Journal of Industrial Innovations 3(3) (2025) 83 – 103

Industrial Innovations

https://jii.araku.ac.ir

ISSN: 3092-7811

Simulation Model of a Flexible Supply Chain under Disruption Conditions: A Case Study of Dairy Products

Fatemeh Eshaghi [a], Ashkan Mohsenzadeh Ledari [a*]

[a] Department of Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Behshahr, Iran.

Original Article

Use your device to scan and read the article online

Citation: Eshaghi F, Mohsenzadeh Ledari A. Simulation Model of a Flexible Supply Chain under Disruption Conditions: A Case Study of Dairy Products. Industrial Innovations. 2025;3 (3):83-103.

https://doi.org/10.61882/jii.3.3.83

KEYWORDS

Dairy supply chain;
Dynamic simulation;
Resilience
Capacity disruption;
Supply chain risk.

ABSTRACT

This study develops a comprehensive nationwide supply chain network model for perishable dairy products, integrating a domestic supplier, multiple production facilities and distribution centers, and geographically dispersed customer demand points. A discrete-event simulation model was constructed using AnyLogistix software to holistically analyze dynamic network behavior and quantify key performance indicators, including total profitability, system-wide inventory levels, order-to-delivery lead times, and service level fulfillment rates. To accurately assess resilience, deliberate capacity disruptions were incorporated. Two high-impact, prolonged disruption scenarios were modeled: a complete 90-day production center shutdown and a parallel 90-day distribution center shutdown, both initiating in the fifth operational month. For each scenario, a suite of proactive and reactive managerial response strategies was rigorously evaluated to determine optimal pathways for enhancing supply chain robustness and recovery. Simulation results demonstrate that during a production disruption, activating a pre-negotiated emergency production outsourcing contract significantly improves network redundancy, restores effective capacity, and mitigates losses in profitability and customer service levels. For distribution network failures, the optimal response is contingent upon strategic priorities: inventory policy adjustments across the remaining network offer a cost-efficient solution, while establishing a pre-qualified backup distribution center provides superior service continuity at a higher fixed cost. The core contribution of this research is a validated, dynamic simulation framework designed to support data-driven strategic decision-making for building resilience in critical food supply chains against unforeseen operational shocks. This versatile tool enables managers and planners to proactively stress-test the network, benchmark multiple mitigation strategies, and ultimately maintain stringent service level agreements while optimizing overall cost-efficiency and operational continuity in the face of disruptions.

Extended Abstract

1. Introduction

Supply chain resilience has gained increasing importance in recent years due to disruptions caused by pandemics, natural disasters, and economic fluctuations. In the dairy industry, the high perishability and time sensitivity of products make supply chains particularly vulnerable to production and distribution disruptions.

2. Statement of the Problem

* Corresponding author.
E-mail address: ashkanmo87@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.61882/jii.3.3.83
Received: November 26, 2025; Received in revised form: Junuary 31, 2026; Accepted: February 1, 2026.
Article type: Research Paper

Unforeseen disruptions can significantly impact profitability, inventory, lead times, and service levels. There is a need for a decision-support framework to evaluate network behavior and resilience under different disruption scenarios.

3. Methodology

A nationwide dairy supply chain was modeled, including a domestic supplier, production and distribution centers, and customer demand points. A discrete-event simulation in AnyLogistix analyzed key performance indicators under two 90-day disruption scenarios: production facility shutdown and distribution center shutdown. Various managerial strategies to enhance resilience were tested.

4. Results

Emergency production outsourcing increased redundancy, capacity, profitability, and service levels under production disruptions. For distribution disruptions, either adjusting inventory policies or establishing a backup distribution center proved optimal, depending on managerial priorities.

5. Conclusion

The study demonstrates a dynamic simulation-based framework that supports managerial decision-making to improve resilience, operational flexibility, and service levels in dairy supply chains under unforeseen disruptions.

نوآوری‌های صنعتی، دوره ۳، شماره ۳، سال ۱۴۰۴، صفحات ۸۳ تا ۱۰۳

نوآوری‌های صنعتی

شاپا: ۷۸۱۱-۳۰۹۲

مدل شبیه‌سازی برای یک زنجیره تأمین انعطاف پذیر تحت شرایط اختلال: مطالعه موردی محصولات لبنی

فاطمه اسحاقی[الف]، اشکان محسن زاده لداری[ب*]

[الف] گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران. fatemeeshaghi1379@gmail.com

[ب] گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران. ashkanmo87@gmail.com

واژگان کلیدی

زنجیره تأمین لبنیات؛
شبیه‌سازی پویا؛
تاب‌آوری؛
اختلال ظرفیت؛
ریسک زنجیره تأمین.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲

چکیده

در این پژوهش، یک شبکه‌ی زنجیره تأمین محصولات لبنی در سطح کشور توسعه یافت که شامل یک تأمین‌کننده داخلی، مراکز تولید و توزیع و نقاط تقاضای مشتریان می‌باشد. به‌منظور تحلیل رفتار شبکه و شاخصه‌های عملکرد کلیدی مانند سودآوری، موجودی کالا، مدت‌زمان بین ثبت سفارش تا تحویل و سطح خدمت به مشتریان، مدل شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار AnyLogistix طراحی شد. برای شبیه‌سازی شرایط واقعی، اختلالاتی در ظرفیت مراکز تولید و توزیع ایجاد شد و دو سناریوی اختلال شامل تعطیلی مرکز تولید و تعطیلی مرکز توزیع به مدت ۹۰ روز در ابتدای ماه پنجم در نظر گرفته شد. جهت افزایش تاب‌آوری، سناریوهای مدیریتی مختلف برای هر اختلال بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که در سناریوی اختلال تولید، فعال‌سازی برون‌سپاری اضطراری تولید با پیمانکار خارجی، باعث افزایش افزونگی، ظرفیت تولید و سودآوری و بهبود سطح خدمت به مشتریان می‌شود. در سناریوی اختلال توزیع، بسته به اولویت تصمیم‌گیرنده، تغییر سیاست موجودی مراکز یا ایجاد مرکز توزیع پشتیبان، بهینه‌ترین راهکار محسوب می‌شوند. هدف اصلی پژوهش، ارائه چارچوب شبیه‌سازی پویای پشتیبان تصمیم‌گیری برای بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین محصولات لبنی در مواجهه با اختلالات پیش‌بینی‌نشده است.

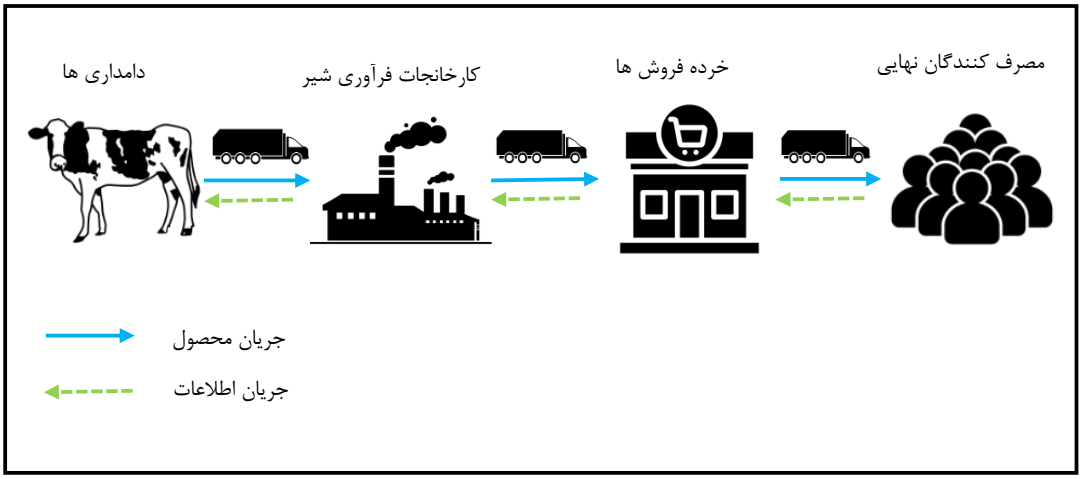
۱- مقدمه

جهانی‌شدن به‌طور قابل‌توجهی پیچیدگی و ریسک سازمان‌ها را افزایش داده است. اکثر مشاغل برای حفظ رقابت در بازار به شبکه‌های زنجیره تأمین خود متکی هستند. در سال‌های اخیر، عواملی مانند تغییرات اقلیمی، تغییرات ژئوپلیتیکی، نوسانات اقتصادی و بیماری‌های همه‌گیر جهانی، ریسک‌های زنجیره تأمین را در صنایع مختلف برجسته کرده‌اند. این ریسک‌ها می‌توانند هم از عملیات داخلی زنجیره تأمین و هم از محیط خارجی ناشی شوند. برای عبور از رویدادهای پیش‌بینی‌نشده، شرکت‌ها باید استراتژی‌های تاب‌آوری را توسعه دهند. مدیریت مؤثر ریسک‌های زنجیره تأمین برای تقویت تاب‌آوری در زنجیره‌های تأمین در بخش‌های مختلف بسیار مهم است.

این پژوهش بر صنعت لبنیات، یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در سطح جهان، تمرکز دارد. زنجیره تأمین لبنیات به دلیل افزایش تقاضای جهانی برای محصولات لبنی، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است. زنجیره تأمین لبنیات شامل تمام مراحل تولید،

* نویسنده مسئول؛
آدرس پست الکترونیک: ashkanmo87@gmail.com

فرآوری، توزیع و خرده‌فروشی محصولات لبنی است. این سیستم نقش مهمی در رساندن محصولات لبنی از مزارع به مصرف‌کنندگان نهایی ایفا می‌کند. زنجیره تأمین لبنیات یک سیستم پیچیده است که شامل ذینفعانی مانند کشاورزان، تولیدکنندگان شیر، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشان و مصرف‌کنندگان نهایی می‌شود.



شکل ۱ زنجیره تامین لبنیات

با وجود مطالعات متعدد در حوزه زنجیره تأمین و شبیه‌سازی، پژوهش‌های کاربردی که رفتار کل شبکه زنجیره تأمین لبنیات را در شرایط اختلال و عدم قطعیت به‌صورت پویا تحلیل کنند، محدود هستند. نوآوری اصلی این تحقیق، توسعه یک مدل شبیه‌سازی پویا با استفاده از نرم‌افزار AnyLogistix است که سناریوهای اختلال در ظرفیت مراکز تولید و توزیع را شبیه‌سازی کرده و اثرات آن بر شاخص‌های کلیدی عملکرد مالی، عملیاتی و موجودی را بررسی می‌کند. این رویکرد به تصمیم‌گیرندگان زنجیره تأمین امکان می‌دهد استراتژی‌های تاب‌آوری موثرتری اتخاذ کنند و نقاط ضعف شبکه را شناسایی نمایند. با توجه به پیچیدگی ساختار زنجیره تأمین، وجود وابستگی‌های متقابل، رفتارهای غیرخطی و اثرات تأخیری ناشی از اختلالات، مدل‌های تحلیلی و ایستا توانایی تحلیل دقیق پویایی سیستم را ندارند. بنابراین، در این پژوهش از شبیه‌سازی پویا به‌عنوان رویکردی مناسب برای بررسی رفتار زنجیره تأمین در طول زمان و ارزیابی هم‌زمان سناریوهای مختلف اختلال و راهبردهای تاب‌آوری استفاده شده است.

هدف این پژوهش توسعه روش‌ها و ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری برای افزایش تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین لبنیات ایران در مواجهه با اختلالات غیرقابل‌پیش‌بینی است.

با توجه به تحقیقات محدود در این زمینه، تقاضای زیادی برای مطالعه زنجیره تأمین لبنیات در سطح جهانی وجود دارد. برای پر کردن این خلأ، این پژوهش قصد دارد با شناسایی خطرات اصلی، چالش‌های کلیدی و استراتژی‌های کاهش ریسک، یک گونه‌شناسی از خطرات زنجیره تأمین لبنیات ارائه دهد. این تحقیق بخشی از پروژه تحقیقاتی زنجیره تأمین لبنیات ایران است که هدف آن پرداختن به چالش‌ها و حمایت از صنعت لبنیات کشور می‌باشد.

در این راستا، سوالات تحقیقاتی زیر پیشنهاد می‌شوند:

- چگونه می‌توان یک مدل شبیه‌سازی برای بررسی رفتار دقیق یک زنجیره‌تامین انعطاف‌پذیر تحت شرایط اختلال ظرفیت در مراکز تولید و توزیع برای محصول لبنیات توسعه داد؟
- نحوه ایجاد اختلال در یک مدل شبیه‌سازی زنجیره تأمین لبنیات به چه صورت است؟
- چه سناریوهای انعطاف‌پذیری برای بهبود عملکرد زنجیره‌تامین به منظور مقابله فعالانه با اختلال در ظرفیت مراکز

تولید و توزیع قابل اجرا هستند؟

- اختلالات چگونه بر عملکرد زنجیره تامین لبنیات تأثیر می‌گذارند؟
- اختلال در کدام بخش بیشترین تأثیر را بر عملکرد زنجیره تامین لبنیات دارد؟

۲- مروری بر ادبیات موضوع

در سال‌های اخیر، مدیریت ریسک و تاب‌آوری زنجیره تأمین به‌عنوان یکی از حوزه‌های کلیدی تحقیقاتی مطرح شده است. افزایش اختلالات ناشی از تغییرات اقلیمی، بحران‌های ژئوپلیتیکی و همه‌گیری‌ها، ضرورت بررسی رفتار زنجیره‌های تأمین در شرایط عدم‌قطعیت را آشکار کرده است. تاب‌آوری زنجیره تأمین توانایی سیستم در پیشگیری، پاسخ و بازیابی از اختلالات را نشان می‌دهد و به‌عنوان مزیت رقابتی سازمان‌ها محسوب می‌شود. مطالعات پیشین در این حوزه شامل شناسایی و طبقه‌بندی ریسک‌ها، توسعه مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی، و شبیه‌سازی پویا برای تحلیل رفتار شبکه تحت سناریوهای اختلال بوده‌اند. شبیه‌سازی پویا به دلیل توانایی مدل‌سازی روابط غیرخطی، تعاملات پیچیده و تأخیرهای زمانی، ابزار مهمی برای ارزیابی تاب‌آوری و ارائه راهکارهای مدیریتی محسوب می‌شود.

ایوانوف (۲۰۲۵) نشان می‌دهد که تمرکز تولید در مقیاس محلی تاب‌آوری کوتاه‌مدت زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد و ترکیب استراتژی‌های محلی و جهانی انعطاف و سطح خدمت را بهبود می‌بخشد. پراتیک ماهشواری (۲۰۲۳) با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار AnyLogistix، تأثیر COVID-19 بر زنجیره تأمین مواد غذایی در هند را از منظر زمان تحویل، هزینه، درآمد و سود تحلیل کردند. عایشه النابت (۲۰۲۳) نیز با تمرکز بر شرکت آگریکو در قطر، اختلالات مختلف زنجیره تأمین مواد غذایی را شبیه‌سازی کرده و استحکام و انعطاف‌پذیری شبکه را بررسی نمود. جایاکریشنا کنداسامیب (۲۰۲۳) اثرات COVID-19 بر زنجیره تأمین کالاهای الکترونیکی در ایالات‌متحده را موردمطالعه قرار داد و راهبردهایی برای افزایش تاب‌آوری پیشنهاد کرد. سیندوانی (۲۰۲۳) بر کاهش اثرات اختلالات در شبکه توزیع دارویی هند تمرکز کرد و با مدل‌سازی و شبیه‌سازی، عملکرد شبکه در بحران‌ها را تحلیل نمود. کان دینگ (۲۰۲۲) اختلالات زنجیره تأمین خرده‌فروشی لوازم‌خانگی را با چهار سناریو مختلف شبیه‌سازی کرد و نشان داد که اختلال در مرکز انبار بیشترین اثر منفی را بر شاخص‌های مالی و زمانی دارد. لوکاس ویتورینو (۲۰۲۲) نیز اثرات COVID-19 بر زنجیره تأمین انگور در برزیل را بررسی و سناریوهای اختلال را شبیه‌سازی کرد. سرگئی آ لوچان (۲۰۲۱) تأثیر رویدادهای ریسک و شرایط ناپایدار بر کیفیت خدمات و شاخص‌های اقتصادی شبکه خرده‌فروشی مواد غذایی در روسیه را ارزیابی نمود. دولگی، ایوانوف و روزهوک (۲۰۱۹) نشان دادند که اختلال در تولید و توزیع می‌تواند اثر موجی ایجاد کرده و اثر شلاقی سفارشات را تشدید کند، اما مدیریت هماهنگ سفارش و موجودی این اثرات را کاهش می‌دهد. دیمیتری ایوانوف (۲۰۱۷) نیز تأثیر اختلالات بر زنجیره تأمین لبنیات در استرالیا و محصولات فاسدشدنی در اروپا را با شبیه‌سازی در AnyLogistix بررسی کرده و اثر سناریوهای مختلف را بر شاخص‌های عملکرد تحلیل کرد.

با توجه به فسادپذیری بالا و حساسیت زمانی محصولات لبنی، زنجیره تأمین این صنعت نسبت به اختلالات ظرفیت در مراکز تولید و توزیع آسیب‌پذیری بیشتری دارد. ازاین‌رو، بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه شبیه‌سازی پویای زنجیره تأمین مواد غذایی و لبنیات، به‌ویژه در شرایط اختلال و با تمرکز بر راهبردهای تاب‌آوری، از اهمیت بالایی برخوردار است. بر همین اساس، در ادامه، مطالعات کلیدی مرتبط با موضوع پژوهش حاضر مرور و مقایسه شده‌اند که خلاصه‌ای از آن‌ها در جدول ۱ ارائه می‌شود.

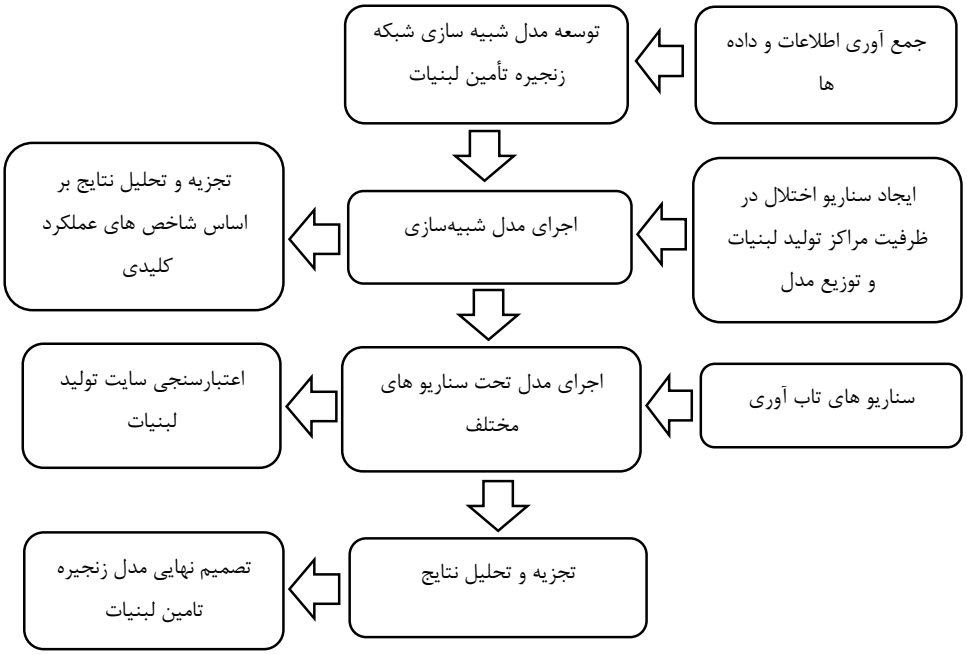
جدول ۲ مقالات کلیدی ادبیات موضوع در زنجیره تامین در شرایط مختلف اختلال

ردیف	محقق (سال)	روش حل	شرایط اختلال			تجزیه‌وتحلیل ریسک	انعطاف پذیری	نوع محصول	کشور موردمطالعه/ مرجع
			در مرکز انبار	ظرفیت تولید	حمل‌ونقل				
۱	چایما بن رباح و همکاران (۲۰۲۵)	شبیه‌سازی پویا	*	*		*	*	مواد غذایی	قطر/ [۱۳]
۲	دیمیتری ایوانوف (۲۰۲۵)	شبیه‌سازی پویا		*		*	*	تجهیزات روشنایی	چین/ [۶]
۳	علی عشعشوار و همکاران (۲۰۲۵)	شبیه‌سازی پویا		*		*	*	باتری‌های مصرفی و قابل بازیافت	ایران/ [۲]
۴	فرانچسکو لونگو و همکاران (۲۰۲۴)	مدل ریاضی		*	*	*	*	مواد غذایی	ایتالیا/ [۱۰]
۵	پراتیک ماهشواری و همکاران(۲۰۲۳)	شبیه‌سازی پویا		*	*	*	-	مواد غذایی	هند/ [۱۲]
۶	عایشه النابت (۲۰۲۳)	شبیه‌سازی پویا		*	*	*	*	مواد غذایی	قطر/ [۱]
۷	جایاکریشنا کنداسامیب و همکاران(۲۰۲۳)	شبیه‌سازی پویا		*	*	*	*	کالاهای الکترونیکی	ایالات‌متحده آمریکا/ [۹]
۸	سیندوانی و همکاران(۲۰۲۳)	مدل ریاضی		*		*	*	شبکه توزیع دارو	هند/ [۱۴]
۹	کان دینگ و همکاران(۲۰۲۲)	شبیه‌سازی			*	*	-	لوازم‌خانگی	_/ [۳]
۱۰	لوکاس ویتورینو و همکاران(۲۰۲۲)	شبیه‌سازی پویا	*	*		*	_	انگور	برزیل/ [۱۵]
۱۱	سرگئی آ لوچان و همکاران (۲۰۲۱)	مدل ریاضی	*	*		*	*	مواد غذایی	روسیه/ [۱۱]
۱۲	دولگی و همکاران(۲۰۱۹)	شبیه‌سازی پویا	*	*		*	*	نوشیدنی‌ها	آلمان/ [۴]
۱۳	پیترو جیانسلو و همکاران(۲۰۱۷)	شبیه‌سازی پویا	*		*	*	*	صنعت خودروسازی	آلمان/ [۵]
۱۴	دیمیتری ایوانوف و همکاران(۲۰۱۷)	شبیه‌سازی پویا		*	*	*	*	لبنیات	استرالیا/ [۸]
۱۵	دیمیتری ایوانوف (۲۰۱۷)	شبیه‌سازی پویا	*	*		*	*	مواد غذایی	اتریش/ [۷]

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اغلب پژوهش‌ها در حوزه زنجیره تأمین بر طراحی شبکه، بهینه‌سازی هزینه و انتخاب تأمین‌کننده در شرایط ایستا متمرکز بوده‌اند و تحلیل پویای رفتار کل شبکه تحت اختلال و عدم‌قطعیت کمتر موردتوجه قرارگرفته است. اگرچه شبیه‌سازی پویا و تاب‌آوری زنجیره تأمین در سال‌های اخیر موردبررسی قرار گرفته‌اند، کاربرد یکپارچه آن‌ها در صنایع محصولات فسادپذیر، به‌ویژه صنعت لبنیات و در کشورهای درحال‌توسعه، محدود است. مطالعات اندکی به بررسی اختلالات ظرفیت در مراکز تولید و توزیع و ارزیابی هم‌زمان سناریوهای تاب‌آوری با استفاده از ابزارهای تخصصی شبیه‌سازی مانند AnyLogistix پرداخته‌اند. پژوهش حاضر با تمرکز بر شبیه‌سازی پویای زنجیره تأمین لبنیات ایران و تحلیل اثر اختلالات ظرفیت، درصدد پر کردن این شکاف تحقیقاتی و ارائه راهکارهای کاربردی و تصمیم‌یار برای مدیران این صنعت است.

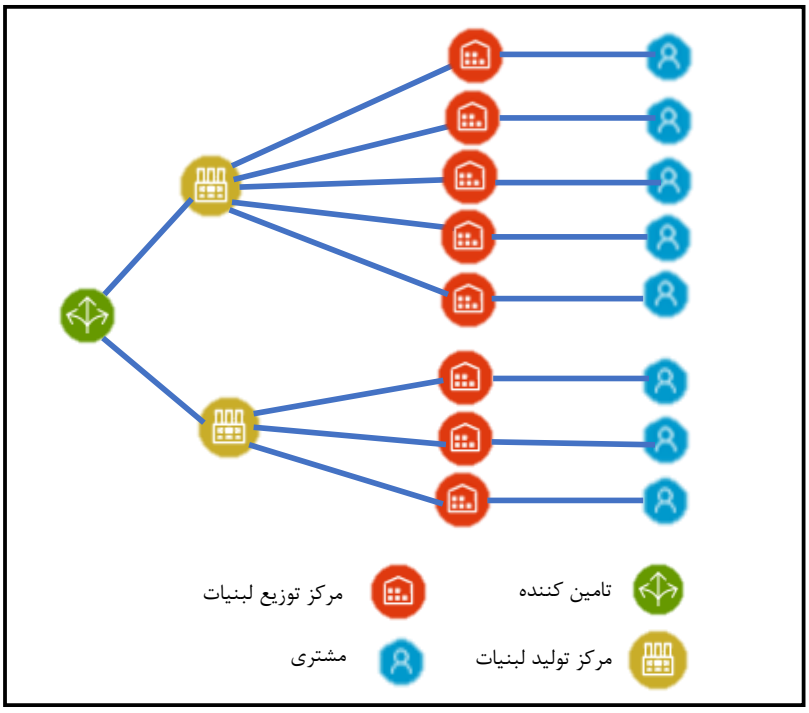
۳- روش تحقیق

برای مدل‌سازی مسئله، ابتدا ساختار شبکه زنجیره تأمین محصولات لبنیات در ایران تعریف و تفکیک شد تا تمام سطوح و اجزای کلیدی آن شناسایی شود. مدل شبیه‌سازی، رفتار شبکه زنجیره تأمین را در شرایط مختلف و بر اساس شاخص‌های عملکرد کلیدی مانند هزینه‌ها، سطح موجودی، زمان تحویل و سطح خدمت به مشتری تحلیل می‌کند. سپس عدم قطعیت‌ها به‌صورت سناریوهای اختلال در ظرفیت مراکز تولید و توزیع مدل‌سازی شدند. برای بررسی انعطاف‌پذیری و پاسخ فعال زنجیره تأمین در برابر اختلالات، سناریوهای تاب‌آوری طراحی و شبیه‌سازی شدند. بر اساس آزمایش شبیه‌سازی و بررسی شاخص‌های عملکرد کلیدی به‌دست‌آمده، بهترین سناریو انعطاف‌پذیر به‌منظور بهبود عملکرد شبکه زنجیره تأمین لبنیات تحت شرایط اختلال در ظرفیت مراکز توزیع و تولید انتخاب می‌شود. مراحل انجام کار در این بخش در شکل زیر به‌صورت نمودار زیر آورده شده‌است.



شکل ۲ چهارچوب پیشنهادی

مدل زنجیره تأمین لبنیات مسئله، یک مدل چهار سطحی می‌باشد که هر سطح مسئولیت‌های خاص خود را دارد. این مدل شامل سطح تأمین‌کننده،کارخانجات لبنیات، انبارهای لبنیات و مشتریان لبنیات می‌باشد. ساختار زنجیره تامین در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۳ ساختار شبکه زنجیره تامین

شکل ۴ مدل شبیه‌سازی زنجیره تامین با اتصال مسیریاب

در شکل بالا نقشه جغرافیایی زنجیره تامین لبنیات نمایش داده می‌شود. زنجیره تامین مدنظر با توجه به لیست مواد سفارش و تعداد سفارش‌ها، مواد اولیه موردنیاز را به کارخانه‌های تولید فرآورده‌های لبنی ارسال می‌کند.

تمام مقادیر هزینه‌ها بر اساس داده‌های واقعی شرکت‌ها و نرخ‌های استاندارد حمل‌ونقل محاسبه‌شده‌اند. در مواردی که داده‌های دقیق موجود نبود، مقادیر بر اساس برآورد کارشناسی و منابع مشابه صنعتی تعیین شد. مدل شبیه‌سازی با داده‌های واقعی صنعت لبنیات اعتبارسنجی شد و نتایج آن با عملکرد واقعی سیستم همخوانی داشت. برای احداث و راه‌اندازی کارخانه و مرکز توزیع لبنیات، هزینه‌های متعددی وجود دارد که در جدول ۲ نشان داده‌شده است.

جدول ۲ هزینه‌های مربوط به مراکز زنجیره تأمین (تومان)

ردیف	مرکز	هزینه احداث	هزینه حمل‌ونقل (به ازای هر تن در روز)	هزینه بسته شدن مرکز	سایر هزینه‌ها (روزانه)
۱	مراکز تولید لبنیات	۲۳۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰،۰۰۰	۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۷۶،۰۰۰،۰۰۰
۲	مراکز توزیع لبنیات	۷۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۵۳۰،۰۰۰	۴۵۰،۰۰۰،۰۰۰	۴۳،۰۰۰،۰۰۰

مدت‌زمان بین ثبت سفارش تا تحویل کالا به مشتریان بر اساس میانگین زمان تحویل واقعی در سال ۲۰۲۳ و داده‌های تاریخی شرکت‌ها، ۳ روز در نظر گرفته شد. تقاضا یک موجودیت است که در صنعت پرسرعتی مانند محصولات لبنی ثابت نیست که میزان تقاضای لبنیات با استفاده از داده‌های تاریخی موجود ایجاد شد.

جدول ۳ مقدار تقاضا (تن)

ردیف	مشتری	ماست	پنیر	دوغ	کشک	کره	خامه
۱	تهران	۳۲۷۸۳	۳۴۹۳۲	۵۳۲۰۴	۲۵۲۱۳	۲۷۱۴۴	۱۸۳۷۲
۲	مشهد	۱۷۶۴۹	۱۲۸۹۷	۳۹۲۱۲	۱۱۷۰۸	۱۰۵۱۳	۹۰۱۸
۳	اصفهان	۱۵۷۷۸	۱۴۸۹۹	۱۳۸۹۲	۹۹۳۸	۱۲۴۵۲	۸۴۸۷
۴	کرج	۱۱۶۶۷	۹۳۷۲	۸۴۳۲	۵۳۰۸	۶۷۵۴	۴۸۰۹
۵	تبریز	۱۱۲۰۰	۱۱۰۳۴	۹۸۸۴	۶۳۵۴	۵۸۰۹	۵۴۳۵
۶	شیراز	۸۸۱۶	۱۱۰۱۲	۹۵۳۴	۶۲۵۲	۵۷۹۳	۵۳۹۱
۷	اهواز	۶۷۶۹	۱۱۰۰۹	۹۴۸۹	۶۲۴۹	۵۷۹۱	۵۳۸۳
۸	کرمانشاه	۶۰۴۳	۱۰۹۸۴	۹۴۷۸	۶۲۳۸	۵۷۸۴	۵۳۷۹
۹	ارومیه	۵۴۷۴	۱۰۹۳۵	۹۴۵۲	۶۲۱۵	۵۷۷۹	۵۳۷۸
۱۰	رشت	۴۶۶۲	۱۰۸۸۹	۹۴۳۸	۶۱۹۴	۵۷۷۳	۵۳۵۶
۱۱	زاهدان	۴۰۴۲	۱۰۷۵۳	۹۴۱۷	۶۱۸۹	۵۷۶۹	۵۲۹۴
۱۲	کرمان	۳۵۶۷	۱۰۶۸۹	۹۳۷۹	۶۱۷۳	۵۷۶۸	۵۲۸۴
۱۳	اراک	۳۵۳۲	۱۰۵۹۲	۹۳۶۴	۶۱۶۱	۵۷۵۹	۵۲۷۹
۱۴	همدان	۳۳۳۵	۱۰۴۴۹	۹۳۵۸	۶۱۵۹	۵۷۴۲	۵۲۷۲
۱۵	یزد	۳۲۴۷	۱۰۴۳۸	۹۳۴۹	۶۱۴۸	۵۷۳۸	۵۱۹۴
۱۶	اردبیل	۳۱۴۸	۱۰۲۹۴	۹۳۳۸	۶۱۳۵	۵۷۲۹	۵۱۲۲
۱۷	بندرعباس	۳۱۱۰	۱۰۱۷۹	۹۳۱۴	۶۱۲۲	۵۷۰۳	۵۰۷۳
۱۸	اسلامشهر	۲۹۹۸	۱۰۱۵۴	۹۳۰۹	۶۱۰۹	۵۶۸۴	۵۰۶۱
۱۹	زنجان	۲۸۹۷	۱۰۱۰۹	۹۲۸۰	۶۰۹۸	۵۶۷۹	۵۰۲۹
۲۰	قزوین	۲۸۸۵	۱۰۰۸۰	۹۲۷۶	۶۰۵۴	۵۶۶۳	۴۹۷۳

برای حمل‌ونقل چهار نوع وسیله نقلیه در نظر گرفته شد. در مورد محاسبه هزینه حمل‌ونقل، فرض بر این بوده که این مقادیر به‌طور مستقیم متناسب با مسافت طی‌شده هستند.در جدول زیر نوع، ظرفیت و سرعت وسیله نقلیه مورد استفاده در مدل آورده شده‌است.

جدول ۴ مشخصات وسیله حمل‌ونقل

ردیف	وسیله نقلیه	ظرفیت (تن)	سرعت(کیلومتر بر ساعت)
۱	خاور	۵	۵۰
۲	تک	۱۰	۴۵
۳	ده چرخ	۱۵	۴۰
۴	تریلی	۲۴	۴۰

در این مدل، روش‌های حمل‌ونقل با مشخص‌کردن منابع (تأمین‌کنندگان) و مقاصد (تأسیسات تولید و توزیع) تنظیم شدند. برای هر مرحله، لازم بود نوع مناسب حمل‌ونقل تعیین شود، ظرفیت بارگیری آن‌ها مشخص گردد و سیاست اولویت‌بندی سفارش‌ها بر اساس تقاضا انتخاب شود. دو حالت اصلی بارگیری تعریف شد:

- FTL[1] (بار کامل کامیون): حالتی که وسیله نقلیه با بار کامل حرکت می‌کند. برای این حالت، نسبت حداقل بار مشخص شد تا تعیین کند چه زمانی کامیون می‌تواند به‌عنوان «کاملاً بارگیری‌شده» در نظر گرفته شود.
- LTL[2] (بار کمتر از بار کامل): حالتی که وسیله نقلیه با ظرفیت کمتر از بار کامل حمل می‌کند.
- این تنظیمات باعث می‌شود انتخاب نوع حمل‌ونقل متناسب با تقاضا انجام‌شده و بهره‌وری زنجیره تأمین بهبود یابد.
- در این مطالعه، سیاست‌های اولویت برای حمل‌ونقل از بین سه نوع زیر انتخاب شدند:
- FIFO[3] : اولین سفارش دریافتی بالاترین اولویت را دارد.
- ELT[4] : سفارشی که کمترین زمان تحویل دارد، بیشترین اولویت می‌گیرد.
- Big First: سفارش‌هایی با بزرگ‌ترین مقدار اولویت دارند. این سیاست همچنین سایر سفارش‌های همان گروه تأمین‌کننده را بررسی کرده و در صورت وجود چند سفارش، دوباره بزرگ‌ترین مقدار را در اولویت قرار می‌دهد.

سیاست FIFO برای ارسال منابع از تأمین‌کننده به کارخانه‌ها و ELT برای ارسال محصولات از کارخانه‌ها به مراکز توزیع انتخاب شد. این ترکیب به حداقل رساندن هزینه سرمایه و کاهش زمان تحویل کمک می‌کند. انتخاب FTL برای مسیر تأمین‌کننده تا مراکز تولید با هدف کاهش هزینه، کاهش ردپای کربن و حفظ کیفیت محصولات انجام شد.

جدول ۵ مشخصات وسیله حمل‌ونقل

ردیف	منابع	مقصد تحویل	محصول	نوع	اولویت
۱	تامین کننده	مراکز تولید	مواد اولیه	FTL	FIFO
۲	مراکز تولید	مراکز توزیع	محصولات نهایی	LTL	ELT
۳	مراکز توزیع	مشتریان	محصولات نهایی	LTL	ELT

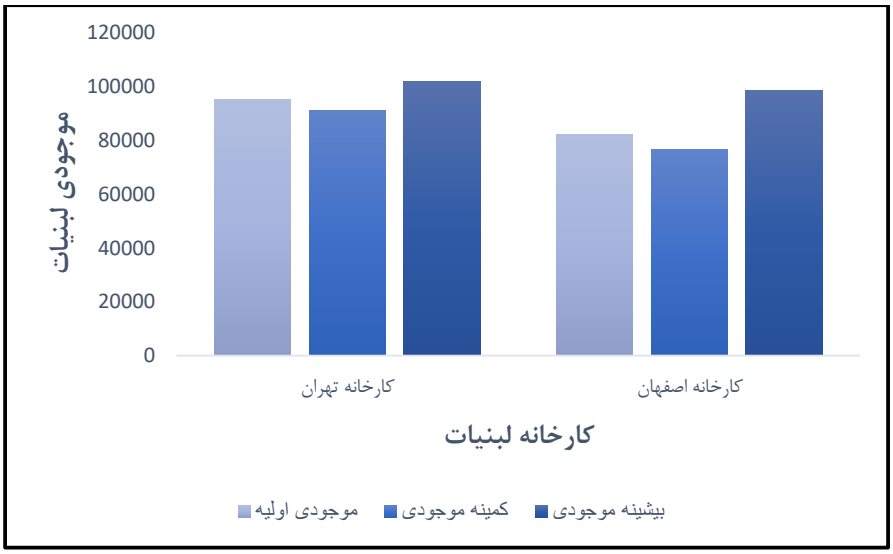
لازم بود که قبل از تعیین انواع سیاست‌های موجودی و پارامترهای بعدی آنها، محصولات مواد اولیه درگیر در زنجیره تأمین فهرست شوند و هزینه و قیمت فروش آنها تعیین شود.

[1] Full Truck Load
[2] Less-than-TruckLoad
[3] First Input, First Output
[4] Estimated Lead Time

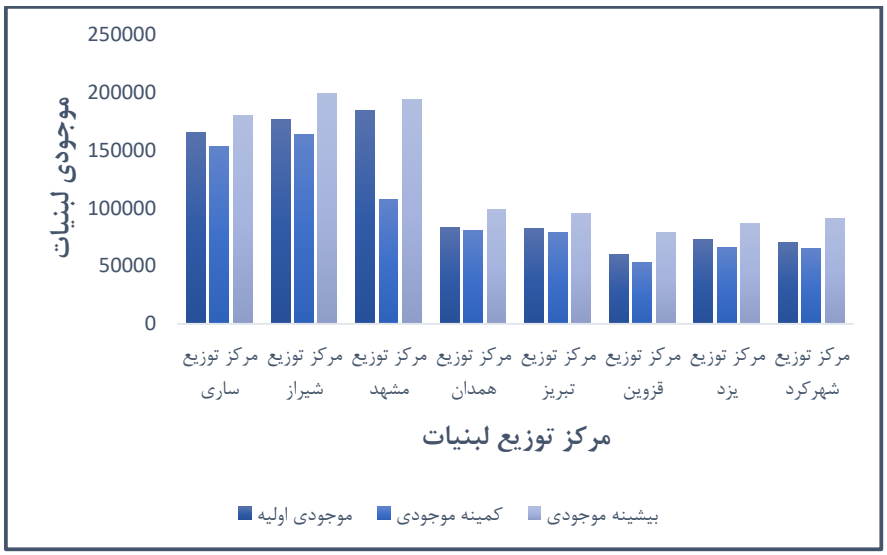
جدول ۶ مشخصات وسیله حمل‌ونقل

ردیف	محصول	هزینه (تومان)	قیمت فروش (تومان)
۱	شیر	۲۰،۰۰۰	-
۲	ماست	-	۱۶۵،۰۰۰
۳	پنیر	۰	۵۱۰،۰۰۰
۴	آب	۲،۰۰۰	۰
۵	دوغ	۰	۸۵،۰۰۰
۶	کشک	۰	۱۲۸،۰۰۰
۷	کره	۰	۳۹۴،۰۰۰
۸	خامه	۰	۲۳۵،۰۰۰
۹	شیر خشک	۹۷،۰۰۰	۰
۱۰	شکر	۵۵،۰۰۰	۰
۱۱	مایه‌پنیر	۷۵،۰۰۰	۰
۱۲	نمک	۷،۰۰۰	۰

نوع سیاست انتخاب‌شده برای کنترل موجودی، سیاست نوع (s,S) بود که معمولاً به‌عنوان سیاست حداقل-حداکثر شناخته می‌شود. تحت این سیاست، محصولات زمانی سفارش داده می‌شوند که سطح موجودی به زیر یک نقطه ثابت (s) برای پر کردن مجدد کاهش می‌یابد. حداکثر ظرفیت موجودی روی (S) تنظیم شده است و به‌عنوان حد موجودی برای سفارشات عمل می‌کند.



شکل ۵ سیاست موجودی در مراکز تولید لبنیات



شکل ۶ سیاست موجودی در مراکز توزیع لبنیات

محصولات مختلف زنجیره تأمین لبنیات از نظر زمان تولید، ظرفیت و هزینه تفاوت‌های قابل‌توجهی دارند؛ محصولاتی مانند ماست و دوغ با زمان تولید کوتاه، ظرفیت بالا و هزینه پایین، انعطاف‌پذیری بالایی در پاسخ به تقاضا و اختلالات دارند، درحالی‌که پنیر، کره و خامه با زمان تولید طولانی، ظرفیت محدود و هزینه بالا نیازمند برنامه‌ریزی دقیق تولید و موجودی استراتژیک هستند تا کمبود و اختلال در تأمین رخ ندهد. این داده‌ها نشان می‌دهد که ترکیب مناسب سیاست‌های تولید و مدیریت موجودی برای هر محصول می‌تواند ضمن کاهش هزینه‌ها، سطح خدمت به مشتری و تاب‌آوری زنجیره تأمین را بهینه کند. در جدول زیر ظرفیت تولید و هزینه تولید محصولات در کارخانه‌های لبنیات شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی آورده شده است.

جدول ۷ زمان و هزینه تولید محصولات

ردیف	محصول	زمان تولید (ساعت)	ظرفیت تولید(کیلوگرم)	هزینه تولید (تومان)
۱	ماست	۶	۶۰۰۰	۲۵،۰۰۰
۲	پنیر	۸	۸۰۰	۷۵،۰۰۰
۳	دوغ	۲	۱۲۰۰	۱۵،۰۰۰
۴	کشک	۱۰	۳۰۰۰	۳۰،۰۰۰
۵	کره	۴	۸۰۰	۶۰،۰۰۰
۶	خامه	۳	۶۰۰	۴۵،۰۰۰

شبیه‌سازی برای یک دوره ۱۲ماهه اجرا شد تا دقیقاً آنچه را که در طول سال ۲۰۲۳ در ایران رخ داده است بازتولید کند. دو سناریوی اختلال شامل تعطیلی مرکز تولید لبنیات تهران و تعطیلی مرکز توزیع شیراز برای ۹۰ روز در ابتدای ماه پنجم دوره شبیه‌سازی انتخاب شدند. برای هر سناریو، سناریوهای تاب‌آوری طراحی شد که شامل برون‌سپاری تولید، افزایش تولید در مراکز دیگر، تخصیص موجودی به مراکز دیگر و استفاده از مراکز ذخیره‌سازی پشتیبان بود. این سناریوها به‌منظور ارزیابی اثر هر اقدام بر عملکرد مالی، سطح خدمت و موجودی زنجیره تأمین شبیه‌سازی شدند.

جدول ۸ سناریوهای اختلال در مدل

ردیف	سناریو	مرکز تعطیل‌شده	شروع تعطیلی مرکز	مدت تعطیلی (روز)
۱	سناریو ۱	کارخانه لبنیات تهران	ابتدای ماه پنجم	۹۰
۲	سناریو ۲	مرکز توزیع لبنیات شیراز	ابتدای ماه پنجم	۹۰

برای بازگشتن از هرکدام از سناریوهای حالت اختلال چند سناریو در نظر گرفته شده است:

سناریو۱-۱: فعال کردن برون‌سپاری تولید اضطراری با شرکت پیمانکار برای افزایش افزونگی و تامین ظرفیت تولید بیشتر برای کاهش ریسک بلندمدت.

سناریو۱-۲: افزایش تولید در مرکز تولید دیگر برای جبران تولید ازدست‌رفته به‌عنوان تاب‌آوری کوتاه‌مدت.

سناریو۲-۱: تخصیص موجودی به مراکز توزیع دیگر

سناریو۲-۲: استفاده از مرکز ذخیره‌سازی کوچکتر

هزینه‌های مربوط به شرکت پیمانکار و مرکز توزیع پشتیبان به‌صورت زیر درنظر گرفته‌شده‌است:

جدول ۹ هزینه‌های مربوط به مراکز پشتیبان زنجیره تأمین (تومان)

ردیف	مرکز	هزینه حمل‌ونقل (به ازای هر تن در روز)	سایر هزینه‌ها (روزانه)
۱	شرکت پیمانکار	۱،۰۰۰،۰۰۰	۱۰،۷۰۰،۰۰۰
۲	مرکز توزیع پشتیبان	۸۰۰،۰۰۰	۴،۲۰۰،۰۰۰

تغییر سیاست موجودی در مرکز تولید و توزیع‌ها به‌صورت سیاست حداقل-حداکثر می‌باشد که در زیر آورده‌شده‌است:

جدول ۱۰ تغییر سیاست موجودی مراکز تولید و توزیع در سناریوها

ردیف	مرکز	کمینه موجودی (هزار تن)	بیشینه موجودی (هزار تن)
۱	کارخانه اصفهان	۸۰۲۷۰	۹۵۶۳۰
۲	مرکز توزیع پشتیبان	۱۲۰۵۸۰	۱۵۸۹۶۵
۳	مرکز توزیع یزد	۹۵۲۱۵	۱۲۵۲۵۰

٤- نتایج مطالعه شبیه‌سازی

نتایج مطالعه شبیه‌سازی بر اساس شاخص‌های کلیدی عملکرد مختلف استخراج شد که برای تسهیل درک و تحلیل داده‌ها، در سه زیرگروه اصلی سازماندهی شدند:

۱. شاخص‌های کلیدی عملکرد مالی: شامل تمام معیارهایی که عملکرد مالی را نشان می‌دهند، از جمله هزینه نگهداری موجودی، سود، درآمد، هزینه حمل‌ونقل و هزینه کل.

۲. شاخص‌های کلیدی عملکرد عملیاتی: شامل معیارهایی که ظرفیت عملیاتی کل فرآیند را از منبع‌یابی تا تحویل به مشتری اندازه‌گیری می‌کنند.

۳. شاخص‌های کلیدی عملکرد موجودی و ظرفیت: شامل معیارهایی که ظرفیت مراکز تولید و توزیع را ارزیابی کرده و تعداد محصولات در موجودی را ردیابی می‌کند.

در جدول زیر معیارهای مختلف عملکرد مالی شبکه زنجیره تأمین آورده شده‌است:

جدول ۱۱ معیارهای عملکرد مالی شبیه‌سازی شبکه زنجیره تأمین (تومان)

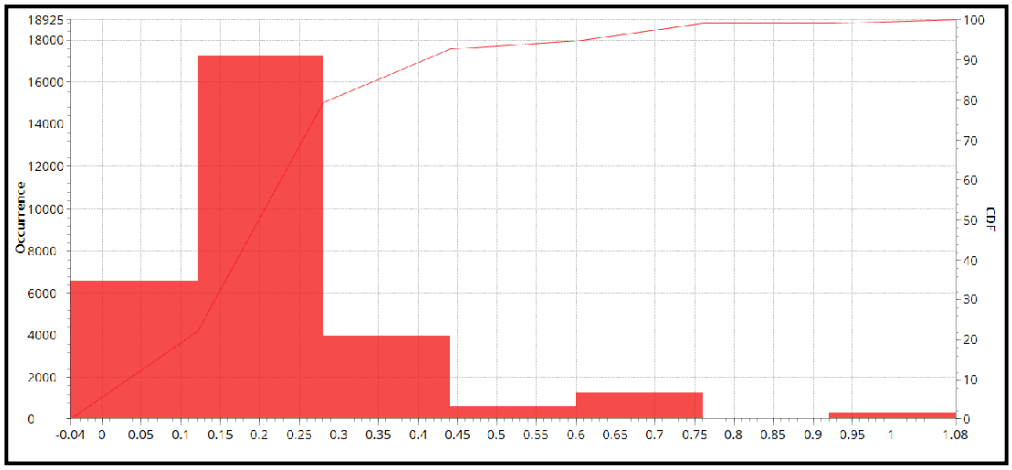
ردیف	فرآیند مالی	مقدار(تومان)
۱	هزینه نگهداری موجودی	۲۹۱،۸۹۲،۳۱۳
۲	سود	۲۰۷،۷۵۶،۱۲۴،۳۸۰
۳	درآمد	۵۱۲،۰۷۲،۲۵۰،۰۰۰
۴	هزینه کل	۳۰۴،۳۱۶،۱۲۵،۶۱۹
۵	هزینه حمل‌ونقل	۳،۵۷۱،۱۵۰،۲۰۷

تحلیل داده‌های جدول نشان می‌دهد که سود شبکه زنجیره تأمین به میزان قابل‌توجهی تحت تأثیر هزینه‌های نگهداری

موجودی و هزینه حمل‌ونقل قرار دارد. با توجه به این نتایج، مدیران زنجیره تأمین می‌توانند با بهینه‌سازی موجودی و انتخاب سیاست‌های حمل‌ونقل مناسب، سودآوری و کارایی شبکه را بهبود بخشند.

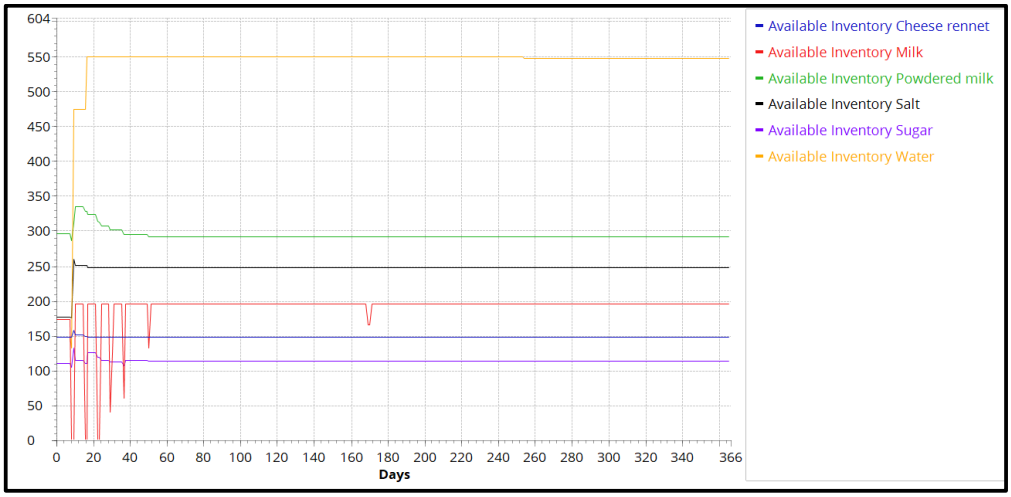
معیارهای عملیاتی زنجیره تأمین عمدتاً مبتنی بر ارزیابی عملکرد زمان تحویل است. این کار با اندازه‌گیری سطح خدمات ELT بر اساس سفارش و سطح خدمات ELT بر اساس محصول انجام شد. سطح خدمات ELT شاخصی است که میزان تکمیل سفارشات در زمان پیش‌بینی‌شده را اندازه‌گیری می‌کند. سطح خدمات ELT بر اساس سفارش، سطح خدمات را بر اساس زمان صرف شده برای انجام هر سفارش مشتری ارزیابی می‌کند. این معیار، میزان تکمیل قابل‌اعتماد سفارشات را در زمان تحویل تخمینی، با در نظر گرفتن تمام اقلام موجود در سفارش، ارائه می‌دهد. نسبت میانگین برای سطح خدمات ELT بر اساس سفارش برای مراکز تولید ۱ محاسبه شد. این نسبت نشان‌دهنده سطح بالایی از اجرای سفارش است، به این معنی که تحویل مواد اولیه به تأسیسات تولید مطابق با برنامه تعیین‌شده، انجام می‌شود. سطح خدمت به مشتری بر اساس محصول ۰.۹۱۵ محاسبه شد که به معنای ارائه خدمات به مشتری بر اساس نوع محصولاتی است که خریداری کرده‌اند. سطح بالای خدمت به مشتری باعث افزایش رضایتمندی مشتریان می‌شود. هرچه سطح خدمت به یک نزدیک‌تر باشد، کارایی مدل زنجیره تأمین بهتر است.

در شکل زیر مدت‌زمان بین سفارش تا تحویل آن به دست مشتری به‌صورت نمودار تجمعی آورده شده است. تمامی سفارش‌ها در کمتر از ۳ روز تحویل‌شده‌اند، که بیانگر عملکرد بهتر از زمان پیش‌بینی‌شده است. این بهبود می‌تواند ناشی از بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، مدیریت مؤثر موجودی و سیاست‌های مناسب مراکز توزیع باشد. کاهش زمان تحویل موجب افزایش رضایت مشتری، بهبود سطح خدمات و همسویی بهتر بین عرضه و تقاضا شده و ریسک کمبود موجودی را کاهش می‌دهد.

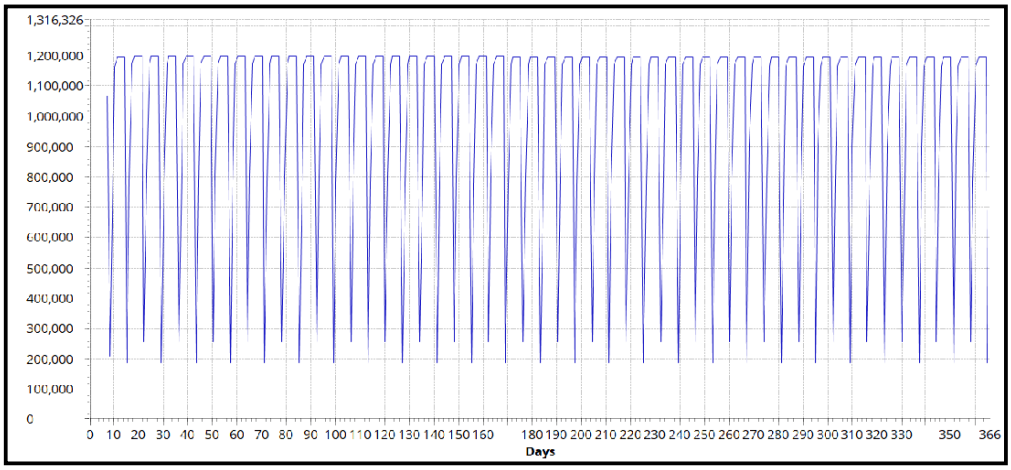


شکل ۷ توزیع تجمعی مدت‌زمان بین سفارش تا تحویل به مشتری

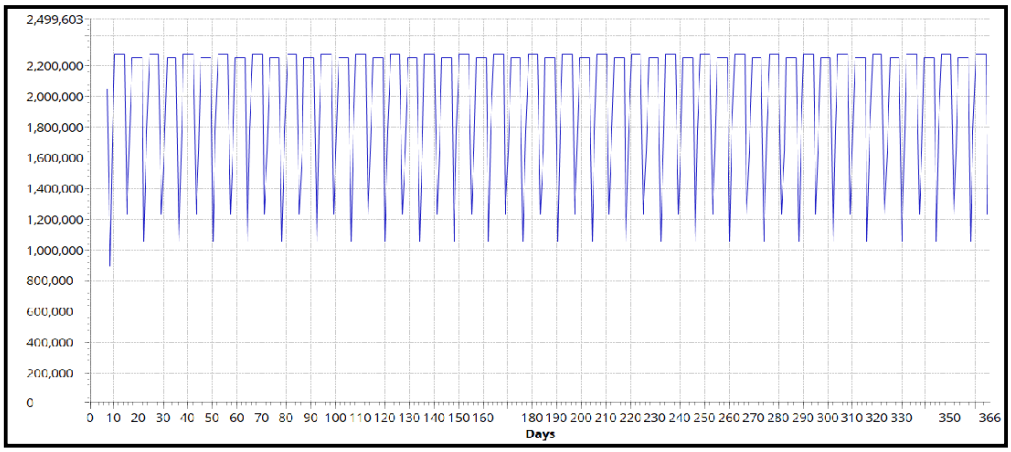
پویایی موجودی یک معیار حیاتی برای ردیابی است زیرا ایمنی مواد اولیه و چرخه بازسازی بر اساس آن تعیین می‌شود. همچنین یک فرآیند تولید سازگار را تضمین می‌کند و به حداقل رساندن موجودی ضایعات کمک می‌کند. برنامه‌ریزی پویایی ظرفیت و استراتژی‌های کارآمد مدیریت موجودی به همسو کردن سطوح موجودی با برنامه‌های تولید کمک می‌کند. این امر همچنین به حداقل رساندن هزینه‌های نگهداری موجودی کمک می‌کند. درحالی‌که برنامه‌ریزی مدیریت موجودی برای همه محصولات مهم است، برنامه‌ریزی آن برای مواد اولیه پرهزینه و کم تقاضا حتی مهم‌تر می‌باشد، ازاین‌رو تنظیم موجودی این محصولات برای اطمینان از حداقل هدر رفت محصول و سرمایه مهم است. موجودی کارخانه لبنیات و مرکز توزیع لبنیات در طی یک سال، شبیه‌سازی شده‌است. همان‌طور که مشخص است موجودی در این مراکز از روند خاصی که در سیاست موجودی مراکز تعریف شده‌است، پیروی می‌کند.



شکل ۸ ظرفیت موجود برای تمام مواد اولیه در مراکز تولید



شکل ۹ موجودی در مراکز تولید لبنیات



شکل ۱۰ موجودی در مراکز توزیع لبنیات

ظرفیت کل موجودی برابر ۱,۵۴۱ مترمکعب بوده و تمام مواد اولیه مستقیماً از تأمین‌کننده به تأسیسات تولید ارسال می‌شوند، که انعطاف‌پذیری و پاسخگویی سریع شبکه زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد.

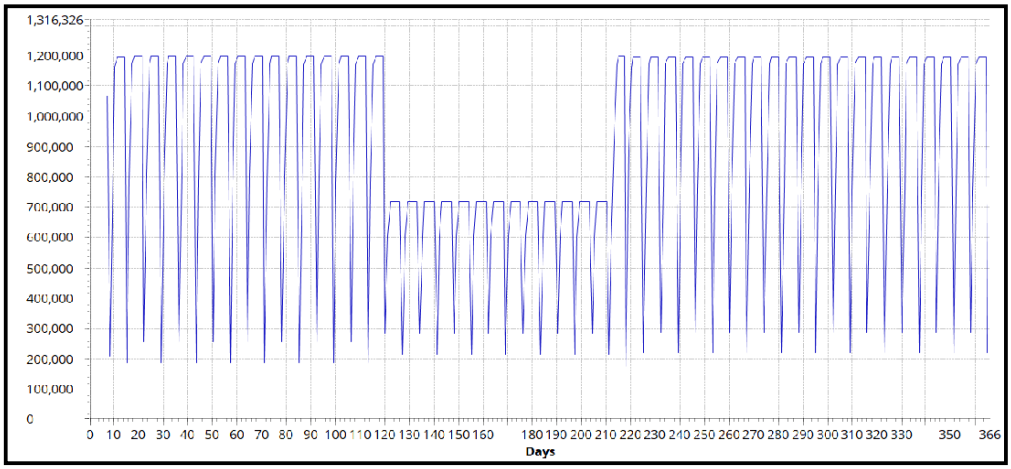
٤-۱- سناریو اختلال در ظرفیت مرکز تولید

با توجه به نتایج شبیه‌سازی، تغییر فعال کردن برون‌سپاری تولید اضطراری با شرکت پیمانکار سود بیشتری نسبت به تغییر سیاست موجودی در کارخانه دیگر برای زنجیره تأمین دارد. خروجی مالی سناریو اختلال در مرکز تولید و سناریوهای انعطاف‌پذیری آن در جدول زیر آمده‌است.

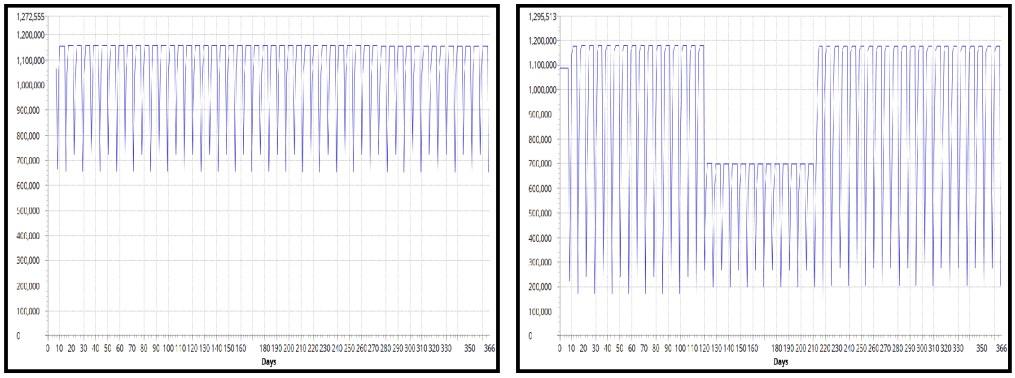
جدول ۱۱ معیارهای عملکرد مالی شبیه‌سازی شبکه زنجیره تأمین (تومان)

شماره سناریو	۱	۱-۱	۱-۲
سناریو فرایند مالی	اختلال در کارخانه تهران	در نظر گرفتن کارخانه پشتیبان	تغییر در سیاست موجودی کارخانه
هزینه نگهداری موجودی	۲۵۴،۱۸۳،۳۰۴	۲،۴۱۴،۷۱۴،۶۴۵	۲۶۶،۷۵۳،۷۰۹
سود	۱۷۳،۵۶۳،۴۷۳،۶۰۴	۱۷۹،۲۶۸،۰۷۶،۵۰۶	۱۷۳،۶۰۹،۹۶۰،۸۰۷
درآمد	۴۷۱،۵۲۳،۹۵۰،۰۰۰	۵۱۲،۰۷۲،۲۵۰،۰۰۰	۴۷۱،۵۲۳،۹۵۰،۰۰۰
هزینه کل	۲۹۷،۹۶۰،۴۷۶،۳۹۶	۳۳۲،۸۰۴،۱۷۳،۴۹۴	۲۹۷،۹۱۳،۹۸۹،۱۹۳
هزینه حمل‌ونقل	۳،۰۲۶،۰۲۹،۹۹۲	۲،۸۸۳،۱۳۰،۸۴۹	۳،۰۲۶،۰۲۹،۱۸۴

موجودی مرکز تولید در سناریوی اختلال از آغاز ماه پنجم تا پایان دوره دچار اختلال شده است و موجودی در دست نسبت به سناریو اصلی کاهش‌یافته است. با ایجاد سناریوهای تاب‌آوری برای پاسخ به اختلال در مرکز تولید، سعی در بهبود سطح موجودی در کارخانه شده‌است. تغییر سطح موجودی کارخانه‌ها در شکل زیر نمایش داده شده‌است.



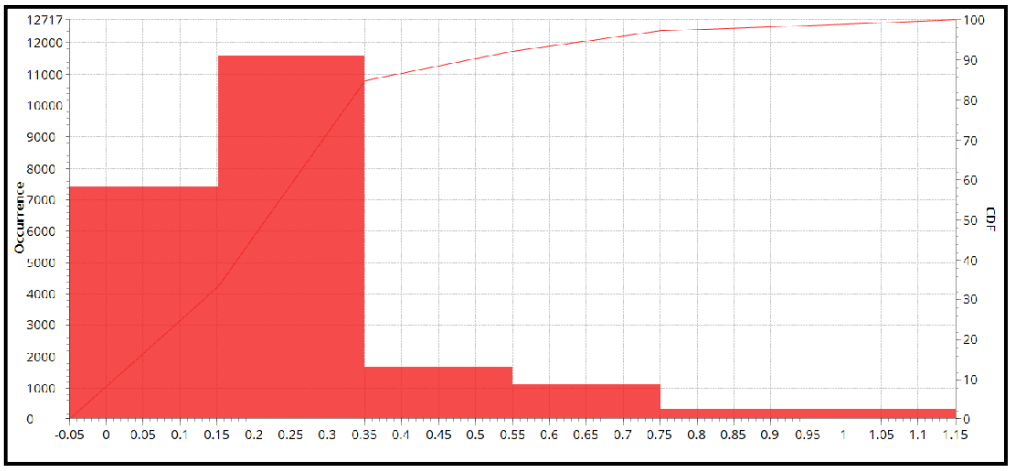
شکل ۱۱ موجودی کارخانه سناریو ۱



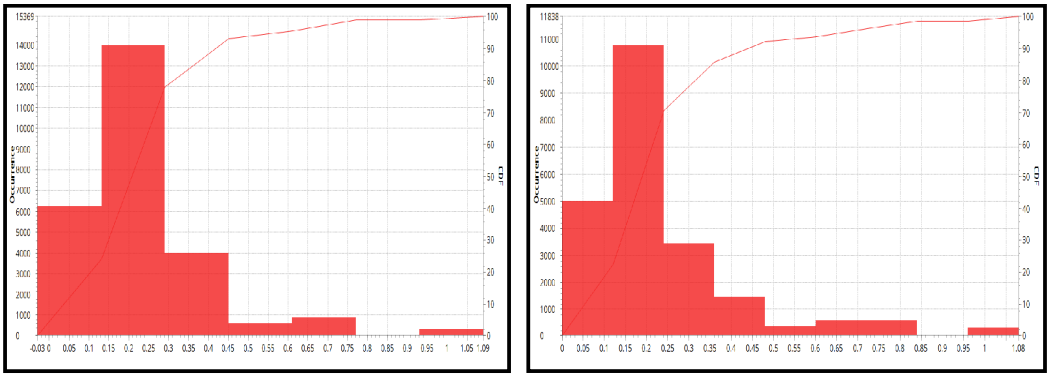
شکل ۱۲ موجودی کارخانه سناریو ۱-۱ و ۱-۲

با ایجاد سناریوهایی تاب‌آوری برای اختلال در مرکز تولید، سطح خدمت به میزان ۰.۱ افزایش یافته‌است.

در نمودار زیر تابع توزیع تجمعی مدت‌زمان بین ثبت سفارش تا تحویل آن به دست مشتری، برای سناریو اختلال در مرکز تولید، آورده شده‌است. همان‌طور که مشخص است، این مقدار برای تمام نقاط تقاضا کمتر از مقدار پیش‌بینی شده است که این امر منجر به سطح خدمت بالا به مشتریان است و کمتر بودن آن نسبت به سناریو اصلی، میزان کاهش سطح خدمت نسبت به آن سناریو را توجیه می‌کند. در نمودارهای زیرتابع توزیع تجمعی مدت‌زمان بین ثبت سفارش تا تحویل آن به دست مشتری، برای دو سناریو تاب‌آوری اختلال در مرکز تولید آورده شده است. که مقدار آن در هر دو سناریو ثابت است.



شکل ۱۳ توزیع تجمعی مدت‌زمان بین سفارش تا تحویل به مشتری سناریو۱



شکل ۱۴ توزیع تجمعی مدت‌زمان بین سفارش تا تحویل به مشتری سناریو ۱-۱ و ۱-۲

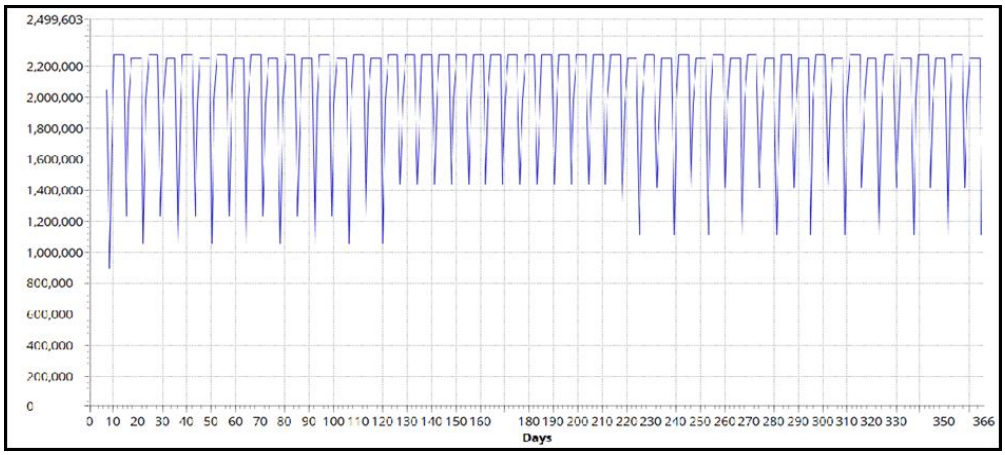
۴-۲- سناریو اختلال در ظرفیت مرکز توزیع

با توجه به نتایج شبیه‌سازی، استفاده از مرکز ذخیره‌سازی کوچکتر می‌تواند تغییر سود بیشتری نسبت به سیاست موجودی سایر مراکز توزیع برای زنجیره تأمین ایجاد کند. خروجی مالی سناریو اختلال در مرکز توزیع و سناریوهای انعطاف‌پذیری آن در جدول زیر آورده شده‌است.

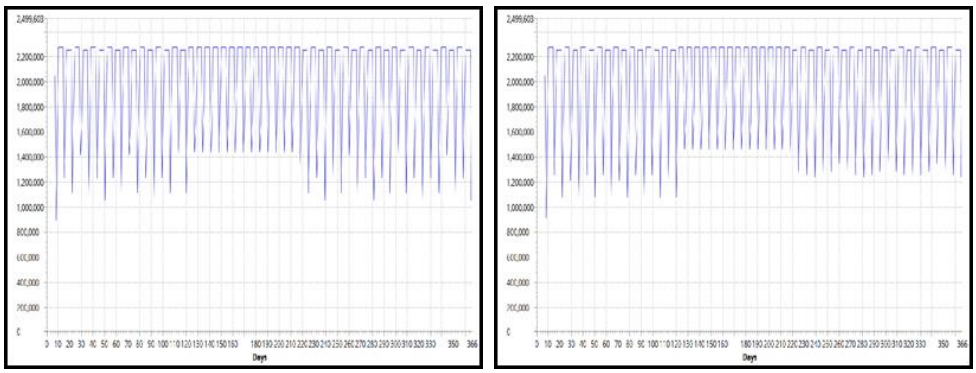
جدول ۱۲ جریان مالی سناریوهای اختلال در مرکز توزیع شیراز (تومان)

شماره سناریو	۱	۲-۱	۲-۲
سناریو فرایند مالی	اختلال مرکز توزیع شیراز	استفاده از مرکز توزیع پشتیبان	افزایش ظرفیت مرکز توزیع دیگر
هزینه نگهداری موجودی	۲۹۶،۵۴۹،۱۲۴	۳۹۰،۲۵۵،۷۸۴	۳۵۴،۵۳۳،۶۱۸
سود	۱۸۹،۳۷۲،۸۶۶،۰۵۷	۲۰۲،۵۵۵،۰۸۰،۶۶۵	۲۰۶،۹۷۰،۳۲۶،۶۱۳
درآمد	۴۹۰،۰۸۳،۰۷۵،۰۰۰	۵۰۵،۳۰۰،۲۵۰،۰۰۰	۵۱۱،۲۲۲،۳۵۰،۰۰۰
هزینه کل	۳۰۰،۷۱۰،۲۰۸،۹۴۲	۳۰۲،۷۴۵،۱۶۹،۳۳۵	۳۰۴،۲۵۲،۰۲۳،۳۸۶
هزینه حمل‌ونقل	۳،۲۱۲،۲۹۱،۵۱۸	۲،۹۷۷،۰۰۶،۹۵۱	۳،۵۶۸،۴۰۹،۰۶۸

با تعطیلی مرکز توزیع شیراز، موجودی در دسترس در کلیه‌ی مرکز توزیع‌ها دچار تغییر شده‌است.



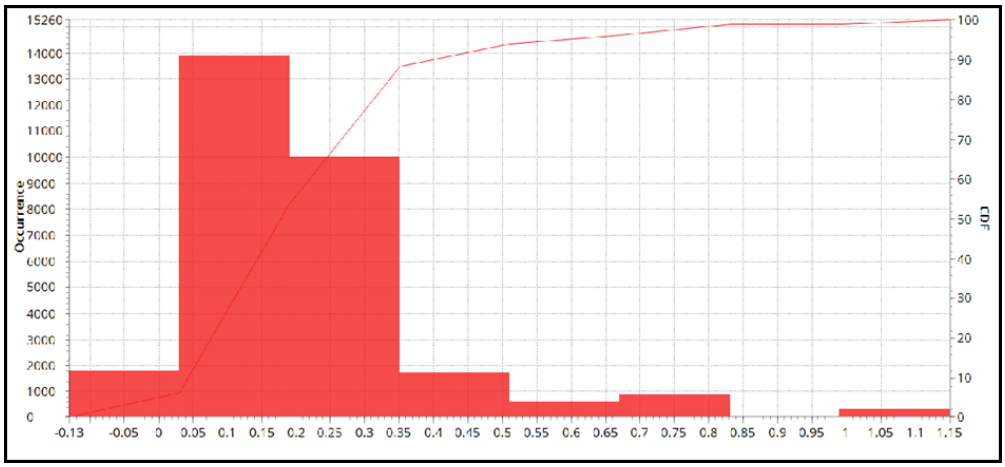
شکل ۱۵ موجودی لبنیات در مرکز توزیع‌ها سناریو ۲



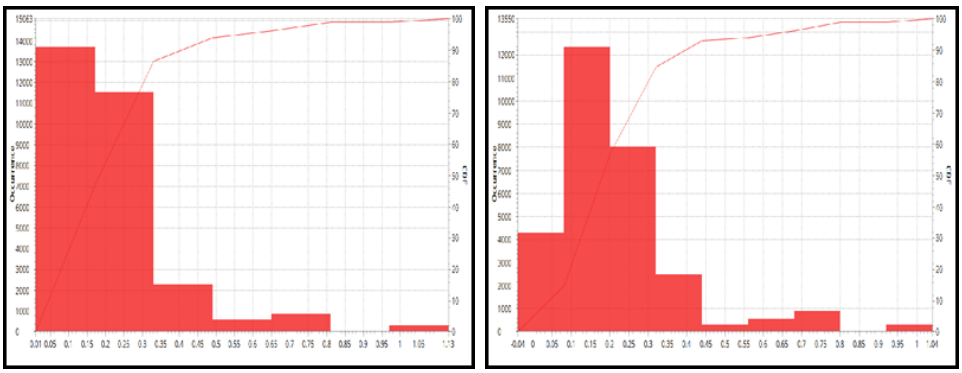
شکل ۱۶ موجودی لبنیات در مرکز توزیع‌ها سناریو ۲-۱ و ۲-۲

برای مقابله با اختلال در مراکز توزیع، دو سناریوی تاب‌آوری طراحی و تحلیل شد. در سناریو ۲-۱، با استفاده از یک مرکز توزیع پشتیبان تلاش شد تا کمبود ظرفیت در مرکز تعطیل‌شده جبران شود که منجر به بهبود عملکرد زنجیره در شرایط اختلال گردید. در سناریو ۲-۲، پاسخ به اختلال از طریق تغییر سیاست موجودی در مراکز فعال انجام شد. نتایج نشان داد که سطح موجودی در سناریو ۲-۲ از زمان شروع اختلال تا پایان دوره نسبت به سناریوهای دیگر کاهش‌یافته است، که این کاهش می‌تواند منجر به تحویل با تأخیر به برخی مشتریان شود. از سوی دیگر، هزینه‌های عملیاتی کمتر در سناریو ۲-۲ عمدتاً ناشی از کاهش سطح موجودی در سایر مراکز توزیع است.

در مقایسه با سناریوی پایه، سطح خدمات به مشتری در سناریوی اختلال در مرکز توزیع حدود ۰.۱ کاهش یافت. با اجرای سناریوهای تاب‌آوری، سطح خدمات بهبودیافته و به رضایت مشتری نزدیک شد. زمان بین ثبت سفارش تا تحویل محصول با اختلال در مرکز توزیع تغییر محسوسی نداشت و همچنان کمتر از مقدار پیش‌بینی‌شده بود. با اعمال سناریوهای تاب‌آوری، مشاهده شد که در سناریو ۲-۲، زمان تحویل برای اکثر نقاط تقاضا کمتر از ۳ روز است، درحالی‌که در سناریو ۲-۱، تغییر قابل‌توجهی در زمان تحویل ایجاد نشد. این امر نشان می‌دهد که استفاده از مرکز توزیع پشتیبان امکان پاسخ فعال و سریع به اختلالات را فراهم می‌کند و می‌تواند عملکرد زنجیره را در شرایط بحرانی بهبود بخشد.



شکل ۱۷ توزیع تجمعی مدت‌زمان بین سفارش تا تحویل به مشتری سناریو ۲



شکل ۱۸ توزیع تجمعی مدت‌زمان بین سفارش تا تحویل به مشتری سناریو ۲-۱ و ۲-۲

۵- نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش بررسی تاب‌آوری و بهره‌وری هزینه در شبکه زنجیره تأمین محصولات لبنی در ایران بود. با استفاده از داده‌های واقعی و معیارهای مالی، عملیاتی و موجودی، تأثیر سناریوهای اختلال و راهکارهای تاب‌آوری بر عملکرد شبکه تحلیل شد. نتایج نشان داد که استفاده از سناریوهای تاب‌آوری، مانند برون‌سپاری تولید اضطراری و تخصیص بهینه موجودی بین مراکز، باعث افزایش سطح خدمات به مشتری، کاهش ریسک اختلال و بهبود سودآوری می‌شود. همچنین تصمیم‌گیری داده‌محور برای سیاست‌های موجودی و حمل‌ونقل، انعطاف‌پذیری سیستم را افزایش داده و هزینه‌های عملیاتی را کاهش می‌دهد. این مطالعه با ارائه یک مدل شبیه‌سازی عملی که اختلالات واقعی را لحاظ می‌کند، به درک بهتر تاب‌آوری زنجیره تأمین لبنیات کمک می‌کند. یافته‌ها می‌توانند مدیران را در شناسایی نقاط بحرانی و اجرای اقدامات تاب‌آوری برای حفظ سطح خدمات مشتریان بدون افزایش هزینه‌های اضافی یاری دهند.

۶- مراجع

[1] Alnabet A. Optimizing the Distribution Centre Locations for Agrico Food Company Using AnyLogistix Simulation. Master's Thesis. Qatar University. 2023. http://qspace.qu.edu.qa/handle/10576/40562 (accessed January 10, 2024).

[2] Ashaehshoar A, Sefat A. F, Sheikhalishahi M. Simulation-Based Analysis of Disruptions and Recovery Strategies in Closed-Loop Lithium-Ion Battery Supply Chains. Journal of Industrial and Systems Engineering. 2025; 17(Special Issue): 25–34.

[3] Ding C, Liu L, Zheng Y, Liao J, Huang W. Role of Distribution Centers Disruptions in New Retail Supply Chain: An Analysis Experiment. Sustainability. 2022; 14(11): 6529. https://doi.org/10.3390/su14116529

[4] Dolgui A, Ivanov D. Ripple Effect and Supply Chain Disruption Management: New Trends and Research Directions. International Journal of Production Research. 2021; 59(1): 102–109. https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1840148

[5] Gianesello P, Ivanov D, Battini D. Closed-Loop Supply Chain Simulation with Disruption Considerations: A Case Study on Tesla. International Journal of Integrated Supply Management. 2017; 4(4): 257–276. https://doi.org/10.1504/IJIR.2017.090361

[6] Ivanov D. Can the Localization Ratio Be Considered as a Resilience Indicator in the Supply Chain? International Transactions in Operational Research. 2025. https://doi.org/10.1111/itor.70128

[7] Ivanov D. Simulation-Based Ripple Effect Modelling in the Supply Chain. International Journal of Production Research. 2017; 55(7): 2083–2101. https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1275873

[8] Ivanov D, Sokolov B, Solovyeva I, Dolgui A, Jie, F. Dynamic Recovery Policies for Time-Critical Supply Chains under Conditions of Ripple Effect. International Journal of Production Research. 2016; 54(23): 7245–7258. https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1161253

[9] Kek V, Kandasmay J, Rajasekharan V, George B, Mathew R. J. Digital Twin Model of Semiconductor Supply Chain for Managing Disruption and Resilience through Data-Driven Experiments. SSRN Electronic Journal. 2023; Article 4530357.

[10] Longo F, Mirabelli G, Solina V. A Simulation Model for Addressing Supply Chain Disruptions under a Multi-Capital Sustainability Perspective: A Case Study in the Agri-Food Sector. Journal of Simulation. 2024; 1–18. https://doi.org/10.1080/17477778.2024.2341015

[11] Lochan S. A, Rozanova T. P, Bezpalov V. V, Fedyunin D. V. Supply Chain Management and Risk Management in an Environment of Stochastic Uncertainty (Retail). Risks. 2021; 9(11): 197.

[12] Maheshwari P, Kamble S, Belhadi A, González-Tejero C. B, Jauhar S. K. Responsive Strategies for New Normal Cold Supply Chain Using Greenfield Network Optimization and Simulation Analysis. Annals of Operations Research. 2023. https://doi.org/10.1007/s10479-023-05291-9

[13] Rabah C. B, Chen M, Kharbeche M, Haouari M, Guo W. Anticipating the Impacts of Mega Events on Host-Country Agri-Food Supply Chains: A Synthesis Based on a Simulation of the World Cup 2022 in Qatar. Transportation Research Procedia. 2025; 82: 3647–3663. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.12.024

[14] Sindhwani R, Jayaram J, Saddikuti V. Ripple Effect Mitigation Capabilities of a Hub-and-Spoke Distribution Network: An Empirical Analysis of Pharmaceutical Supply Chains in India. International Journal of Production Research. 2022; 1–33. https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2098073

[15] Vitorino L, Costa I. P, Terra A. V, Medina A. C, Gomes C. F, Santos M. Analysis of Food Distribution Network Using AnyLogistix Computational Tool. IFAC-PapersOnLine. 2022; 55(10): 2018–2023.