

The Impact of Industry 4.0 Technologies on Supply Chain Performance: The Mediating Role of Resilience and Agility in Small and Medium-Sized Enterprises of Yazd Industrial Estate

Seyyed Habibollah Mirghafoori^{*1}, Seyed Hamed Hosseini², Ali Saffari Darberazi³

1. Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran
2. M.Sc. in Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, University of Science and Art, Yazd, Iran
3. Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Bam Higher Education Complex, Bam, Iran

*. Corresponding Author: mirghafoori@yazd.ac.ir

Received: 7 April 2025

Revised: 28 December 2025

Accepted: 5 January 2026

Abstract

Industry 4.0, recognized as the fourth industrial revolution, employs technologies such as big data, the Internet of Things (IoT), and cloud computing to fundamentally transform the design, management, and control of supply chains. These advancements are particularly critical for small and medium-sized enterprises (SMEs), which often operate under resource constraints and face intense competitive pressures. This study examines the impact of Industry 4.0 technologies on the supply chain performance of SMEs located in Yazd Industrial Estate, with a specific focus on the mediating roles of supply chain resilience and agility. The research is applied in nature and adopts a descriptive-correlational design with a survey-based approach. The statistical population consists of 230 managers and employees of SMEs in Yazd Industrial Estate, selected through convenience sampling. Based on the structural equation modeling technique and the formula $15q < n < 5q$ (where q denotes the number of questionnaire items), a sample size of 142 was determined, of which 116 valid responses were analyzed. The findings indicate that Industry 4.0 has a positive and significant impact on supply chain performance. Furthermore, Industry 4.0 technologies directly enhance supply chain resilience and agility, both of which, in turn, exert positive effects on performance. The results also confirm the mediating role of resilience and agility in the relationship between Industry 4.0 and supply chain outcomes. This study highlights the strategic importance of adopting Industry 4.0 technologies for performance improvement and demonstrates that resilience and agility act as critical mechanisms in this process.

Keywords: Supply chain performance, Resilient supply chain, Agile supply chain, Industry 4.0.

Citation: Mirghafoori, S. H., Hosseini, S. H., & Saffari Darberazi, A. (2025). The Impact of Industry 4.0 Technologies on Supply Chain Performance: The Mediating Role of Resilience and Agility in Small and Medium-Sized Enterprises of Yazd Industrial Estate. *Journal of Technology Development Management*, 13(1), 53–80. <https://doi.org/10.22104/jtdm.2025.7199.3369>

بررسی تاثیر فناوری های صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با نقش میانجی تاب آوری و چابکی

در شرکت های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد

سید حبیب الله میرغفوری^{۱*}؛ سیدحامد حسینی^۲؛ علی صفاری دربرزی^۳

۱. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲. کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی صنایع، مجتمع آموزش عالی بم، بم، ایران

*. نویسنده مسئول: mirghafoori@yazd.ac.ir

پذیرش: ۱۵ دی ۱۴۰۴

بازنگری: ۷ دی ۱۴۰۴

دریافت: ۱۸ فروردین ۱۴۰۴

چکیده

صنعت ۴.۰ به عنوان چهارمین انقلاب صنعتی، با بهره گیری از فناوری هایی همچون کلان داده، اینترنت اشیا و رایانش ابری، موجب تحول اساسی در نحوه طراحی، مدیریت و کنترل زنجیره های تأمین شده است. این تحولات به ویژه برای شرکت های کوچک و متوسط که با محدودیت منابع و فشار رقابتی مواجه اند، اهمیتی دوچندان دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر فناوری های صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین شرکت های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد انجام شده است. در این مطالعه، نقش میانجی دو عامل زنجیره تأمین تاب آور و زنجیره تأمین چابک نیز مورد بررسی قرار گرفته است. این تحقیق از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-همبستگی است که با رویکرد پیمایشی اجرا شده است. جامعه آماری پژوهش را ۲۳۰ نفر از مدیران و کارکنان شرکت های کوچک و متوسط مستقر در شهرک صنعتی یزد تشکیل می دهند که با استفاده از روش نمونه گیری در دسترس انتخاب شدند. برای تعیین حجم نمونه، با توجه به تکنیک مدل سازی معادلات ساختاری و بر اساس فرمول $q < 15$ که در آن q تعداد سؤالات پرسشنامه است، حجم نمونه ۱۴۲ نفر تعیین شد که از این تعداد، ۱۱۶ پرسشنامه قابل تحلیل بازگردانده شد. یافته های پژوهش نشان می دهد که صنعت ۴.۰ تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد زنجیره تأمین دارد. همچنین، نتایج حاکی از آن است که فناوری های صنعت ۴.۰ به طور مستقیم بر تاب آوری و چابکی زنجیره تأمین تأثیرگذار است. از سوی دیگر، هر دو متغیر زنجیره تأمین تاب آور و چابک نیز به نوبه خود تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد زنجیره تأمین دارند. این پژوهش بر اهمیت به کارگیری فناوری های صنعت ۴.۰ در بهبود عملکرد زنجیره تأمین تأکید دارد و نشان می دهد که تاب آوری و چابکی می توانند به عنوان مکانیسم های مهمی در این رابطه عمل کنند.

کلمات کلیدی: عملکرد زنجیره تأمین، زنجیره تأمین تاب آور، زنجیره تأمین چابک، صنعت ۴.۰.

مقدمه

عملکرد زنجیره تأمین به عنوان یکی از موضوعات چالش‌برانگیز در ادبیات مدیریت زنجیره تأمین مطرح است (خان و ایمن^۱، ۲۰۲۵). این عملکرد از طریق شاخص‌هایی چون انعطاف‌پذیری، قابلیت اطمینان، پاسخگویی، کیفیت و مدیریت دارایی مورد سنجش قرار می‌گیرد (دخانیا و همکاران^۲، ۲۰۲۴). در این میان، چابکی و تاب‌آوری به عنوان عوامل کلیدی در بهبود عملکرد زنجیره تأمین شناخته می‌شوند (دی الیویرا-دپاس و همکاران^۳، ۲۰۲۳). چابکی زنجیره تأمین به عنوان ویژگی اساسی زنجیره‌های تأمین موفق در محیط‌های پویای امروزی تعریف می‌شود (خان و همکاران^۴، ۲۰۲۴). سازمان‌های دارای زنجیره تأمین چابک، با توانایی همگام‌سازی عرضه و تقاضا، قادرند واکنش‌های رقابتی مؤثری به تغییرات پیش‌بینی‌نشده محیط کسب‌وکار نشان دهند (پاتل و ساماسیوان^۵، ۲۰۲۲). این قابلیت استراتژیک، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا از طریق یکپارچه‌سازی مؤثر، به سرعت نسبت به نااطمینانی‌های محیطی واکنش نشان دهند (آلدهاوری و احمد^۶، ۲۰۲۳). یک شرکت چابک می‌تواند چالش‌ها و تغییر را به سرعت به فرصت تبدیل کند. چابکی، در حالی که حیاتی و ضروری است، باید در سراسر زنجیره تأمین برای ایجاد موفقیت پایدار برای کسب و کار مورد استفاده قرار گیرد و حفظ شود. به عبارتی دیگر، چابکی سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا به سرعت به تغییرات غیرمنتظره در خواسته‌های مشتریان پاسخ دهند، به اصلاح اتحاد پویا بین بخش‌ها سرعت بخشد و حالت همکاری و تولید را در بین سازمان‌ها ارتقا بخشد و عملکرد زنجیره تأمین را بهبود دهند (دی متئوس دیسامینتو و همکاران^۷، ۲۰۲۴). یکی دیگر از عوامل اثرگذار بر زنجیره تأمین، تاب‌آوری است. تاب‌آوری زنجیره تأمین یک سلاح استراتژیک مهم برای بقای اقتصادی و مالی است. تاب‌آوری زنجیره تأمین به عنوان توانایی یک زنجیره تأمین برای عملکرد در مواجهه با اختلالات گسترده یا بدون کاهش محدود در عملکرد آن تعریف می‌شود (موباریک و همکاران^۸، ۲۰۲۲). تاب‌آوری نه تنها شامل توانایی پاسخ به اختلالات، بلکه قابلیت بازگشت به وضعیت عملیاتی بهتر از قبل را نیز در بر می‌گیرد (قباخلو و همکاران^۹، ۲۰۲۵). در محیط کسب‌وکار پیچیده امروزی، سازمان‌ها به فناوری‌های پیشرفته به عنوان ابزاری استراتژیک برای بهبود عملکرد پایدار روی آورده‌اند (خان و همکاران، ۲۰۲۴). بسیاری از شرکت‌ها در حال حاضر از فناوری‌های کسب و کار الکترونیکی برای ساده‌سازی فرآیندهای کسب‌وکار و بهبود عملکرد عملیاتی خود از طریق دستیابی به یکپارچگی فرآیند خود

¹ Khan & Emon.

² Dokhanian et al.

³ de Oliveira-Dias et al.

⁴ Khan et al.

⁵ Patel & Sambasivan

⁶ Aldhaferi & Ahmad

⁷ de Mattos Nascimento et al.

⁸ Mubarik et al.

⁹ Ghobakhloo et al.

استفاده می‌کنند و اکنون، آن‌ها به شدت در اتوماسیون و رباتیک سرمایه‌گذاری کرده تا از نوآوری‌های فناورانه پیشرفته‌تر مرتبط با صنعت ۴.۰ استقبال کنند (دی متئوس دیسامینتو و همکاران، ۲۰۲۴). این انقلاب صنعتی مزایای قابل توجهی در تولید به ارمغان آورده است که منجر به ایجاد کارخانه‌های هوشمند از طریق ایجاد یکپارچگی گسترده فرآیندها شده است (دی الیویرا-دیاس و همکاران، ۲۰۲۳). صنعت ۴.۰ به عنوان یک چشم‌انداز عملیاتی، عمدتاً از دیدگاه تولید در مطالعات اخیر مورد بحث قرار گرفته است. با این حال، اعتقاد بر این است که صنعت ۴.۰ و فناوری‌های توانمند آن، پتانسیل تأثیرگذاری بر هر گوشه از کارخانه‌ها و سازمان‌ها را دارند و می‌توانند پیشرفت‌های قابل توجهی در مدیریت زنجیره تأمین و لجستیک ایجاد کنند (پازی و همکاران^۱، ۲۰۲۳). به‌ویژه، افزایش مداوم در اتوماسیون سیستم‌های کسب‌وکار و مزایای بهره‌وری ناشی از آن و بهبود کیفیت، سازمان‌ها را تشویق می‌کند تا دیدگاه عملیاتی صنعت ۴.۰ را به سایر حوزه‌های سازمانی چون مدیریت زنجیره تأمین گسترش دهند (دینگ و همکاران^۲، ۲۰۲۳). صنعت ۴.۰ یک انقلاب صنعتی است که با فناوری‌های نوظهور همچون اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، اتوماسیون پیشرفته و تحلیل داده، عملکرد زنجیره تأمین را به طور کلی تحول داده است (مزروعی نصرآبادی و حبیبی‌راد، ۱۴۰۲). این انقلاب چالش‌ها و فرصت‌هایی را برای زنجیره تأمین شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک‌های صنعتی ایجاد کرده است. از یک سو، این امکان را فراهم می‌کند که زنجیره تأمین بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها و بهبود مدیریت موجودی داشته باشد. از سوی دیگر، این فناوری‌ها امکاناتی همچون پیش‌بینی تقاضا، ردیابی و مانیتورینگ بهتر و بهبود ارتباطات با تأمین‌کنندگان و مشتریان را ارائه می‌دهند. با این حال، این انقلاب نیز چالش‌هایی از قبیل امنیت داده، تغییر فرهنگ سازمانی و نیاز به توانمندسازی نیروی انسانی را به همراه دارد. از این رو، صنعت ۴.۰ به عنوان یک فرصت برای بهبود عملکرد زنجیره تأمین و ایجاد ارزش برای مشتریان در شرکت‌های کوچک و متوسط مورد توجه واقع شده است. با توجه به فضای رقابتی موجود و تغییرات غیرقابل پیش‌بینی در بازار و انتظارات مشتریان؛ چابکی و تاب‌آوری زنجیره تأمین می‌تواند به عنوان یک مزیت رقابتی به شمار رود. از این رو استفاده از قابلیت‌های فناوری‌های صنعت ۴.۰ می‌تواند راهکاری مناسب به منظور مقابله با اختلالات موجود در زنجیره تأمین و واکنش بهنگام به تغییرات و انتظارات بازار و مشتریان باشد. امروزه عملکرد زنجیره تأمین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چراکه موفقیت یا شکست یک سازمان بدان بستگی دارد. همچنین با وجود رشد ادبیات صنعت ۴.۰، اغلب مطالعات پیشین بیشتر از منظر تولید و عملیات به این مفهوم پرداخته‌اند و کمتر به نقش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در بهبود عملکرد زنجیره تأمین از طریق چابکی و تاب‌آوری، به‌ویژه در شرکت‌های کوچک و متوسط توجه کرده‌اند. از این رو، خلأ پژوهشی مهمی در این حوزه وجود دارد.

^۱ Pozzi et al.^۲ Ding et al.

پژوهش حاضر با هدف پرکردن این شکاف، به بررسی تأثیر صنعت ۴۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با تأکید بر نقش میانجی چابکی و تاب‌آوری در شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد می‌پردازد.

مبانی نظری

زنجیره تأمین

تحولات زنجیره تأمین در دهه‌های اخیر نشان‌دهنده تغییر نگرش سازمان‌ها به مدیریت منابع است. در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ میلادی تمرکز بر استانداردسازی و کاهش هزینه بود، اما در دهه ۸۰ با تنوع نیاز مشتریان، توجه به انعطاف‌پذیری و توسعه محصولات جدید اهمیت یافت. در دهه ۹۰ نیز روشن شد که بهبود داخلی کافی نیست و هماهنگی با تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان برای موفقیت بازار ضروری است (محمدی و همکاران، ۱۴۰۲). زنجیره تأمین شبکه‌ای از سازمان‌ها است که با ارتباط بالادستی به پایین‌دستی در فرآیندها و فعالیت‌هایی مشارکت داشته و از طریق محصولات و خدمات ارائه‌شده به مشتری نهایی، ایجاد ارزش می‌کنند (خان و ایمن، ۲۰۲۵). به عبارتی، زنجیره تأمین شامل دو یا چند سازمان است که از طریق جریان‌های مواد، اطلاعات پیوسته به هم مرتبط هستند. هدف اصلی زنجیره تأمین؛ کاهش هزینه‌ها، افزایش اثربخشی و ایجاد ارزش برای تمام ذینفعان است. دیدگاه‌های مختلفی درباره دامن زنجیره تأمین وجود دارد؛ برخی آن را به روابط خریدار-فروشنده محدود می‌کنند، عده‌ای تمام سطوح تأمین را در نظر می‌گیرند، و برخی دیگر با الهام از زنجیره ارزش پورتر، آن را شامل کلیه فعالیت‌های لازم برای ارائه محصول یا خدمت به مشتری نهایی می‌دانند (دیدگاه و سهرابی، ۱۴۰۲).

عملکرد زنجیره تأمین

عملکرد زنجیره تأمین یکی از موضوعات چالش برانگیز در ادبیات مدیریت زنجیره تأمین است. عملکرد زنجیره تأمین به توانایی زنجیره برای ارائه محصولات و خدمات ارزشمند و باارزش در مقادیر صحیح و در زمان مناسب، اما با حداقل هزینه کل برای مشتری نهایی زنجیره تأمین اشاره دارد (خان و ایمن، ۲۰۲۵). این امر مستلزم کارایی و اثربخشی کلی شامل انعطاف‌پذیری، یکپارچگی و پاسخگویی به مشتری است (دی متئوس دیسامینتو و همکاران، ۲۰۲۴). به اشتراک‌گذاری اطلاعات به عنوان یک جزء کلیدی برای مدیریت روابط زنجیره تأمین و هدایت موفقیت در عملکرد زنجیره تأمین در نظر گرفته می‌شود (خان و ایمن، ۲۰۲۵). یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین برای تبادل مؤثر اطلاعات و بهبود فرآیندهای تجاری ضروری است. انعطاف‌پذیری و چابکی حاصل از این یکپارچگی به مدیریت ریسک کمک کرده و عملکرد زنجیره تأمین را ارتقا می‌دهد. همچنین، افزایش شفافیت و دید در کل زنجیره به طور مستقیم موجب بهبود عملکرد عملیاتی می‌شود (دی الیویرا-دیاس و همکاران، ۲۰۲۳). اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تأمین ابزاری برای کمی‌سازی و ارزیابی مدیریت عملیاتی است و نشان می‌دهد فعالیت‌ها تا چه

حد اهداف استراتژیک و انتظارات مشتریان را برآورده می‌سازند. این فرآیند نقاط ضعف را آشکار کرده و زمینه بهبود آن‌ها را فراهم می‌آورد. در این راستا، سازمان‌ها با بهره‌گیری از فناوری‌های اطلاعاتی و راه‌حل‌های کسب‌وکار الکترونیکی در پی ارتقای یکپارچگی، افزایش کارایی و توسعه قابلیت‌های تحلیلی خود هستند (خان و همکاران، ۲۰۲۴).

زنجیره تأمین تاب‌آور

در اقتصاد جهانی امروز، رقابت شدید و پیچیدگی‌های فزاینده زنجیره‌های تأمین، مدیریت کارآمد آن‌ها را به عامل کلیدی موفقیت سازمان‌ها بدل کرده است. هرگونه اختلال در جریان محصولات، اطلاعات یا سود می‌تواند عملکرد زنجیره را مختل کند و با توجه به وابستگی متقابل میان حلقه‌های مختلف، دامنه این اختلالات گسترده‌تر می‌شود (کی و همکاران^۱، ۲۰۲۳). جهانی‌شدن و دیجیتالی‌شدن در دهه‌های اخیر، چشم‌انداز محیط کسب‌وکار را دگرگون ساخته است. سازمان‌ها برای افزایش کارایی تولید و دستیابی به فرصت‌های جدید تجاری، به همکاری‌های گسترده‌تری روی آورده‌اند (قباخلو و همکاران، ۲۰۲۵). وابستگی متقابل شرکت‌ها در سطح جهانی، نیازمند زنجیره‌هایی است که در شرایط اختلال و عدم اطمینان پایدار بمانند. عواملی چون پیچیدگی، عدم قطعیت و مخاطرات خارجی امنیت این زنجیره‌ها را تهدید می‌کند و رویدادهایی همچون بلایای طبیعی و بحران‌های انسان‌ساز می‌توانند عملکرد آن‌ها را به شدت مختل سازند (کی و همکاران، ۲۰۲۳). تاب‌آوری زنجیره تأمین به توانایی سازمان برای مقابله با عدم قطعیت‌ها و اختلالات و حفظ تداوم عملیات اشاره دارد. این مفهوم شامل آمادگی، واکنش و بازیابی از رویدادهای غیرمنتظره در حالی است که سطح مطلوب عملکرد همچنان حفظ می‌شود (قباخلو و همکاران، ۲۰۲۵). تاب‌آوری به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد که در مواجهه با اختلالات مقاومت کنند، سازگار شوند یا تغییر یابند و تداوم عملیاتی خود را حفظ نمایند (کی و همکاران، ۲۰۲۳).

چابکی زنجیره تأمین

در محیط پرتلاطم و جهانی امروز، سازمان‌ها با چالش‌هایی چون کوتاه‌شدن چرخه عمر محصولات، نوسانات تقاضا و اختلالات عرضه مواجه‌اند. در چنین شرایطی، چابکی زنجیره تأمین به عنوان یکی از اصول حیاتی بقا و رقابت‌پذیری مطرح می‌شود (حمدانی و همکاران^۲، ۲۰۲۴). چابکی به سازمان‌ها امکان می‌دهد سریع با تغییرات محیطی سازگار شوند و از فرصت‌های بازار بهره‌برداری کنند. در فضای رقابتی و پیچیده امروز، این توانایی به یک عامل حیاتی برای حفظ رقابت‌پذیری و واکنش مؤثر به تغییرات غیرمنتظره بدل شده است (پورباباگل و همکاران^۳،

^۱ Qi et al.

^۲ Hamdani et al.

^۳ Pourbabagol et al.

(۲۰۲۳). این مفهوم نخستین بار در سال ۱۹۹۱ توسط پژوهشگران دانشگاه لیهای معرفی شد و از آن زمان به عنوان یک پارادایم رقابتی نوین شناخته می‌شود. در این رویکرد، سازمان‌ها با تکیه بر دانش بازار و ساختارهای انعطاف‌پذیر می‌توانند به فرصت‌های سودآور در بازارهای بی‌ثبات پاسخ دهند (آلدهاوری و احمد، ۲۰۲۳). زنجیره تأمین چابک به عنوان استراتژی کلیدی برای مدیریت شبکه تأمین و توسعه قابلیت‌های انعطاف‌پذیر جهت پاسخگویی به تقاضاهای متغیر مشتریان شناخته می‌شود. این مفهوم بر حساسیت به نیازهای مشتری حتی در شرایط نوسانات شدید تقاضا تأکید دارد (پورباباگل و همکاران، ۲۰۲۳). چابکی زنجیره تأمین با اتکا به هزینه، کارایی و سرعت سازمان‌ها را قادر می‌سازد عملیات خود را به سرعت با شرایط پویا هماهنگ کنند. تحقق این امر نیازمند روابط مشارکتی، فرآیندهای یکپارچه، زیرساخت‌های اطلاعاتی پیشرفته و سیستم‌های بازارمحور است (حمدانی و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین، توانمندسازهایی همچون روابط مشارکتی در زنجیره تأمین، فرآیندهای یکپارچه، زیرساخت‌های اطلاعاتی پیشرفته و سیستم‌های بازارمحور از ملزومات پیاده‌سازی چابکی به شمار می‌روند (پورباباگل و همکاران، ۲۰۲۳).

صنعت ۴.۰

صنعت ۴.۰ به عنوان چهارمین انقلاب صنعتی، تحولی اساسی در سازماندهی و کنترل زنجیره ارزش محصولات ایجاد کرده است. این پارادایم جدید که نخستین بار در آلمان مطرح شد، با ترکیب فناوری‌های دیجیتال و فیزیکی، رویکردی مشتری‌محور و شخصی‌سازی شده را در فرآیندهای تولید و خدمات ارائه می‌دهد (پازی و همکاران، ۲۰۲۳). هدف اصلی صنعت ۴.۰ پاسخگویی به نیازهای فردی مشتریان در تمام مراحل زنجیره ارزش، از تحقیق و توسعه تا بازیافت است. تفاوت اصلی آن با تولید یکپارچه کامپیوتری در نقش محوری نیروی انسانی در کنار فناوری‌های هوشمند نهفته است. این رویکرد با اتصال حسگرها، دستگاه‌ها و دارایی‌های سازمانی به اینترنت، الگویی نوین از طراحی و توسعه بین‌رشته‌ای ایجاد می‌کند. همچنین، تقسیم فرآیند تولید به واحدهای ارزش‌محور کوچک، انعطاف‌پذیری بیشتری فراهم کرده و پیچیدگی هماهنگی را کاهش می‌دهد (استفانینی و ویگانلی^۱، ۲۰۲۴). ویژگی اصلی صنعت ۴.۰ تولید سیستم‌های فیزیکی است که مبتنی بر داده‌های ناهمگن و یکپارچه‌سازی دانش است (پازی و همکاران، ۲۰۲۳). صنعت ۴.۰ به عنوان مرحله‌ای نوین از تحول صنعتی شناخته می‌شود که در آن، یکپارچگی سیستم‌های تولید با فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، به‌ویژه اینترنت اشیا، منجر به شکل‌گیری سیستم‌های سایبری-فیزیکی می‌گردد. این تحول نه تنها ساختار صنعت و خواسته‌های مشتریان را دگرگون می‌کند، بلکه با دیجیتالی‌سازی کارخانه‌ها و تغییر مدل‌های کسب‌وکار، قوانین رقابت را نیز بازتعریف می‌نماید. از

^۱ Stefanini & Vignali

منظر بازار، فناوری‌های دیجیتال امکان ارائه راه‌حل‌های نوین مبتنی بر اینترنت و خدمات تعبیه‌شده در محصولات را برای شرکت‌ها فراهم می‌کنند. از دید عملیاتی نیز این فناوری‌ها با کاهش زمان راه‌اندازی، هزینه‌های کار و مواد، و کوتاه کردن زمان پردازش، منجر به افزایش بهره‌وری فرآیندهای تولید می‌شوند (استفانینی و ویگانلی، ۲۰۲۴). مرور ادبیات نشان می‌دهد که مباحث مربوط به عملکرد زنجیره تأمین بر نقش کلیدی عواملی همچون انعطاف‌پذیری، یکپارچگی و پاسخگویی تأکید دارند؛ عواملی که با بهره‌گیری از فناوری‌های صنعت ۴.۰ تقویت می‌شوند و مبنای شکل‌گیری فرضیه‌های اثر مستقیم این فناوری‌ها بر عملکرد زنجیره تأمین قرار گرفته‌اند. همچنین، مباحث مرتبط با تاب‌آوری زنجیره تأمین بیانگر آن است که سازمان‌ها با تکیه بر ساز و کارهایی همچون آماده‌سازی، پاسخ سریع و بازیابی می‌توانند در برابر اختلالات مقاومت کنند؛ این یافته‌ها فرضیه‌های مرتبط با نقش میانجی تاب‌آوری را شکل داده است. از سوی دیگر، مبانی نظری در خصوص چابکی زنجیره تأمین نشان داد که توانایی سازگاری سریع و پاسخگویی مؤثر به تغییرات محیطی عاملی کلیدی برای رقابت‌پذیری است؛ بر همین اساس، فرضیه‌های پژوهش درباره نقش میانجی چابکی در اثرگذاری صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین تدوین شده‌اند.

پیشینه تحقیق

مرور نظام‌مند مطالعات پیشین در حوزه ارتباط صنعت ۴.۰ با تاب‌آوری، چابکی و عملکرد زنجیره تأمین نشان‌دهنده تحولات چشمگیر در این زمینه است. در ادامه به بررسی مهم‌ترین پژوهش‌های داخلی و خارجی مرتبط با پژوهش حاضر پرداخته شده است.

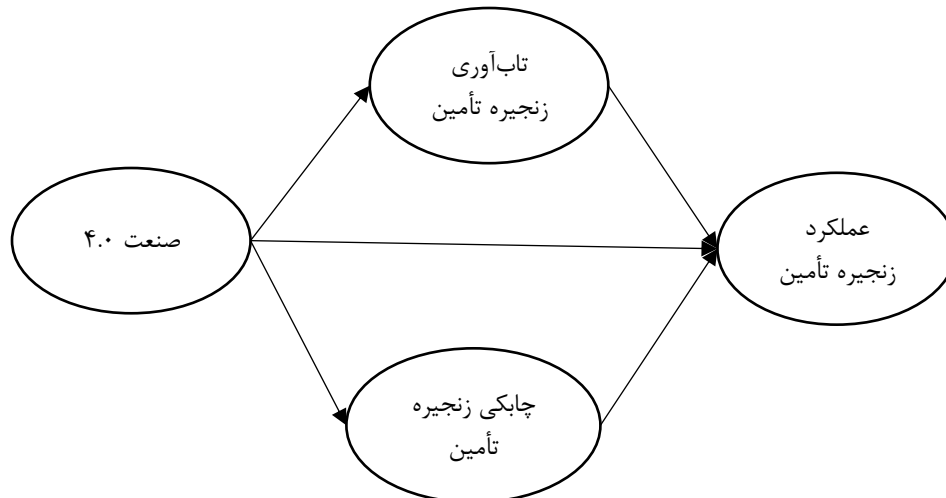
احمدی و همکاران (۱۴۰۳)، در مطالعه‌ای به بررسی راهکارهای مدیریت بهره‌وری انرژی در زنجیره تأمین دفاعی با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء دو فناوری کلیدی در بهبود بهره‌وری انرژی هستند. در مطالعه‌ای دیگر بخشم و همکاران (۱۴۰۲)، با تمرکز بر صنعت دارو، کاربردهای اینترنت اشیاء در چابکی زنجیره تأمین را بررسی کردند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که این فناوری با تسهیل ارتباط بین ذینفعان و بهبود فرآیند تولید، نقش کلیدی در افزایش چابکی دارد. درمیان پژوهش‌های پیشین شیخ آقاجانی و همکاران (۱۳۹۸)، رابطه بین قابلیت‌های پویایی زنجیره تأمین و عملکرد آن با میانجی‌گری تاب‌آوری بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد؛ قابلیت‌های یکپارچگی و انعطاف‌پذیری از طریق افزایش تاب‌آوری بر عملکرد تأثیر مثبت دارند، درحالی‌که قابلیت‌های خارجی این تأثیر میانجی را نشان ندادند. عباسی بسطامی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه دیگری، رابطه بین انعطاف‌پذیری تولید، چابکی زنجیره تأمین و عملکرد را بررسی کردند. یافته‌های همبستگی نشان‌دهنده روابط مثبت و معنادار بین تمامی متغیرها بود.

نتایج مدل‌سازی ساختاری نیز حاکی از آن بود که چابکی زنجیره تأمین در محیط‌های با سفارشی‌سازی بالا بیشتر بر بهبود خدمات به مشتریان تأثیر دارد، در حالی که در محیط‌های با سفارشی‌سازی کم، بر بهره‌وری هزینه متمرکز است. خان و ایمون (۲۰۲۵)، در پژوهشی به بررسی تأثیر پذیرش فناوری‌های صنعت ۴۰ بر عملکرد زنجیره تأمین در بخش تولید کشور بنگلادش پرداختند. نتایج نشان داد که این فناوری‌ها از طریق یکپارچگی دیجیتال، نوآوری و افزایش شفافیت، عملکرد کلی زنجیره تأمین را بهبود می‌بخشند. این مطالعه همچنین بر نقش حیاتی فناوری‌های دیجیتال در ارتقای تاب‌آوری و چابکی زنجیره تأمین تأکید می‌کند؛ یافته‌ای که می‌تواند برای شرکت‌های کوچک و متوسط نیز الهام‌بخش باشد. به طور مشابه البرشی و همکاران^۱ (۲۰۲۴)، در مرور سیستماتیک خود بر تاب‌آوری سیستم‌های تولید در عصر صنعت ۴۰ تأکید کردند. این مطالعه چهار حوزه پژوهشی کلیدی شامل بررسی فناوری‌های کمتر مطالعه‌شده، تأثیر فناوری‌ها بر انعطاف‌پذیری، راه‌کارهای حفظ وضعیت سیستم و معیارهای سنجش انعطاف‌پذیری را شناسایی کرد. در همین راستا جین و همکاران^۲ (۲۰۲۴)، با مطالعه‌ای در صنعت نفت و گاز هند نشان دادند فناوری‌های صنعت ۴۰ از طریق افزایش شفافیت زنجیره تأمین، تاب‌آوری را بهبود می‌بخشند. همچنین ماریانگی و همکاران^۳ (۲۰۲۳)، در مطالعه‌ای نشان دادند که برخی از فناوری‌های صنعت ۴۰ نقش مؤثری در بهبود شاخص‌های کلیدی عملکرد و تقویت انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین دارند. در مطالعه‌ای دیگر دی‌اولیورا-دسوزا و همکاران (۲۰۲۳)، به این نتیجه رسیدند که فناوری‌های صنعت ۴۰ تأثیر متفاوتی بر استراتژی‌های ناب و چابک دارند. این فناوری‌ها بیشتر بر ناب‌سازی تأثیرگذارند و اثر مستقیم کمتری بر چابکی دارند، اگرچه چابکی خود نقش میانجی بین ناب‌سازی و عملکرد عملیاتی ایفا می‌کند. همچنین قادر و همکاران^۴ (۲۰۲۲)، در مطالعه‌ای با استفاده از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری نشان دادند صنعت ۴۰ هم به صورت مستقیم و هم از طریق افزایش تاب‌آوری بر عملکرد زنجیره تأمین تأثیر مثبت دارد. در پژوهشی دیگر فاتورچاین و کاظمی^۵ (۲۰۲۰)، دریافتند که فناوری‌های صنعت ۴۰ از دو مسیر اصلی موجب ارتقای عملکرد زنجیره تأمین می‌شوند؛ نخست از طریق ایجاد رویکرد جامع مدیریتی مبتنی بر یکپارچه‌سازی گسترده زنجیره تأمین، تسهیل اشتراک‌گذاری اطلاعات و افزایش شفافیت در سرتاسر زنجیره و دوم با بهینه‌سازی فرآیندهای عملیاتی شامل تدارکات، تولید، مدیریت موجودی و خرده‌فروشی از طریق مکانیزم‌هایی همچون یکپارچه‌سازی فرآیندی، دیجیتالی‌سازی، اتوماسیون و توسعه قابلیت‌های تحلیلی پیشرفته.

¹ El-Breshy et al.² Jain et al.³ Marinagi et al.⁴ Qader et al.⁵ Fatorachian & Kazemi

مرور مطالعات پیشین حاکی از آن است که فناوری‌های صنعت ۴۰ از طریق مکانیزم‌های چندگانه بر عملکرد زنجیره تأمین تأثیرگذار هستند. این فناوری‌ها از یکسو با افزایش شفافیت، بهبود یکپارچگی اطلاعات و تقویت قابلیت‌های تحلیلی، تاب‌آوری زنجیره تأمین را در مواجهه با اختلالات و عدم قطعیت‌های محیطی ارتقا می‌بخشند. از سوی دیگر، با تسهیل ارتباطات بین ذینفعان، کاهش زمان پاسخگویی و افزایش انعطاف‌پذیری عملیاتی، چابکی سازمانی را بهبود می‌دهند. مطالعاتی همچون پژوهش‌های جین و همکاران (۲۰۲۴) و قادر و همکاران (۲۰۲۲)، به وضوح نشان داده‌اند که این تأثیرات هم به صورت مستقیم و هم از طریق نقش میانجی تاب‌آوری و چابکی بر عملکرد نهایی زنجیره تأمین ظاهر می‌شوند. پژوهش حاضر با الهام از این یافته‌ها و با تمرکز خاص بر شرکت‌های کوچک و متوسط، به بررسی روابط بین صنعت ۴۰، تاب‌آوری، چابکی و عملکرد زنجیره تأمین پرداخته است تا درک عمیق‌تری از این تعاملات پیچیده در بستر سازمان‌های با مقیاس کوچک‌تر ارائه دهد.

همچنین با توجه به مرور پژوهش‌های پیشین، می‌توان دریافت که هر یک از این مطالعات به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم مبنایی برای شکل‌گیری فرضیه‌های تحقیق حاضر فراهم کرده‌اند. بنابراین، مرور نظام‌مند پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که فرضیه‌های پژوهش حاضر بر پایه شواهد نظری و تجربی متعدد شکل گرفته و مدل مفهومی تحقیق مطابق شکل ۱، تداوم منطقی یافته‌های گذشته در بستر شرکت‌های کوچک و متوسط است.



شکل ۱: مدل مفهومی پژوهش

توسعه فرضیه‌های پژوهش

بر اساس مبانی نظری و پیشینه پژوهش، می‌توان ارتباط بین صنعت ۴۰، چابکی و عملکرد زنجیره تأمین را در شرکت‌های کوچک و متوسط مورد بررسی قرار داد. از منظر نظریه قابلیت‌های پویا، فناوری‌های صنعت ۴۰ به عنوان منابع استراتژیک می‌توانند بستر ساز توسعه قابلیت‌های چابکی در زنجیره تأمین باشند. مطالعات متعددی

نشان داده‌اند که فناوری‌های کلیدی صنعت ۴۰ شامل کلان‌داده‌ها، محاسبات ابری و اینترنت اشیا هر یک به شیوه‌ای خاص بر ارتقای چابکی زنجیره تأمین تاثیر می‌گذارند. کلان‌داده‌ها با امکان شناسایی روندهای بازار، ردیابی عملکرد زنجیره تأمین و پیش‌بینی تغییرات، سازمان‌ها را در پاسخگویی سریع به نوسانات بازار یاری می‌کنند (کومار و همکاران^۱، ۲۰۲۴). محاسبات ابری نیز از طریق تسهیل یکپارچه‌سازی بین شرکای زنجیره تأمین و تسريع اشتراک‌گذاری اطلاعات، به افزایش چابکی سازمانی منجر می‌شوند. علاوه بر این، با استفاده از محاسبات ابری، زنجیره‌های تأمین می‌توانند ظرفیت محاسباتی داده‌ها را آسان‌تر و سریع‌تر مقیاس کنند که به زنجیره تأمین اجازه می‌دهد تا به طور مداوم منابع فناوری اطلاعات خود را تطبیق داده و مجدداً پیکربندی کند. با توجه به رابطه بین چابکی اینترنت اشیا و زنجیره تأمین، برخی از مطالعات تایید نموده‌اند که برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا می‌توانند به دید بیشتر در زنجیره تأمین منجر شوند و بنابراین اطلاعات بلادرنگ را برای تصمیم‌گیری بهتر و سریع‌تر در مورد خرید و فعالیتهای بهینه‌سازی مسیر ارائه می‌دهند. در وظایف انبارداری، اینترنت اشیا می‌تواند در زمان صرف‌شده برای اسکن و ضبط داده‌ها صرفه‌جویی کرده و در نهایت عملکرد و بهره‌وری شرکت را ارتقاء بخشد (نویس و همکاران^۲، ۲۰۱۹). با توجه به مطالب فوق؛ فرضیه‌های اول و هفتم این پژوهش به صورت زیر تبیین شده است.

فرضیه اول: صنعت ۴۰ بر چابکی زنجیره تأمین در شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد تاثیرگذار است.

فرضیه هفتم: چابکی زنجیره تأمین نقش میانجی بر تاثیر صنعت ۴۰ بر عملکرد زنجیره تأمین در شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد دارد.

انقلاب صنعتی چهارم با معرفی فناوری‌های تحول‌آفرین، قابلیت‌های بی‌سابقه‌ای را برای زنجیره‌های تأمین ایجاد کرده است. فناوری‌های پیشرفته‌ای چون بلاک‌چین با ارائه شبکه‌های امن هم‌تا به هم‌تا و سیستم‌های غیرمتمرکز، بستری مطمئن برای توسعه زنجیره‌های تأمین تاب‌آور فراهم می‌کنند. این فناوری‌ها با کاهش ریسک‌هایی همچون نقض امنیت داده‌ها و بی‌ثباتی‌های سیاسی، امکان ایجاد ساختارهای مقاوم در برابر اختلالات را ممکن ساخته‌اند (مین^۳، ۲۰۱۹). صنعت ۴۰ نه تنها عملکرد زنجیره تأمین را ارتقا می‌بخشد، بلکه همانطور که مطالعات اخیر نشان داده‌اند، ظرفیت تاب‌آوری سازمان‌ها در مواجهه با بحران‌ها را نیز افزایش می‌دهد. در این میان، توانایی سازگاری و بازپیکربندی سیستم‌ها به عنوان عاملی کلیدی در ایجاد تاب‌آوری شناخته می‌شود (البرشی و

¹ Kumar et al.

² Novais et al.

³ Min

همکاران، ۲۰۲۴). باید توجه داشت که بین مفهوم استحکام و تاب‌آوری تمایز وجود دارد که در این پژوهش بر جنبه دوم تأکید شده است. فناوری‌های دیجیتال صنعت ۴.۰ شامل هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، اینترنت اشیاء و کلان‌داده‌ها، به سازمان‌ها کمک می‌کنند تا با تحول در مدل‌های کسب‌وکار، زنجیره‌های تأمین انعطاف‌پذیرتری ایجاد کنند. این رویکرد فعال و فرصت‌محور در کنار فرآیندهای چابک، به توسعه انعطاف‌پذیری استراتژیک منجر می‌شود (فاتورچاین و کاظمی، ۲۰۲۱). با توجه به مطالب فوق فرضیه‌های دوم، پنجم و ششم این پژوهش به صورت زیر تبیین شده است.

فرضیه دوم: صنعت ۴.۰ بر تاب‌آوری زنجیره تأمین در شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد تأثیرگذار است.

فرضیه پنجم: تاب‌آوری زنجیره تأمین بر عملکرد زنجیره تأمین در شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد تأثیرگذار است.

فرضیه ششم: تاب‌آوری زنجیره تأمین نقش میانجی بر تأثیر صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین در شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد دارد.

ماهیت تحول‌آفرین صنعت ۴.۰ در توانایی آن برای یکپارچه‌سازی فرآیندهای کاری و خودکارسازی تولید کالاها و خدمات نهفته است. این فناوری‌ها امکان تصمیم‌گیری سریع‌تر، پیش‌بینی دقیق‌تر تقاضا و تولید انبوه محصولات سفارشی‌شده را فراهم می‌آورند. پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز این فناوری‌ها منجر به مزایای متعددی از جمله کاهش زمان تولید، افزایش کارایی عملیاتی و ایجاد مدل‌های کسب‌وکار نوین می‌شود. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که سازمان‌های پیشرو در استفاده از تحلیل‌های کلان‌داده و حسگرهای هوشمند، بهبود قابل توجهی در عملکرد عملیاتی زنجیره تأمین خود تجربه کرده‌اند (فرانک و همکاران^۱، ۲۰۱۹). فناوری‌های صنعت ۴.۰ با ایجاد بستری برای اشتراک‌گذاری دانش و ایده‌ها بین شرکت‌های مرکزی، تأمین‌کنندگان و مشتریان، فرصت‌های جدیدی برای بهبود مستمر و شناسایی زمینه‌های نوین بازار ایجاد می‌کنند. این قابلیت‌ها به ویژه برای شرکت‌های کوچک و متوسط که نیازمند انعطاف‌پذیری و چابکی بیشتری هستند، حائز اهمیت است. با توجه به مطالب فوق فرضیه سوم پژوهش به صورت زیر تبیین شده است.

فرضیه سوم: صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین در شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد تأثیرگذار است.

^۱ Frank et al.

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که استراتژی‌های چابکی زنجیره تأمین با ایجاد قابلیت‌های پاسخگویی سریع و مقرون به صرفه به نیازهای بازار، عملکرد عملیاتی سازمان‌ها را به‌طور معناداری بهبود می‌بخشند. این بهبود عملکرد به‌ویژه در شاخص‌هایی همچون سرعت عرضه محصول به بازار و رضایت مشتریان مشهود است (آلدهاوری و احمد، ۲۰۲۳). چابکی زنجیره تأمین به‌عنوان یک قابلیت پویا و ارزشمند که دارای ویژگی‌های منحصر به فردی از جمله غیرقابل تقلید بودن، نیاز به زمان طولانی برای توسعه و وابستگی پیچیده به سایر منابع سازمانی است، می‌تواند مزیت رقابتی پایدار برای سازمان‌ها ایجاد کند. این قابلیت‌ها با تسهیل انطباق سریع با تغییرات محیطی و پاسخگویی به موقع به نوسانات تقاضا، عملکرد کلی زنجیره تأمین را ارتقا می‌دهند. بر این اساس، فرضیه چهارم این پژوهش به صورت زیر تبیین شده است.

فرضیه چهارم: چابکی زنجیره تأمین بر عملکرد زنجیره تأمین در شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد تأثیرگذار است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر با رویکردی کاربردی و با بهره‌گیری از روش توصیفی-پیمایشی به بررسی تأثیر فناوری‌های صنعت ۴۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با نقش میانجی چابکی و تاب‌آوری در شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد پرداخته است. پژوهش حاضر از منظر فلسفی بر اساس پارادایم اثبات‌گرایی طراحی شده است که در آن واقعیت‌های عینی و قابل سنجش مستقل از پژوهشگر مورد بررسی قرار می‌گیرند. از نظر زمانی، این تحقیق به صورت مقطعی و در بازه زمانی مشخصی انجام شده است. جامعه آماری پژوهش را ۲۳۰ نفر از مدیران و کارکنان شرکت‌های کوچک و متوسط مستقر در شهرک صنعتی یزد تشکیل می‌دهند که با استفاده از روش نمونه‌گیری در دسترس و بر اساس فرمول استاندارد نمونه‌گیری در مدل‌سازی معادلات ساختاری $15q < n < 5q$ که در آن q تعداد سؤالات پرسشنامه است، انتخاب شدند. با توجه به پانزده سؤال طراحی شده در پرسشنامه، حجم نمونه ۱۴۲ نفر تعیین گردید که از این تعداد ۱۱۶ پرسشنامه کامل و قابل تحلیل جمع‌آوری شد. ابزار اصلی گردآوری داده‌ها، پرسشنامه محقق ساخته مبتنی بر طیف پنج‌گزینه‌ای لیکرت بود که بر اساس مبانی نظری و مدل مفهومی پژوهش طراحی گردید. به منظور اطمینان از کیفیت ابزار، روایی و پایایی پرسشنامه بررسی شد. در گام نخست، روایی صوری و محتوایی با نظر خبرگان دانشگاهی و متخصصان حوزه مدیریت زنجیره تأمین تأیید شد. در ادامه، روایی همگرا با بارهای عاملی بالاتر از ۰/۴ و میانگین واریانس استخراج شده (AVE) بیش از ۰/۵ مورد تأیید قرار گرفت و روایی واگرا نیز از طریق مقایسه جذر AVE با ضرایب همبستگی بین سازه‌ها بررسی شد که نشان‌دهنده تمایز مناسب سازه‌ها بود. همچنین، پایایی پرسشنامه با محاسبه آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی (CR) برای تمامی

سازه‌ها بالاتر از ۰/۷ گزارش گردید که بیانگر ثبات درونی مطلوب ابزار است (صفاری دربرزی و همکاران، ۱۴۰۳). تحلیل داده‌ها با استفاده از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری و نرم‌افزار Smart PLS در سه سطح انجام پذیرفت. در سطح اول (مدل اندازه‌گیری)، روایی و پایایی ابزار پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت. در سطح دوم (مدل ساختاری)، روابط بین متغیرها با استفاده از شاخص‌های ضریب تعیین (R^2) و شاخص پیش‌بینی (Q^2) بررسی شد. و در نهایت، برازش کلی مدل با شاخص SRMR که مقدار مطلوب آن کمتر از ۰/۰۸ در نظر گرفته می‌شود، سنجیده شد (مک نیش و ماتا^۱، ۲۰۲۵). فرآیند اجرای پژوهش حاضر در چند مرحله اصلی شامل: (۱) طراحی مدل مفهومی بر اساس ادبیات موضوع، (۲) طراحی و اعتباریابی پرسشنامه پژوهش، (۳) توزیع و جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، (۴) تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار Smart PLS و (۵) تفسیر نتایج و ارائه پیشنهادات کاربردی انجام پذیرفته شده است.

یافته‌ها

تحلیل ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان به عنوان گام اول در بررسی یافته‌های پژوهش، تصویر روشنی از ترکیب نمونه آماری ارائه می‌دهد که در تفسیر نتایج از اهمیت بالایی برخوردار است. بررسی ویژگی‌های جمعیت‌شناختی ۱۱۶ نفر از مدیران و کارکنان شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد نشان‌دهنده ترکیب متنوعی از پاسخ‌دهندگان است.

جدول ۱: اطلاعات جمعیت‌شناختی

ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان	فراوانی	درصد فراوانی
سن	بسیست تا سی سال	۳۸
	سی تا چهل سال	۴۹
	چهل تا پنجاه سال	۱۹
	بالاتر از پنجاه سال	۱۰
تحصیلات	دیپلم و فوق دیپلم	۱۷
	لیسانس	۵۶
	فوق لیسانس	۳۷
	دکتری	۶
سابقه کار	یک تا پنج سال	۳۱
	پنج تا ده سال	۴۸
	ده تا پانزده سال	۲۲
	بیشتر از پانزده سال	۱۵

^۱ McNeish & Matta.

به طور کلی، ترکیب جمعیت‌شناختی مطالعه حاضر نشان می‌دهد که این پژوهش با بهره‌گیری از نظرات افراد با سطوح مختلف سنی، تحصیلی و تجربی می‌تواند تصویر جامع و معتبری از تأثیر فناوری‌های صنعت ۴۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با در نظر گرفتن نقش میانجی چابکی و تاب‌آوری ارائه دهد.

علاوه بر ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان، شاخص‌های توصیفی متغیرهای اصلی پژوهش نیز بررسی شده است. به طور کلی، بررسی آمار توصیفی متغیرهای تحقیق نشان می‌دهد که هر چهار سازه اصلی تحقیق یعنی صنعت ۴۰، چابکی، تاب‌آوری و عملکرد زنجیره تأمین در نمونه مورد مطالعه در سطحی بالاتر از حد متوسط قرار دارند. این امر مؤید آن است که شرکت‌های کوچک و متوسط شهرک صنعتی یزد توانسته‌اند ضمن بهره‌برداری نسبی از فناوری‌های صنعت ۴۰، قابلیت‌های سازمانی خود را در زمینه چابکی و تاب‌آوری ارتقا دهند و در نتیجه عملکرد زنجیره تأمین خود را بهبود بخشند.

در پژوهش حاضر به منظور انتخاب روش تحلیل داده‌ها، نرمال بودن توزیع متغیرهای اصلی بررسی گردید. برای این منظور از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف (KS) استفاده شده است. نتایج این آزمون در جدول ۲، نشان داده شده است.

جدول ۲: نتایج آزمون کولموگروف - اسمیرنوف (KS) برای متغیرهای پژوهش

ردیف	متغیر	آماره KS	سطح معناداری	نتیجه
۱	صنعت ۴۰	۰/۱۳۲	۰/۰۰۰	داده‌ها نرمال نیستند
۲	چابکی زنجیره تأمین	۰/۱۱۸	۰/۰۰۰	
۳	تاب‌آوری زنجیره تأمین	۰/۱۲۷	۰/۰۰۰	
۴	عملکرد زنجیره تأمین	۰/۱۴۱	۰/۰۰۰	

همان‌طور که یافته‌های جدول ۲ نشان می‌دهد، مقدار سطح معناداری برای تمامی متغیرها کمتر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین فرض نرمال بودن داده‌ها رد می‌شود. این نتیجه نشان می‌دهد که داده‌های پژوهش از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. بر همین اساس، استفاده از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی با نرم‌افزار SmartPLS توجیه‌پذیر است، چراکه این روش برخلاف مدل‌سازی معادلات ساختاری کوواریانس‌محور نیازی به نرمال بودن داده‌ها ندارد و در شرایط غیرنرمال بودن داده‌ها کارایی بالاتری دارد.

جدول ۳، مقادیر روایی و پایایی بدست آمده برای هر یک از ابعاد مدل را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل پایایی و روایی مدل پژوهش؛ نشان‌دهنده برازش مطلوب ابزار اندازه‌گیری در تمامی ابعاد مدل است. در بررسی متغیر زنجیره تأمین چابک، بارهای عاملی گویه‌های Q₁ تا Q₅ بین ۰/۸۰۸ تا ۰/۸۷۴ قرار دارد که همگی بالاتر از حداقل

استاندارد ۰/۷ هستند، همچنین مقدار AVE این متغیر ۰/۷۱۰ و مقادیر آلفای کرونباخ ۰/۸۹۸ و پایایی ترکیبی ۰/۹۲۴ حاکی از ثبات درونی بسیار خوب این سازه هستند. در مورد متغیر عملکرد زنجیره تأمین، بارهای عاملی گویه‌های Q۶ تا Q۸ در محدوده ۰/۸۶۷ تا ۰/۹۰۲ و مقدار AVE آن ۰/۷۸۴ است که همراه با آلفای کرونباخ ۰/۸۶۲ و پایایی ترکیبی ۰/۹۱۶، همگی نشان‌دهنده اعتبارسنجی مناسب این سازه هستند. متغیر زنجیره تأمین تاب‌آور نیز با بارهای عاملی گویه‌های Q۹ تا Q۱۲ در دامنه ۰/۸۲۸ تا ۰/۸۷۱، AVE برابر با ۰/۷۳۰، آلفای کرونباخ ۰/۸۷۶ و پایایی ترکیبی ۰/۹۱۵ از ویژگی‌های اعتبارسنجی مطلوبی برخوردار است. در نهایت، متغیر صنعت ۴۰ با بارهای عاملی گویه‌های Q۱۳ تا Q۱۵ بین ۰/۸۵۳ تا ۰/۸۸۲، AVE معادل ۰/۷۵۸، آلفای کرونباخ ۰/۸۴۱ و پایایی ترکیبی ۰/۹۰۴، از اعتبار اندازه‌گیری کافی برخوردار تشخیص داده شده است. با توجه به اینکه تمامی شاخص‌های ارزیابی شده در تمامی متغیرها از جمله بارهای عاملی، AVE، آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی در سطح مطلوبی قرار دارند.

جدول ۳: آزمون پایایی و روایی

متغیرهای پژوهش	گویه‌های مرتبط با هر متغیر	ضرایب بار عاملی	AVE	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی
زنجیره تأمین چابک	Q1	۰/۸۷۴	۰/۷۱۰	۰/۸۹۸	۰/۹۲۴
	Q2	۰/۸۰۸			
	Q3	۰/۸۵۰			
	Q4	۰/۸۳۱			
	Q5	۰/۸۴۹			
عملکرد زنجیره تأمین	Q6	۰/۸۸۷	۰/۷۸۴	۰/۸۶۲	۰/۹۱۶
	Q7	۰/۹۰۲			
	Q8	۰/۸۶۷			
زنجیره تأمین تاب‌آور	Q9	۰/۸۷۱	۰/۷۳۰	۰/۸۷۶	۰/۹۱۵
	Q10	۰/۸۶۰			
	Q11	۰/۸۵۷			
	Q12	۰/۸۲۸			
صنعت ۴۰	Q13	۰/۸۸۲	۰/۷۵۸	۰/۸۴۱	۰/۹۰۴
	Q14	۰/۸۵۳			
	Q15	۰/۸۷۷			

با توجه به مقادیر به دست آمده در جدول ۳، می‌توان نتیجه گرفت که پرسشنامه پژوهش از پایایی و روایی مناسبی برخوردار بوده و قابلیت اندازه‌گیری دقیق متغیرهای پژوهش را دارد، این یافته‌ها نشان‌دهنده آن است که مدل مفهومی پژوهش از اعتبار اندازه‌گیری کافی برای سنجش سازه‌های مورد نظر برخوردار است.

نتایج حاصل از ارزیابی مدل ساختاری پژوهش در جدول ۴ ارائه شده است که نشان‌دهنده برازش مطلوب روابط بین متغیرهای مدل می‌باشد. برای متغیر زنجیره تأمین تاب‌آور، مقدار R^2 برابر با ۰/۷۴۷ به دست آمده که نشان می‌دهد ۷۴/۷ درصد از تغییرات این متغیر توسط متغیرهای پیش‌بین مدل تبیین می‌شود. همچنین مقدار Q^2 این متغیر ۰/۵۱۴ به دست آمده است که بیانگر قدرت پیش‌بینی قوی مدل برای این سازه است. در مورد متغیر زنجیره تأمین چابک، مقادیر R^2 و Q^2 به ترتیب ۰/۷۶۴ و ۰/۵۰۸ محاسبه شده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که ۷۶/۴ درصد از تغییرات متغیر چابکی توسط مدل قابل تبیین بوده و مدل از قدرت پیش‌بینی مناسبی برای این سازه برخوردار است. برای متغیر وابسته اصلی پژوهش یعنی عملکرد زنجیره تأمین، مقادیر R^2 و Q^2 به ترتیب ۰/۷۹۳ و ۰/۵۸۵ به دست آمده‌اند. این یافته‌ها حاکی از آن است که نزدیک به ۸۰ درصد از تغییرات عملکرد زنجیره تأمین توسط مدل پژوهش قابل تبیین بوده و مدل از قدرت پیش‌بینی بسیار خوبی برای این متغیر برخوردار است.

جدول ۴: مقادیر R^2 و Q^2

ردیف	متغیرهای پژوهش	R^2	Q^2
۱	زنجیره تأمین تاب‌آور	۰/۷۴۷	۰/۵۱۴
۲	زنجیره تأمین چابک	۰/۷۶۴	۰/۵۰۸
۳	عملکرد زنجیره تأمین	۰/۷۹۳	۰/۵۸۵

با توجه به اینکه تمامی مقادیر R^2 بالاتر از ۰/۶۷ و مقادیر Q^2 بالاتر از ۰/۳۵ قرار دارند، می‌توان نتیجه گرفت که مدل ساختاری پژوهش از برازش بسیار مطلوبی برخوردار است. این نتایج نشان می‌دهد که مدل ارائه شده نه تنها توانایی تبیین تغییرات متغیرهای وابسته را دارد، بلکه از قدرت پیش‌بینی مناسبی نیز برای این متغیرها برخوردار می‌باشد.

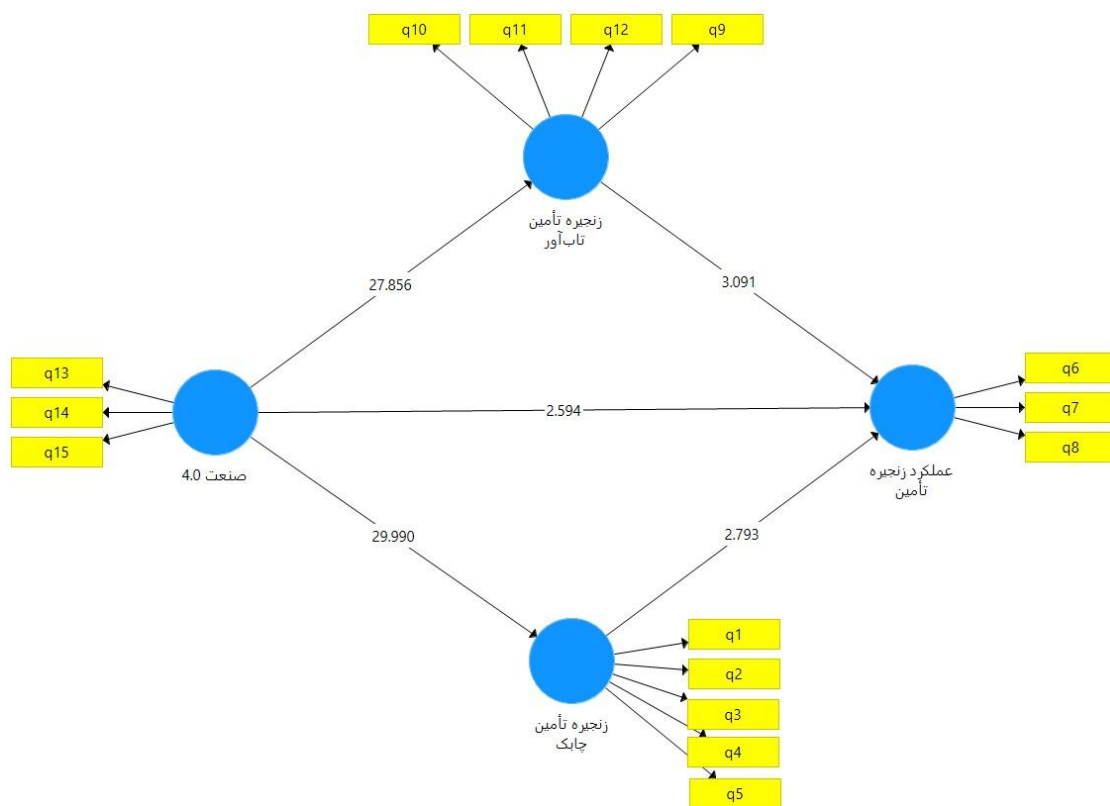
ارزیابی نهایی کیفیت برازش کلی مدل پژوهش با استفاده از شاخص استاندارد شده ریشه میانگین مربعات باقیمانده (SRMR) انجام شد که مقدار ۰/۰۵۴ حاصل گردید. این مقدار که به طور معناداری پایین‌تر از حد آستانه قابل قبول ۰/۰۸ قرار دارد، نشان‌دهنده اختلاف ناچیز بین ماتریس همبستگی مشاهده‌شده و ماتریس پیش‌بینی‌شده توسط مدل است. بر اساس استانداردهای پذیرفته‌شده در مدل‌سازی معادلات ساختاری، مقادیر SRMR کمتر از ۰/۰۸ نشانگر برازش عالی، بین ۰/۰۸ تا ۰/۱۰ نشان‌دهنده برازش قابل قبول و بالاتر از ۰/۱۰ حاکی از ضعف مدل است. نتیجه به‌دست‌آمده در این پژوهش با مقدار ۰/۰۵۴، نه تنها برازش مناسب، بلکه حاکی از کیفیت بسیار مطلوب مدل نهایی است.

نتایج حاصل از آزمون فرضیه‌های پژوهش در جدول ۵ ارائه شده است که نشان‌دهنده تأیید تمامی روابط پیش‌بینی‌شده در مدل مفهومی است. بر اساس معیارهای آماری، مقادیر t-value تمامی مسیرهای پژوهش به طور معناداری بالاتر از حد بحرانی ۱/۹۶ قرار دارند که گواهی بر وجود روابط معنی‌دار بین متغیرهای پژوهش است.

جدول ۵: مقادیر آماره تی و ضرایب مسیر

ردیف	مسیر	آماره تی	ضرایب مسیر	نتیجه
۱	زنجیره تأمین تاب‌آور بر عملکرد زنجیره تأمین	۳/۰۹	۰/۳۲۹	تأیید
۲	زنجیره تأمین چابک بر عملکرد زنجیره تأمین	۲/۷۹	۰/۳۲۶	تأیید
۳	صنعت ۴۰۰ بر زنجیره تأمین تاب‌آور	۲۷/۸۵	۰/۸۶۴	تأیید
۴	صنعت ۴۰۰ بر زنجیره تأمین چابک	۲۹/۹۹	۰/۸۷۴	تأیید
۵	صنعت ۴۰۰ بر عملکرد زنجیره تأمین	۲/۵۹	۰/۲۷۷	تأیید
۶	نقش میانجی زنجیره تأمین تاب‌آور بر تأثیر صنعت ۴۰۰ بر عملکرد زنجیره تأمین	۳/۱۰	۰/۲۸۴	تأیید
۷	نقش میانجی زنجیره تأمین چابک بر تأثیر صنعت ۴۰۰ بر عملکرد زنجیره تأمین	۲/۷۶	۰/۲۸۵	تأیید

یافته‌های جدول ۵ به طور جامع نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی پژوهش حاضر از قدرت تبیین و پیش‌بینی مناسبی برخوردار بوده و می‌تواند به عنوان چارچوبی معتبر برای درک تأثیرات فناوری‌های صنعت ۴۰۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با در نظر گرفتن نقش میانجی تاب‌آوری و چابکی مورد استفاده قرار گیرد. از شکل ۲ نیز می‌توان نتیجه گرفت صنعت ۴۰۰ هم به صورت مستقیم و هم از طریق تقویت قابلیت‌های تاب‌آوری و چابکی، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد زنجیره تأمین شرکت‌های کوچک و متوسط دارد.



شکل ۲: مقادیر آماره تی و ضرایب مسیر

یافته‌های این پژوهش از چند جنبه دارای نوآوری و ارزش علمی است و آن را از مطالعات پیشین متمایز می‌سازد. نخست، نتایج نشان داد که فناوری‌های صنعت چهارم نه تنها به طور مستقیم بر عملکرد زنجیره تأمین اثر می‌گذارند، بلکه از طریق تقویت قابلیت‌های درونی سازمان چون تاب‌آوری و چابکی، تأثیر غیرمستقیم و تقویتی نیز ایجاد می‌کنند. این موضوع تاکنون در پژوهش‌های داخلی کمتر بررسی شده است. دوم، این پژوهش با تلفیق سه سازه کلیدی یعنی صنعت چهارم، تاب‌آوری و چابکی زنجیره تأمین در یک مدل مفهومی جامع، الگویی یکپارچه برای تبیین عملکرد شرکت‌های کوچک و متوسط ارائه می‌دهد. چنین مدلی می‌تواند چارچوبی نظری و کاربردی برای تحلیل تأثیر فناوری‌های نوین بر عملکرد سازمانی فراهم آورد. سوم، نتایج کمی پژوهش شواهد معناداری درباره نقش میانجی قابلیت‌های سازمانی ارائه می‌کند. بر اساس ضرایب به دست آمده، تأثیر تاب‌آوری بر عملکرد معادل ۰/۳۲۹ و تأثیر چابکی بر عملکرد برابر با ۰/۳۲۶ برآورد شده است. همچنین اثر غیرمستقیم صنعت چهارم بر عملکرد از طریق این دو متغیر حدود ۰/۲۸ به دست آمده است. این نتایج بیانگر آن است که تقویت قابلیت‌های سازمانی، مسیر اصلی و مؤثر در انتقال اثر فناوری‌های صنعت چهارم به عملکرد زنجیره تأمین است. چهارم، پژوهش

حاضر نشان می‌دهد که شرکت‌های کوچک و متوسط نیز با سرمایه‌گذاری هدفمند در فناوری‌های صنعت چهارم و ارتقای مهارت‌های نیروی انسانی خود، می‌توانند مزیت‌های رقابتی مشابه شرکت‌های بزرگ کسب کنند.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه زنجیره تأمین به عاملی مهم و حیاتی در بازارهای جهانی تبدیل شده است، به طوری که در عرصه جهانی رقابت اصلی بین زنجیره‌های تأمین صورت می‌گیرد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با توجه به نقش میانجی چابکی و تاب‌آوری انجام شده است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد؛ صنعت ۴.۰ تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد زنجیره تأمین دارد. این یافته با نتایج فاتورچاین و کاظمی (۲۰۲۱)، که ضریب مسیر ۰/۳۰ را گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد. صنعت ۴.۰ از طریق فناوری کلان‌داده می‌تواند عملکرد زنجیره تأمین شرکت‌های کوچک و متوسط را بهبود بخشد. فناوری کلان‌داده با تحلیل داده‌ها، قابلیت پیش‌بینی دقیق‌تر تقاضا را فراهم می‌کند و به تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان کمک می‌نماید تا برنامه‌ریزی تولید و تأمین کالاها را با دقت بیشتری انجام دهند. اینترنت اشیاء نیز با استفاده از سنسورها و دستگاه‌های متصل، امکان پایش و ردیابی لحظه‌ای محصولات و فرآیندهای زنجیره تأمین را فراهم می‌کند. این قابلیت که با یافته‌های طرفدار و کرونفله^۱ (۲۰۱۷)، همسو است، به شرکت‌ها کمک می‌نماید تا از وضعیت دقیق محصولات، موجودی‌ها و فرآیندهای تولید و توزیع آگاه شوند و در صورت نیاز، تصمیمات سریع‌تری اتخاذ کنند. همچنین، پایش مستمر کیفیت محصولات از طریق این فناوری، نقش بسزایی در جلب رضایت مشتریان و حفظ اعتماد آن‌ها دارد. رایانش ابری نیز با فراهم‌آوردن امکان ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر و مدیریت داده‌های حجیم، تحلیلی دقیق‌تر و تصمیم‌گیری بهتری را برای شرکت‌ها ممکن می‌سازد. این یافته با نتایج مطالعات دینگ و همکاران (۲۰۲۳) و کومار و همکاران (۲۰۲۴)، که بر اهمیت زیرساخت‌های مقیاس‌پذیر تأکید داشتند، مطابقت دارد. نتایج پژوهش همچنین نشان داد صنعت ۴.۰ تأثیر مثبت و معناداری بر چابکی و تاب‌آوری زنجیره تأمین دارد. این یافته‌ها با مطالعات قادر و همکاران (۲۰۲۲) و دی اولیویرا-دسوزا و همکاران (۲۰۲۳)، همسو است. فناوری کلان‌داده با تشخیص زودهنگام مشکلات و ریسک‌های احتمالی، تاب‌آوری زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد. همچنین، امکان جمع‌آوری و انتقال لحظه‌ای داده‌ها، واکنش سریع به تغییرات بازار را ممکن می‌سازد که این امر با یافته‌های رویز-بنیتز و همکاران^۲ (۲۰۱۸) مطابقت دارد. یافته‌ها نشان داد چابکی و تاب‌آوری زنجیره تأمین تأثیر مستقیم و معناداری بر عملکرد دارند. این نتایج با مطالعات متعددی از جمله طرفدار و کرونفله (۲۰۱۷) و رویز-بنیتز و همکاران (۲۰۱۸)، همخوانی دارد. چابکی به شرکت‌ها امکان می‌دهد تا به سرعت به تغییرات تقاضا واکنش نشان دهند و از طریق بهبود هماهنگی

^۱ Tarafdar & Grunfleh.

^۲ Ruiz-Benitez et al.

داخلی و خارجی، زمان تحویل کالاها و خدمات را کاهش دهند. تاب‌آوری نیز سازمان‌ها را قادر می‌سازد در مواجهه با اختلالات مختلف، تدابیر مناسب را اتخاذ نمایند. نقش میانجی چابکی و تاب‌آوری در رابطه بین صنعت ۴۰ و عملکرد زنجیره تأمین نیز تأیید شد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که فناوری‌های صنعت ۴۰ نه تنها به صورت مستقیم، بلکه از طریق تقویت این قابلیت‌های سازمانی نیز می‌توانند عملکرد زنجیره تأمین را بهبود بخشند. در نهایت، پژوهش حاضر نشان داد که ترکیب فناوری‌های صنعت ۴۰ با قابلیت‌های چابکی و تاب‌آوری می‌تواند عملکرد زنجیره تأمین را به طور معناداری بهبود بخشد. یافته‌ها حاکی از آن است که شرکت‌های کوچک و متوسط باید به صورت همزمان بر توسعه فناوری‌های دیجیتال و تقویت قابلیت‌های سازمانی تمرکز نمایند تا بتوانند در محیط رقابتی امروز موفق عمل کنند.

یافته‌های پژوهش حاضر به‌طور کلی با بخش عمده‌ای از مطالعات پیشین همسو بوده، در عین حال تفاوت‌هایی نیز مشاهده می‌شود که می‌تواند سهم جدیدی برای ادبیات فراهم کند. نخست، نتایج نشان داد فناوری‌های صنعت ۴۰ اثر مثبت و معناداری بر عملکرد زنجیره تأمین دارند؛ این یافته با مطالعات فاتورچاین و کاظمی (۲۰۲۱) و خان و ایمون (۲۰۲۵) هم‌راستا است که تأکید کرده‌اند فناوری‌های دیجیتال از طریق مکانیزم‌هایی همچون شفافیت، یکپارچه‌سازی و بهینه‌سازی فرآیندها، عملکرد زنجیره را ارتقا می‌دهند. دوم، یافته‌ها نشان دادند که چابکی و تاب‌آوری هر دو هم به‌طور مستقیم و هم به‌عنوان متغیرهای میانجی، نقش معناداری در رابطه بین صنعت ۴۰ و عملکرد زنجیره ایفا می‌کنند. این نتایج با پژوهش شیخ‌آقاجانی و همکاران (۱۳۹۸) همخوانی دارد که نشان داد قابلیت‌های سازمانی از قبیل انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری، مسیر اثرگذاری فناوری‌ها و هوشمندی کسب‌وکار بر عملکرد را تسهیل می‌کنند. همچنین، یافته حاضر در زمینه نقش چابکی در افزایش توان پاسخگویی سازمان‌ها با پژوهش‌های بخشم و همکاران (۱۴۰۲) و عباسی بسطامی و همکاران (۱۳۹۷) همسو است که تأکید داشتند چابکی می‌تواند به‌طور مستقیم خدمات به مشتریان و بهره‌وری هزینه را بهبود دهد. سوم، در زمینه نقش تاب‌آوری، نتایج این پژوهش با مطالعات جین و همکاران (۲۰۲۴)، قادر و همکاران (۲۰۲۲) و البرشی و همکاران (۲۰۲۴) هم‌راستا است که نشان دادند فناوری‌های صنعت ۴۰ با افزایش قابلیت بازیابی، پیش‌بینی‌پذیری و انعطاف‌پذیری زنجیره، تاب‌آوری سازمانی را تقویت می‌کنند. با این وجود، یافته‌های پژوهش حاضر، تفاوت‌هایی نیز با برخی مطالعات پیشین نشان داد. به‌ویژه، در حالی که پژوهش دی‌اولیویرا-دسوزا و همکاران (۲۰۲۳)، تأکید داشت که فناوری‌های صنعت ۴۰ بیش از آنکه بر چابکی اثر مستقیم داشته باشند بر ناب‌سازی اثرگذارند، یافته حاضر نشان داد که در بستر شرکت‌های کوچک و متوسط، اثرگذاری این فناوری‌ها بر چابکی بسیار قوی است و حتی بیش از اثر مستقیم آن‌ها بر عملکرد نهایی زنجیره تأمین می‌باشد. به‌طور مشابه، شدت تأثیر صنعت ۴۰ بر تاب‌آوری نیز

قابل توجه بود و این امر نشان می‌دهد که در محیط‌های کوچک‌تر و منابع محدودتر، نقش توانمندسازی فناوری بیشتر در تقویت ظرفیت‌های سازمانی همچون چابکی و تاب‌آوری تجلی می‌یابد تا در اثر مستقیم بر عملکرد. این یافته با تأکید مطالعاتی همچون ماریانگی و همکاران (۲۰۲۳) و دی‌اولیویرا-دسوزا (۲۰۲۳)، بر ضرورت درک تفاوت‌های بافتی در اثرگذاری فناوری‌ها همسو است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که فناوری‌های صنعت ۴.۰ تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد زنجیره تأمین دارند و این اثرگذاری علاوه بر مسیر مستقیم، از طریق تقویت دو قابلیت کلیدی چابکی و تاب‌آوری نیز نمایان می‌شود. شدت اثر صنعت ۴.۰ بر چابکی و تاب‌آوری به مراتب بیشتر از اثر مستقیم آن بر عملکرد بود؛ این امر اهمیت نقش میانجی این دو قابلیت را در شرکت‌های کوچک و متوسط برجسته می‌سازد و نشان می‌دهد که ظرفیت‌های سازمانی در این محیط‌ها نقش محوری در انتقال اثر فناوری‌ها دارند. یافته‌ها همچنین آشکار ساختند که در شرایط سازمانی با منابع محدود، فناوری‌های صنعت ۴.۰ بیش از آنکه مستقیماً عملکرد را ارتقا دهند، ابتدا قابلیت‌های چابکی و تاب‌آوری را توانمند می‌سازند و از این مسیر موجب بهبود عملکرد می‌شوند. این نکته تفاوت مهمی با برخی مطالعات پیشین دارد که صنعت ۴.۰ را عمدتاً مرتبط با ناب‌سازی یا بهبود فرآیندهای تولید دانسته بودند؛ در حالی که نتایج حاضر نشان داد در شرکت‌های کوچک و متوسط، مسیر اصلی اثرگذاری فناوری‌ها از طریق توانمندسازی سازمانی و افزایش ظرفیت‌های واکنش‌پذیری و مقاومت در برابر اختلالات شکل می‌گیرد.

پیشنهادهای کاربردی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر، مجموعه‌ای از پیشنهادات کاربردی برای مدیران شرکت‌های کوچک و متوسط ارائه می‌شود که با نمونه‌ها و راهکارهای اجرایی همراه است تا امکان استفاده عملی آن‌ها فراهم گردد.

۱- نتایج پژوهش نشان داد صنعت ۴.۰ اثر مستقیم و معناداری بر عملکرد زنجیره تأمین دارد. این یافته وقتی به زبان عملی ترجمه شود یعنی مدیران شرکت‌های کوچک و متوسط می‌توانند با ایجاد سامانه‌های ساده پایش داده‌ها همچون داشبوردهای تحلیلی برای رصد موجودی و سفارش‌ها، کیفیت تصمیم‌گیری و هماهنگی را بالا ببرند. چنین اقداماتی باعث می‌شود جریان تأمین شفاف‌تر شود و خطاهای ناشی از عدم اطلاع به حداقل برسد، در نتیجه عملکرد کلی زنجیره بهبود پیدا می‌کند.

۲- نتایج پژوهش نشان داد صنعت ۴.۰ بیشترین اثر را بر چابکی زنجیره تأمین دارد. این یافته در عمل به مدیران می‌گوید که اگر به دنبال واکنش سریع‌تر به تغییرات بازار هستند، باید ابزارهای پیش‌بینی تقاضا و تحلیل داده را جدی بگیرند. برای مثال، استفاده از الگوریتم‌های ساده پیش‌بینی فروش می‌تواند به واحد تولید

کمک کند تا برنامه تولید را به سرعت با تغییرات تقاضا هماهنگ کند. این یعنی چابکی نه یک مفهوم انتزاعی، بلکه قابلیت است که با فناوری‌های دیجیتال قابل دستیابی است.

۳- رابطه صنعت ۴۰ و تاب‌آوری نیز در پژوهش تأیید شد. این یافته نشان می‌دهد فناوری‌های دیجیتال می‌توانند ظرفیت سازمان برای مقابله با اختلالات را بالا ببرند. در عمل، نصب حسگرهای اینترنت اشیا روی تجهیزات یا مواد اولیه به مدیران امکان می‌دهد وضعیت جریان کالا را لحظه به لحظه رصد کنند. وقتی اختلالی رخ دهد، سازمان به جای واکنش دیر هنگام، بلافاصله از مشکل آگاه می‌شود و می‌تواند مسیر جایگزین یا تصمیم اصلاحی اتخاذ کند.

۴- یافته‌ها همچنین نشان دادند چابکی زنجیره تأمین اثر مستقیم بر عملکرد دارد. این نتیجه در عمل به معنای ضرورت تقویت ارتباطات داخلی و خارجی سازمان است. مدیران می‌توانند با دیجیتال کردن کانال‌های ارتباطی میان واحد تولید و تأمین‌کنندگان، هماهنگی سریع‌تر و دقیق‌تر ایجاد کنند. وقتی ارتباطات لحظه‌ای برقرار باشد، زمان تحویل کالاها کاهش می‌یابد و رضایت مشتریان افزایش پیدا می‌کند.

۵- تاب‌آوری زنجیره تأمین نیز اثر مثبت بر عملکرد دارد. این یافته نشان می‌دهد که سازمان‌ها باید برای کاهش ریسک وابستگی، شبکه تأمین‌کنندگان خود را توسعه دهند. در عمل، استفاده از پلتفرم‌های آنلاین B2B می‌تواند به مدیران کمک کند تا تأمین‌کنندگان جایگزین را سریع‌تر شناسایی کنند. این اقدام به‌ویژه در شرایط بحران‌های حمل‌ونقل یا نوسانات شدید قیمت مواد اولیه اهمیت دارد، زیرا مانع توقف تولید می‌شود و عملکرد پایدار سازمان را تضمین می‌کند.

۶- نقش میانجی چابکی و تاب‌آوری در رابطه بین صنعت ۴۰ و عملکرد زنجیره تأمین تأیید شد. این یافته به زبان کاربردی یعنی مدیران نباید تنها به فناوری‌های دیجیتال یا تنها به قابلیت‌های سازمانی تکیه کنند؛ بلکه باید این دو را همزمان توسعه دهند. فناوری بدون چابکی و تاب‌آوری نمی‌تواند عملکرد را پایدار کند و قابلیت‌های سازمانی بدون فناوری توان رقابت در بازارهای امروز را ندارند. ترکیب این دو مسیر همان چیزی است که پژوهش حاضر به عنوان راهکار علمی و عملی معرفی کرده است.

پیشنهادهای برای تحقیقات آتی

در این بخش از پژوهش حاضر پیشنهادهای برای تحقیقات آتی ارائه شده است. این پیشنهادات با هدف توسعه پژوهش‌های آینده در حوزه صنعت ۴۰ و مدیریت زنجیره تأمین ارائه شده‌اند و می‌توانند به غنای ادبیات این حوزه کمک کنند.

۱- با توجه به اینکه پژوهش حاضر نشان داد اثر صنعت ۴۰ بر چابکی و تاب‌آوری در شرکت‌های کوچک و متوسط بسیار قوی‌تر از اثر مستقیم آن بر عملکرد است، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده این روابط در صنایع بزرگ و سازمان‌های با منابع گسترده نیز آزمون شوند تا تفاوت شدت اثر در محیط‌های مختلف روشن شود.

۲- یافته‌ها نشان دادند صنعت ۴۰ از طریق چابکی و تاب‌آوری عملکرد زنجیره تأمین را ارتقا می‌دهد. بنابراین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی بررسی کنند که کدام فناوری‌های خاص صنعت ۴۰ همچون هوش مصنوعی، بلاکچین یا رباتیک پیشرفته بیشترین نقش را در تقویت این دو قابلیت سازمانی ایفا می‌کنند.

۳- از آنجاکه مسیر میانجی چابکی و تاب‌آوری در این پژوهش تأیید شده است، پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده بررسی کنند که آیا این مسیر می‌تواند به ارتقای پایداری زنجیره تأمین در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی نیز منجر شود. این موضوع می‌تواند ارتباط بین قابلیت‌های سازمانی و توسعه پایدار را آشکار سازد.

۴- نتایج نشان دادند اثر فناوری بر عملکرد از مسیر قابلیت‌های سازمانی عبور می‌کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده نقش عوامل زمینه‌ای مانند فرهنگ سازمانی، سبک رهبری دیجیتال و آمادگی ساختاری را در تقویت یا تضعیف این مسیر بررسی کنند تا شرایط موفقیت پروژه‌های تحول دیجیتال در شرکت‌های کوچک و متوسط بهتر شناخته شود.

۵- با توجه به اینکه پژوهش حاضر بر شرکت‌های کوچک و متوسط متمرکز است، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی مدل پژوهش در شبکه‌های چندسطحی آزمون شود تا مشخص گردد آیا روابط میان صنعت ۴۰، چابکی و تاب‌آوری در محیط‌های پیچیده‌تر نیز به همان شکل عمل می‌کنند یا تفاوت‌هایی وجود دارد.

منابع

- Abbasi Bastami, R., Ehtesham Rasi, R., & Akbari, A. (2018). The Role of Production Flexibility and Supply Chain Agility on Supply Chain Performance. *Supply Chain Management*, 20(59), 84-97. 20.1001.1.20089198.1397.20.59.7.6. [In Persian].
- Ahmadi, S., Keihaniyan, S., & Rezaei, H. (2024). Strategies for productivity management in the energy of the defense supply chain based on Industry 4.0 achievements. *Defense Preparedness and Technology Quarterly*, 7(4), 11–50. 20.1001.1.28212606.1403.7.4.1.5. [In Persian].
- Aldhaheeri, R. T., & Ahmad, S. Z. (2023). Factors affecting organisations' supply chain agility and competitive capability. *Business Process Management Journal*, 29(2), 505-527. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-11-2022-0579>.
- Bakhsham M, Hosseinpour M, Ayeneh M, Karimi H, Parandavar P. Identifying and Analyzing the Application of the Internet of Things in Supply Pharmaceutical Chain Agility in post COVID-19. *jhbmi* 2023; 10 (1) :57-69. <https://doi.org/10.34172/jhbmi.2023.14>. [In Persian].
- de Mattos Nascimento, D. L., Garcia-Buendia, N., Moyano-Fuentes, J., & Maqueira, J. M. (2024). Unlocking the potential of industry 4.0 for supply chain flexibility and agility: a systematic literature review. *Engineering Management Journal*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/10429247.2024.2372518>.
- de Oliveira-Dias, D., Maqueira-Marin, J. M., Moyano-Fuentes, J., & Carvalho, H. (2023). Implications of using Industry 4.0 base technologies for lean and agile supply chains and performance. *International Journal of Production Economics*, 262, 108916. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108916>.
- didegah, S. A. and Sohrabi, T. (2024). Presenting a management model for the development of emerging technologies based on the stabilization of supply chains in the agricultural industry. *Journal of Technology Development Management*, 11(4), 134-174. <https://doi.org/10.22104/jtdm.2024.5872.3075>. [In Persian].
- Ding, B., Ferras Hernandez, X., & Agell Jane, N. (2023). Combining lean and agile manufacturing competitive advantages through Industry 4.0 technologies: an integrative approach. *PRODUCTION PLANNING & CONTROL*, 34(5), 442-458. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1934587>.
- Dokhanian, S., Sodagartojgi, A., Tehranian, K., Ahmadirad, Z., Moghaddam, P. K., & Mohsenibeigzadeh, M. (2024). Exploring the impact of supply chain integration and agility on commodity supply chain performance. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 22(1), 441-450. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.22.1.1119>.
- El-Breshy, S., Elhabashy, A. E., Fors, H., & Harfoush, A. (2024). Resiliency of manufacturing

- systems in the Industry 4.0 era—a systematic literature review. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2022-0171>.
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2021). Impact of Industry 4.0 on supply chain performance. *PRODUCTION PLANNING & CONTROL*, 32(1), 63-81. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1712487>.
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>.
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Foroughi, B., Tseng, M. L., Nikbin, D., & Khanfar, A. A. (2025). Industry 4.0 digital transformation and opportunities for supply chain resilience: a comprehensive review and a strategic roadmap. *Production planning & control*, 36(1), 61-91. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2252376>.
- Hamdani, F.-E., Quintero, I. A. Q., Enjolras, M., Camargo, M., Monticolo, D., & Lelong, C. (2024). Agile supply chain analytic approach: a case study combining agile and CRISP-DM in an end-to-end supply chain. Paper presented at the Supply Chain Forum: An International Journal. <https://doi.org/10.1080/16258312.2022.2064721>.
- Jain, N. K., Chakraborty, K., & Choudhary, P. (2024). Building supply chain resilience through industry 4.0 base technologies: role of supply chain visibility and environmental dynamism. *JOURNAL OF BUSINESS & INDUSTRIAL MARKETING*. <https://doi.org/10.1108/JBIM-09-2023-0550>.
- Khan, T., & Emon, M. M. H. (2025). Supply chain performance in the age of Industry 4.0: evidence from manufacturing sector. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 22(1), 2434-2434. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2434.2025>.
- Khan, T., Emon, M. M. H., & Rahman, M. A. (2024). A systematic review on exploring the influence of Industry 4.0 technologies to enhance supply chain visibility and operational efficiency. *Review of Business and Economics Studies*, 12(3), 6-27. <https://doi.org/10.26794/2308-944X-2024-12-3-6-27>.
- Kumar, D., Singh, R. K., Mishra, R., & Vlachos, I. (2024). Big data analytics in supply chain decarbonisation: a systematic literature review and future research directions. *International Journal of Production Research*, 62(4), 1489-1509. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2179346>.
- McNeish, D., & Matta, T. H. (2025). SRMR for Models with Covariates. *Psychometrika*, 1-23. <https://doi.org/10.1017/psy.2024.10>.
- Marinagi, C., Reklitis, P., Trivellas, P., & Sakas, D. (2023). The Impact of Industry 4.0 Technologies on Key Performance Indicators for a Resilient Supply Chain 4.0.

- SUSTAINABILITY, 15(6), 5185. <https://doi.org/10.3390/su15065185>.
- Mazroui Nasrabadi, E. and Habibirad, A. (2023). Presenting the industry 4.0 driver model in healthcare: a mixed method. *Journal of Technology Development Management*, 11(1), 85-115. doi: 10.22104/jtdm.2024.6559.3237. [In Persian].
- Min, H. (2019). Blockchain technology for enhancing supply chain resilience. *Business Horizons*, 62(1), 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.012>.
- mohammadi, M. , Heidaryd Dahooie, J. and Ahmadi, A. (2024). Identification and prioritization of artificial intelligence applications in supply chain 4.0 (retail industry case study). *Journal of Technology Development Management*, 11(4), 78-106. doi: 10.22104/jtdm.2024.6904.3317. [In Persian].
- Mubarik, M. S., Bontis, N., Mubarik, M., & Mahmood, T. (2022). Intellectual capital and supply chain resilience. *Journal of Intellectual Capital*, 23(3), 713-738. <https://doi.org/10.1108/JIC-06-2020-0206>.
- Novais, L., Maqueira, J. M., & Ortiz-Bas, Á. (2019). A systematic literature review of cloud computing use in supply chain integration. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*, 129, 296-314. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.056>.
- Patel, B. S., & Sambasivan, M. (2022). A systematic review of the literature on supply chain agility. *Management Research Review*, 45(2), 236-260. <https://doi.org/10.1108/MRR-09-2020-0574>.
- Pourbabagol, H., Amiri, M., Taghavifard, M. T., & Hanafizadeh, P. (2023). A new fuzzy DEA network based on possibility and necessity measures for agile supply chain performance evaluation: A case study. *Expert Systems with Applications*, 220, 119552. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119552>.
- Pozzi, R., Rossi, T., & Secchi, R. (2023). Industry 4.0 technologies: critical success factors for implementation and improvements in manufacturing companies. *PRODUCTION PLANNING & CONTROL*, 34(2), 139-158. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1891481>.
- Qader, G., Junaid, M., Abbas, Q., & Mubarik, M. S. (2022). Industry 4.0 enables supply chain resilience and supply chain performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 185, 122026. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122026>.
- Qi, Y., Wang, X., Zhang, M., & Wang, Q. (2023). Developing supply chain resilience through integration: An empirical study on an e-commerce platform. *Journal of Operations Management*, 69(3), 477-496. <https://doi.org/10.1002/joom.1226>.
- Ruiz-Benítez, R., López, C., & Real, J. C. (2018). The lean and resilient management of the supply chain and its impact on performance. *International Journal of Production Economics*, 203,

- 190-202. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.06.009>.
- saffari darberazi, A. , Ghadirian, A. M. , Haqbin, A. and Abdi, M. (2024). Structural Analysis of Green Identity and Consumer Loyalty in Tile and Ceramic Industry of Yazd Province Using Structural Equation Modeling. *Commercial Surveys*, 22(127), 91-114. <https://doi.org/10.22034/bs.2024.2033803.2984>. [In Persian].
- Sheikh Aghajani, A., & Ramezani, M. (2019). Examining the impact of supply chain dynamic capabilities on its performance with the mediation of supply chain resilience. *Journal of Development and Transformation Management*, 11(36), 55–65. <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jdem/Article/665543?jid=665543&lang=en>. [In Persian].
- Stefanini, R., & Vignali, G. (2024). The influence of Industry 4.0 enabling technologies on social, economic and environmental sustainability of the food sector. *International Journal of Production Research*, 62(10), 3800-3817. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2248523>.
- Tarafdar, M., & Qrunfleh, S. (2017). Agile supply chain strategy and supply chain performance: complementary roles of supply chain practices and information systems capability for agility. *International Journal of Production Research*, 55(4), 925-938. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1203079>.