Ind. Manag. Persp. 2023, 13(2), 267-297; doi: 10.48308/JIMP.13.2.267

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Analyzing Effective Components in Industry 4.0 Readiness Assessments

Mohammad Reza Bahrami*, Gholamreza Hashemzadeh**
Ashraf Shahmansouri***, Kiamarth Fathi Hefeshjani ****

Abstract

Fourth industrial revolution is rapidly changing technology, industry and patterns through increased communications and intelligent automation in the current century. It is crucial to conduct thorough research to determine the importance of dimensions and indicators in assessing the preparedness of Iran's industries for sustainability in Industry 4.0. The goal of this paper is to identify and determine the importance of the influential components on the organization's readiness to move towards the fourth-generation industry. This model should help the organizations and industries understand their industry 4.0 readiness status. In qualitative part of the study, we categorized the data to produce the initial codes, themes and axial codes by examining the theoretical foundations and receiving experts' comments. The result was extracting 60 initial codes and 6 themes. We then used the fuzzy Delphi method on the result of the poll. Experts unanimously voted in favor of 17 sub-criteria. Finally, we used fuzzy DEMATEL method to study the relationships between criteria and sub-criteria. According to this study, 'functional readiness' was the most effectible and 'information technology readiness' was the most affecting criteria. Among sub-criteria, 'governmental and institutional laws' and 'workplace dynamics' were identified as the most effectible cause and most affecting effect respectively.

Keywords: Industry 4.0 Readiness; Smart Factory; Digital Revolution; Smart Automation ;Fuzzy DEMATEL.

How to Cite: Bahrami, Mohammad Reza; Hashemzadeh, Gholamreza; Shahmansouri, Ashraf; Kiamarth, Fathi Hefeshjani (2023). Analyzing Effective Components in Industry 4.0 Readiness Assessments, *Ind. Manag. Persp.*, 13(2), 267-297 (In Persian).

Received: Sep. 04, 2022; Revised: Oct. 24, 2022; Accepted: Dec. 15, 2022; Published Online: Dec. 25, 2022.

*Ph.D Candidate in Industrial Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
**Associate Professor, Faculty of Management and Accounting, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Corresponding author. Email: gh_hashemzadeh@azad.ac.ir
***Assistant Professor, Faculty of Management and Accounting, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
****Associate Professor, Faculty of Management and Accounting, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۲، دوره ۱۳، شماره ۲، صص ۲۶۷ – ۲۹۷، doi: 10.48308/JIMP.13.2.267

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=fa

نوع مقاله: پژوهشی

تحلیل مؤلفه‌های مؤثر بر ارزیابی آمادگی صنعت نسل چهارم

محمدرضا بهرامی*، غلامرضا هاشم‌زاده**،
اشرف شاه‌منصوری***، کیامرث فتحی هفشجانی****

چکیده

در قرن حاضر، انقلاب صنعتی چهارم با افزایش ارتباطات و خودکارسازی هوشمند، سبب تغییرات سریع فناوری، صنایع و الگوها شده است در همین راستا ضروری است مطالعاتی پیرامون تعیین اهمیت ابعاد و شاخص‌های آمادگی صنعت چهار جهت بقای صنایع کشور صورت پذیرد. برای درک بهتر سازمان‌ها و صنایع غذایی استان تهران از وضعیت فعلی آمادگی خود در حرکت به سمت صنعت نسل چهارم، هدف این پژوهش شناسایی و تعیین اهمیت مؤلفه‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر بر آمادگی سازمان درحرکت به سمت صنعت نسل چهار است. در بخش کیفی این پژوهش با بررسی مبانی نظری و دریافت نظر خبرگان فرآیند طبقه‌بندی داده‌ها برای ایجاد کُدهای اولیه، مقوله‌ها و کُدهای محوری صورت گرفت که درنتیجه آن ۶۰ کُد اولیه و شش مقوله استخراج شد و سپس به کمک روش دلفی فازی با نظرسنجی انجام‌شده ۱۷ زیرمعیار مورد اجماع نظر خبرگان قرار گرفت. در پایان نیز با روش دیمتل فازی، روابط بین معیارها و زیرمعیارها بررسی شد که در طی آن معیار «آمادگی عملکردی» بیشترین میزان تأثیرپذیری و «آمادگی فناوری اطلاعاتی» بیشترین میزان تأثیرگذاری را به خود اختصاص دادند؛ همچنین از میان زیرمعیارها نیز زیرمعیار «قوانین دولتی و نهادها» به‌عنوان اثرگذارترین علت و «پویایی محیط کار» به‌عنوان اثرپذیرترین معلول شناسایی شدند.

کلیدواژه‌ها: آمادگی صنعت ۴.۰؛ کارخانه هوشمند؛ تحول دیجیتال؛ خودکارسازی هوشمند؛ دیمتل فازی.

استناددهی: بهرامی، محمدرضا؛ هاشم‌زاده، غلامرضا؛ شاه‌منصوری، اشرف؛ فتحی هفشجانی، کیامرث (۱۴۰۲). تحلیل مؤلفه‌های مؤثر بر ارزیابی آمادگی صنعت نسل چهارم. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، ۱۳(۲)، ۲۶۷ – ۲۹۷.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴.

* دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
** دانشیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
نویسنده مسئول: Email: gh_hashemzadeh@azad.ac.ir
*** استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
**** دانشیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

در سال‌های گذشته، سیستم‌های تولید صنعتی به دلیل سطح بالاتر دیجیتالی‌سازی که به تولید هوشمند، متصل و غیرمتمرکز منجر شده است، به‌صورت مستمر در حال تغییر هستند. این سطح جدید سازمان اغلب «انقلاب صنعتی چهارم» یا «صنعت ۴.۰» نامیده می‌شود. ایده اصلی صنعت چهار[۱] استفاده از فناوری‌های نوظهور به‌گونه‌ای است که فرآیندهای تجاری و مهندسی عمیقاً یکپارچه شود و تولید به روشی انعطاف‌پذیر، کارآمد و پایدار با کیفیت بالا و هزینه کم صورت گیرد [۲۵]. فناوری‌های صنعت چهار را می‌توان به‌عنوان انقلاب جدیدی در تولید در نظر گرفت که هدف آن دستیابی به حداکثر بازدهی و بازدهی با حداقل استفاده از منابع است [۳۴]. این فناوری‌ها روند تولید جدیدی را در صنایع به ارمغان آورده است که هدف آن استفاده مؤثر از منابع برای حداکثر بازدهی است. «تولید هوشمند» یا «تولید دیجیتال» را می‌توان به‌عنوان هسته اصلی صنعت چهار در نظر گرفت که به صنایع اجازه می‌دهد تا عملیات تولید انعطاف‌پذیر را با سفارشی‌سازی انبوه انجام دهند [۱۵]. انقلاب صنعتی چهارم با ظهور برخی فناوری‌های نوین نظیر اینترنت اشیا[۲] و سیستم‌های سایبرفیزیکی[۳] و استفاده از آن‌ها در صنعت آغاز شد. اتصال تمام ابزارها، ماشین‌ها، فرایندهای تولید و بخش‌های مختلف یک کارخانه از طریق استفاده از فناوری اینترنت اشیای صنعتی[۴] و سیستم‌های سایبرفیزیکی یکی از نتایج اصلی انقلاب صنعتی چهارم است. در انقلاب صنعتی چهارم سرعت تغییرات و پیشرفت‌ها بسیار بالا است و انتظار می‌رود تغییراتی که به دنبال آن در صنعت ایجاد خواهد شد، بسیار فراتر از خودکارسازی‌ای باشد که به دنبال فناوری اطلاعات در صنعت ایجاد شد. آغاز تمام انقلاب‌های صنعتی در صنعت اتفاق افتاده است؛ اما انقلاب صنعتی چهارم به‌طور مستقیم از خود صنعت آغاز نشد؛ بلکه از زمانی آغاز شد که فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی و اینترنت اشیا توسط شرکت‌های صنعتی مورداستفاده قرار گرفتند [۲۶]. سازمان‌های متنوعی از اینترنت اشیای صنعتی و مفاهیم انقلاب صنعتی چهارم برای ایجاد کارخانه‌های هوشمندتر حمایت کرده‌اند. کارخانه‌های هوشمند که در قلب انقلاب صنعتی چهارم قرار گرفته‌اند از فناوری اطلاعات و ارتباطات که سطح بالایی از خودکارسازی و دیجیتالی‌شدن را فراهم می‌کند، برای تکامل زنجیره تأمین و خط تولید بهره خواهند برد [۵].

یکی از پیش‌نیازهای اساسی برای حرکت به سمت صنعت چهار، ارزیابی آمادگی یا سنجش میزان فاصله سازمان نسبت به آن است. این مهم سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا شکاف بین سطح آمادگی موجود و مطلوب را تعیین کنند و استراتژی‌هایی را برای بهبود همسویی به‌کار گیرند.

---

۱. Industry 4.0
۲. Internet of Things (IoT)
۳. Cyber-Physical Systems) CPS(
۴. Industrual Internet of Things (IIoT)

پژوهش‌های ارائه‌شده می‌توانند با شناسایی شاخص‌های آمادگی، تصمیم‌گیری و اقدام‌های مناسب را جهت سرمایه‌گذاری در زمینه آن تسهیل کنند؛ اگرچه در زمینه شناسایی متغیرهایی که می‌توانند بر آن‌ها تأثیر داشته باشند، به علت کیفی‌بودن این متغیرها تا حدی مبهم هستند. درنتیجه استفاده‌کردن از روش‌هایی که بتواند این متغیرهای کیفی را به کمّی تبدیل کند، ضرورت دارد و تاکنون کمتر به آن پرداخته شده است. با توجه به مطالعه و بررسی پژوهش‌های انجام‌شده، بیشتر پژوهش‌هایی که تاکنون در حوزه ارزیابی آمادگی صنعت چهار انجام شده‌اند، تنها به معرفی عوامل مؤثر برای دستیابی به مفاهیم صنعت چهار پرداخته‌اند و میزان تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری مؤلفه‌های آمادگی سازمان‌ها در صنعت چهار بر یکدیگر کمتر بررسی شده است. با توجه به رشد سریع ارتباطات در سطح جهان و بحث‌های مربوط به جهانی‌شدن، تولید در سطح استراتژی‌های مطرح جهانی، مانند صنعت چهار برای بقای صنایع کشور ایران نیازی حیاتی است و انجام مطالعات پیرامون تعیین اهمیت ابعاد و مؤلفه‌های آمادگی سازمان قبل از اقدام به پیاده‌سازی هر سیستم یا استراتژی برای صنایع تولیدی، ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش‌های نوین پیرامون آمادگی و بلوغ صنعت چهار با تکیه بر تعاریف و واژگان تخصصی خود، سعی در ایجاد یک روش استاندارد و مشترک برای اهمیت و میزان تأثیرپذیری و تأثیرگذاری شاخص‌های آمادگی و بهینه‌سازی فرایندها در تمامی فعالیت‌ها، با هدف مدیریت نتایج کمّی و کمک به اجرای بهینه‌سازی فرآیندها را دارند [۶]. این پژوهش‌ها در حوزه صنایع تولیدی به دور از روابط ریاضی پیچیده و با توجه به مسائل دنیای واقعی امکاناتی را فراهم می‌آورند تا با شناسایی ابعاد آمادگی تولید، ریسک‌های مدیریت‌شده تولید، تحت کنترل آماری قرار گیرند و اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه برای ارتقا و بهبود وضع موجود تدوین شود؛ بنابراین برای رسیدن سطوح فرآیندی و عملکردی موردهدف این پژوهش پیرامون صنعت چهار باید نخست، عوامل بومی مؤثر در حوزه صنایع تولیدی ایران شناسایی شود و در گام بعدی با غربالگری و سنجش میزان تأثیر هر کدام بر یکدیگر، بستری مناسب برای تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری برای رسیدن به مفاهیم مطرح‌شده در آمادگی صنعت چهار فراهم شود. در همین راستا ضرورت پژوهشی برای شناسایی و تعیین مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار بر آمادگی صنعت چهار در سازمان‌های کشور مشخص می‌شود. در پژوهش لیختبلائو[۱] و همکاران(۲۰۱۴)، پیش‌بینی شد که فناوری‌های نسل چهارم صنعت و رشد سالانه ۲.۱ درصد یورو بین سال‌های ۲۰۲۵ ارزش‌افزوده بالقوه اضافی ۲۳ میلیارد را به این بخش وارد می‌کند. این ظرفیت را می‌توان با کمک شبکه‌های ارزش‌افزوده بهینه ، افزایش بهره‌وری در فرآیندهای تجاری، محصولات نوآورانه و خدمات جدید و مدل‌های تجاری به‌دست آورد همچنین پژوهش ویشمن[۲] همچنین نشان داد که بسیاری از شرکت‌ها در صنعت مهندسی

۱ .Lichtblau
۲ .Wischmann

هنوز عدم‌قطعیت‌های قابل‌توجه و نیاز شدیدی به اطلاعات در مورد جزئیات اجرا و مؤلفه‌های نسل چهارم صنعت را دارند. در حال حاضر برخی از شرکت‌ها در بهره‌گیری و اجرای فرایندهای مرتبط و فناوری‌های نسل چهارم صنعت بسیار ضعیف هستند و یا رویکرد انتظار و دیدن را در پیش‌گرفته‌اند که این مهم به‌دلیل وجود موانعی همچون کمبود اطلاعات، ناآگاهی از خطرها و یا اطمینان از فرصت‌های مرتبط با نسل چهارم صنعت پدید آمده است [۱۷]. مطابق با مطالعات شوماخر[۱] و همکاران(۲۰۱۵)، بیشتر صنایع در تعیین وضعیت توسعه و آمادگی خود نسبت به چشم‌انداز صنعت ۴.۰ مشکل دارند و ازاین‌رو نمی‌توانند برنامه‌ها و پروژه‌ها و مؤلفه‌های موردنیاز را شناسایی کنند [۳۳].

با توجه به مسائل ذکرشده و الزامات جهانی برای حرکت به سمت صنعت نسل چهارم، در راستای امکان‌پذیری و کمک به سازمان‌ها و صنایع در درک وضعیت فعلی خود از صنعت چهار، مسئله اصلی این پژوهش رفع موانع و بیان عواملی است که می‌توانند به سازمان‌ها و صنایع در ارزیابی سطح آمادگی صنعت چهار کمک کرده و در این راستا ضمن شناسایی تأثیر گذراترین مؤلفه‌ها مشخص کنند چه مؤلفه‌هایی از بالاترین اولویت در حرکت به سمت صنعت چهار برخوردار هستند.

ادامه‌ی مطالب ارائه‌شده در این پژوهش به این صورت است که در بخش دوم، مطالب مختصری در مورد مفاهیم آمادگی و محرک‌های صنعت نسل چهارم بیان شده است. بخش سوم به چرایی و تشریح تکنیک دلفی و دیمتل فازی اختصاص دارد. در بخش چهارم، نتایج حاصل از اجرای روش و در بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در جهان امروز، چالش‌های اقتصادی ناشی از تحولات فناورانه و اجتماعی، شرکت‌های صنعتی را برای بهبود چابکی و پاسخگویی‌شان، به‌منظور کسب توانایی برای مدیریت کل زنجیره‌ی ارزش، تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ ازاین‌رو شرکت‌ها به کمک فناوری‌های فیزیکی و مجازی نیاز دارند که همکاری و سازگاری سریع را برای کسب‌وکار و عملیاتشان فراهم کنند [۱۲]. ازآنجاکه مدیران عامل در مورد نتایج پروژه‌های صنعت چهار و هزینه‌های سرمایه‌گذاری در آن زمینه مطمئن نیستند و در مواردی حتی در مورد مفهوم صنعت چهار نیز با کمبود دانش مواجه هستند، برای پیاده‌سازی و اجرای استراتژی‌های صنعت چهار در صنایع مختلف ارزیابی سطح آمادگی به‌صورت گسترده قبل از هر اقدام عملی در سازمان‌ها به یک نیاز اساسی تبدیل شده است. مدل‌های

۱. Schumacher

کنونی مقیاس بزرگی از دانش را در مورد وضعیت فعلی شرکت‌ها مشخص کرده و مسیری را برای پیگیری اجرای استراتژی‌های صنعت چهار ارائه می‌کند.

آمادگی: محمدی و همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهشی به‌منظور ارائه چارچوبی برای ارزیابی آمادگی الکترونیکی کارخانه لبنیاتی رامک شیراز، بیان داشتند که یکی از پیش‌زمینه‌های نفوذ و گسترش فناوری‌های تجارت الکترونیک در هر جامعه‌ای، توسعه زیرساخت الکترونیکی به‌منظور پشتیبانی و حفظ تجارت الکترونیک در جامعه است که به آن «آمادگی الکترونیکی» گفته می‌شود. برای سنجش میزان آمادگی شاخص‌هایی همچون سهم بازار شرکت، تطابق باکیفیت استانداردهای بین‌المللی فناوری ارتباطات و اطلاعات، پهنای باحند بالا، تنوع کانال‌های ارتباطی، کیفیت زیرساخت‌های فناوری در سراسر کشور و موانع سرمایه‌گذاری تجارت یا هر گونه نظارت دیگر شناسایی شد؛ اما افزون بر شاخص‌های بیان‌شده برای آمادگی با توجه به نتایج تحلیل شکاف، ابعاد محیط خارجی، آمادگی اطلاعاتی و ارتباطی و منابع انسانی، به‌ترتیب باید در بیشترین اولویت برای اقدام اجرایی قرار گیرند [۲۸].

مجیبی و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی پیرامون ارزیابی میزان آمادگی اجرای سیستم مدیریت کیفیت جامع، در گام نخست چهار معیار حمایت و رهبری مدیران عالی، برنامه‌ریزی استراتژیک، بیمه کیفیت و پیامدهای بهبود بهره‌وری را برای اجرا شناسایی کردند و پس از بررسی‌های سطوح مطلوبیت، چهار معیار دیگر شامل مشتری‌مداری، شناسایی و آموزش کارکنان، توانمندسازی کارکنان و کار گروهی را مورد شناسایی و سنجش قرار دادند که بر اساس آن مشخص شد برای ارزیابی صحیح آمادگی وجود اطلاعات آنلاین از کیفیت، زمان بهنگام تمامی تولیدات و خدمات ارائه‌شده به مشتریان و عرضه‌کنندگان، از ملزومات تعیین صحیح میزان آمادگی اجرای یک سیستم مدیریت کیفیت جامع است [۲۹].

صارمی و همکاران(۲۰۰۸)، در پژوهشی پیرامون ارزیابی مؤلفه‌های مرتبط با آمادگی صنعت خودروسازی، برای پیاده‌سازی برنامه‌ریزی منابع سازمانی[۱] نشان دادند که با بزرگ‌شدن سازمان‌ها و مؤسسه‌ها وجود سیستم‌های اطلاعاتی یکپارچه که بتواند همه بخش‌ها و وظایف موجود در سازمان را با استفاده از یک سیستم رایانه‌ای تحت کنترل داشته باشد، ضروری است. فلسفه اصلی برنامه‌ریزی منابع سازمانی را فرایندگرایی تشکیل می‌دهد که توسعه آن در سازمان بخش‌های عمده‌ای را درگیر خواهد کرد. به همین دلیل پیاده‌سازی آن باید به‌عنوان پروژه‌ای با ابعاد سازمانی در نظر گرفته شود. این نگرش مستلزم اعمال تغییراتی در ابعاد فرهنگی، انسانی، تکنیکی، ساختاری و فرایندی در سراسر سازمان است. با وجود چنین التزامی، بسیاری از مدیران

۱. Enterprise Resource Planning (ERP)

پروژه پیاده‌سازی، تنها به جنبه‌های تکنیکی و مالی پروژه توجه دارند و از سایر جوانب غافل می‌مانند و همین موضوع زمینه‌ساز عدم‌موفقیت در پیاده‌سازی می‌شود؛ به همین دلیل لازم است قبل از پیاده‌سازی آن، شاخص‌های مربوط به آمادگی برنامه‌ریزی منابع سازمانی ارزیابی شود تا بتوان با استفاده از این شاخص‌ها در مورد آمادگی سازمان برای پیاده‌سازی بهتر تصمیم‌گیری کرد. آن‌ها پنج عامل ۱. فرهنگی با زیرعوامل وجود فرهنگ کار گروهی در سازمان، ظرفیت تغییرپذیری، مشارکت کارکنان در پروژه، حضور فعال پیشتازان پروژه، ۲. توانمندی‌های سازمان با زیرعوامل توانایی سازمان برای اختصاص بودجه مالی مناسب و مداوم برای پیاده‌سازی، توانایی سازمان در استفاده مناسب از مشاورین توانایی پیش‌بینی و برنامه‌ریزی به‌منظور برطرف‌کردن خطاهای احتمالی، توانایی سازمان در برگزاری برنامه‌های آموزشی کافی و مناسب، ۳. عامل حمایتی با زیرعوامل حمایت مدیریت ارشد، اعطای قدرت تصمیم‌گیری به نیروهای پروژه و پیشتازان پروژه مدیریت تغییر به‌صورت اثربخش، ۴. عامل انگیزشی با زیرعوامل احساس سازمان در قرارداشتن در بازار رقابتی، شناخت کلی سازمان از سیستم و ۵. زیرساخت‌های فناوری اطلاعات با زیرعوامل وجود مهندسان سیستم و فناوری اطلاعات در سازمان، وجود زیرساخت‌های سخت‌افزاری و ارتباطی مناسب در سازمان، بازنگری و مهندسی مجدد فرآیندها، پرهیز از سفارشی نمودن بیش‌ازحد را از اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی و تعیین سطح آمادگی برنامه‌ریزی منابع سازمانی در سازمان‌ها برشمردند [۳۱].

کارولیس[۱] و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی با عنوان «یک مدل بلوغ برای ارزیابی آمادگی دیجیتالی شرکت‌های تولیدی» نشان دادند که در دوره زمانی صنعت ۴.۰، فناوری‌های دیجیتال اصلی‌ترین عامل برای تبدیل ساختارها هستند؛ به همین دلیل اصلی‌ترین سؤال در این زمینه این است که آیا «شرکت‌های تولیدی آماده هستند که تا اندازه صنعت ۴.۰ دیجیتالی شوند؟» برای پاسخ مناسب به این سؤال آن‌ها یک «ابزار» برای ارزیابی آمادگی دیجیتال شرکت‌های تولیدی توسعه دادند که برای ارزیابی ۵ زمینه از ابعاد مختلف فرایندهای کلیدی تولید کاربرد داشته است این ابعاد شامل طراحی و مهندسی، مدیریت تولید، مدیریت کیفیت، مدیریت نگهداری و مدیریت تدارکات است [۷].

برانکو[۲] و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از داده‌های اداره کل کمیسیون اروپا[۳] در پژوهشی به ارزیابی آمادگی صنعت ۴.۰ در صنایع تولیدی پرداختند. آن‌ها صنعت ۴.۰ را مفهومی در راستای به‌دست‌آوردن مزیت‌های رقابتی در بازارهای داخلی و جهانی توسط دیجیتالی‌سازی، رایانش ابری، اینترنت اشیا و کلان‌داده‌ها تفسیر نموده و بیان داشتند از آنجا که تاکنون در مجامع علمی

۱. Carolis
۲. Branco
۳. Eurostat

شاخص هایی به‌طور خاص به مفاهیم صنعت ۴.۰ اختصاص نیافته و تعریف مرزبندی‌شده کاملی از مفهوم صنعت چهار ارائه نشده است، اندازه‌گیری نحوه پذیرش صنعت ۴.۰ توسط بخش تولید اندکی چالش‌برانگیز است. طی بررسی آن‌ها در شرکت‌های تولیدی در سراسر کشورهای اتحادیه اروپا مطابق با اطلاعات جمع‌آوری‌شده صنعت ۴.۰ مفهومی است که نشان‌دهنده پذیرش تکنیک‌ها و فرآیندهای مجاز توسط شرکت‌های صنعتی برای به‌دست‌آوردن مزیت‌های رقابتی در بازارهای داخلی و جهانی توسط دیجیتالی‌سازی، رایانش ابری، اینترنت اشیا و کلان‌داده‌ها شکل گرفته است و وجود یک زیرساخت دیجیتالی همراه با قابلیت‌های تحلیل کلان‌داده‌ها به‌عنوان دو بُعد اصلی در سنجش آمادگی برای صنعت ۴.۰ شناسایی شدند [۸].

حیزام[۱] و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی با عنوان «مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰: مروری سیستماتیک بر مبانی نظری ابعاد مدل» بیان داشتند یک سازمان باید به‌صورت دیجیتالی تغییر کند تا از مزایای آمادگی صنعت چهار بهره‌مند شود. در حال حاضر برای سازمان‌ها بسیار مهم است که آمادگی صنعت چهار خود را برای بقا و شکوفایی در عصر انقلاب صنعتی چهارم ارزیابی کنند و بر این اساس در سال‌های اخیر نیاز به مفهوم‌سازی یا توسعه یک مدل آمادگی صنعت چهار با ابعاد اساسی به‌خوبی احساس شده است. آن‌ها به‌وسیله مرور مبانی نظری سیستماتیک[۲] با دستورالعمل‌ها و استراتژی تحلیل محتوا از طریق موارد ترجیحی در گزارش مقاله‌های مروری منظم و فراتحلیل‌ها[۳] به بررسی مقاله‌های موجود در مجلات علمی معتبر و گزارش‌های صنعتی منتشرشده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ پرداختند و درنهایت برای مدل آمادگی صنعت ۴.۰ شش بُعد (فناوری، افراد، استراتژی، رهبری، فرآیند و نوآوری) را پیشنهاد کردند. آن‌ها همچنین تأکید کردند که حدود ۴۴ درصد از مجموع بررسی‌های انجام‌شده منحصر به صنعت نسل چهارم، تنها به مقوله ارزیابی فناوری اشاره داشته‌اند و ازاین‌رو فناوری باید به‌عنوان مهم‌ترین بُعد برای سازمان‌ها در نظر گرفته شود. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که سازمان‌ها باید تا حد زیادی جایگاه پذیرش فناوری‌های نوین را بهبود دهند تا از این طریق بتوانند آمادگی صنعت ۴.۰ خود را تقویت کنند [۱۳].

زوتین[۴] و همکاران (۲۰۲۲)، با بررسی، چالش‌ها و روندها فناوری‌های مرتبط با صنعت نسل چهارم در صنعت هواپیماسازی در پژوهشی با عنوان «سطوح آمادگی فناوری‌های به‌کاررفته صنعت چهار در ساخت هواپیما» بیان کردند که صنعت نسل چهارم نشان‌دهنده دوره‌ای از فناوری‌های جدیدی است که با استفاده از اینترنت اشیای صنعتی، دستگاه‌های هوشمند را برای

---

۱. Hizam

۲. Systematic Literature Review (SLR)

۳. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)

۴. Zutin

نظارت بر فرآیندهای تولید به هم متصل می‌کند. این اتصالات شبکه‌ای دستگاه‌ها امکان ارتباط بین افراد و فناوری‌ها را در سیستم‌های فیزیکی ـ سایبری فراهم می‌کند و شامل فناوری‌های گوناگونی است. آن‌ها با اشاره به ویژگی‌های صنعت هواپیماسازی بیان کردند که هزینه‌های مربوط به توسعه محصولات جدید در این صنعت در مقایسه با سایر بخش‌های صنعتی دیگر بسیار زیاد است؛ به همین دلیل، پذیرش فناوری‌های دیجیتال مرتبط با صنعت چهار ممکن است در کوتاه‌مدت پرهزینه به نظر برسد. بااین‌حال، ازآنجاکه این فناوری‌ها به سازندگان هواپیما کمک می‌کنند تا از اشتباهات و ضایعاتی که هزینه‌های توسعه محصول را افزایش می‌دهند، اجتناب کنند، فناوری‌های مرتبط با صنعت ۴.۰ در درازمدت با صرفه‌جویی در زمان و هزینه از نظر اقتصادی به‌صرفه خواهد بود. در همین راستا با توجه به بررسی‌های انجام‌شده و بهره‌گیری از مقیاس سطح آمادگی فناوری که توسط «اداره ملی هوانوردی و فضایی و وزارت دفاع ایالات متحده آمریکا» توسعه داده شده است آن‌ها درنهایت هوش مصنوعی، شبیه‌سازی، اتوماسیون، روباتیک، اینترنت اشیا، سیستم‌های جمع‌آوری داده‌ها، حسگرها، ابر، واقعیت افزوده و ساخت افزودنی را به‌عنوان مهم‌ترین فناوری‌های مرتبط با صنعت نسل چهار برشمرده‌اند [۳۸].

منشی‌زاده و همکاران (۲۰۲۳)، در مقاله‌ای با عنوان «توسعه یک مدل آمادگی صنعت ۴.۰ با استفاده از رویکرد نقشه‌های شناختی فازی» نشان دادند که چهارمین انقلاب صنعتی، پارادایم جدیدی در دیجیتالی‌شدن تولید است که فرصت‌های مختلفی را برای شرکت‌ها فراهم می‌کند. مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰ روش‌های ارزشمندی برای کمک به سازمان‌های تولیدی در ردیابی توسعه کسب‌وکار و عملیات خود است؛ باوجوداین هیچ‌یک از آن‌ها با استفاده از نقشه‌های شناختی فازی بررسی و تحلیل نشده‌اند. آن‌ها با استفاده از یک رویکرد ترکیبی، با بررسی مبانی نظری و اطلاعات به‌دست‌آمده از پرسشنامه و همچنین بهره‌گیری از روش‌های تحلیل عاملی اکتشافی و تأییدی، درنهایت مؤلفه‌های آمادگی عملیاتی، آمادگی سازمانی و آمادگی فناورانه را به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی نقشه‌های شناختی فازی معرفی کردند [۳۰].

جدول ۱. مقایسه نتایج پژوهش‌های مرتبط با مفاهیم آمادگی صنعت ۴.۰

موضوع	پژوهشگر (سال)	مدیریت منابع و سرمایه‌گذاری	قوانین دولتی و نهادها	زیرساخت فناوری و ارتباطات	عملکرد و توانمندی سازمانی	حمایت و رهبری	مدیریت تولید و کیفیت	استانداردهای بین‌المللی	پویایی محیط کار	غیرمتمرکزسازی	مجازی‌سازی	قابلیت بلادرنگ	اینترنت اشیا	کلان داده	یکپارچه‌سازی و ماژولاربودن	پلتفرم ابری	حقوق مالکیت معنوی	مقیاس‌پذیری	سیستم‌های سایبری – فیزیکی
ارائه چارچوبی برای ارزیابی آمادگی الکترونیکی و اقدام برای تجارت الکترونیک در شرکت لبنیاتی رامک شیراز	محمدی و همکاران، (۱۳۹۵)			✓				✓											
ارزیابی میزان آمادگی اجرای سیستم مدیریت کیفیت جامع (TQM)	مجیبی و همکاران، (۱۳۹۱)					✓	✓												
استخراج و ارزیابی شاخص‌های مرتبط با آمادگی صنعت خودروسازی برای پیاده‌سازی ERP	صارمی و همکاران، (۱۳۸۶)			✓	✓	✓													
یک مدل بلوغ برای ارزیابی آمادگی دیجیتالی شرکت‌های تولیدی	دکارولیس و همکاران، (۲۰۱۷)	✓					✓												✓
صنعت ۴.۰ اینترنت صنعتی اشیا	گیل‌کرایست، (۲۰۱۶)									✓	✓	✓			✓				
ارزیابی آمادگی صنعت ۴.۰ در تولید: شواهدی برای اتحادیه اروپا	برانکو و همکاران، (۲۰۱۹)			✓									✓	✓	✓	✓			
مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰: مروری سیستماتیک بر ادبیات ابعاد مدل	حیزام و همکاران، (۲۰۲۰)			✓		✓	✓		✓										
سطوح آمادگی فناوری‌های به‌کاررفته صنعت ۴.۰ در ساخت هواپیما – بررسی، چالش‌ها و روندها	زاتین و همکاران، (۲۰۲۲)			✓			✓					✓	✓	✓	✓	✓			✓
توسعه یک مدل آمادگی صنعت ۴.۰ با استفاده از رویکرد نقشه‌های شناختی فازی	منشی‌زاده و همکاران، (۲۰۲۲)	✓		✓	✓										✓				
پژوهش حاضر		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

بر پایه مطالعات انجام‌شده، مطابق با جدول ۱، پژوهش حاضر در مقایسه با سایر مطالعات صورت‌پذیرفته ضمن دربرداشتن مؤلفه‌های شناسایی‌شده در حوزه آمادگی صنعت ۴.۰، به‌صورت جامع‌تر به شناسایی و تعیین اهمیت مؤلفه‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر صنعت چهار پرداخته است و به سازمان‌ها و صنایع کمک می‌کند تا ضمن درک وضعیت فعلی آمادگی خود، به سمت استقرار صنعت نسل چهارم گام بردارند؛ همچنین در مطالعات پیشین هیچ‌گونه کار تحلیلی برای شناسایی مؤلفه‌های بااهمیت یا بهره‌گیری از تکنیک‌های دلفی یا دیمتل فازی برای تعیین میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مؤلفه‌ها صورت نگرفته است که این حیث نیز پژوهش کنونی را متمایز می‌کند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، توسعه‌ای – کاربردی و از لحاظ ماهیت داده‌ها، کیفی و کمّی است. در بخش کیفی پژوهش، مطالعه و بررسی وضعیت موجود و شناخت متغیرهای سیستم صورت گرفته و سپس با بررسی مبانی نظری و دریافت نظر خبرگان از راه مصاحبه شفاهی به کمک پرسشنامه نیمه‌ساختاریافته با سؤال‌های تشریحی (باز)، مؤلفه‌های تأثیرگذار شناسایی و دسته‌بندی شده است. خبرگان پژوهش از میان اعضای هیئت‌علمی رشته‌های مرتبط با صنعت و خبرگان مدیریت صنعتی انتخاب شدند. فرآیند طبقه‌بندی داده‌ها در این بخش از پژوهش برای ایجاد کُدها و مقوله‌ها توسط نرم‌افزار مکس‌کیودی‌ای[۱] نسخه ۲۰ صورت گرفت.

جامعه آماری این پژوهش شامل اساتید دانشگاهی مرتبط با حوزه صنعت و مدیران عامل و میانی صنایع غذایی استان تهران بود که باید ضمن آشنایی با مؤلفه‌های صنعت ۴.۰ دارای حداقل سطح تحصیلات لیسانس و سابقه پنج‌ساله اجرایی و مدیریتی می‌بودند. نمونه‌گیری پژوهش از نوع نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند و اطلاعات‌محور بود و تا رسیدن به مرحله اشباع نظری ادامه یافت [۹].

برای ایجاد اجماع میان قضاوت خبرگان و غربالگری مؤلفه‌های به‌دست‌آمده از روش دلفی فازی استفاده شد. هدف از این روش دسترسی به مطمئن‌ترین توافق گروهی خبرگان درباره موضوعی خاص است که با استفاده از پرسشنامه و نظرخواهی از خبرگان به‌دفعات، با توجه به بازخورد حاصل از آن‌ها صورت پذیرفت [۳۲]؛ سپس با روش دیمتل فازی روابط بین معیارها و زیرمعیارها بررسی شد که طی آن توسط ماتریس ارتباط کل، معیارهای تأثیرگذار و تأثیرپذیر مشخص شدند [۴].

---

۱. MAXQDA

از روش فازی به‌دلیل درنظرگرفتن مسائل ذهنی و عدم‌قطعیت در حوزه تصمیم‌گیری استفاده شده است که از قابلیت بالاتری نسبت به سایر روش‌های مشابه برخوردار است. در پژوهش حاضر ضمن تعریف و شناسایی عوامل، برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های گردآوری‌شده حاصل از پرسشنامه‌ها و کدگذاری‌های انجام‌شده در بخش کیفی، برای غربالگری از روش دلفی فازی و به‌منظور تشخیص تأثیرگذاری و تأثیرپذیری و شدت اثر عوامل از دیمتل فازی استفاده شده است. مراحل انجام روش دلفی و دیمتل فازی در پژوهش کنونی در شکل ۱، مشاهده می‌شود.

شکل ۱. مراحل انجام روش دلفی و دیمتل فازی

روش دلفی فازی: روش دلفی فازی، به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین نسخه‌های روش دلفی، از اعداد فازی مثلثی برای خلاصه‌کردن دیدگاه‌های به‌دست‌آمده از روش دلفی استفاده می‌کند [۱۰]. مهم‌ترین مزیت این روش، سادگی آن در جمع‌آوری دیدگاه‌های کارشناسان و توانایی آن در دستیابی به نتایج واقعی‌تر و دقیق‌تر از طریق انتخاب معیارها است [۲۳]. تکنیک دلفی فازی

می‌تواند ابتدا برای شناسایی و غربال مهم‌ترین شاخص‌های تصمیم‌گیری و ایجاد هسته ابتدایی پژوهش برای پژوهشگر استفاده شود. [۳] در این روش برای دستیابی به یک سطح مناسب از توافق بین متخصصان، نیازی به اجرای چندین دور نیست و معمولاً یک سطح مناسب توافق با سرعت بیشتری حاصل می‌شود؛ همچنین در دلفی سنتی، افرادی که عقایدشان تغییر نمی‌کند ممکن است از مطالعه حذف شوند و درنتیجه ممکن است برخی از اطلاعات از بین برود؛ اما در روش دلفی فازی، هیچ فرد یا اطلاعاتی مستثنا نیست [۱۹]. مراحل روش دلفی فازی در همه روش‌های مختلفی که ارائه شده است، شباهت زیادی با روش دلفی معمولی دارد. در حقیقت تفاوت اصلی روش دلفی فازی با روش دلفی معمولی در بخش تجزیه‌وتحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده است [۲۷]. در ادامه سعی شده است یکی از متداول‌ترین روش‌های ارائه‌شده برای دلفی فازی به‌صورت گام‌به‌گام توضیح داده شود و گام‌های تجزیه‌وتحلیل داده‌های پرسشنامه در روش دلفی فازی نیز بررسی شود.

مرحله ۱- جمع‌آوری نظرهای خبرگان: در این مرحله نظرهای خبرگان جمع‌آوری می‌شود. در این روش از متغیرهای زبانی برای طراحی پرسشنامه و جمع‌آوری نظرهای خبرگان استفاده می‌شود که از طیف هفت‌تایی لیکرت به شرح جدول ۲، استفاده شده است.

جدول ۲. طیف هفت‌تایی مورداستفاده در تعیین میزان اهمیت مؤلفه‌های روش دلفی فازی

طیف میزان اهمیت و مقادیر فازی						
کاملاً بی‌اهمیت	خیلی بی‌اهمیت	بی‌اهمیت	متوسط	بااهمیت	خیل بااهمیت	کاملاً بااهمیت
(۰،۰،۰/۱)	(۰،۰/۱،۰/۳)	(۰/۱،۰/۳،۰/۵)	(۰/۳،۰/۵،۰/۷۵)	(۰/۵،۰/۷۵،۰/۹)	(۰/۷۵،۰/۹،۱)	(۰/۹،۱،۱)

مرحله ۲- محاسبه ارزش فازی هر سؤال: پس از جمع‌آوری نظرهای خبرگان در این مرحله بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده، ارزش فازی هر یک از سؤال‌ها (شاخص‌ها) محاسبه می‌شود. برای محاسبه ارزش فازی هر یک از سؤال‌ها به‌ترتیب زیر عمل می‌شود:

با فرض اینکه ارزش فازی هر یک از سؤال‌ها به‌صورت $\widetilde{A_j} = (L_j \ . \ M_j \ . \ U_j)$ نمایش داده شود، به‌طوری‌که L_j حد پایین، M_j حد وسط و U_j حد بالای این عدد فازی باشد، خواهیم داشت:

رابطه (۱) $$L_j = Min(x_{ij}) \qquad i = ۱.۲.\ldots.n \quad j = ۱.۲.\ldots.m$$

رابطه (۲) $$M_j = (\prod_{i=1}^{n.m} x_{ij})^{\frac{1}{n}} \qquad i = ۱.۲.\ldots.n \quad j = ۱.۲.\ldots.m$$

رابطه (۳) $$U_j = Max(x_{ij}) \qquad i = ۱.۲.\ldots.n \quad j = ۱.۲.\ldots.m$$

مفهوم هر یک از متغیرها و پارامترهای ارائه‌شده در روابط بالا به‌صورت زیر است:
L_j: حد پایین ارزش فازی سؤال یا شاخص jام پرسشنامه که برابر با کوچک‌ترین مقداری است که خبرگان به سؤال (شاخص) jام تخصیص داده‌اند.
M_j: حد وسط ارزش فازی سؤال یا شاخص jام پرسشنامه که برابر با میانگین هندسی کلیه نظرات خبرگان برای سؤال (شاخص) jام است.
U_j: حد بالای ارزش فازی سؤال یا شاخص jام پرسشنامه که برابر با بزرگ‌ترین مقداری است که توسط خبرگان به سؤال (شاخص) jام تخصیص داده شده است.
x_{ij}: مقدار تخصیص‌داده‌شده توسط خبره iام به شاخص jام.
$\widetilde{A_j}$: ارزش فازی مثلثی سؤال یا شاخص jام.

مرحله ۳- تبدیل ارزش فازی به‌دست‌آمده برای هر یک از سؤال‌ها به مقدار دی‌فازی‌شده (S_j): پس از محاسبه ارزش فازی هر یک از سؤال‌های پژوهش برای اینکه بتوان نسبت به هر یک از سؤال‌ها قضاوت کرد، باید ابتدا ارزش فازی به‌دست‌آمده برای هر یک از سؤال‌ها را دی‌فازی نمود تا امکان مقایسه و ارزیابی به‌وجود آید. برای دی‌فازی‌کردن ارزش فازی از از رابطه ۴، استفاده شده است [۲۰].

رابطه (۴)
$$S_j = \frac{L_j + 2M_j + U_j}{4}$$

مرحله ۴- ارزیابی سؤال‌ها بر اساس حد آستانه‌ای(r): پس از محاسبه مقدار دی‌فازی (قطعی‌شده) هر یک از سؤال‌ها (شاخص‌ها) باید میزان اهمیت آن‌ها ارزیابی شود. برای ارزیابی اهمیت هر یک از سؤال‌ها یک قاعده مشخص و ثابتی وجود ندارد؛ اما متداول است که از یک حد آستانه‌ای (r) که در این پژوهش بر اساس قانون پارتو مقدار ۰/۸ در نظر گرفته شده است [۱۶]، برای ارزیابی اهمیت هر یک از سؤال‌ها استفاده می‌شود؛ بنابراین بر اساس مقدار حد آستانه‌ای دو حالت ایجاد می‌شود:
ـ اگر $S_j \geq r$ باشد، به این مفهوم است که سؤال (شاخص) jام از اهمیت بالایی برخوردار است.
ـ اگر $S_j < r$ باشد، به این مفهوم است که سؤال (شاخص) jام از اهمیت کمی برخوردار است. که به علت اهمیت کم این سؤال‌ها می‌توان آن‌ها را حذف کرد.

درصورتی‌که در مرحله چهار، شاخصی پایین‌تر از حد آستانه مشخص نشد، فرآیند گام‌های طی‌شده متوقف می‌شود و در غیر این صورت نتایج اصلاح‌شده برای نوبت بعدی دلفی در اختیار خبرگان قرار خواهد گرفت.

روش دیمتل فازی: در روش دیمتل می‌توان مسائل کیفی را به معیارهای کمّی برای تصمیم‌گیری تبدیل کرد [۳۵]. در این روش نظرهای کارشناسان در قالب متغیرهای کلامی[۱] بیان می‌شود و از مقیاس معمولی لیکرت با مقادیر قطعی[۲] استفاده می‌شود؛ درنتیجه با توجه به ابهام و عدم‌اطمینان از نظر زبانی، نتایج دارای دقت و صحت کم هستند. برای به‌دست‌آوردن نتایج دقیق‌تر و واقعی‌تر می‌توان از اعداد فازی برای تعیین کمّیت اصطلاحات زبانی به‌جای مقادیر واضح استفاده کرد؛ درنتیجه به دلیل ویژگی‌های اعداد فازی، عدم‌اطمینان از حیث متغیرهای زبانی تا حدودی برطرف شده و نتایج دقیق‌تر و واقعی‌تر می‌شوند [۳۷، ۳۶، ۲۱]. این روش، حوزه کاربرد وسیعی، از تحلیل دنیای تصمیم‌گیری تا برنامه‌ریزی صنعتی را دارا است [۱۴]. ادغام دیمتل و منطق فازی برای نخستین بار توسط وو[۳] (۲۰۰۷)، پیشنهاد و اجرا شد. روش دیمتل فازی در حال حاضر در بسیاری از زمینه‌ها مانند مدیریت استفاده می‌شود [۱۸، ۱، ۱۹]. با توجه به مزایای دیمتل فازی، در این پژوهش از این روش برای تعیین رابطه علّی و مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر آمادگی صنعت ۴.۰ استفاده شده است.

دیمتل فازی در چهار مرحله انجام می‌شود که عبارت‌اند از: ۱. تعیین مهم‌ترین متغیرها؛ ۲. راه‌اندازی یک تیم متخصص؛ ۳. طراحی پرسشنامه و مقیاس فازی و ۴. به‌دست‌آوردن نظرهای کارشناسان و تجزیه‌وتحلیل نتایج [۲]. در این پژوهش، گروه کارشناسی متشکل از ۸ خبره است و مؤلفه‌ها نیز با استفاده از روش دلفی فازی تعیین شدند. متخصصان با انتخاب اصطلاحات زبان‌شناسی در مقیاس پنج‌نقطه‌ای لیکرت که در جدول ۳، نشان داده شده است، نظرات خود را در مورد رابطه متغیرها بیان کردند [۱۱]. گام‌های طی شده برای روش دیمتل به شرح زیر است:

گام ۱- طراحی پرسشنامه و دریافت نظرهای خبرگان: خبرگان با انتخاب اصطلاحات زبان‌شناسی در مقیاس پنج‌نقطه‌ای لیکرت پیشنهادی لین و وو[۴] که در جدول ۳، نشان داده شده است، به سؤال‌های ماتریس n*n با روابط زوجی پاسخ دادند [۲۱].

جدول ۳. اصطلاحات زبانی و اعداد فازی مثلثی

اعداد فازی	واژه‌های زبانی برای مقایسات زوجی

۱. Linguistic Terms
۲. Crisp
۳. Wu
۴. Lin & Wu

تأثیر خیلی بالا (VH) [۱]	$\tilde{۴}$	(۰/۷۵ ،۱ ،۱)
تأثیر بالا (H) [۲]	$\tilde{۳}$	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)
تأثیر پایین (L) [۳]	$\tilde{۲}$	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵)
تأثیر خیلی کم (VL) [۴]	$\tilde{۱}$	(۰ ،۰/۲۵ ،۰/۵)
بدون تأثیر (No) [۵]	۰	(۰ ،۰ ،۰/۲۵)

گام ۲- ایجاد ماتریس روابط مستقیم فازی $\tilde{E}^k$: ۷ ماتریس فازی با رابطه مستقیم $\tilde{E}^k$ به‌ازای تمامی خبرگان ایجاد می‌شود.

رابطه (۵)
$$\tilde{E}^k = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & \widetilde{E_{1n}^k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{E_{n1}^k} & \cdots & 0 \end{bmatrix}, K = ۱,۲, \ldots . , p$$

در رابطه ۵، P تعداد خبرگان است و در پژوهش کنونی ۸ در نظر گرفته شده است؛ سپس ماتریس روابط مستقیم فازی $\tilde{E}$ از طریق تجمیع نظرهای شرکت‌کنندگان به کمک فرمول‌های زیر به‌دست آورده می‌شود:

رابطه (۶)
$$\tilde{E} = \frac{\tilde{E}^1 + \tilde{E}^2 + \cdots + \tilde{E}^p}{p}$$

رابطه (۷)
$$\tilde{E}^k = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & \widetilde{E_{1n}^k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{E_{n1}^k} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

رابطه (۸)
$$\tilde{e}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$$

گام ۳- ماتریس روابط مستقیم فازی نرمالایزشده $\tilde{F}$ به کمک روابط زیر محاسبه می‌شود.

رابطه (۹)
$$\tilde{F} = \frac{\tilde{E}}{\gamma}$$

رابطه (۱۰)
$$\gamma = max \sum_{j=1}^{n} u_j$$

۱. Very high influence
۲. High influence
۳. Low influence
۴. Very low influence
۵. No influence

$$\tilde{F} = \begin{bmatrix} \tilde{F}_{11} & \cdots & \tilde{F}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{F}_{n1} & \cdots & \tilde{F}_{nn} \end{bmatrix}$$ رابطه (۱۱)

$$\tilde{f}_{ij} = \frac{\tilde{e}_{ij}}{\gamma} = \left(\frac{l_{ij}}{\gamma}, \frac{m_{ij}}{\gamma}, \frac{u_{ij}}{\gamma}\right)$$ رابطه (۱۲)

گام ۴- با استفاده از معادلات زیر ماتریس روابط کلی $\tilde{T}$ به‌دست آورده می‌شود.

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \cdots & \tilde{t}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{t}_{n1} & \cdots & \tilde{t}_{nn} \end{bmatrix}$$ رابطه (۱۳)

$$\tilde{t}_{ij} = (l'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$$ رابطه (۱۴)

$$Matrix[l'_{ij}] = F_l \times (I - F_l)^{-1}$$ رابطه (۱۵)

$$Matrix[m'_{ij}] = F_m \times (I - F_m)^{-1}$$ رابطه (۱۶)

$$Matrix[u'_{ij}] = F_u \times (I - F_u)^{-1}$$ رابطه (۱۷)

در فرمول‌های بالا ماتریس I به‌معنای ماتریس همانی n×n است.

گام ۵- با استفاده از رابطه ۱۸، ماتریس روابط کلی فازی $\tilde{T}$ به ماتریس رابطه کلی غیرفازی (T) تبدیل می‌شود.

$$t_{ij} = \frac{1}{4}(l'_{ij}, 2m'_{ij}, u'_{ij})$$ رابطه (۱۸)

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & \cdots & t_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n1} & \cdots & t_{nn} \end{bmatrix}$$ رابطه (۱۹)

گام ۶- مقادیر D و R برای هر متغیر بر اساس مؤلفه‌های ماتریس رابطه کل غیرفازی با معادلات زیر محاسبه می‌شود.

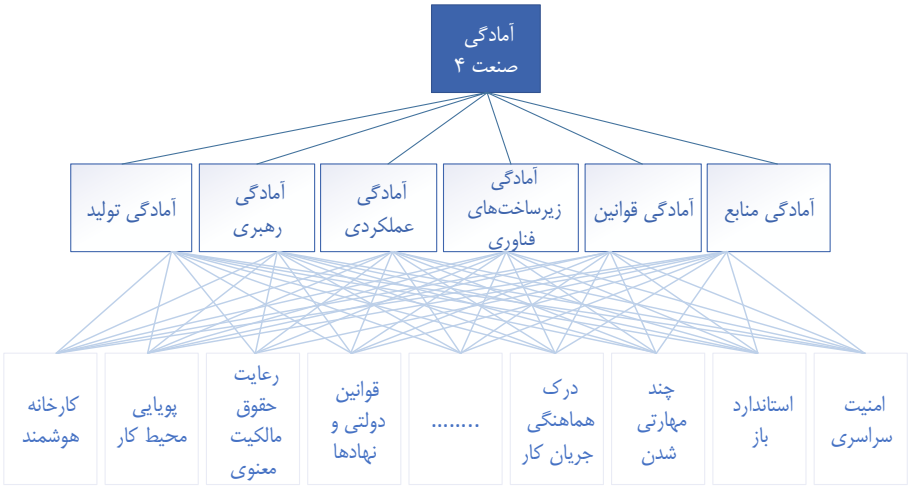
$$D = \sum_{j=1}^{n} t_{ij}\,, (j = ۱,۲,۳, \dots, n)$$ رابطه (۲۰)

$$R = \sum_{i=1}^{n} t_{ij}\,, (i = ۱,۲,۳, \dots, n)$$ رابطه (۲۱)

در ماتریس رابطه کل غیرفازی، جمع هر ردیف (D) اثر آن متغیر را بر سایر متغیرها نشان می‌دهد و جمع هر ستون (R) نشان‌دهنده تأثیر سایر متغیرها بر آن متغیر است.

گام ۷- محاسبه $(D+R)$ و $(D-R)$ و ایجاد نمودار علت و معلولیت و تجزیه‌وتحلیل نتایج: D-R نوع تعامل (علت یا اثر) را برای هر متغیر نشان می‌دهد و $D+R$ نشان‌دهنده سطح اثر متقابل بین متغیرها است؛ بنابراین بردار افقی $(D+R)$ میزان تأثیر و تأثر عامل موردنظر در سیستم است. به‌عبارت‌دیگر هرچه مقدار $(D+R)$ عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد. بردار عمودی $(D-R)$ قدرت تأثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. به‌طورکلی اگر $(D-R)$ مثبت باشد، متغیر یک متغیر علّی محسوب می‌شود و اگر منفی باشد، معلول به حساب می‌آید.

در پایان چارچوب مفهومی پژوهش با لحاظ‌کردن مطالعات پیشین و مؤلفه به‌دست‌آمده در شکل ۲، نشان داده شده است.



شکل ۲. چارچوب مفهومی پژوهش

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از تحلیل محتوا. استراتژی این پژوهش تحلیل محتوا و تکنیک آن تحلیل محتوای پنهان است. در این بخش از پژوهش، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار طبقه‌بندی شدند تا کُدهای اولیه، مقوله‌ها و کُدهای محوری ایجاد شوند. ابتدا با تحلیل معنایی واحدهای معنادار مصاحبه، اطلاعات جمع‌آوری شده تحلیل گردید و سپس با تکرار فرآیند کدگذاری، سعی شد تا با طبقه‌بندی مفاهیم مشابه و یکسان‌سازی در کُدگذاری محوری، تجزیه و تحلیل اطلاعات انجام شود. جدول ۴، نمایانگر ۶ مقوله و خلاصه‌ای از ۶۰ کُد اولیه استخراج‌شده از بخش کیفی پژوهش است که خلاصه‌ای از آن نشان داده شده است.

جدول ۴. کُدهای اولیه، مقوله‌های استخراج‌شده در نرم‌افزار مکس‌کیودی‌ای

کُد محوری	مقوله‌ها	کُد اولیه
آمادگی	آمادگی منابع	چندمهارتی‌شدن
		قابلیت بهره‌گیری فناوری و تخصص‌های فردی
		....
		نیروی انسانی متخصص و مسئولیت‌پذیر
	آمادگی قوانین	قوانین دولتی و نهادها
		قوانین سازمان و کارکنان
		....
		رعایت حقوق مالکیت معنوی
	آمادگی فناوری اطلاعاتی	وجود زیرساخت‌های فناوری
		شبکه و ارتباطات هوشمند
		....
		امنیت سراسری
	آمادگی عملکردی	آموزش مهارت‌های دیجیتال
		پویایی محیط کار
		....
		مدیریت ارتباط با مشتری
	آمادگی رهبری	غیرمتمرکز سازی
		مدیریت ریسک
		....
		سرمایه‌گذاری
	آمادگی تولید	داده‌کاوی و گزارش‌گیری بلادرنگ
		ارتباط‌پذیری و اشتراک‌گذاری
		....
		ماشین‌آلات هوشمند

با توجه به جدول ۴، مقوله‌های زیر که مؤلفه‌های اصلی آمادگی صنعت نسل چهار را تشکیل می‌دهند به شرح زیر هستند:

آمادگی منابع: آمادگی یک منبع و توانایی تطبیق آن در تعامل با سایر منابع است که به‌صورت جامع‌تر توانایی چندمهارتی‌شدن، قابلیت بهره‌گیری فناوری و تخصص‌های فردی را شامل می‌شود.

آمادگی قوانین: آمادگی مقررات و قوانین در حمایت از پیشرفت‌ها و تعاملات لازم در صنعت چهار و امکان اتخاذ یک چارچوب نظارتی در جهت کاهش بار انطباق با استانداردها است که به‌صورت جامع‌تر دربردارنده قوانین دولتی و نهادها و رعایت حقوق مالکیت معنوی است.

آمادگی فناوری اطلاعاتی: آمادگی پذیرش، استفاده و به‌کارگیری مؤثر فناوری اطلاعات و ارتباطات و کاربردهای آن در صنعت نسل چهارم است که به‌صورت جامع‌تر به وجود زیرساخت‌های فناوری، مقیاس‌پذیری و شبکه ارتباطات هوشمند اشاره دارد.

آمادگی عملکردی: آمادگی فعالیت‌ها و اقدام‌هایی که پیشاپیش بـرای اطمینان از پاسخ مؤثر به فعالیت‌های درحال‌انجام و ارتقای فرآیندهای آتی است که به‌صورت جامع‌تر دربردارنده پویایی محیط کار و مدیریت ارتباط با مشتری است.

آمادگی رهبری: آمادگی شناسایی و بررسی خطرها و تهدیدها، توسعه راه‌حل‌های کل‌نگر برای کاهش آسیب‌پذیری و همچنین مجموعه اقداماتی است که با بهره‌گیری از سرمایه‌گذاری مناسب ضمن هماهنگی ساختار سازمانی با چشم‌انداز و نقشه راه صنعت نسل چهار دربردارنده مؤلفه‌هایی همچون غیرمتمرکز سازی و مدیریت ریسک باشد.

آمادگی تولید: به آمادگی برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت موفقیت‌آمیز یک سیستم گفته می‌شود که ضمن ارزیابی سطح بالایی از فرصت‌های تولیدی دربردارنده مؤلفه‌هایی همچون ارتباط‌پذیری و اشتراک‌گذاری، یکپارچه‌سازی و کارخانه هوشمند است.

نتایج حاصل از دلفی فازی: به‌منظور تأیید مؤلفه‌های آمادگی صنعت نسل چهارم و غربالگری آن‌ها به کمک تکنیک دلفی فازی پرسشنامه‌ای با ۶۰ سؤال که هر یک از آن‌ها نمایانگر یکی از مؤلفه‌های به‌دست‌آمده است، طراحی شد. در مرحله نخست نظرسنجی انجام‌شده از خبرگان دلفی فازی پس از توزیع، جمع‌آوری پرسشنامه‌ها و تقسیم‌بندی دیدگاه‌های پیشنهادی و اصلاحی، بر اساس حد آستانه تعیین‌شده نسبت به تأیید و رد مؤلفه‌های موجود اقدام شد که خلاصه‌ای از نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۵، ارائه شده است.

جدول ۵. نتایج دور اول دلفی فازی

مؤلفه	معیار	زیرمعیار	کد	میانگین فازی دیدگاه‌ها			حد وسط	نتیجه نهایی
				L	M	U	۰/۸	
آمادگی	آمادگی منابع	چندمهارتی‌شدن	۱	۰/۶۷	۰/۸۶	۰/۹۴	۰/۸۳	تأیید
		قابلیت بهره‌گیری فناوری و تخصص‌های فردی	۲	۰/۳۵	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۴۹	رد
		درک هماهنگی جریان کار	۳	۰/۶۶	۰/۸۱	۰/۹۳	۰/۸۱	تأیید
		نیروی انسانی متخصص و مسئولیت‌پذیر	۴	۰/۲۷	۰/۴۰	۰/۵۴	۴۰.۰	رد
		نیازسنجی و استخدام هدفمند	۵	۰/۳۴	۰/۴۰	۰/۴۹	۰/۴۱	رد
		دانش و تبادل اطلاعات	۶	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۵۱	۰/۳۹	رد
	....	....	...	...	...	...	...	....
	آمادگی تولید	واقعیت مجازی	۵۶	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۵۹	۰/۴۲	رد
		کارخانه هوشمند	۵۷	۰/۷۶	۰/۹۱	۰/۹۹	۰/۸۹	تأیید
		ماژولار و پیمانه‌ای‌بودن	۵۸	۰/۳۸	۰/۵۱	۰/۶۶	۰/۵۲	رد
		سیستم‌های سایبری ـ فیزیکی	۵۹	۰/۷۶	۰/۹۱	۰/۹۷	۰/۸۹	تأیید
		پلتفرم ابری	۶۰	۰/۷۷	۰/۹۰	۰/۹۶	۰/۸۸	تأیید

با توجه به نتایج، ۲۷ زیرمعیار در این دور حذف و ۳۳ زیرمعیار باقی مانده است. برای مرحله دوم نظرسنجی پس از تهیه پرسشنامه دوم که شامل تفاوت نظر دیدگاه خبرگان نیز بود، نسبت به ارسال پرسشنامه و جمع‌آوری اطلاعات اقدام شد که بر اساس محاسبات انجام‌شده در این مرحله نیز از مجموع ۳۳ زیرمعیار، ۱۶ زیرمعیار حذف و ۱۷ زیرمعیار باقی ماند. درنهایت پس از برگزاری دور سوم نظرسنجی خبرگان، هیچ معیاری از آستانه ۰/۸ پایین‌تر گزارش نشد؛ بنابراین در این مرحله فرآیند گام‌های طی‌شده متوقف و دور سوم با ۱۷ زیرمعیار به‌عنوان نوبت پایانی دلفی فازی در نظر گرفته شد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج نهایی دلفی فازی

مؤلفه	معیار	زیرمعیار	ردیف	میانگین فازی دیدگاه‌ها L	M	U	دیدگاه‌های خبرگان در پرسشنامه دوم	حد وسط ۰/۸	نتیجه نهایی
آمادگی	آمادگی منابع	چندمهارتی‌شدن	۱	۰/۷۷	۰/۹۱	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۰	تأیید
		درک هماهنگی جریان کار	۲	۰/۸۵	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۴	تأیید
	آمادگی قوانین	قوانین دولتی و نهادها	۳	۰/۸۶	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۵	تأیید
		رعایت حقوق مالکیت معنوی	۴	۰/۷۹	۰/۹۳	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۱	تأیید
	آمادگی فناوری اطلاعاتی	وجود زیرساخت‌های فناوری	۵	۰/۸۶	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۵	تأیید
		مقیاس‌پذیری	۶	۰/۷۷	۰/۹۱	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۰	تأیید
		شبکه و ارتباطات هوشمند	۷	۰/۸۱	۰/۹۴	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۲	تأیید
	آمادگی عملکردی	پویایی محیط کار	۸	۰/۷۸	۰/۹۲	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۰	تأیید
		مدیریت ارتباط با مشتری	۹	۰/۸۶	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۵	تأیید
	آمادگی رهبری	غیرمتمرکزسازی	۱۰	۰/۸۳	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۳	تأیید
		مدیریت ریسک	۱۱	۰/۸۶	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۵	تأیید
		سرمایه‌گذاری	۱۲	۰/۸۳	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۳	تأیید
	آمادگی تولید	یکپارچه‌سازی	۱۳	۰/۷۵	۰/۹۰	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۸۹	تأیید
		ارتباط پذیری و اشتراک‌گذاری	۱۴	۰/۸۸	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۶	تأیید
		کارخانه هوشمند	۱۵	۰/۸۸	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۰	۰/۹۴	تأیید
		سیستم‌های سایبری-فیزیکی	۱۶	۰/۹۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۸	تأیید
		پلتفرم ابری	۱۷	۰/۸۸	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۶	تأیید

نتایج حاصل از دیمتل فازی: در این بخش برای بررسی روابط علّی و معلولی معیارهای استخراج‌شده از مصاحبه‌ها، با بهره‌مندی از قضاوت ۸ نفر از خبرگان به سؤال‌های ماتریس روابط زوجی مربوطه پاسخ داده شد که نتایج آن در ماتریس روابط کلی بر اساس روابط ۵، ۶ و ۷، تجمیع شد. پس از آن ماتریس روابط مستقیم فازی نرمالایزشده به کمک روابط ۱۵، ۱۶ و ۱۷ به ماتریس روابط کلی فازی تبدیل و به کمک روبط ۱۸ و ۱۹، نسبت به غیرفازی‌کردن مقادیر به‌دست‌آمده اقدام شد که نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۷، ارائه شده است.

جدول ۷. ماتریس روابط کلی دی‌فازی‌شده

	آمادگی منابع	آمادگی قوانین	آمادگی فناوری اطلاعاتی	آمادگی عملکردی	آمادگی رهبری	آمادگی تولید
آمادگی منابع	**۰/۱۸۲**	۰/۲۴۹	۰/۲۳۳	۰/۲۸۹	۰/۲۴۷	۰/۳۲۱
آمادگی قوانین	۰/۲۴۴	**۰/۱۹۳**	۰/۱۹۹	۰/۲۹۱	۰/۳۳۲	۰/۳۱۸
آمادگی فناوری اطلاعاتی	۰/۳۵۶	۰/۴۰۷	**۰/۲۳۸**	۰/۴۵۵	۰/۳۷۳	۰/۴۴۵
آمادگی عملکردی	۰/۲۵۷	۰/۳۵۰	۰/۲۷۴	**۰/۲۳۵**	۰/۲۷۶	۰/۲۹۶
آمادگی رهبری	۰/۳۶۹	۰/۳۳۷	۰/۳۰۷	۰/۴۱۸	**۰/۲۳۷**	۰/۳۳۷
آمادگی تولید	۰/۳۳۰	۰/۳۰۴	۰/۳۱۸	۰/۴۱۶	۰/۳۳۴	**۰/۲۵۴**

پس از انجام محاسبات فوق با استفاده از روابط ۲۰ و ۲۱، با جمع کردن سطرها و ستون‌ها، مقادیر D که نشانگر اثر آن متغیر بر سایر متغیرها و R که نمایانگر تأثیر سایر متغیرها بر آن متغیر است را محاسبه نموده که نتایج آن در جدول ۸ قابل مشاهده است.

جدول ۸. ماتریس تجمیع‌شده نهایی معیارها

معیارها	D	R	D+R	D-R	وضعیت
آمادگی منابع	۱/۵۲۰	۱/۷۳۸	۳/۲۵۸	−۰/۲۱۹	اثرپذیر
آمادگی قوانین	۱/۵۷۷	۱/۸۴۰	۳/۴۱۸	−۰/۲۶۳	اثرپذیر
آمادگی فناوری اطلاعاتی	۲/۲۷۴	۱/۵۶۹	۳/۸۴۳	۰/۷۰۵	اثرگذار
آمادگی عملکردی	۱/۶۸۷	۲/۱۰۵	۳/۷۹۲	−۰/۴۱۷	اثرپذیر
آمادگی رهبری	۲/۰۰۷	۱/۷۹۸	۳/۸۰۵	۰/۲۰۹	اثرگذار
آمادگی تولید	۱/۹۵۵	۱/۹۷۰	۳/۹۲۵	−۰/۰۱۵	اثرپذیر

با درنظرگرفتن جدول ۸، نمودار علت و معلول مؤلفه‌ها نیز به‌صورت شکل ۳، به‌دست آمد.

شکل ۳. نمودار اهمیت و تأثیرگذاری معیارها

مطابق اطلاعات ارائه‌شده معیار «آمادگی فناوری اطلاعاتی» اثرگذارترین و معیار «آمادگی عملکردی» اثرپذیرترین زیرمعیار شناسایی از نظر خبرگان هستند؛ همچنین نتایج محاسبات حاصل از ماتریس روابط کلی زیرمعیارها به شرح جدول ۹، است.

جدول ۹. ماتریس تجمیع‌شده نهایی زیرمعیارها

معیار	زیرمعیار	D	R	D+R	D-R	وضعیت
آمادگی منابع	چندمهارتی‌شدن	۰/۷۹۸	۰/۷۰۶	۱/۵۰۴	۰/۰۹۲	اثرگذار
	درک هماهنگی جریان کار	۱/۲۹۵	۱/۱۷۲	۲/۴۶۷	۰/۱۲۳	اثرگذار
آمادگی قوانین	قوانین دولتی و نهادها	۱/۷۳۲	۰/۶۴۱	۲/۳۷۳	۱/۰۹۰	اثرگذار
	رعایت حقوق مالکیت معنوی	۰/۸۳۹	۰/۷۲۲	۱/۵۶۱	۰/۱۱۷	اثرگذار
آمادگی زیرساخت‌های فناوری	وجود زیرساخت‌های فناوری	۲/۱۱۰	۱/۶۰۱	۳/۷۱۱	۰/۵۰۹	اثرگذار
	مقیاس‌پذیری	۱/۵۳۶	۱/۹۸۸	۳/۵۲۳	-۰/۴۵۲	اثرپذیر
	شبکه و ارتباطات هوشمند	۱/۵۱۴	۱/۵۴۸	۳/۰۶۲	-۰/۰۳۴	اثرپذیر
آمادگی عملکردی	پویایی محیط کار	۰/۹۵۸	۱/۴۹۸	۲/۴۵۶	-۰/۵۴۰	اثرپذیر

معیار	زیرمعیار	D	R	D+R	D-R	وضعیت
	مدیریت ارتباط با مشتری	۰/۸۲۰	۱/۲۷۸	۲/۰۹۸	-۰/۴۵۸	اثرپذیر
آمادگی رهبری	غیرمتمرکزسازی	۱/۵۵۰	۱/۹۴۵	۳/۴۹۵	-۰/۳۹۵	اثرپذیر
	سرمایه‌گذاری	۲/۰۵۰	۱/۱۹۰	۳/۲۳۹	۰/۸۶۰	اثرگذار
	مدیریت ریسک	۱/۳۰۵	۱/۲۲۱	۲/۵۲۷	۰/۰۸۴	اثرگذار
آمادگی تولید	یکپارچه‌سازی	۱/۳۷۷	۱/۷۵۲	۳/۱۲۹	-۰/۳۷۵	اثرپذیر
	ارتباط‌پذیری و اشتراک‌گذاری	۱/۵۶۲	۲/۰۳۶	۳/۵۹۷	-۰/۴۷۴	اثرپذیر
	کارخانه هوشمند	۱/۲۳۶	۱/۶۹۸	۲/۹۳۴	-۰/۴۶۲	اثرپذیر
	سیستم‌های سایبری ـ فیزیکی	۱/۵۴۳	۱/۶۳۳	۳/۱۷۶	-۰/۰۹۰	اثرپذیر
	پلتفرم ابری	۱/۶۹۹	۱/۲۹۵	۲/۹۹۴	۰/۴۰۴	اثرگذار

مطابق اطلاعات جدول ۹، در میان زیرمعیارها نیز دو زیرمعیار «وجود زیرساخت‌های فناوری» که شامل قطعات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی و الزامات مدیریت اطلاعات کسب‌وکار است و «سرمایه‌گذاری» که به تخصیص منابع مالی برای خرید یک دارایی در جهت دستیابی به ارزش قابل‌دستیابی در صنعت چهار اشاره دارد، به‌ترتیب بیشترین تأثیرگذاری و تعامل را در میان سایر زیرمعیارها داشته‌اند. زیرمعیار «چندمهارتی‌شدن» که به توانایی کارکنان در پاسخ انعطاف‌پذیر به فعالیت‌های تعریف‌شده اشاره دارد، کمترین میزان تأثیرگذاری و تعامل را با سایر زیرمعیارها داشته است. زیرمعیار «ارتباط پذیری و اشتراک‌گذاری» که به انتقال، توزیع و استفاده مشترک یا متناوب منابع اطلاعاتی اشاره دارد، بیشترین تأثیرپذیری و زیرعامل «قوانین دولتی و نهادها» که دربردارنده کلیه قواعد موجود در حوزه فعالیت است، کمترین تأثیرپذیری را به خود اختصاص داده‌اند. درنهایت با توجه به نتایج، مشخص شد در میان زیرمعیارهای استخراج‌شده «قوانین دولتی و نهادها» که به‌تمامی قواعد، الزامات و استانداردهای تعریف‌شده از جانب دولت‌ها و نهادهای حاکمیتی و صنفی اشاره دارد، اثرگذارترین علت و «پویایی محیط کار» که دربردارنده فرهنگ مناسب در محیط کار به‌منظور اثربخشی و کار گروهی می‌باشد، اثرپذیرترین معلول از میان سایر زیرمعیارها است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

صنعت ۴.۰ که انقلاب صنعتی چهارم نیز نامیده می‌شود، در حال حاضر یک موضوع پژوهش رو به رشد است و می‌توان آن را به‌عنوان همگرایی چندین مفهوم نوظهور و فناوری‌های پیشرفته دانست که کل سیستم‌های تولید را با تبدیل جریان‌های کاری قدیمی و متمرکز به فرآیندهای

تولید دیجیتال و غیرمتمرکز، بازسازی می‌کند. این فناوری‌های پیشرفته ظرفیت بالایی برای افزایش قابل‌توجه بهره‌وری تولید دارند و روند تولیدی نوینی را در صنایع به ارمغان آورداند که هدف آن استفاده مؤثر از منابع برای حداکثر بازدهی است. توجه به رشد سریع ارتباطات در سطح جهان و بحث‌های مربوط به جهانی‌شدن، تولید در سطح استراتژی‌های مطرح جهانی مانند صنعت چهار برای بقای صنایع کشور ایران نیازی حیاتی است و انجام مطالعات پیرامون تعیین اهمیت مؤلفه‌های آمادگی سازمان قبل از اقدام به پیاده‌سازی هر سیستم یا استراتژی برای صنایع تولیدی، ضروری به نظر می‌رسد. اساسی‌ترین پیش‌نیاز برای استقرار صنعت نسل چهارم، ارزیابی آمادگی یا سنجش میزان فاصله سازمان نسبت به آن است. بیشتر پژوهش‌هایی که تاکنون در حوزه ارزیابی آمادگی صنعت چهار انجام شده‌اند، تنها به معرفی عوامل مؤثر برای دستیابی به مفاهیم صنعت چهار پرداخته و به تعیین میزان تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری مؤلفه‌های آمادگی سازمان‌ها در صنعت چهار کمتر پرداخته شده است.

برای درک بهتر سازمان‌ها و صنایع غذایی استان تهران از وضعیت فعلی آمادگی خود در حرکت به سمت صنعت نسل چهارم، هدف پژوهش حاضر، شناسایی و تعیین اهمیت مؤلفه‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر بر آمادگی سازمان در حرکت به سمت صنعت نسل چهار است.

در بخش کیفی این پژوهش با بررسی مبانی نظری و دریافت نظر خبرگان از راه مصاحبه شفاهی به کمک پرسشنامه نیمه‌ساختاریافته با سؤال‌های تشریحی، مؤلفه‌های تأثیرگذار شناسایی و دسته‌بندی شد. چون رویکرد این پژوهش کیفی است، با توجه به پارادایم‌های پژوهش در بخش هستی‌شناسی نسبی‌گرا، از لحاظ معرف شناسی در حوزه پارادایم تفسیری بوده و استراتژی و تاکتیک آن تحلیل محتوای پنهان است که با توجه به جامعه آماری این پژوهش که شامل اساتید دانشگاهی مرتبط با حوزه صنعت، مدیران عامل و میانی صنایع غذایی استان تهران با حداقل سطح تحصیلات لیسانس، آشنا به مؤلفه‌های صنعت نسل چهار و سابقه ۵پنج‌ساله اجرایی و مدیریتی بوده است، فرآیند طبقه‌بندی داده‌ها در این بخش از پژوهش برای ایجاد کُدهای اولیه، مقوله‌ها و کُدهای محوری صورت پذیرفت و درنتیجه آن ۶۰ کُد اولیه و شش مقوله «آمادگی منابع»، «آمادگی قوانین»، «آمادگی فناوری اطلاعاتی»، «آمادگی عملکردی»، «آمادگی رهبری» و «آمادگی تولید» استخراج شد. در بخش کمی پژوهش نیز برای ایجاد اجماع میان قضاوت خبرگان و غربالگری مؤلفه‌های به‌دست‌آمده از روش دلفی فازی استفاده شد. هدف از این روش دسترسی به مطمئن‌ترین توافق گروهی خبرگان درباره موضوعی خاص بود که با استفاده از پرسشنامه و نظرخواهی از خبرگان، به‌دفعات، با توجه به بازخورد حاصل از آن‌ها صورت پذیرفت.

به‌منظور تأیید مؤلفه‌های ارزیابی آمادگی صنعت نسل چهارم و غربالگری آن‌ها به کمک تکنیک دلفی پرسشنامه‌ای با ۶۰ سؤال که هر یک از آن‌ها نمایانگر یکی از مؤلفه‌های

به‌دست‌آمده بود، طراحی شد و درنهایت پس از برگزاری دور سوم نظرسنجی خبرگان و با توجه به معیار آستانه درنظرگرفته‌شده دور سوم با ۱۷ زیرمعیار به‌عنوان نوبت پایانی دلفی فازی در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده برای معیار «آمادگی منابع» دو زیرمعیار چندمهارتی‌شدن و درک هماهنگی جریان کار، برای معیار «آمادگی قوانین» دو زیرمعیار قوانین دولتی و نهادها و رعایت حقوق مالکیت معنوی، برای معیار «آمادگی فناوری اطلاعاتی» سه زیرمعیار وجود زیرساخت‌های فناوری، مقیاس‌پذیری و شبکه و ارتباطات هوشمند، برای معیار «آمادگی عملکردی» دو زیرمعیار پویایی محیط کار و مدیریت ارتباط با مشتری، برای معیار «آمادگی رهبری» سه زیرمعیار غیرمتمرکزسازی، مدیریت ریسک و سرمایه‌گذاری و برای معیار «آمادگی تولید»، پنج زیرمعیار یکپارچه‌سازی، ارتباط پذیری و اشتراک‌گذاری، کارخانه هوشمند، کارخانه هوشمند و پلتفرم ابری به‌عنوان مؤلفه‌های ارزیابی آمادگی صنعت نسل چهارم مورد اجماع‌نظر خبرگان قرار گرفتند که در مقایسه با مؤلفه‌های شناسایی‌شده در مدل‌های بررسی‌شده برانکو و حیزام[۱] توجه به مؤلفه‌هایی همچون آمادگی منابع، آمادگی قوانین و آمادگی تولید در پژوهش حاضر ضمن پوشش مؤلفه‌های معرفی‌شده در پژوهش‌های قبلی از نقاط متمایز پژوهش صورت‌گرفته است. پس از ارائه نتایج دلفی فازی با روش دیمتل فازی روابط بین معیارها و زیرمعیارها بررسی شد و طی آن توسط ماتریس ارتباط کل، معیارهای تأثیرگذار و تأثیرپذیر مشخص شدند.

از میان عوامل شناسایی‌شده «آمادگی عملکردی» با زیرمعیارهای «پویایی محیط کار» و «مدیریت ارتباط با مشتریان»، بیشترین میزان تأثیرپذیری را نسبت به سایر مؤلفه‌ها به خود اختصاص داد و پس‌ازآن «آمادگی تولید» در جایگاه دوم قرار گرفت؛ همچنین از منظر تأثیرگذاری نیز «آمادگی فناوری اطلاعاتی» و «آمادگی رهبری» به‌ترتیب بیشترین میزان تأثیرگذاری را به خود اختصاص داد و پس‌ازآن «آمادگی منابع» به‌عنوان کمترین معیار تأثیرگذاری شناسایی شد که بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت، «آمادگی فناوری اطلاعات» به‌واسطه تأثیرگذاری و قدرت هدایت بالای خود برای حرکت در مسیر آمادگی صنعت نسل چهارم باید در اولویت نخست از منظر تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد. با توجه به مجموع میزان تأثیرپذیری و تأثیرگذاری به‌دست‌آمده نیز معیار «آمادگی تولید» بیشترین تعامل و معیار «آمادگی منابع» کمترین میزان تعامل را با سایر معیارهای استخراج‌شده از خود نشان دادند. درنهایت معیارهای «آمادگی فناوری اطلاعاتی» و «آمادگی رهبری» به‌عنوان معیارهای اثرگذار و معیارهای «آمادگی عملکردی»، «آمادگی قوانین»، «آمادگی منابع» و «آمادگی تولید» نیز به‌عنوان اثرپذیر و معلول شناسایی شدند.

---

۱. Hizam & Branco

در میان زیرمعیارها نیز دو زیرمعیار «وجود زیرساخت‌های فناوری» و «سرمایه‌گذاری» به‌ترتیب بیشترین تأثیرگذاری و تعامل را در میان سایر زیرمعیارها و زیرمعیار «چندمهارتی‌شدن» کمترین میزان تأثیرگذاری و تعامل را با سایر زیرمعیارها داشتند؛ همچنین زیرمعیار «ارتباط‌پذیری و اشتراک‌گذاری» بیشترین تأثیرپذیری و زیرعامل «قوانین دولتی و نهادها» کمترین تأثیرپذیری را به خود اختصاص دادند. درنهایت با توجه به نتایج مشخص شد در میان زیرمعیارهای استخراج‌شده «قوانین دولتی و نهادها» اثرگذارترین علت و «پویایی محیط کار» اثرپذیرترین معلول در میان سایر زیرمعیارها هستند؛ بنابراین پژوهش حاضر در بُعد پیامد نظری، ضمن شناسایی مهم‌ترین مؤلفه‌های آمادگی صنعت نسل چهارم، به معرفی تأثیرگذارترین و تأثیرپذیرترین عوامل مرتبط با صنعت چهار پرداخته که در پژوهش‌های پیشین به این موضوع پرداخته نشده است. این پژوهش همچنین با افزودن دانش جدید به مبانی نظری موجود و ارائه یک عرصه پژوهشی آتی، با عواملی مانند قوانین دولتی و نهادها، پلتفرم ابری، ارتباط‌پذیری و اشتراک‌گذاری و سیستم‌های سایبری ـ فیزیکی تأکید می‌کند که سازمان‌ها و صنایع باید مؤلفه‌های تأثیرگذار سرمایه‌گذاری و وجود زیرساخت‌های فنارای را در هنگام تصمیم‌گیری و حرکت به سمت نسل چهارم مدنظر قرار دهند؛ همچنین از بُعد پیامدهای اجرایی نیز پژوهشگران، سازمان‌ها و صنایع می‌توانند با توجه به شناسایی مهم‌ترین، تأثیرگذارترین و تأثیرپذیرترین مؤلفه‌های صنعت نسل چهار، ضمن درک بهتر وضعیت آمادگی فعلی خود، با تأکید بر مسائل کلیدی در حوزه‌های اقتصادی، سیاسی و سطوح جهانی با کوتاه‌ترین زمان و با کمترین منابع موردنیاز در مسیر استقرار صنعت نسل چهارم گام بردارند و به‌صورت هدفمند بر روی مؤلفه‌های مهم آن تمرکز و برنامه‌ریزی کنند.مؤسسه‌های دولتی نیز باید با راه‌اندازی مراکزی برای آموزش رایگان مهارت‌های دیجیتال و توسعه منابع انسانی چندمهارته ضمن همکاری با مؤسسه‌های دانشگاهی حرکت به سمت صنعت نسل چهارم را تسریع نمایند.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، این پژوهش در دیگر صنایع اجرا و نتایج به‌دست‌آمده با این پژوهش مقایسه شود؛ همچنین تعاملات بین متغیرهای استخراج‌شده از طریق مدل‌های آماری معتبر، مانند مدل‌سازی معادلات ساختاری و سایر روش‌های تصمیم‌گیری مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد؛ همچنین پیشنهاد می‌شود پژوهشگران در کنار بحث آمادگی، مقوله‌های بلوغ و شایستگی را نیز برای ورود به عرصه صنعت ۴.۰ بررسی و ارزیابی کنند.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Abdullah, L.; & Zulkifli, N. (2015). Integration of fuzzy AHP and interval type-2 fuzzy DEMATEL: An application to human resource management. *Expert Systems with Applications, 42(9),* 4397-4409 .
2. Akyuz, E.; & Celik, E. (2015). A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during gas freeing process in crude oil tankers. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 38,* 243-253 .
3. Aslani Liaei, V.; Abedi, S.; Irajpour, A.; & Ehtesham Rathi, R. (2021). Presenting a model for evaluating the multiple capabilities of a sustainable supply chain based on artificial intelligence. *The Journal of Industrial Management Perspective, 11(3),* 107-129. (In Persian)
4. Azizi, H.; & Hasanpour, B. (2019). Designing a model for risk in the green supply chain with fuzzy Delphi technique and fuzzy dimtel in Gachsaran Oil and Gas Exploitation Company (Vol. 3, p. 17). Presented at the The third international conference on dynamic management, accounting and auditing. (In Persian)
5. Bahrin, M. A. K.; Othman, M. F.; Azli, N. H. N.; & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: *A Review on Industrial Automation and Robotic, 78 .(۶-۱۳)*
6. Bauer, H.; Patel, M.; & Veira, J. (2014). The Internet of Things: Sizing up the opportunity (p. 7). McKinsey & Company.
7. Carolis, A. D.; Macchi, M.; Negri, E.; & Terzi, S. (2017). A Maturity Model for Assessing the Digital Readiness of Manufacturing Companies. In Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing (pp. 13-20). *Springer,* Cham .
8. Castelo Branco, I.; Cruz-Jesus, F.; & Oliveira, T. (2019). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry, 107,* 22-32 .
9. Danaeifar, H.; Alvani, S. M.; & Azar, A. (2014). *Qualitative research methodology in management: comprehensive expertise.* Tehran: Safar .
10. Dapari, R.; Ismail, H.; Ismail, R.; & Ismail, N. H. (2017). Application of Fuzzy Delphi in the Selection of COPD Risk Factors among Steel Industry Workers. *Tanaffos, 16 .۴۶-۵۲ ,(۱)*
11. Esfahani, A. N.; Sarand, V. F.; & Arian, A. (2015). Explain the Impact of Organizational Factors Affecting Food Safety Performance Using Fuzzy Dematel. *International Journal of Management Sciences, 5(7),* 531-543 .
12. Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0 - The Industrial Internet of Things* (Vol. 1). eBook, Apress .
13. Hizam, M.; Soomro, M. A.; & Abdullah, N. L. (2020). Industry 4.0 Readiness Models: A Systematic Literature Review of Model Dimensions. *Information, 11(7),* 364 .
14. Hooshmandi Maher, M.; Amiri, M.; & Olfat, L. (2013). An integrated model of choice in information review: Information technology capabilities. *The Journal of Industrial management perspective, 2(4),* 91-115. (In Persian)
15. Jamwal, A.; Agrawal, R.; Sharma, M.; & Giallanza, A. (2021). Industry 4.0 Technologies for Manufacturing Sustainability: A Systematic Review and Future Research Directions. *Applied Sciences, 11(12),* 5725 .

16. Jassbi, A.; Jassbi, J.; Akhavan, P.; Chu, M.; & Piri, M. (2015). An empirical investigation for alignment of communities of practice with organization using fuzzy Delphi panel. *VINE, 45(3),* 322-343. (In Persian)
17. Lichtblau, K.; Goerick ,D ;.Stich ,V .)۲۰۱۴) .Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses.
18. Kabak, O.; Ülengin, F.; Çekyay, B.; Önsel, S.; & Özaydın, O. (2016). Critical Success Factors for the Iron and Steel Industry in Turkey: A Fuzzy DEMATEL Approach. *International Journal of Fuzzy Systems, 18(3),* 523-536 .
19. Kiani Mavi, R.; & Standing, C. (2018). Critical success factors of sustainable project management in construction: A fuzzy DEMATEL-ANP approach. *Journal of Cleaner Production, 194,* 751-765 .
20. Kuo, Y.; & Chen, P. (2008). Constructing performance appraisal indicators for mobility of the service industries using Fuzzy Delphi Method. *Expert Systems with Applications, 35(4),* 1930-1939 .
21. Li, Y.; Hu, Y.; Zhang, X.; Deng, Y.; & Mahadevan, S. (2014). An evidential DEMATEL method to identify critical success factors in emergency management. *Applied Soft Computing, 22,* 504-510 .
22. Lin, Ch.; & Wu, W. (2008). A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications, 34(1),* 205-213 .
23. Liu, W. (2013). Application of the Fuzzy Delphi Method and the Fuzzy Analytic Hierarchy Process for the Managerial Competence of Multinational Corporation Executives. *International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning, 3(4),* 313-317 .
24. Ma, Zh.; Shao, Ch.; Ma, Sh.; & Ye, Z. (2011). Constructing road safety performance indicators using Fuzzy Delphi Method and Grey Delphi Method. *Expert Systems with Applications, 38(3),* 1509-1514 .
25. Machado, C. G.; Winroth, M. P.; & Silva, E. H. D. (2020). Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. *International Journal of Production Research, 58(5),* 1462-1484 .
26. Magruk, A. (2016). Uncertainty in the sphere of the Industry 4.0 – potential areas to research. Business. *Management and Education, 14(2),* 275-291 .
27. Mohammadfam, I.; Mirzaei Aliabadi, M.; Soltanian, A. R.; Tabibzadeh, M.; & Mahdinia, M. (2019). Investigating interactions among vital variables affecting situation awareness based on Fuzzy DEMATEL method. *International Journal of Industrial Ergonomics, 74,* 102842 .
28. Mohammadi, A.; Barahmand, F.; & Shojaei, P. (2019). Providing a framework for evaluating electronic readiness and action for electronic business in Ramek Dairy Company of Shiraz. *Information Technology Management* .۸۱۱-۸۳۲ ,(۴)۸ ,
29. Mojibi, T.; MahdiZadeh, A.; & mifar, M. (2012). Evaluation of the level of readiness to implement the comprehensive quality management system (TQM) in the active production cooperatives of the industry sector of Mazandaran province. *Journal of Industrial Strategic Management, 9(26),* 69-85 .
30. Monshizadeh, F.; Sadeghi Moghadam, M. R.; Mansouri, T.; & Kumar, M. (2023). Developing an industry 4.0 readiness model using fuzzy cognitive maps approach. *International Journal of Production Economics, 255,* 108658 .
31. Saremi, M.; Mousakhani, M.; & Abedini, M. (2008). Extraction and evaluation of indicators related to the readiness of the automotive industry for ERP implementation. *Management knowledge, 77(20),* 47-60 .

32. Shabani, S.; & Safaei, A. (2018). Analysis and measurement of factors affecting project risks to optimize the production system of Kale Amel company with the combined approach of fuzzy Delphi and Fuzzy Dimetal. (Vol. 1, p. 8). Presented at the The first international conference on systems optimization and business management .
33. Schumacher, A.; Erol, S.; & Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP, 52,* 161-166.
34. Stock, T.; & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP, 40,* 536-541 .
35. Talebi, Davoud.; & Arashpour, A. (2013). Evaluating educational performance with a comparative approach of network analysis and Dimatel. *The Journal of Industrial Management Perspective, 3(2),* 85-100. (In Persian)
36. Wu, W.; & Lee, Y. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert Systems with Applications, 32(2),* 499-507
37. Zhou, Q.; Huang, W.; & Zhang, Y. (2011). Identifying critical success factors in emergency management using a fuzzy DEMATEL method. *Safety Science, 49(2),* 243-252 .
38. Zutin, G. C.; Barbosa, G. F.; de Barros, P. C.; Tiburtino, E. B.; Kawano, F. L. F.; & Shiki, S. B. (2022). Readiness levels of Industry 4.0 technologies applied to aircraft manufacturing—a review, challenges and trends. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 120(1),* 927-943 .