Journal of Managerial Modelling in Sustainable Development, Volume 1(1), Summer 2025, 21-45.

Journal of Managerial Modelling in Sustainable Development

Journal Homepage: http://MMSD.Semnan.ac.ir

ISSN:

Semnan University

Analyzing the Impact of Smart Warehouse Factors on Industrial Resilience Using the Fuzzy DEMATEL Approach

Ali Akbar Najar*
PhD Student of Industrial Management, Department of Management, Faculty of Economics, Management and Administrative Sciences, Semnan University, Semnan, Iran.
aanajar@semnan.ac.ir

Mahsa Eshghali
Department of Industrial Management, Faculty of Economics, Management and Administrative Sciences, Semnan University, Semnan, Iran.
eshghali_mahsa@semnan.ac.ir

Vahid Ghomi
Assistant Professor of Operations and Supply Chain Management, Pennsylvania State University USA.
vxg5152@psu.edu

ARTICLE INFO

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2025-06-06
Revised: 2025-08-02
Accepted: 2025-08-18

Keywords:
Resilience, Logistics, Smart Warehouse, Fuzzy DEMATEL

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: In today's turbulent and competitive environment, resilience is recognized as a strategic advantage for organizational survival and achieving sustainable development. Various industries, in pursuit of resilience, align themselves with technological advancements by implementing fundamental transformations. The emergence of advanced technologies in the field of logistics, particularly warehousing, can play a significant role in enhancing industrial resilience. This study aims to develop an analytical model to examine the impact of the factors of smart warehouses on industrial resilience.

Materials and Methods: In the first phase, a comprehensive review of theoretical literature and credible academic sources led to the identification of 13 key factors of smart warehouses. Then, using the Fuzzy Delphi technique and expert surveys in the field of logistics and warehousing across various industries, the significance of each factor was assessed, and 11 factors were ultimately validated. In the next phase, the Fuzzy DEMATEL method was employed to analyze the relationships among the factors, determine their degree of influence and interaction, and model the causal structure to examine the role of warehouse smartification in enhancing industrial resilience.

Results: The findings revealed that three factors—mechanization, required new infrastructures, and information management—exert the greatest influence on other factors and are identified as key drivers of warehouse smartification. At the same time, these factors are also the most affected by others, placing them at the core of systemic interactions. Any improvement or deficiency in these areas may trigger significant ripple effects across the system. According to the analysis, industry structure, human resource skills, mechanization, and infrastructural needs possess the greatest driving force over the remaining variables and are identified as primary catalysts in the system. Since the industry structure exhibits the highest level of unidirectional impact—exerting change without being altered in return—it

* Corresponding author.
E-mail: aanajar@semnan.ac.ir
https://orcid.org/https://orcid.org/0009-0004-8714-8389

can be concluded that the characteristics and foundational requirements of industries form the essential basis for any decision-making concerning smartification.

Conclusion: The results showed, that developing human capabilities and aligning organizational frameworks with technological advancements are vital pillars of success on the path to smart warehousing. Given that industrial resilience under critical conditions demands intelligent and responsive systems, the insights from this study can serve as a practical guide for decision-makers, logistics managers, and warehouse system designers in implementing smart technologies effectively. In addition, the proposed analytical model offers a scientific framework for assessing organizational preparedness for change and enhancing operational flexibility, providing a foundation for future policymaking in the field of intra logistics at industries.

Cite this article as:
Najar, A. A., Eshghali, M. & Ghomi, V. (2025). Analyzing the Impact of Smart Warehouse Factors on Industrial Resilience Using the Fuzzy DEMATEL Approach. *Managerial Modelling in Sustainable Development*, *1*(1), 21-45.
DOI: https://doi.org/10.22075/mmsd.2025.37975.1003

© 2024 authors retain the copyright and full publishing rights. Journal of Managerial Modelling in Sustainable Development Published by **Semnan University Press**.
This is an open access article under the CC-BY-4.0 license. (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

مدل‌سازی مدیریتی در توسعه پایدار

Journal Homepage: http://MMSD.Semnan.ac.ir

ISSN:

دانشگاه سمنان

بررسی تأثیر عوامل تشکیل‌دهنده انبارهای هوشمند بر تاب‌آوری صنایع با رویکرد دیمتل فازی

علی اکبر نجار *

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اداری، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

aanajar@semnan.ac.ir

مهسا عشقعلی

گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اداری، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

eshghali_mahsa@semnan.ac.ir

وحید قمی

گروه مدیریت بازرگانی، دانشکده بازرگانی، دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا، پنسیلوانیا، آمریکا.

vxg5152@psu.edu

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۶-۰۳-۱۴۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۱-۰۵-۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۲۷-۰۵-۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:
تاب‌آوری، لجستیک، انبارهای هوشمند، دیمتل فازی

چکیده

سابقه و هدف: در محیط پرتلاطم و رقابتی امروز، تاب‌آوری به‌عنوان یک مزیت راهبردی برای بقاء سازمان و دستیابی به توسعه پایدار شناخته می‌شود. صنایع گوناگون به منظور دستیابی به تاب‌آوری، هم‌راستا با پیشرفت فناوری تغییراتی در خود ایجاد می‌نمایند. ورود فناوری‌های نوین به حوزه لجستیک به ویژه انبارداری می‌تواند نقش پررنگی بر افزایش تاب‌آوری صنایع ایفا کند. این پژوهش با هدف ارائه مدلی تحلیلی جهت بررسی تاثیر عوامل تشکیل دهنده انبارهای هوشمند بر تاب‌آوری صنایع انجام پذیرفته است.

روش: در گام نخست، از طریق مرور ادبیات نظری و مقالات معتبر، ۱۳ عامل کلیدی تشکیل دهنده انبارهای هوشمند شناسایی شد. سپس با به‌کارگیری تکنیک دلفی فازی و نظرسنجی از خبرگان حوزه لجستیک و انبارداری در صنایع مختلف، میزان اهمیت هر یک از عوامل مشخص و در نهایت ۱۱ عامل تأیید گردید. در مرحله بعد با به‌کارگیری روش دیمتل فازی، رابطه میان عوامل و میزان قدرت نفوذ، تعامل هر یک مشخص و امکان تحلیل ساختار و مدل‌سازی علّی عوامل جهت بررسی نقش هوشمندسازی انبار در تاب‌آوری صنعت فراهم شد.

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که سه عامل مکانیزاسیون، زیرساخت‌های جدید مورد نیاز و مدیریت اطلاعات به ترتیب بیشترین تاثیرگذاری را بر سایر عوامل دارند و به‌عنوان عوامل کلیدی و پیش‌ران در هوشمندسازی انبار تلقی می‌شوند. از طرفی همین سه عامل، بیشترین تأثیر را نیز از سایر عوامل دریافت می‌کنند. این نشان می‌دهد که این عوامل در مرکز تعاملات سیستمی قرار داشته و ارتقاء یا ضعف در آن‌ها می‌تواند اثر زنجیره‌ای معناداری در کل ساختار ایجاد کند. با توجه به یافته‌ها، عامل‌های ساختار صنعت مدنظر، مهارت نیروی انسانی، مکانیزاسیون و زیرساخت‌های

جدید مورد نیاز بیشترین نفوذ را بر سایر عوامل داشته و به عنوان علل سیستم معرفی می‌شوند و از آنجایی که عامل ساختار صنعت مدنظر بیشترین نقش تاثیرگذاری بدون تأثیرپذیری را دارد، می‌توان برداشت کرد که ویژگی‌ها و الزامات صنایع، زیربنای هرگونه تصمیم‌گیری درباره هوشمندسازی هستند.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصله نشان می‌دهد که توسعه مهارت‌های انسانی و تطابق ساختار سازمانی با تحولات فناورانه، از ارکان حیاتی موفقیت در مسیر هوشمندسازی انبارها به شمار می‌روند. از آنجا که تاب‌آوری صنایع در شرایط بحرانی نیازمند ساختارهایی هوشمند و پاسخ‌گو است، نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان راهنمایی کاربردی برای تصمیم‌گیران، مدیران لجستیک و طراحان سیستم‌های انبارداری جهت پیاده‌سازی موثر فناوری‌های هوشمند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این مدل تحلیلی می‌تواند چارچوبی علمی برای ارزیابی آمادگی سازمان‌ها در برابر تغییرات و افزایش انعطاف‌پذیری عملیاتی فراهم آورده و مبنایی برای سیاست‌گذاری‌های آینده در حوزه لجستیک داخلی صنایع باشد.

استناد: نجار، علی اکبر، عشقعلی، مهسا و قمی، وحید. (۱٤۰٤). بررسی تأثیر عوامل تشکیل دهنده انبارهای هوشمند بر تاب آوری صنایع با رویکرد دیمتل فازی. *مدل‌سازی مدیریتی در توسعه پایدار*، ۱(۱)، ۲۱-٤٥.

DOI: https://doi.org/10.22075/mmsd.2025.37975.1003

ناشر: دانشگاه سمنان

۱. مقدمه

در پی رخدادهای جهانی و بحران‌های اخیر، توجه به مفهوم تاب‌آوری توسط سازمان‌ها افزایش یافته است. در محیط‌های تجاری ناپایدار و غیرقابل پیش‌بینی، توانایی صنایع در واکنش سریع به تغییرات بازار، کلید تداوم حیات سازمان و مزیت رقابتی محسوب می‌شود (قمی[1] و همکاران، ۲۰۲۳). از این رو سازمان‌ها برای مقابله با عوامل فاجعه‌بار و رسیدن به سطح مطلوبی از تاب‌آوری، لازم است به قابلیت‌های عملیاتی ویژه‌ای مجهز باشند تا در برابر تغییرات ناگهانی و شرایط بحرانی، پاسخ‌گو و منعطف باقی بمانند (ابراهیم‌پور و فرجود چکامی، ۲۰۲۳). به منظور تقویت تاب‌آوری و در نهایت بهبود عملکرد سازمان‌ها و صنایع، نقش مدیریت کارآمد بخش‌های مختلف، به‌ویژه فرآیندهای لجستیکی که بخشی حیاتی از ساختار عرضه و تقاضا محسوب می‌شود، بسیار تعیین‌کننده است (فردان و الربح[2]، ۲۰۲۲).

طی سال‌های اخیر، با افزایش تقاضا و رشد تولید، ساختار و راهبردهای سازمانی دچار تحولات گسترده‌ای شده‌اند که مباحث مربوط به لجستیک، یکی از آنهاست. در واقع لجستیک یکی از بخشهای اصلی زنجیره تامین می‌باشد که به منظور پاسخگویی به نیازهای مشتریان دو فعالیت اصلی حمل و نقل و ذخیره‌سازی و انبارش کالا را از نقطه مبدا تا محل مصرف بعهده دارد. در بسیاری از صنایع، هزینه‌های لجستیکی سهم قابل‌توجهی از هزینه کل تولید را به خود اختصاص می‌دهد؛ این هزینه‌ها شامل حمل‌ونقل مواد اولیه، نگهداری موجودی‌ها، انبارداری و توزیع محصول نهایی هستند. شایان ذکر است که زنجیره‌های تأمین جهانی و جریان‌های پیچیده مواد، وابستگی عمده‌ای به زیرساخت‌های لجستیکی، به‌ویژه خدمات حمل‌ونقل و انبارداری دارند (هرولد[3] و همکاران، ۲۰۲۱).

هزینه های لجستیکی تا بدان حد از اهمیت برخوردار است که در برخی صنایع، بیش از ۷۰ درصد بهای تمام شده کالاها و اقلام مربوط به این نوع از هزینه‌ها است که طبیعتا با کاهش درصدی از آن می‌توان مزیت رقابتی بیشتری در بازار فروش بدست آورد. بررسیهای مختلف نشان داده است که بخش مهمی از این هزینه‌ها مستقیما به موضوع ذخیره‌سازی و انبارش کالاها و نحوه نگهداری اقلام و کالاها در یک انبار مربوط می‌گردد. در واقع می‌توان گفت سیستم‌های انبارداری یکی از بخش‌های پرهزینه و در عین حال غیرمنعطف زنجیره تأمین هستند. در بسیاری از موارد به‌دلیل تداوم استفاده از روش‌های سنتی در مدیریت انبار، فرآیندهای مرتبط با نگهداری و جابه‌جایی کالا به‌طور مؤثر اداره نشده و بهره‌وری عملیاتی کاهش می‌یابد (کفایت و همکاران، ۱۴۰۰). از سوی دیگر انبارها، به‌عنوان گره‌های حیاتی در زنجیره تأمین محسوب می‌شوند و مدیریت پایدار انبار برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار ضروری به نظر می‌رسد. بر اساس مطالعات صورت گرفته حدود ۱۱ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با فعالیت‌های لجستیکی به فعالیت انبارها اختصاص دارد (کومار و عادل[4]، ۲۰۲۵). از این رو توجه به این بخش از اهمیت بالایی برخوردار است.

بی تردید تاثیر عملکرد انبارداری بر تاب‌آوری صنایع بر کسی پوشیده نیست. با توجه به این که روش‌های سنتی مدیریت انبار دیگر پاسخگوی مسائل پیچیده و پویای امروزی نبوده و نیاز به بهره‌گیری از رویکردهای نوین به‌شدت احساس می‌شود، بسیاری از سازمان‌ها در تلاشند تا با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، عملیات انبارداری را به شیوه‌ای کارآمدتر مدیریت کرده و پتانسیل رویارویی با مسائل پیچیده و غیرمنتظره را افزایش دهند. در این راستا طراحی، عملکرد و فرآیندهای انبار به‌عنوان حلقه‌ای کلیدی در زنجیره تأمین، از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است (کمالی[5]، ۲۰۱۹). در گذشته، تمرکز سازمان‌ها در طراحی انبار بیشتر بر عناصر فیزیکی و عملیاتی همچون مدیریت فضا، نحوه چیدمان، تجهیزات جابه‌جایی، تعداد نیروی انسانی و گزینه‌های خرید یا اجاره معطوف بود. اما امروزه بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، برای افزایش شفافیت

[1] Ghomi
[2] Fardan and Al Rebh
[3] Herold
[4] Kumar and Adil
[5] Kamali

در جریان مواد، کاهش زمان‌های انتظار، افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها و کاهش وابستگی به نیروی انسانی، در کانون توجه قرار گرفته است. این فناوری‌ها، در چارچوب مفاهیم صنعت ۴، افق‌های جدیدی را در بهبود عملکرد انبارها ترسیم می‌کنند (آفیا و عامر[1]، ۲۰۲۱).

بی‌تردید، بهره‌برداری اثربخش از فناوری‌های نوین نقش مهمی در پایداری و تداوم فعالیت‌های سازمانی ایفا می‌کند. با توجه به چالش‌هایی نظیر بحران‌های سیاسی، نوسانات بازارهای جهانی و تغییرات اقلیمی، ضرورت تمرکز بر تاب‌آوری در زنجیره تأمین دوچندان شده است. هوشمندسازی به‌عنوان روشی مؤثر در کاهش ریسک، تداوم جریان مواد، کاهش توقف‌های تولید، افزایش بهره‌وری، بهبود واکنش در برابر اختلالات و ارتقای رضایت مشتریان شناخته می‌شود. از طرفی ظهور تدریجی پنجمین انقلاب صنعتی به‌صورتی ویژه، بر همکاری انسان و ماشین تمرکز دارد. در این مدل، خلاقیت و نوآوری انسان‌ها با سیستم‌ها و فناوری‌های هوشمند ترکیب می‌شود تا بسیاری از وظایف تکراری و یکنواخت در انبار، توسط ماشین‌ها و ربات‌های خاص انجام پذیرد (اکسن و یرلهاگن فورسگرن[2]، ۲۰۲۳).

پژوهش‌های متعددی در حوزه‌های مختلف از جمله طراحی زیرساخت‌های انبار هوشمند، تأثیر فناوری‌های نوین بر مدیریت موجودی، مقایسه میان انبارهای سنتی و هوشمند و چالش‌های موجود در به‌کارگیری فناوری‌ها در فرآیندهای لجستیکی صورت گرفته است. علاوه بر این، اهمیت چیدمان فیزیکی انبار و نوع سیستم‌های قفسه‌بندی مورد استفاده در کارایی عملیاتی انبار نیز، مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته است. اما در این میان موضوع هوشمند سازی انبار با تاکید بر مفهوم تاب‌آوری کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. از سوی دیگر مبحث انبار و بررسی عوامل تاثیرگذار در استفاده از انبارهای هوشمند از جمله موضوعاتی است که فارغ از ماهیت عملکردی صنایع مختلف و طیف کارکردی آنها در حوزه‌های گوناگون، می‌تواند به‌عنوان فصل مشترک این تحقیق مدنظر قرار گیرد. به عبارت دیگر می‌توان گفت وجه اشتراک تمامی صنایع و کسب و کارها، مقوله انبارداری است و بسیاری از عوامل و فاکتورهایی که در عملیات انبارداری همچون دریافت، چیدمان، جانمایی، جمع‌آوری درخواست یا سفارش، بارگیری و ارسال وجود دارد، بدون در نظر داشتن تفاوت‌های موجود در شرکت‌های مختلف، از وجه مشترک و یکسانی برخوردار است. از این رو هدف این پژوهش، ارائه مدل تحلیلی جهت بررسی تاثیر عوامل تشکیل‌دهنده انبارهای هوشمند بر تاب‌آوری صنایع است.

۲. مبانی نظری و پیشینه

در این بخش از پژوهش ابتدا به مرور ادبیات و تشریح مهم‌ترین مفاهیم مورد مطالعه پرداخته شده است. سپس پیشینه مختصری از مطالعات مرتبط با موضوع هوشمندسازی انبار ارائه گردیده است.

۱.۲. تاب‌آوری

مفهوم تاب‌آوری در زمینه‌های گسترده و گوناگونی از قبیل اکولوژیکی، روانشناسی فردی و رفتار سازمانی، مدیریت زنجیره تامین، مدیریت بحران و مهندسی ایمنی به کار رفته است (ابراهیم‌پور و فرجود چکامی، ۲۰۲۳). بر اساس یکی از تعاریف، تاب‌آوری به توانایی زنجیره تأمین در مقاومت در برابر اختلالات و بازیابی قابلیت عملیاتی پس از وقوع آن‌ها اشاره دارد. این تعریف دو بخش اصلی را در نظر می‌گیرد. بخش اول «مقاومت» است که بر شناسایی ریسک‌های موجودی که ممکن است عملیات زنجیره تأمین را تحت تأثیر قرار دهند، تمرکز دارد و هدف آن اجتناب از این ریسک‌ها یا کاهش احتمال وقوع آن‌هاست. بخش دوم «بازیابی» است که به چگونگی بازگشت عملیات به وضعیت عادی پس از وقوع رویدادی غیرمنتظره می‌پردازد (ملنیک[3]، ۲۰۱۴). تعریف دیگری چنین بیان می‌کند: تاب‌آوری، توانایی برای برنامه‌ریزی و

[1] Affia and Aamer
[2] Axén and Jerlhagen Forsgren
[3] Melnyk

طراحی شبکه زنجیره تأمین برای پیش‌بینی اختلالات غیرمنتظره، پاسخ تطبیقی به این اختلالات در حالی که ساختار و عملکرد زنجیره تحت کنترل باقی می‌ماند، و در صورت امکان عبور از بحران و دستیابی به حالتی مستحکم‌تر از قبل (و حتی مطلوب‌تر از وضعیت پیش از وقوع رویداد) به‌منظور کسب مزیت رقابتی است (پونیس و کورونیس[1]، ۲۰۱۲). به طور کلی تاب‌آوری به توانایی سیستم در پیش‌بینی، پاسخ‌گویی مؤثر و بازیابی سریع از اختلالات اطلاق می‌گردد و به عنوان یکی از ارکان اصلی پایداری عملیاتی و رقابت‌پذیری در محیط‌های متلاطم شناخته می‌شود (بختیاری، ۱۴۰۲). این ویژگی به سازمان‌ها کمک می‌کند تا پیکربندی مجدد منابع و قابلیت‌های موجود، به هرگونه پیشامد غیر منتظره به‌سرعت واکنش نشان دهند، قابلیت انطباق و بقای سازمان را در مواجهه با ریسک‌های سیستمی تقویت می‌کند و از خسارات ناشی از وقفه‌های عملکردی می‌کاهد.

امروزه توجه به تاب‌آوری صنعتی دیگر یک انتخاب نیست، بلکه ضرورتی استراتژیک برای سازمان‌هایی است که در پی بقاء و رشد پایدار هستند. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فناورانه، آموزش نیروی انسانی و ایجاد قابلیت‌های دیجیتال، از جمله اقدامات بنیادینی هستند که می‌توانند منجر به بهبود پاسخ‌گویی صنایع به بحران‌ها و بهره‌برداری از فرصت‌های نوآورانه در شرایط ناپایدار شوند (خورانه[2] و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، توسعه تاب‌آوری باید به عنوان بخشی از راهبردهای کلان سازمانی در نظر گرفته شود.

تاکنون در مطالعات صورت گرفته، به منظور تبیین دقیق‌تر مفهوم تاب‌آوری و همچنین ارزیابی آن در صنایع، ابعاد مختلفی در نظر گرفته شده است. در پژوهش (پورویس[3] و همکاران، ۲۰۱۶)، استواری، چابکی، ناب بودن و انعطاف‌پذیری را به عنوان مهم‌ترین شاخص های لازم در دستیابی به تاب‌آوری مطرح شده است. در جدول (۱) به هر یک از این شاخص ها به همراه شرح مختصری از آنها بر اساس پژوهش (ابراهیم‌پور و فرجود چکامی، ۲۰۲۳)، اشاره شده است.

جدول ۱. شاخص های تاب‌آوری

شاخص	شرح
استواری	توانایی سیستم در ادامه عملکرد خوب در صورت بروز اختلال
چابکی	واکنش اثربخش به محیط متغیر و غیرقابل پیش‌بینی و استفاده از آن تغییرات به عنوان فرصتهایی برای پیشرفت سازمانی
ناب بودن	مجموعه‌ای از ابزارها و روش‌های متمرکز بر بهبود مستمر فرآیندها، با هدف از بین بردن کلیه فعالیت‌های فاقد ارزش افزوده
عملیات	و کاهش ضایعات در سازمان
انعطاف پذیری	آمادگی درون سازمانی برای پاسخ‌دهی سریع به تغییرات و اختلالات

۲.۲. انبار

انبار، به‌عنوان یک واحد سازمانی به‌منظور نگهداری انواع کالاهای تجاری، صنعتی، مواد اولیه، کالاهای نیمه‌ساخته، اقلام و قطعات یدکی استفاده می‌گردد. مدیریت فرآیندهای انبار یکی از اجزای مهم لجستیک امروزی است و اهمیت جایگاه آن بر کسی پوشیده نیست (لیو[4]، ۲۰۲۴). با توجه به اینکه حجم وسیعی از منابع مالی کارخانه‌ها و سازمان‌های تولیدی صرف تهیه کالا جهت تداوم فرآیند تولید می‌گردد، در صورتی که از شیوه‌های انبارداری کارآمد استفاده نشود، سازمان‌ها متحمل زیان‌های جبران‌ناپذیری می‌شوند (کفایت و همکاران، ۱۴۰۰).

[1] Ponis and Koronis
[2] Khurana
[3] Purvis
[4] Lyu

امروزه به‌دلیل تأثیر چشمگیر انبارداری در تحقق اهداف استراتژیک سازمان، برنامه‌ریزی دقیق برای طراحی اصولی و چیدمان انبارها اهمیت یافته است؛ چرا که طراحی ضعیف می‌تواند مانعی در دستیابی به اهداف کلان سازمان باشد (کمالی، ۲۰۱۹). از سوی دیگر عملیات انبار با چالش‌هایی مانند موجودی اضافی، نظارت بر ایمنی شغلی در زمان واقعی، قابلیت ردیابی پایین، شفافیت پایین، مشکلات مربوط به فضا، فرآیندهای اضافی، تأخیر در اطلاعات، محصولات آسیب‌دیده و فشار سفارشات معوق مواجه است (ماهشوری[1] و همکاران، ۲۰۲۳). استفاده از فناوری های نوین در مدیریت فعالیت‌های انبار، این فرصت را به سازمان‌ها می‌دهد تا به شکل موثری این چالش‌ها را به طور کامل برطرف ساخته و یا بهبود بخشند.

۳.۲. فناوری‌های هوشمند در انبار

با گسترش تجارت جهانی و افزایش تقاضای مصرف‌کننده، سازمان‌ها با تحول نقش انبار از مرکز هزینه به مرکز ایجاد ارزش‌افزوده مواجه هستند که این امر با تغییر نگرش و بکارگیری رویکردهای نوین که منجر به حذف فرآیندهای تکراری و کاهش فعالیت‌های دستی می‌گردد، میسر می‌شود. مطالعات مختلف حاکی از آن است که استراتژی‌های مختلف مدیریت زنجیره تامین می‌تواند عملکرد سازمان را ارتقاء دهند. ظهور فناوری‌های نوین، شرایطی را فراهم ساخته است که امکان دستیابی به سطوح بالاتری از عملکرد عملیاتی در زنجیره تامین فراهم گردد (راجی و همکاران، ۲۰۲۱).

هوشمندسازی انبار به معنای پیاده‌سازی فناوری‌های دیجیتال نظیر سیستم‌های مدیریت انبار (WMS[2])، اینترنت اشیا (IoT[3]) و شناسایی موجودی‌ها با استفاده از فرکانس رادیویی(RFID[4]) و سایر فناوری‌ها جهت ارتقاء کنترل، نظارت و خودکارسازی عملیات انبار است (لیو، ۲۰۲۴). دهه ۱۹۵۰ شاهد ظهور اولین سیستم‌های ذخیره‌سازی و بازیابی خودکار(AS/RS[5]) بود. این سیستم‌ها، که تماما توسط کامپیوتر کنترل می‌شوند و عموما رباتیک هستند، روی مسیرهایی ثابت حرکت می‌کنند و موجودی را بین انبارهای اصلی و مراکز توزیع ذخیره و بازیابی می‌کنند. این سیستم‌ها که در ابتدا برای جابه‌جایی واحدهای بزرگ موجودی (مانند پالت) به‌عنوان بخشی از فرآیند برداشت "کالا به شخص" در انبار طراحی شده بودند، اکنون قادر به جابه‌جایی اقلام کوچک‌تر با دقت بالا هستند (نوکل[6]، ۲۰۲۳). با آغاز عصر نوین صنعتی، انتظار می‌رود انبارها به‌طور کارآمد محصولات متنوع و گوناگون را با مقادیر مختلف در کمترین زمان ممکن، مدیریت، جابه‌جا، ذخیره و ارسال کنند. در همین راستا، مدیران کسب و کار جهت دستیابی به بهره‌وری عملیاتی، توجه ویژه‌ای به استفاده از سیستم‌های مکانیزه و رباتیک پیشرفته مبتنی بر IOT ، یعنی ربات‌های متحرک خودکار (AMR[7])، معطوف کرده‌اند. برخلاف وسایل نقلیه هدایت‌شونده خودکار سنتی (AGV[8])، ناوگانی ازAMR ها می‌توانند به‌صورت خودکار، جریان فیزیکی مواد در انبارها، یعنی لجستیک داخلی را مدیریت کنند. این امر منجر به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های عملیاتی و دقت بیشتر در مدیریت موجودی می‌شود (گراورو اشرف[9] ، ۲۰۲۳).

سیستم‌های مدیریت انبار به‌عنوان زیرسیستم‌های کلیدی در زنجیره تأمین مدرن شناخته می‌شوند که از ثبت عملیات انبار و مدیریت تمام منابع آن مانند موجودی، فضای ذخیره‌سازی، نیروی انسانی و تجهیزات پشتیبانی می‌کنند (میناژکینا و هاپونن[10]، ۲۰۲۳). این سیستم‌ها از طریق قابلیت‌های خودکار و جمع‌آوری داده‌های دقیق از فرآیندهای انبار، به شرکت‌ها امکان می‌دهند تا عملکرد موجودی را بهینه‌سازی کرده و تصمیم‌گیری‌های استراتژیک را بر اساس داده‌های واقعی و به‌روز

[1] Maheshwari
[2] Warehouse Management System
[3] Internet of Things
[4] Radio-Frequency Identification
[5] Automated Storage & Retrieval Systems
[6] Nuckel
[7] Autonomous Mobile Robots
[8] Automated Guided Vehicles
[9] Grover and Ashraf
[10] Minashkina and Happonen

انجام دهند (سولیستیواتی و ویجایا[1]، ۲۰۲۲). شایان ذکر است اهمیت WMS ها با نوآوری‌ها و پیشرفت‌های اخیر رو به افزایش است. این سیستم ها می‌توانند به‌طور یکپارچه برای مدیریت تمامی فرآیندهای انبار استفاده گردد (ینر و یازگان[2]، ۲۰۱۹). اتصال WMS به IoT مزایای بیشتری را برای شرکت‌ها به ارمغان می‌آورد (باتارلینه و جاراشونینه[3]، ۲۰۲۴). IoT یک الگوی نوظهور است که ارتباط بین دستگاه های الکترونیکی و حسگرها را از طریق اینترنت به منظور تسهیل زندگی ما امکان پذیر می کند. اینترنت اشیاء از دستگاه های هوشمند و اینترنت برای ارائه راه‌حل‌های نوآورانه جهت چالش‌ها و مسائل مختلف مرتبط با صنایع تجاری، دولتی و دولتی/خصوصی در سراسر جهان استفاده می کند (کومار[4]و همکاران، ۲۰۱۹). سیستم‌های هوشمند مبتنی بر IoT قادرند با بهره‌گیری از سنسورها، فناوری RFID، رایانش ابری و ابزارهای تحلیلی، عملکرد انبارها را به‌طور چشمگیری بهبود بخشند (مشایخی[5] و همکاران، ۲۰۲۲). یکی از اهداف اصلی هوشمندسازی، استفاده هوشمندانه از زمان، منابع و سرمایه است. رایانش ابری و فناوری اینترنت اشیاء دو راهکار هوشمند جهت گردآوری و مانیتورینگ داده‌ها هستند (محتشمی و تبریزی[6]، ۲۰۲۵). بهره‌گیری از فناوری‌هایی نوظهور در مدیریت و فرآیندهای انبارداری می‌تواند بهره‌وری را افزایش، خطاها و زمان پردازش را به طور قابل‌توجهی کاهش دهد. همچنین برخلاف شیوه‌های سنتی که اغلب فرآیندمحور، کند و پرهزینه هستند، انبارهای هوشمند علاوه بر این که از ایمنی بیشتری برخوردارند، در مصرف انرژی و فضای فیزیکی مورد نیاز بهینه‌تر عمل می کنند و توانایی پاسخ سریع‌تر به نیازهای مشتری را نیز دارند (کمالی، ۲۰۱۹). شرکت‌های دانش‌بنیان با تدوین پروژه‌های خاص، درصدد هستند تا با توسعه اینترنت اشیا، ابرداده‌ها و البته هوشمندسازی، تحول دیجیتال را به منظور کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری ایجاد نمایند (عین‌علی و باقری قره بلاغ[7]، ۲۰۲۴).

٤.۲. پیشینه

۱.٤.۲. پیشینه خارجی

ورما[8] و همکاران (۲۰۲۵)، به شناسایی و رتبه‌بندی راهکارهای نوآورانه لجستیکی برای تقویت تاب‌آوری زنجیره تأمین در برابر اختلالاتی مانند بلایای طبیعی، ناآرامی‌های ژئوپلیتیکی و پاندمی‌ها پرداختند. برای این منظور، با استفاده از روش تحلیل ارتباط خاکستری(GRA) ، روابط ساختاری میان راهکارها بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که راهکارهایی نظیر هوش مصنوعی، دوقلوهای دیجیتال، IoT ، انبارداری هوشمند توزیع‌شده، پلتفرم‌های دیجیتال برای همکاری، امنیت و زنجیره تأمین چابک نقش مؤثری در ارتقای عملکرد عملیاتی و توان پاسخ‌دهی به بحران‌ها دارند.

شارما[9] و همکاران (۲۰۲۵)، به بررسی نقش زنجیره تأمین هوشمند در تقویت چابکی و تاب‌آوری به‌منظور بهبود عملکرد پایدار کسب‌وکار پرداختند. این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری و شبکه عصبی مصنوعی بر پایه نظریه منابع طبیعی‌محور انجام شده و روابط میان شش عامل کلیدی یعنی صنعت۴، شیوه‌های سبز، زنجیره تأمین هوشمند، چابکی، تاب‌آوری و عملکرد پایدار تحلیل شده است. یافته‌ها نشان داد که ترکیب فناوری‌های صنعت۴ و شیوه‌های سبز با ایجاد زنجیره تأمین هوشمند، چابک و تاب‌آور، به بهبود معنادار عملکرد پایدار منجر می‌شود. همچنین، تاب‌آوری بیشترین تأثیر را بر عملکرد پایدار دارد.

[1] Sulistyowati and Wijaya,
[2] Yener and Yazgan
[3] Batarlienė and Jarašūnienė
[4] Kumar
[5] Mashayekhy
[6] Mohtashami and Tabrizi
[7] Eynali and Bagheri Garbollagh
[8] Verma
[9] Sharma

لای[1] (۲۰۲۵)، به بررسی نقش فناوری‌های نوین شامل هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، بلاک‌چین و رایانش ابری در افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین پرداخته است. یافته‌ها نشان داد که به‌کارگیری این فناوری‌ها باعث بهینه‌سازی مسیرها، افزایش شفافیت، کاهش هزینه‌ها و واکنش سریع‌تر به اختلالات می‌شود. مطالعه با استناد به نمونه‌های واقعی و نیز سیاست‌های حمایتی دولت، نشان می‌دهد که این فناوری‌ها در صورت پشتیبانی زیرساختی و قانونی مناسب، می‌توانند زنجیره تأمین ویتنام را به شبکه‌ای پایدار، رقابتی و هوشمند تبدیل کنند.

کوپیدو و جوکونیا[2] (۲۰۲۴)، به بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های نوظهور در مدیریت انبار با استفاده از یک مرور سیستماتیک ادبیات، پرداخته است. نتایج مطالعه نشان داد که عامل‌های فناوری، مدیریت و ساختار صنعت مدنظر، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های نوظهور در مدیریت انبار بودند.

لیو(۲۰۲۴)، با هدف افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه و جلوگیری از اتلاف، به توسعه و پیاده‌سازی یک مدل نوین برای مدیریت عملکرد انبارداری هوشمند مبتنی بر IoT و اتوماسیون پرداخته است. یافته‌ها نشان داد که استفاده از فناوری‌های هوشمند و اتوماسیون به شکل معناداری باعث کاهش عملیات دستی غیرضروری در انبارها شد و هزینه‌های سازمانی از طریق بهینه‌سازی فرآیندهای انبارداری کاهش یافت. همچنین بهره‌وری و دقت عملیات انبار به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرد.

آدسگا[3] و همکاران (۲۰۲۴)، به بررسی تأثیر تحولی هوش مصنوعی و اتوماسیون بر زنجیره تأمین هوشمند و نحوه ارتقای بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود تصمیم‌گیری در حوزه‌های حمل‌ونقل، انبارداری و پیش‌بینی تقاضا پرداختند. یافته‌ها نشان داد که الگوریتم‌های هوش مصنوعی، مدیریت موجودی را با دقت بالا بهینه‌سازی کرده، مسیرهای حمل‌ونقل را با درنظر گرفتن عوامل مختلف، بهینه نموده و عملیات انبارداری را با پردازش خودکار و استفاده از ربات‌ها کارآمدتر می‌نمایند. با وجود چالش‌هایی چون نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی، موانع فنی و هزینه‌های بالا، این فناوری‌ها مجموعا چشم‌انداز روشنی برای ایجاد زنجیره تأمین کارآمد، چابک و رقابتی ترسیم می‌کنند.

فرناندو[4] و همکاران (۲۰۲۴)، در پژوهش خود درک بهتری از سیستم‌ها و طراحی انبارهای هوشمند در صنعت ۴ را ارائه نموده است و جنبه‌های اصلی مرتبط با طراحی انبارهای هوشمند را مورد بررسی قرار داده است. این جنبه‌ها عبارتند از: دلایل عملکرد ضعیف انبارها، عوامل تسهیل‌کننده انبارهای هوشمند و ساختار طراحی انبار هوشمند.

جاراشونینه[5] و همکاران (۲۰۲۳)، به بررسی تأثیر اینترنت اشیاء بر مدیریت انبار و ارائه یک مدل مفهومی جهت ارزیابی هزینه-فایده IoT پرداخته است. نتایج حاصله نشان داد که تأثیر اینترنت اشیاء بر شرکت‌ها، بسته به ساختار و آمادگی زیرساختی سازمان‌ها، متفاوت است. این نتایج مشخص می‌کند که علی رغم مزایای بسیار زیاد IoT، هزینه‌های استقرار، نگهداری و امنیت اطلاعات نیز از چالش‌های اصلی پیاده سازی این فناوری هستند.

مشایخی و همکاران (۲۰۲۲)، به بررسی اثرات پیاده‌سازی IoT در مدیریت موجودی پرداخته است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند بر مبنای IoT می‌تواند به کاهش هزینه‌های نگهداری و افزایش سطح خدمات به مشتری منجر شود. این موضوع در سایه‌ی نیاز به تصمیم‌گیری سریع و دقیق در مدیریت موجودی، اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند.

آفیا و عامر (۲۰۲۱)، چارچوب جامعی برای طراحی زیرساخت انبار هوشمند ارائه می‌دهد که با استفاده از فناوری‌های موجود، امکان ردیابی دقیق و ثبت لحظه‌ای اطلاعات موجودی را فراهم می‌آورد.

[1] Lai
[2] Cupido and Jokonya
[3] Adesoga
[4] Fernando
[5] Jarašūnienė

جدول ۲. عوامل تشکیل دهنده انبارهای هوشمند

عوامل	شرح	منابع
مدیریت اطلاعات (F_1)	توانایی سیستم نرم‌افزاری در جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تحلیل و استفاده مؤثر از داده‌ها	فن‌گست[1] و همکاران(۲۰۲۱)
مکانیزاسیون (F_2)	استفاده از فناوری‌های خودکار برای انجام عملیات انبارداری	فن‌گست و همکاران(۲۰۲۱)؛ لیو(۲۰۲۴)
ایمنی (F_3)	توانایی سیستم جهت حفاظت از انسانها، تجهیزات و کالاها در برابر حوادث و خطرات.	هوفسترا[2] و همکاران(۲۰۱۸)؛ تراب[3] و همکاران(۲۰۱۷)
امنیت (F_4)	توانایی سیستم جهت حفاظت از داده‌ها در برابر تهدیدات داخلی و خارجی.	کوپیدو و جوکونیا(۲۰۲۴)؛ جاراشونینه و همکاران (۲۰۲۳)
قابلیت‌ردیابی اقلام (F_5)	توانایی شناسایی و پیگیری دقیق موقعیت و وضعیت کالاها در هر مرحله از عملیات انبارداری.	آفیا و عامر(۲۰۲۱)؛ فن‌گست و همکاران (۲۰۲۱)
مهارت نیروی انسانی (F_6)	سطح دانش، تخصص و آمادگی کارکنان برای کار با فناوری‌ها و سیستم‌های هوشمند در انبار	کوپیدو و جوکونیا(۲۰۲۴)
هزینه های استقرار(F_7)	میزان منابع مالی مورد نیاز برای طراحی، اجرا، پیاده‌سازی و نگهداری سیستم‌های هوشمند در انبار	کوپیدو و جوکونیا(۲۰۲۴)؛ جاراشونینه و همکاران (۲۰۲۳)
سطوح دسترسی (F_8)	قابلیت استفاده آسان و سریع و طبقه‌بندی شده از اطلاعات و سیستم‌های هوشمند توسط کاربران مختلف در انبار	کوپیدو و جوکونیا(۲۰۲۴)
پشتیبانی سازمان (F_9)	میزان حمایت و تعهد مدیریت ارشد برای تأمین منابع و ایجاد زیرساختهای لازم برای هوشمندسازی انبار	کوپیدو و جوکونیا(۲۰۲۴)؛ کاواپناک و همکاران (۲۰۲۱)
زیرساخت‌های جدید مورد نیاز (F_{10})	تامین تجهیزات، شبکه‌ها، نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای به‌روز جهت پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند در انبار	کوپیدو و جوکونیا(۲۰۲۴)؛ جاراشونینه و همکاران (۲۰۲۳)؛ کاواپناک و همکاران (۲۰۲۱)
شرایط رقابتی و عوامل محیطی (F_{11})	میزان فشار ناشی از شرایط محیطی و رقبا در بازار که سازمان را به استفاده از فناوری‌های نوین در انبارداری ترغیب می‌کند.	کوپیدو و جوکونیا(۲۰۲۴)؛ کاویناک و همکاران (۲۰۲۱)
ساختار صنعت مدنظر (F_{12})	ویژگی‌ها و پیچیدگی‌های خاص صنعت و انبار موردنظر که بر شرایط هوشمندسازی انبار تأثیر می‌گذارد.	کوپیدو و جوکونیا(۲۰۲۴)
سطح تقاضا(F_{13})	حجم تقاضاها و درخواستها که نیاز به پاسخگویی سریع، دقیق و بدون اشتباه از طریق سیستم‌های هوشمند را افزایش می‌دهد.	کوپیدو و جوکونیا(۲۰۲۴)

هه[4] و همکاران (۲۰۲۱)، به طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم لجستیک هوشمند برای انبار با استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیا و هوش مصنوعی (AI[5]) پرداخته است. نتایج بدست آمده نشان داد که سیستم پیشنهادی باعث تحقق عملیات انبار بدون نیاز به حضور نیروی انسانی، افزایش بهره‌وری عملیاتی، کاهش هزینه‌های تجهیزات، بهبود ایمنی و پایداری عملکرد انبار شده است.

کمالی (۲۰۱۹)، به مقایسه عملکرد انبارهای هوشمند و سنتی پرداخته و مزایا و معایب هر یک را بر اساس جنبه‌های مختلف عملیاتی مطرح کرده است. نتایج به دست آمده از این مطالعه حاکی از آن است که انبارهای هوشمند با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، قادر به دستیابی به بهره‌وری بالاتر، کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهبود امنیت و کنترل در مقابل خطاهای انسانی هستند.

۲.٤.۲. پیشینه داخلی

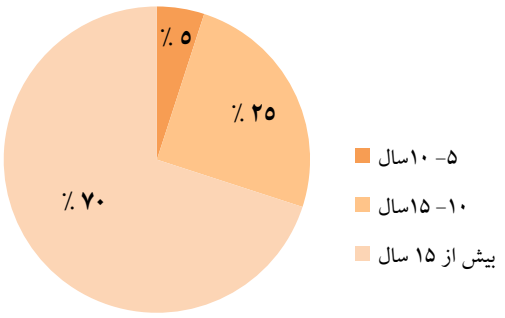
[1] Van Geest
[2] Hofstra
[3] Trab
[4] He
[5] Artificial Intelligence

کفایت و همکاران(۱۴۰۰)، در پژوهش خود با هدف افزایش کیفیت کلی خدمات، افزایش بهره‌وری و به حداقل رساندن هزینه‌ها، به ارائه یک ساختار کلان جهت هوشمندسازی انبارها در راستای تحول دیجیتال در صنعت فولاد پرداخته اند.

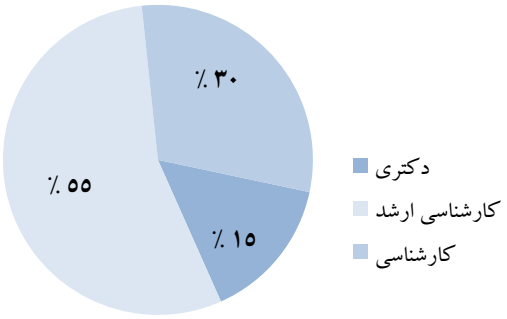
پس از بررسی ادبیات موضوع مورد مطالعه، برخی عوامل تشکیل دهنده انبارهای هوشمند از منابع معتبر استخراج گردیده و در جدول (۲) ارائه شده است. لازم به ذکر است عوامل بدست آمده در جدول مذکور، مبنای ادامه پژوهش حاضر بوده که در روش پژوهش، به جزئیات آن اشاره گردیده است.

۳. روش پژوهش

پژوهش حاضر به لحاظ هدف کاربردی، و از منظر روش توصیفی، پیمایشی محسوب می‌شود. جامعه آماری در این پژوهش کلیه فعالان و متخصصان حوزه لجستیک و انبارداری می‌باشد و به منظور دریافت نظرات خبرگان، نمونه‌ای شامل ۲۰ نفر از خبرگان حوزه انبارداری با حداقل تحصیلات کارشناسی و تجربه کاری بیشتر از ۵ سال به روش غیر تصادفی و هدفمند (گلوله برفی) انتخاب شده است. جمع‌آوری اطلاعات در هر دو مرحله این مطالعه با استفاده از ابزار پرسشنامه صورت گرفته است. نمونه پرسشنامه‌های پژوهش در پیوست ارائه شده است. همچنین نمودارهای(۱) و(۲) فراوانی خبرگان را براساس اطلاعات جمعیت شناختی مورد نظر پژوهش نشان می‌دهد. با توجه به نمودارها ۹۵ درصد از پاسخ‌دهنگان تجربه کاری ۱۰ سال و بالاتر و میزان تحصیلات ۷۰ درصد از آنها کارشناسی ارشد و دکتری می‌باشد.



نمودار ۱. میزان تجربه کاری



نمودار ۲. میزان تحصیلات

۱.۳. دلفی فازی

در ابتدا طی مطالعه و بررسی مقالات و منابع معتبر، عوامل مرتبط با موضوع شناسایی و استخراج شد. سپس می‌بایست میزان اهمیت هر یک از عوامل تعیین و برای مرحله تجزیه و تحلیل تایید می‌گردید. یکی از روش‌هایی که برای تعیین میزان اهمیت و تایید متغیرها می‌توان از آن بهره برد، تکنیک دلفی است. این تکنیک با ویژگی‌هایی چون پاسخ‌دهدگان ناشناس، تکرار و بازخورد کنترل‌شده شناخته می‌شود و عمدتا برای مسائلی مناسب است که با روش‌های تحلیلی خطی یا دقیق قابل حل نیستند و در آن‌ها قضاوت ذهنی جمعی می‌تواند دیدگاه‌های جدیدی را نمایان سازد. افزون بر این امکان مدیریت دانش ارائه‌شده توسط خبرگان را از طریق فرایندی منطقی، صریح و همچنین سنجش میزان اجماع را فراهم می‌آورد (گالارزا- ماریا[1] و همکاران، ۲۰۲۴). در این روش استفاده از عبارات کلامی، شیوه‌ای دقیق برای بازنمایی چگونگی بیان نظرات و قضاوت‌های انسانی است (هاشمی پترودی[2] و همکاران، ۲۰۲۲). از طرفی استفاده از منطق فازی عدم قطعیت

[1] Galarza-María
[2] Hashemi Petrudi

موجود در تصمیم‌گیری خبرگان را مدیریت می‌کند (گالارزا- ماریا و همکاران، ۲۰۲۴). بنابراین ترکیب منطق فازی و روش دلفی، می‌تواند نتایج اطمینان بخش‌تری به همراه داشته و در عین حال زمان و هزینه‌های پژوهش را کاهش دهد.

به منظور تبدیل نظرات به مقادیر فازی برای هر یک از عبارات کلامی سه عدد (سه تایی مرتب) شامل کران بالا (U)، میانی (M) و پایین (L) به‌صورت $X_{ij} = (L, M, U)$ با توجه به جدول (۳) اختصاص داده شد. سپس محاسبه میانگین فازی (به تفکیک کران‌ها) با استفاده از فرمول(۱) صورت گرفت.

جدول ۳. معادل فازی مثلثی عبارات کلامی

عبارت کلامی	اعداد فازی مثلثی
بی‌اهمیت	(۰، ۰، ۰/۲۵)
کم‌اهمیت	(۰، ۰/۲۵، ۰/۵)
اهمیت متوسط	(۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵)
مهم	(۰/۵، ۰/۷۵، ۱)
بسیار مهم	(۰/۷۵، ۱، ۱)

$$AVG_{ij} = \frac{\tilde{x}^1 \oplus \tilde{x}^2 \oplus \tilde{x}^3 \oplus \ldots \oplus \tilde{x}^n}{n} \quad (۱)$$

تعداد خبرگان :n

معادل فازی نظر خبرگان :$\tilde{x}$

برای فازی‌زدایی روش‌های متعددی در مطالعات پیشنهاد شده است که انتخاب روش مناسب به نوع داده‌ها و نیازهای خاص پژوهش بستگی دارد. با توجه به اینکه هدف به‌کارگیری روش دلفی فازی در این پژوهش، اجماع نظرات خبرگان است، روش میانگین ساده علاوه بر سهولت در محاسبه، می‌تواند به‌طور مؤثر امتیاز قطعی دقیق و متعادلی را از نظرات ارائه دهد. میانگین ساده با استفاده از فرمول(۲) محاسبه می‌گردد.

$$\text{Crisp Score} = \frac{AVG_U + AVG_M + AVG_L}{3} \quad (۲)$$

AVG_U : میانگین کران بالای نظرات

AVG_M : میانگین کران میانی نظرات

AVG_L : میانگین کران پایین نظرات

پس از مقایسه ای که میان امتیاز قطعی هر عامل با مقدار حد آستانه صورت گرفت، عواملی که امتیاز قطعی آنها بیشتر از حد آستانه بود مجوز ورود به مرحله بعد را به دست آوردند.

۲.۳. دیمتل فازی

برای تعیین روابط علت و معلولی میان عوامل تایید شده در مرحله قبل، از تکنیک دیمتل فازی بهره گرفته شد. تکنیک تصمیم‌گیری دیمتل در سال ۱۹۷۱ به عنوان روشی برای سازماندهی مجموعه‌ای از عناصر یک سیستم و تعیین روابط میان آنها معرفی شد که در آن علاوه بر نمایش ارتباطات جهت‌دار میان عناصر، می‌توان درجه تعاملات آنها را نیز مشخص کرد (اعتصامی و رضایی، ۱۳۹۹). جهت تحلیل پیچیدگی قضاوت‌ها در فرایند تصمیم‌گیری، بهتر است این روش را با رویکرد فازی ادغام کرد (شفیعی نیکابادی و عشقعلی، ۱۴۰۱). مجموعه‌های فازی، ابهام و عدم قطعیت در اهداف، ترجیحات و

محدودیت‌های مسائل تصمیم‌گیری را کاهش می‌دهند (حکاکی[1]و همکاران، ۲۰۲۱). در این روش میزان تاثیرگذاری هر عامل بر سایر عوامل در قالب پرسشنامه با پاسخ‌های مشابه جدول (۲)، توسط خبرگان تعیین گردید. سپس نظرات کارشناسان به مقادیر فازی مثلثی به صورت $C_{ij} = (L, M, U)$ تبدیل و ماتریس ارتباط مستقیم (M)که مقادیر درایه‌های آن از طریق فرمول(۳) محاسبه می‌گردد، تشکیل شد.

$$M_{ij} = \frac{\tilde{y}^1 \oplus \tilde{y}^2 \oplus \tilde{y}^3 \oplus \dots \oplus \tilde{y}^n}{n} \quad (۳)$$

n: تعداد خبرگان

$\tilde{y}$: معادل فازی نظر خبرگان(به ازای هر کران)

در مرحله بعد ماتریس M با استفاده از فرمول‌های (۴) و (۵) نرمال سازی شد.

$$K = \max_{1 \le i \le n} \sum_j^n U_{ij} \quad (۴)$$

K: بیشترین مجموع کران های بالای نظرات سطر ها

$$\tilde{N} = \frac{\tilde{M}_{ij}}{K} = \left(\frac{U_{ij}}{K}, \frac{M_{ij}}{K}, \frac{L_{ij}}{K}\right) \quad (۵)$$

$\tilde{N}$: ماتریس ارتباط مستقیم نرمالایز شده

سپس ماتریس $\tilde{N}$ تفکیک شده و مطابق فرمول‌های (۶)، (۷) و (۸) هر یک از سه ماتریس حاصل را از ماتریس I کم کرده و معکوس ماتریس حاصل محاسبه می‌شود و در نهایت با ضرب هر یک از سه ماتریس اولیه در ماتریس‌های معکوس عناصر ماتریس ارتباط کامل به‌دست می‌آید که می‌توان با تجمیع این عناصر، ماتریس ارتباط کامل فازی را تشکیل داد.

$$[\tilde{T}_U] = \tilde{N}_U * (I - \tilde{N}_U)^{-1} \quad (۶)$$

$$[\tilde{T}_M] = \tilde{N}_M * (I - \tilde{N}_M)^{-1} \quad (۷)$$

$$[\tilde{T}_L] = \tilde{N}_L * \left(I - \tilde{N}_L\right)^{-1} \quad (۸)$$

در این گام لازم است فازی‌زدایی صورت گیرد و مقادیر فازی به مقادیر صریح تبدیل شوند. فازی‌زدایی به منظور اختصاص یک عدد صریح و قطعی به هر عامل انجام می‌گردد تا بتوان در مورد میزان اثرگذاری و اثرپذیری هر عامل تصمیم‌گیری کرد. از این رو تبدیل مقادیر فازی به مقادیر صریح و تشکیل ماتریس ارتباط کامل قطعی (T) از طریق فرمول (۹) صورت گرفت.

$$T_{ij} = \frac{1}{3}(\tilde{T}_U + \tilde{T}_M + \tilde{T}_L) \quad (۹)$$

به منظور تعیین ماهیت علّی عوامل، می‌بایست مقایسه‌ای میان مقدار هر درایه با حد آستانه صورت می‌گرفت. لازم به ذکر است که حد آستانه در این تکنیک از محاسبه میانگین مجموعه درایه‌های ماتریس ارتباط کامل حاصل می‌گردد. پس از اجرای مراحل، میزان تعامل میان عوامل شاخص R+J و همچنین جهت تعیین میزان قدرت نفوذ هر یک از آنها بر سیستم شاخص R-J محاسبه شد که در آن R (میزان تأثیرگذاری کل هر عامل بر مجموعه عوامل) و J (میزان تأثیرپذیری کل هر عامل از مجموعه عوامل) به ترتیب مجموع درایه‌های هر سطر و مجموع درایه‌های هر ستون در ماتریس T می‌باشد.

٤. یافته‌ها

در ابتدا طی بررسی مقالات، ۱۳ عامل مرتبط با جذب فناوری نوین در هوشمندسازی انبار شناسایی و استخراج شد. پس از اجرای تکنیک دلفی فازی و مقایسه امتیاز قطعی هر عامل با مقدار حد آستانه ۰/۷ ، در نهایت ۱۱ عامل مورد تایید

[1] Hakaki

قرار گرفت. از طرفی دو عامل شرایط رقابتی و عوامل محیطی (F_{11}) و سطح تقاضا (F_{13}) به دلیل کسب امتیاز قطعی پایین تر از حد آستانه، حذف شدند. جدول (۴) امتیاز قطعی و وضعیت تایید عوامل را نشان می‌دهد.

جدول ٤. نتایج دلفی فازی و وضعیت تایید عوامل

کد عامل	امتیاز قطعی	وضعیت تأیید	کد عامل	امتیاز قطعی	وضعیت تأیید
F_1	۰/۸۱	✓	F_8	۰/۷۴	✓
F_2	۰/۷۴	✓	F_9	۰/۷۹	✓
F_3	۰/۸۳	✓	F_{10}	۰/۷۹	✓
F_4	۰/۸۵	✓	F_{11}	۰/۶۳	-
F_5	۰/۸۰	✓	F_{12}	۰/۶۸	✓
F_6	۰/۶۹	✓	F_{13}	۰/۶۴	-
F_7	۰/۷۰	✓			

به منظور تعیین روابط علت و معلولی میان عوامل، روش دیمتل فازی به‌کار گرفته شد. در شکل‌های (۱)و (۲)به‌ترتیب ماتریس ارتباط کامل T و شاخص‌های نفوذ و تعامل عوامل ارائه شده است. در جدول(۵) عوامل بر اساس مقدار هریک از شاخص‌های R-J و R+J ، J، R به صورت نزولی رتبه‌بندی شده است.

T	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F12	Sum(R)
F1	0.520	0.603	0.516	0.578	0.586	0.537	0.572	0.582	0.570	0.596	0.517	6.176
F2	0.620	0.542	0.557	0.588	0.601	0.566	0.601	0.598	0.587	0.617	0.537	6.414
F3	0.500	0.518	0.406	0.491	0.486	0.478	0.501	0.496	0.506	0.521	0.453	5.357
F4	0.559	0.549	0.485	0.461	0.519	0.498	0.529	0.521	0.528	0.552	0.478	5.677
F5	0.561	0.552	0.476	0.521	0.468	0.505	0.535	0.548	0.537	0.558	0.479	5.741
F6	0.587	0.593	0.536	0.561	0.562	0.470	0.556	0.563	0.562	0.585	0.506	6.081
F7	0.571	0.582	0.510	0.546	0.547	0.515	0.484	0.534	0.557	0.579	0.498	5.922
F8	0.558	0.557	0.490	0.534	0.548	0.510	0.524	0.467	0.526	0.550	0.480	5.744
F9	0.559	0.569	0.501	0.537	0.529	0.515	0.544	0.527	0.473	0.569	0.484	5.806
F10	0.605	0.613	0.540	0.583	0.589	0.549	0.591	0.577	0.583	0.531	0.529	6.291
F12	0.578	0.583	0.511	0.551	0.553	0.524	0.562	0.548	0.557	0.584	0.442	5.993
Sum(J)	6.217	6.259	5.529	5.952	5.989	5.667	5.998	5.961	5.988	6.241	5.403	

شکل ۱. ماتریس ارتباط کامل(T)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F12
R+J	12.394	12.673	10.886	11.629	11.730	11.748	11.920	11.704	11.795	12.532	11.396
R-J	-0.041	0.155	-0.173	-0.274	-0.247	0.414	-0.075	-0.217	-0.182	0.049	0.590

شکل ۲. شاخص های تعامل (R+J) و نفوذ (R-J)

جدول ۵. طبقه بندی نزولی عوامل مرتبط با هوشمندسازی انبار بر اساس شاخص های R-J و R+J ، R، J

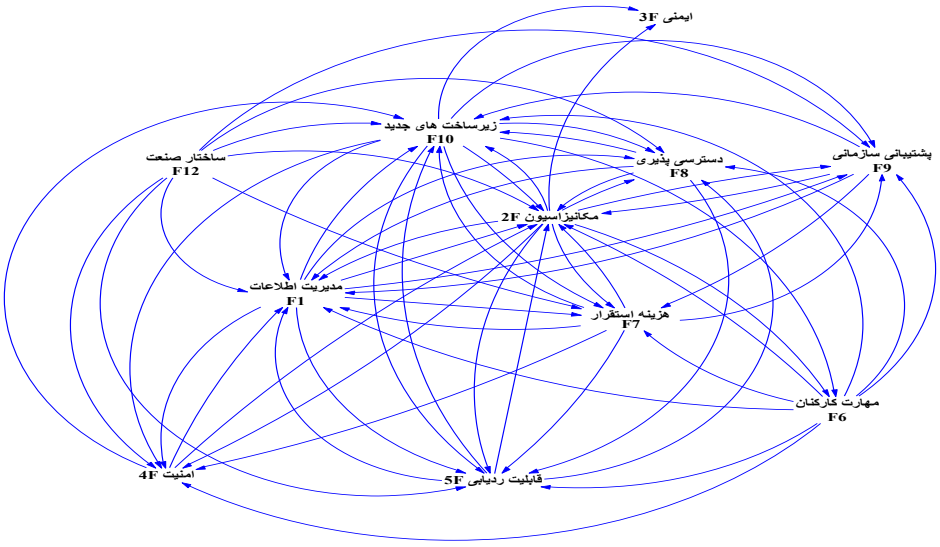
کد عامل	R-J	کد عامل	R+J	کد عامل	J	کد عامل	R
F_{12}	۰/۵۹۰	F_2	۱۲/۶۷۳	F_2	۶/۲۵۹	F_2	۶/۴۱۴
F_6	۰/۴۱۴	F_{10}	۱۲/۵۳۲	F_{10}	۶/۲۴۱	F_{10}	۶/۲۹۱
F_2	۰/۱۵۵	F_1	۱۲/۳۹۴	F_1	۶/۲۱۷	F_1	۶/۱۷۶
F_{10}	۰/۰۴۹	F_7	۱۱/۹۲۰	F_7	۵/۹۹۸	F_6	۶/۰۸۱
F_1	-۰/۰۴۱	F_9	۱۱/۷۹۵	F_5	۵/۹۸۹	F_{12}	۵/۹۹۳
F_7	-۰/۰۷۵	F_6	۱۱/۷۴۸	F_9	۵/۹۸۸	F_7	۵/۹۲۲
F_3	-۰/۱۷۳	F_5	۱۱/۷۳۰	F_8	۵/۹۶۱	F_9	۵/۸۰۶
F_9	-۰/۱۸۲	F_8	۱۱/۷۰۴	F_4	۵/۹۵۲	F_8	۵/۷۴۴
F_8	-۰/۲۱۷	F_4	۱۱/۶۲۹	F_6	۵/۶۶۷	F_5	۵/۷۴۱
F_5	-۰/۲۴۷	F_{12}	۱۱/۳۹۶	F_3	۵/۵۲۹	F_4	۵/۶۷۷
F_4	-۰/۲۷۴	F_3	۱۰/۸۸۶	F_{12}	۵/۴۰۳	F_3	۵/۳۵۷

در مرحله انتهایی به منظور دستیابی به الگوی ارتباطات معنادار، حد آستانه ۰/۵۴ از محاسبه میانگین کلیه درایه‌های ماتریس T به دست آمد و مقایسه‌ای میان هر یک از درایه‌های این ماتریس با مقدار آستانه صورت گرفت. شکل (۳) ماتریس الگوی ارتباطات معنادار A را نشان می‌دهد.

A	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F12
F1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
F2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
F3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
F5	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
F6	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
F7	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0
F8	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
F9	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
F10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
F12	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0

شکل ۳. ماتریس الگوی روابط معنادار (A)

با توجه به روابط مشخص شده در ماتریس A مدل علّی عوامل تشکیل دهنده انبارهای هوشمند در شکل(۴) ارائه گردیده است. در این مدل به‌ازای هریک از درایه‌های ماتریس A که مقدار ۱ دارند، پیکانی از عامل سطری به عامل ستونی متناظر با آن وارد می‌شود که این به معنای تاثیر عامل سطری بر عامل ستونی می‌باشد.



شکل ٤. مدل علّی عوامل مرتبط با هوشمندسازی انبار

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این بخش ابتدا به بیان برخی از مهم ترین نتایج پژوهش پرداخته شده و در نهایت پیشنهاداتی برای پژوهش های آتی ارائه گردیده است.

۱.۵. نتیجه‌گیری

در شرایط پویای بازارهای جهانی، تاب‌آوری به عنوان یک ضرورت راهبردی برای تداوم عملکرد سازمان‌ها و صنایع مطرح است. از این رو هدف این مقاله، ارائه مدلی تحلیلی جهت بررسی تاثیر عوامل تشکیل دهنده انبارهای هوشمند بر تاب‌آوری صنایع است. بر این اساس از طریق مرور ادبیات ، برخی از عوامل کلیدی شناسایی و به‌کمک روش دلفی فازی، مورد تأیید خبرگان حوزه لجستیک و انبارداری صنایع قرار گرفت. سپس با به‌کارگیری روش دیمتل، روابط علت و معلولی میان عوامل، امکان تحلیل ساختار و مدل‌سازی علّی جهت بررسی نقش انبارهای هوشمند بر تاب‌آوری صنایع فراهم شد. نتایج نشان داد که مکانیزاسیون، زیرساخت‌های جدید مورد نیاز و مدیریت اطلاعات به ترتیب بیشترین تاثیرگذاری را بر سایر عوامل دارند و به‌عنوان عوامل کلیدی و پیشران در هوشمندسازی انبار تلقی می‌شوند. از طرفی همین عوامل، بیشترین تأثیر را نیز از سایر عوامل دریافت می‌کنند. این نشان می‌دهد که این عوامل در مرکز تعاملات سیستمی قرار داشته و ارتقاء یا ضعف در آن‌ها می‌تواند اثر زنجیره‌ای معنا داری در کل ساختار ایجاد کند.

با توجه به نتایج، عامل‌های ساختار صنعت مدنظر، مهارت نیروی انسانی، مکانیزاسیون و زیرساخت‌های جدید مورد نیاز بیشترین نفوذ را بر سایر عوامل دارند. از آنجایی که عامل ساختار صنعت مدنظر بیشترین نقش تاثیرگذاری بدون تأثیرپذیری را دارد، می‌توان نتیجه گرفت که ویژگی‌ها و الزامات صنایع (مانند تکنولوژی تولید، حجم و تنوع قطعات و اقلام، میزان گردش کالاها، فضای مورد نیاز انبارش، اصول ایمنی) زیربنای هرگونه تصمیم‌گیری درباره هوشمندسازی هستند.

با در نظر گرفتن مکانیزاسیون به‌عنوان مهم‌ترین عامل مرکزی سیستم با بالاترین میزان تأثیرگذاری، تأثیرپذیری و تعامل می‌توان نتیجه گرفت که برای ارتقاء تاب‌آوری، سرمایه‌گذاری بر فناوری‌های خودکار و رباتیک در کنار سیستم‌های قفسه‌بندی نوین و هوشمند، بسیار حیاتی است. همچنین با توجه به جایگاه ویژه زیرساخت‌های جدید مورد نیاز و مدیریت اطلاعات، بدون ایجاد بسترهای فناورانه و جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، سایر تلاش‌ها بی‌نتیجه خواهند بود. این مطالعه نشان

داد که مهارت نیروی انسانی عامل مهمی در موفقیت اجرای هوشمندسازی محسوب می‌شود و آموزش و ارتقاء توانمندی‌های نیروی انسانی باید موازی با توسعه فناوری‌ها انجام گیرد.

مکانیزاسیون، زیرساخت‌های جدید مورد نیاز و مدیریت اطلاعات به‌عنوان عوامل کلیدی، نقش مهمی در تقویت تاب‌آوری صنعت ایفا می‌کنند. این عوامل با فراهم آوردن امکانات خودکارسازی، جمع‌آوری و تحلیل دقیق داده‌ها و ایجاد زیرساخت‌های فناورانه قوی، به افزایش استواری سیستم کمک می‌کنند؛ چرا که در شرایط بروز اختلال، این قابلیت‌ها امکان ادامه عملکرد پایدار و کاهش تاثیرات منفی را فراهم می‌آورند. همچنین، مهارت نیروی انسانی و ساختار صنعت مدنظر به عنوان عوامل مؤثر بر چابکی و انعطاف‌پذیری شناخته شده‌اند؛ در یک سازمان طراحی و مدیریت انبار بدون درنظرداشتن انعطاف‌پذیری و پویایی ظرفیت مورد نیاز سازمان، نمی‌تواند پیامدهای مفید و موثر هوشمندسازی را به همراه داشته باشد (آلبرت[1] و همکاران، ۲۰۲۳). این دو شاخص بیانگر توان واکنش اثربخش به تغییرات محیطی و آمادگی سازمان برای پاسخ سریع به اختلالات هستند. ارتقاء مهارت نیروی انسانی و تطابق ساختار سازمانی با نیازهای فناورانه باعث می‌شود سازمان بتواند تغییرات ناگهانی را به فرصت تبدیل کرده و به سرعت خود را با شرایط جدید تطبیق دهد. در نهایت، توجه به هوشمندسازی انبار و بهبود مداوم فرآیندها، با تمرکز بر حذف فعالیت‌های فاقد ارزش افزوده و کاهش ضایعات، نقش مهمی در تحقق شاخص ناب بودن عملیات انبار ایفا می‌کند. این امر باعث می‌شود شرکت‌ها بهبود کیفیت عملکرد عملیات انبار خود، منابع تخصیصی را بهینه مصرف کرده و تاب‌آوری کلی زنجیره تأمین را افزایش دهند که نتیجه آن پایداری و بهبود بلندمدت و پایدار در صنعت خواهد بود.

نتایج پژوهش حاضر بر ضرورت سرمایه‌گذاری سازمان‌ها و صنایع در زیرساخت‌ها، تجهیزات، شبکه‌ها و نرم‌افزارهای تخصصی و به‌کارگیری فناوری‌های خودکار مانند قفسه‌ها و رباتهای هوشمند در انبار و همچنین سیستم‌های نرم افزاری مدیریت موجودی انبار به منظور بهبود استواری و کاهش وابستگی به نیروی انسانی در شرایط بحرانی تاکید می‌کند.

۲.۵. پیشنهادها

۱.۲.۵. پیشنهادهای مدیریتی

با توجه به نظرات و ارزیابی‌های خبرگان حوزه لجستیک و انبارداری که جامعه آماری این پژوهش را تشکیل می‌دادند، پیشنهاد می‌شود سازمان‌ها و صنایع مختلف با توجه به تجربیات عملیاتی خبرگان، در سه حوزه کلیدی زیر اقدامات مشخصی را در فرآیند هوشمندسازی انبار در اولویت قرار دهند:

۱. توسعه تجهیزات و زیرساخت‌های فنی انبار: اکثر خبرگان بر این باور بودند که بدون ایجاد زیرساخت‌های جدید مانند شبکه‌های ارتباطی، سیستم‌های نرم‌افزاری پیشرفته و تجهیزات خودکار، امکان اجرای موفق فناوری‌های هوشمند وجود ندارد. لذا پیشنهاد می‌شود صنایع، بسته به نوع فعالیت خود، ابتدا به برآورد و تأمین نیازهای زیرساختی بپردازند.

۲. افزایش مهارت و آموزش نیروی انسانی: ضعف در مهارت فنی کارکنان یکی از چالش‌های اصلی در مسیر هوشمندسازی انبارهاست. از این‌رو، برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی در حوزه فناوری‌های نوین انبارداری مانند WMS و IoT برای مدیران و اپراتورها، به‌عنوان یکی از پیشنهادهای اصلی این پژوهش مطرح می‌گردد.

۳. توسعه نظام یکپارچه مدیریت اطلاعات: عدم وجود یک سامانه جامع مدیریت داده‌ها باعث کندی تصمیم‌گیری و افزایش خطای عملیاتی در انبارها می‌شود. بنابراین، پیاده‌سازی سیستم‌های یکپارچه مدیریت اطلاعات انبار با قابلیت رهگیری موجودی، تحلیل داده‌های ورودی/خروجی و اتصال به سیستم‌های فروش و تولید پیشنهاد می‌شود.

[1] Albert

۲.۲.۵. پیشنهاد برای پژوهش های آتی

با توجه به نتایج و اهمیت روزافزون مسئله تاب‌آوری پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، مدل علّی ارائه شده، در یک صنعت خاص همچون صنعت فولاد و یا پتروشیمی، با توجه به حساسیت و پیچیدگی‌های این صنایع، بررسی و آزموده شود. همچنین استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف پیاده‌سازی انواع سیستم‌های هوشمند نیز می‌تواند راهگشا می‌باشد. با توجه به اهمیت کاهش ضایعات و آلودگی‌های زیست محیطی، پیشنهاد می‌شود تاثیر هوشمندسازی فرآیندهای عملیات انبارداری بر تحقق زنجیره تامین سبز نیز بطور خاص مورد بررسی قرار گیرد.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله حاضر اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در ارتباط با انجام این پژوهش ندارند.

ORCID

Ali Akbar Najar **https://orcid.org/0009-0004-8714-8389**

Mahsa Eshghali **https://orcid.org/0009-0000-3862-0430**

Vahid Ghomi **https://orcid.org/0000-0003-3269-1478**

منابع

Adesoga, T. O., Ajibaye, T. O., Nwafor, K. C., Imam-Lawal, U. T., Ikekwere, E. A., and Ikechukwu, D. (2024). ‘The rise of the" smart" supply chain: How AI and automation are revolutionizing logistics’. *International Journal of Science and Research Archive*, *12*(2), 790-798.

Affia, I. and Aamer, A. (2021). ‘An internet of things-based smart warehouse infrastructure: design and application’. *Journal of Science and Technology Policy Management*, *13*(1), 90-109.

Albert, P. W., Rönnqvist, M. and Lehoux, N. (2023). ‘Trends and new practical applications for warehouse allocation and layout design: a literature review’. *SN Applied Sciences*, *5*(12), 378. https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-023-05608-0

Axén, F., and Jerlhagen Forsgren, I. (2023). The Future of Warehouse Automation: Will Drones Ever Take Off?. http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9122563 (Thesis)

Bakhtiari, H. (2023). ‘The impact of organizational culture on supply chain performance: The mediating role of supply chain resilience and agility (Case study: Steel industry in Qom Province)*’. International Conference on Management and Humanities Research in Iran*. SID.(In Persian) https://sid.ir/paper/1086120/fa

Banaeian, N., Mobli, H., Nielsen, I. E. and Omid, M. (2015). ‘Criteria definition and approaches in green supplier selection–a case study for raw material and packaging of food industry’. *Production & Manufacturing Research*, *3*(1), 149–168. https://doi.org/10.1080/21693277.2015.1016632.

Batarlienė, N. and Jarašūnienė, A. (2024). ‘Improving the Quality of Warehousing Processes in the Context of the Logistics Sector’. *Sustainability*, *16*(6), 2595.

Cavaignac, L., Dumas, A., and Petiot, R. (2021). ‘Third-party logistics efficiency: an innovative two-stage DEA analysis of the French market’. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *24*(6), 581-604.

Cupido, M. and Jokonya, O. (2024). ‘Exploring the factors affecting the adoption of emerging technologies in warehouse management’. *Procedia Computer Science*, *329*, 1958-1965.

Ebrahimpour, M., Farjood Chokami, Z. (2023). 'Identification and Ranking of Supply Chain Resilience Indicators in Four Dimensions Using the Swara Method in Food Industry', *Journal of Improvement Management*, *17*(2), 33-59.(In Persian) doi: 10.22034/jmi.2023.246887.2337

E’etesami, R., and Rezaei, H. (2020). ‘An assessment of cause and effect relationship among the elements of supply chain performance evaluation through fuzzy DEMATEL method’. *Strategic Management Research Journal (SMRJ)*, *1*(3), 37–52. (In Persian)

Eynali, M. and Bagheri Garbollagh, H. (2024). ‘Unveiling the Role of New Technologies of the Fourth Industrial Revolution in Improving the Sustainable Supply Chain Performance of Knowledge-Based

Companies: Does Circular Economy Practices Help?'. *Strategic Value Chain Management*, *1*(2), 41-60. DOI: https://doi.org/10.22075/svcm.2025.35066.1008

Fardan, A.K. and Al Rebh, M.Y. (2022). 'Supply Chain Resilience: Warehousing Role and Regionalization Effect During COIVD-19'. *Int. J Sup. Chain. Mgt 11(5),*43.

Fernando, Y., Suhaini, A., Tseng, M. L., Abideen, A. Z., & Shaharudin, M. S. (2024). 'A smart warehouse framework, architecture and system aspects under industry 4.0: a bibliometric networks visualisation and analysis'. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *27*(12), 2688-2711. https://doi.org/10.1080/13675567.2023.2215179

Galarza-María, J., Díaz de Junguitu, A., & Labaien, I. (2024). 'Social dimension of the circular economy: Impact categories through fuzzy Delphi method'. *Sustainable Development*. *32*(5), 4726-4737.

Ghomi, V., Nooraei, S.V.R., Shekarian, N., Shokoohyar, S. and Parast, M. (2023). 'Improving supply chain resilience through investment in flexibility and innovation'. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, *10*(1), 2221068.

Grover, A. K., & Ashraf, M. H. (2023). Leveraging autonomous mobile robots for Industry 4.0 warehouses: a multiple case study analysis. *The International Journal of Logistics Management*, *35*(4), 1168-1199. https://www.emerald.com/insight/0957-4093.htm

Hakaki, A., Shafiei Nikabadi, M. and Heidarloo, M. A. (2021). 'An optimized model for open innovation success in manufacturing SMES'. *RAIRO-Operations Research*, *55*(6), 3339-3357.

Hashemi Petrudi, S. H., Ghomi, H., & Mazaheriasad, M. (2022). 'An integrated fuzzy Delphi and best worst method (BWM) for performance measurement in higher education'. *Decisions Analytics Journal*, 4, https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100121

He, H. N., Wang, X. C., Peng, G. Z., Xu, D., Liu, Y., Jiang, M. and Yan, H. (2021). 'Intelligent logistics system of steel bar warehouse based on ubiquitous information'. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, *28*, 1367-1377.

Herold, D.M., Nowicka, K., Pluta-Zaremba, A. and Kummer, S. (2021). 'COVID-19 and the pursuit of supply chain resilience: Reactions and "lessons learned" from logistics service providers (LSPs)'. *Supply Chain Management: An International Journal*, *26*(6), 702-714.

Hofstra, N., Petkova, B., Dullaert, W., Reniers, G. and De Leeuw, S. (2018). 'Assessing and facilitating warehouse safety'. *Safety Science*, *105*, 134-148.

Jarašūnienė, A., Čižiūnienė, K. and Čereška, A. (2023). 'Research on impact of IoT on warehouse management'. *Sensors*, *32*(4), 2213.

Kafayat, M., Yazdanian, M., Amini, F. and Enteshari, E. (2021). *'Designing a macro structure for smart warehousing in Mobarakeh Steel Company using emerging technologies'. The 5th International Conference on Internet of Things and Applications, Isfahan, Iran.*(In Persian). https://civilica.com/doc/1238614

Kamali, A. (2019). 'Smart warehouse vs. traditional warehouse. *CiiT International Journal of Automation and Autonomous System'. 11*(1), pp. 9-16.

Khan, M. R., Alam, M., Tabassum, N., and Khan, N. A. (2022). 'A Systematic review of the Delphi–AHP method in analyzing challenges to public-sector project procurement and the supply chain: A developing country's perspective'. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(21), https://doi.org/10.3390/su142114215

Khurana, I., Dutta, D. K. and Ghura, A. S. (2022). 'SMEs and digital transformation during a crisis: The emergence of resilience as a second-order dynamic capability in an entrepreneurial ecosystem'. *Journal of Business Research*, *150*. 623-641.

Kumar, S., Tiwari, P. and Zymbler, M. (2019). 'Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review'. *Journal of Big data*, *6*(1), pp. 1-21.

Kumar, V., and Adil, G. K. (2025). 'Sustainable warehouse management: a literature review and future research agenda'. *Management Research Review*, *48*(3), 358-382. https://doi.org/10.1108/MRR-03-2024-0226

Lai, T. (2025). 'The Synergistic Impact of AI, IoT, Blockchain, 5G, and Cloud Computing on Supply Chain Resilience in Vietnam'. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, *12*(2), 120-128.

Lyu, X. (2024). 'Intelligent warehousing performance management based on Internet of Things and automation technology in the context of green manufacturing'. *Thermal Science and Engineering Progress*, *53*, 102761.

Maheshwari, P., Kamble, S., Kumar, S., Belhadi, A., and Gupta, S. (2023). Digital twin-based warehouse management system: a theoretical toolbox for future research and applications. *The International Journal of Logistics Management*, (ahead-of-print). https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2023-0030

Mashayekhy, Y., Babaei, A., Yuan, X. M. and Xue, A. (2022). 'Impact of Internet of Things (IoT) on

inventory management: A literature survey'. *Logistics*, 6(2). 33.
Melnyk, S.A. (2014). 'Understanding supply chain resilience'. *Supply chain management review*, *18*(1).
Minashkina, D. and Happonen, A. (2023). 'A systematic literature mapping of current academic research linking warehouse management systems to the third-party logistics context'. *Acta Logistica (AL)*, 10(2).
Mohtashami, A. and Tabrizi, A. (2025). 'Explaining a conceptual model to enhance the value chain of the country's ports and shipping industry using thematic analysis and ISM approaches'. *Strategic Value Chain Management*, *1*(3), 27-51.DOI:https://doi.org/10.22075/svcm.2025.36928.1022
Nuckel, R. J. (2023). *The Warehouse of the Future: The Impact of Automation on Industrial Assets* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology). https://rightsstatements.org/page/InC-EDU/1.0/ (Thesis)
Ponis, S.T. and Koronis, E., 2012. Supply Chain Resilience? Definition of concept and its formative elements. *The journal of applied business research'. 28(5),* 921-935.
Purvis, L., Spall, S., Naim, M., & Spiegler, V. (2016). 'Developing a resilient supply chain strategy during 'boom'and 'bust''. *Production planning & control*, *27*(7-8), pp.579-590.
Raji, I. O., Shevtshenko, E., Rossi, T., and Strozzi, F. (2021). 'Industry 4.0 technologies as enablers of lean and agile supply chain strategies: an exploratory investigation'. *The International Journal of Logistics Management*, *32*(4), 1150-1189.
Saffie, N. A. M., & Rasmani, K. A. (2016). Fuzzy delphi method: Issues and challenges. *International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS)*, pp. 1–7.
Shafiei Nikabadi, M., Eshghali, M. (2022). 'A causal model to analyze factors related to collaboration in the supply chain of agri-food products', *Journal of Studies in Entrepreneurship and Sustainable Agricultural Development*, *9*(4), 1-18. doi: 10.22069/jead.2022.20430.1621
Sharma, M., Antony, R., Sharma, A., and Daim, T. (2025). 'Can smart supply chain bring agility and resilience for enhanced sustainable business performance?'. *The International Journal of Logistics Management*, *36*(2), 501-555.
Sulistyowati and Wijaya, S. A. (2022). 'Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan bongkar muat peti kemas di pt ipc terminal peti kemas area Pontianak'. *Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi Bisnis, Kewirausahaan*, *10*(1), 207-236.
Trab, S., Bajic, E., Zouinkhi, A., Thomas, A., Abdelkrim, M. N., Chekir, H. and Ltaief, R. H. (2017). 'A communicating object's approach for smart logistics and safety issues in warehouses'. *Concurrent Engineering*, *25*(1), 53-67.
Van Geest, M., Tekinerdogan, B. and Catal, C. (2021). 'Smart warehouses: Rationale, challenges and solution directions'. *Applied sciences*, 12(1), 219.
Verma, P., Kumar, V., Verma, P., Lai, K.-K., and Kaur, P. (2025). 'Leveraging Innovative Logistics for Strengthening Supply Chain Resilience in the Face of Disruptions'. *Asian Journal of Interdisciplinary Research*, *8*(2), 35 -55. https://doi.org/10.54392/ajir2523
Yener, F., and Yazgan, H. R. (2019). Optimal warehouse design: Literature review and case study application. *Computers & Industrial Engineering*, *129*, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.006

پیوست ۱(پرسشنامه دلفی فازی)

بسمه تعالی

پاسخ دهنده گرامی
با سلام و احترام

پرسشنامه زیر در ارتباط پژوهشی با عنوان **بررسی تأثیر عوامل تشکیل‌دهنده انبارهای هوشمند بر تاب‌آوری صنایع با رویکرد دیمتل فازی** تهیه شده است. پاسخ شما صاحب نظر ارجمند به سوالات ذیل، ما را در تکمیل اطلاعات و پیشبرد هرچه بهتر اهداف پژوهش، یاری می نماید. قابل ذکر است، از نتایج تحقیق حاضر، صرفاً در راستای مقاله مذکور، استفاده علمی خواهد شد.

پیشاپیش از بذل توجه و زمان با ارزشی که صرف می‌فرمایید، صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

توضیحات : هدف از ارائه این پرسشنامه دریافت نظر کارشناسان و متخصصین فعال در حوزه لجستیک و انبارداری به منظور **تعیین میزان اهمیت عوامل تشکیل‌دهنده انبارهای هوشمند** است. این عوامل از مقالات و منابع معتبر استخراج شده و برای استفاده در مراحل تجزیه و تحلیل نیاز به تایید خبرگان دارد. از این رو خواهشمند است میزان اهمیت هر عامل را با توجه به گزینه های مشخص شده، با علامت × تعیین فرمایید.

اطلاعات جمعیت شناختی :

میزان تحصیلات کارشناسی ☐ کارشناسی ارشد ☐ دکتری ☐

میزان تجربه کاری ۵ تا ۱۰سال ☐ ۱۰ تا ۱۵ سال ☐ بیش از ۱۵ سال ☐

عامل	توضیحات	میزان اهمیت				
		بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد
مدیریت اطلاعات	توانایی سیستم نرم‌افزاری در جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تحلیل و استفاده مؤثر از داده‌ها					
مکانیزاسیون	استفاده از فناوری‌های خودکار برای انجام عملیات انبارداری					
ایمنی	توانایی سیستم جهت حفاظت از انسانها، تجهیزات و کالاها در برابر حوادث و خطرات.					
امنیت	توانایی سیستم جهت حفاظت از داده‌ها در برابر تهدیدات داخلی و خارجی.					
قابلیت‌ردیای اقلام	توانایی شناسایی و پیگیری دقیق موقعیت و وضعیت کالاها در هر مرحله از عملیات انبارداری.					
مهارت نیروی انسانی	سطح دانش، تخصص و آمادگی کارکنان برای کار با فناوری‌ها و سیستم‌های هوشمند در انبار					
هزینه‌های استقرار	میزان منابع مالی مورد نیاز برای طراحی، اجرا، پیاده‌سازی و نگهداری سیستم‌های هوشمند در انبار					
سطوح دسترسی	قابلیت استفاده آسان و سریع و طبقه‌بندی شده از اطلاعات و سیستم‌های هوشمند توسط کاربران مختلف در انبار					
پشتیبانی سازمان	میزان حمایت و تعهد مدیریت ارشد برای تأمین منابع و ایجاد زیرساختهای لازم برای هوشمندسازی انبار					
زیرساختهای جدید مورد نیاز	تامین تجهیزات، شبکه‌ها، نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای به‌روز جهت پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند در انبار					
شرایط رقابتی و عوامل محیطی	میزان فشار ناشی از شرایط محیطی و رقبا در بازار که سازمان را به استفاده از فناوری‌های نوین در انبارداری ترغیب می‌کند.					
ساختار صنعت مدنظر	ویژگی‌ها و پیچیدگی‌های خاص صنعت و انبار موردنظر که بر شرایط هوشمندسازی انبار تأثیر می‌گذارد.					
سطح تقاضا	حجم تقاضاها و درخواستها که نیاز به پاسخگویی سریع، دقیق و بدون اشتباه از طریق سیستم‌های هوشمند را افزایش می‌دهد.					

پیوست ۲(پرسشنامه دیمتل فازی)

بسمه تعالی

پاسخ دهنده گرامی
با سلام و احترام

پرسشنامه زیر در ارتباط پژوهشی با عنوان **بررسی تأثیر عوامل تشکیل‌دهنده انبارهای هوشمند بر تاب‌آوری صنایع با رویکرد دیمتل فازی** تهیه شده است. پاسخ شما صاحب نظر ارجمند به سوالات ذیل، ما را در تکمیل اطلاعات و پیشبرد هرچه بهتر اهداف پژوهش، یاری می نماید. قابل ذکر است، از نتایج تحقیق حاضر، صرفاً در راستای مقاله مذکور، استفاده علمی خواهد شد.

پیشاپیش از بذل توجه و زمان با ارزشی که صرف می‌فرمایید، صمیمانه سپاسگزاری می گردد.

توضیحات : هدف از ارائه این پرسشنامه دریافت نظر کارشناسان و متخصصین فعال در حوزه لجستیک و انبارداری جهت تعیین **میزان تأثیرگذاری** عوامل مذکور بر یکدیگر است. این عوامل از مقالات و منابع معتبر استخراج شده و در مرحله قبل به تایید خبرگان رسیده اند. در این مرحله ماتریسی تهیه شده که نیاز است شما خبره گرامی در هر سلول آن با توجه به جدول زیر عددی از ۰ تا ۴ قرار دهید که این عدد نشان دهنده میزان تاثیر **مستقیم** هر عامل سطری بر عامل ستونی را نشان می دهد.

مقیاس عددی	مقیاس زبانی
۰	بی تاثیر و یا تاثیر بسیار کم
۱	تاثیر کم
۲	تاثیر متوسط
۳	تاثیر زیاد
۴	تاثیر بسیار زیاد

اطلاعات جمعیت شناختی :

تحصیلات کارشناسی ☐ کارشناسی ارشد ☐ دکتری ☐

میزان تجربه کاری ۵ تا۱۰سال ☐ ۱۰ تا ۱۵ سال ☐ بیش از ۱۵ سال ☐

عوامل	مدیریت اطلاعات	مکانیزاسیون	ایمنی	امنیت	قابلیت‌ردیابی اقلام	مهارت نیروی انسانی	هزینه های استقرار	سطوح دسترسی	پشتیبانی سازمان	زیرساختهای جدید مورد نیاز	ساختار صنعت مد نظر
مدیریت اطلاعات											
مکانیزاسیون											
ایمنی											
امنیت											
قابلیت‌ردیای اقلام											
مهارت نیروی انسانی											
هزینه‌های استقرار											
سطوح دسترسی											
پشتیبانی سازمان											
زیرساختهای جدید مورد نیاز											
ساختار صنعت مد نظر											