



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. and 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>

© 2025 The Author(s). Journal of Strategic Value Chain Management 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>).



بررسی تأثیر عوامل تشکیل دهنده 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	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: در محیط پرتلاطم و رقابتی امروز، تاب‌آوری به‌عنوان یک مزیت راهبردی برای بقا 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 تأثیر عوامل تشکیل دهنده انبارهای هوشمند بر تاب‌آوری صنایع انجام پذیرفته است.
تاریخ دریافت: ۱۶-۰۳-۱۴۰۴ تاریخ بازنگری: ۱۱-۰۵-۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: ۲۷-۰۵-۱۴۰۴	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 علی عوامل جهت بررسی نقش هوشمندسازی انبار در تاب‌آوری صنعت فراهم شد.
واژه‌های کلیدی: تاب‌آوری، لجستیک، انبارهای هوشمند، دیمتل فازی	یافته‌ها: یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که سه عامل مکانیزاسیون، زیرساخت‌های جدید مورد نیاز و مدیریت اطلاعات به ترتیب بیشترین تأثیرگذاری 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. (۱۴۰۴). بررسی تأثیر عوامل تشکیل دهنده انبارهای هوشمند بر تاب‌آوری صنایع با رویکرد دیمتل فازی. *مدل‌سازی مدیریتی در توسعه پایدار*، ۱(۱)، ۲۱-۴۵.

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 تاب آوری 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 می شود (قمی^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). از این رو سازمانها برای مقابله با عوامل فاجعه بار و رسیدن به سطح مطلوبی از تاب آوری، لازم است به قابلیت های عملیاتی ویژه ای مجهز باشند تا در برابر تغییرات ناگهانی و شرایط بحرانی، پاسخ گو و منعطف باقی بمانند (ابراهیم پور و فرجود چکامی، ۲۰۲۳). به منظور تقویت تاب آوری و در نهایت بهبود عملکرد سازمانها و صنایع، نقش مدیریت کارآمد بخش های مختلف، به ویژه فرآیندهای لجستیکی که بخشی حیاتی از ساختار عرضه و تقاضا محسوب می شود، بسیار تعیین کننده است (فردان و الریح^۲، ۲۰۲۲).

طی سالهای اخیر، با افزایش تقاضا و رشد تولید، ساختار و راهبردهای سازمانی دچار تحولات گسترده ای شده اند که مباحث مربوط به لجستیک، یکی از آنهاست. در واقع لجستیک یکی از بخشهای اصلی زنجیره تامین می باشد که به منظور پاسخگویی به نیازهای مشتریان دو فعالیت اصلی حمل و نقل و ذخیره سازی و انبارش کالا را از نقطه مبدا تا محل مصرف بعهده دارد. در بسیاری از صنایع، هزینه های لجستیکی سهم قابل توجهی از هزینه کل تولید را به خود اختصاص می دهد؛ این هزینه ها شامل حمل و نقل مواد اولیه، نگهداری موجودی ها، انبارداری و توزیع محصول نهایی هستند. شایان ذکر است که زنجیره های تأمین جهانی و جریان های پیچیده مواد، وابستگی عمده ای به زیرساخت های لجستیکی، به ویژه خدمات حمل و نقل و انبارداری دارند (هرولد^۳ 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 هزینه ها است که طبیعتاً با کاهش درصدی از آن می توان مزیت رقابتی بیشتری در بازار فروش بدست آورد. بررسیهای مختلف نشان داده است که بخش مهمی از این هزینه ها مستقیماً به موضوع ذخیره سازی و انبارش کالاها و نحوه نگهداری اقلام و کالاها در یک انبار مربوط می گردد. در واقع می توان گفت سیستم های انبارداری یکی از بخش های پرهزینه و در عین حال غیرمنعطف زنجیره تأمین هستند. در بسیاری از موارد به دلیل تداوم استفاده از روش های سنتی در مدیریت انبار، فرآیندهای مرتبط با نگهداری و جابه جایی کالا به طور مؤثر اداره نشده و بهره وری عملیاتی کاهش می یابد (کفایت و همکاران، ۱۴۰۰). از سوی دیگر انبارها، به عنوان گره های حیاتی در زنجیره تأمین محسوب می شوند و مدیریت پایدار انبار برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار ضروری به نظر می رسد. بر اساس مطالعات صورت گرفته حدود ۱۱ درصد از انتشار گازهای گلخانه ای مرتبط با فعالیت های لجستیکی به فعالیت انبارها اختصاص دارد (کومار و عادل^۴، ۲۰۲۵). از این رو توجه به این بخش از اهمیت بالایی برخوردار است.

بی تردید تأثیر عملکرد انبارداری بر تاب آوری صنایع بر کسی پوشیده نیست. با توجه به این که روش های سنتی مدیریت انبار دیگر پاسخگوی مسائل پیچیده و پویای امروزی نبوده و نیاز به بهره گیری از رویکردهای نوین به شدت احساس می شود، بسیاری از سازمانها در تلاشند تا با بهره گیری از فناوری های نوین، عملیات انبارداری را به شیوه ای کارآمدتر مدیریت کرده و پتانسیل رویارویی با مسائل پیچیده و غیرمنتظره را افزایش دهند. در این راستا طراحی، عملکرد و فرآیندهای انبار به عنوان حلقه ای کلیدی در زنجیره تأمین، از اهمیت فزاینده ای برخوردار است (کمالی^۵، ۲۰۱۹). در گذشته، تمرکز سازمانها در طراحی انبار بیشتر بر عناصر فیزیکی و عملیاتی همچون مدیریت فضا، نحوه چیدمان، تجهیزات جابه جایی، تعداد نیروی انسانی و گزینه های خرید یا اجاره معطوف بود. اما امروزه بهره گیری از فناوری های نوین، برای افزایش شفافیت

¹ Ghomi² Fardan and Al Rebh³ Herold⁴ Kumar and Adil⁵ 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^۱، 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^۲، 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 هوشمندسازی انبار با تأکید بر مفهوم تاب‌آوری کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. از سوی دیگر مبحث انبار و بررسی عوامل تأثیرگذار 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 تأثیر 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 تأمین، 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^۳، 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^۱، ۲۰۱۲). به طور کلی تاب آوری 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 هر گونه پیشامد غیرمنتظره به سرعت 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 تاب آوری صنعتی دیگر یک انتخاب نیست، بلکه ضرورتی استراتژیک برای سازمان‌هایی است که در پی بقا 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^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، توسعه تاب آوری باید به عنوان بخشی از راهبردهای کلان سازمانی در نظر گرفته شود.

تاکنون در مطالعات صورت گرفته، به منظور تبیین دقیق‌تر مفهوم تاب آوری و همچنین ارزیابی آن در صنایع، ابعاد مختلفی در نظر گرفته شده است. در پژوهش (پورویس^۳ و همکاران، ۲۰۱۶)، استواری، چابکی، ناب بودن و انعطاف‌پذیری را به عنوان مهم‌ترین شاخص‌های لازم در دستیابی به تاب آوری مطرح شده است. در جدول (۱) به هر یک از این شاخص‌ها به همراه شرح مختصری از آنها بر اساس پژوهش (ابراهیم‌پور و فرجود چکامی، ۲۰۲۳)، اشاره شده است.

جدول ۱. شاخص‌های تاب آوری

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
انعطاف‌پذیری	آمادگی درون سازمانی برای پاسخ‌دهی سریع به تغییرات و اختلالات

۲.۲. انبار

انبار، به عنوان 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^۴، 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 به دلیل 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^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). استفاده از فناوری‌های 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 ارزش افزوده 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^۲)، اینترنت اشیا (IoT^۳) و شناسایی موجودی‌ها با استفاده از فرکانس رادیویی (RFID^۴) 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^۵) بود. این سیستم‌ها، که تماماً توسط کامپیوتر کنترل می‌شوند و عموماً 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) به عنوان بخشی از فرآیند برداشت "کالا به شخص" در انبار طراحی شده بودند، اکنون قادر به جابه‌جایی اقلام کوچک‌تر با دقت بالا هستند (نوکل^۶، ۲۰۲۳). با آغاز عصر نوین صنعتی، انتظار می‌رود انبارها به طور 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^۷)، معطوف کرده‌اند. برخلاف وسایل نقلیه هدایت‌شونده خودکار سنتی (AGV^۸)، ناوگانی از AMR ها می‌توانند به صورت 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 (گراور و اشرف^۹، ۲۰۲۳).

سیستم‌های مدیریت انبار به عنوان زیرسیستم‌های کلیدی در زنجیره تامین مدرن شناخته می‌شوند که از ثبت عملیات انبار و مدیریت تمام منابع آن مانند موجودی، فضای ذخیره‌سازی، نیروی انسانی و تجهیزات پشتیبانی می‌کنند (میناشکینا و هاپونن^{۱۰}، 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

^۱ Maheshwari

^۲ Warehouse Management System

^۳ Internet of Things

^۴ Radio-Frequency Identification

^۵ Automated Storage & Retrieval Systems

^۶ Nuckel

^۷ Autonomous Mobile Robots

^۸ Automated Guided Vehicles

^۹ Grover and Ashraf

^{۱۰} Minashkina and Happonen

انجام دهند (سولستیواتی و ویجایا^۱، ۲۰۲۲). شایان ذکر است اهمیت WMS ها با نوآوری ها و پیشرفت های اخیر رو به افزایش است. این سیستم ها می توانند به طور یکپارچه برای مدیریت تمامی فرآیندهای انبار استفاده گردد (ینر و یازگان^۲، ۲۰۱۹). اتصال WMS به IoT مزایای بیشتری را برای شرکت ها به ارمغان می آورد (باتارلینه و جاراوشونینه^۳، 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 راه حل های نوآورانه جهت چالش ها و مسائل مختلف مرتبط با صنایع تجاری، دولتی و دولتی/خصوصی در سراسر جهان استفاده می کند (کومار^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). سیستم های هوشمند مبتنی بر IoT قادرند با بهره گیری از سنسورها، فناوری RFID، رایانش ابری و ابزارهای تحلیلی، عملکرد انبارها را به طور چشمگیری بهبود بخشند (مشایخی^۵ 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 داده ها هستند (محتشمی و تبریزی^۶، ۲۰۲۵). بهره گیری از فناوری هایی نوظهور در مدیریت و فرآیندهای انبارداری می تواند بهره وری را افزایش، خطاها و زمان پردازش را به طور قابل توجهی کاهش دهد. همچنین برخلاف شیوه های سنتی که اغلب فرآیند محور، کند و پرهزینه هستند، انبارهای هوشمند علاوه بر این که از ایمنی بیشتری برخوردارند، در مصرف انرژی و فضای فیزیکی مورد نیاز بهینه تر عمل می کنند و توانایی پاسخ سریع تر به نیازهای مشتری را نیز دارند (کمالی، ۲۰۱۹). شرکت های دانش بنیان با تدوین پروژه های خاص، درصدد هستند تا با توسعه اینترنت اشیاء، ابر داده ها و البته هوشمندسازی، تحول دیجیتال را به منظور کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره وری ایجاد نمایند (عین علی و باقری قره بلاغ^۷، ۲۰۲۴).

۴.۲. پیشینه

۴.۲.۱. پیشینه خارجی

ورما^۸ و همکاران (۲۰۲۵)، به شناسایی و رتبه بندی راهکارهای نوآورانه لجستیکی برای تقویت تاب آوری زنجیره تأمین در برابر اختلالاتی مانند بلایای طبیعی، ناآرامی های ژئوپلیتیکی و پاندمی ها پرداختند. برای این منظور، با استفاده از روش تحلیل ارتباط خاکستری (GRA)، روابط ساختاری میان راهکارها بررسی شد. یافته ها نشان داد که راهکارهایی نظیر هوش مصنوعی، دوقلوهای دیجیتال، IoT، انبارداری هوشمند توزیع شده، پلتفرم های دیجیتال برای همکاری، امنیت و زنجیره تأمین چابک نقش مؤثری در ارتقای عملکرد عملیاتی و توان پاسخ دهی به بحران ها دارند.

شارما^۹ و همکاران (۲۰۲۵)، به بررسی نقش زنجیره تأمین هوشمند در تقویت چابکی و تاب آوری به منظور بهبود عملکرد پایدار کسب و کار پرداختند. این پژوهش با استفاده از مدل سازی معادلات ساختاری و شبکه عصبی مصنوعی بر پایه نظریه منابع طبیعی محور انجام شده و روابط میان شش عامل کلیدی یعنی صنعت ۴، شیوه های سبز، زنجیره تأمین هوشمند، چابکی، تاب آوری و عملکرد پایدار تحلیل شده است. یافته ها نشان داد که ترکیب فناوری های صنعت ۴ و شیوه های سبز با ایجاد زنجیره تأمین هوشمند، چابک و تاب آور، به بهبود معنادار عملکرد پایدار منجر می شود. همچنین، تاب آوری 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 Garbollahg

⁸ Verma

⁹ Sharma

لای^۱ (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 به کارگیری 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^۲ (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^۳ (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^۴ 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 در نظر 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 مجموعاً چشم‌انداز روشنی برای ایجاد زنجیره تأمین کارآمد، چابک و رقابتی ترسیم می‌کنند.

فرناندو^۴ 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.

جاراشونینیه^۵ و همکاران (۲۰۲۳)، به بررسی تأثیر اینترنت اشیا بر مدیریت انبار و ارائه یک مدل مفهومی جهت ارزیابی هزینه-فایده IoT پرداخته است. نتایج حاصله نشان داد که تأثیر اینترنت اشیا بر شرکت‌ها، بسته به ساختار و آمادگی زیرساختی سازمان‌ها، متفاوت است. این نتایج مشخص می‌کند که علی‌رغم مزایای بسیار زیاد IoT، هزینه‌های استقرار، نگهداری و امنیت اطلاعات نیز از چالش‌های اصلی پیاده‌سازی این فناوری هستند.

مشایخی و همکاران (۲۰۲۲)، به بررسی اثرات پیاده‌سازی IoT در مدیریت موجودی پرداخته است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که به کارگیری 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 نرم افزاری در جمع آوری، ذخیره سازی، تحلیل و استفاده مؤثر از داده ها	فن گست ^۱ و همکاران (۲۰۲۱)
مکانیزاسیون (F ₂)	استفاده از فناوری های خودکار برای انجام عملیات انبارداری	فن گست و همکاران (۲۰۲۱)؛ لیو (۲۰۲۴)
ایمنی (F ₃)	توانایی سیستم جهت حفاظت از انسانها، تجهیزات و کالاها در برابر حوادث و خطرات.	هوفسترا ^۲ و همکاران (۲۰۱۸)؛ تراب ^۳ و همکاران (۲۰۱۷)
امنیت (F ₄)	توانایی سیستم جهت حفاظت از داده ها در برابر تهدیدات داخلی و خارجی.	کوپیدو و جوکونیا (۲۰۲۴)؛ جاراشونینه و همکاران (۲۰۲۳)
قابلیت ردیابی اقلام (F ₅)	توانایی شناسایی و پیگیری دقیق موقعیت و وضعیت کالاها در هر مرحله از عملیات انبارداری.	آفیا و عامر (۲۰۲۱)؛ فن گست و همکاران (۲۰۲۱)
مهارت نیروی انسانی (F ₆)	سطح دانش، تخصص و آمادگی کارکنان برای کار با فناوری ها و سیستم های هوشمند در انبار	کوپیدو و جوکونیا (۲۰۲۴)
هزینه های استقرار (F ₇)	میزان منابع مالی مورد نیاز برای طراحی، اجرا، پیاده سازی و نگهداری سیستم های هوشمند در انبار	کوپیدو و جوکونیا (۲۰۲۴)؛ جاراشونینه و همکاران (۲۰۲۳)
سطوح دسترسی (F ₈)	قابلیت استفاده آسان و سریع و طبقه بندی شده از اطلاعات و سیستم های 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 زیرساخت های لازم برای هوشمندسازی انبار	کوپیدو و جوکونیا (۲۰۲۴)؛ کاواناک و همکاران (۲۰۲۱)
زیرساخت های جدید مورد نیاز (F ₁₀)	تأمین تجهیزات، شبکه ها، نرم افزارها و سخت افزارهای به روز جهت پیاده سازی فناوری های هوشمند در انبار	کوپیدو و جوکونیا (۲۰۲۴)؛ جاراشونینه و همکاران (۲۰۲۳)؛ کاواناک 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 فناوری های نوین در انبارداری ترغیب می کند.	کوپیدو و جوکونیا (۲۰۲۴)؛ کاواناک و همکاران (۲۰۲۱)
ساختار صنعت مدنظر (F ₁₂)	ویژگی ها و پیچیدگی های خاص صنعت و انبار موردنظر که بر شرایط هوشمندسازی انبار تأثیر می گذارد.	کوپیدو و جوکونیا (۲۰۲۴)
سطح تقاضا (F ₁₃)	حجم تقاضاها و درخواستها که نیاز به پاسخگویی سریع، دقیق و بدون اشتباه از طریق سیستم های هوشمند را افزایش می دهد.	کوپیدو و جوکونیا (۲۰۲۴)

هه^۴ و همکاران (۲۰۲۱)، به طراحی و پیاده سازی یک سیستم لجستیک هوشمند برای انبار با استفاده از فناوری های اینترنت اشیا و هوش مصنوعی (AI^۵) پرداخته است. نتایج بدست آمده نشان داد که سیستم پیشنهادی باعث تحقق عملیات انبار بدون نیاز به حضور نیروی انسانی، افزایش بهره وری عملیاتی، کاهش هزینه های 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 جنبه های مختلف عملیاتی مطرح کرده است. نتایج به دست آمده از این مطالعه حاکی از آن است که انبارهای هوشمند با بهره گیری از فناوری های نوین، قادر به دستیابی به بهره وری بالاتر، کاهش هزینه های عملیاتی و بهبود امنیت و کنترل در مقابل خطاهای انسانی هستند.

۲.۴.۲. پیشینه داخلی

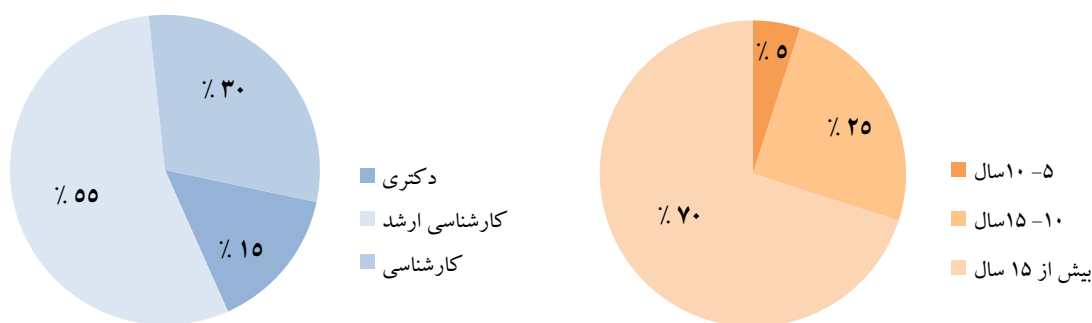
¹ Van Geest² Hofstra³ Trab⁴ He⁵ Artificial Intelligence

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 پرداخته‌اند.

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 پاسخ‌دهندگان تجربه کاری ۱۰ سال و بالاتر و میزان تحصیلات ۷۰ درصد از آنها کارشناسی ارشد و دکتری می‌باشد.



نمودار ۲. میزان تحصیلات

نمودار ۱. میزان تجربه کاری

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 پاسخ‌دهندگان ناشناس، تکرار و بازخورد کنترل‌شده شناخته می‌شود و عمدتاً 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^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). در این روش استفاده از عبارات کلامی، شیوه‌ای دقیق برای بازنمایی چگونگی بیان نظرات و قضاوت‌های انسانی است (هاشمی پترودی^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). از طرفی استفاده از منطق فازی عدم قطعیت

^۱ Galarza-Maria

^۲ Hashemi Petrudi

موجود در تصمیم گیری خبرگان را مدیریت می کند (گالارزا- ماریا و همکاران، ۲۰۲۴). بنابراین ترکیب منطق فازی و روش دلفی، می تواند نتایج اطمینان بخش تری به همراه داشته و در عین حال زمان و هزینه های 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) به صورت $X_{ij} = (L, M, U)$ با توجه به جدول (۳) اختصاص داده شد. سپس محاسبه میانگین فازی (به تفکیک کران ها) با استفاده از فرمول (۱) صورت گرفت.

جدول ۳. معادل فازی مثلثی عبارات کلامی

عبارت کلامی	اعداد فازی مثلثی
بی اهمیت	(۰, ۰, ۰/۲۵)
کم اهمیت	(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)

$$AVG_{ij} = \frac{\bar{x}^1 \oplus \bar{x}^2 \oplus \bar{x}^3 \oplus \dots \oplus \bar{x}^n}{n}$$

تعداد خبرگان: n (۱)

معادل فازی نظر خبرگان: $\bar{x}$

برای فازی زدایی روش های متعددی در مطالعات پیشنهاد شده است که انتخاب روش مناسب به نوع داده ها و نیازهای خاص پژوهش بستگی دارد. با توجه به اینکه هدف به کارگیری روش دلفی فازی در این پژوهش، اجماع نظرات خبرگان است، روش میانگین ساده علاوه بر سهولت در محاسبه، می تواند به طور مؤثر امتیاز قطعی دقیق و متعادلی را از نظرات ارائه دهد. میانگین ساده با استفاده از فرمول (۲) محاسبه می گردد.

$$Crisp\ Score = \frac{AVG_U + AVG_M + AVG_L}{3} \quad (2)$$

میانگین کران بالای نظرات: AVG_U

میانگین کران میانی نظرات: AVG_M

میانگین کران پایین نظرات: AVG_L

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 تصمیم گیری دیمتل در سال ۱۹۷۱ به عنوان روشی برای سازماندهی مجموعه ای از عناصر یک سیستم و تعیین روابط میان آنها معرفی شد که در آن علاوه بر نمایش ارتباطات جهت دار میان عناصر، می توان درجه تعاملات آنها را نیز مشخص کرد (اعتصامی و رضایی، ۱۳۹۹). جهت تحلیل پیچیدگی قضاوت ها در فرایند تصمیم گیری، بهتر است این روش را با رویکرد فازی ادغام کرد (شفیعی نیکابادی و عشقعلی، ۱۴۰۱). مجموعه های فازی، ابهام و عدم قطعیت در اهداف، ترجیحات و

محدودیت های مسائل تصمیم گیری را کاهش می دهند (حکاکی^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). در این روش میزان تاثیر گذاری هر عامل بر سایر عوامل در قالب پرسشنامه با پاسخ های 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 درایه های آن از طریق فرمول (۳) محاسبه می گردد، تشکیل شد.

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

تعداد خبرگان: n

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

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

$$K = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n U_{ij} \quad (4)$$

بیشترین مجموع کران های بالای نظرات سطر ها: K

$$\tilde{N} = \frac{\tilde{M}_{ij}}{\left(\frac{U_{ij}}{K}, \frac{M_{ij}}{K}, \frac{L_{ij}}{K}\right)} \quad (5)$$

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

سپس ماتریس $\tilde{N}$ تفکیک شده و مطابق فرمول های (۶)، (۷) و (۸) هر یک از سه ماتریس حاصل را از ماتریس I کم کرده و معکوس ماتریس حاصل محاسبه می شود و در نهایت با ضرب هر یک از سه ماتریس اولیه در ماتریس های معکوس عناصر ماتریس ارتباط کامل به دست می آید که می توان با تجمیع این عناصر، ماتریس ارتباط کامل فازی را تشکیل داد.

$$[\tilde{T}_U] = \tilde{N}_U * (I - \tilde{N}_U)^{-1} \quad (6)$$

$$[\tilde{T}_M] = \tilde{N}_M * (I - \tilde{N}_M)^{-1} \quad (7)$$

$$[\tilde{T}_L] = \tilde{N}_L * (I - \tilde{N}_L)^{-1} \quad (8)$$

در این گام لازم است فازی زدایی صورت گیرد و مقادیر فازی به مقادیر صریح تبدیل شوند. فازی زدایی به منظور اختصاص یک عدد صریح و قطعی به هر عامل انجام می گردد تا بتوان در مورد میزان اثر گذاری و اثر پذیری هر عامل تصمیم گیری کرد. از این رو تبدیل مقادیر فازی به مقادیر صریح و تشکیل ماتریس ارتباط کامل قطعی (T) از طریق فرمول (۹) صورت گرفت.

$$T_{ij} = \frac{1}{3} (\tilde{T}_U + \tilde{T}_M + \tilde{T}_L) \quad (9)$$

به منظور تعیین ماهیت علی عوامل، می بایست مقایسه ای میان مقدار هر درایه با حد آستانه صورت می گرفت. لازم به ذکر است که حد آستانه در این تکنیک از محاسبه میانگین مجموعه درایه های ماتریس ارتباط کامل حاصل می گردد. 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 تأثیر گذاری کل هر عامل بر مجموعه عوامل) و J (میزان تأثیر پذیری کل هر عامل از مجموعه عوامل) به ترتیب مجموع درایه های هر سطر و مجموع درایه های هر ستون در ماتریس T می باشد.

۴. یافته ها

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 ۴. نتایج دلفی فازی و وضعیت تایید عوامل

کد عامل	امتیاز قطعی	وضعیت تایید	کد عامل	امتیاز قطعی	وضعیت تایید
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 به کار گرفته شد. در شکل‌های (۱) و (۲) به ترتیب 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. شاخص‌های تعامل (R+J) و نفوذ (R-J)

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

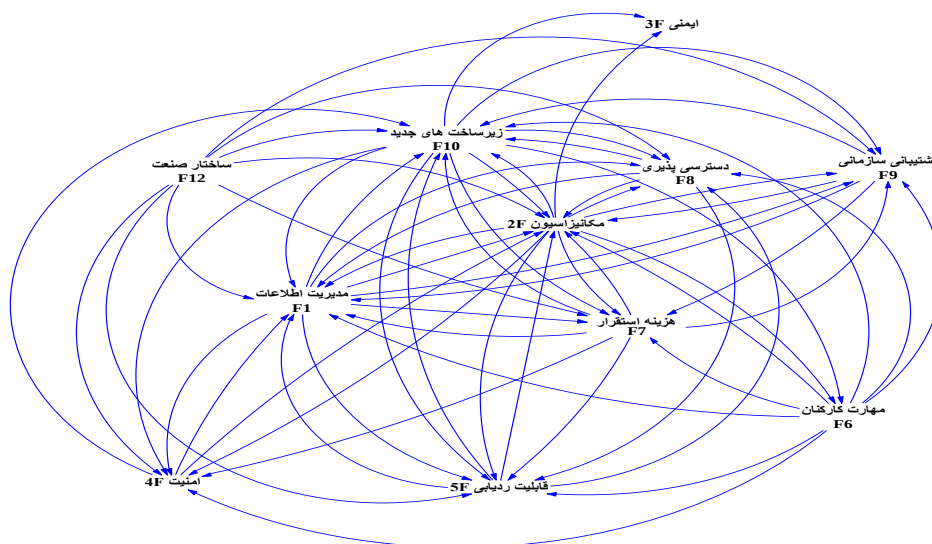
کد عامل	R-J	کد عامل	R+J	کد عامل	J	کد عامل	R
F ₁₂	۰/۵۹۰	F ₂	۱۲/۶۷۳	F ₂	۶/۲۵۹	F ₂	۶/۴۱۴
F ₆	۰/۴۱۴	F ₁₀	۱۲/۵۳۲	F ₁₀	۶/۲۴۱	F ₁₀	۶/۲۹۱
F ₂	۰/۱۵۵	F ₁	۱۲/۳۹۴	F ₁	۶/۲۱۷	F ₁	۶/۱۷۶
F ₁₀	۰/۰۴۹	F ₇	۱۱/۹۲۰	F ₇	۵/۹۹۸	F ₇	۶/۰۸۱
F ₁	-۰/۰۴۱	F ₉	۱۱/۷۹۵	F ₉	۵/۹۸۹	F ₅	۵/۹۹۳
F ₇	-۰/۰۷۵	F ₆	۱۱/۷۴۸	F ₆	۵/۹۸۸	F ₉	۵/۹۲۲
F ₃	-۰/۱۷۳	F ₅	۱۱/۷۳۰	F ₅	۵/۹۶۱	F ₈	۵/۸۰۶
F ₉	-۰/۱۸۲	F ₈	۱۱/۷۰۴	F ₈	۵/۹۵۲	F ₄	۵/۷۴۴
F ₈	-۰/۲۱۷	F ₄	۱۱/۶۲۹	F ₄	۵/۶۶۷	F ₆	۵/۷۴۱
F ₅	-۰/۲۴۷	F ₁₂	۱۱/۳۹۶	F ₁₂	۵/۵۲۹	F ₃	۵/۶۷۷
F ₄	-۰/۲۷۴	F ₃	۱۰/۸۸۶	F ₃	۵/۴۰۳	F ₁₂	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 علی عوامل تشکیل دهنده انبارهای هوشمند در شکل (۴) ارائه گردیده است. در این مدل به ازای 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 ۴. مدل علی عوامل مرتبط با هوشمندسازی انبار

۵. نتیجه گیری 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. نتیجه گیری

در شرایط پویای بازارهای جهانی، تاب آوری به عنوان یک ضرورت راهبردی برای تداوم عملکرد سازمان ها و صنایع مطرح است. از این رو هدف این مقاله، ارائه مدلی تحلیلی جهت بررسی تأثیر عوامل تشکیل دهنده انبارهای هوشمند بر تاب آوری صنایع است. بر این اساس از طریق مرور ادبیات، برخی از عوامل کلیدی شناسایی و به کمک روش دلفی فازی، مورد تأیید خبرگان حوزه لجستیک و انبارداری صنایع قرار گرفت. سپس با به کارگیری روش دیمتل، روابط علت و معلولی میان عوامل، امکان تحلیل ساختار و مدل سازی علی جهت بررسی نقش انبارهای هوشمند بر تاب آوری صنایع فراهم شد. نتایج نشان داد که مکانیزاسیون، زیرساخت های جدید مورد نیاز و مدیریت اطلاعات به ترتیب بیشترین تأثیرگذاری را بر سایر عوامل دارند و به عنوان عوامل کلیدی و پیشران در هوشمندسازی انبار تلقی می شوند. از طرفی همین عوامل، بیشترین تأثیر را نیز از سایر عوامل دریافت می کنند. این نشان می دهد که این عوامل در مرکز تعاملات سیستمی قرار داشته و ارتقاء یا ضعف در آن ها می تواند اثر زنجیره ای معناداری در کل ساختار ایجاد کند.

با توجه به نتایج، عامل های ساختار صنعت مدنظر، مهارت نیروی انسانی، مکانیزاسیون و زیرساخت های جدید مورد نیاز بیشترین نفوذ را بر سایر عوامل دارند. از آنجایی که عامل ساختار صنعت مدنظر بیشترین نقش تأثیرگذاری بدون تأثیرپذیری را دارد، می توان نتیجه گرفت که ویژگی ها و الزامات صنایع (مانند تکنولوژی تولید، حجم و تنوع قطعات و اقلام، میزان گردش کالاها، فضای مورد نیاز انبارش، اصول ایمنی) زیربنای هرگونه تصمیم گیری درباره هوشمندسازی هستند.

با در نظر گرفتن مکانیزاسیون به عنوان مهم ترین عامل مرکزی سیستم با بالاترین میزان تأثیرگذاری، تأثیرپذیری و تعامل می توان نتیجه گرفت که برای ارتقاء تاب آوری، سرمایه گذاری بر فناوری های خودکار و رباتیک در کنار سیستم های قفسه بندی نوین و هوشمند، بسیار حیاتی است. همچنین با توجه به جایگاه ویژه زیرساخت های جدید مورد نیاز و مدیریت اطلاعات، بدون ایجاد بسترهای فناورانه و جمع آوری و تحلیل داده ها، سایر تلاش ها بی نتیجه خواهند بود. این مطالعه نشان

داد که مهارت نیروی انسانی عامل مهمی در موفقیت اجرای هوشمندسازی محسوب می شود و آموزش و ارتقاء توانمندی های نیروی انسانی باید موازی با توسعه فناوری ها انجام گیرد.

مکانیزاسیون، زیرساخت های جدید مورد نیاز و مدیریت اطلاعات به عنوان عوامل کلیدی، نقش مهمی در تقویت تاب آوری صنعت ایفا می کنند. این عوامل با فراهم آوردن امکانات خود کارسازی، جمع آوری و تحلیل دقیق داده ها و ایجاد زیرساخت های فناورانه قوی، به افزایش استواری سیستم کمک می کنند؛ چرا که در شرایط بروز اختلال، این قابلیت ها امکان ادامه عملکرد پایدار و کاهش تاثیرات منفی را فراهم می آورند. همچنین، مهارت نیروی انسانی و ساختار صنعت مدنظر به عنوان عوامل مؤثر بر چابکی و انعطاف پذیری شناخته شده اند؛ در یک سازمان طراحی و مدیریت انبار بدون در نظر داشتن انعطاف پذیری و پویایی ظرفیت مورد نیاز سازمان، نمی تواند پیامدهای مفید و موثر هوشمندسازی را به همراه داشته باشد (آلبرت^۱ 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 می شود 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 فعالیت های فاقد ارزش افزوده و کاهش ضایعات، نقش مهمی در تحقق شاخص ناب بودن عملیات انبار ایفا می کند. این امر باعث می شود شرکت ها بهبود کیفیت عملکرد عملیات انبار خود، منابع تخصیصی را بهینه مصرف کرده و تاب آوری کلی زنجیره تأمین را افزایش دهند که نتیجه آن پایداری و بهبود بلندمدت و پایدار در صنعت خواهد بود.

نتایج پژوهش حاضر بر ضرورت سرمایه گذاری سازمان ها و صنایع در زیرساخت ها، تجهیزات، شبکه ها و نرم افزارهای تخصصی و به کارگیری فناوری های خود کار مانند قفسه ها و ربات های هوشمند در انبار و همچنین سیستم های نرم افزاری مدیریت موجودی انبار به منظور بهبود استواری و کاهش وابستگی به نیروی انسانی در شرایط بحرانی تاکید می کند.

۲.۵. پیشنهادها

۱.۲.۵. پیشنهادهای مدیریتی

با توجه به نظرات و ارزیابی های خبرگان حوزه لجستیک و انبارداری که جامعه آماری این پژوهش را تشکیل می دادند، پیشنهاد می شود سازمان ها 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 زیرساخت های فنی انبار: اکثر خبرگان بر این باور بودند که بدون ایجاد زیرساخت های جدید مانند شبکه های ارتباطی، سیستم های نرم افزاری پیشرفته و تجهیزات خود کار، امکان اجرای موفق فناوری های هوشمند وجود ندارد. لذا پیشنهاد می شود 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 چالش های اصلی در مسیر هوشمندسازی انبارهاست. از این رو، برگزاری دوره های آموزشی تخصصی در حوزه فناوری های نوین انبارداری مانند WMS و IoT برای مدیران و اپراتورها، به عنوان یکی از پیشنهادهای اصلی این پژوهش مطرح می گردد.
۳. توسعه نظام یکپارچه مدیریت اطلاعات: عدم وجود یک سامانه جامع مدیریت داده ها باعث کندی تصمیم گیری و افزایش خطای عملیاتی در انبارها می شود. بنابراین، پیاده سازی سیستم های یکپارچه مدیریت اطلاعات انبار با قابلیت رهگیری موجودی، تحلیل داده های ورودی/خروجی و اتصال به سیستم های فروش و تولید پیشنهاد می شود.

¹Albert

۲.۲.۵. پیشنهاد برای پژوهش های آتی

با توجه به نتایج و اهمیت روزافزون مسئله تاب آوری پیشنهاد می شود در پژوهش های آتی، مدل علی ارائه شده، در یک صنعت خاص همچون صنعت فولاد و یا پتروشیمی، با توجه به حساسیت و پیچیدگی های این صنایع، بررسی و آزموده شود. همچنین استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم ها برای شبیه سازی سناریوهای مختلف پیاده سازی انواع سیستم های هوشمند نیز می تواند راهگشا می باشد. با توجه به اهمیت کاهش ضایعات و آلودگی های زیست محیطی، پیشنهاد می شود تاثیر هوشمندسازی فرآیندهای عملیات انبارداری بر تحقق زنجیره تامین سبز نیز بطور خاص مورد بررسی قرار گیرد.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله حاضر اعلام می دارند که هیچ گونه تعارض منافی 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'tesami, 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 Garbollah, 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/svc.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-Maria, 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., Yazdani, 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 تشکیل دهنده 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 می‌نماید. 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 تشکیل دهنده 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 گزینه‌های مشخص شده، با علامت $\times$ تعیین فرمایید.

اطلاعات جمعیت شناختی:

میزان تحصیلات ☐ کارشناسی ☐ کارشناسی ارشد ☐ دکتری

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

میزان اهمیت					توضیحات	عامل
بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد		
					توانایی سیستم نرم افزاری در جمع آوری، ذخیره سازی، تحلیل و استفاده مؤثر از داده ها	مدیریت اطلاعات
					استفاده از فناوری های خودکار برای انجام عملیات انبارداری	مکانیزاسیون
					توانایی سیستم جهت حفاظت از انسانها، تجهیزات و کالاها در برابر حوادث و خطرات.	ایمنی
					توانایی سیستم جهت حفاظت از داده ها در برابر تهدیدات داخلی و خارجی.	امنیت
					توانایی شناسایی و پیگیری دقیق موقعیت و وضعیت کالاها در هر مرحله از عملیات انبارداری.	قابلیت ردیابی اقلام
					سطح دانش، تخصص و آمادگی کارکنان برای کار با فناوری ها و سیستم های هوشمند در انبار	مهارت نیروی انسانی
					میزان منابع مالی مورد نیاز برای طراحی، اجرا، پیاده سازی و نگهداری سیستم های هوشمند در انبار	هزینه های استقرار
					قابلیت استفاده آسان و سریع و طبقه بندی شده از اطلاعات و سیستم های هوشمند توسط کاربران مختلف در انبار	سطوح دسترسی
					میزان حمایت و تعهد مدیریت ارشد برای تأمین منابع و ایجاد زیرساخت های لازم برای هوشمندسازی انبار	پشتیبانی سازمان
					تأمین تجهیزات، شبکه ها، نرم افزارها و سخت افزارهای به روز جهت پیاده سازی فناوری های هوشمند در انبار	زیرساخت های جدید مورد نیاز
					میزان فشار ناشی از شرایط محیطی و رقبا در بازار که سازمان را به استفاده از فناوری های نوین در انبارداری ترغیب می کند.	شرایط رقابتی و عوامل محیطی
					ویژگی ها و پیچیدگی های خاص صنعت و انبار موردنظر که بر شرایط هوشمندسازی انبار تأثیر می گذارد.	ساختار صنعت مدنظر
					حجم تقاضاها و درخواستها که نیاز به پاسخگویی سریع، دقیق و بدون اشتباه از طریق سیستم های هوشمند را افزایش می دهد.	سطح تقاضا

پیوست ۲) پرسشنامه دیمتل فازی

بسمه تعالی

پاسخ دهنده گرامی

با سلام و احترام

پرسشنامه زیر در ارتباط پژوهشی با عنوان **بررسی تأثیر عوامل تشکیل دهنده 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 می‌نماید. 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 جهت تعیین **میزان تأثیر گذاری** عوامل مذکور بر یکدیگر است. این عوامل از مقالات و منابع معتبر استخراج شده و در مرحله قبل به تایید خبرگان رسیده‌اند. 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 تأثیر **مستقیم** هر عامل سطری بر عامل ستونی را نشان می‌دهد.

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

اطلاعات جمعیت شناختی:

تحصیلات ☐ کارشناسی ☐ کارشناسی ارشد ☐ دکتری

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

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