

Analyzing Effective Components in Industry 4.0 Readiness Assessments

Mohammad Reza Bahrami*, Gholamreza Hashemzadeh^{ID**}

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.

Received: Sep. 04, 2022; Accepted: Dec. 15, 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 address: 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/>).

تحلیل مؤلفه‌های مؤثر بر ارزیابی آمادگی صنعت نسل چهارم

محمد رضا 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 در حرکت به سمت صنعت نسل چهارم است. در بخش کیفی این پژوهش با بررسی مبانی نظری و دریافت نظر خبرگان فرآیند طبقه‌بندی داده‌ها برای ایجاد گداهای اولیه، مقوله‌ها و گداهای محوری صورت گرفت که در نتیجه آن ۶۰ گد 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.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴.

* 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، به صورت مستمر در حال تغییر هستند. این سطح جدید سازمان اغلب «انقلاب صنعتی چهارم» یا «صنعت ۴.۰» نامیده می‌شود. ایده اصلی صنعت چهارم^۱ استفاده از فناوری‌های نوظهور به گونه‌ای 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 چهارم را می‌توان به عنوان 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 به عنوان هسته اصلی صنعت چهارم 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، فرآیندهای تولید و بخش‌های مختلف یک کارخانه از طریق استفاده از فناوری اینترنت اشیا^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 به طور 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 اشیا^۴ 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 چهارم، 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 به کار گیرند.

۱. Industry 4.0

۲. Internet of Things (IoT)

۳. Cyber-Physical Systems) CPS(

۴. Industrial 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 کیفی بودن این متغیرها تا حدی مبهم هستند. در نتیجه استفاده کردن از روش‌هایی که بتوانند این متغیرهای کیفی را به کمی 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 کمی و کمک به اجرای بهینه‌سازی فرایندها 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 لیختبلاو^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، پیش‌بینی شد که فناوری‌های نسل چهارم صنعت و رشد سالانه ۲۰۱ 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 عدم قطعیت‌های قابل توجه 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 پیش گرفته‌اند که این مهم به دلیل وجود موانعی همچون کمبود اطلاعات، ناآگاهی از خطرها و یا اطمینان از فرصت‌های مرتبط با نسل چهارم صنعت پدید آمده است [۱۲]. 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 از این رو نمی‌توانند برنامه‌ها و پروژه‌ها و مؤلفه‌های مورد نیاز را شناسایی کنند [۳۳].

با توجه به مسائل ذکر شده 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 چهارم، مسئله اصلی این پژوهش رفع موانع و بیان عواملی است که می‌توانند به سازمان‌ها و صنایع در ارزیابی سطح آمادگی صنعت چهارم کمک کرده و در این راستا ضمن شناسایی تأثیر گذرترین مؤلفه‌ها مشخص کنند چه مؤلفه‌هایی از بالاترین اولویت در حرکت به سمت صنعت چهارم برخوردار هستند.

ادامه‌ی مطالب ارائه شده 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، به منظور کسب توانایی برای مدیریت کل زنجیره‌ی ارزش، تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ از این رو شرکت‌ها به کمک فناوری‌های فیزیکی و مجازی نیاز دارند که همکاری و سازگاری سریع را برای کسب‌وکار و عملیاتشان فراهم کنند [۱۲]. از آنجاکه مدیران عامل در مورد نتایج پروژه‌های صنعت چهارم و هزینه‌های سرمایه‌گذاری در آن زمینه مطمئن نیستند و در مواردی حتی در مورد مفهوم صنعت چهارم نیز با کمبود دانش مواجه هستند، برای پیاده‌سازی و اجرای استراتژی‌های صنعت چهارم در صنایع مختلف ارزیابی سطح آمادگی به صورت 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 عدم موفقیت 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 قراردادن 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 دیجیتال 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 دیجیتال 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 دیجیتال‌سازی، رایانش ابری، اینترنت اشیا و کلان‌داده‌ها تفسیر نموده و بیان داشتند از آنجا که تاکنون در مجامع علمی

۱. Carolis

۲. Branco

۳. Eurostat

شاخص‌هایی به‌طور خاص به مفاهیم صنعت ۴۰۰ اختصاص نیافته و تعریف مرزبندی شده کاملی از مفهوم صنعت چهار ارائه نشده است، اندازه‌گیری نحوه پذیرش صنعت ۴۰۰ توسط بخش تولید اندکی چالش‌برانگیز است. طی بررسی آن‌ها در شرکت‌های تولیدی در سراسر کشورهای اتحادیه اروپا مطابق با اطلاعات جمع‌آوری شده صنعت ۴۰۰ مفهومی است که نشان‌دهنده پذیرش تکنیک‌ها و فرآیندهای مجاز توسط شرکت‌های صنعتی برای به‌دست‌آوردن مزیت‌های رقابتی در بازارهای داخلی و جهانی توسط دیجیتال‌سازی، رایانش ابری، اینترنت اشیا و کلان‌داده‌ها شکل گرفته است و وجود یک زیرساخت دیجیتال همراه با قابلیت‌های تحلیل کلان‌داده‌ها به‌عنوان دو بُعد اصلی در سنجش آمادگی برای صنعت ۴۰۰ شناسایی شدند [۸].

حیزام^۱ و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی با عنوان «مدل‌های آمادگی صنعت ۴۰۰: مروری سیستماتیک بر مبانی نظری ابعاد مدل» بیان داشتند یک سازمان باید به‌صورت دیجیتال 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 ۴۰۰ 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 از این‌رو 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 ۴۰۰ 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 اشیا 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 - 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. با این حال، از آنجاکه 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 ۴۰ در درازمدت با صرفه‌جویی در زمان و هزینه از نظر اقتصادی به صرفه 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 در نهایت 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 ۴۰ 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 ۴۰ روش‌های ارزشمندی برای کمک به سازمان‌های تولیدی در ردیابی توسعه کسب‌وکار و عملیات خود است؛ با وجود این 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، در نهایت 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 ۴۰

موضوع پژوهشگر (سال)	سیستم‌های سایبری - فیزیکی	مقیاس پذیری	حقوق مالکیت معنوی	پلتفرم ابری	یکپارچه‌سازی و ماژولاریت بودن	کلان داده	اینترنت اشیا	قابلیت یاد رنگ	مجازی سازی	غیر متمرکز سازی	پویایی محیط کار	استانداردهای بین‌المللی	مدیریت تولید و کیفیت	حمایت و رهبری	عملکرد و توانمندی سازمانی	زیرساخت فناوری و ارتباطات	قوانین دولتی و نهادها	مدیریت منابع و سرمایه‌گذاری
ارائه چارچوبی برای ارزیابی آمادگی الکترونیکی و اقدام برای تجارت الکترونیک در شرکت لبنیاتی رامک شیراز												✓			✓			
ارزیابی میزان آمادگی اجرای سیستم مدیریت کیفیت جامع (TQM)												✓	✓					
استخراج و ارزیابی شاخص‌های مرتبط با آمادگی صنعت خودروساز برای پیاده‌سازی ERP														✓	✓	✓		

✓		✓		✓	یک مدل بلوغ برای ارزیابی آمادگی دیجیتالی شرکت‌های تولیدی	
	✓		✓	✓	✓	صنعت ۴۰۰ گیل کرایست ایتترنت (۲۰۱۶)، صنعتی ایشیا
	✓	✓	✓		✓	ارزیابی آمادگی صنعت ۴۰۰ در تولید: برانکو و شواهدی همکاران، (۲۰۱۹) برای اتحادیه اروپا
				✓	✓	مدل‌های آمادگی صنعت ۴۰۰: حیزام و مروری همکاران، سیستماتیک ک بر ادبیات ابعاد مدل
✓	✓	✓	✓	✓	✓	سطوح آمادگی فناوری‌های به کاررفته زاتین و صنعت ۴۰۰ در ساخت همکاران، هوایما - (۲۰۲۲) بررسی، چالش‌ها و روندها
	✓			✓	✓	توسعه یک مدل آمادگی صنعت ۴۰۰ منشی‌زاده و همکاران، (۲۰۲۲)

با استفاده از	
رویکرد	
نقشه‌های	
شناختی	
فازی	
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 ۴۰، به صورت 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. روش شناسایی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، توسعه‌ای - کاربردی و از لحاظ ماهیت داده‌ها، کیفی و کمی 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 هیئت علمی رشته‌های مرتبط با صنعت و خبرگان مدیریت صنعتی انتخاب شدند. فرآیند طبقه‌بندی داده‌ها در این بخش از پژوهش برای ایجاد کدها و مقوله‌ها توسط نرم‌افزار مکس کیودی‌ای^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 ۴۰ دارای حداقل سطح تحصیلات لیسانس و سابقه پنج‌ساله اجرایی و مدیریتی می‌بودند. نمونه‌گیری پژوهش از نوع نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند و اطلاعات محور بود و تا رسیدن به مرحله اشباع نظری ادامه یافت [۹].

۱. MAXQDA

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].

از روش فازی به‌دلیل در نظر گرفتن مسائل ذهنی و عدم قطعیت 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 تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری شده حاصل از پرسشنامه‌ها و کدگذاری‌های انجام شده 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، به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین نسخه‌های روش دلفی، از اعداد فازی مثلثی برای خلاصه کردن دیدگاه‌های به دست آمده 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 در نتیجه 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 تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده است [۲۷]. در ادامه سعی شده است یکی از متداول‌ترین روش‌های ارائه شده برای دلفی فازی به صورت گام به گام توضیح داده شود و گام‌های تجزیه و تحلیل 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 مورد استفاده در تعیین میزان اهمیت مؤلفه‌های روش دلفی فازی

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

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

با فرض اینکه ارزش فازی هر یک از سؤال‌ها به صورت $\tilde{A}_j = (L_j \cdot M_j \cdot U_j)$ نمایش داده شود، به طوری که L_j حد پایین، M_j حد وسط و U_j حد بالای این عدد فازی باشد، خواهیم داشت:

$$L_j = \text{Min}(x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$M_j = \left(\prod_{i=1}^{n,m} x_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$U_j = \text{Max}(x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه (۳)}$$

مفهوم هر یک از متغیرها و پارامترهای ارائه شده در روابط بالا به صورت زیر است:
 L_j : حد پایین ارزش فازی سؤال یا شاخص زام پرسشنامه که برابر با کوچک‌ترین مقداری است که خبرگان به سؤال (شاخص) زام تخصیص داده‌اند.
 M_j : حد وسط ارزش فازی سؤال یا شاخص زام پرسشنامه که برابر با میانگین هندسی کلیه نظرات خبرگان برای سؤال (شاخص) زام است.

U_j : حد بالای ارزش فازی سؤال یا شاخص Z_j پرسشنامه که برابر با بزرگ‌ترین مقداری است که توسط خبرگان به سؤال (شاخص) Z_j تخصیص داده شده است.
 x_{ij} : مقدار تخصیص داده شده توسط خبره i ام به شاخص Z_j .
 \bar{A}_j : ارزش فازی مثلثی سؤال یا شاخص Z_j .

مرحله ۳- تبدیل ارزش فازی به دست‌آمده برای هر یک از سؤال‌ها به مقدار دی‌فازی شده (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 به دست‌آمده برای هر یک از سؤال‌ها را دی‌فازی نمود تا امکان مقایسه و ارزیابی به وجود آید. برای دی‌فازی کردن ارزش فازی از رابطه ۴، استفاده شده است [۲۰].

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

مرحله ۴- ارزیابی سؤال‌ها بر اساس حد آستانه‌ای (r): پس از محاسبه مقدار دی‌فازی (قطعی شده) 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 $0/8$ 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:

- اگر $S_j \geq r$ باشد، به این مفهوم است که سؤال (شاخص) Z_j از اهمیت بالایی برخوردار است.
 - اگر $S_j < r$ باشد، به این مفهوم است که سؤال (شاخص) Z_j از اهمیت کمی برخوردار است.
 که به علت اهمیت کم این سؤال‌ها می‌توان آن‌ها را حذف کرد.

در صورتی که در مرحله چهارم، شاخصی پایین‌تر از حد آستانه مشخص نشد، فرآیند گام‌های طی شده متوقف می‌شود و در غیر این صورت نتایج اصلاح شده برای نوبت بعدی دلفی در اختیار خبرگان قرار خواهد گرفت.

روش دیمتل فازی: در روش دیمتل می‌توان مسائل کیفی را به معیارهای کمی 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^۱ استفاده می‌شود؛ در نتیجه با توجه به ابهام و عدم اطمینان از نظر زبانی، نتایج دارای دقت و صحت کم هستند. برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر و واقعی‌تر می‌توان از اعداد فازی برای تعیین کمیت اصطلاحات زبانی به جای مقادیر واضح استفاده کرد؛ در نتیجه به دلیل ویژگی‌های اعداد فازی، عدم اطمینان 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^۲ (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 علی و مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر آمادگی صنعت ۴۰ 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. به دست آوردن نظرهای کارشناسان و تجزیه و تحلیل 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^۳ که در جدول ۳، نشان داده شده است، به سؤال‌های ماتریس $n \times n$ با روابط زوجی پاسخ دادند [۲۱].

جدول ۳. اصطلاحات زبانی و اعداد فازی مثلثی

اعداد فازی	واژه‌های زبانی برای مقایسات زوجی
(۱، ۱، ۰/۷۵)	تأثیر خیلی بالا (VH) ^۴
(۱، ۰/۷۵، ۰/۵)	تأثیر بالا (H) ^۵
(۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵)	تأثیر پایین (L) ^۶
(۰، ۰/۲۵، ۰/۵)	تأثیر خیلی کم (VL) ^۷

۱. Crisp

۲. Wu

۳. Lin & Wu

۴. Very high influence

۵. High influence

۶. Low influence

۷. Very low influence

بدون تأثیر (No)	.	(۰، ۰، ۰/۲۵)
-----------------	---	--------------

گام ۲- ایجاد ماتریس روابط مستقیم فاز \tilde{E}^k ; γ ماتریس فاز γ با رابطه مستقیم \tilde{E}^k به‌ازای تمامی خبرگان ایجاد می‌شود.

$$\tilde{E}^k = \begin{bmatrix} 0 & \dots & \tilde{E}_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{E}_{n1}^k & \dots & 0 \end{bmatrix}, K = 1, 2, \dots, p \quad \text{رابطه (۵)}$$

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

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

$$\tilde{E}^k = \begin{bmatrix} 0 & \dots & \tilde{E}_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{E}_{n1}^k & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۷)}$$

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

گام ۳- ماتریس روابط مستقیم فاز نرمالایز شده \tilde{F} به کمک روابط زیر محاسبه می‌شود.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

در فرمول‌های بالا ماتریس I به معنای ماتریس همانی $n \times n$ است.

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

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

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

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

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

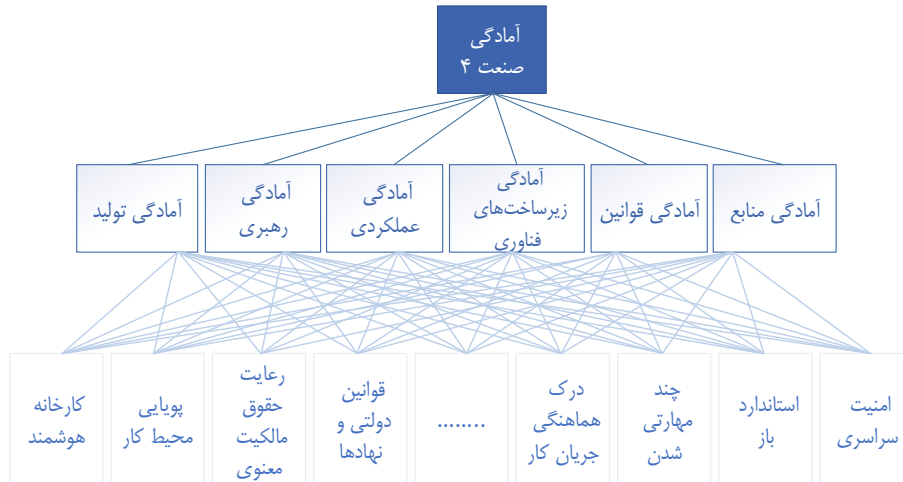
$$R = \sum_{i=1}^n t_{ij}, (i = ۱, ۲, ۳, \dots, n) \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

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 تجزیه و تحلیل 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. به عبارت دیگر 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. به‌طور کلی اگر $(D - R)$ مثبت باشد، متغیر یک متغیر علی محسوب می‌شود و اگر منفی باشد، معلول به حساب می‌آید.

در پایان چارچوب مفهومی پژوهش با لحاظ کردن 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 کدهای اولیه، مقوله‌ها و کدهای 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 کدگذاری محوری، تجزیه و تحلیل اطلاعات انجام شود. جدول ۴، نمایانگر ۶ مقوله و خلاصه‌ای از ۶۰ کد اولیه استخراج‌شده از بخش کیفی پژوهش است که خلاصه‌ای از آن نشان داده شده است.

جدول ۴. گُدهای اولیه، مقوله‌های استخراج‌شده در نرم‌افزار مکس کیودی‌ای

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

با توجه به جدول ۴، مقوله‌های زیر که مؤلفه‌های اصلی آمادگی صنعت نسل چهارم 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 به صورت جامع تر دربردارنده قوانین دولتی و نهادهای رعایت حقوق مالکیت معنوی است. **آمادگی فناوری اطلاعاتی:** آمادگی پذیرش، استفاده و به کارگیری مؤثر فناوری اطلاعات و ارتباطات و کاربردهای آن در صنعت نسل چهارم است که به صورت جامع تر به وجود زیرساخت‌های فناوری، مقیاس پذیری و شبکه ارتباطات هوشمند اشاره دارد. **آمادگی عملکردی:** آمادگی فعالیت‌ها و اقدام‌هایی که پیشاپیش برای اطمینان از پاسخ مؤثر به فعالیت‌های درحال انجام و ارتقای فرآیندهای آتی است که به صورت جامع تر دربردارنده پویایی محیط کار و مدیریت ارتباط با مشتری است.

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

آمادگی تولید: به آمادگی برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت موفقیت آمیز یک سیستم گفته می‌شود که ضمن ارزیابی سطح بالایی از فرصت‌های تولیدی دربردارنده مؤلفه‌هایی همچون ارتباط پذیری و اشتراک گذاری، یکپارچه سازی و کارخانه هوشمند است.

نتایج حاصل از دلفی فازی: به منظور 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 به دست آمده است، طراحی شد. در مرحله نخست نظرسنجی انجام شده از خبرگان دلفی فازی پس از توزیع، جمع‌آوری پرسشنامه‌ها و تقسیم بندی دیدگاه‌های پیشنهادی و اصلاحی، بر اساس حد آستانه تعیین شده نسبت به تأیید و رد مؤلفه‌های موجود اقدام شد که خلاصه‌ای از نتایج به دست آمده در جدول ۵، ارائه شده است.

جدول ۵. نتایج دور اول دلفی فازی

مؤلفه	معیار	زیرمعیار	رتبه	میانگین فازی			حد وسط	نتیجه نهایی
				U	M	L		
آمادگی منابع		چندمهارتی شدن	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	۴۰۰	رد
		نیازسنجی و استخدام هدفمند	۵	۰/۳۴	۰/۴۰	۰/۴۹	۰/۴۱	رد
آمادگی دانش و تبادل اطلاعات		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 پیمان‌های بودن	۵۸	۰/۳۸	۰/۵۱	۰/۶۶	۰/۵۲	رد
		سیستم‌های سایبری - 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 انجام شده در این مرحله نیز از مجموع ۳۳ زیرمعیار، ۱۶ زیرمعیار حذف و ۱۷ زیرمعیار باقی ماند. در نهایت پس از برگزاری دور سوم نظرسنجی خبرگان، هیچ معیاری از آستانه ۰/۸ پایین تر گزارش نشد؛ بنابراین در این مرحله فرآیند گام‌های طی شده 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			دیدگاههای خبرگان در پرسشنامه دوم	حد وسط +/۸	نتیجه نهایی
				U	M	L			
آمادگی منابع		چندمهارتی شدن	۱	۰/۷۷	۰/۹۱	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۰	تأیید
			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
			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
			۶	۰/۷۷	۰/۹۱	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۰	تأیید
آمادگی عملکردی		شبکه و ارتباطات هوشمند	۷	۰/۸۱	۰/۹۴	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۲	تأیید
			۸	۰/۷۸	۰/۹۲	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۰	تأیید
آمادگی رهبری		پویایی محیط کار	۹	۰/۸۶	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۵	تأیید
			۱۰	۰/۸۳	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۳	تأیید
آمادگی تولید		مدیریت ارتباط با مشتری	۱۱	۰/۸۶	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۵	تأیید
			۱۲	۰/۸۳	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۳	تأیید
		غیرمتمرکزسازی	۱۳	۰/۷۵	۰/۹۰	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۸۹	تأیید
			۱۴	۰/۸۸	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۶	تأیید
		ارتباط پذیری و اشتراک‌گذاری	۱۵	۰/۸۸	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۴	تأیید
			۱۶	۰/۹۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۸	تأیید
		سیستم‌های سایبری-فیزیکی	۱۷	۰/۸۸	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۶	تأیید
		پلتفرم ابری							

نتایج حاصل از دیمتل فازی: در این بخش برای بررسی روابط علی و معلولی معیارهای استخراج شده 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 نرمالایز شده به کمک روابط ۱۵، ۱۶ و ۱۷ به ماتریس روابط کلی فازی تبدیل و به کمک روابط ۱۸ و ۱۹، نسبت به غیرفازی کردن مقادیر به‌دست‌آمده اقدام شد که نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۷، ارائه شده است.

جدول ۷. ماتریس روابط کلی دی‌فازی شده

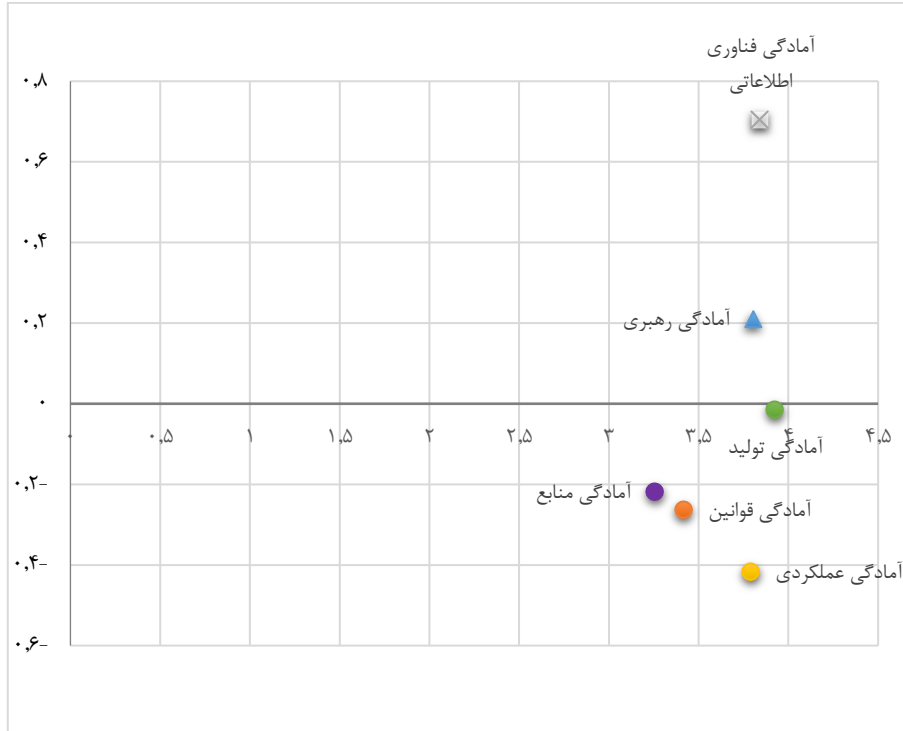
آمادگی منابع	آمادگی قوانین	آمادگی فناوری اطلاعاتی	آمادگی عملکردی	آمادگی رهبری	آمادگی تولید
۰/۱۸۲	۰/۲۴۹	۰/۲۳۳	۰/۲۸۹	۰/۲۴۷	۰/۳۲۱
۰/۲۴۴	۰/۱۹۳	۰/۱۹۹	۰/۲۹۱	۰/۳۳۲	۰/۳۱۸
۰/۳۵۶	۰/۴۰۷	۰/۲۳۸	۰/۴۵۵	۰/۳۷۳	۰/۴۴۵
۰/۲۵۷	۰/۳۵۰	۰/۳۷۴	۰/۲۳۵	۰/۲۷۶	۰/۲۹۶
۰/۳۶۹	۰/۳۳۷	۰/۳۰۷	۰/۴۱۸	۰/۲۳۷	۰/۳۳۷
۰/۳۳۰	۰/۳۰۴	۰/۳۱۸	۰/۴۱۶	۰/۳۳۴	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 تجمیع شده 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 در نظر گرفتن جدول ۸، نمودار علت و معلول مؤلفه‌ها نیز به صورت شکل ۳، به دست آمد.



شکل ۳. نمودار اهمیت و تأثیرگذاری معیارها

مطابق اطلاعات ارائه شده 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 تجمیع شده نهایی زیرمعیارها

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

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

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 «ارتباط‌پذیری 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 ۴۰ 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 قابل توجه بهره‌وری تولید دارند و روند تولیدی نوینی را در صنایع به ارمغان آوردند 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 چهارم 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 چهارم انجام شده‌اند، تنها به معرفی عوامل مؤثر برای دستیابی به مفاهیم صنعت چهارم پرداخته و به تعیین میزان تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری مؤلفه‌های آمادگی سازمان‌ها در صنعت چهارم 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 چهارم 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 معرف‌شناسی 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 چهارم و سابقه ۵-۱۰ ساله اجرایی و مدیریتی بوده است، فرآیند طبقه‌بندی داده‌ها در این بخش از پژوهش برای ایجاد گداهای اولیه، مقوله‌ها و گداهای محوری صورت پذیرفت و در نتیجه آن ۶۰ گد 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 در نظر گرفته‌شده 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 چندمهارتی شدن 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، ارتباط‌پذیری و اشتراک‌گذاری، کارخانه هوشمند، کارخانه هوشمند و پلتفرم ابری به‌عنوان مؤلفه‌های ارزیابی آمادگی صنعت نسل چهارم مورد اجماع نظر خبرگان قرار گرفتند که در مقایسه با مؤلفه‌های شناسایی شده در مدل‌های بررسی شده 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 صورت گرفته 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 پس‌از آن «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 پس‌از آن «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.

در میان زیرمعیارها نیز دو زیرمعیار «وجود زیرساخت‌های فناوری» و «سرمایه‌گذاری» به ترتیب 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 چهارم 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 - فیزیکی تأکید می‌کند که سازمان‌ها و صنایع باید مؤلفه‌های تأثیرگذار سرمایه‌گذاری و وجود زیرساخت‌های فناوری 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 چهارم، 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 منافی 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* . ۱۱-۱۳۲, (۴)۱,
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 .