

## **A model for the integration of production-distribution levels in the supply chain of non-perishable materials by considering intermediate warehouses**

(Document Type: Research Paper)

**Kayvan Ahmadi**

M A student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology Dept., Urmia University of Technology, Urmia, Iran, k1ahmadi@hotmail.com

**Sohrab Abdollahzadeh\***

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology Dept., Urmia University of Technology, Urmia, Iran.

S.abdollahzadeh@uut.ac.ir

**Abstract:** This research presents a mathematical model for information integrating manufacturers, distributors, and intermediate warehouses and transportation systems in the supply chain over multi period. Goods are spoilable and Capacity, production costs, warehousing costs and transportation of each transportation systems costs are limited. Rate of corruption of goods in the warehouse and transportation systems is known or predictable by experts. The amount of demand for goods is constant. The objective function of the proposed model is single-objective and the costs of production, transportation, warehousing, corruption, shortage and unpackaged goods are integrated minimally. The proposed model is non-linear and of a strict type and has been confirmed by solving a few small-scale problems. For validation, a case study was performed and genetic Meta heuristic algorithms were used for solving the problem. The results of the solved model showed that Decision making integrated is better than the case that sections are decided separately.

**Keywords:** Supply chain, Integration of production-distribution sectors, Perishable materials, Optimization

**Introduction:** One of the most important issues in supply chain is integrated production-distribution planning. Integration of two production-distribution and three-supply, production and distribution loops are important optimization issues in the supply chain. Research in this area involves locating new or special facilities and a combination of allocation locating. The current research is a type of allocation and examines the impact of supply chain integration with several manufacturers, warehouses and distributors and the transportation system. The goods in this chain are perishable and with a lifetime limitation. Production capacity, warehouses, and transportation systems are limited. The mathematical model developed is single-purpose and minimizes the cost of the whole chain. For the first time in the current study, distributor middle warehouses have been modeled taking into account corruption in the warehouse and during shipping. The proposed model is solved once considering the cost of corruption and once without it and the results are compared.

**Methodology/Approach:** In this study, a single-objective model is presented for the integrated production-distribution problem considering the lifetime limitation of the goods. The supply chain in question consists of three levels of manufacturers, distribution centers, and end customers. The model is offered for several product types over multiple time periods. The integrated problem-solving model

---

\* Corresponding author

Copyright © 2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

minimizes the entire cost of the chain, including: warehousing, distribution, commodity rotation, and shipment, which maximizes product quality when the product reaches the consumer. In order to evaluate the performance of the proposed model and to validate it, several different sample problems have been solved in various dimensions. A Proposed Genetic Algorithm for Solving Models Genetic Algorithm and CPLEX10.2 software have been solved, the results of which show the accuracy of the models. The proposed genetic algorithm is coded in the MATLAB R2015a programming environment and its functions are used within the algorithm.

**Findings and Discussion:** The main purpose of this research is to manage and make the right decisions on the amount of transport, production, inventory and distribution in a supply chain network. In order to make better and more practical decisions in the field of inventory and transportation for distribution of perishable products at supply chain levels, taking into account the real world conditions. Determining the optimum amount of production for each manufacturer, the amount of shipment carried out by each warehouse transport system, and the optimum inventory availability with respect to demand and the perishability factor of the warehouse are the objectives of the study. To simplify the real-world problem with the model in question, some simplifying assumptions have been used. In general, the optimal storage conditions vary depending on the type of goods and depend on many parameters. Generally, oranges can be stored at 7-2°C for 12 to 8 weeks. The distances are straight lines. The planning horizon is intended for three periods. There are 60 middle warehouses (30 traditional warehouses and 30 cold storage warehouses). The results showed that in the integration of production-distribution departments without limiting the product life span, the most important criterion in terms of cost is distance. Volumes account for up to 35% of corrupt products due to the lack of a cold supply chain. But in view of the factor of corruption in the model, the integration of the chain leads to the use of new technologies in the maintenance and transport of goods and reduces the cost of corruption. Although maintenance and shipping costs increase slightly, the overall cost of the chain eventually declines. In a model that does not include the costs of corruption.

**Conclusion:** As a result of the decision to use traditional supply chains, in addition to the negative environmental consequences, high costs of corruption on the chains are imposed. Integrated decision making is better than the case of each sector being decided individually. This research as a back-up model can help managers make better decisions with regard to real-world conditions and constraints and make use of the potential of the food and agriculture industry. There are still many areas for the development of future research. Consider real-world assumptions in problem modeling, such as: Demand for the product as a possible rate of decay based on the quality of raw material demand dependent on the price of the product and considering the problem in an uncertain environment.

## References

- Alavidoost, M., Zarandi M. H., F., Tarimoradi, M., & Nemati, Y. (2017). "Modified genetic algorithm for simple straight and U-shaped assembly line balancing with fuzzy processing times". *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(2), 313-336.
- Fahimnia, B., Luong, L., & Marian, L. (2012). "Genetic algorithm optimization of an integrated aggregate production–distribution plan in supply chains". *International Journal of Production Research*, 50(1), 81-96.

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۰، پیاپی ۱۹، شماره ۲، پاییز زمستان ۱۳۹۸

دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۷ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۵

صص: ۳۷-۵۳ (نوع مقاله: پژوهشی)

## مدل ریاضی یکپارچه برای بهینه‌سازی سیستم تولید - توزیع زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی با انبارهای میانی

کیوان احمدی دهرشید<sup>۱</sup>، سهراب عبدالله‌زاده مقدم<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران،

k1ahmadi@hotmail.com

۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران، s.abdollahzadeh@uut.ac.ir

**چکیده:** در این پژوهش، نخستین بار مدل ریاضی یکپارچه تولید - توزیع با انبارهای میانی و سیستم‌های حمل‌ونقل متنوع در زنجیره تأمین چنددوره‌ای برای کالاهای فسادپذیر ارائه شده است. نرخ فسادپذیری کالاها در انبارها، یا در زمان حمل‌ونقل یا از طریق خبرگان به دست می‌آید. تابع هدف مدل پیشنهادی تک‌هدفه است و هزینه‌های زنجیره تأمین به صورت یکپارچه حداقل می‌شوند. مدل پیشنهادی، غیرخطی و از نوع سخت است. این مدل با حل چند مسئله در ابعاد کوچک، تأیید و با توجه به قدرت الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای در این مسائل برای حل استفاده شده است. موردکاوی با داده‌های واقعی یک زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی، انجام و با حالت بدون فسادپذیری کالاها مقایسه شده است. نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی، ضمن تعیین میزان فاسدشدن کالاها در هر مرحله نشان می‌دهد میزان هزینه زنجیره در حالت فسادپذیر بودن افزایش می‌یابد. مدل پیشنهادی به تصمیم‌گیرندگان در شناسایی نقاط و تعیین میزان فساد کالاها در سطوح زنجیره و بهره‌مندی از سیستم‌های نگهداری و حمل‌نویین با کارایی زیاد در آن برای کاهش هزینه‌های کل کمک می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** یکپارچگی زنجیره تأمین، کالاهای فاسدشدنی، انبارهای میانی، سیستم تولید - توزیع، الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای

## مقدمه

در دنیای رقابتی امروز با توجه به ویژگی‌های محیط‌های جدید تولیدی و طبیعت مشتریان، شیوه‌های مدیریت تولید گذشته (که یکپارچگی کمتری در فعالیت‌هایشان دنبال می‌کنند) کارایی کمتری دارند (لیدر و رشید<sup>۱</sup>، ۲۰۱۶)؛ بنابراین شرکت‌ها نیاز دارند یکپارچگی منظمی را در تمام فعالیت‌های تولیدی خود از مواد خام تا مصرف‌کننده نهایی ایجاد کنند. همچنین مهم‌ترین عنصر در تجارت امروزی، شناسایی نیازها و خواسته‌های مشتریان است. این امر باعث افزایش رضایت مشتری می‌شود. کیفیت طبق تعریف بسیاری از پژوهشگران، به معنای انتظارات و نیازهای مشتری از محصول است؛ در واقع کیفیت انطباق محصول با انتظارات مشتری تعریف می‌شود (هازن<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸).

زنجیره تأمین مفهوم بسیار گسترده‌ای است و بخش‌ها و حلقه‌های زیادی را شامل می‌شود؛ بنابراین ارائه مدلی کلی با پوشش دادن همه جوانب امری بسیار دشوار است؛ به همین دلیل پژوهشگران بخش محدودی را مطالعه، مدل‌سازی و توسعه یا بهبود داده‌اند؛ البته طبق مدل SCOR که یک مدل فرآیندی است، در هر زنجیره پنج فرآیند اصلی شامل برنامه‌ریزی، تأمین، تولید، توزیع و برگشت وجود دارد (نتاب<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۵).

مدیریت زنجیره تأمین نه تنها شامل سازندگان و تأمین‌کنندگان می‌شود، بخش‌های حمل‌ونقل، انبارها، خرده‌فروشان و مشتریان را نیز شامل می‌شود. فرآیند سیستم‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین بر پایه چهار بخش مرتبط با یکدیگر (شامل مدیریت تقاضا، برنامه‌ریزی مواد و تولید، زمان‌بندی تولید و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل) شکل گرفته‌اند (مونزکا و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۵).

یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح شده در زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی یکپارچه تولید - توزیع است. تولید و توزیع یکپارچه محصولات در یک زنجیره تأمین نقش مهمی در کاهش هزینه‌های زنجیره دارد. اهمیت یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین به اندازه‌ای است که بخش گسترده‌ای از تصمیمات عملکردی متأثر از اطلاعات ارائه شده به وسیله مدیریت ارتباط با مشتری و برپایه خواسته‌های خود مشتریان است. از طرف دیگر اجرای آن بیانگر ایجاد یک زنجیره تأمین مشتری‌مدار و به طبع آن بهبود کیفیت و برخورداری از جایگاهی شایسته در میان سایر رقبا است (وانگ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۵).

نخستین ابتکار و پیشگامی در زمینه یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین در سال ۱۹۹۲ بوده است؛ هنگامی که ۱۴ انجمن تجاری، گروهی را به نام جنبش پاسخ‌گویی مؤثر به مشتری به وجود آوردند (هوگوس<sup>۶</sup>، ۲۰۱۸).

مدل‌هایی که باید مقدار تولید مراکز تولید را به مراکز توزیع برای ارضای تقاضای مشتریان ارسال کند با عنوان مدل‌های تولید - توزیع در ادبیات مطرح می‌شوند (رمضانی و همکاران، ۲۰۱۳). مدل‌های یکپارچگی تولید - توزیع در جدول ۱ آورده شده است.

با توجه به مطالعات انجام شده در جدول ۱، پژوهش فهیم‌نیا و همکاران (۲۰۱۲) تکمیل‌ترین پژوهش در این حوزه به شمار می‌آید؛ بنابراین مقاله پایه پژوهش حاضر در نظر گرفته شده است. در این پژوهش عمر کالاها بی‌نهایت در نظر گرفته شده است. برای افزایش کارایی مدل در دنیایی واقعی، فرض فسادپذیری کالاها به آن افزوده شده است. اقلام فاسدشدنی و یا اقلام خراب‌شدنی در ادبیات زنجیره تأمین به اقلامی گفته می‌شود که ارزش آنها در طول مدت نگهداری در انبار کاهش می‌یابد. این میزان کاهش ارزش به صورت یکی از هزینه‌های موجودی در نظر گرفته می‌شود (وو<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۶).

جدول ۱- مدل‌های یکپارچگی تولید- توزیع

نوع مدل	شرح پژوهش‌ها	پژوهشگران
تک‌محصولی	هق و همکاران (۱۹۹۱) در پژوهشی یکپارچه‌سازی را در صنعت پتروشیمی هند بررسی کردند. در این پژوهش بسیاری از شرایط واقعی مانند زمان، هزینه راه‌اندازی، زمان تدارک، ضایعات خط تولید، میزان بازیافت و هزینه‌های انباشت موجودی بررسی شده است.	(هق <sup>۸</sup> و همکاران، ۱۹۹۱)
	یک مدل پیچیده تک کالا ارائه شده است که مدل‌های قبلی را توسعه داده است. در این مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح به دلیل محدود بودن ظرفیت انبارها و انباشت کالا در خط تولید و برگشت کالا در نظر گرفته نشده و به‌طور درخور توجهی مانع از عملکرد مدل در دنیای واقعی شده است.	(یلماز <sup>۹</sup> ، ۲۰۰۶)
چندمحصولی، تک‌کارگاهی	ویژگی‌های عملکرد یک سیستم تولید - توزیع یکپارچه ساده متشکل از یک واحد تولیدی با محصولات متنوع، یک انبار کالاهای محصولات و یک خرده فروش بررسی شده است. یکی از عمومی‌ترین مدل‌های تولید - توزیع موجود در ادبیات موضوع توسعه و پیشنهاد یک روش حل خاص است.	(لی و کیم <sup>۱۰</sup> ، ۲۰۱۴)
چندمحصولی، چندکارگاهی، تک‌انباری/ بدون انبار	برنامه‌ریزی تولید - توزیع برای شرکت‌های بین‌المللی مطالعه شده است. با در نظر گرفتن چند نرخ تورم و ارز، مدل‌های چندمحصولی کارخانه‌های بین‌المللی و توزیع به‌طور مستقیم به بازار هدف مطالعه شده است.	(منتزر <sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۱)
چندمحصولی، چندکارگاهی، چندانباری، یک/ بدون مشتری نهایی	یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای یکپارچه‌سازی بخش‌های تولید - توزیع برای محیطی ارائه شده است که چند سایت تولید دارد. هم‌چنین یک مدل بهینه‌سازی قوی برای ترکیب عدم قطعیت تقاضا برای برنامه‌ریزی یکپارچه تدارکات، تولید و توزیع برای چند سایت تولیدی ارائه شده است.	(وانگ <sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۶)
چندمحصولی، چندکارگاهی، چندانباری، چندمشتری، یک سیستم حمل‌ونقل	یک روش شبیه‌سازی برای برنامه‌ریزی تولید - توزیع ارائه شده است. برای تعیین ظرفیت تجهیزات از شبکه تولید - توزیع استفاده شده است که شامل سیاست‌های دوباره‌کاری در زنجیره تأمین است. در این مدل دو هدف افزایش رضایت مشتری و کاهش هزینه کل سیستم در نظر گرفته شده بود.	(کیم <sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۸)
	یک مدل یکپارچه برای همکاری میان چند جایگاه و پالایشگاه تولید سوخت با انواع سوخت ارائه شده است. برای حل مسئله از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط استفاده شده است که هدف آن حداکثر کردن سود برای زنجیره تأمین یکپارچه است. منافع بالقوه ناشی از یکپارچگی برنامه‌ریزی مشترک تولید - توزیع در این مطالعه زیاد است.	
چندمحصولی، چندکارگاهی، چندانباری، چندمشتری نهایی، چند سیستم حمل‌ونقل، چند دوره زمانی	این دسته از مطالعات شامل پیچیده‌ترین مدل‌ها در یکپارچه‌سازی بخش‌های تولید - توزیع است. برای مدل‌سازی از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و برای حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.	(فهیم‌نیا و همکاران، ۲۰۱۲)

گری و گوپال (۲۰۰۱) مروری بر مقالات مختلفی انجام دادند که توابع گوناگون فاسدشدن کالا را بررسی کرده‌اند. نخستین بار بحث فاسدشدن کالا را واگنر و ویتن (۲۰۱۵) مطرح کردند (گیری و شاما<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۵). یانگ و وی (۲۰۰۳) مدلی برای برنامه‌ریزی یکپارچه تولید - موجودی کالاهای فاسدشدنی ارائه دادند. راو و همکاران (۲۰۰۳) یک مدل چندسطحی بین تأمین‌کننده، تولیدکننده و خریدار برای کالاهای فسادپذیر توسعه داده‌اند و نشان دادند رویکرد یکپارچه در تصمیم‌گیری باعث کاهش هزینه کل می‌شود (سرکار<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۷).

آموریم و همکاران (۲۰۱۲) یک برنامه‌ریزی چندهدفه تولید - توزیع را برای محصولات فسادپذیر ارائه کردند. آنها در تابع هدف مدل خود، هزینه کل و میزان تازگی محصولات را هنگام تحویل در نظر گرفته‌اند (مارتینز<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۸).

در سال ۲۰۱۵ چکربارتی و همکاران پژوهشی درباره یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین مواد فاسدشدنی انجام داده‌اند. آنها مدلی برای یکپارچه‌سازی بخش‌های تولید - موجودی بررسی کرده‌اند. در این مدل پارامترهایی مانند تأمین‌کننده، خرده‌فروش و نرخ فسادپذیری ثابت و تقاضا به صورت احتمالی وجود دارد. در این مدل محدودیت‌های فضای انبار، سرمایه و بودجه موجود نیز در نظر گرفته شده است (چاکرابورتی<sup>۱۷</sup>، ۲۰۱۵).

در بسیاری از مسائل، هزینه‌های مرتبط با کاهش ارزش کالا در حدی است که می‌تواند به یکی از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر هزینه‌های موجودی و در نهایت تعیین سیاست بهینه تبدیل شود. در پژوهش‌های پیشین، مدل‌سازی ریاضی برای سیستم‌های تولید - توزیع با انبارهای میانی ولی بدون در نظر گرفتن فرض فسادپذیری کالاها انجام شده است. در نتیجه، در پژوهش حاضر جریان مواد در طول زنجیره تأمین در بخش‌های تولید - توزیع و با وجود انبارهای میانی با فرض فسادپذیری کالا مدل‌سازی شده است؛ بنابراین با تعریف متغیرها و پارامترهای جدیدی، مدل پایه فهم‌نیا و همکاران (۲۰۱۲) برای حالت فسادپذیری کالاها در انبار و حین حمل‌ونقل توسعه داده شده است.

این پژوهش از نوع تخصیص است و زنجیره تأمینی با چندین تولیدکننده، انبارهای میانی توزیع‌کننده و انواع سیستم حمل‌ونقل را بررسی و یکپارچه‌سازی می‌کند. کالاها در این زنجیره، از نوع فسادپذیر و با محدودیت طول عمرند. ظرفیت تولید، انبارها و سیستم‌های حمل‌ونقل محدود و معلوم است. مدل ریاضی ساخته‌شده از نوع تک‌هدفه و کمینه‌سازی هزینه‌های کل زنجیره است. مدل پیشنهادی یکبار با در نظر گرفتن هزینه فساد کالاها و یکبار بدون آن حل و نتایج حاصله مقایسه شده است.

## روش پژوهش

در این پژوهش، مدل ریاضی تک‌هدفه برای مسئله تولید - توزیع یکپارچه با انبارهای میانی و با در نظر گرفتن محدودیت طول عمر کالاها ارائه می‌شود. زنجیره تأمین در حال بررسی شامل سه سطح تولیدکنندگان، مراکز توزیع و مشتریان نهایی است. مدل برای چند نوع محصول و در طی چندین دوره زمانی ارائه می‌شود. مدل یکپارچه برای حل مسئله به حداقل رساندن هزینه‌های کل زنجیره شامل انبارداری، توزیع، فاسدشدن کالا در انبار و حین حمل است که باعث به حداکثر رساندن سطح کیفیت محصول هنگام رسیدن محصول به مصرف‌کننده می‌شود.

هدف اصلی پژوهش جاری، مدیریت و اتخاذ تصمیمات درست در میزان حمل، تولید، موجودی و توزیع در یک شبکه زنجیره تأمین است؛ به‌گونه‌ای که با لحاظ کردن شرایط موجود در دنیای واقعی بتوان تصمیمات بهتر و کاربردی‌تری در حوزه موجودی و حمل‌ونقل برای توزیع محصولات فاسدشدنی در سطوح زنجیره تأمین اتخاذ کرد.

تعیین مقدار بهینه تولید برای هر تولیدکننده، میزان حمل با هر یک از سیستم‌های حمل‌ونقل به انبارها و یا به صورت مستقیم به خرده‌فروش‌ها و میزان بهینه موجودی انبارها با توجه به تقاضا و ضریب فسادپذیری کالا در انبار از اهداف فرعی پژوهش جاری هستند.

باتوجه به پژوهش‌های قبلی، مدل‌های تولید - توزیع در سه موضوع محوری شامل یکپارچگی، تابع هدف و روش‌های حل دسته‌بندی شده‌اند. موقعیت مدل پیشنهادی پژوهش در این حوزه‌ها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- تبیین موقعیت مدل پیشنهادی پژوهش

۱. یکپارچگی زنجیره تأمین		۲. تابع هدف	
۱-۱. تنوع محصول		۱-۲. مدل ساده	
	۱-۱-۱ تک محصولی	۲-۲. پوشش مجموعه‌ها و پوشش جزئی	
	۲-۱-۱ چندمحصولی	۳-۲. میانه p-تسهیلاتی	
۲-۱. تولیدکننده		۴-۲. کمینه‌سازی حداکثر فاصله	
	۱-۲-۱ یک تولیدکننده	۵-۲. کمینه‌سازی بدترین حالت	
	۲-۲-۱ چند تولیدکننده	۶-۲. مکان‌یابی - تخصیص سلسله مراتبی	
۳-۱. مرکز مونتاز		۷-۲. مکان‌یابی - تخصیص جذب جریان	
	۱-۳-۱ یک مرکز مونتاز	۸-۲. حداکثرسازی حداقل فاصله	
	۲-۳-۱ چند مرکز مونتاز	۹-۲. تعداد توابع هدف	
۴-۱. دوره برنامه‌ریزی		۱-۹-۲ تک‌هدفه	
	۱-۴-۱ یک دوره‌ای	۲-۹-۲ چندهدفه	
	۲-۴-۱ چند دوره‌ای	۳. روش‌های حل	
۵-۱. سیستم حمل‌ونقل		۱-۳. جواب بهینه	
	۱-۵-۱ یک وسیله حمل‌ونقل	۲-۳. ابتکاری	
	۲-۵-۱ چند سیستم حمل‌ونقل	۳-۳. فراابتکاری	
۶-۱. موجودی		۱-۳-۳ الگوریتم ژنتیک	
۷-۱. تدارکات		۲-۳-۳ کوچ پرندگان	
۸-۱. تولید		۳-۳-۳ دیگر	
۹-۱. مسیریابی			
۱۰-۱. نوع حمل			

## مدل پیشنهادی

### مفروضات:

- زنجیره تأمین در سه سطح تولید، توزیع و مشتری نهایی است.
- فاصله بین اجزای زنجیره مشخص و ثابت است و به صورت خط مستقیم محاسبه می‌شود.
- برنامه‌ریزی به صورت چندمحصولی و چند دوره‌ای است.
- ظرفیت تمامی تولیدکنندگان، انبارها، توزیع‌کنندگان و سامانه‌های حمل‌ونقل محدود و معلوم است.
- تولید در زنجیره تأمین فقط یک‌بار و در ابتدای دوره نخست انجام می‌شود.
- ارسال کالاهای تولیدی به صورت مستقیم به توزیع‌کننده یا به انبارهای میانی برای ذخیره برای دوره‌های بعدی انجام می‌شود.
- هزینه تولید هر محصول برای هر تولیدکننده متفاوت از تولیدکننده‌های دیگر است.

- تقاضای هر محصول در افق برنامه‌ریزی، مشخص و قطعی است.
- حداکثر ظرفیت تولید هر یک از تولیدکنندگان در افق برنامه‌ریزی مشخص و قطعی است.
- در حمل و نقل کالا که نرخ فسادپذیری معلوم نیست، نرخ فسادپذیری با نظر خبرگان تعیین می‌شود.
- سفارش‌های معوق وجود ندارد؛ ولی امکان برآورده‌نشدن تقاضا و کمبود به‌صورت فروش از دست‌رفته وجود دارد.
- موجودی فروش‌رفته در انتهای دوره آخر، در بازار ثانویه و به نرخ کمتری فروش می‌رود.
- مسئله از دیدگاه سطح دوم زنجیره (مراکز توزیع) مطرح می‌شود.
- ظرفیت انبارها برحسب تن و به حجم کالا بستگی ندارد.
- هزینه حمل و نقل در کل دوره ثابت و با توجه به فصل‌های سال تغییر نمی‌کند.

#### اندیس‌ها:

$i = 1, 2, \dots, I$	i: اندیس محصولات
$j = 1, 2, \dots, J$	j: اندیس تولیدکنندگان
$h = 1, 2, \dots, H$	h: اندیس انبارهای توزیع‌کننده‌ها
$e = 1, 2, \dots, E$	e: اندیس مشتری‌های نهایی
$r = 1, 2, \dots, R$	r: اندیس سیستم‌های حمل و نقل
$t = 1, 2, \dots, T$	t: اندیس دوره‌های زمانی

#### پارامترها:

- $I$ : مجموعه محصولات.
- $J$ : مجموعه تولیدکنندگان.
- $H$ : مجموعه انبارها.
- $E$ : مجموعه خرده‌فروشان یا مشتری نهایی.
- $R$ : مجموعه سیستم‌های حمل و نقل.
- $T$ : مجموعه دوره‌های زمانی.
- $C_{ij}$ : هزینه تولید هر واحد محصول  $i$  به‌ازاء هر تولیدکننده  $j$ .
- $SC_{ij}$ : هزینه ثابت تولید محصول  $i$  برای تولیدکننده  $j$ .
- $C_h$ : هزینه متغیر برای اجاره انبار  $h$ .
- $SC_h$ : هزینه ثابت برای اجاره انبار  $h$ .
- $C_{ijhr}$ : هزینه حمل و نقل محصول  $i$  از تولیدکننده  $j$  به انبار توزیع‌کننده  $h$  با سیستم حمل  $r$ .
- $C_{ijer}$ : هزینه حمل و نقل محصول  $i$  از تولیدکننده  $j$  به مشتری نهایی  $e$  با سیستم حمل  $r$ .
- $C_{iht}$ : هزینه حمل و نقل محصول  $i$  از انبار توزیع‌کننده  $h$  به مشتری نهایی  $e$  با سیستم حمل  $r$  در دوره  $t$ .

$D_{iet}$ : مقدار تقاضای مشتری e برای محصول i در دوره t.

$D_{ie}$ : مقدار تقاضا برای محصول i برای خرده‌فروش e وقتی که ارسال کالا به صورت مستقیم است.

اگر محصول i به وسیله تولیدکننده j تولید شود.  $f_{ij}$   
در غیر این صورت. 0

اگر از انبار h استفاده شود.  $f_h$   
در غیر این صورت. 0

$L_t$ : مدت زمان صدور تقاضا برای دوره t (برحسب هفته).

$V_{ij}$ : ظرفیت تولیدکننده j برای محصول i.

$V_h$ : ظرفیت انبار h.

$Y_r$ : واحد ظرفیت سیستم حمل و نقل r.

E: میزان محصول فاسدشده در هر انبار که نیازی به حمل وجود ندارد.

$\alpha_{ij}$ : درصد ضایعات کالای i که به وسیله تولیدکننده j تولید می‌شوند.

$\beta_{ih}$ : درصد ضایعات یک هفته کالای i که در انبار h نگهداری می‌شوند.

$\gamma_{ijhr}$ : درصد ضایعات کالای i که به وسیله سیستم حمل و نقل r از تولیدکننده j به انبار توزیع‌کننده h حمل

می‌شوند.

$\mu_{ijer}$ : درصد ضایعات کالای i که به وسیله سیستم حمل و نقل r از تولیدکننده j به خرده‌فروش e حمل می‌شوند.

$\rho_{iher}$ : درصد ضایعات کالای i که به وسیله سیستم حمل و نقل r از انبار توزیع‌کننده h به خرده‌فروش e حمل

می‌شوند.

$CS_i$ : مقدار هزینه به‌ازاء هر واحد کمبود کالای i.

$CB_i$ : مقدار هزینه به‌ازاء هر واحد اضافه از کالای i که در انبار می‌ماند.

### متغیرهای تصمیم

$X_{ij}$ : مقدار تولید کالای i برای تولیدکننده j.

$X_{ijer}$ : مقدار کالای i حمل شده به وسیله r از تولیدکننده j به خرده‌فروش e.

$X_{ijhr}$ : مقدار کالای i حمل شده از تولیدکننده j به انبار h به وسیله r.

$X_{ijert}$ : مقدار کالای i حمل شده از انبار h به توزیع‌کننده j در دوره t به وسیله r.

$X_{ih}$ : حداکثر موجودی انبار h از کالای i.

$W_{iht}$ : مقدار کالای i در انبار h در دوره t.

$K_{ij}$ : مقدار تولید کالای i برای تولیدکننده j که استفاده‌شدنی نیست.

$K_{ijer}$ : مقدار کالای i حمل شده به وسیله سیستم r از تولیدکننده j به خرده‌فروش e که فاسد می‌شود.

$K_{ijhr}$ : مقدار کالای i حمل شده از تولیدکننده j به انبار h که به وسیله سیستم r فاسد می‌شود.

$K_{ihert}$ : مقدار کالای  $i$  حمل شده از انبار  $h$  به توزیع کننده  $e$  با سیستم  $r$  در دوره  $t$  که فاسد می شود.

$K_{iht}$ : مقدار کالای  $i$  در انبار  $h$  که در دوره  $t$  فاسد می شود.

$B_{ih}$ : مقدار موجودی اضافه کالای  $i$  برای انبار  $h$ .

$S_{iet}$ : مقدار کمبود کالای  $i$  برای مشتری  $e$  در دوره  $t$ .

$S_{ie}$ : مقدار کمبود کالای  $i$  برای مشتری  $e$  وقتی که کالا به صورت مستقیم از تولیدکننده به خرده فروش

است.

### تابع هدف

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (C_{ij} \cdot X_{ij} + f_{ij} \cdot SC_{ij}) + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^R \left( \left[ \frac{X_{ijhr} - E}{Y_r} \right] + 1 \right) \cdot C_{jhr} \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E \sum_{r=1}^R \left( \left[ \frac{X_{ijer} - E}{Y_r} \right] + 1 \right) \cdot C_{jer} \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H \sum_{e=1}^E \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T \left( \left[ \frac{X_{ihert} - E}{Y_r} \right] + 1 \right) \cdot C_{jhr} + \sum_{h=1}^H (X_h \cdot C_h + f_h \cdot SC_h) \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J K_{ij} \cdot C_{ij} \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^R K_{ijhr} \cdot C_{ij} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E \sum_{r=1}^R K_{ijer} \cdot C_{ij} \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H \sum_{e=1}^E \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T K_{ihert} \cdot C_i + \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T K_{iht} \cdot C_i + \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E \sum_{t=1}^T (S_{iet} \\ & + S_{ie}) \cdot CS_i + \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H B_{ih} \cdot CB_i \end{aligned} \quad (1)$$

محدودیت ها:

$$X_{ij} = \sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^R X_{ijhr} + \sum_{e=1}^E \sum_{r=1}^R X_{ijer} + K_{ij} \quad (2)$$

$$X_{ih} = \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R (X_{ijhr} - K_{ijhr}) \quad (3)$$

$$X_{ih} = \sum_{e=1}^E \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T X_{ihert} + \sum_{t=1}^T K_{iht} + B_{ih} \quad D_{iet} = \sum_{h=1}^H \sum_{r=1}^R (X_{ihert} - K_{ihert}) + S_{iet} \quad (4)$$

$$D_{ie} = \sum_{r=1}^R (X_{ijer} - K_{ijer}) + S_{ie} \quad (5)$$

$$X_{ij} \leq V_{ij} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ih} \leq V_h \quad (7)$$

$$W_{iht} = X_{ih} - \sum_{e=1}^E \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^{t-1} X_{ihert} - \sum_{t=1}^{t-1} K_{iht} \quad (۸)$$

$$K_{ij} = X_{ij} \cdot \alpha_{ij} \quad (۹)$$

$$K_{ijhr} = X_{ijhr} \cdot \gamma_{ijhr} \quad (۱۰)$$

$$K_{ijer} = X_{ijer} \cdot \mu_{ijer} \quad (۱۱)$$

$$K_{ihert} = X_{ihert} \cdot \rho_{ihert} \quad (۱۲)$$

$$K_{iht} = W_{iht} \cdot \beta_{ih} \cdot L_t \quad (۱۳)$$

$$if: X_h > 0 \leftrightarrow F_h = 1, if: X_h = 0 \leftrightarrow F_h = 0 \quad (۱۴)$$

$$if: X_{ij} > 0 \leftrightarrow F_{ij} = 1, if: X_{ij} = 0 \leftrightarrow F_{ij} = 0 \quad (۱۵)$$

**تشریح تابع هدف:** مدل ریاضی ذکرشده، یک مسئله عدد صحیح مختلط غیرخطی است. تابع هدف مطابق رابطه (۱) کمینه‌کردن هزینه‌های تولید، حمل و نقل، انبارداری، فسادپذیری، کمبود و موجودی توزیع نشده است. شرح عبارات آن به این شرح است؛ عبارت نخست: هزینه‌های ثابت و متغیر تولید که شامل هزینه‌های راه‌اندازی تولید نیز است. عبارت دوم: هزینه‌های حمل و نقل بین تولیدکننده و انبارهای میانی توزیع‌کننده براساس تعداد وسایل نقلیه. عبارت سوم: هزینه‌های حمل به صورت مستقیم از تولیدکننده به مشتری نهایی یا خرده‌فروش براساس تعداد وسایل نقلیه. عبارت چهارم: هزینه‌های حمل و نقل در تمام دوره‌ها از انبارها به خرده‌فروش‌ها براساس تعداد وسایل نقلیه. عبارت پنجم: هزینه‌های انبارداری کالا براساس بیشترین سطح موجودی یا موجودی ابتدای دوره نخست. عبارت ششم مربوط به هزینه‌های فسادپذیری (استفاده‌نشده یا فساد زودتر از موعد) کالا برای هر تولیدکننده. عبارت‌های هفتم، هشتم و نهم: فسادپذیری در موقع حمل و نقل ناصحیح یا وسیله نامناسب. عبارت دهم: هزینه‌های فسادپذیری در انبار برای تمامی دوره‌ها ثابت و برحسب مدت نگهداری کالا در انبار تعیین می‌شود. عبارت یازدهم: هزینه‌های کمبود به‌ازاء هر واحد فروش از دست‌رفته در هر دوره.

**تشریح محدودیت‌ها:** رابطه (۲): کالاهای تولیدشده به وسیله هر تولیدکننده ارسالی مستقیم برای خرده‌فروش، انبارها و درصد فاسدشده قبل از حمل. رابطه (۳): موجودی هر انبار در ابتدای دوره نخست که برابر با مجموع کالاهای ارسالی از هر تولیدکننده به‌جز مقدار تباه‌شده. رابطه (۴): مقدار موجودی هر انبار با توجه به مقدار کالای ارسالی در هر دوره برای هر خرده‌فروش و مقداری از کالا که در انتهای هر دوره فاسد می‌شود. همچنین مقدار کالاهای مانده در انبار در انتهای دوره آخر. رابطه (۵): مقدار تقاضا برای هر خرده‌فروش برابر با مقدار کالای ارسال‌شده برای هر خرده‌فروش در هر دوره با کسر مقدار فاسدشده و تقاضای برآوردنشده (فروش از دست‌رفته). رابطه (۶): حداکثر ظرفیت هر تولیدکننده برای کالاها. رابطه (۷): حداکثر ظرفیت هر کدام از انبارها. رابطه (۸): سطح موجودی برای هر کدام از کالاها در طول دوره برای هر کدام از انبارها که برابر است با حداکثر موجودی انبار با کسرکردن مجموع مقادیر ارسال‌شده برای خرده‌فروش‌ها در دوره‌های قبل و مقدار فاسدشده در دوره‌های قبل. روابط (۹) تا (۱۳): مقدار کالای فاسدشده در هر یک از مراحل تولید، حمل و انبارداری کالا در هر دوره. رابطه (۱۴): تابع شرطی است که تعیین می‌کند اگر مقدار موجودی هر انبار بزرگ‌تر از صفر باشد، تابع باینری متناظر مقدار ۱ بگیرد و در غیر این صورت مقدار ۰ بگیرد. رابطه (۱۵): تابع شرطی است که تعیین می‌کند اگر مقدار تولید هر کالا برای هر تولیدکننده بزرگ‌تر از ۰ باشد، تابع باینری متناظر مقدار ۱ و در غیر این صورت، مقدار ۰ بگیرد.

## بحث

باتوجه به اینکه مدل پایه پژوهش جاری مدل تولید - توزیع با انبارهای میانی فهمینیا و همکاران (۲۰۱۲) بوده و جزء مدل‌های پیچیده است، با به‌کارگیری روش‌های حل دقیق در زمان مطلوب جواب بهینه به دست نمی‌آید (پارک<sup>۱۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۷)؛ بنابراین برای رسیدن به جواب نزدیک به بهینه از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری استفاده شده است. این الگوریتم‌ها هم‌زمان نقاط وسیعی از جواب‌های ممکن را بررسی و اغلب جواب‌هایی خوب و نزدیک به بهینه را تولید می‌کنند. باتوجه به پژوهش‌های پیشین و استفاده از تجارب پژوهشگران، در پژوهش جاری از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بزرگ استفاده شده است.

الگوریتم ژنتیک از الگوریتم‌های فراابتکاری معروف و پرکاربرد و از خانواده ابزارهای محاسباتی بر مبنای روش الگوریتم ارزیابی است که نخستین بار هلند (۱۹۷۵) آن را ارائه داده است. پوشش دادن متغیرهای گسسته و پیوسته از مزیت‌های این الگوریتم به‌شمار می‌آید. الگوریتم ژنتیک ساده به‌وسیله پژوهشگران مختلف توسعه یافته و الگوریتم‌های کارتری از جمله ژنتیک رتبه‌ای به وجود آمده است (دب<sup>۱۹</sup>، ۲۰۰۲).

در الگوریتم‌های ژنتیک، ژن‌هایی وجود دارند که نشان‌دهنده یک مقدار برای یک متغیر تصمیم هستند. مجموعه‌ای از ژن‌ها یک کروموزوم نامیده می‌شوند که نشانگر یک جواب برای مسئله است. طراحی ساختار کروموزوم برای ایجاد جواب‌های موجه متعدد و جلوگیری از تولید جواب‌های ناموجه بسیار حیاتی است (هوپت<sup>۲۰</sup>، ۲۰۰۴).

در الگوریتم‌های ژنتیک جمعیت اولیه وجود دارد که سه فرایند اساسی جهش ژنتیکی، بازتولید و گزینش روی متغیرهای ژنتیکی اعمال می‌شود. در گزینش، یک راهبرد نخبه‌گرایی وجود دارد که از طریق آن تعدادی از جواب‌های خیلی خوب به جمعیت جدید انتقال می‌یابند. با مکانیسم بازتولید، کروموزوم‌ها به صورت تک‌نقطه‌ای یا چندنقطه‌ای با هم ترکیب می‌شوند و بخش دیگری از جمعیت جدید را به وجود می‌آورند. برای افزایش کیفیت جواب‌های جدید از مکانیسم چرخه رولت<sup>۲۱</sup> استفاده می‌شود تا احتمال گزینش جواب‌های با کیفیت بیشتر در بازتولید افزایش یابد. بخش سوم از جمعیت جدید با فرایند جهش ژنتیکی تولید می‌شوند. در الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای جواب‌های غیرموجه به جمعیت جدید انتقال نمی‌یابند (علوی دوست و همکاران، ۲۰۱۷).

برای بررسی میزان عملکرد مدل پیشنهادی و تأیید آن، چند مسئله نمونه مختلف در ابعاد متعدد حل شده‌اند. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در محیط برنامه‌نویسی MATLAB R2015a کد و از توابع آن در داخل الگوریتم استفاده شده است. از آنجا که مدل پیشنهادی پژوهش با در نظر گرفتن همه پارامترهای ذکر شده در ادبیات موضوع مشاهده نشده است، مسائل نمونه به صورت تصادفی و با استفاده از پارامترهای جدول ۳ تولید شده است.

پارامترهای الگوریتم ژنتیک که در این مسائل استفاده شده‌اند از طریق RSM<sup>۲۲</sup> به دست آمده است و عبارت‌اند از اندازه جامعه: ۱۰؛ تعداد نسل: ۵؛ احتمال تقاطع: ۰/۸؛ احتمال جهش: ۰/۲۵؛ زمان اجرا: زمان حاصل از اجرای نرم‌افزار برای تولید و اجرای روش برحسب ثانیه؛ بهترین مقدار مدل: بهترین مقدار تابع هدف که جواب کلی مدل است. باتوجه به ابعاد کوچک، مسائل در نرم‌افزار لینگو حل و بهترین جواب مدل معرفی شده است. همچنین برای هر مسئله نمونه، الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۵ کدنویسی و اجرا شده است. مقایسه مقادیر دو نرم‌افزار در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۳- ابعاد مختلف مسائل

شماره مسئله	کارخانه j	کالای i	حمل و نقل r	انبار توزیع کننده h	مشتری نهایی e	دوره t
۱	۲	۲	۲	۳	۵	۲
۲	۲	۳	۴	۴	۵	۳
۳	۳	۴	۶	۶	۶	۴
۴	۳	۴	۶	۶	۶	۵
۵	۴	۶	۶	۸	۶	۶
۶	۶	۶	۸	۸	۷	۸
۷	۸	۶	۱۰	۱۰	۸	۸
۸	۱۰	۸	۱۰	۱۲	۸	۸
۹	۱۰	۸	۱۱	۱۲	۱۰	۱۰
۱۰	۱۱	۸	۱۲	۱۲	۱۲	۱۰

جدول ۴- بهترین مقادیر به دست آمده برای حل مدل با نرم افزار لینگو و متلب

مسئله	بهترین مقدار مدل	زمان اجرا	بهترین مقدار با متلب	زمان اجرا	درصد خطا
۱	۶۵۷۱۲	۰/۰۳	۶۵۷۱۲	۷/۲	۴/۳۶
۲	۷۶۱۵۴	۰/۰۸	۷۶۱۵۴	۱۸/۹	۱/۱۷
۳	۱۳۸۱۲۹	۰/۱۲	۹۸۱۲۹	۹۵/۸	۳/۶۳
۴	۱۶۵۶۳۰	۰/۲۱	۱۲۵۶۳۰	۱۲۰/۶	۷/۶۷
۵	۱۲۰۳۴۵	۰/۲۷	۲۱۰۳۴۵	۱۱۲/۸	۳/۶۴
۶	۱۹۱۰۴۹	۰/۴۹	۲۵۱۰۴۹	۱۱۸/۹	۴/۰۹
۷	۲۸۷۴۵۰	۱/۰۵	۲۶۷۴۵۰	۲۱۱/۷	۰/۶۷
۸	۳۱۲۵۶۱	۲/۰۶	۳۴۲۵۶۱	۲۵۷/۹	۸/۷۰
۹	۴۳۱۰۲۴	۳/۲۵	۴۵۱۰۲۴	۹۷۶/۷	۱/۳۶
۱۰	۵۴۶۷۲۰	۸/۳۴	۵۴۶۷۲۰	۱۷۳۵/۹	۶/۸۲

باتوجه به خطای کم هریک از مسائل و نیز متوسط خطای قابل قبول ۴/۶ برای کل مسائل، صحت مدل‌سازی تأیید شده است.

#### موردکاوی

مدل‌سازی تخصیص یکپارچه کالا در زنجیره تأمین با ملاحظات مربوط به فسادپذیری کالا و یکپارچه‌سازی بخش‌های تولید- توزیع با وجود انبارهای میانی، نوآوری شاخص پژوهش جاری است که قبلاً با ارائه مثال‌هایی صحت مدل‌سازی آن بررسی و تأیید شد. در این قسمت مدل مدنظر برای یک مطالعه موردی درباره ذخیره‌سازی میوه شب عید حل و اعتبارسنجی می‌شود.

## تشریح مسئله

ایده اصلی مدل از فاسدشدن قریب به ۱۰ هزار تن پرتقال در انبارها و سردخانه‌ها است که در سال ۹۵ برای تنظیم بازار، انبار شده بودند. مطالعه موردی مربوط به انبار میوه شب عید است که از اطلاعات واقعی وزارتخانه‌های صنعت، معدن و تجارت، و جهاد کشاورزی استفاده شده است. هم‌چنین برای تطبیق مسئله دنیای واقعی با مدل مدنظر، از برخی فرضیات ساده‌کننده استفاده شده است.

به‌طورکلی شرایط بهینه انبارداری باتوجه‌به نوع کالا متفاوت بوده است و به میزان مقاومت آن به درجه حرارت‌های کم، رطوبت زیاد، اکسیژن کم و دی‌اکسیدکربن زیاد، میزان اتیلن و درنهایت میزان صدمات مکانیکی واردشده به میوه بستگی دارد. در اینجا به مهم‌ترین این شرایط در برخی از مرکبات اشاره می‌شود؛ بیشتر پرتقال‌ها بعد از برداشت بلافاصله و مستقیم به بازار عرضه یا فرآوری می‌شوند. معمولاً از انبار فقط برای ارقام تجاری استفاده می‌شود. برای سبزدایی پوست میوه از شرایط ۵- اپیپ یام اتیلن، ۲۹ - ۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۹۶ - ۹۰ درصد رطوبت استفاده می‌شود. به طور کلی پرتقال‌ها در دمای ۲-۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸-۱۲ هفته باتوجه‌به رقم و محل تولید قابل نگهداری هستند. از عوامل مشکل‌ساز در طول انبارداری پرتقال، کپک‌های سبز و آبی است که در دمای زیاد رخ می‌دهد.

فرضیاتی که برای حل مسئله در نظر گرفته شده عبارتند از ۱- براساس نظر خبرگان تولیدکنندگان عمده پرتقال، شهرهای ساری و کرمان هستند؛ ۲- فاصله‌ها در برخی از موارد به‌صورت خط مستقیم استفاده شده است؛ ۳- افق برنامه‌ریزی برای سه دوره در نظر گرفته شده است؛ ۴- تعداد ۶۰ انبار میانی که ۳۰ انبار به‌صورت سنتی و ۳۰ انبار سردخانه است. اطلاعات مربوط به پارامترهای مسئله در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- مشخصات تولیدکننده

ظرفیت	ساری (تن)	کرمان (تن)
۴۵۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰	
۰/۴۹	۰/۱۲	
هزینه متغیر	۱۹۰۰۰۰۰	۲۳۰۰۰۰۰
هزینه ثابت	۰	۰

همچنین ظرفیت کامیون معمولی و یخچال‌دار به ترتیب ۱۰/۵ و ۶ تن در نظر گرفته شده است.

## حل عددی مدل

مدل در دو حالت با در نظر گرفتن فرض فسادپذیری کالا در انبار و حین حمل و بدون در نظر گرفتن فسادپذیری حل شده است. برای حل مدل از نسخه ۲۰۱۵ نرم‌افزار متلب استفاده شده است. تنظیم پارامترهای مدل به‌روش RSM انجام شده است. کیفیت جواب مدل باتوجه‌به تعداد کروموزوم‌ها در جدول ۶ آمده است.

برخی نتایج حاصل از حل مدل در حالت نخست و با در نظر گرفتن فرض فسادپذیری کالا به‌شرح جدول ۷ و

۸ است.

جدول ۶- جواب‌های به‌دست‌آمده از الگوریتم برحسب تعداد کروموزوم

ردیف	تعداد کروموزوم	بهترین مقدار مدل با الگوریتم ژنتیک (میلیون)	ردیف	تعداد کروموزوم	بهترین مقدار مدل با الگوریتم ژنتیک (میلیون)
۱	۱	۴۲/۱	۱۳	۱۵۰۰	۴۳/۴
۲	۵۰	۴۲/۵	۱۴	۱۷۰۰	۴۳/۱
۳	۱۰۰	۴۲/۲۴	۱۵	۱۹۰۰	۴۳/۳
۴	۲۰۰	۴۲/۲۳	۱۶	۲۰۰۰	۴۳/۴
۵	۳۰۰	۴۲/۸	۱۷	۲۱۰۰	۴۳/۷
۶	۴۰۰	۴۲/۲۶	۱۸	۲۲۰۰	۴۳/۷
۷	۵۰۰	۴۲/۵	۱۹	۲۳۰۰	۴۳/۵
۸	۷۰۰	۴۲/۷	۲۰	۲۴۰۰	۴۳/۶
۹	۹۰۰	۴۳/۱	۲۱	۲۵۰۰	۴۳/۵
۱۰	۱۰۰۰	۴۲/۹	۲۲	۲۷۰۰	۴۳/۵
۱۱	۱۲۰۰	۴۳/۳	۲۳	۲۹۰۰	۴۳/۶
۱۲	۱۴۰۰	۴۳/۴	۲۴	۳۰۰۰	۴۳/۷

جدول ۷- مقدار کالای ارسالی از تولیدکننده‌ها به انبارهای میانی

انبارهای میانی															تولیدکننده
R	Q	P	O	N	M	L	K	H	B	F	E	D	C	A	
۵۷۸	۹۲۹	۴۱۴۴	۷۹۴	۰	۰	۸۱۹	۱۱۱۴۰	۰	۵۱۰	۲۲۰۶	۴۴۶۲	۱۱۱۵	۰	۰	ساری
۰	۰	۰	۰	۵۴۸۱	۶۰۶	۰	۰	۹۴۵	۰	۰	۰	۰	۲۸۱۷	۳۴۰۶	کرمان
P	O	N	M	L	K	H	B	F	E	D	C	A	S	T	تولیدکننده
۱۶۰۸	۱۴۴۳	۱۲۹۳	۰	۰	۰	۱۶۲۵	۰	۱۷۷۹	۰	۱۳۶۶	۱۰۵۳	۱۰۹۹	۴۲۰۳	۰	ساری
۰	۰	۰	۲۸۱۱	۱۶۰۴	۲۲۶۹	۰	۶۰۲	۰	۲۶۸۷	۰	۰	۰	۰	۲۳۱۷	کرمان

جدول ۸- مقدار کالای فاسدشده در هر دوره

انبارهای میانی															دوره
R	Q	P	O	N	M	L	K	H	B	F	E	D	C	A	
۱۴۲	۶۵	۸۲	۲۰۹	۱۰۱	۴۲۱	۴۰	۸۵	۴۲۵	۱۰۶	۱۸	۱۸۷	۲۳۳	۱۲۷	۱۲۴	نخست
۲۱	۵	۹	۴۰	۶	۷۳	۷	۱۲	۷۵	۷	۵	۲۸	۴۰	۱۳	۲۲	دوم
۶	۱	۲	۱۰	۲	۱۸	۲	۲	۱۹	۳	۱	۷	۱۰	۴	۵	سوم
P	O	N	M	L	K	H	B	F	E	D	C	A	S	T	دوره
۷۴	۱۱۲	۷۱	۶۷	۱۵۴	۶۰	۱۹۴	۱۱۲	۳۷	۱۴۰	۱۳۰	۶۱	۱۰۱	۸۵	۳۳۰	نخست
۱۰	۱۳	۱۲	۱۱	۲۵	۱۳	۳۰	۱۴	۶	۲۱	۱۹	۱۴	۷	۱۷	۵۲	دوم
۲	۴	۳	۳	۷	۳	۷	۴	۱	۶	۵	۳	۳	۴	۱۳	سوم

هزینه کل سیستم در مرحله نخست و با فرض فسادپذیری کالاها ۱۶۰۰۰ میلیارد ریال است. نتایج حاصل از حل مدل در حالت دوم و بدون در نظر گرفتن فرض فسادپذیری کالاها به شرح جدول ۹ است.

جدول ۹- مقدار کالای ارسالی از تولیدکنندگان به توزیع کنندگان در مدل دوم

انبارهای میانی															شهر
R	Q	P	O	N	M	L	K	H	B	F	E	D	C	A	
۵۷۸	۹۲۹	۴۱۴۴	۷۹۳	۵۴۸۱	۶۰۶	۸۱۹	۱۱۱۴۰	۹۴۵	۵۰۹۹	۲۲۰۶	۴۴۶۲	۱۱۴۲	۲۸۱۷	۳۴۰۶	ساری
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	کرمان
P	O	N	M	L	K	H	B	F	E	D	C	A	S	T	شهر
۱۶۰۸	۱۴۴۳	۱۲۹۳	۲۸۱۱	۱۶۰۴	۲۲۶۹	۱۶۲۵	۶۰۲	۱۷۷۹	۲۶۸۷	۱۳۶۶	۱۰۵۳	۱۰۹۹	۴۲۰۳	۲۳۱۷	ساری
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	کرمان

هزینه کل سیستم در حالت دوم ۱۰۰۰۰ میلیارد ریال است. خلاصه مقایسه نتایج حل مدل در دو حالت نخست (کالاها فسادپذیر هستند) و در حالت دوم (بدون در نظر گرفتن فرض فسادپذیری کالاها) در جدول ۱۰ آورده شده است.

جدول ۱۰- مقایسه نتایج حل عددی مدل در دو حالت فسادپذیری کالا و بدون آن

تحلیل	حالت دوم (کالاها فسادپذیر نیستند)	حالت نخست (کالاها فسادپذیر)	عامل مقایسه شده
افزایش هزینه‌های سیستم در حالت فسادپذیری کالاها	۱۰۰۰۰ میلیارد ریال	۱۶۰۰۰ میلیارد ریال	هزینه کل سیستم
توجه به فسادپذیری کالاها و استفاده از فناوری‌های نوین نگهداری کالاها	کاهش هزینه حمل و نقل	کاهش هم‌زمان مسافت و فسادپذیری کالاها	تأکید کاهش هزینه مدل بر
استفاده بهینه از انبارهای میانی	تنها از انبارهای یک تولیدکننده	استفاده از انبارهای هر تولیدکننده	استفاده از انبارهای میانی
افزایش دقت مدل و کاربرد بیشتر آن در عمل	تشخیص ناپذیر	قابل تعیین و تشخیص	تعیین میزان فاسدشدن کالاها در انبار و حین حمل و نقل هر دوره
یافتن بهترین ترکیب سیستم نگهداری و حمل و نقل زنجیره	وجود ندارد	وجود دارد	امکان بررسی سیستم‌های حمل و نقل و نگهداری مختلف زنجیره

### نتیجه‌گیری

یکپارچگی اطلاعاتی از روش‌های کارای بهبود عملکرد زنجیره‌های تأمین است. مهم‌ترین مزیت‌های استفاده از یکپارچگی در زنجیره تأمین در بخش‌های تولید - توزیع، افزایش عملکرد زنجیره در سطح مدیریتی و حداکثر سطح کیفیت کالای تحویلی به مشتری نهایی و کمینه‌کردن هزینه‌های کلی زنجیره است. در پژوهش جاری مدل ریاضی یکپارچه سیستم تولید - توزیع در زنجیره با وجود انبارهای میانی در توزیع و در نظر گرفتن عامل فساد کالاها در انبار یا حین حمل و نقل ارائه شد.

باتوجه به غیرخطی بودن مدل پیشنهادی، نمی‌توان از روش‌های دقیق پژوهش در عملیات برای حل و یافتن جواب بهینه در مسائل با ابعاد بزرگ در زمان مناسب استفاده کرد. برای رسیدن به جواب مناسب و نزدیک به بهینه باید از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری استفاده کرد. در پژوهش جاری از الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای به دلیل تناسب

بیشتر با مسئله استفاده شده است. مدل پیشنهادی با مثال عددی برای چند مسئله با ابعاد کوچک با روش‌های دقیق و الگوریتم پیشنهادی حل و از مقایسه جواب‌های به‌دست‌آمده، دقت محاسباتی و صحت مدل تأیید شد.

برای اعتبارسنجی مدل در دنیای واقع، موردکاوی روی یکی از زنجیره‌های تأمین مواد غذایی فسادپذیر انجام شد. از اطلاعات واقعی ۱۰ سال گذشته این زنجیره استفاده و مدل در دو حالت با در نظر گرفتن عامل فساد کالا در انبار و حین حمل و بدون لحاظ آن عامل، حل شد. برای هر دو حالت، میزان تولید هرکدام از تولیدکنندگان، تخصیص بهینه کالاها به انبارهای میانی توزیع‌کنندگان، میزان ارسال و تخصیص مراکز توزیع به خرده‌فروش‌ها و تعیین سیستم توزیع به دست آمد.

نتایج به‌دست‌آمده حاکی از این است که در یکپارچگی بخش‌های تولید - توزیع بدون محدودیت طول عمر کالاها، مهم‌ترین معیار از دیدگاه هزینه‌ای، فاصله است؛ بنابراین مدل‌های رایج پس از یکپارچگی مدل سعی در کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل بین‌شهری و تأکید بر حمل از انبارهای موجود در درون شهری را دارند؛ ولی در حالت دوم و با نظر گرفتن عامل فساد کالاها در مدل، یکپارچگی زنجیره ضمن توجه به کاهش هزینه حمل‌ونقل، موجب سوق‌دادن زنجیره تأمین به استفاده از فناوری‌های نو در سیستم نگهداری و حمل دارد. نتیجه این کار کاهش هزینه فسادپذیری کالاها است. اگرچه در این حالت هزینه‌های نگهداری و حمل اندکی افزایش می‌یابند، در نهایت هزینه کل زنجیره کاهش می‌یابد.

در مدلی که هزینه‌های فسادپذیری لحاظ نمی‌شود، حجمی بالغ بر ۳۵٪ درصد از کالاها فاسد می‌شوند. این فاسدشدن ناشی از استفاده‌نکردن از سیستم‌های حمل‌ونقل و انبارداری مجهز به سردخانه و فناوری‌های جدید است. هزینه اضافی که بر اثر فسادپذیری کالا متحمل می‌شود حدود ۶۰۰۰ میلیارد ریال است. این هزینه به‌دلیل استفاده‌نکردن از زنجیره تأمین سرد است؛ بنابراین در اثر تصمیم‌گیری مبنی بر استفاده از زنجیره تأمین سنتی، علاوه بر پیامدها و عوارض زیست‌محیطی، هزینه‌های زیاد فسادپذیری کالا بر زنجیره تحمیل می‌شود.

این پژوهش یک مدل پشتیبان است که به مدیران در اتخاذ تصمیمات بهتر با توجه به شرایط و محدودیت‌های موجود در دنیای واقعی کمک می‌کند و باعث استفاده از ظرفیت‌های نهفته در صنعت مواد غذایی و کشاورزی شود. زمینه‌های متعددی برای توسعه این پژوهش در آینده وجود دارد؛ از جمله، انجام تحلیل حساسیت روی پارامترهای ورودی مسئله و تنظیم پارامترهای روش حل برای تحلیل میزان تغییرات حاصله در جواب نهایی مدل. هم‌چنین در نظر گرفتن فرضیات دنیای واقعی در مدل‌سازی مسئله از جمله تقاضا برای کالاها به صورت احتمالی، نرخ فسادپذیری براساس کیفیت مواد اولیه، تقاضای وابسته به قیمت محصول و در نظر گرفتن مسئله در فضای عدم قطعیت برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود. ساخت مدل ریاضی برای تعیین بهترین ترکیب نگهداری و سیستم حمل‌ونقل زنجیره تأمین یکی دیگر از پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی است.

## References

- Alavidoost, M., Zarandi M. H., F., Tarimoradi, M., & Nemati, Y. (2017). "Modified genetic algorithm for simple straight and U-shaped assembly line balancing with fuzzy processing times". *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(2), 313-336.
- Chakraborty, D., D.K. Jana, and T.K. Roy, (2015). "Multi-item integrated supply chain model for deteriorating items with stock dependent demand under fuzzy random and bifuzzy environments".

- Computers & Industrial Engineering*, 88,166-180.
- Deb, K., Pratap, A., & Meyarivan T. (2002). "A fast and elitist multi objective genetic algorithm: NSGA-II". *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), 182-197.
- Fahimnia, B., L. Luong, and R. Marian, (2012). "Genetic algorithm optimisation of an integrated aggregate production–distribution plan in supply chains". *International Journal of Production Research*, 50(1), 81-96.
- Giri, B. and S. Sharma, (2015). "An integrated inventory model for a deteriorating item with allowable shortages and credit linked wholesale price". *Optimization Letters*, 9(6), 1149-1175.
- Haq, A.N., P. Vrat, and A. Kanda, (1991). "An integrated production-inventory-distribution model for manufacture of urea: a case". *International Journal of production economics*, 25(1-3), 39-49.
- Haupt, R. L., & Haupt, S. E. (2004). "Practical genetic algorithms". *John Wiley & Sons*.
- Hazen, B.T., J. B., Skipper, C. A., Boone, R. R., Hill, (2018). "Back in business: Operations research in support of big data analytics for operations and supply chain management". *Annals of Operations Research*, 270(1-2), 201-211.
- Hugos, M. H. (2018). "Essentials of supply chain management". *John Wiley & Sons*.
- Kim, Y., C. Yun, S. B., Park, S. Park, L. T. Fan, (2008). "An integrated model of supply network and production planning for multiple fuel products of multi-site refineries". *Computers & Chemical Engineering*, 32(11), 2529-2535.
- Lee, S., and D. Kim, (2014). "An optimal policy for a single-vendor single-buyer integrated production–distribution model with both deteriorating and defective items". *International journal of production economics*, 147, 161-170.
- Lieder, M., and A. Rashid, (2016). "Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry". *Journal of cleaner production*, 115, 36-51.
- Martins, S., Amorim, P., and Almada-Lobo, B. (2018). Delivery mode planning for distribution to brick-and-mortar retail stores: discussion and literature review". *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 30(4), 785-812.
- Mentzer, J.T., William, DeWitt, James, S., Keebler, Soonhong, Min, Nancy, W., Nix, Carlo, D. Smith, and Zach G. Zacharia (2001). "Defining supply chain management". *Journal of Business logistics*, 22(2), 1-25.
- Monczka, R. M., R. B., Handfield, L. C. Giunipero, (2015). "Purchasing and supply chain management". *Cengage Learning*.
- Ntabe, E. N., LeBel, L., Munson, A. D., Santa-Eulalia, L. A. (2015). "A systematic literature review of the supply chain operations reference (SCOR) model application with special attention to environmental issues". *International Journal of Production Economics*, 169, 310-332.
- Park, B. J., Choi, H. R., & Kang, M. H. (2007). "Integration of production and distribution planning using a genetic algorithm in supply chain management, in Analysis and design of intelligent systems using soft computing techniques". *Springer*, 416-426.
- Ramezani, M., M. Bashiri, and R. Tavakkoli-Moghaddam, (2013). "A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level". *Applied Mathematical Modelling*, 37(1-2), 328-344.
- Sarkar, B., Majumder, A., Sarkar, M., Dey, B. K. (2017). "Two-echelon supply chain model with manufacturing quality improvement and setup cost reduction". *Journal of Industrial & Management Optimization*, 13(2), 1085-1104.
- Wang, G., Angappa, Gunasekaran, Ngai, Eric, W. T.,Thanos, Papadopoulos, (2016). "Big data

- analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications". *International Journal of Production Economics*, 176, 98-110.
- Wong, C.W., Lai, K., Cheng, T. C. E., Lun, Y. H. V. (2015). "The role of IT-enabled collaborative decision making in inter-organizational information integration to improve customer service performance". *International Journal of Production Economics*, 159, 56-65.
- Wu, J., Al-khateeb, F. B., Teng, J. T., Leopoldo, EduardoCárdenas-Barrón, (2016). "Inventory models for deteriorating items with maximum lifetime under downstream partial trade credits to credit-risk customers by discounted cash-flow analysis". *International Journal of Production Economics*, 171, 105-115.
- Yılmaz, P. and B. Çatay, (2006). "Strategic level three-stage production distribution planning with capacity expansion". *Computers & Industrial Engineering*, 51(4), 609-620.

- 
- 1- Lieder and Rashid
  - 2- Hazen
  - 3- Ntabe
  - 4- Monczka
  - 5- Wong
  - 6- Hugos
  - 7- Wu
  - 8- Haq
  - 9- Yılmaz
  - 10- Lee and Kim
  - 11- Mentzer
  - 12- Wang
  - 13- Kim
  - 14- Giri and Sharma
  - 15- Sarkar
  - 16- Martins
  - 17- Chakraborty
  - 18- Park
  - 19- eb
  - 20- Haupt