

Identifying and Ranking Factors Affecting the Performance and Flexibility Evaluation of the Digital Supply Chain System in Khoshgovar Company

A. O. Kheiri¹, M. Abolghasemian^{2*}, N. Saberi Fard³, H. Davoodi⁴, A. Pourghader Chobar⁵

¹ M.Sc., Department of Management, Sohrevardi Higher Education Institute, Qazvin, Iran

² Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Ayandegan University, Tonekabon, Iran

³ Assistant Professor, Department of Management, Sohrevardi Higher Education Institute, Qazvin, Iran

⁴ M.Sc., Department of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

⁵ Assistant Professor, Department of Management, Sohrevardi Higher Education Institute, Qazvin, Iran

Research Paper

Received: 15 June 2025

Accepted: 6 November 2025

Abstract: The aim of the present study is to identify and rank the factors affecting the performance and flexibility of the digital supply chain system in Khoshgovar company. The research method is a developmental-applied one that is classified as mathematical modeling. The statistical population of the present study includes a number of senior managers, active responsible experts, and university professors in the field of the digital supply chain of the Khoshgovar company, of whom 10 people were selected as a sample. In this study, the fuzzy Delphi approaches, the OPA method, and structural equations were used. The identification of the factors affecting the flexibility and performance of the digital supply chain system was carried out based on the research background in the form of 5 main criteria and 16 sub-criteria, and then all factors were finalized using the fuzzy Delphi method. Then, the factors affecting the flexibility and performance of the digital supply chain system were prioritized using the ordinal priority method (OPA), and finally, the impact of each factor was measured using structural equations. The results of the study showed that among the main criteria, supply chain performance with a weight of 0.397 ranked first, absorptive capacity with a weight of 0.228 ranked second, and responsiveness with a weight of 0.210 ranked third. Among the sub-criteria, customer satisfaction with a weight of 0.1767 ranked first, operating costs with a weight of 0.1060 ranked second, and situational awareness with a weight of 0.1015 ranked third. Finally, an exploratory factor analysis based on structural equations was used to examine the impact of each factor. Based on the results of this method, the factor of correct risk management decisions from the responsiveness index and knowledge management from the recovery index in the pleasant company have little impact on the flexibility of digital supply chain performance.

Introduction: With the advent of the digital age, digital services for supply chains and the analytical algorithms behind the supply chain have become key competitive factors in the new era. Especially since the COVID-19 outbreak, which caused city lockdowns and logistical

* Corresponding Author: abolghasemian@aihe.ac.ir

disruptions, created the need for remote work, paperless operations, and supply chain restructuring, which accelerated the pace of building a digital supply chain and helped companies quickly cope with the risk of disruption.

Materials and Methods: In this research, first, using Delphi round of discussions in a fuzzy manner, factors affecting the flexibility and performance of the digital supply chain system are identified, then using the OPA approach, factors affecting the flexibility and performance of the digital supply chain system are prioritized, and finally, the impact of each factor will be measured using structural equations.

Results and Discussion: Based on the results obtained according to the OPA approach, it was shown that among the main criteria, supply chain performance with a weight of 0.397 ranked first, absorptive capacity with a weight of 0.228 ranked second, and responsiveness with a weight of 0.210 ranked third. Among all the sub-criteria, customer satisfaction with a weight of 0.1767 ranked first, operating costs with a weight of 0.1060 ranked second, and situational awareness with a weight of 0.1015 ranked third. Finally, in order to measure the impact of factors related to the digital supply chain and its performance flexibility, an exploratory factor analysis was used to assess the impact of each factor. Based on the results obtained from the structural equation method, the factor of correct risk management decisions from the response capability index and knowledge management from the recovery capability index in the pleasant company have a small impact on the flexibility of the digital supply chain performance.

Conclusions: Currently, the digitalization of the supply chain has spread all over the world and almost everything in businesses, from the procurement of raw materials to the direct delivery of products to customers, uses the digital supply chain. However, this issue has a complex structure that can function properly and the products can reach their destination in the fastest possible time with high quality. In the present study, after reviewing the research literature, the factors affecting the flexibility and performance of the digital supply chain system in the Iranian food industry have been prioritized.

Keywords: Digital Supply Chain, Supply Chain Flexibility, Supply Chain Performance.

شناسایی و رتبه‌بندی عوامل موثر بر ارزیابی عملکرد و انعطاف‌پذیری سیستم زنجیره‌تامین دیجیتال در شرکت خوشگوار

علی عمران خیری^۱، میلاد ابوالقاسمیان^۲، نیما صابری فرد^۳، حوری داودی^۴، عادل پورقادرچوبز^۵

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مدیریت، موسسه آموزش عالی سهروردی، قزوین، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مدیریت راهبردی، دانشگاه آیندگان، تنکابن، ایران

۳- استادیار، گروه مدیریت، موسسه آموزش عالی سهروردی، قزوین، ایران

۴- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، پردیس فنی مهندسی، دانشگاه یزد، یزد ایران

۵- استادیار، گروه مدیریت، موسسه آموزش عالی سهروردی، قزوین، ایران

رسید مقاله: ۲۵ خرداد ۱۴۰۴

پذیرش مقاله: ۱۵ آبان ۱۴۰۴

چکیده

هدف این پژوهش شناسایی و رتبه‌بندی عوامل موثر بر ارزیابی عملکرد و انعطاف‌پذیری سیستم زنجیره‌تامین دیجیتال در شرکت خوشگوار است. این تحقیق به روش توسعه‌ای-کاربردی و در قالب مدل‌سازی ریاضی انجام شده است. جامعه آماری شامل مدیران عالی، کارشناسان مسئول و اساتید دانشگاه در حوزه زنجیره‌تامین دیجیتال شرکت خوشگوار است که از میان آن‌ها ۱۰ نفر به عنوان نمونه انتخاب شدند. در این پژوهش از رویکردهای دلفی فازی، روش OPA و معادلات ساختاری بهره‌گیری شده است. شناسایی عوامل موثر بر انعطاف‌پذیری و عملکرد سیستم زنجیره‌تامین دیجیتال بر اساس پیشینه پژوهش در قالب ۵ معیار اصلی و ۱۶ زیرمعیار انجام و سپس با استفاده از روش دلفی فازی نهایی شدند. عوامل موثر با روش اولویت‌ترتیبی (OPA) رتبه‌بندی و تاثیر هر یک از آن‌ها با استفاده از معادلات ساختاری سنجیده شد. نتایج نشان داد که عملکرد زنجیره‌تامین، قابلیت جذب و قابلیت پاسخگویی به ترتیب بالاترین رتبه‌ها را کسب کرده‌اند. همچنین، رضایت مشتری، هزینه‌های عملیاتی و آگاهی از موقعیت به عنوان زیرمعیارهای کلیدی شناسایی شدند. در نهایت، تحلیل عاملی اکتشافی نشان داد که تصمیمات صحیح مدیریت ریسک و مدیریت دانش تاثیر کمی بر انعطاف‌پذیری عملکرد زنجیره‌تامین دیجیتال در شرکت خوشگوار دارند.

کلمات کلیدی: زنجیره‌تامین دیجیتال، انعطاف‌پذیری زنجیره‌تامین، عملکرد زنجیره‌تامین.

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: abolghasemian@aihc.ac.ir

۱ مقدمه

در عصر دیجیتال، خدمات و الگوریتم های تحلیلی زنجیره تامین به ارکان رقابتی تبدیل شده اند، به ویژه پس از شیوع کووید-۱۹ که نیاز به کار از راه دور و بازسازی ساختار زنجیره تامین را افزایش داد. این تغییرات سرعت دیجیتال سازی زنجیره تامین را تسریع کرده و به شرکت ها کمک کرده تا با اختلالات سریع تر کنار بیایند [۱]. صنعت مراقبت های بهداشتی در پذیرش فناوری های دیجیتال پیشگام بوده و راه حل های عملیاتی دیجیتال را برای بهبود خدمات بهداشتی ایجاد کرده است [۲]. همچنین، فناوری بلاک چین در زنجیره تامین مواد غذایی برای نظارت و ردیابی فرآیند تولید غذا به کار گرفته شده است. شرکت ها برای دستیابی به دیجیتال سازی، فناوری ها و مولفه های دیجیتال را معرفی می کنند و این روند توجه بیشتری را از دانشگاه ها و صنعت جلب کرده است [۳].

با توجه به مزایای دیجیتالی سازی، پژوهشگران به بررسی این موضوع پرداخته اند که زنجیره تامین دیجیتال چگونه می تواند در شرایط بحرانی، انعطاف پذیری زنجیره تامین شرکت ها را تقویت کرده و امکان بازگشت سریع آن ها به سطح عملکرد اولیه را فراهم آورد [۴]. همچنین، ترکیب دیجیتالی شدن و انعطاف پذیری زنجیره تامین می تواند موجب ارتقای سطح عملکرد گردد. با این حال، همچنان نیاز به مطالعات تجربی برای سنجش تغییرات عملکرد زنجیره تامین در زمانی که هر دو عامل به طور هم زمان به کار گرفته می شوند وجود دارد [۵].

یافته های پژوهشی بیانگر آن است که بهره گیری از فناوری های دیجیتال در زنجیره تامین، نقش مهمی در ارتقای انعطاف پذیری و عملکرد سازمان ها در شرایط بحرانی دارد. با این حال، بررسی های میدانی کافی در خصوص اثرات هم زمان دیجیتال سازی و انعطاف پذیری در زنجیره تامین صورت نگرفته است [۶]. به ویژه در صنعت غذایی، مطالعات جامع درباره تاثیر فناوری های دیجیتال بر بهبود تاب آوری و عملکرد زنجیره تامین کمتر دیده می شود [۷].

این تحقیق با تمرکز بر شرکت خوشگوار، به شناسایی و اولویت بندی عوامل کلیدی موثر بر عملکرد و انعطاف پذیری زنجیره تامین دیجیتال پرداخته است. هدف نهایی، ارتقای کارایی فرآیندها و افزایش توان رقابتی شرکت ها در این صنعت است. پژوهش حاضر از چند جنبه دارای نوآوری های قابل توجه است. نخست آن که، از رویکردی ترکیبی و نوین شامل روش های دلفی فازی، اولویت ترتیبی (OPA) و مدلیابی معادلات ساختاری (SEM) به صورت هم زمان بهره گرفته شده است. این روش ترکیبی؛ با هدف شناسایی، پالایش، رتبه بندی و تحلیل روابط میان عوامل موثر بر عملکرد و انعطاف پذیری زنجیره تامین دیجیتال معرفی شده است و از این حیث، نسبت به پژوهش های پیشین که معمولاً از یک یا دو روش تصمیم گیری استفاده کرده اند، دارای نوآوری محسوب می شود. دوم آن که، در این مطالعه مدلی بومی و کاربردی برای ارزیابی عملکرد و انعطاف پذیری زنجیره تامین دیجیتال در شرکت خوشگوار طراحی و ارائه شده است. این مدل با اتکا بر داده های واقعی و نظرات خبرگان صنعتی و دانشگاهی توسعه یافته و شامل پنج معیار اصلی و شانزده زیرمعیار کلیدی است که می تواند مبنایی برای تصمیم گیری و بهبود در صنایع مشابه باشد. سومین نوآوری پژوهش، توجه هم زمان به دو بعد عملکرد و انعطاف پذیری در محیط دیجیتال است؛ در حالی که اغلب مطالعات پیشین تنها یکی از این ابعاد را مدنظر قرار داده اند. این یکپارچه سازی مفهومی، درک جامع تری از پویایی های زنجیره تامین دیجیتال فراهم

می‌سازد. در نهایت، یافته‌های پژوهش نشان داد که برخلاف انتظار، مدیریت ریسک و مدیریت دانش تاثیر معناداری بر انعطاف‌پذیری عملکرد زنجیره‌تأمین دیجیتال ندارند. این نتیجه، دیدگاه تازه‌ای را نسبت به اولویت‌های بهبود در محیط‌های دیجیتال ارایه داده و می‌تواند زمینه‌ساز بازنگری در مدل‌های نظری و مدیریتی موجود شود. بر این اساس، اهداف اصلی تحقیق در سه محور اساسی قابل جمع‌بندی است:

- ۱- شناسایی و غربالگری عوامل موثر زنجیره‌تأمین دیجیتال بر عملکرد و انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین در شرکت خوشگوار با استفاده از روش دلفی فازی،
- ۲- رتبه‌بندی و وزن‌دهی عوامل موثر زنجیره‌تأمین دیجیتال بر عملکرد و انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین در شرکت خوشگوار با استفاده از روش اولویت‌ترتیبی^۱،
- ۳- ارزیابی تاثیر زنجیره‌تأمین دیجیتال بر عملکرد و انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین در شرکت خوشگوار با استفاده از معادلات ساختاری.

ادامه مقاله به‌صورتی که مشخص می‌شود ارایه شده است. در بخش بعدی به پیشینه تحقیق پرداخته خواهد شد سپس، روش تحقیق و مراحل اجرایی تحقیق بیان خواهد شد. بعد از آن نتایج به‌کارگیری روش پیشنهادی در یک مطالعه موردی ارایه خواهد شد. سرانجام، یک نتیجه‌گیری کلی به همراه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارایه خواهد شد.

۲ پیشینه تحقیق

در این بخش، مطالعات گذشته مرتبط با موضوع تحقیق بررسی شده است. شلینگ و سوئورینگ [۸] پیوند تحول دیجیتال و پایدار با شیوه‌های زنجیره‌تأمین را بررسی کردند و سه موضوع اصلی در ادبیات را شناسایی کردند: بهره‌وری زیست‌محیطی، داده‌محور بودن و جنبه‌های پایدار که به سختی قابل اندازه‌گیری هستند. پورباقر و همکاران [۹] عوامل موثر بر پذیرش اینترنت اشیا در زنجیره‌تأمین دیجیتال پوشاک را با استفاده از تکنیک‌های FUZZY AHP و WASPAS بررسی کردند و سطح تقاضای مشتری را در اولویت اول قرار دادند. ژائو و همکاران [۱۰] دیجیتالی شدن زنجیره‌تأمین بر انعطاف‌پذیری و عملکرد زنجیره‌تأمین را با استفاده از یک مدل چند واسطه‌ای بررسی کردند. نتایج نشان داد که دیجیتالی شدن می‌تواند به بهبود عملکرد زنجیره‌تأمین در شرایط آشفته کمک کند و سه قابلیت انعطاف‌پذیری (قابلیت جذب، پاسخ و بازیابی) را شناسایی کردند. در مطالعه ابوالقاسمیان و همکاران [۱۱] عوامل موثر بر انعطاف‌پذیری و عملکرد سیستم زنجیره‌تأمین دیجیتال در صنعت مواد غذایی ایران اولویت‌بندی شده است. برای این منظور، از رویکرد دلفی فازی برای شناسایی و از روش اولویت‌ترتیبی برای اوویت‌بندی استفاده شده است. در مجموع ۵ معیار اصلی و ۱۶ زیر معیار شناسایی شده است که از میان آنها عملکرد زنجیره‌تأمین با وزن ۰/۳۹۷ رتبه اول، قابلیت جذب با وزن ۰/۲۲۸ رتبه دوم و قابلیت پاسخگویی با وزن ۰/۲۱۰ رتبه سوم را کسب کرده است. دیاس و همکاران [۱۲] تاثیر تکنولوژی نسل چهارم بر عملکرد عملیاتی و نقش زنجیره‌تأمین ناب و چابک را بررسی کردند و نشان دادند که این تکنولوژی‌ها تاثیر یکسانی بر

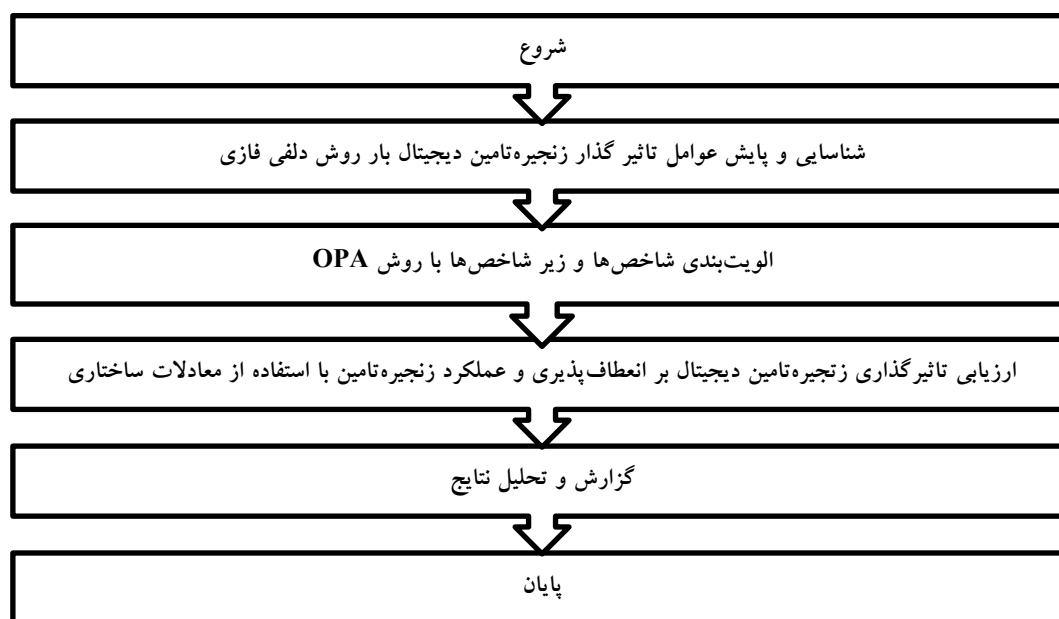
^۱ Ordinal Priority Approach (OPA)

استراتژی های زنجیره تامین ندارند. بیگیارد و همکاران [۱۳] به بررسی دیجیتالی شدن زنجیره تامین پرداختند و مضامین اصلی بحث را شناسایی کردند. بلهادی و همکاران [۱۴] به بررسی ایجاد انعطاف پذیری و کارایی زنجیره تامین از طریق تولید افزودنی پرداختند و نشان دادند که زنجیره تامین دیجیتالی شده می تواند کارایی و کیفیت محصول را بهبود بخشد. شایگانی و همکاران [۱۵] رابطه بین ویژگی های شرکت و عملکرد زنجیره تامین را با نقش میانجی کیفیت ارتباط زنجیره تامین در شرکت پگاه گلستان بررسی کردند و نتایج نشان داد که اعتماد و تعهد بر عملکرد زنجیره تامین تاثیر گذارند.

این تحقیق به بررسی عملکرد و انعطاف پذیری سیستم زنجیره تامین دیجیتال در شرکت خوشگوار می پردازد و بر شناسایی عوامل خاص و منحصر به فرد تاثیر گذار بر این حوزه تمرکز دارد. در حالی که بسیاری از مطالعات به طور عمومی به زنجیره های تامین دیجیتال پرداخته اند، این تحقیق به نیازها و چالش های خاص شرکت خوشگوار می پردازد. این تحقیق از روش دلفی فازی برای شناسایی عوامل موثر استفاده می کند که به جمع آوری نظرات کارشناسان و تحلیل داده های غیرقطعی کمک می کند. همچنین، استفاده از روش اولویت ترتیبی برای رتبه بندی و وزن دهی عوامل موثر، به شفاف سازی اولویت ها و کمک به تصمیم گیری های استراتژیک مدیران می انجامد. علاوه بر این، این تحقیق از معادلات ساختاری برای ارزیابی تاثیر زنجیره تامین دیجیتال بر عملکرد و انعطاف پذیری استفاده می کند و به تحلیل روابط پیچیده بین عوامل مختلف می پردازد. همچنین، تاثیر فناوری های نوین مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و بلاک چین بر زنجیره تامین دیجیتال بررسی می شود که می تواند به شناسایی فرصت ها و چالش های جدید کمک کند.

۳ بیان مساله

تحقیق حاضر یک پژوهش کاربردی است که به شناسایی و رتبه بندی عوامل موثر بر ارزیابی عملکرد و انعطاف پذیری سیستم زنجیره تامین دیجیتال در شرکت خوشگوار می پردازد. جامعه آماری شامل ۱۰ نفر از مدیران عالی، کارشناسان فعال و اساتید دانشگاه در حوزه زنجیره تامین دیجیتال است. داده ها از طریق روش های کتابخانه ای، مراجعه به اسناد و مدارک و میدانی جمع آوری شده اند. در روش میدانی، پرسشنامه ای به مدیران عالی (۲ نفر)، اساتید دانشگاه (۵ نفر) و کارشناسان فعال (۳ نفر) توزیع شده است. این افراد باید حداقل ۳۵ سال سن، ۱۰ سال سابقه و تحصیلات کارشناسی داشته باشند. پژوهش از روش های فازی برای شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر استفاده می کند و تاثیر هر یک از عوامل با استفاده از معادلات ساختاری سنجیده خواهد شد. این تحقیق از پروتکل های مشخصی برای اعتبارسنجی و قابل انتقال بودن مراحل تحقیق استفاده می کند و تلاش دارد تا مدلی مناسب و قابل اعتماد ارائه دهد. مراحل کلی پژوهش در شکل ۱ نمایش داده شده و هر مرحله به طور جداگانه تشریح خواهد شد.



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

۳-۱-۳ مراحل اجرای پژوهش

۳-۱-۱-۳ انتخاب معیارهای ارزیابی تحقیق: روش دلفی فازی

روش دلفی که نخستین بار در سال ۱۹۶۳ معرفی شد، روشی پیمایشی مبتنی بر نظر متخصصان است و سه ویژگی اصلی دارد: بی نام بودن پاسخ ها، تکرار همراه با بازخورد، و ارایه نتیجه گروهی. به دلیل ابهام و عدم قطعیت در قضاوت های کارشناسی، نظریه مجموعه های فازی (۱۹۶۵) برای تقویت این روش به کار گرفته شد. در پژوهش حاضر، روش دلفی فازی برای تایید و غربالگری شاخص ها استفاده می شود که طی آن نظر متخصصان جمع آوری شده و با استفاده از اعداد فازی مثلثی میزان اهمیت هر شاخص تعیین می گردد. در جدول ۱، ساختار متغیرهای کلامی به همراه مقدار فازی، عدد فازی مثلثی و مقدار قطعی نشان داده شده است.

جدول ۱. عبارات زبانی و اعداد دلفی فازی [۱۶]

متغیر کلامی	نماد	مقدار فازی	عدد فازی مثلثی	مقدار قطعی
خیلی کم	UL	$\tilde{1}$	$(0, 0, 25)$	۰/۰۶۲۵
کم	L	$\tilde{2}$	$(0, 0, 25, 0, 25)$	۰/۳۱۲۵
متوسط	M	$\tilde{3}$	$(0, 25, 0, 50, 0, 25)$	۰/۶۲۵
زیاد	H	$\tilde{4}$	$(0, 50, 0, 75, 1)$	۰/۸۷۵
خیلی زیاد	VH	$\tilde{5}$	$(0, 75, 1, 1)$	۱/۰۶۲۵

در این مرحله، تایید و غربالگری شاخص ها از طریق مقایسه ارزش اکتسابی هر شاخص با مقدار آستانه انجام می شود. مقدار آستانه به صورت ذهنی توسط تصمیم گیرنده تعیین می شود و بر تعداد عواملی که غربال می شوند تاثیر گذار است. در این پژوهش، مقدار ۰/۷ به عنوان آستانه در نظر گرفته شده است. برای این کار، ابتدا مقادیر

فازی مثلثی نظرات خبرگان محاسبه می شود و سپس میانگین نظرات n پاسخ دهنده ها برای محاسبه میانگین فازی آن ها محاسبه می گردد. محاسبه عدد فازی τ برای هر یک از شاخص ها با استفاده از روابط مشخصی انجام می شود.

$$\tilde{\tau}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$a_j = \sum \frac{a_{ij}}{n} \quad (2)$$

$$b_j = \sum \frac{b_{ij}}{n} \quad (3)$$

$$c_j = \sum \frac{c_{ij}}{n} \quad (4)$$

در روابط بالا اندیس i به فرد خبره و اندیس j به شاخص تصمیم گیری اشاره دارد. همچنین مقدار دیفازی شده میانگین عدد فازی از رابطه زیر به دست می آید.

$$Crisp = \frac{a + b + c}{3} \quad (5)$$

۳-۱-۲ مراحل روش اولویت ترتیبی (OPA)

مراحل اجرای این روش عبارت اند از:

- شناسایی و رتبه بندی خبرگان بر اساس تجربه و سوابق،
 - شناسایی معیارها و اولویت بندی آن ها توسط خبرگان،
 - تعیین گزینه ها و اولویت بندی آن ها نسبت به معیارها،
 - تشکیل و حل مدل برنامه ریزی خطی برای تصمیم گیری نهایی.
- به منظور حل، از مدل زیر استفاده می شود.

$$\begin{aligned} & \text{Max } Z \\ & \text{S.t:} \end{aligned} \quad (6)$$

$$Z \leq i \left(j \left(r \left(W_{ijk}^r - W_{ijk}^{r+1} \right) \right) \right) \quad \forall i, j, k \text{ and } r$$

$$Z \leq ijm W_{ijk}^m \quad \forall i, j \text{ and } k$$

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m W_{ijk} = 1$$

$$W_{ijk} \geq 0 \quad \forall i, j \text{ and } k$$

where Z : Unrestricted in sign

در این مدل پارامترها و متغیرها مطابق جدول ۲ تعریف می شوند.

گام پنجم: بعد از حل مدل وزن گزینه ها، معیارها و خبرها به ترتیب از طریق روابط (۷) محاسبه می شود:

$$\begin{aligned}
 W_k &= \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n W_{ijk} & \forall k \\
 W_j &= \sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^m W_{ijk} & \forall j \\
 W_i &= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m W_{ijk} & \forall i
 \end{aligned}
 \tag{۷}$$

جدول ۲. نمادگذاری

مجموعه‌ها	
I	$\forall i \in I$ مجموعه خبره‌ها
J	$\forall j \in J$ مجموعه معیارها
K	$\forall k \in K$ مجموعه گزینه‌ها
اندیس‌ها	
i	$(1, \dots, p)$ اندیس خبره‌ها
j	$(1, \dots, n)$ اندیس معیارها
k	$(1, \dots, m)$ اندیس گزینه‌ها
متغیرها	
Z	تابع هدف
W_{ijk}^r	وزن (نقش) گزینه k با رتبه r در معیار j توسط خبره i
پارامترها	
i	رتبه خبره i
j	رتبه معیار j
r	رتبه گزینه k

۳-۱-۳ ارزیابی تاثیر گذاری شاخص‌ها با استفاده از معادلات ساختاری

در این مرحله، هدف تعیین تاثیر انعطاف‌پذیری و عملکرد بر زنجیره‌تأمین دیجیتال با استفاده از نرم‌افزار لیزرل و معادلات ساختاری است. مدل مفهومی برای نشان دادن روابط بین عوامل طراحی می‌شود. متغیرهای پنهان به دو دسته وابسته و مستقل تقسیم می‌شوند و بار عاملی برای سنجش روابط بین آن‌ها تعیین می‌شود. بار عاملی کمتر از ۰/۳ ضعیف، بین ۰/۳ و ۰/۶ قابل قبول و بالای ۰/۶ مطلوب است. عوامل شناسایی شده در سه دسته هزینه‌های محصول سبز، فواید محصول سبز و پیامدهای محصول سبز طبقه‌بندی می‌شوند. پس از رسم مدل اولیه در لیزرل و اجرای آن، بارهای عاملی مشخص می‌شوند و خروجی نرم‌افزار در حالت‌های ESTIMATED و T-VALUES گزارش می‌شود. مقدار P برای بررسی دقت مدل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مدل نهایی با توجه به متغیرهای موثر انتخاب می‌شود و چهار مرحله برای استقرار مدل مفهومی شامل طبقه‌بندی عوامل، تعیین تاثیر هر عامل و همبستگی بین عوامل است.

۴ مطالعه موردی

در این تحقیق، به اولویت بندی عوامل موثر بر انعطاف پذیری و عملکرد سیستم زنجیره تامین دیجیتال در صنعت مواد غذایی ایران با استفاده از رویکرد دلفی فازی و OPA پرداخته شده است. در گام اول، مهم ترین عوامل تاثیرگذار بر ارزیابی عملکرد و انعطاف پذیری این سیستم از طریق بررسی سیستماتیک منابع علمی داخلی و خارجی استخراج می شود. براساس این بررسی، موارد مرتبط با دیجیتالی شدن زنجیره های تأمین انتخاب می شوند. شناسایی و طبقه بندی این عوامل کلیدی به سازمان کمک می کند تا در تصمیم گیری برای انتخاب بهترین راه حل های دیجیتالی موثر باشد. همچنین، عوامل شناسایی شده به یکدیگر مرتبط هستند و مستقل نیستند.

جدول ۳. معرفی عوامل اثرگذار بر ارزیابی عملکرد و انعطاف پذیری سیستم زنجیره تامین دیجیتال

نماد اختصاری	عامل	منبع
زنجیره تامین دیجیتال	SCD1	محصولات و خدمات دیجیتال [۱۶]، [۱۷]
	SCD2	فرآیند عملیات دیجیتال [۱]، [۱۰]
	SCD3	مدل کسب و کار دیجیتال [۸]
قابلیت جذب	ASC1	افزودگی [۱۲]، [۱۳]
	ASC2	قابلیت دید زنجیره تامین [۱۴]
	ASC3	آگاهی از موقعیت [۱۵]
قابلیت پاسخگویی	RSC1	تصمیمات صحیح مدیریت ریسک [۱۷]، [۱۶]، [۱۸]
	RSC2	چابکی [۱۸]
	RSC3	همکاری زنجیره تامین [۱۲]
قابلیت بازایی	RCC1	کارایی بازایی [۱۳]، [۱۲]
	RCC2	برنامه ریزی اضطراری [۱۴]، [۱]
	RCC3	مدیریت دانش [۱۶]، [۱۷]
عملکرد زنجیره تامین	SCP1	هزینه های عملیاتی [۱۶]، [۱۵]، [۱۴]
	SCP2	بازگشت سرمایه گذاری [۱۶]، [۱۵]، [۱۹]
	SCP3	زمان بین شروع و اتمام فرآیند تولید [۱۶]، [۱۵]، [۱۴]
	SCP4	رضایت مشتری [۱۶]، [۱۵]، [۲۰]

۴-۱ نتایج روش دلفی فازی

در این مرحله، پرسشنامه‌ای شامل ۱۶ عامل موثر بر انعطاف‌پذیری و عملکرد زنجیره‌تأمین دیجیتال، بر اساس ادبیات و با روش دلفی فازی در اختیار خبرگان قرار گرفت و از آن‌ها خواسته شد نظرات خود را درباره هر معیار به صورت متغیرهای کلامی ارایه کنند. نتایج اولیه در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. نتایج نظرات خبرگان

معیار اصلی	زیر معیار	میزان اهمیت			
		خیلی کم	کم	متوسط	زیاد
زنجیره‌تأمین دیجیتال	محصولات و خدمات دیجیتال	۰	۰	۲	۴
	فرآیند عملیات دیجیتال	۰	۰	۲	۴
	مدل کسب و کار دیجیتال	۰	۰	۲	۴
قابلیت جذب	افزونگی	۰	۱	۲	۳
	قابلیت دید زنجیره تأمین	۰	۱	۲	۱
	آگاهی از موقعیت	۰	۰	۲	۲
قابلیت پاسخگویی	تصمیمات صحیح مدیریت ریسک	۰	۲	۱	۲
	چابکی	۰	۱	۱	۴
	همکاری زنجیره تأمین	۰	۱	۱	۳
قابلیت بازیابی	کارایی بازیابی	۰	۱	۰	۵
	برنامه ریزی اضطراری	۰	۱	۱	۴
	مدیریت دانش	۰	۲	۱	۱
عملکرد زنجیره تأمین	هزینه های عملیاتی	۰	۰	۱	۶
	بازگشت سرمایه گذاری	۰	۲	۰	۲
	زمان بین شروع و اتمام فرآیند تولید	۰	۱	۳	۱
	رضایت مشتری	۰	۰	۱	۳

در جدول ۵، شمارش نظرات خبرگان به شاخص‌های پژوهش ارایه شده است. برای فازی‌سازی اعداد، ابتدا امتیازات به عدد فازی تبدیل می‌شوند و سپس میانگین فازی از این امتیازات محاسبه می‌شود. در نهایت، میانگین فازی به عدد قطعی تبدیل می‌شود. نتایج کلیه محاسبات فازی‌سازی در مرحله اول دلفی در جدول ۵ آورده شده است. در این پژوهش، عدد آستانه ۰/۷ در نظر گرفته شده که بر اساس آن تمامی معیارها تایید شده‌اند.

۴-۲ نتایج روش OPA

در این بخش با استفاده از روش OPA به محاسبه وزن معیارها پرداخته می‌شود در این بخش تکنیک OPA برای زیرمعیارهای هر معیار اصلی آورده شده است. وزن نهایی زیرمعیارها از ضرب وزن هر معیار اصلی در وزن نسبی زیرمعیارهایش حاصل می‌شود که در جدول ۶ آورده شده است. در تحلیل با روش OPA، وزن نهایی

زیرمعیارها محاسبه شد. نتایج نشان داد که رضایت مشتری در رتبه اول، هزینه های عملیاتی در رتبه دوم و آگاهی از موقعیت در رتبه سوم قرار گرفتند.

جدول ۵. نتایج دلفی فازی

معیار اصلی	زیر معیار	امتیاز فازی	امتیاز غیر فازی	وضعیت
زنجیره تامین دیجیتال	محصولات و خدمات دیجیتال	۰/۵، ۰/۸۲، ۰/۹	۰/۷۶	تایید
	فرآیند عملیات دیجیتال	۰/۵۲، ۰/۸۰، ۰/۸۸	۰/۷۶۵	تایید
	مدل کسب و کار دیجیتال	۰/۵۵، ۰/۸۴، ۰/۹۲	۰/۷۷	تایید
	افزودگی	۰/۴۸، ۰/۷۳، ۰/۸۵	۰/۷۱۵	تایید
قابلیت جذب	قابلیت دید زنجیره تامین	۰/۵۳، ۰/۸۰، ۰/۸۸	۰/۷۵۵	تایید
	آگاهی از موقعیت	۰/۶۰، ۰/۸۶، ۰/۹۳	۰/۸۰۵	تایید
قابلیت پاسخگویی	تصمیمات صحیح مدیریت ریسک	۰/۵۰، ۰/۷۶، ۰/۸۷	۰/۷۱	تایید
	چابکی	۰/۵۳، ۰/۷۸، ۰/۹۳	۰/۷۴۵	تایید
	همکاری زنجیره تامین	۰/۵۶، ۰/۸۲، ۰/۹۱	۰/۷۶	تایید
قابلیت بازیابی	کارایی بازیابی	۰/۵۴، ۰/۸۲، ۰/۹۰	۰/۷۷	تایید
	برنامه ریزی اضطراری	۰/۵۲، ۰/۷۷، ۰/۹۲	۰/۷۴	تایید
	مدیریت دانش	۰/۵۳، ۰/۷۷، ۰/۸۸	۰/۷۲۵	تایید
	هزینه های عملیاتی	۰/۵۷، ۰/۸۱، ۰/۹۷	۰/۷۷۵	تایید
عملکرد زنجیره تامین	بازگشت سرمایه گذاری	۰/۵۶، ۰/۸۲، ۰/۹۰	۰/۷۵۵	تایید
	زمان بین شروع و اتمام فرآیند تولید	۰/۵۲، ۰/۷۵، ۰/۸۸	۰/۷۱	تایید
	رضایت مشتری	۰/۶۳، ۰/۸۷، ۰/۹۶	۰/۸۲۵	تایید

۴-۳ نتایج معادلات ساختاری

در این بخش با تحلیل عاملی اکتشافی در SPSS، عوامل موثر بر انعطاف پذیری زنجیره تامین دیجیتال شناسایی و در سه خوشه قابلیت جذب، پاسخگویی و بازیابی دسته بندی شدند. متغیرهای بدون همبستگی حذف و شاخص KMO همراه با آزمون بارتلت در جدول ۷ گزارش شد.

جدول ۶. وزن و رتبه نهایی زیرمعیارها

رتبه نهایی	وزن نهایی	وزن نسبی	زیر معیار	وزن معیار	معیار اصلی
۱۱	۰/۰۴۳۰	۰/۴۹۴	محصولات و خدمات دیجیتال	۰/۰۸۷	زنجیره تامین دیجیتال
۱۶	۰/۰۱۹۸	۰/۲۲۸	فرآیند عملیات دیجیتال		
۱۳	۰/۰۲۴۲	۰/۲۷۸	مدل کسب و کار دیجیتال		
۵	۰/۰۷۰۹	۰/۳۱۱	افزودگی	۰/۲۲۸	قابلیت جذب
۸	۰/۰۵۵۶	۰/۲۴۴	قابلیت دید زنجیره تامین		
۳	۰/۱۰۱۵	۰/۴۴۵	آگاهی از موقعیت		
۷	۰/۰۶۵۳	۰/۳۱۱	تصمیمات صحیح مدیریت ریسک	۰/۲۱۰	قابلیت پاسخگویی
۴	۰/۰۸۹۹	۰/۴۲۸	چابکی		
۹	۰/۰۵۴۸	۰/۲۶۱	همکاری زنجیره تامین		
۱۲	۰/۰۳۳۴	۰/۴۲۸	کارایی بازیابی	۰/۰۷۸	قابلیت بازیابی
۱۵	۰/۰۲۱۷	۰/۲۷۸	برنامه ریزی اضطراری		
۱۴	۰/۰۲۲۹	۰/۲۹۴	مدیریت دانش		
۲	۰/۱۰۶۰	۰/۲۶۷	هزینه های عملیاتی	۰/۳۹۷	عملکرد زنجیره تامین
۶	۰/۰۶۷۹	۰/۱۷۱	بازگشت سرمایه گذاری		
۱۰	۰/۰۴۶۴	۰/۱۱۷	زمان بین شروع و اتمام فرآیند تولید		
۱	۰/۱۷۶۷	۰/۴۴۵	رضایت مشتری		

جدول ۷. محاسبه شاخص کفایت نمونه

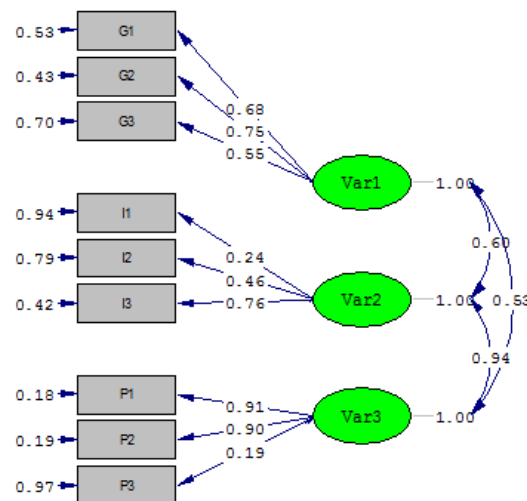
۰/۷۴۸	اندازه گیری کفایت نمونه با آزمون کایزر مایر و اولکین	
۱۴۲۱/۳۴۵	کای دو تقریبی	
۴۸۲	Df	آزمون بارتلت
۰/۰۰۰	Sig.	

جدول ۸. معیارها و زیرمعیارهای سنجش عملکرد انعطاف پذیری زنجیره تامین دیجیتال

نماد معیار اصلی	معیار فرعی	نماد معیار فرعی
قابلیت جذب	افزودگی	G1
	قابلیت دید زنجیره تامین	G2
	آگاهی از موقعیت	G3
قابلیت پاسخگویی	تصمیمات صحیح مدیریت ریسک	I1
	چابکی	I2
	همکاری زنجیره تامین	I3
قابلیت بازیابی	کارایی بازیابی	P1
	برنامه ریزی اضطراری	P2
	مدیریت دانش	P3

آزمون KMO با مقدار ۰.۷۴۸ مناسب بودن داده‌ها را تأیید کرده و شاخص‌ها در سه دسته برای تدوین مدل مفهومی و تحلیل مسیر طبقه‌بندی شده‌اند که نتایج در جدول ۸ آمده است.

برای سنجش پایایی داده‌ها از ضریب آلفای کرونباخ استفاده می‌شود که در صورت بیش‌تر بودن از ۰/۷، پرسشنامه دارای پایایی مطلوب است. همچنین پایایی ترکیبی نیز با فرمول زیر محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۲۳ نمایش داده شده است. در ادامه شاخص میانگین واریانس استخراج شده نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۲۴ گزارش شده است. بر اساس آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و نتایج جدول ۲۵، داده‌های پژوهش نرمال تشخیص داده شدند. در شکل ۲، تحلیل عاملی تأییدی و مدل تاثیر عوامل انعطاف‌پذیری بر عملکرد زنجیره تامین دیجیتال همراه با بارهای عاملی استاندارد ارایه شده است.



شکل ۲. نمودار بار عاملی استاندارد تحلیل عاملی تأییدی پرسشنامه پژوهش

در این پژوهش اعتبار مدل با آزمون‌های P-value و RMSEA بررسی شد که به ترتیب ۰/۰۲ و کمتر از ۰/۱ گزارش شدند و هر دو در وضعیت مطلوب قرار دارند. بنابراین، اعتبار مدل تأیید شده و نتایج آن برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین دیجیتال قابل استفاده است.

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

دیجیتالی شدن زنجیره تامین در دنیا به سرعت در حال گسترش است و تمامی مراحل کسب و کارها از تامین مواد اولیه تا تحویل محصولات به مشتریان تحت تاثیر این روند قرار دارد. در این پژوهش، عوامل موثر بر انعطاف‌پذیری و عملکرد زنجیره تامین دیجیتال در صنعت مواد غذایی ایران شناسایی و اولویت‌بندی شده‌اند. با استفاده از روش دلفی فازی و نظرات ۱۰ خبره، ۱۶ زیرمعیار و ۵ معیار اصلی استخراج شده است. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد زنجیره تامین، قابلیت جذب و قابلیت پاسخگویی به ترتیب بالاترین رتبه‌ها را دارند. همچنین، رضایت مشتری، هزینه‌های عملیاتی و آگاهی از موقعیت به عنوان زیرمعیارهای کلیدی شناسایی شده‌اند. تحلیل عاملی اکتشافی تاثیر عوامل مختلف را بررسی کرده و محدودیت‌های تحقیق به وابستگی به نظرات خبرگان اشاره

دارد. برای تحقیقات بیشتر پیشنهاد می شود تا برای بهبود عملکرد زنجیره تامین دیجیتال از مدل های تحلیل پوششی داده ها و مدل سازی برنامه ریزی ریاضی استفاده شود.

منابع

- [1] Ivanov, D., & Dolgui, A. (2021). A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 1-14.
- [2] Ardolino, M., Bacchetti, A., Dolgui, A., Franchini, G., Ivanov, D., & Nair, A. (2022). The impacts of digital technologies on coping with the COVID-19 pandemic in the manufacturing industry: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 1-24.
- [3] Chakraborty, P., Mittal, P., Gupta, M. S., Yadav, S., & Arora, A. (2021). Opinion of students on online education during the COVID-19 pandemic. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 3(3), 357-365.
- [4] Rogerson, M., & Parry, G. C. (2020). Blockchain: Case studies in food supply chain visibility. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(5), 601-614.
- [5] Li, Y., Li, D., Liu, Y., & Shou, Y. (2023). Digitalization for supply chain resilience and robustness: The roles of collaboration and formal contracts. *Frontiers of Engineering Management*, 10(1), 5-19.
- [6] Stank, T., Esper, T., Goldsby, T. J., Zinn, W., & Autry, C. (2019). Toward a digitally dominant paradigm for twenty-first century supply chain scholarship. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 49(10), 956-971.
- [7] Hennelly, P. A., Srai, J. S., Graham, G., & Fosso Wamba, S. (2020). Rethinking supply chains in the age of digitalization. *Production Planning & Control*, 31(2-3), 93-95.
- [8] Schilling, L., & Seuring, S. (2024). Linking the digital and sustainable transformation with supply chain practices. *International Journal of Production Research*, 62(3), 949-973.
- [9] Pourbagher, M., Valipour, P., & Enkari, M. (2024). Investigating factors affecting the acceptance of Internet of Things (IoT) in the digital clothing supply chain using Fuzzy AHP and WASPAS techniques. *Journal of Textile Science and Technology*, 12(4), 18-34. (In Persian)
- [10] Zhao, N., Hong, J., & Lau, K. H. (2023). Impact of supply chain digitalization on supply chain resilience and performance: A multi-mediation model. *International Journal of Production Economics*, 259, 108817.
- [11] Abolghasemian, M., Kheiri, A. O. and Saberifard, N. (2024). Prioritizing Factors Affecting the Flexibility and Performance of the Digital Supply Chain System in the Iranian Food Industry. *System Engineering and Productivity*, 4(1), 41-57.
- [12] Dias, D., & Marin, J. (2023). Implications of using Industry 4.0 base technologies for lean and agile supply chains and performance. *International Journal of Production Economics*, 2, 121-132.
- [13] Bigliardi, B., Filippelli, S., Petroni, A., & Tagliente, L. (2022). The digitalization of supply chain: A review. *Procedia Computer Science*, 200, 1806-1815.
- [14] Belhadi, A., Kamble, S. S., Venkatesh, M., Jabbour, C. J. C., & Benkhathi, I. (2022). Building supply chain resilience and efficiency through additive manufacturing: An ambidextrous perspective on the dynamic capability view. *International Journal of Production Economics*, 249, 108516.
- [15] Shaygan, M., & Amirkhan, M. (2018). Examining the relationship between company characteristics and supply chain performance with the mediating role of supply chain communication quality in Pegah Golestan Company. *Master's thesis of Hakim Jarjani Institute of Higher Education*. (In Persian)
- [16] Mousavi, P., Yousefizenouz, R., & Hasanpoor, A. (2015). Identifying organizational information security risks using fuzzy Delphi. *Journal of Information Technology Management*, 7(1), 163-184.
- [17] Mirspasi, N., Toloui Ashlaghi, A., & Memarzadeh. (2011). Designing the human resource excellence model in Iran's government organizations using the fuzzy Delphi technique. *Management Future Research*, 21(4), 1-22. (In Persian)
- [18] Rahdary, A., & Nasr, M. (2017). Challenges of think tanks in Iran. *JMDP*, 30(2), 23-54. (In Persian)
- [19] Hasanpour Jesri, Z. S., Hassannayebi, E., Abolghasemian, M. (2024). Optimization Models for Vehicle Routing Problems with Simultaneous Delivery and Pickup under Time Window Constraints. *JOR*, 21 (2), 35-55. (In Persian).
- [20] Ahmar, E., Ahmadi, M. (2025). Designing a Structural Model of Strategic Thinking to Prioritize Components in a Large Supply Chain. *JOR*, 22 (2), 47-70. (In Persian).