک، توزیع کنندگان هزینه‌های اجاره، نیروی انسانی و حمل و نقل را کم می‌کنند. همچنین موقعیت جغرافیایی انبار، زمان ارسال را کاهش و کارایی را بالا برده است. با وجود این، ممکن است محدودیت‌هایی برای پیاده‌سازی این استراتژی وجود داشته باشد؛ مثلاً پیاده‌سازی انبار مشترک نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه برای زیرساخت‌هاست که ممکن است برای توزیع کنندگان کوچک‌تر سخت باشد. در ضمن، در شرایط بحرانی مثل افزایش ناگهانی تقاضا (مثلاً در همه‌گیری‌ها)، مدیریت انبار مشترک با فشار مواجه شده است که به برنامه‌ریزی اضطراری نیاز دارد.

به دنبال نتایج این مقاله، چندین بینش مدیریتی مطرح می‌شود. ابتدا، استراتژی یکپارچه‌سازی و احداث انبار مشترک، ضمن کاهش هزینه‌های مدل، متوسط طول دوره سفارش را کاهش می‌دهد. نتایج عددی مقاله مؤید این واقعیت است که راهبرد پیشنهادی، راهبردی تلقی می‌شود که ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی را در کنار ملاحظات اقتصادی لحاظ می‌کند. کاهش مدت زمان ماندن محصولات دارویی در انبار، کاهش میزان محصولات منقضی‌شده، بهره‌مندی از سیاست صرفه‌جویی نسبت به مقیاس و پاسخ به موقع به نیازهای درمانی، دلیل اثربخشی استراتژی ذکر شده است.

#### ۶- تحلیل حساسیت

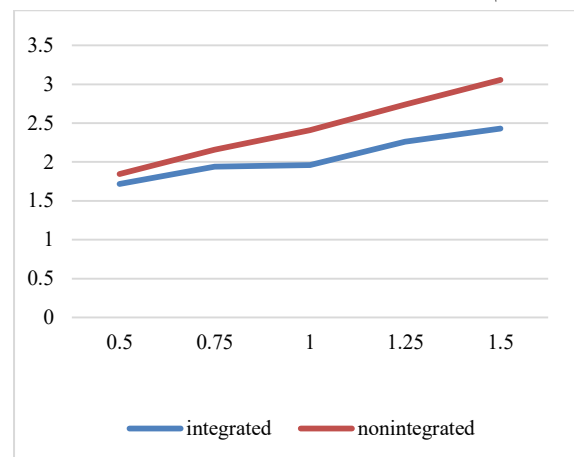
در این بخش در راستای تأثیر پارامترهای مختلف روی تابع هدف زنجیره تأمین یکپارچه و غیر یکپارچه و اثربخشی استراتژی انبار مشترک، تحلیل حساسیت روی پارامترهای هزینه ثابت، طول عمر محصولات، تقاضا و واریانس تقاضا روی مسئله اصلی با ۱۳ توزیع‌کننده فرعی انجام شده است.

با افزایش هزینه‌های ثابت، ضمن افزایش یکپارچگی و کاهش تعداد انبارهای مشترک و افزایش اثربخشی استراتژی مطرح شده هزینه‌های کل در حالت یکپارچه و غیر یکپارچه افزایش می‌یابد (شکل ۱۴). اثربخشی احداث انبار مشترک علاوه بر کاهش تعداد انبارهای مشترک (شکل ۱۵) در مقایسه افزایش تابع هزینه دو سیستم یکپارچه و غیر یکپارچه به وضوح مشخص می‌باشد چرا که در حالت ۱/۵ برابر شدن هزینه ثابت، اختلاف بین تابع هدف هر دو سیستم ۲۵/۹ درصد (حدود ۷/۲ بیشتر از حالت معمول) می‌شود.



شکل ۱۵- اثر تغییر هزینه‌های ثابت در تعداد انبار مشترک

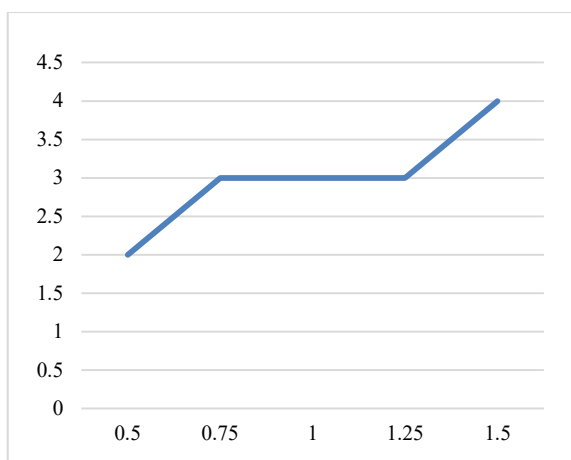
Fig.15- The impact of fixed costs on the objective function



شکل ۱۴- اثر تغییر هزینه‌های ثابت روی مقدار تابع هدف

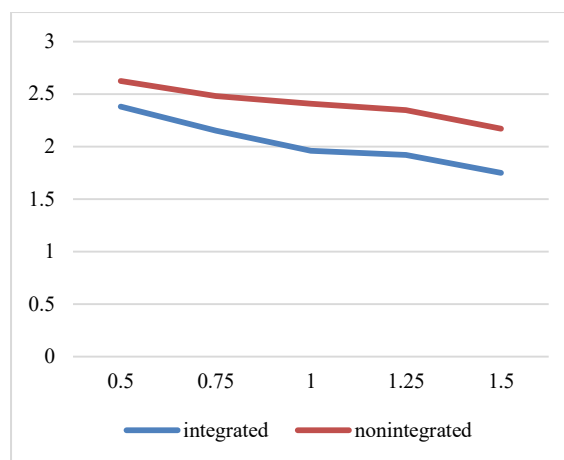
Fig. 14- The impact of fixed costs on the number of shared warehouses

افزایش طول عمر محصولات دارویی به علت کاهش محصولات فاسدشده و افزایش طول دوره سفارش، کاهش هزینه‌ها را در حالت یکپارچه و غیر یکپارچه به همراه دارد (شکل ۱۶) و با توجه به ماندگاری بیشتر محصولات، تمایل به نبود یکپارچگی را افزایش و اثربخشی استراتژی انبار مشترک را تا حدودی کاهش می‌دهد (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- اثر تغییر طول عمر محصولات در تعداد انبار مشترک

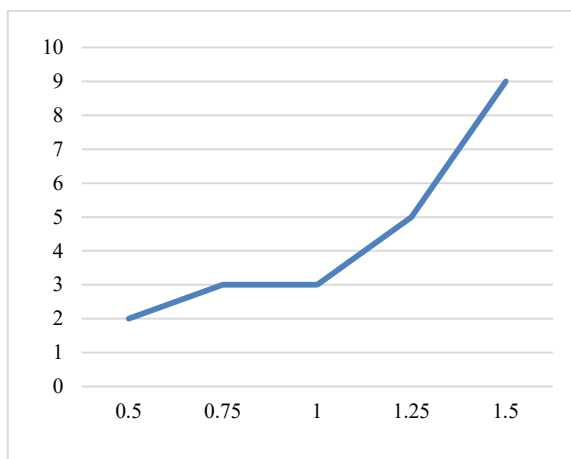
Fig.17- The impact of drug shelf life on the number of shared warehouses



شکل ۱۶- اثر تغییر طول عمر محصولات بر مقدار تابع هدف

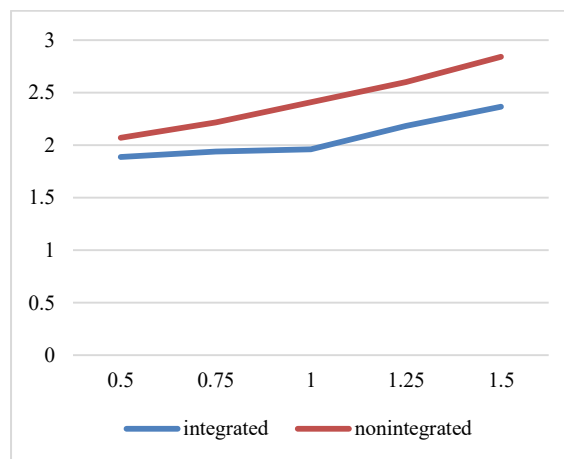
Fig. 16- The impact of drug shelf life on the objective function

با افزایش تقاضا، هزینه‌ها در هر دو حالت یکپارچه و غیر یکپارچه افزایش و تمایل به احداث انبار مشترک کاهش می‌یابد. بر این اساس نمودار هزینه‌ها و تعداد توزیع‌کنندگان فعال در هر دو حالت صعودی‌اند (شکل ۱۸). بدیهی است که افزایش تقاضا، باید تمایل به استراتژی توسعه انبار مشترک را کاهش (شکل ۱۹) و تمایل به نبود یکپارچگی را افزایش دهد.



شکل ۱۹- اثر تغییر تقاضا در تعداد انبار مشترک

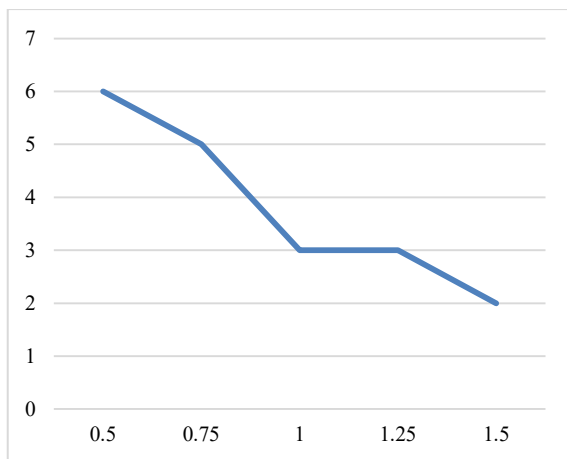
Fig.19- The impact of demand on the number of shared warehouses



شکل ۱۸- اثر تغییر تقاضا بر مقدار تابع هدف

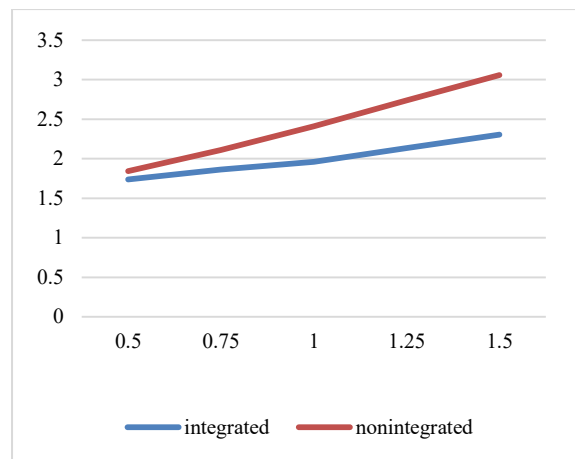
Fig.18- The impact of demand on the objective function

با افزایش واریانس تقاضا، انتظار می‌رود اثربخشی استراتژی انبار مشترک برای پاسخگویی بهتر افزایش یابد. طبق شکل ۲۰، ضمن افزایش هزینه‌ها در هر دو حالت یکپارچه و غیر یکپارچه، اختلاف تابع هزینه در این حالت نسبت به دیگر حالات تحلیل حساسیت (۳۲٫۷ درصد) بیشتر است. همچنین براساس شکل ۲۱، یکپارچگی در حالت افزایش واریانس، افزایش یافته و توزیع‌کنندگان در دو نقطه متمرکز و پاسخگویی بهتر شده است.



شکل ۲۱- اثر تغییر واریانس در تعداد انبار مشترک

Fig 21- The impact of demand variance on the number of shared warehouses



شکل ۲۰- اثر تغییر واریانس بر مقدار تابع هدف

Fig 20- The impact of demand variance on the objective function

با بررسی‌های انجام‌شده به ترتیب پارامترهای افزایش واریانس تقاضا، هزینه‌های ثابت، طول عمر داروها، اثرگذاری بیشتری نسبت به پارامتر تقاضا بر تابع هدف دارند. همچنین افزایش پارامترهای هزینه ثابت و واریانس تقاضا افزایش تمایل به یکپارچه‌سازی را در مقایسه با کاهش تمایل به یکپارچه‌سازی در صورت افزایش تقاضا و افزایش طول عمر دارو به همراه دارد.

## ۷- نتایج

توجه به ابعاد پایداری در زنجیره تأمین، به خصوص زنجیره تأمین دارو موضوعی کلیدی است. در این راستا، در این مقاله به کاهش زوال‌پذیری محصولات دارویی به‌عنوان بعد زیست‌محیطی و اجتماعی و به کاهش هزینه‌های سیستم موجودی، به‌عنوان بعد اقتصادی توجه شده است. برای دستیابی به اهداف پایداری، به استراتژی توسعه انبار مشترک در بین توزیع‌کنندگان فرعی زنجیره توجه شد. در این تحقیق یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل شرکت توزیع‌کننده اصلی دارو در نظر گرفته شد که داروهای وارداتی را از شرکت‌های خارجی تهیه و در سطح کشور از طریق توزیع‌کنندگان فرعی به داروخانه‌ها توزیع می‌کند. با توجه به اینکه شرکت‌های تولیدکننده دارو محدود است و سفارش‌ها را در بیشتر نقاط جهان تأمین می‌کنند، مسئله بررسی شده به دیگر کشورها نیز تعمیم‌دانی است.

با توجه به ابعاد مسئله، الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی ذرات برای حل مدل یکپارچه مسئله به کار رفته است. نوآوری‌های لحاظ‌شده در الگوریتم پیشنهادی در تولید جواب‌ها، به‌روزرسانی جواب‌ها و شدنی بودن محدودیت‌های مدل، بدون نیاز به مراحل و رویه‌های اضافی انجام می‌شود. همچنین در عین حال که از قابلیت‌های الگوریتم‌های فراابتکاری در ایجاد جواب‌ها استفاده شده است، مسئله به زیر مسئله‌هایی تفکیک و روش دقیق برای حل زیرمسئله‌ها اعمال می‌شود. پارامترهای تأثیرگذار بر الگوریتم با استفاده از اصول طراحی آزمایش‌ها و روش تاگوچی استخراج شد تا در الگوریتم پیشنهادی نتایج متأثر از پارامترها نباشد.

جامعه هدف مسئله بررسی شده، یک شرکت توزیع‌کننده در تهران است که داروهای وارداتی را از طریق ۵ توزیع‌کننده فرعی در اصفهان، ۵ توزیع‌کننده فرعی در شیراز و ۳ توزیع‌کننده فرعی در بوشهر به داروخانه ارسال می‌کند. هر توزیع‌کننده مجموعه‌ای از داروخانه‌ها را پوشش می‌دهد که در شبکه زنجیره تأمین هر داروخانه منتسب

به یک توزیع‌کننده فرعی است. با توجه به اینکه داروهای مطالعه‌شده، داروهای وارداتی است، هزینه سفارش‌دهی داروها، نسبتاً زیاد است. از سوی دیگر، هرکدام از داروها عمر محدودی دارند و بر این اساس اگر داروها قبل رسیدن به عمر خود از انبار توزیع‌کنندگان خارج نشوند، فاسد می‌شوند و هزینه‌هایی را به توزیع‌کنندگان فرعی و زنجیره تأمین تحمیل می‌کنند.

در راستای افزایش اعتبار نتایج تحقیق، داده‌های مسئله به صورت دقیق از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی، مصاحبه با شرکت‌ها، بررسی اسناد شرکت‌ها و ... تهیه شده است. برای بررسی اعتبار مدل و روش حل، مسئله با ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ، تعریف شده است. ۹ مسئله با تعداد توزیع‌کنندگان فرعی و داروخانه‌های مختلف بررسی شد.

در تحلیل نتایج حل با افزایش ابعاد مسئله، مدل یکپارچه عملکرد بهتری را نشان داد و ۱۸/۵ درصد کاهش هزینه‌های سیستم را در مسئله اصلی به همراه دارد. همچنین در این مسئله با وجود ۱۳ توزیع‌کننده فرعی، راه‌حل بهینه احداث ۳ انبار مشترک در محل توزیع‌کنندگان ۴، ۵ و ۷ است. از جمله نتایج مطلوب مدل یکپارچه، به کاهش متوسط طول دوره سفارش اشاره می‌شود که در نتیجه تجمیع سفارش‌ها در انبارهای مشترک و افزایش نرخ خروج داروها از انبارها براساس تجمیع تقاضای داروخانه‌هاست. این نتایج نشان می‌دهد که استراتژی انبار مشترک یک راهکار عملی برای بهبود زنجیره تأمین دارو در سطح توزیع‌کنندگان است، به خصوص در مناطقی که توزیع‌کنندگان متعددی با منابع محدود وجود دارند. کاهش هزینه‌ها و زمان تحویل، به دسترسی بهتر و سریع‌تر بیماران به داروها کمک می‌کند و در شرایط اضطراری مثل همه‌گیری‌ها مهم است. این یافته‌ها به مدیران زنجیره تأمین در صنعت دارویی کمک می‌کند تا مدل‌های اشتراکی را در مناطق مختلف پیاده‌سازی کنند.

با وجود این، برخی تحقیقات نتایج متفاوتی را گزارش داده‌اند. مطالعه‌ای نشان داده است که در برخی موارد، استفاده از انبارهای مشترک به افزایش هزینه‌ها منجر می‌شود، به ویژه زمانی که هماهنگی بین شرکا ضعیف باشد یا تقاضا به طور غیرمنتظره تغییر کند (Cerçi et al., 2025). همچنین در زنجیره‌های تأمین با پیچیدگی بالا، ممکن است کاهش زمان سفارش از طریق انبارهای مشترک محدود باشد، به ویژه اگر اطلاعات به درستی به اشتراک گذاشته نشود (Inderfurth et al., 2013)؛ در حالی که انبارهای مشترک انتشار کربن را کاهش می‌دهند، برخی مطالعات نشان داده‌اند که این کاهش ممکن است در شرایطی جبران شود که حمل و نقل اضافی برای هماهنگی بین انبارها نیاز است (Mwizerwa & Akumuntu, 2024). مطالعه‌ای دیگر تأکید کرده است که تأثیر مثبت انبارهای مشترک به شدت به سطح اعتماد و هماهنگی بین شرکا وابسته است. در صورت نبود این عوامل، عملکرد زنجیره تأمین ممکن است بهبود نیابد (Ahmed, 2022). این مطالعات نشان می‌دهند که تأثیر انبارهای مشترک به عوامل متعددی مانند هماهنگی، اعتماد و شرایط تقاضا بستگی دارد و در برخی موارد ممکن است نتایج متفاوتی حاصل شود. در این مقاله، به شرایط مطلوب برای پیاده‌سازی این استراتژی توجه و نتایج بهبود عملکرد نشان داده شد.

در پایان، پیشنهادی مطالعات آتی به این صورت مطرح می‌شود. با توجه به پیشینه پایداری، توجه به مؤلفه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی بیشتر توصیه می‌شود. همچنین نظر به اهمیت قیمت برخی از داروهای غیراساسی، بررسی آثار تورمی و تعرفه‌های وارداتی در مدل نیز درخور توجه است. مدل پیشنهادی به دیگر زنجیره تأمین‌ها بسط داده می‌شود. مسئله هماهنگی و مشارکت زنجیره تأمین به سطوح بالاتر زنجیره تأمین یعنی مشارکت توزیع‌کنندگان

اصلی تعمیم داده می‌شود که نقاط بیشتری از یک کشور یا منطقه را پوشش می‌دهند. همچنین استفاده از فناوری‌های جدیدتر مثل اینترنت اشیا (IOT) برای ردیابی موجودی و پیش‌بینی تقاضا پیشنهاد می‌شود و در نهایت بررسی تأثیر این استراتژی در مقیاس‌های بزرگ‌تر و شرایط بحرانی، به تعمیم‌پذیری نتایج کمک می‌کند.

## References

- Ahmadi, E., Mosadegh, H., Maihami, R., Ghalekhondabi, I., Sun, M., & Süer, G. A. (2022). Intelligent inventory management approaches for perishable pharmaceutical products in a healthcare supply chain. *Computers & Operations Research*, 147, 105968. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105968>
- Ahmed, M. A. (2022). Impact of Information Sharing on Supply Chain Performance with Mediation of Trust: Informatin Sharing and Supply Chain Management. *South Asian Journal of Social Review*, 1(2), 56-79. <http://doi.org/10.57044/sajsr.2022.1.2.2207>
- Azghandi, R., Griffin, J., & Jalali, M. S. (2018). Minimization of drug shortages in pharmaceutical supply chains: A simulation-based analysis of drug recall patterns and inventory policies. *Complexity*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6348413>
- Cerçi, M., Kazanç, H. C., Soysal, M., & Belbag, S. (2025). Enhanced Warehousing Operations through Platform-driven Horizontal Collaboration between Service Providers and Customers. *The Open Transportation Journal*, 19(1). <https://doi.org/10.2174/0126671212367334250121110423>
- Coffey, K. C. (2013). Is there a role for expired medications in developing countries? *Clinical pediatrics*, 52(1), 7-9. <https://doi.org/10.1177/0009922812448956>
- Elarbi, M., Ayadi, O., Masmoudi, M., & Masmoudi, F. (2021). Drug-inventory-management-model for a multi-echelon pharmaceutical supply-chain: case study of the Tunisian pharmaceutical supply-chain. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 22(1), 44-56. <https://doi.org/10.1080/16258312.2020.1824532>
- Fu, G., & Zhao, Z. (2023). Study on sustainable development of pharmaceutical health industry under ecological coordination. *Frontiers in Public Health*, 11, 1117701. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1117701>
- Inderfurth, K., Sadrieh, A., & Voigt, G. (2013). The impact of information sharing on supply chain performance under asymmetric information. *Production and Operations Management*, 22(2), 410-425. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2012.01372.x>
- Janatyan, N., Zandieh, M., Alem Tabriz, A., & Rabieh, M. (2019). Optimizing Sustainable Pharmaceutical Distribution Network Model with Evolutionary Multi-objective Algorithms (Case Study: Darupakhsh Company). *Journal of Production and Operations Management*, 10(1), 133-153. <https://doi.org/10.22108/jpom.2019.110116.1123>
- Kakade, S.L., & Vitalkar, S. (2024). Inventory Management in Pharmaceutical Industry. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 8(4). <https://B2n.ir/s94063>.
- Karaesmen, I. Z., Scheller-Wolf, A., & Deniz, B. (2011). Managing perishable and aging inventories: review and future research directions. *Planning Production and Inventories in the Extended Enterprise: A State of the Art Handbook, Volume 1*, 393-436. <https://B2n.ir/a99317>.
- Maestre, J. M., Fernández, M. I., & Jurado, I. J. C. E. P. (2018). An application of economic model predictive control to inventory management in hospitals. *Control Engineering Practice*, 71, 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2017.10.012>
- Malleeswaran, B., & Uthayakumar, R. (2022). A sustainable pharmaceutical supply chain model for household energy consumption and expiration cost under decision making approach. *Cleaner Engineering and Technology*, 100568. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100568>
- Masoumi, A. H., Yu, M., & Nagurney, A. (2012). A supply chain generalized network oligopoly model for pharmaceuticals under brand differentiation and perishability. *Transportation Research*

- Part E: *Logistics and Transportation Review*, 48(4), 762-780.  
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2012.01.001>
- Momeni, M. A., & Bagheri, M. (2022). Shared warehouse as an inter-supply chain cooperation strategy to reduce the time-dependent deterioration costs. *Socio-Economic Planning Sciences*, 82, 101070. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101070>
- Mostofi, A., Jain, V., Kumar, S., Mei, Y., & Chandra, C. (2023). A game theory data science-based mechanism for licensed pharmaceutical products concerning their deterioration: a case of a micro, small, and medium enterprise in Iran. *Annals of Operations Research*, 1-35. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05360-z>
- Mwizerwa, G., & Akumuntu, J. (2024). Effect of Warehousing Management on Supply Chain Performance: A Case of Inyange Industries Ltd. *African Journal of Empirical Research*, 5(2), 358-370. <https://B2n.ir/z19181>.
- Nematollahi, M., Hosseini-Motlagh, S. M., Cárdenas-Barrón, L. E., & Tiwari, S. (2022). Coordinating visit interval and safety stock decisions in a two-level supply chain with shelf-life considerations. *Computers & Operations Research*, 139, 105651. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105651>
- Ogbewele, E.G., Mbata, A.O., & Nwosu, N.T. (2024). Optimizing pharmaceutical inventory management: A global framework for efficiency and cost reduction. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 6(10), 3357-3371. <https://doi.org/10.51594/ijmer.v6i10.1638>
- Olaniyi, O. A., & Pugal, P. S. (2024). Optimising Inventory Management Strategies for Cost Reduction in Supply Chains: A Systematic Review. *Jurnal Akuntansi dan Bisnis: Jurnal Program Studi Akuntansi*, 10(1), 48-55. <https://doi.org/10.31289/jab.v10i1.11678>
- Ouyang, L. Y., & Chang, H. C. (2000). At Mixture Inventory Model Involving Setup Cost Reduction with a Service Level Constraint. *Opsearch*, 37, 327-339. <https://doi.org/10.1007/BF03398622>
- Priyan, S., & Mala, P. (2020). Optimal inventory system for pharmaceutical products incorporating quality degradation with expiration date: A game theory approach. *Operations Research for Health Care*, 24, 100245. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2020.100245>
- Rojas, F., Wanke, P., & Tan, Y. (2024). Bibliometric analysis of publications and authors on stochastic demand inventory models in pharmaceutical supply chains. *International Journal of Professional Business Review*, 9(10), 1-23. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2024.v9i10.5008>
- Romdhani, S., Nouaouri, I., Tounsi, J., Gattoufi, S., & Allaoui, H. (2022). Two-echelon Inventory Management for Sustainable Pharmaceutical Supply Chain through Waste Reduction. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1380-1385. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.583>
- Serani, A., Leotardi, C., Iemma, U., Campana, E. F., Fasano, G., & Diez, M. (2016). Parameter selection in synchronous and asynchronous deterministic particle swarm optimization for ship hydrodynamics problems. *Applied Soft Computing*, 49, 313-334. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.08.028>
- Shashi, M. (2023). Sustainable digitalization in pharmaceutical supply chains using theory of constraints: A qualitative study. *Sustainability*, 15(11), 8752. <https://doi.org/10.3390/su15118752>
- Shen, Y., Xu, X., Zou, B., & Wang, H. (2021). Operating policies in multi-warehouse drone delivery systems. *International Journal of Production Research*, 59(7), 2140-2156. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1756509>
- Putri, A. I. S., Jauhari, W. A., & Rosyidi, C. N. (2019, April). *A Distributor-Retailer Inventory Model for Pharmaceutical Supply Chain with Expiry Cost*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 495(1), 012010. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/495/1/012010>

- Tat, R., Heydari, J., & Rabbani, M. (2021). Corporate social responsibility in the pharmaceutical supply chain: An optimized medicine donation scheme. *Computers & Industrial Engineering*, 152, 107022. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.107022>
- Tat, R., & Heydari, J. (2021). Avoiding medicine wastes: Introducing a sustainable approach in the pharmaceutical supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128698. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128698>
- Wang, L. C., Cheng, C. Y., Tseng, Y. T., & Liu, Y. F. (2015). Demand-pull replenishment model for hospital inventory management: a dynamic buffer-adjustment approach. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7533-7546. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1102353>
- Yang, L. (2023). An environmental, social, and governance strategic model for managing pharmaceutical supply chains with financial obstacles. *Decision Analytics Journal*, 7, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100203>
- Yu, C., Qu, Z., Archibald, T. W., & Luan, Z. (2020). An inventory model of a deteriorating product considering carbon emissions. *Computers & Industrial Engineering*, 148, 106694. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106694>

---

<sup>1</sup> Mostofi et al.

<sup>2</sup> Kakade & Vitalkar

<sup>3</sup> Rojas et al.

<sup>4</sup> Wang et al.

<sup>5</sup> Azghandi et al.

<sup>6</sup> Yu et al.

<sup>7</sup> Ahmadi et al.

<sup>8</sup> Romdhani et al.

<sup>9</sup> Priyan & Mala

<sup>10</sup> Elarbi et al.

<sup>11</sup> Tat et al

<sup>12</sup> Malleeswaran & Uthayakumar

<sup>13</sup> Tat & Heydari

<sup>14</sup> Nematollahi et al.

<sup>15</sup> Cerçi et al

<sup>16</sup> - Mwizerwa & Akumuntu

<sup>17</sup> - Ouyang & Chang

<sup>18</sup> -Pbest

<sup>19</sup> -Gbest

<sup>20</sup> - Inertia Term

<sup>21</sup> - Momeni & Bagheri

<sup>22</sup> - Shen et al.