Ind. Manag. Persp. 2025, 15(2), 74-97; doi: 10.48308/JIMP.15.2.74

Industrial Management Perspective

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

Original Article

Identifying and Ranking Factors Affecting the Improvement of Manufacturing Flexibility in International High-Tech SMEs Based on Industry 4.0

Samaneh Ghorbani Moghadam*
Mostafa Ebrahimpour Azbari**
Mohammad Rahim Ramazanian***

Extended Abstract

Introduction: Nowadays, in order to compete and respond to the growing expectations of customers, attention to advanced manufacturing and production systems is essential. Flexibility in production is one of these advanced production and operations concepts used by some industries to improve performance and efficiency. The Fourth Industrial Revolution enables independent data collection and analysis, as well as interaction between products, processes, suppliers, and customers through the Internet. Combining Industry 4.0 technologies with a flexible manufacturing system can help manufacturers increase speed, efficiency, and coordination. Considering that most manufacturing companies are small and medium-sized enterprises (SMEs), increasing production flexibility at a reasonable cost and upgrading production to the highest quality to meet customer needs is felt more than ever in SMEs, especially international high-tech companies focusing on the commercialization of new technologies. This research was conducted with two objectives: identifying and ranking the most important factors affecting production flexibility in international high-tech SMEs based on Industry 4.0.

Methods: The present research is mixed-method (quantitative and qualitative) in terms of type and methodology. In the qualitative part, six main criteria and twenty-eight sub-criteria were identified through library resources and literature review. After identifying the criteria and sub-criteria, a Delphi questionnaire was used in two rounds to determine the most important factors. In the first round, 14 experts and in the second round, 11 experts in the field of Industry 4.0 and flexible production participated. For ranking the criteria and sub-criteria using the SWARA method, 21 experts—including university professors and production specialists from international high-tech SMEs—were selected. The samples were chosen using the snowball method. The designed questionnaires were distributed electronically, and the responses were collected using a Likert scale.

Received: Mar. 15, 2024; Revised: Oct. 02, 2024; Accepted: May. 11, 2025; Published Online: May. 27, 2025.

* Master's student, Department of Management, Faculty of Management and Economics, University of Guilan, Rasht, Iran.
** Professor, Department of Management, Faculty of Management and Economics, University of Guilan, Rasht, Iran.
Corresponding Author: m.ebrahimpour@guilan.ac.ir
*** Associate Professor, Department of Management, Faculty of Management and Economics, University of Guilan, Rasht, Iran.

Ind. Manag. Persp. 2025, 15(2), 74-97; doi: 10.48308/JIMP.15.2.74

Industrial Management Perspective

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

Original Article

Results and discussion: The criteria and sub-criteria identified through the Delphi method were provided to experts for ranking. Based on the average weight assigned and the relative importance of each criterion and sub-criterion, their ranking was determined using the SWARA method. The most important identified criteria include: supply chain intelligence and integration, robotics, Internet of Things, data mining and cloud computing, and digital twins. The developing technologies of Industry 4.0 have the potential, through the identified criteria and sub-criteria, to strengthen flexible manufacturing systems and increase industrial production efficiency.

Conclusion: Identifying the factors affecting increased production flexibility in international high-tech SMEs and analyzing the data after ranking using the SWARA method were conducted with the aim of helping managers of high-tech companies to recognize and apply appropriate management tools. Presenting the results of this research assists managers in making significant changes and implementing new measures in manufacturing companies to enter global markets with lower costs and fewer errors, thereby achieving more successful business development. Utilizing these capabilities in dynamic and competitive environments can also lead to greater success in increasing exports and internationalization.

Key words: Manufacturing flexibility; Fourth Industrial Revolution; International high-tech SMEs; SWARA technique; Delphi method.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

How to Cite: Ghorbani Moghadam, Samaneh; Ebrahimpour Azbari, Mostafa; Ramazanian, Mohammad Rahim (2025). Identifying and Ranking EffectiveFactors of Improving Manufacturing Flexibility in International High-tech SME According to Industry 4.0. *Ind. Manag. Persp.*, 15(2), 74-97 *(In Persian)*.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۲، صص ۷۴– ۹۷، doi: 10.48308/JIMP.15.2.74

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

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

نوع مقاله: پژوهشی

شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر ارتقای انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط تکنولوژی محور بین‌المللی باتوجه‌به صنعت ۴.۰

سمانه قربانی مقدم*

مصطفی ابراهیم پور ازبری**

محمدرحیم رمضانیان***

چکیده گسترده

مقدمه و اهداف: امروزه به‌منظور رقابت و پاسخگویی به انتظارات روزافزون مشتریان، توجه صنایع تولیدی به سیستم‌های ساخت و تولید پیشرفته ضروری است. انعطاف‌پذیری در تولید یکی از این مفاهیم پیشرفته تولید و عملیات است که توسط برخی صنایع برای بهبود عملکرد و کارایی استفاده می‌شود. انقلاب صنعتی چهارم امکان جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل مستقل داده‌ها و همچنین تعامل بین محصولات، فرایندها، تأمین‌کنندگان و مشتریان را از طریق اینترنت فراهم می‌کند. ترکیب فناوری‌های صنعت ۴.۰ با سیستم تولید انعطاف‌پذیر می‌تواند به تولیدکنندگان کمک کند تا سرعت، کارایی و هماهنگی را افزایش دهند. باتوجه به اینکه اکثر شرکت های تولیدی کوچک و متوسط هستند، افزایش انعطاف‌پذیری تولید با هزینه مناسب و ارتقای تولید به بالاترین کیفیت که پاسخگوی نیاز مشتریان باشد، در شرکت‌های کوچک و متوسط، به ویژه شرکت‌های فناوری محور بین‌المللی که بر تجاری‌سازی فناوری‌های جدید تمرکز دارند، بیش از گذشته احساس می‌شود. پژوهش انجام شده با دو هدف شناسایی و رتبه‌بندی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط بین‌المللی با فناوری پیشرفته بر اساس صنعت ۴.۰ انجام شده است.

روش‌ها: پژوهش حاضر از نظر نوع و روش تحقیق آمیخته (کمی و کیفی) است. در بخش کیفی با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و مرور پیشینه ۶ معیار اصلی و ۲۸ زیرمعیار شناسایی شد. پس از شناسایی معیارها و زیرمعیارها، از پرسشنامه دلفی در دو دور برای شناسایی مهم‌ترین عوامل استفاده شد. خبرگان برای شناسایی عوامل مؤثر بر افزایش انعطاف‌پذیری تولید در دور اول شامل ۱۴ متخصص و در دور دوم دلفی شامل ۱۱ نفر در زمینه صنعت ۴.۰ و تولید انعطاف‌پذیر بودند. خبرگان برای رتبه‌بندی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از روش سوآرا شامل ۲۱ کارشناس از اساتید دانشگاه و کارشناسان تولید در شرکت‌های بین‌المللی کوچک و متوسط با فناوری پیشرفته انتخاب شدند. نمونه‌ها به روش گلوله‌برفی انتخاب شدند. پرسشنامه‌های طراحی شده به صورت الکترونیکی توزیع شد و پاسخ‌ها با استفاده از مقیاس لیکرت طراحی شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۰۶.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

** استاد، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

نویسنده مسئول : m.ebrahimpour@guilan.ac.ir

*** دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۲، صص ۷۴– ۹۷، doi: 10.48308/JIMP.15.2.74

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

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

نوع مقاله: پژوهشی

یافته‌ها: معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده در روش دلفی، جهت رتبه‌بندی در اختیار خبرگان قرار گرفت که باتوجه‌به میانگین وزن اختصاص‌داده‌شده و اهمیت نسبی هر معیار و زیرمعیار، رتبه‌ی آنها توسط روش سوآرا شناسایی شد. مهم‌ترین معیارهای شناسایی شده به ترتیب شامل: هوشمندی و یکپارچگی زنجیره تأمین، رباتیک، اینترنت اشیا، داده‌کاوی و رایانش ابری و دوقلوهای دیجیتال می‌باشند. فناوری‌های درحال‌توسعه صنعت ۴.۰ این پتانسیل را دارند که از طریق معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده در پژوهش، موجب تقویت سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر و بالابردن راندمان تولید صنعتی شوند

نتیجه‌گیری شناسایی عوامل مؤثر در افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها پس از رتبه‌بندی با استفاده از روش سوآرا، باهدف شناخت و استفاده مناسب از ابزارهای مدیریتی برای مدیران شرکت‌های فناوری محور بین‌المللی انجام شده است. ارائه‌ی نتایج پژوهش به مدیران این شرکت‌ها که بر تحقیق و توسعه تمرکز دارد و تأکید اصلی آن، بر بهره‌برداری از دانش فنی و افزایش حضور و مشارکت در بازارهای جهانی است کمک می‌کند که تغییرات مهم و اقدامات جدید را در شرکت‌های تولیدی برای حضور در بازارهای جهانی با هزینه و خطای کمتر انجام دهند و اجرای موفق‌تری را در جهت پیشرفت کسب‌وکار داشته باشند، از این امکانات در محیط‌های رقابتی پویا و فعال استفاده کرده و در افزایش صادرات و بین‌المللی شدن موفقیت بیشتری کسب کنند.

واژگان کلیدی: انعطاف‌پذیری تولید؛ انقلاب صنعتی چهارم؛ شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی؛ تکنیک سوآرا؛ روش دلفی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناددهی: قربانی مقدم، سمانه؛ ابراهیم‌پور ازبری، مصطفی؛ محمدرحیم، رمضانیان (۱۴۰۴). شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر ارتقای انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط تکنولوژی محور بین‌المللی باتوجه‌به صنعت ۴.۰. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۵(۲)، ۷۴-۹۷.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

عوامل غیرقابل‌پیش‌بینی و چرخه‌های نوآوری کوتاه، باعث پویایی‌های پیچیده در بازارمی شود. این عوامل نیازمند حداکثر انعطاف‌پذیری از سوی شرکت‌های تولیدی و سیستم‌های تولیدی پیشرفته و به‌روز در آن‌ها است [۵۰]. انعطاف‌پذیری در تولید به سیستم تولید اجازه می‌دهد در مقابل تغییرات عکس‌العمل سریع و به‌موقع داشته باشد. برای بقا در بازار رقابتی امروز، تولید محصول باید مطابق سلیقهٔ مشتری باشد. تغییر پیوسته‌ی نیازهای مشتریان، موجب عدم قطعیت تقاضا شده است شرکت‌های تولیدی برای کسب سهمی از این بازار رقابتی باید انواع زیادی از محصولات را در حجم پایین، با نازل‌ترین قیمت و کوتاه‌ترین زمان تحویل، تولید کنند. سیستم‌های تولید سنتی، مانند سیستم‌های تولید کارگاهی و تولید انبوه، دیگر پاسخگوی این شرایط نیستند؛ براین‌اساس سیستم تولید انعطاف‌پذیر[1] (FMS) می‌تواند پاسخگوی حجم عظیم تغییرات به وجود آمده شود [۳۷]. هدف اصلی از به‌کارگیری سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر، استفاده از صرفه‌جویی در مقیاس (که از مزایای سیستم تولید انبوه است) [۴۷]، در تولیدات نیمه انبوه یا سفارشی‌سازی است. انعطاف‌پذیری در عملیات تولیدی روشی کارا براي پاسخ اثربخش به تقاضاي بازار می‌باشد که با تأخیر کم، محصولات متنوع را به‌صورت کارا با حداقل موجودي عرضه می‌کند [۵۰، ۵۲]. انعطاف‌پذیري تولید، سازمان‌ها را آماده می‌سازد تا بتوانند سطوح تولید را به‌سرعت تغییر دهند، محصولات جدید را با سرعت توسعه دهند و با سرعت بیشتري به تهدیدات رقابتی پاسخ دهند [۴۵]. سیستم تولید انعطاف‌پذیر بر اساس صنعت ۴.۰ به‌عنوان یک پارادایم صنعتی منحصربه‌فرد شناخته می‌شود؛ این پارادایم مبتنی بر پذیرش گستردهٔ فناوری اطلاعات و ارتباطات است که منجر به بهبود عملکرد و انعطاف سازمانی می‌شود. به‌کارگیری صنعت ۴.۰ به‌عنوان تغییردهنده‌ی صنعت تولید، درواقع همان انعطاف‌پذیری و سفارشی‌سازی است [۱۵].

در عصر حاضر بسیاری از مدیران برای موفقیت در رقابت جهانی شرکت‌ها به طور فزاینده‌ای نیاز سیستم تولید انعطاف‌پذیر را برای استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ کاملاً احساس کرده و حتی برای استفاده‌ی درست و بهینه در دوره‌های آموزش شرکت می‌کنند. حرکت سیستم تولیدي از سمت تولید صنعتي به فراصنعتي باعث افزایش قابلیت شرکت‌های تولیدي در ارائه‌ی محصولات با قیمت پائین‌تر، کیفیت و انعطاف بالاتر و تحویل مناسب می‌شود و این امر در سایهٔ تکنولوژی‌های نوین تولید امکان پذیراست [۴۳]. صنعت ۴.۰ که به‌عنوان چهارمین تحول تکنولوژیک به سمت سیستم‌های فیزیکی - دیجیتال در تولید شناخته می‌شود، نقش به سزایی در صنایع تولیدی ایفا می‌کند [۵۸]. سیستم تولید انعطاف‌پذیر بر اساس صنعت ۴.۰ به‌عنوان یک پارادایم صنعتی منحصربه‌فرد شناخته می‌شود. این پارادایم مبتنی بر پذیرش گستردهٔ فناوری اطلاعات و ارتباطات است که منجر به بهبود عملکرد و انعطاف سازمانی می‌شود .

یکی از عوامل پیشرفت در هر کشوري وجود شرکت‌هاي فناوري محور است به‌منظور توسعه شرکت‌هاي فناوري محور همواره باید به دنبال عواملی بود که منجر به بهبود عملکرد آن‌ها شود. در این راستا، این شرکت‌ها به‌منظور تثبیت برتري در رقابت و بهبود عملکرد، به‌شدت نیازمند قابلیت‌های پویا هستند؛ زیرا محور اصلی این شرکت‌ها مبتنی بر فناوري است که از نرخ بالاي تغییرات برخوردار است [۱۲]. بین‌المللی شدن شرکت‌ها، به‌خصوص از طریق سرمایه‌گذاری برای ارتقای فناوری، باعث بالارفتن شدت رقابتی می‌شود، به‌ویژه رقابت در توسعه فناوری‌های مبتنی بر اینترنت و تکنولوژی پیشرفته، عمیق‌تر می‌شود .بین‌المللی شدن شرکت‌ها، فرایندی است که در آن شرکت‌ها به‌تدریج حضور و مشارکت خود را در بازارهای جهانی افزایش می‌دهند. این فرایند به شرکت‌هایی مربوط می‌شود که به دلایلی مانند اشباع بازارهای داخلی و مواجهه با تهدیدات رقابتی در داخل، تأمین بخشی از منابع ارزی موردنیاز، و وجود عوامل تولید ارزان‌تر در جستجوی فرصت‌هایی برای رشد و توسعه به بازارهای خارجی وارد می‌شوند. بنگاه‌ها زمانی بین‌المللی می‌شوند که محصولات آنها مراحل بلوغ خود را طی کرده و بتوانند محصولات استانداردی را در مقیاس اقتصادی تولید نمایند؛ شرکت‌های تولیدی به‌خصوص شرکت‌های کوچک و متوسط تکنولوژی محور بین‌المللی که برای حضور در عرصه‌ی صادرات برنامه‌ریزی می‌کنند، باید علاوه بر اینکه فرایند تولید خود را کارآمدتر سازماندهی کنند، از طریق ارتباط انسان با ماشین محصولات باکیفیت‌تری نیز تولید کنند [۵۳، ۵۴]. برای افزایش تولید به‌خصوص انعطاف‌پذیری در تولید، تولیدکنندگان باید از تجهیزات

1. Flexible Manufacturing System

و فرصت‌های چهارمین انقلاب صنعتی استفاده کنند. لازمه‌ی اتخاذ استراتژي تولید انعطاف‌پذیر از سوی شرکت‌ها این است که تولیدکنندگان به عواملی که بر این نوع تولید تأثیر می‌گذارد کاملاً واقف باشند

باتوجه‌به اینکه امروزه رقابت بر سر استفاده از فناوری مدرن‌تر، از اهداف بلندمدت بسیاری از واحدهای تولیدی موفق است، مقاله حاضر به شناسایی و رتبه‌بندی عوامل موثر بر افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی با رویکرد به‌کارگیری از فناوری صنعت ۴.۰ می‌پردازد. عدم شناسایی دقیق معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌ها، ممکن است موجب این شود که عوامل کلیدی مؤثر بر افزایش انعطاف‌پذیری تولید نادیده گرفته شوند که این امر می‌تواند به کاهش توان رقابتی شرکت‌های تولیدی منجر شود. بنابراین مقاله حاضر درصدد پاسخ‌گویی به این سؤال است که کدام یک از عوامل مربوط به فناوری صنعت ۴/۰ می‌تواند منجر به افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های فناوری محور بین‌المللی شود و مزیت رقابتی این شرکت را در مقایسه با سایر شرکت‌های هم ارز بهبود بخشد؟ از طرفی بدون رتبه‌بندی عوامل شناسایی شده، مدیران و تصمیم‌گیرندگان ممکن است در انتخاب اولویت‌ها از سعی و خطا استفاده کنند. این امر می‌تواند منجر به اتخاذ تصمیمات نادرست یا ناکارآمد شود. اگر معیارها و زیرمعیارها به درستی اولویت‌بندی نشوند، ممکن است اهداف و استراتژی‌ها با یکدیگر تضاد داشته باشند. این تضاد می‌تواند باعث شود که منابع به درستی تخصیص نیابند و تلاش‌ها در مسیرهای غیرمؤثر هدایت شوند و منجر به هدررفت منابع (زمان، سرمایه، نیروی انسانی) شود. شرکت‌های بین المللی در بازارهای جهانی، باید قادر به پاسخگویی سریع به تغییرات بازار باشند. اگر اولویت‌ها مشخص نباشند، ممکن است برای برخی از عوامل کم اهمیت، زمان و منابع زیادی صرف شود و شرکت‌ها قادر به پاسخگویی سریع به نیازهای جدید بازار نباشند. از طرفی عدم رتبه‌بندی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر انعطاف‌پذیری تولید می‌تواند منجر به ناکارآمدی و عدم موفقیت در دستیابی به اهداف استراتژیک شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری‌محور بین المللی شود بنابراین، انجام یک مطالعه دقیق برای شناسایی و اولویت‌بندی این عوامل امری ضروری است. همچنین مقاله حاضر درصدد پاسخ‌گویی به این سؤال است که در میان عوامل شناسایی شده برای افزایش انعطاف‌پذیری تولید، کدام عوامل با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه از اولویت و رتبه بالاتری نسبت به سایر عوامل برخوردار است؟

۲. مبانی نظری و پیشینه‌ی پژوهش

به طور سنتی، تولید به فرایندی اطلاق می‌شود که از طریق آن مواد خام به محصولات نهایی تبدیل می‌شوند تا در بازار به فروش برسد. نئولن[1] (۲۰۱۳)، شش اولویت رقابتی تولید را بیان نمود که عبارت‌اند از: کارایی هزینه، کیفیت، انعطاف‌پذیری و قابلیت اطمینان در تحویل، خدمات پس از فروش هریک از این عوامل باتوجه‌به موقعیت واحدهای تولیدی به نوبه خود نقش مهمی در بازار رقابتی دارند [۳۸]. در بسیاری از شرکت‌ها انعطاف‌پذیری به‌عنوان یک استراتژی در تولید به کار برده می‌شود. این استراتژی شامل فعال‌بودن شرکت، پاسخگویی به تغییر و توانایی مقابله با پویایی و عدم اطمینان محیطی است. یک تعریف کلی توسط یعقوب[2] در سال ۱۹۸۹ برای انعطاف‌پذیری ارائه شده است؛ او انعطاف‌پذیری را به‌عنوان ویژگی یک بخش تعریف می‌کند [۲۷]؛ این بخش می‌تواند یک ماشین یا یک سیستم تولیدی، یک مؤسسه، شرکت یا بخشی از یک شرکت یا یک فعالیت باشد که خود را با شرایط و وظایف که در حال تغییر است، انطباق می‌دهد نتایج پژوهش نشان می‌دهد انعطاف‌پذیری (در دسترس و موردنیاز) قادر به ادغام روش‌های موجود به‌دست‌آمده از تصمیم‌گیری و ارزیابی سرمایه‌گذاری نظریه و همچنین رویکردهای خاص مرتبط با انعطاف‌پذیری است [۲۵].

در زمینه استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زمینه تولید و عملیات، پژوهش‌های متعددی صورت‌گرفته است پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی تأثیر فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر افزایش انعطاف‌پذیری تولید همه‌ی فناوری‌های صنعت ۴.۰ و تمام کارکردهایی که می‌توانند برا افزایش انعطاف‌پذیری تولید داشته باشند و اینکه کدام فناوری رتبه‌ی بالاتری از نظر میزان تأثیر می‌تواند داشته باشد را مورد بررسی قرار نداده

1. Neolen
2. Jacob
3. Yu and Schweisfurth

است. یو و شوارث[1] (۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان" پیاده‌سازی فناوری صنعت ۴.۰ در شرکت‌های کوچک و متوسط " داشتن دانش و استفاده از مزایای فناوری‌های جدید، محرک‌های پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰ هستند که شرکت‌هایی با سطوح بالای اتوماسیون فرایند و تنوع محصول بالا، می‌توانند فناوری‌های صنعت ۴.۰ را پیاده‌سازی کنند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که دانش و مزایای مورد انتظار فناوری، محرک‌های پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰ هستند. در این پژوهش مطرح شد که شرکت‌ها با استفاده از رایانش ابری می‌توانند باعث افزایش قابلیت اطمینان داده‌ها در محاسبات و تراکنش‌ها شوند و سرعت دستیابی به اطلاعات را افزایش دهند [۶۰]. در پژوهش فوق فقط نقش رایانش ابری به عنوان یکی از فناوری‌های صنعت ۴.۰ در نظر گرفته شده است و میزان تأثیر سایر فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر افزایش انعطاف‌پذیری تولید مورد بررسی قرار نگرفته است

در پژوهش دیگری با عنوان " فعال‌کردن سیستم تولید انعطاف‌پذیر از طریق کاربردهای فناوری‌های صنعت ۴.۰ " که توسط جاوید و همکاران در سال ۲۰۲۲ صورت‌گرفته است، بیان می‌کند که انعطاف‌پذیری قادر به ادغام روش‌های موجود است. ابعاد صنعت ۴.۰ برای تولید انعطاف‌پذیر ابعاد اجتماعی، اقتصادی، محیطی و پایدار، می‌باشد. همچنین ویژگی‌های کیفی صنعت ۴.۰ برای تولید انعطاف‌پذیر را شامل: ضبط و برقراری ارتباط و انتقال و اشتراک داده‌ها، اسکن بارکد و شناسایی تصاویر از طریق حسگرها و پیش‌بینی خرابی توسط اینترنت اشیا ، افزایش ایمنی و روحیه‌ی نیروی کار و حمل‌ونقل خودکار و افزایش کارایی اپراتور توسط رباتیک و برنامه‌ریزی خودکار از طریق هوش مصنوعی، می‌داند. در این پژوهش ابعاد و فناوری‌های مختلف صنعت ۴.۰ و شیوه‌های بهبود عملکرد سیستم تولید انعطاف‌پذیر، از طریق روش کیفی موردمطالعه قرار گرفته و سپس چندین رویکرد انعطاف‌پذیر با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ موردبحث قرار می‌گیرد [۲۸]. در پژوهش انجام شده ویژگی های کیفی بدست آمده از صنعت ۴.۰ بطور دقیق مشخص نشده که براساس چه ویژگی‌ای از صنعت ۴.۰ به دست آمده است و کدام عامل تأثیر بیشتری بر تولید انعطاف‌پذیر دارد.

در پژوهشی دیگر هوس و همکاران در سال ۲۰۲۳ در پژوهشی با عنوان «انعطاف‌پذیری تولید از طریق تأثیر و ارزیابی مفاهیم فناوری صنعت ۴.۰ » به بررسی راه‌حل‌های صنعت ۴.۰ در مورد انعطاف‌پذیری تولید و سودآوری شرکت‌ها پرداخته‌اند. در این پژوهش نقش انعطاف‌پذیری در سیستم‌های تولیدی و سپس رابطه‌ی بین راه‌حل‌های صنعت ۴.۰ و انعطاف‌پذیری تولید بر اساس مفهومی تحلیل شد و در نهایت، با روشی مبتنی بر تئوری تصمیم‌گیری، یک روش پیشنهادی با رویکرد صنعت ۴.۰ برای ارزیابی راه‌حل‌ها به دست آمد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد صرفه‌جویی در زمان و هزینه و تنظیم و کاهش زمان تولید از طریق رباتیک و ردیابی مراحل ساخت و تولید از طریق بلاک‌چین و یکپارچه‌سازی و دیجیتالی کردن تولید باعث هوشمندی زنجیره تأمین از طریق تولید افزایشی موجب تولیدات متفاوت از دستگاه‌های یکسان می‌شود [۲۵]. در پژوهش انجام گرفته شده تمام فناوری‌های صنعت ۴.۰ مورد ارزیابی و سنجش قرار نگرفته اند و تنها تأثیر این فناوری‌ها برهوشمندی زنجیره تأمین سنجیده شده است .در جدول ۱ به برخی از مهم‌ترین مطالعات مرتبط اشاره شده است

جدول ۱. برخی از مهمترین مطالعات مرتبط با انعطاف‌پذیری تولید و صنعت ۴٫۰

موضوع موردمطالعه	نتایج به‌دست‌آمده	سال	تمایز پژوهش
نوآوری‌های ارائه شده صنعت ۴.۰ در صنعت تولید [۳۳]	ادغام عمودی، ادغام موقت، ادغام افقی، مهندسی	۲۰۱۸	فقط نوآوری‌های صنعت ۴٫۰ در صنعت تولید بیان شده و تأثیر این نوآوری‌ها در افزایش انعطاف‌پذیری تولید و میزان اهمیت هرعامل مورد سنجش قرار نگرفته است
مواردی از صنعت ۴.۰ که تولید هوشمند را تشکیل می‌دهد [۶]	جابه‌جایی مواد در صنایع، جلوگیری از خرابی مواد و حوادث، مدیریت مواد، مدیریت تولید، بهبود عملکرد سیستم مدیریت	۲۰۲۱	میزان تأثیر فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر هوشمند سازی تولید را بررسی کرده و به میزان تأثیر بر افزایش انعطاف پذیری پرداخته نشده است
ابعاد صنعت ۴.۰ برای تولید انعطاف‌پذیر [۲۸]	ابعاد اجتماعی، اقتصادی، محیطی و پایدار	۲۰۲۲	میزان اولویت و رتبه تأثیر هر بعد بر انعطاف‌پذیری مشخص نشده است

سیستم تولید انعطاف‌پذیر: پیدایش سیستم تولید انعطاف‌پذیر به دهه ۱۹۶۰ و تحقیقات دیوید ویلیامسون[1] بر می‌گردد [۵۱]. او قصد طراحی ماشینی را داشت که بدون حمایت انسان، ۲۴ ساعته کار کند. انعطاف‌پذیری در تولید، توانایی در پیکربندی مجدد منابع تولید در مقابل تغییرات می‌باشد [۵۸]. سیستم تولید انعطاف‌پذیر یک سیستم تولیدی بسیار یکپارچه است؛ در این سیستم، رابطه بین اجزای آن بسیار پیچیده است [۱۵]. الوندو[2] (۲۰۱۵)، سیستم تولید انعطاف‌پذیر را شامل مجموعه‌ای از ماشین‌های انعطاف‌پذیر خودکار (ربات، ماشین‌های چند منظوره یا ایستگاه‌های کاری)، سیستم حمل و نقل و سیستم تصمیم‌گیری دارای زمان بندی می داند که برای تصمیم‌گیری این که چه کاری، کجا، در کدام دستگاه و در چه زمانی باید انجام شود، به کار می‌رود [۱۳]. اثربخشی انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌ها زمانی است که، سیستم توانایی لازم برای برآوردن الزامات تنوع محصول، کیفیت و زمان را برآورده کند و کارایی یک سیستم انعطاف‌پذیر را زمانی می داند که تمام منابع سیستم به طور بهینه، برنامه ریزی و به کار برده شوند [۳۹]. لوسنسکی و ایوانوو[3] (۲۰۲۰)، انعطاف‌پذیری تولید را توانایی یک سیستم تولیدی برای پاسخگویی مؤثر و کارآمد به عدم قطعیت های محیطی (سیستم تولید و تقاضای جهانی) تعریف می‌کند و معتقدند انعطاف‌پذیری تولید به طورگسترده به‌عنوان یک راه حل اثبات شده برای دستیابی و حفظ اهداف استراتژیک و عملیاتی شرکت‌های بین‌المللی که در عرصه‌ی رقابت جهانی حضور گسترده دارند، شناخته شده است [۳۴]. ساجید[4] (۲۰۲۱)، مزایای انعطاف‌پذیری در تولید را هزینه‌های تولید کمتر، افزایش کارایی ماشین، بهبود کیفیت محصول، افزایش قابلیت اطمینان سیستم، زمان کوتاه‌تر و افزایش بهره وری می داند [۴۶]. این سیستم ها زمان خرابی را کاهش می دهند و با استفاده از این اهرم به تغییرات بازار پاسخ می دهند [۲۶].

فناوری‌های صنعت ٤.٠: ایده‌ی انقلاب چهارم صنعتی اولین بار در سال ۲۰۱۱ در نمایشگاه هانوفر آلمان توسط کارگروهی با عنوان صنعت ۴.۰ با هدف افزایش قدرت رقابت صنایع تولیدی این کشور تشکیل شد [۵۹]. هسته اصلی این انقلاب که بر پایه انقلاب سوم شکل گرفت، شامل تکنولوژی‌هایی همچون: اینترنت اشیا، داده‌های بزرگ، هوش مصنوعی، ساخت افزودنی، روباتیک پیشرفته، واقعیت مجازی، محاسبات ابری، شبیه سازی که برای بهبود انعطاف‌پذیری به وجود آمده‌اند. از وعده‌های اصلی این انقلاب می‌توان سفارشی‌سازی انبوه، انعطاف‌پذیری، افزایش بهره‌وری، کیفیت و سرعت تولید در کنار کاهش هزینه‌های تولید و زنجیره تأمین یکپارچه را نام برد [۲۰]. صنعت ۴.۰ با استفاده از محصولات و فرآیندهای هوشمند، اجرایی و عملیاتی شده است و امکان جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل مستقل داده‌ها و همچنین تعامل بین محصولات، فرآیندها، تأمین کنندگان و مشتریان را از طریق اینترنت فراهم می‌کند [۱۰]. صنعت ۴.۰ را می‌توان به‌عنوان یک مدل تولید جدید تعریف کرد که شامل ادغام اشیا فیزیکی، انسان و ماشین‌های هوشمند با هدف ایجاد یک سیستم یکپارچه با قابلیت جمع‌آوری، به اشتراک گذاری و تجزیه و تحلیل داده‌ها در زمان واقعی است [۲۳]. فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم که کم کم همه شرکت‌ها باید با آن روبرو شوند، ممکن است کل صنایع تولیدی را تحت تاثیر قراردهد [۵۶]. روش طراحی، تولید، تحویل و پرداخت برای کالا یا فرایند ارائه‌ی خدمات را در آینده تغییر می‌دهد [۸]. بطور کلی فناوری اطلاعات وصنعت ۴.۰ کمک زیادی به پایداری نموده است. با دیجیتالی شدن فرآیندها، شیوه‌های تولید نیز به طور قابل توجهی تکامل یافته است [۲۴]. ویژگی‌های اصلی صنعت ۴.۰ مربوط به یکپارچگی، قابلیت عملیاتی سریع، انعطاف‌پذیری، سرویس دهی، مشتری مداری و تخصص است که ارتباط بین انسان و ماشین را تسهیل می‌کند. شرکت‌ها برای پاسخگویی به تغییرات، به نوآوری سازمان‌های تولیدی، توسعه‌ی خود فناور ساخت و محصولات فناورانه مانند اتوماسیون، علوم کامپیوتر، فناوری اطلاعات نیازدارندکه به همه‌ی این موارد توسط صنعت ۴.۰ خواهند رسید [۴۸].

انعطاف‌پذیری تولید باتوجه‌به فناوری صنعت ٤.٠: در عصر انقلاب صنعتی چهارم استراتژي توليد براي كليه سازمان‌ها و مديران اهميت زيادي دارد و می‌تواند تأثير قابل‌ملاحظه‌ای بر موفقيت سازمان‌ها و ارتقاي نقش حوزه‌هاي كاريِ درون سازمان داشته باشد باتوجه‌به اهمیت این موضوع، استراتژي توليد در وضعيت رقابتي سازمان نيز نقشي پررنگ و اساسي خواهد داشت. در بسیاری از شرکت‌ها انعطاف‌پذیری به‌عنوان یک استراتژی در تولید به کاربرده می‌شود [۳۶]. باتوجه به ماهیت سیستم تولید انعطاف‌پذیر که از تعدادی ماشین ابزار قابل برنامه ریزی که با یک سیستم خودکار انتقال

1. David Williamson
2. Eloundou
3. Luscinski & Ivanov
4. Sajid

مواد و با وسایل انتقال ابزار و قطعاتی مانند روبات ها فعالیت می کنند، لزوم استفاده از فناوری‌های نوین بخصوص فناوری‌های صنعت ۴.۰ بیش از سایر سیستم های تولیدی احساس می‌شود [۴۲]. ترکیب فناوری‌های صنعت ۴.۰ با سیستم تولید انعطاف‌پذیر می‌تواند به افزایش سرعت، کارایی و هماهنگی و در عین حال کمک به خود مدیریتی فرایندهای صنعتی به تولیدکنندگان کمک کند [۹]. این ترکیب موجب می‌شود تصمیم‌گیری کمتر به مداخله انسانی وابسته باشد [۲]. سیستم تولید انعطاف‌پذیربا رویکرد صنعت ۴.۰ بر روی خودکارسازی سلول های ماشینی از جمله پردازش در ایستگاه‌های کاری، جابجایی خودکارمواد و ذخیره سازی موقت تمرکز بیشتری دارد [۳]. سیستم تولید انعطاف‌پذیر از کنترل های کامپیوتری استفاده می‌کند تا: تنظیمات فیزیکی ماشین انجام شود؛ ماشین‌ها را قادر به تشخیص و تمایز بین مواردمختلف کند. سبک‌های مختلف قطعه مدیریت شوند و تغییرات سریع در دستورالعمل‌های عملیاتی اجراشوند [۴۰]. تولید بارویکرد صنعت ۴.۰ در اصل به معنای یکپارچگی و ادغام فناورانه و تکنولوژیکی، سیستم های فیزیکی-سایبری در فرایند تولید می‌باشد [۵۰]. در سیستم های تولید انعطاف‌پذیر، پلتفرم‌های اینترنت اشیا داده‌ها را در طیف وسیعی از تجهیزات با استفاده از حسگرهایی که ممکن است به هر کدام متصل شوند منتقل می‌کند. داده‌های حاصل تضمین می‌کند که تجهیزات به درستی کار می‌کنند و همه پارامترهای عملیاتی در محدوده خاصی قرار دارند. این داده‌ها در تمام دستگاه‌های متصل به اشتراک گذاشته می‌شود و کارایی و عملکرد را افزایش می‌دهد [۱۹]. بلاک‌چین به‌عنوان یک سیستم امن می‌باشد که می‌تواند تمام مراحل ساخت و مصرف را ردیابی کند و به وسیله‌ی آن داده‌های رکوردها را نمی توان دستکاری کرد [۴۱]. اینترنت اشیا باعث می‌شود تا تکنولوژی‌های متعدد در تولید بکارگرفته شود و اجازه می‌دهد مراحل تولید با همه‌ی اجزا به هم مرتبط باشند [۵۱]. حسگرها می توانند وجود یا مکان یک آیتم خاص را تشخیص دهند. اسکن بارکد می‌تواند صحت اجزای مونتاژ شده را کنترل کند [۳۲]. توزیع خودکار سفارشات تولید و ناوبری اپراتورها از طریق مانیتور در سراسر فرایند تولید، به تولید کنندگان اجازه می‌دهد تا در ساخت سفارشی انعطاف‌پذیری بیشتری کسب کند [۵۳]. در عصر حاضر آموزش کارکنان و زمانی که باید به آن اختصاص دهند بسیار ضروری به نظر می رسد، استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ می‌توانند روند آموزش جدید را تسریع کنند [۵۷] و فرصت‌های مختلف آموزش را افزایش دهند [۱۴]. دوقلوهای دیجیتال می‌تواند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و تجزیه و تحلیل نرم‌افزاری را برای بهبود کارایی خروجی یکپارچه کند. آنها می‌توانند از خرابی‌های پرهزینه در اشیا فیزیکی جلوگیری کنند؛ همچنین می‌توانند به طور مستقیم روی نحوه طراحی محصولات مختلف و نگهداری از آنها اثرگذار باشند. از طریق رایانش ابری کاربران می توانند با نرم افزارهاي كاربري و داده‌ها با استفاده از هر دستگاهی که به اینترنت متصل است، به آن منبع بیرونی دسترسی داشته باشند [۳۱]. در صنعت تولید ربات‌ها تعداد زیادی از کارهای کوچک و زمان‌بر را خودکار می‌کنند و این کار خروجی و کارایی را تقویت می‌کند [۵۵]. رباتیک پیشرفته برای انجام کارهایی چون جوشکاری، کارهای کثیف، دشوار و خطرناک کاربرد بسیاری دارد رباتیک از ابزارهای مهم صنعت ۴.۰ است [۱۷]. نوآوری واقعیت افزودنی صنعت ۴.۰ به طور بالقوه به کارمندان انبار کمک می‌کند در زمانی که تعداد زیادی سفارش وجود دارد، برای جابجایی مکرر مواد سنگین، که باید بطور همزمان انتخاب شوند، استفاده کنند و از صدمات جلوگیری می‌کند [۲۰]. کیفیت، انعطاف‌پذیری، سرعت و هزینه از مزایای تولید افزایشی است که توسط پرینتر سه بعدی ایجاد می‌شود و ممکن است منجر به تغییرات اساسی در استراتژی های عملیات بخاطر افزایش قابلیت پیش بینی شود [۴۰]. شرکت‌های کوچک و متوسط با فناوری پیشرفته باید انعطاف‌پذیر، سازگار و دارای خلاقیت بالا باشند. این شرکت‌ها به دلیل محدودیت منابع، بیشتر به مدیران متکی هستند. از آنجایی که شرکت‌های کوچک و متوسط با فناوری پیشرفته در دسترسی به تأمین مالی خارج با مشکل مواجه هستند، تأمین مالی داخلی به گزینه اصلی سرمایه گذاری آنها تبدیل می شده است [۱۲]. منابع در هنگام مدیریت اختلالات برای همه‌ی شرکت‌ها بسیار ضروری و کلیدی است؛ بنابراین، منابع و روابط مالی برای این شرکت‌ها در ایجاد انعطاف‌پذیری ضروری بنظر می رسد.

شرکت‌هاي کوچک و متوسط فناوري محور بین‌المللی: این شرکت‌ها بخش کلیدي براي توسعه، ارتقا و ترویج تکنولوژی‌های جدید هستند [۴۴]. در تعریف صنایع کوچك و متوسط معیارهاي كمي از قبیل تعداد کارکنان و میزان گردش مالي مطرح شده است [۴]. فناوری‌های صنعت ۴.۰ فرصتی را برای شرکت‌های کوچک و متوسط فراهم می‌کند تا به اتوماسیون بالاتر خطوط تجاری، کنترل بهتر بر فرایندهای تولید و هماهنگی بهبودیافته از طریق بهینه‌سازی منابع و نظارت بر هزینه دست یابند. شرکت‌های کوچک و متوسط چابک ممکن است بتوانند این

فناوری‌ها را سریع‌تر از رقبای خود به کار گیرند و توانایی بالاتری برای پیاده‌سازی آنها در مدل‌های تجاری خود داشته باشند [۲۱]. شرکت‌های بین‌المللی به طور فزاینده‌ای نیاز دارند که بتوانند به نوآوری‌های پویا و مطمئن واکنش نشان دهند، برای استفاده از این نوآوری‌های پویا باید کاملاً منعطف باشند [۴۹]. به‌عبارت‌دیگر، نیاز فزاینده‌ای برای انعطاف‌پذیری و استفاده از فناوری در شرکت‌ها وجود دارد تا بتوانند در عرصهٔ رقابت جهانی پیشرو باشند. استفاده از تجربیات و نوع مدیریت شرکت‌های بین‌المللی تکنولوژی محور خارجی که از این فناوری‌ها استفاده می‌کنند، در شناخت و به‌کارگیری از این فناوری‌ها بسیار مؤثر است [۶۱]. شرکت‌هاي فناوری محور متكي بر نوآوري‌ها و اختراعات علمي هستند و با هدف بهره‌برداری تجاري از اختراعات و نوآوری‌های فني شكل می‌گیرند. بنگاه‌ها زمانی بین‌المللی می‌شوند که محصولات آنها مراحل بلوغ خود را طی کرده و بتوانند محصولات استانداردی را در مقیاس اقتصادی تولید نمایند [۴۹].

در یک بیان ساده بین المللی‌سازی عبارت است از توسعه شبکه کسب وکار از طریق توسعه در بازارهای خارجی. این توسعه برای شرکت‌ها مزایای بسیاری در بردارد؛ ازجمله این مزایا می‌توان به ارتقاء فناوری، فرصت دسترسی به بازار هدف بزرگتر، مزیت صرفه‌جویی ناشی از مقیاس، کاهش ریسک بازار، مبنع‌یابی جدید، و فرصت‌های تامین مالی بیشتر اشاره کرد [۵]. این شرکت‌ها که عمدتاً در گروه شرکتهای کوچک و متوسط قراردارند، در عرصه اقتصاد جهانی نقش مهمی در توسعه و پیشرفت اقتصادی کشورها ایفاء می‌کنند و این گروه از شرکت‌ها به عنوان موتور توسعه اقتصادی قلمداد می‌شوند. در دیدگاه منبع محور، دسترسی شرکت به منابع کمیاب، ارزشمند و غیرقابل تقلید، مزیت رقابتی ایجاد کرده و محرک اساسی برای بین المللی شدن محسوب می‌شود. این منابع درکنار طیف گسترده‌ای از سایر دارایی‌ها، سازوکارهای ارتباطی، فناوری، سیستم اطلاعات مدیریت، نظام‌های انگیزشی، شبکه اعتماد مدیریت-کارکنان و غیره به محصولات و خدمات نهایی تبدیل شده و شرکت را قادر می‌سازد راهبردهایی اثربخش در بهبود بهره‌وری و کسب مزیت رقابتی اتخاذ و اجرا نماید. چالش اصلی در این نظریه، دسترسی شرکت‌ها به منابعی با ویژگی‌های مذکور و صیانت از آن است به نحوی که بتواند برای شرکت پایداری در مزیت رقابتی ایجاد کند [۱۶].

با مرور ادبیات و پیشینهٔ پژوهش، عواملی که موجب افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی شده است، ۶ معیار اصلی و ۲۸ زیرمعیار استخراج شدکه در قالب پرسشنامه دلفی برای غربال سازی و پیشنهادات جدید در اختیار خبرگان قرار گرفت. در جدول ۲ به معیارها و زیرمعیارهای پژوهش پرداخته شده است

جدول ۲. معیار ها و زیرمعیارهای شناسایی شده

هدف: افزایش انعطاف‌پذیری تولید باتوجه‌به صنعت ۴٫۰ در شرکت‌های فناوری محور بین‌المللی	
زیرمعیار	معیار
تشخیص و ردیابی داده‌ها	اینترنت اشیا
ضبط و برقراری ارتباط و انتقال و اشتراک داده‌ها	
افزایش نظارت بر فرایند تولید و مدیریت فرایندها	
اسکن بارکد و شناسایی تصاویر از طریق حسگرها	
پیش‌بینی خرابی	
بهینه‌سازی فرایندها از طریق دسترسی به اطلاعات آنی	
تمرکز بر جنبه‌های کاربردی داده‌ها	داده‌کاوی و رایانش ابری
افزایش نظارت و قدرت تصمیم‌گیری در مرحله تحلیل قبل از تولید	
افزایش قابلیت اطمینان داده‌ها در محاسبات و تراکنش‌ها	
تجزیه‌وتحلیل داده‌ها باقابلیت اطمینان و مقرون‌به‌صرفه	
انتقال و اشتراک داده‌های تولید	
افزایش ایمنی و روحیه‌ی نیروی کار	رباتیک
خودکارسازی فرایندها	
حمل‌ونقل خودکار	

هدف: افزایش انعطاف‌پذیری تولید باتوجه‌به صنعت ۴٫۰ در شرکت‌های فناوری محور بین‌المللی	
افزایش کارایی اپراتور	
انبارداری مکانیزه	
صرفه‌جویی در زمان و هزینه	
آزمایش مجازی فرایندهای تولید	دوقلوهای دیجیتال
تحلیل فرایند تولید	
پیش‌بینی وقفه‌های تولید	
طراحی، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید و تصمیم‌گیری کارآمد	
افزایش بهره‌وری در انرژی و منابع تولید از طریق کاهش ضایعات	هوشمندی و یکپارچگی زنجیره تأمین
ردیابی مراحل ساخت و تولید از طریق بلاک‌چین	
برنامه‌ریزی خودکار از طریق هوش مصنوعی	
تولیدات متفاوت از دستگاه‌های یکسان	تولید افزودنی
امکان تنظیم بهینه‌ی ماشین‌آلات	
یکپارچه‌سازی و دیجیتالی کردن تولید	
تنظیم و کاهش زمان تولید	

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ ماهیت و روش، توصیفی است و بر اساس هدف از نوع کاربردی می‌باشد. در مقاله حاضر با بررسی مدارک و اسناد و منابع کتابخانه‌ای و مرور پیشینه به جمع‌آوری اطلاعات و استخراج عوامل مؤثر بر افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی پرداخته است. مقاله حاضر از نوع آمیخته یا ترکیبی است پژوهش‌های ترکیبی پژوهش‌هایی هستند که با استفاده از ترکیب دو مجموعه تحقیق کمی و کیفی به انجام می‌رسند و شواهد بیشتری برای درک بهتر پدیده‌ها به دست می‌دهند ومحدودیت طرح‌های تحقیق کمی و تحقیق کیفی را از میان بر می‌دارند [۷]؛ ازآنجاکه روش‌های تحقیق کمّی و کیفی به‌تنهایی نمی‌توانند پیچیدگی‌های مسائل و عناصر تشکیل‌دهندهٔ نظام‌های تولید کالا و خدمات را موردمطالعه قرار دهند، ترکیب این روش‌ها مورداستفاده قرار گرفته و از آن تحت عنوان روش تحقیق آمیخته نام‌برده می‌شود. در بخش کیفی داده‌های تحقیقات کیفی از طریق مشاهده، مصاحبه با تعامل‌های شفاهی گردآوری شده و بر نظرات و تفسیرهای مشارکت‌کنندگان (خبرگان) تکیه دارد [۳۵]. تحقیق کمی برای جمع‌آوری داده‌های واقعی و درست طراحی شده است [۱۱]. داده‌های کمی از نوع، ساختاریافته و آماری هستند و برای به‌دست‌آوردن یک نتیجه‌ی کلی از تحقیق، مورداستفاده قرار می‌گیرند [۲۲]. شکل ۱ مراحل انجام پژوهش را نشان می‌دهد .

پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

عوامل استخراج شده توسط منابع کتابخانه‌ای و مرور پیشینه، از طریق پرسش‌نامه‌ی دلفی و به روش نمونه‌گیری گلوله‌برفی در اختیار خبرگان قرار گرفت. روش دلفی شامل گروهی از متخصصان می‌شود که به طور ناشناس به پرسش‌نامه‌ها پاسخ می‌دهند و متعاقباً بازخوردهایی را به‌صورت بازنمایی آماری از پاسخ گروه دریافت می‌کنند و پس از آن روند دوباره تکرار می‌شود [۱۸]. هدف کاهش دامنه پاسخ‌ها و رسیدن به چیزی نزدیک به‌اتفاق نظر متخصص است. روش دلفی به طور گسترده‌ای پذیرفته شده و امروزه نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد. نمونه‌گیری گلوله‌برفی یا نمونه‌گیری ارجاعی زنجیره‌ای به‌عنوان یک روش نمونه‌گیری غیراحتمالی است که در آن نمونه‌ها دارای صفات خاصی هستند. به‌منظور غنای پژوهش، تلاش شد تا با افرادی که از دانش و تجربه بالایی در این زمینه برخوردار هستند، به‌عنوان خبره انتخاب شوند. خبرگان با حداقل ۵ سال سابقه کاری، تحصیلات مرتبط دانشگاهی و سوابق مدیریتی مرتبط انتخاب شده‌اند و شامل ۱۴ نفر از اساتید دانشگاه و خبرگان در زمینه صنعت ۴.۰ و تولید با سابقه‌ی صادرات در سطح بین‌المللی بودند. پرسش‌نامه دلفی به‌صورت الکترونیک طراحی و در اختیار خبرگان قرار گرفت. پاسخ‌ها به‌صورت طیف لیکرت در اختیار خبرگان قرار گرفت و در انتهای پرسش‌نامه این فرصت داده شد تا نظرات در مورد عوامل و پیشنهاد برای بررسی عوامل جدید را مطرح نمایند. با جمع‌بندی امتیاز عوامل شناسایی شده و دریافت پیشنهادهای خبرگان پرسش‌نامه دور دوم میان خبرگان دور اول توزیع شد که ۱۱ نفر از خبرگان دور اول پاسخ دادند و در نهایت معیارهای نهایی باتوجه‌به اتفاق‌نظر خبرگان استخراج شد. در ادامه پرسش‌نامه‌ی سوآرا به‌صورت الکترونیک تدوین شد و در اختیار ۲۱ نفر از خبرگان در زمینه شرکت‌های تولیدی بین‌المللی که به‌منظور افزایش صادرات و حضور در بازارهای جهانی تأسیس شدند، توزیع گردید و پس از دریافت پاسخ‌ها وزن هرکدام از معیارها و زیرمعیارها با استفاده از روش تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی (سوآرا) در نرم‌افزار اکسل محاسبه گردید و میزان اولویت هریک از معیارها نسبت به هم و رتبه

و اولویت هر کدام از زیرمعیارها برای هر معیار با نظر خبرگان مشخص گردید. درمقاله حاضر از روش رتبه‌بندی سوآرا استفاده شد تا مدیران شرکت‌های فناوری محور بین‌المللی به تحلیل جامع‌تری از معیا و زیرمعیارها برسند و فرایند تصمیم‌گیری ساده و انتخاب بهینه‌تری داشته باشند. روش سوآرا به معنی تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی می‌باشد. تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که هدف آن محاسبه‌ی وزن معیارها و زیرمعیارها است [۲۹]. در این روش به مهم‌ترین معیار رتبه یک و به کم‌اهمیت‌ترین معیار رتبه آخر داده می‌شود [۶۲]. در این روش کارشناسان (پاسخ‌دهندگان) نقش مهمی در تعیین وزن معیارها دارند. مشخصه اصلی این روش، امکان برآورد کارشناسان و صاحب‌نظران دررابطه‌با نسبت اهمیت معیارها در فرایند تعیین وزن آن‌ها می‌باشد. روش سوآرا این فرصت را به تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران می‌دهد تا بر اساس وضعیت فعلی محیط و اقتصاد، اولویت خود را انتخاب کنند. توانایی برآورد نظر متخصصان در مورد نسبت اهمیت معیارها در تعیین وزن آنها عنصر اصلی این روش است [۳۰]؛ علاوه بر این، این روش برای هماهنگی و جمع‌آوری داده‌های متخصصان مفید است و متخصصان به‌راحتی می‌توانند با هم همکاری کنند. خبرگان پژوهش در دور اول دلفی در جدول ۳، در دور دوم در جدول ٤ و در روش سوآرا در جدول ٥ آورده شده است

جدول ۳. ویژگی جمعیت شناختی دو راول دلفی

ردیف	گویه	درصد مشارکت‌کنندگان	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی تجمعی
۱	**جنسیت**	مرد	۸	۵۷٪	۵۷٪
		زن	۶	۴۳٪	۱۰۰٪
۲	**رده سنی**	۳۰-۲۰سال	۳	۲۲٪	۲۲٪
		۴۰-۳۰سال	۷	۵۰٪	۷۲٪
		۵۰-۴۰سال	۲	۱۴٪	۸۶٪
		بالاتر از ۵۰ سال	۲	۱۴٪	۱۰۰٪
۳	**تحصیلات**	کارشناسی	۲	۱۴٪	۱۴٪
		کارشناسی‌ارشد	۵	۳۶٪	۵۰٪
		دکترا و بالاتر	۷	۵۰٪	۱۰۰٪
۴	**سابقه کاری**	کمتر از ۵ سال	۲	۱۴٪	۱۴٪
		۱۰-۵سال	۵	۳۶٪	۵۰٪
		بالاتر از ۱۰ سال	۷	۵۰٪	۱۰۰٪
۵	**حوزه تخصص**	تولید	۵	۳۶٪	۳۶٪
		صنعت ۴٫۰	۸	۵۷٪	۹۳٪
		شرکت‌های کوچک و متوسط بین‌المللی	۰	-	۰
		سایر	۱	۷٪	۱۰۰٪

جدول ۴. ویژگی جمعیت شناختی دوردوم دلفی

ردیف	گویه	درصد مشارکت‌کنندگان	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی تجمعی
۱	**جنسیت**	مرد	۵	۴۵ .۵	۴۵.۵
		زن	۶	۵۴.۵	۱۰۰
۲	**رده سنی**	۳۰-۲۰سال	۳	۲۷.۵	۵.۲۷
		۴۰-۳۰سال	۶	۵۴.۵	۸۲
		۵۰-۴۰سال	۲	۱۸	۱۰۰
		بالاتر از ۵۰ سال	۰	–	۱۰۰
۳	**تحصیلات**	کارشناسی	۰	–	۰
		کارشناسی‌ارشد	۵	۴۵.۵	۴۵
		دکترا و بالاتر	۶	۵۴.۵	۱۰۰
۴	**سابقه کاری**	کمتر از ۵ سال	۱	۹	۹
		۱۰-۵سال	۴	۳۶.۵	۴۵.۵
		بالاتر از ۱۰ سال	۶	۵۴.۵	۱۰۰
۵	**حوزه تخصص**	تولید	۵	۴۵.۵	۴۵.۵
		صنعت ۴٫۰	۵	۴۵.۵	۹۱
		شرکت‌های کوچک و متوسط بین‌المللی	۰	–	
		سایر	۱	۹	۱۰۰

جدول ۵. ویژگی جمعیت شناختی برای خبرگان سوآ

ردیف	گویه	ویژگی‌های مشارکت‌کنندگان	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی تجمعی
۱	**جنسیت**	مرد	۱۸	۸۵	۸۵
		زن	۳	۱۵	۱۰۰
۲	**رده سنی**	۳۰-۲۰سال	۱	۵	۵
		۴۰-۳۰سال	۱۱	۴۷	۵۲
		۵۰-۴۰سال	۹	۴۳	۹۵
		بالاتر از ۵۰ سال	۱	۵	۱۰۰
۳	**تحصیلات**	کارشناسی	۷	۳۳	۳۳
		کارشناسی‌ارشد	۹	۴۳	۷۶
		دکترا و بالاتر	۴	۲۴	۱۰۰
۴	**سابقه کاری**	کمتر از ۵ سال	۲	۱۰	۱۰
		۱۰-۵سال	۵	۲۴	۳۴
		بالاتر از ۱۰ سال	۱۴	۶۶	۱۰۰
۵	**حوزه تخصص**	تولید	۸	۳۸	۳۸
		صنعت ۴٫۰	۰	–	۰
		شرکت‌های کوچک و متوسط بین‌المللی	۸	۳۸	۳۸
		سایر	۵	۲۴	۱۰۰

٤. تحلیل یافته‌های پژوهش

پس از مرور ادبیات و پیشینهٔ پژوهش، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی باتوجه‌به صنعت ۴.۰ استخراج شد. این عوامل در اختیار خبرگان قرار گرفت و با دریافت نظرات خبرگان از طریق پرسشنامه‌ی دلفی و نمونه گیری به روش گلوله برفی مهمترین معیارها و زیرمعیارهای تأثیر گذار برافزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی باتوجه‌به صنعت ۴.۰ استخراج گردید. قابل ذکر است که در مرحله شناسایی معیارها و زیرمعیارها در مرحله به کارگیری روش دلفی، تاکید بر کلیدواژه هایی مانند شرکت های کوچک و متوسط، فناوری محور، و بین المللی بودن مورد تاکید قرار گرفت و این مورد از تمایز مدل استخراج شده با سایر مدل ها می باشد. تکنیک دلفی به متخصصان اجازه می‌دهد که بدون نیاز به تعامل و رویارویی، به اجماع دست یابند. وقتی نیاز به دانستن نظر گروهی از متخصصان باشد ولی امکان لازم برای جمع کردن آنان در یک جلسه وجود نداشته باشد، می توان از روش دلفی استفاده نمود [۱]. در مرحله اول، فرایند دلفی یک پرسش نامه باز با پاسخ طیف لیکرت در اختیار ۱۴ نفر از خبرگان که شامل اساتید دانشگاه، خبرگان صنعت ۴/۰ و خبرگان در زمینه ی تولید قرار داده شده تا نظرات خود را در مورد معیارها و زیرمعیارها بیان کرده و اگر عاملی را مناسب می‌دانندکه در معیار ها و زیرمعیارها نیامده است، اضافه کنند. بعد از جمع‌آوری پاسخ‌ها، معیارها و زیرمعیارهای که امتیازی پایین تر از مقدار متوسط داشتند حذف شدند. معیارها و زیرمعیارهای قبلی به همراه موارد پیشنهادی جدید درقالب پرسشنامه بسته، و با عنوان پرسشنامه دور دوم در اختیار ۱۱نفراز خبرگان دور اول قرار داده شد و به خبرگان این فرصت داده شد که دوباره عوامل را بررسی کرده و ضمن مقایسه پاسخ خود با دیگران به یک اجماع نظر در مورد معیارها و زیرمعیارها برسند. پس از بررسی و تحلیل با استفاده از میانگین امتیازات و باتوجه‌به اتفاق نظر گروه متخصصین، معیارها و زیرمعیارهای نهایی مطابق با شکل ۲ برای رتبه‌بندی در اختیار خبرگان قرارگرفت

شکل ۲. معیارها و زیرمعیارهای نهایی برای افزایش انعطاف پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی

این معیارها و زیرمعیارها در اختیار ۲۱ نفر از خبرگان تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط و فناوری محور بین‌المللی باتجربه حضور در بازارهای جهانی و صادرات، قرار گرفت تا با استفاده از تکنیک سوآرا به ارزیابی و وزن‌دهی این عوامل بپردازند. تکنیک سوآرا بر مبنای نظرات خبرگان استوار و یک روش کاملا قضاوتی است. بدین منظور پرسشنامه الکترونیک طراحی شد و برای خبرگان شناسایی شده ارسال گردید. پس از دریافت پاسخ ها و با استفاده از نرم افزار اکسل و استخراج نظرات هریک از ۲۱خبره در مورد معیارها و زیرمعیارها شناسایی شده وزن اولیه هر یک از عوامل محاسبه شد .در واقع از هر یک از خبرگان خواسته شد تا هرکدام به صورت جداگانه این معیارها و زیرمعیارها را رتبه بندی نمایند؛ سپس برای رتبه بندی اولیه میانگین این رتبه ها مشخص شد. بر اساس این میانگین رتبه‌بندی اولیه صورت گرفت، میزان اهمیت نسبی هر معیار و زیرمعیار باتوجه‌به رتبه اولیه و امتیاز خبرگان محاسبه شد و بر اساس گام های روش سوآرا وزن اولیه و درنهایت وزن نهایی با استفاده از نرم افزار اکسل محاسبه گردید که در جدول ۶ تا ۱۱ نتایج آورده شده است

جدول ۶. وزن نهایی برای معیار های اصلی

معیارها	شاخص	Sj اهمیت نسبی مقادیر متوسط	Kj =Sj+1 (ضریب k)	Qj (وزن اولیه)	Wj (وزن نرمال نهایی)	رتبه
هوشمندی و یکپارچگی زنجیره تأمین	E	–	۱	۱	۰.۴۴۸۸	۱
رباتیک	C	۰.۷۳۱۴	۱.۷۳۱۴	۰.۵۷۷۶	۰.۲۵۹۲	۲
اینترنت اشیا	A	۰.۱۷۲۹	۱.۱۷۲۹	۰.۳۳۷۲	۰.۱۵۱۳	۳
داده کاوی و رایانش ابری	B	۰.۷۱	۱.۷۱	۰.۱۹۷۲	۰.۰۸۸۵	۴
دوقلوهای دیجیتال	D	۰.۶۹۳۳	۱.۶۹۳۳	۰.۱۱۶۴	۰.۰۵۲۳	۵

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود از میان معیارهای اصلی، معیار هوشمندی و یکپارچگی زنجیره تأمین با وزن نهایی ۰.۴۴۸۸ به عنوان مهمترین معیار و تأثیرگذارترین معیار برای افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی باتوجه به صنعت ۴.۰ توسط خبرگان شناسایی گردید و بعداز آن رباتیک با وزن ۰.۲۵ در رتبه دوم، اینترنت اشیا با وزن ۰.۱۵ در رتبه سوم، داده‌کاوی و رایانش ابری باوزن ۰.۰۸۸ دررتبه‌ی چهارم و دوقلوهای دیجیتال باوزن ۰.۰۵۳۳ در رتبه‌ی پنجم قرار گرفت.

جدول ۷. وزن نهایی برای زیرمعیار های رباتیک

زیرمعیارها	شاخص	Sj (اهمیت نسبی مقادیر متوسط)	Kj =Sj+1 ضریبk	Qj (وزن اولیه)	Wj (وزن نرمال نهایی)	رتبه
خودکارسازی فرآیندها	$C_{۲}$	–	۱	۱	۰.۴۳۲۹	۱
تولید افزایشی	$C_{۶}$	۰.۷۰۹۵	۱.۷۰۹۹	۰.۳۲۲۹	۰.۲۵۳۲	۲
صرفه‌جویی در زمان و هزینه	$C_{۷}$	۰.۸۱۱۴	۱.۸۱۱۴	۰.۱۹۱۳	۰.۱۳۹۸	۳
افزایش ایمنی و روحیه ی نیروی کار	$C_{۱}$	۰.۶۸۸۱	۱.۶۸۸۱	۰.۱۹۱۳	۰.۰۸۲۸	۴
افزایش کارایی اپراتور	$C_{۴}$	۰.۷۴۹۵	۱.۷۴۹۵	۰.۱۰۹۳	۰.۰۴۷۳	۵
حمل‌ونقل خودکار	$C_{۳}$	۰.۷۲۳۸	۱.۷۲۳۸	۰.۰۶۳۴	۰.۰۲۷۵	۶
انبارداری مکانیزه	$C_{۵}$	۰.۶۶۲۴	۱.۶۶۲۴	۰.۰۳۸۲	۰.۰۱۶۵	۷

در میان زیرمعیارهای رباتیک با توجه به جدول ۷، خودکارسازی فرایندها با وزن ۰.۴۳ به‌عنوان به‌عنوان مهمترین و تأثیرگذارترین زیرمعیار برای رباتیک در افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی باتوجه به صنعت ۴.۰ توسط خبرگان شناسایی گردید .زیرمعیار تولید افزایشی بارتبه‌ی ۰.۲۵ رتبه‌ی دوم، زیرمعیار صرفه جویی در زمان و هزینه باوزن ۰.۱۳ در رتبه‌ی سوم، زیرمعیار افزایش ایمنی و روحیه ی نیروی کار با وزن ۰.۰۲۸ در رتبه‌ی چهارم، زیرمعیار افزایش کارایی اپراتور با وزن ۰.۰۴۷ در رتبه‌ی پنجم، زیرمعیار حمل و نقل خودکار باوزن ۰.۰۲۷ در رتبه‌ی ششم وزیرمعیار انبارداری مکانیزه با وزن ۰.۰۱۶ در رتبه‌ی هفتم قرار گرفت

جدول ۸. وزن نهایی برای زیرمعیار های دوقلوهای دیجیتال

زیرمعیارها	شاخص	Sj (اهمیت نسبی مقادیر متوسط)	Kj =Sj+1 ضریب k	Qj وزن اولیه	Wj (وزن نرمال نهایی)	رتبه
طراحی، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید و تصمیم‌گیری کارآمد	$D_۴$	–	۱	۱	۴۷۲۹.۰	۱
تحلیل فرایند تولید	$D_۲$	۰. ۷۲۵	۱ .۷۲۵	۰. ۵۷۹۷	۰. ۲۷۴۱	۲
پیش‌بینی وقفه‌های تولید	$D_۳$	۰. ۷۷۱۹	۱ .۷۷۱۹	۰.۳۲۷۲	۰.۱۵۴	۳
آزمایش مجازی فرآیندهای تولید	$D_۱$	۰. ۵۷۳۸	۱. ۵۷۳۸	۰. ۲۰۷۹	۰.۰۹۸۳	۴

با توجه به جدول ۸ در میان زیرمعیارهای دوقلوهای دیجیتال، طراحی، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید و تصمیم‌گیری کارآمد با وزن ۴۷.۰ به‌عنوان به‌عنوان مهمترین و تأثیرگذارترین زیرمعیار برای دوقلوهای دیجیتال در افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی باتوجه به صنعت ۴.۰ توسط خبرگان شناسایی گردید. تحلیل فرایند تولید با وزن ۰.۲۷ در رتبه‌ی دوم، پیش بینی وقفه‌های تولید باوزن ۰.۱۵ در رتبه‌ی سوم، آزمایش مجازی فرآیندهای تولید با وزن ۰.۰۹۸ در رتبه چهارم رتبه بندی شد.

جدول ۹. وزن نهایی برای زیرمعیارهای اینترنت اشیا

زیرمعیارها	شاخص	Sj اهمیت نسبی مقادیر متوسط	Kj =Sj+1 ضریب k	Qj (وزن اولیه)	Wj (وزن نرمال نهایی)	رتبه
تشخیص و ردیابی داده‌ها	$A_۱$	–	۱	۱	۰ .۴۴۳۵	۱
افزایش نظارت بر فرایند تولید و مدیریت فرایندها	$A_۴$	۰. ۷۸۴۸	۱. ۷۸۴۸	۰.۵۶۰۳	۰. ۲۴۸۵	۲
بهینه‌سازی فرایندها از طریق دسترسی به اطلاعات آنی	$A_۶$	۰.۶۸۶	۱.۶۸۶	۰. ۳۳۲۲	۰.۱۴۷۳	۳
اسکن بارکد و شناسایی تصاویر از طریق حسگرها	$A_۲$	۰. ۷۴۶۲	۱. ۷۴۶۲	۰. ۱۹۰۲	۰. ۰۸۴۴	۴
ضبط و برقراری ارتباط و انتقال و اشتراک داده‌ها	$A_۵$	۰.۷۴۳	۱. ۷۴۳	۰. ۱۰۹۱	۰. ۰۴۸۴	۵
پیش‌بینی خرابی	$A_۳$	۰.۷۳	۱.۷۳	۰.۰۶۳	۰. ۰۲۸	۶

باتوجه‌به جدول ۹ و رتبه‌بندی خبرگان در میان زیرمعیارهای اینترنت اشیا، تشخیص و ردیابی داده‌ها با وزن ۰.۴۴ به‌عنوان مهمترین و تاثیرگذارترین زیرمعیار انتخاب شد. زیرمعیار افزایش نظارت بر فرایند تولید و مدیریت فرآیندها با وزن ۰.۲۴ در رتبه‌ی دوم، زیرمعیار بهینه‌سازی فرآیندها از طریق دسترسی به اطلاعات آنی با وزن ۰.۱۴ در رتبه‌ی سوم، زیرمعیار اسکن بارکد و شناسایی تصاویر از طریق حسگرها با وزن ۰.۰۴ دررتبه‌ی چهارم، زیرمعیار ضبط و برقراری ارتباط و انتقال و اشتراک داده‌ها با وزن ۰.۰۴۸ در رتبه‌ی پنجم و زیرمعیار پیش بینی خرابی با وزن ۰.۰۲۸ در رتبه‌ی ششم رتبه بندی شد .

جدول ۱۰. وزن نهایی برای زیرمعیار های داده کاوی و رایانش ابری

زیرمعیارها	شاخص	Sj (اهمیت نسبی مقادیر متوسط)	Kj =Sj+1 ضریبk	Qj (وزن اولیه)	Wj (وزن نرمال نهایی)	رتبه
تجزیه‌وتحلیل داده‌ها باقابلیت اطمینان و مقرون‌به‌صرفه	$B_۴$	-	۱	۱	۰.۴۴۹۳	۱
افزایش قابلیت اطمینان داده‌ها محاسبات و تراکنش‌ها	$B_۳$	۰.۸۲۴	۱.۸۲۴	۰.۵۴۸۲	۰.۲۴۶۴	۲
تمرکز بر جنبه‌های کاربردی داده‌ها	$B_۱$	۰.۶۹۳۸	۱.۶۹۳۸	۰.۳۲۳۷	۰.۱۴۵۴	۳
افزایش نظارت و قدرت تصمیم‌گیری در مرحله تحلیل قبل از تولید	$B_۲$	۰.۷۵۸۱	۱.۷۵۸۱	۰.۱۸۴۱	۰.۸۲۷	۴
انتقال و اشتراک داده‌های تولید	$B_۵$	۰.۷۱۳۸	۱.۷۱۳۸	۰.۱۰۷۴	۰.۰۴۸۳	۵
اجرای صحیح دستورالعمل‌ها	$B_۶$	۰.۷۳۲۴	۱.۷۳۲۴	۰.۰۶۲	۰.۰۲۷۹	۶

باتوجه‌به جدول ۱۰ و رتبه‌بندی خبرگان در میان زیرمعیارهای داده‌کاوی و رایانش ابری، زیرمعیار تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با قابلیت اطمینان و مقرون‌به‌صرفه با وزن ۰.۴۴ در رتبه‌ی اول قرار گرفت. به زیرمعیار افزایش قابلیت اطمینان داده‌ها در محاسبات و تراکنش ها باوزن ۰.۲۴ رتبه‌ی دوم، زیرمعیار تمرکز بر جنبه های کاربردی داده‌ها با وزن ۰.۱۴ رتبه‌ی سوم، زیرمعیار افزایش نظارت و قدرت تصمیم‌گیری در مرحله تحلیل قبل از تولید با وزن ۰.۰۸۲ رتبه‌ی‌چهارم، زیرمعیار انتقال و اشتراک داده‌های تولید با وزن ۰.۰۴۸ رتبه پنجم و زیرمعیار اجرای صحیح دستورالعمل ها با وزن ۰.۰۲۸ رتبه‌ی ششم تعلق گرفت.

جدول ۱۱. وزن نهایی برای زیرمعیار های هوشمندی و یکپارچگی زنجیره تأمین

زیرمعیارها	شاخص	Sj (اهمیت نسبی مقادیر متوسط)	Kj =Sj+1 ضریب k	Qj (وزن اولیه)	Wj (وزن نرمال نهایی)	رتبه
افزایش بهره‌وری در انرژی و منابع تولید از طریق کاهش ضایعات	$E_۱$	-	۱	۱	۴۵۳۷/۰	۱
یکپارچه‌سازی و دیجیتالی کردن تولید	$E_۴$	۰.۷۵۴۸	۱.۷۵۴۸	۰.۵۶۹۹	۰.۲۵۸۵	۲
افزایش چابکی سازمانی	$E_۵$	۰.۶۹۶۲	۱.۶۹۶۲	۰.۳۳۶۰	۰.۱۵۲۴	۳
برنامه‌ریزی خودکار از طریق هوش مصنوعی	$E_۳$	۰.۷۶۱۹	۱.۷۶۱۹	۰.۱۹۰۷	۰.۰۸۶۵	۴
ردیابی مراحل ساخت و تولید از طریق بلاک‌چین	$E_۲$	۰.۷۷۱۴	۱.۷۷۱۴	۰.۱۰۷۶	۰.۰۴۸۸	۵

با توجه به جدول ۱۱ در میان زیرمعیارهای هوشمندی و یکپارچگی زنجیره تأمین با نظر خبرگان زیرمعیار افزایش بهره‌وری در انرژی و منابع تولید از طریق کاهش ضایعات با وزن ۰.۴۵ رتبه یک تعلق گرفت. زیرمعیار یکپارچه سازی و دیجیتالی کردن تولید با وزن ۰.۲۵ در رتبه دوم، زیرمعیار افزایش چابکی سازمانی با وزن ۰.۱۵ در رتبه سوم، زیرمعیار برنامه‌ریزی خودکار از طریق هوش مصنوعی با وزن ۰.۰۸۶ در رتبه چهارم و زیرمعیار ردیابی مراحل ساخت و تولید از طریق بلاک‌چین با وزن ۰.۰۴۸ در رتبه پنجم رتبه‌بندی شد.

در عصر انقلاب صنعتی چهارم شرکت‌ها به‌خصوص شرکت‌های کوچک و متوسط در سرتاسر جهان در حال تغییر شکل از حالت سنتی به دیجیتالی هستند، ضرورت افزایش انعطاف‌پذیری تولید با هزینه‌ی معقولانه و بهبود تولیدات به بالاترین کیفیت که پاسخگوی نیاز مشتریان باشد، در شرکت‌های کوچک و متوسط بخصوص شرکت‌هایی که به‌منظور افزایش صادرات و همگامی با روند جهانی‌شدن، تکنولوژی محور و دانش‌بنیان هستند، بیشتر از گذشته احساس می‌شود. پژوهش حاضر باهدف شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر ارتقای انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی صورت پذیرفت. در این راستا پنج معیار اصلی شامل: هوشمندی و یکپارچگی زنجیره تأمین، رباتیک، اینترنت اشیا، داده‌کاوی و رایانش ابری و دوقلوهای دیجیتال و بیست وه شت زیرمعیار باتوجه‌به نظر خبرگان و با استفاده از

روش دلفی در دو دور شناسایی گردیده تحلیل‌های انجام‌گرفته بر مبنای این معیارها و زیرمعیارها، صورت‌گرفته است. معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده در روش دلفی توسط خبرگان صنعت تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی، بر اساس روش تصمیم‌گیری چند شاخصه و روش سوآرا رتبه‌بندی گردید و مهم‌ترین معیارها و زیرمعیارها به تفکیک مشخص گردید. تحلیل‌ها توسط نرم‌افزار اکسل انجام شد. نتایج حاصل از پژوهش حاکی از آن است که برای افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی، سازمان‌ها و شرکت‌های عضو توجه بیشتری را به ترتیب اهمیت به معیارهای هوشمندی و یکپارچگی زنجیره تأمین، رباتیک، اینترنت اشیا، داده‌کاوی و رایانش ابری و دوقلوهای دیجیتال اختصاص دهند. در هرکدام از معیارهای ذکر شده در بالا اولویت زیرمعیارها نیز مشخص گردیده است تا مدیران و صاحبان شرکت‌ها در زنجیره تأمین بتوانند با هزینه کمتر و خطای کمتر پیاده‌سازی موفق‌تری را انجام دهند و در جهت پیشرفت و سرعت‌بخشیدن به کسب‌وکار خود در محیط‌های پویا و فعال رقابتی از این امکانات استفاده نمایند.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

مقاله فوق باهدف افزایش انعطاف‌پذیری تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی انجام شد. تمایز پژوهش حاضر با پژوهش‌های قبلی در معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده و همچنین رتبه‌بندی این عوامل جهت تسهیل در تصمیم گیری مدیران برای استفاده از این عوامل می باشد. همچنین استفاده از خبرگان با سابقه‌ی حضور در بازارهای بین‌الملل و جهانی به لحاظ عدم تمرکز به جغرافیای منطقه‌ای خاص موجب تمایز پژوهش فوق نسبت به پژوهش‌های مشابه شده است. توجه به ماهیت فناوری‌محور و بین‌المللی بودن شرکت‌ها در مقاله فوق، تأکید بیشتری بر نوآوری و استفاده از صنعت۴.۰ در تولید دارد که در پژوهش های مشابه عوامل شناسایی شده و تأثیر معیارها و عوامل بر بازارهای جهانی در نظر گرفته نشده‌است

تولید انعطاف‌پذیر با رویکرد تکنولوژی بخصوص فناوری‌های صنعت ۴.۰ در شرکت‌های بین المللی صادرات محور، باعث می‌شود تا بهره‌وری بهبود یافته و مدل های کسب وکار جدید ایجا شود و فرآیندها و سیستم ها را برای ایجاد زنجیره‌ی هوشمند و یکپارچه آماده می‌سازد. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش و باتوجه‌به اینکه با شناخت و استفاده مناسب از ابزارهای مدیریتی، مدیران شرکت‌های فناوری محور بین‌المللی می‌توانند تغییرات مهم و اقدامات جدید را در شرکت‌های تولیدی به اجرا بگذارند، به‌کارگیری معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده که باتوجه‌به فناوری‌های نوین، به‌دست‌آمده بسیار می‌تواند سودمند باشد

فناوری‌های در حال توسعه‌ی صنعت ۴.۰ بخصوص در شرکت‌های با رویکرد صادرات این پتانسیل را دارند که از طریق زیرمعیارهای شناسایی شده در پژوهش، موجب تقویت سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر و بالابردن راندمان تولید صنعتی شوند. مزایای سیستم تولید انعطاف‌پذیر عبارت‌اند از: کاهش هزینه‌های تولید، بهره‌وری بیشتر کارگران، افزایش‌یافتن بازده دستگاه‌های تولیدی، افزایش قابلیت اطمینان، زمان کوتاه‌تر در تولید، کاهش موجودی قطعات و افزایش مقدار تولید. سیستم تولید انعطاف‌پذیر باتوجه‌به اینکه توسط کامپیوتر هدایت می‌شود، در شرکت‌های بین-المللی، به راه‌حل‌های دیجیتال و فناوری محور در فرایندهای صنعتی سازگاری بهتری را نشان می‌دهد که در پژوهش فوق با ذکر اهمیت و رتبه مشخص گردید .پژوهش فوق از طریق شناسایی مهم‌ترین فناوری‌های صنعت ۴.۰ که بر افزایش انعطاف‌پذیری تولید تأثیر می‌گذارد و مشخص نمودن اولویت هر عامل نسبت به سایر عوامل، مدیران و سیاست‌گذاران شرکت‌های تولیدی را با تمام این عوامل آشنا کرده تا از طریق به‌کارگیری معیارها و زیرمعیارهای به‌دست‌آمده در پژوهش و میزان اولویت هر کدام بهترین سیاست را جهت کسب مزیت رقابتی و حضور در بازارهای جهانی اتخاذ کنند بدون اولویت‌بندی معیارها و زیرمعیارها، ممکن است ارزیابی عملکرد شرکت دشوار شده و مانع از شناسایی نقاط قوت و ضعف شود و روند بهبود را مختل کند. روند توسعه‌ی فناوری اطلاعات به سمتی است که طی سال‌های آینده استفاده از محصولات و خدمات به‌صورت سنتی مقرون‌به‌صرفه نخواهد بود، بنابراین سرمایه‌گذاری برای ایجاد زیرساخت برای استفاده از فناوری‌های مدرن امری اجتناب‌ناپذیر است که همه‌ی شرکت‌ها و بخصوص شرکت‌های بین‌المللی باید به آن توجه داشته باشند. ایجاد زیرساخت برای فناوری اطلاعات راه را برای استفاده و

به‌کارگیری فناوری‌های صنعت ٤/٠ در شرکت‌های تولیدی فناوری محور بین‌المللی باز می‌کند؛ بنابراین هزینه‌های اولیه به میزان زیادی کاهش‌یافته و از طرفی تقاضا برای استفاده از این فناوری‌ها به‌خصوص در بخش تولید افزایش می‌یابد

بنابراین، با توجه به نتایج پژوهش و با تاکید بر عواملی که دارای رتبه بالاتری بوده اند، پیشنهادهای زیر به مدیران و سیاست گذاران ارایه شده است:

- جهت پیاده‌سازی و بهره‌برداری از ظرفیت اینترنت اشیا در دو سطح پیشنهاد کاربردی ارایه می‌شود. در سطح اول به مدیران و سیاست‌گذاران سطح کلان پیشنهاد می‌شود برنامه ریزی مدونی در سطح بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت جهت هدف گذاری و تعریف نیازمندی‌ها و تبیین موضوع داشته باشند. در سطح دوم به مدیران شرکت‌های تولیدی فناوری محور بین‌المللی پیشنهاد می‌شود، استفاده از اینترنت اشیا را به‌عنوان یکی از معیارهای اصلی که رتبه‌ی بالاتری نسبت به سایر عوامل دارد وباعث افزایش انعطاف‌پذیری در تولید در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی می‌شود را موردتوجه قرار داده و شرکت‌های تولیدی خود را مجهز به این سیستم نمایند؛ زیرا با استفاده از فناوری اینترنت اشیا، دستگاه‌های مختلف در کارخانه تولید می‌توانند برای همکاری و تولید نتایج برنامه‌ریزی شوند. این قابلیت، جمع‌آوری و تفسیر داده‌ها را بر اساس محیط و تجهیزات فعلی برای هدایت از راه دور مهیا می‌سازد و دسترسی و نظارت مدیران بر شرکت، محصولات و فرایندها را افزایش می‌دهد .بهره‌گیری از اینترنت اشیا، امکان هشدارهایی برای مواردی مانند انحرافات از برنامه‌ها، موارد گمشده و غیرقابل‌دسترس و غیره را با ارسال اطلاعاتی از جمله حجم، مکان، تعداد موجودی برای هر کالا را به سیستم تولیدی خود اضافه کرده و با بهره‌گیری از این امکانات میزان و حجم تولیدات و نظارت را افزایش دهند. جهت پیاده سازی اینترنت اشیا در شرکت های تولیدی، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های اینترنت اشیا، تخصیص منابع مالی برای خرید حسگرها، تجهیزات شبکه بی‌سیم و نرم‌افزارهای تحلیلی ضروری است؛ همچنین، باید زیرساخت‌هایی ایجاد شود که امکان جمع‌آوری و ذخیره‌سازی داده‌ها را فراهم کند تا شرکت بتواند از آن‌ها برای تحلیل و تصمیم‌گیری استفاده کند. طراحی استراتژی‌هایی برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و تحلیل داده‌ها می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند تا تصمیمات بهتری بگیرند. به مدیران پیشنهاد می‌شود جهت بهرمندی از مزایای اینترنت اشیا برگزاری دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های عملی در زمینه‌ی تحلیل داده‌ها، کار با حسگرها و نرم‌افزارهای مربوطه، به کارکنان را افزایش داده تا کارکنان با فناوری‌های جدید آشنا شده و توانایی‌های خود را در استفاده از آن‌ها افزایش دهند. همچنین به مدیران پیشنهاد می‌شود همکاری با استارتاپ‌ها و شرکت‌های فناوری محور را افزایش داده تا شرکت‌های کوچک و متوسط بین المللی بتوانند از نوآوری‌ها و راهکارهای جدید در زمینه اینترنت اشیا بهره‌برداری کنند. این همکاری می‌تواند شامل پروژه‌های مشترک، تبادل دانش و حتی سرمایه‌گذاری در پروژه‌های نوآورانه باشد.
- به مدیران شرکت‌های تولیدی فناوری محور بین‌المللی پیشنهاد می‌شود، با مجهز کردن سیستم‌های تولیدی خود به فناوری رباتیک به‌منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه و خودکارسازی فرایندها و برنامه‌ریزی سریع، سرعت کار را برای فرایندهای تولید به‌خصوص فعالیت‌های سخت افزایش داده و به پتانسیل قابل‌برنامه‌ریزی بودن تجهیزات رباتیک با سرعت مطلوب در عرصهٔ جهانی تولید، توجه داشته باشند
- باتوجه به این که استفاده از دوقلوهای دیجیتال و شبیه‌سازی تولید در صنعت، یک الزام جهت کاهش ریسک سرمایه‌گذاری‌های کلان است؛ بنابراین به مدیران شرکت‌های تولیدی فناوری محور بین‌المللی پیشنهاد می‌شود جهت مجهز کردن سیستم تولیدی به دوقلوهای دیجیتال که یک مدل مجازی برای اجرای شبیه‌سازی‌ها، مطالعه مسائل مربوط به عملکرد و توسعه محصولات، باهدف ایجاد اطلاعات ارزشمند است، از دوقلوهای دیجیتال استفاده شود. از این قابلیت می‌توان به‌منظور تصمیم‌گیری کارآمد و تحلیل فرایند تولید برای تأیید عملکرد محصول استفاده کنند؛ زیرا این تکنولوژی نشان می‌دهد محصولات در حال حاضر چگونه در دنیای فیزیکی و بازار عمل می‌کنند؛ این فناوری به کاهش ریسک و افزایش چابکی در تولید نیز کمک شایانی می‌نماید.
- از آنجا که تولیدکنندگان هر روزه با انتظارات بیشتری از سوی مشتریان روبرو هستند به‌منظور کاهش ضایعات و هدر نرفتن منابع تولید و استفاده بهینه از انرژی، به مدیران شرکت‌های تولیدی فناوری محور بین‌المللی و سیاست‌گذاران در این زمینه پیشنهاد می‌شود که با کنترل لجستیک دیجیتال و استفاده از امکاناتی چون اینترنت اشیا جهت کنترل دستگاه‌های تولید، رباتیک جهت جابه‌جایی تولیدات، برنامه‌ریزی

از طریق هوش مصنوعی و فناوری بلاک‌چین که نتایج پژوهش فوق در اختیار تولیدکنندگان قرارمی دهد، با دسترسی به اطلاعات در هر مرحله از تولید، از بارگیری در انبارها تا تخلیه در نقطه تحویل، یک زنجیرهٔ تأمین هوشمند طراحی و از مزایای آن که همگامی با تکنولوژی جهانی، جذب سرمایه‌گذار خارجی و رقابت در عرصه‌ی جهانی است، استفاده کنند.

● روند توسعه‌ی فناوری اطلاعات به سمتی است که طی سال‌های آتی استفاده از محصولات و خدمات به‌صورت سنتی مقرون‌به‌صرفه نخواهد بود، بنابراین سرمایه‌گذاری برای ایجاد زیرساخت برای استفاده از فناوری‌های مدرن امری اجتناب‌ناپذیر است که شرکت‌ها و سیاست‌گذاران در شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی و شرکت‌های تولیدی، باید به آن توجه داشته باشند. تحقق هزینه پایین و کیفیت بالا به‌تنهایی نمی‌تواند باعث کسب موفقیت شود. شرکت‌ها بخصوص شرکت‌های تولیدی بین‌المللی باید در جستجوی راه‌های جدیدي براي کسب مزیت رقابتي در عرصهٔ منطقه‌ای و جهانی نسبت به رقبا باشند. در این راستا مدیران باید علاوه بر کاهش هزینه‌ها و تمرکز بر اهداف بلندمدت، ایجاد زیر ساخت برای فناوری‌های نوین و آموزش فناوری‌های پیشرفته را در دستور کار خود قرار دهند. ایجاد زیرساخت برای فناوری اطلاعات راه را برای استفاده و به‌کارگیری فناوری‌های صنعت ۴.۰ در شرکت‌های تولیدی باز می‌کند؛ بنابراین هزینه‌های اولیه به میزان زیادی کاهش‌یافته و از طرفی تقاضا برای استفاده از این فناوری‌ها به‌خصوص در بخش تولید افزایش می‌یابد؛ بنابراین به سازمان صنایع کوچک پیشنهاد می‌شود زیر ساخت‌های موردنیاز برای فناوری‌های صنعت ۴.۰ را از طریق شرکت در کنفرانس-های علمی، ارتباط با دانشگاه و استفاده از افراد متخصص شناسایی و در اختیار شرکت‌های تولیدی قرار داده یا با ارائه و برنامه‌ریزی تسهیلات، راه را برای ایجاد این تسهیلات هموار کند

همچون سایر پژوهش‌ها، پژوهش حاضر نیز با محدودیت‌هایی همراه بوده که مهم‌ترین آنها به شرح زیر است

● ایده‌آل این است که جهت پیاده‌سازی موفق فناوری‌های صنعت ۴.۰ از نتایج سازمان‌ها و صنایعی که این سیستم را پیاده‌سازی کرده‌اند استفاده شود؛ ولی به دلیل نوظهور بودن این فناوری‌ها بخصوص در کشور و سابقه پیاده‌سازی این فناوری‌ها بیشتر در بخش‌های خدماتی (همچون مراکز دانشگاهی و کتابخانه‌ها)، نتایج مقطعی بوده و نیاز است در سال‌های آتی تکرار شود.

باتوجه‌به نتایج حاصله و محدودیت‌های پژوهش، برای انجام مطالعات و پژوهش‌هایی در آینده پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه می‌گردد:

● پژوهش حاضر با تمرکز بر شرکت‌های کوچک و متوسط فناوری محور بین‌المللی صورت پذیرفت، لذا باتوجه‌به ظرفیت و نیاز کنونی کشور جهت آگاهی مدیران و تصمیم‌گیرندگان کلان از فناوری‌های صنعت ۴.۰ و تشویق جهت اقدام به پیاده‌سازی آن، پیشنهاد می‌شود که این پژوهش در سایر شرکت‌ها همچون شرکت‌های بزرگ نیز انجام گیرد.

● باتوجه‌به اینکه استفاده و پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰ برای شرکت‌های تولیدی نیاز به ایجاد زیرساخت مناسب دارد، به پژوهشگران بعدی پیشنهاد می‌شود که پژوهشی با عنوان زیرساخت‌های مورد نیاز جهت پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت۴٫۰ در تولید انعطاف‌پذیر انجام شود تا نتایج حاصل از پژوهش به همراه پژوهش فوق جهت پیاده سازی فناوری های نوین در شرکت‌های بین‌المللی مورد استفاده قرار بگیرد.

● باتوجه به اهمیتی که اینترنت اشیا بر تولید و افزایش انعطاف پذیری در تولید دارد، به پژوهشگران پیشنهاد می‌شود پژوهشی جهت تحلیل تأثیر اینترنت اشیا بر بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و بررسی نحوه استفاده از حسگرها و دستگاه‌های متصل به اینترنت برای جمع‌آوری داده‌های مربوط به عملکرد ماشین‌آلات، زمان‌های توقف و کارایی در شرکت‌های کوچک و متوسط انجام شود.

● پژوهش حاضر با تعداد محدودی از معیارها و زیرمعیارها صورت‌گرفته است، جهت تکمیل‌شدن و بهبود نتایج و دستیابی به عوامل تأثیرگذار، پیشنهاد می‌گردد که جهت شناسایی مهم‌ترین معیارها و زیرمعیارهای افزایش انعطاف‌پذیری تولید از سایر روش‌های کیفی همچون روش کیو (به دلیل استفاده از ذهنیت‌های متنوع و متفاوت) استفاده شود.

تعارض منافع نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به‌عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از تمامی خبرگان دانشگاهی و خبرگان حوزه فناوری اطلاعات و تولید که در انجام این پژوهش همکاری نمودند و همچنین از سازمان صنایع کوچک شرکت‌های صنعتی ایران (شرکت شهرک‌های صنعتی گیلان) که حمایت مالی را به عهده گرفتند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

1. Abbaszadeh, M. (2011). A reflection on validity and reliability in qualitative research. *Applied Sociology, 23(45)*, 19-34. (In Persian).
2. Abdulnour, Samir ; Baril ,Chantal. (2022). Implementing Industry 4.0 Principles and Tools in SME. *Sustainability*. *14*(10), 6336.
3. Agolla, J. E. (2018). Human capital in the smart manufacturing and industry 4.0 revolution. *Digital Transformation in Smart Manufacturing*, 41–58.
4. Amid, A., Ghamkhahari, S. (2009). Investigating the effect of information technology on the development of exports of small and medium industries in Iran. *Management Perspective, 32*, 183-202. (In Persian).
5. Amini, A., Fatahi, H. (2018). Designing a model for the internationalization of SME's in nano-based knowledge companies. *Journal of Business Management, 10*,583-602. (In Persian).
6. Ammar, M., Haleem, A., Javaid, M., Wail, R., Bah, S. (2021). Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies. *Materials Today: Proceedings, 45*, 5089–5096.
7. Bazargan, A. (2019). An introduction to qualitative and mixed research methods: common approaches in behavioral sciences. Tehran: Didar Publishing House. (In Persian).
8. Bejtkovský, J., Rózsa, Z., Mulyaningsih, H. (2018). A phenomenon of digitalization and e-recruitment in business environment. *Polish Journal of Management Studies, 18*, 58–68.
9. Bonilla, S., Silva, H., Terra D. Silva, M., Franco Gonçalves, R., Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and sustainability implications: a scenario-based analysis of the impacts and challenges. *Sustainability, 10(10)*,3740 .
10. Buer, S., Strandhagen, O., Chan, F. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(4):1-17
11. Davari, A., Rezazadeh, A. (2012). Structural equation modeling with PLS software. Tehran: Jihad University Press. (In Persian).
12. Ebrahimpour Azbari, M., Moradi, M., Marzban Moghadam, N. (2014). Providing a model for improving the performance of technology-oriented companies based on the ability of supplier integration. *Industrial Technology Development Bi-Quarterly, 26*, 65-77. (In Persian).
13. Eloundou, J., Sahnoun, M., Louis, A., Baudr, D., Bensrhair, A. (2015). Evaluation of the routing flexibility of flexible manufacturing system. *International Conference on Integrated Design and Production CPI, Tangier, Morocco, Dec. 2015*, 1-22.
14. Erol, S., Jager, A., Hold, P., Ott, K., Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. *Procedia CIRP, 54*, 13–18.
15. Esmaeilian, B., Behdad, S., Wang, B. (2016). The evolution and future of manufacturing: a review. *Journal of Manufacturing Systems, 39(1)*, 79–100.
16. Esmaeilpour, R., Soleimani, R., Akbari, M., Ebrahimpour, M. (2020). Designing a strategic model for internationalization of Iranian knowledge-based enterprises. *Journal of International Business Administration, 8*, 83–108.
17. El Tamimi, A., Abidi, H., Mian, S., Aalam, J. (2011). Analysis of performance measures of flexible manufacturing system. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, Volume 24, Issue 2, July 2012, Pages 115-129

18. Faizi, K., Irandoost, M. (2012). A method for research, decision-making and foresight. Tehran: Publications of Industrial Management Organization.
19. Frank, A., Dalenogare, L., Ayala, N. (2019). Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics, 210*, 15–26.
20. Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management, 29(6)*, 910–936.
21. Hadjielias, E., Christofi, M., Christou, P., Hadjielia Drotarova, M. (2022). Digitalization, agility, and customer value in tourism. *Technological Forecasting and Social Change, 175*, 121334.
22. Hafez Nia, M. (2008). An introduction to research methods in human sciences. Tehran: Samt Publications. (In Persian).
23. Hanelt, A., Bohnsack, R., Marz, D., Antunes, C. (2021). A systematic review of the literature on digital transformation: insights and implications for strategy and organizational change. *Journal of Management Studies*, Volume58, Issue5, 1159-1197.
24. He, J., Liu He, X., Liu, X. (2023). Study on the impact and mechanism of industrial internet pilot on digital transformation of manufacturing enterprises. *Sustainability,* 15(10), 7872.
25. Hose, K., Amaral, A., Go¨tze, U., Pec, P. (2023). Implementation of flexible manufacturing systems in Africa: multiple case studies in the Gambia and Ghana. *Nigerian Journal of Technological Development / Global Journal of Flexible Systems Management*, 20(1).
26. Iranzadeh, S., Shamsi, Y., Taghizadeh, H. (2021). Designing and explaining the model of production flexibility in the food industry. *Industrial Management Studies, 19*(63), 125-162. (In Persian).
27. Jacob, H. (1989). Flexibilität und ihre Bedeutung für die Betriebspolitik. *Integration und Flexibilität*, 15–60.
28. Javaid, M., Haleem, A., Pratap Singh, R., Suman, R. (2022). Enabling flexible manufacturing system (FMS) through the applications of Industry 4.0 technologies. *Internet of Things*, 2, 2022, 49-62.
29. Karabasevic, D., Paunkovic, J., Stanujkic, D. (2016). Ranking of companies according to the indicators of corporate social responsibility based on SWARA and ARAS methods. *Serbian Journal of Management*, 11(1),43-53.
30. Keršuliene, V., Zavadskas, E., Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management, 11(2)*, 243–258.
31. Kiani Bakhtiari, A., Mousavi Mohadi, A. (2021). Fourth industrial revolution and the leading fundamental changes. *Nesha Alam Magazine, 11(2)*, 155–163. (In Persian).
32. Kohne, T., Theisinger, L., Sheriff, J., Weigold, M. (2021). Data and optimization model of an industrial heat transfer station to increase energy flexibility. *Energy Informatics, 4*, 1–17.
33. Lucas Santos, D., Brittes, B. G., Fabián, A. N., Germán Frank, A. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, Pages 383-394.
34. Luscinski, S., Ivanov, I. (2020). A simulation study of Industry 4.0 factories based on the ontology on flexibility with using Flexim software. *Management and Production Engineering Review*, 11(3),74-83
35. Mohammadpour, A. (2017). Anti-methodology: philosophical backgrounds and practical procedures in qualitative methodology. Second Edition. Qom: Logos Publishing. (In Persian).
36. Molazadeh Yazdani, B., Poya, A., Tavakoli, A. (2017). Typology of production strategies and introducing its differentiating dimensions. *Industrial Management Perspective, 21*, 79–96. (In Persian).
37. Moslemipour, G., Qadirpour, S. (2021). Intelligent design of dynamic deployment of facilities in the random environment of flexible production systems by considering the flexibility of the production route. *Perspective of Industrial Management, 11(401)*, 175. (In Persian).
38. Noeleen, G. (2013). A taxonomy of manufacturing strategies in manufacturing companies in Ireland. *Journal of Manufacturing Technology Management*, (2013) 24 (4), 488–510.
39. Ojstersek, R., Buchmeister, B. (2020). The impact of manufacturing flexibility and multi-criteria optimization on the sustainability of manufacturing systems. *Symmetry*, **12**(1), 157.
40. Olsen, L., Tomlin, B. (2020). Industry 4.0: opportunities and challenges for operations management. *Manufacturing & Service Operations Management, 22*, 113–122.
41. Otrebski, R., Pospisil, D., Engelhardt-Nowitzki, C., Kryvinska, N., Aburaia, M. (2019). Flexibility enhancements in digital manufacturing by means of ontological data modeling. *Procedia Computer Science, 155*, 296–302.
42. Piccarozzi, M., Aquilani, B., Gatti, C. (2018). Industry 4.0 in management studies: a systematic literature review. *Sustainability, 10(10)*, 3821.

43. Poya, A. (2013). The effect of production technology on the competitiveness of production and improvement of commercial performance. *Technology Development Management Quarterly, 3*. (In Persian).
44. Pylaeva, I., Podshivalova, M. V., Alola, A., Podshivalov, D. V., Demin, A. (2022). A new approach to identifying high-tech manufacturing SMEs with sustainable technological development: empirical evidence. *Journal of Cleaner Production, 363*, 132322.
45. Rajput, S., Bennett, D. (1989). Modular system design and control for flexible assembly. *International Journal of Operations & Production Management*. 9 (7), 17–29.
46. Sajid, S., Haleem, A., Bah, J., Mohd Goyal, T., Mittal, M. (2021). Data science applications for predictive maintenance and materials science in context to Industry 4.0. *Materials Today: Proceedings, 45*, 4898-4905.
47. Salvador, F., Rungtusanatham, M., Forza, C., Trentin, A. (2007). Mix flexibility and volume flexibility in a build-to-order environment: synergies and trade-offs. *International Journal of Operations*, 27 (11), 1173–1191.
48. Sari, W., Herianto, M., Budi, D., Tontow, A. (2023). Social manufacturing on integrated production system: a systematic literature review. *Management Systems in Production Engineering*, 31(1),18-26
49. Sassanelli, C., Terzi, S. (2022). The D-BEST reference model: a flexible and sustainable support for the digital transformation of small and medium enterprises. *Global Journal of Flexible Systems Management, 23(3)*, 345–370.
50. Schröder, C. (2017). The challenges of Industry 4.0 for small and medium-sized enterprises. *Friedrich Ebert Stiftung*, ISBN: 978-3-95861-543-4.
51. Sertbaş, A. (2021). Internet of Things: leading the future of manufacturing. 67,108961.
52. Shivanand, H. K., Benal, M. M., Koti, V. (2009). Flexible manufacturing system. New Age International (P) Ltd. ISBN (13) : 978-81-224-2559-8.
53. Sima, V., Gheorghe, I., Georgiana Subic, J., Nancu, D. (2020). Influences of the Industry 4.0 revolution on the human capital development and consumer behavior: a systematic review. *Sustainability, 12(10)*, 4035.
54. Spena, R., Holzner, P., Rauch, E., Vidoni, R., Matt, D. (2016). Requirements for the design of flexible and changeable manufacturing and assembly systems: a SME-survey. *Procedia CIRP*, 207–212.
55. Tasc, D., Mejía, G. (2020). Strategies for flexibility in production systems in Industry 4.0: a framework for characterization. *International Conference of Production Research – Americas, Springer, Cham*, 330–341.
56. Tavakoli, G., Zahiri, M. (2014). Designing organizational culture segmentation pattern in the fourth generation industrial revolution. *Journal of Cultural Management, 16(56)*, 1-19. (In Persian).
57. Theorin, A., Bengtsson, K., Provost, J., Lieder, M., Johnsson, C., Lundholm, T., Lennartson, B. (2016). An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 55(5).
58. Upton, D. M. (1994). The management of manufacturing flexibility. *California Management Review*, 36(2), 72-89.
59. Walker, J., Childe, S., Wang, Y. (2019). Analysing manufacturing enterprises to identify opportunities for automation and guide implementation. *IFAC – International Federation of Automatic Control Conference*, 52(13),2273-2278.
60. Yu, F., Schweisfurth, T. (2020). Industry 4.0 technology implementation in SMEs: a survey in the Danish-German border region. *International Journal of Innovation Studies, 4*, 76–84.
61. Yul Lee, J., Soo Yang, Y., Ghauri, P., Park, B. (2022). The impact of social media and digital platforms experience on SME international orientation: the moderating role of COVID-19 pandemic. *Journal of International Management, 28(4),* 100950.
62. Zolfani, S., Hashemkhani Z., Edmundas, K., Turskis, Z. (2013). Design of products with both international and local perspectives based on Yin-Yang balance theory and SWARA method. *Economic Research – Ekonomska Istrazivanja, 26(2)*, 153–166.