Journal of Public service marketing (JPSM)
Vol. 2, No. 1, 2024, 19-35

Identification the challenges of using the technology of 4.0 industry in the circular supply chain of sustainable agriculture

Hamed karimi shirazi[1], Younos Vakil Alroaia[2]*

Received date: 2024/05/14 Acceptance date: 2024/05/30 Published online:2024/10/06

Abstract

This study aims to identification and determine the relationships between the challenges of using the technology of 4.0 industry in the circular supply chain of sustainable agriculture in order to manage and reduce waste and residues of agricultural products from production to consumption. For this purpose, the most important challenges have been identified through the review of theoretical literature and after screening by the fuzzy Delphi method, they have been analyzed with the interpretive-structural modeling method. The statistical population, 15 experts including senior managers of food and agricultural industrial companies, were selected by targeted non-probability sampling with the snowball technique and answered the questionnaire of paired comparisons. 17 challenges were identified and confirmed in three economic, environmental and social categories, according to the findings of structural-interpretive modeling, the challenges of "job threats of employees and non-adaptation of employees with smart technologies" (social), "financing In digital infrastructure" (economic), and "emission and disposal of harmful electronic waste and consumption of resources and energy of smart technologies" (environmental) are the most influencing. And the challenges of "lack of government financial support for the use of smart technologies" (economic) and "unavailability of global standards and protocols of smart technologies to protect the environment" (environmental), "Uncertain financial returns of investment in fourth generation industry technologies"(environmental), and "High investment in fourth generation industry technologies for sustainable agricultural operations" (environmental) are the most influenced and The most important are that to in order to reduce these challenges, financial, legal and legal support from the government is needed.

Keywords: challenges, 4.0 industry technology, circular economy, agricultural supply chain, sustainable.

[1] . Young Researchers and Elite Club, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran..email: Hamedkarimishirazi@gmail.com
[2] . Associate Prof. and Chairman, Entrepreneurship and Commercialization Research Center, Department of Management, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan(Corresponding author), Iran. email: y.vakil@semnaniau.ac.ir

فصلنامه بازاریابی خدمات عمومی
دوره ۲، شماره ۱، بهار۱۴۰۳، مقاله پژوهشی، صفحات ۱۹-۳۵ -ویژه نامه هوش مصنوعی و اینترنت اشیا

شناسایی چالش‌های بکارگیری فناروی صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار

حامد کریمی شیرازی[۱]، یونس وکیل الرعایا[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲۵ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۳/۱۰ تاریخ انتشار:۱۴۰۳/۳/۲۱

چکیده

این مطالعه با هدف شناسایی و تعیین روابط بین چالش‌های بکارگیری فناروی صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار به منظور مدیریت و کاهش ضایعات و پسماندهای محصولات کشاورزی از تولید تا مصرف است. بدین منظور، مهم‌ترین چالش‌ها از طریق مرور ادبیات نظری شناسایی و پس از غربالگری به روش دلفی فازی، با روش مدلسازی تفسیری-ساختاری تحلیل شده است. جامعه آماری خبرگان شامل مدیران ارشد شرکت‌های صنعتی مواد غذایی و کشاورزی به تعداد ۱۵ نفر و به صورت نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند با تکنیک گلوله برفی انتخاب شدند که به پرسش‌نامه مقایسات زوجی پاسخ دادند. ۱۷ چالش در سه دسته اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی شناسایی و تایید شدند، که طبق یافته‌های مدلسازی تفسیری-ساختاری، چالش‌های «تهدیدات شغلی کارکنان و انطباق نشدن کارکنان با فناوری‌های هوشمند» (اجتماعی)، «تامین مالی در زیرساخت دیجیتال» (اقتصادی)، و «انتشار و دفع زباله‌های مضر الکترونیکی و مصرف منابع و انرژی فناوری-های هوشمند» (زیست‌محیطی) تاثیرپذیرترین هستند و چالش‌های «کمبود حمایت‌های مالی دولت از کاربرد فناوری‌های هوشمند» (اقتصادی) و «در دسترس نبودن استانداردها و پروتکل‌های جهانی فناوری‌های هوشمند برای حفاظت از محیط‌زیست» (زیست‌محیطی)، « بازده مالی نامشخص سرمایه گذاری در فناوری‌های صنعت نسل چهارم» و «سرمایه‌گذاری بالا در فناوری‌های صنعت نسل چهارم برای عملیات پایدار کشاورزی» تاثیرگذارترین و مهم‌ترین می‌باشند که برای رفع این چالش‌ها نیاز به حمایت‌های مالی، قانونی و حقوقی از سوی دولت است.

واژگان کلیدی: چالش‌ها، فناوری صنعت نسل چهارم، اقتصاد مدور، زنجیره تامین کشاورزی، پایدار.

مقدمه

زنجیره تامین کشاورزی شبکه‌ای است که تامین‌کنندگان کشاورز، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان را با هم ارتباط می دهد (Antonucci et al., 2019). چندین بخش مانند کشاورزان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، انبارها، خرده فروشان و غیره در شبکه زنجیره‌تامین کشاورزی برای تامین غذای ایمن و مطمئن به مشتریان همکاری می کنند (Dania et al., 2018).

[۱]. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، ایمیل: Hamedkarimishirazi@gmail.com

[۲]. دانشیار گروه مدیریت، مرکز تحقیقات کارآفرینی، ایده پردازی و تجاری سازی، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران(نویسنده مسئول). ایمیل: y.vakil@semnaniau.ac.ir

این مقاله در اولین کنفرانس ملی هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و فناوری پردیس در مورخ ۱۸ الی ۲۰ اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۳ ارائه شده است.

یکی از دغدغه‌های امروزه زنجیره‌تامین کشاورزی و مواد غذایی، مصرف درست منابع، تولید و توزیع با کیفیت آن جهت کسب ارزش افزوده است (ثابتیان، ۱۴۰۱)، چرا که ضایعات بیشتری در این زنجیره تا مصرف‌کنندگان ایجاد می‌شود (Béné et al., 2019). بر اساس گزارشات، ضایعات مواد غذایی در سراسر جهان در سال ۲۰۱۹ تقریباً ۹۳۱ میلیون تن بوده است که خانوارها، خدمات غذایی و خرده فروشی به ترتیب ۶۱ درصد، ۲۶ درصد و ۱۳ درصد را تشکیل می‌دادند که منجر به ۱۷ درصد از کل ضایعات مواد غذایی خوراکی شد. با این توصیف، ضایعات مواد غذایی از منظر اجتماعی و از منظر زیست‌محیطی و اقتصادی پیامدهای منفی دارد (Kumar et al., 2023). ضایعات مواد غذایی با انتشار گسترده گازهای گلخانه‌ای با اثرات زیست محیطی، از دست دادن تنوع زیستی و غیره مرتبط است (Corrado et al., 2019)، بنابراین زنجیره‌تامین باید برای رقابتی شدن، خود را در مدیریت منابع بازسازی کنند (Kumar et al., 2020).

امروزه در اقتصاد جهانی مصرف بهینه منابع و پیشگیری از هدر رفت آن به دلیل دستیابی به ارزش افزوده بسیار مهم است. به همین دلیل سیاستگذاران و تصمیم‌گیرندگان صنایع برای جذب جنبه‌های اقتصاد مدور و پایدار در تجارت خود تلاش می‌کنند (Bhattacharya et al., 2023). در جنبه پایداری، سازمان‌ها اقداماتی را برای دستیابی به توسعه اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی انجام می‌دهند (Chen et al., 2020) و در زنجیره تامین مدور هدف حفظ و کسب ارزش از طریق طراحی و توسعه کالا دوستدار محیط‌زیست و نگهداری و تعمیر، استفاده مجدد، ساخت مجدد، نوسازی و بازیافت کالای تولید و دفع مناسب موارد مصرف شده شده است (De Lima & Seuring, 2023). بنابراین، اقتصاد مدور و پایداری از دیدگاه صنایع غذایی، برای مدیریت مصرف منابع و انرژی و پیشگیری از هزینه‌های بیشتر در محصولات غذایی بسیار مهم است. اقتصاد مدور و ابتکارات پایداری به مدیران اجازه می‌دهد تا ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ناشی از جنبه‌های مشتری و ذینفعان را در نظر بگیرند (Sharma et al., 2019).

بکارگیری اقتصاد مدور و ابتکارات سازگار با محیط‌زیست، یک سیستم صنعتی ایجاد می‌کند که به سازمان‌ها اجازه می دهد تا مواد را بازیافت کنند و پایداری کلی را افزایش دهند (Bayona-Saez, et al., 2017). در این میان، فناوری‌های پیشرفته، مزیت رقابتی را برای سازمان‌ها از طریق کاهش زمان عرضه به بازار، بهینه‌سازی منابع، به حداقل رساندن ضایعات، و بهبود چرخه منابع در راستای اهداف اقتصاد مدور ایجاد می‌کند (Kumar et al., 2020). دیجیتالی کردن فرآیندها و اجرای شیوه‌های پایداری با تجهیزات هوشمند کارایی منابع و بهره وری را افزایش می‌دهد (Tortorella & Fettermann, 2018). فناوری‌های پیشرفته صنعت نسل چهارم مانند تجهیزات فیزیکی هوشمند همراه فناوری‌های نرم مانند رایانش ابری، فناوری بلاک چین، اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، داده بزرگ و غیره به افزایش کارایی عملکردها مانند کاهش مصرف منابع کمک می کند (Ghobakhloo, 2018). صنعت نسل چهارم صلاحیت عملیاتی را ارتقا می‌دهد، عملیات کنترل داده‌ها، بهینه‌سازی انرژی و کاهش ضایعات از فرآیندها و ماشین‌ها را بهبود می‌بخشد (Narwane et al., 2021). فناوری‌های هوشمند نسل چهارم بین اجزای زنجیره‌تامین کشاورزی مانند کشاورزان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، انبارها، خرده فروشان و مصرف‌کنندگان ارتباط برقرار می‌کند و جریان اطلاعات به اشتراک گذاشته می‌شود و پیکربندی زنجیره‌تامین خود را با سایر اعضای زنجیره‌تامین هماهنگ می‌کنند و این همکاری موجب می‌شود تا شیوه‌های پایدار و اقتصاد مدور شکل بگیرد (Chalmeta & Santos-deLeón, 2020).

فناوری‌های صنعت نسل چهارم می‌تواند به نیازهای زنجیره تامین مانند بهینه‌سازی منابع، افزایش بهره‌وری، کاهش تولید ضایعات، شیوه‌های مصرف پایدارتر، طراحی محصولات سازگار با محیط‌زیست، لجستیک سبز کمک کند (Mastos et al., 2021). پیوستن به شیوه‌های پایدار و فناوری‌های صنعت نسل چهارم می‌تواند زنجیره‌های ارزش را بهبود بخشد. اما، چالش ضعف یکپارچگی بین صنعت نسل چهارم و پایداری وجود دارد (Machado et al., 2021). در نظر گرفتن صنعت نسل چهارم در صنعت پایداری بسیار دشوارتر است (Ejsmont wt al., 2020). ادغام فناوری‌های صنعت نسل چهارم، شیوه‌های مربوط به پایداری، عملیات و مدیریت زنجیره‌تامین یک چالش جهانی برای انواع شرکت‌ها است. بنابراین، نیاز به درک موانعی وجود دارد

که این یکپارچگی را به چالش می‌کشد و توانمندسازی‌هایی که می‌توانند بر این موانع در زنجیره‌تامین شرکت-های مختلف غلبه کنند (Machado et al., 2021).

یافته‌های مطالعات حاکی از آن است که بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم بسیار سخت و پیچیده است سازمان-های بسیاری برای پیاده‌سازی آن با موانع و چالش‌هایی روبرو هستند (Luthra & Mangla, 2018). تحلیل و بررسی چالش های بکارگیری صنعت نسل چهارم می‌تواند به اجرای استراتژی‌ها برای پیاده‌سازی آن کمک کند (Kamble et al., 2018)، بنابراین، توانمندکردن سازمان‌ها برای آگاهی و مقابله با چالش‌ها یکی از اهداف پارادایم‌های جدید در صنعت است (Kumar et a., 2021).

در زنجیره‌تامین محصولات کشاورزی مانند میوه‌ها، غلات، محصولات زراعی به دلیل فاسدپذیر بودن این دسته محصولات، پسماندهای بسیاری در کشور ایجاد می‌شود که علاوه بر از دست دادن منابع و سرمایه‌ها، موجب آلودگی‌های زیستی نیز می‌شود. همچنین از دست دادن محصولات باعث کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه‌ها گردیده است که مدیران تصمیم به بکارگیری فناوری‌های هوشمند نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار گرفته‌اند. اما انتقال و بکارگیری فناوری‌های هوشمند در صنعت کشاورزی به دلیل جدید بودن آن در کشور با چالش‌هایی روبرو هستند که به دلیل ضعف آگاهی از آن‌ها، ملاحظات پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی نیز به خطر افتاده است. بنابراین، درک و توسعه چالش‌های بکارگیری فناوری‌های هوشمند در اقتصاد مدور برای بهبود پایداری زنجیره‌تامین کشاورزی مسئله این تحقیق است و سوال‌های این تحقیق به صورت زیر مطرح شده است:

۱. چالش‌های بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار کدام‌اند؟
۲. روابط و اثرگذاری و اثرپذیری این چالش‌ها بر یکدیگر چگونه است؟
۳. مدل تفسیری-ساختاری چالش‌های بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار چگونه است؟

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پیشینه نظری

زنجیره‌تامین کشاوری شامل تامین‌کننده‌های نهادهای کشاورزی، شرکت‌های لجستیک، شرکت‌های پردازش و فرآوری و توزیع‌کنندگان محصولات کشاورزی می‌باشد که در آن مدیران اقدام به مدیریت روابط بین اعضاء زنجیره‌تامین کشاورزی می کنند تا محصولات کشاورزی با کیفیت مناسب دست مصرف‌کننده برسد و در نهایت شرکت‌ها به کسب ارزش افزوده و رقابت جهانی دست یابند (Alkahtani et al., 2020). در زنجیره‌تامین کشاورزی شامل تولید، فرآوری و توزیع انبوه مواد غذایی، ضایعات مواد غذایی وجود دارد و هدر رفتن مواد غذایی نگرانی‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی متعددی را به همراه دارد. هدر رفت مواد غذایی با اثرات زیست محیطی زیادی همراه است که مستقیماً بدون بازیابی و استفاده مجدد به محل‌های دفن زباله ریخته می‌شود (Kumar et al., 2023). از منظر اقتصادی، هدر رفت غذا در جهان ۹۳۶ میلیارد دلار، اقتصاد جهانی را متضرر می‌کند. بنابراین، توسعه پایدار در زنجیره‌تامین کشاورزی یک نیاز فوری برای کاهش هدر رفت مواد غذایی و تغذیه مردم است. به دلیل فسادپذیری و ماندگاری کوتاه محصولات غذایی، مقدار قابل توجهی ضایعات در هر مرحله از زنجیره‌تامین از جمله برداشت، حمل‌ونقل، فرآوری و مصرف وجود دارد (Balaji & Arshinder, 2016).

مدیریت زنجیره-تامین پایدار به صورت زیر تعریف شده است: «مدیریت جریانات مواد، اطلاعات و سرمایه و همچنین همکاری بین شرکت‌ها در طول زنجیره تأمین در حالی که اهداف هر سه بعد توسعه پایدار، یعنی اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را در نظر می‌گیرد، که برگرفته از نیازهای مشتری و ذینفعان است» (Seuring & Müller, 2008, p.1700). خط

پایانی سه‌گانه پایداری (یعنی اقتصاد، محیط زیست و جامعه) منجر به مفهوم R۳ شده است که شامل بازیابی[۱]، بازیافت[۲] و استفاده مجدد[۳] است (Xin et al., 2022).

اقتصاد مدور نقش اساسی در توسعه پایدار زنجیره‌تامین کشاورزی ایفا می‌کند. بازیابی، بازیافت و استفاده مجدد محرک های اصلی اقتصاد مدور برای استخراج ارزش از زباله و بهبود عملکرد در تمام جنبه های پایداری هستند (Dey et al., 2020). در عمل اقتصاد مدور، مفهوم زباله در زنجیره تامین خطی با استفاده مجدد و بازتولید ارزش جدید از ضایعات غذایی حذف می شود (Sehnem et al., 2019). دو جنبه اصلی که مدیریت زنجیره‌تامین مدور را منحصر به فرد می‌کند شامل تفکر مدور در چرخه‌های بازیافت و استفاده مجدد و چشم‌انداز اقتصاد بدون زباله است (Farooque et al., 2019).

انقلاب صنعتی عمدتاً بر فناوری‌های هوشمند از جمله هوش مصنوعی[۴] (AI)، اینترنت اشیا[۵] (IoT)، روباتیک، بیوتکنولوژی، اتومبیل‌های خودران، چاپ سه بعدی یا تولید افزودنی[۶] (AM)، فناوری نانو و تجزیه و تحلیل داده بزرگ[۷] (BDA) متمرکز است. این نوآوری‌ها در مجموع امکان توسعه کارخانه‌های هوشمند و زنجیره‌های تامین پیشرفته را فراهم می کند (Nguyen et al., 2023). فناوری‌های صنعت نسل چهارم عبارتند از (تولید هوشمند، محصولات هوشمند، زنجیره‌تأمین هوشمند و کار هوشمند) و فناوری‌های پایه (اینترنت اشیا، خدمات ابری، تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ و غیره). صنعت نسل چهارم شامل پذیرش فناوری‌های پیشرفته هدایت کننده است که در تولید هوشمند تسریع می‌بخشند. بکارگیری فناوری‌های هوشمند برای صنایع یک مسئله است، زیرا کاربردهای آن‌ها هنوز نابالغ است (Frank et al., 2019). فناوری صنعت نسل چهارم در حال حاضر زنجیره ارزش مجازی فعال دیجیتال را به زنجیره‌های ارزش زنجیره‌تامین کشاورزی تبدیل می‌کند. جدول ۱ کاربرد برخی از فناوری‌های هوشمند در زنجیره‌تامین کشاورزی را نشان می‌دهد (Kumar et al., 2022):

جدول ۱. ارتباط بین فناوری‌های صنعت نسل چهارم و ایجاد ارزش زنجیره‌تامین کشاورزی. منبع: (Kumar et al., 2022)

فناوری هوشمند	کاربرد در کشاورزی
هوش مصنوعی	بهبود بهره وری عملیاتی و بهره وری منابع در سیستم های غذایی
RFID هوشمند	بازرسی و نظارت بر کیفیت، نظارت بر محیط‌زیست، کشاورزی دقیق، بهینه‌سازی ورودی مزرعه و اتوماسیون فرآیند
داده های بزرگ	برای حمایت از ارزش گذاری ضایعات و مدیریت محصولات جانبی در زنجیره تامین کشاورزی
فناوری بلاک چین	امنیت داده‌ها و مسائل ایمنی، و نیاز به تراکنش‌های مالی کارآمد غیرقابل اعتماد در زنجیره تامین کشاورزی
اینترنت اشیاء	جمع‌آوری داده‌ها و قابل فهم کردن آن‌ها و نظارت بر داده‌ها

پیشینه تجربی

نتایج مطالعه دورماز و همکاران (۲۰۲۲) در خصوص تجزیه‌وتحلیل موانع کلیدی صنعت نسل چهارم برای مدیریت زنجیره‌تامین پایدار نشان داد که عدم اطمینان در مورد منافع اقتصادی، مقاومت در برابر تغییر، و فقدان زیرساخت و ابزار برای

[1] Recreating
[2] Recycling
[3] Reusing
[4] Artificial Intelligence
[5] Internet of Things
[6] Additive Manufacturing
[7] Big Data Analytics

صنعت نسل چهارم در زنجیره تأمین پایدار، موانعی کلیدی برای پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین پایدار هستند (Durmaz et al., 2022). در مطالعه کومار و همکاران (۲۰۲۲) نیز نابالغی فن‌آوری، سرمایه‌گذاری بالا، عدم آگاهی و پذیرش مشتری و محدودیت‌های تکنولوژیکی و فقدان نوآوری زیست‌محیطی به‌عنوان برجسته‌ترین موانع برای پذیرش صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین پایدار شناخته می‌شوند (Kumar et al., 2022). شانگ و همکاران (۲۰۲۲) به مطالعه‌ی ارزیابی موانع زنجیره‌تامین مدور در عصر انتقال صنعت نسل چهارم پرداختند و نتایج این مطالعه نشان داد که فقدان دانش، مسائل مرتبط با امنیت داده در مدیریت روابط در جریان‌های مدور، کمبود دانش در مورد مدیریت داده‌ها در بین ذینفعان و کمبود آگاهی در مورد مزایای بالقوه سیستم‌های مستقل در فعالیت‌های پایان عمر مبتنی بر نیروی کار برای بکارگیر فناوری صنعت نسل چهارم در زنجیره تامین مدور است (Shang et al., 2022). ماچادو و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی موانع برای ادغام صنعت نسل چهارم و پایداری در زنجیره‌تامین شرکت‌های کوچک و متوسط نشان دادند که ضعف در حمایت‌های قانونی، تاثیرگذارترین موانع و مسائل امنیت سایبری تاثیرپذیرترین موانع می‌باشد (Machado et al., 2021). نتایج مطالعه کومار و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان می‌دهد که کمبود حمایت و مشوق‌های دولتی و فقدان سیاست‌ها و پروتکل‌ها، موانع مهمی برای اجرای مدل صنعت نسل چهارم و اقتصاد مدور در زنجیره‌تامین کشاورزی می‌باشد (Kumar et al., 2021b). راج پوت و سینگ (۲۰۱۹) نشان می‌دهد که موانع فرآیند دیجیتالی‌سازی و قابلیت همکاری، استانداردها و مشخصات سیستم‌های فیزیکی-سایبری، فناوری حسگر و چالش‌های طراحی تاثیرگذارترین موانع صنعت نسل چهارم برای دستیابی به اقتصاد مدور هستند (Rajput & Singh, 2019). در نهایت با توجه به پیشینه نظری و تجربی مطالعات گذشته، چالش‌های بکارگیری فناوری صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار از طریق ادبیات نظری تحقیق شناسایی شدند که در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. چالش‌های بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار شناسایی شده از طریق ادبیات نظری تحقیق

چالش	چالش‌های فرعی	منبع
اقتصادی	محدودیت‌های بودجه برای حمایت مدیریت ارشد	(Chauhan & Singh, 2020), (Nimawat & Gidwani, 2021)
	کمبود حمایت‌های مالی دولت از کاربرد فناوری‌های هوشمند کشاورزی	, (Spieske & Birkel, 2021), (Pourmehdi et al., 2022),
	سرمایه گذاری بالا در فناوری‌های صنعت نسل چهارم برای عملیات پایدار کشاورزی	(Shang et al., 2022), (Balakrishnan & Ramanathan, 2020)
	برآورد نامناسب هزینه پذیرش فناوری صنعت نسل چهارم در مدیریت زنجیره تامین مدور	(Yadav, 2020)
	بازده مالی نامشخص سرمایه‌گذاری در فناوری های صنعت نسل چهارم	(Verma et al., 2022), (Narwane et al, 2021), (Pourmehdi et al., 2022)
	چالش‌های تامین مالی در زیرساخت دیجیتال	(Pourmehdi et al., 2022)
زیست محیطی	انتشار و دفع زباله‌های مضر الکترونیکی	(Verma et al., 2022), (Birkel et al., 2019)
	مصرف منابع و انرژی فناوری‌های هوشمند	(Machado et al., 2021), (Soltovski, 2020), (Birkel et al., 2019)
	در دسترس نبودن استانداردها و پروتکل‌های جهانی فناوری‌های هوشمند برای حفاظت از محیط‌زیست	(Pourmehdi et al., 2022), (Masoomi et al., 2023)
	پیچیدگی در پیکربندی زنجیره‌تامین مدور کشاورزی	(Masoomi et al., 2023)
	کمبود سیاست‌های مدور در زنجیره‌تامین کشاورزی پایدار	(Kumar et al., 2022), (Masoomi et al., 2023)
اجتماعی	چالش‌های حفظ امنیت اطلاعات و حریم خصوصی کاربران	(Verma et al., 2022), (Machado et al., 2021), (Senna et al., 2022), (Narwane et al, 2021), (Birkel et al., 2019), (Masoomi et al., 2023)
	تهدیدات شغلی کارکنان	(Mukhuty et.el.2022), (Narwane et al, 2021),

		(Soltovski, 2020), (Birkel et al., 2019)
	کمبود مهارت‌های کافی دیجیتال کارکنان	(Pourmehdi et al., 2022), (Kumar et a., 2021), (Chauhan & Singh, 2020), (Rehman et al., 2021)
	اختلال‌های شغلی کارکنان	(Pourmehdi et al., 2022)
	انطباق نشدن کارکنان و با فناوری‌های هوشمند	(Vuksanovi et al., 2020), (Masoomi et al., 2023)
	فرهنگ ناکافی کارکنان	(Masoomi et al., 2023)
	مسئولیت اجتماعی ضعیف شرکت و ذینفعان	(Kumar et al., 2022)

روش‌شناسی پژوهش

تحقیق حاضر بر حسب هدف، توسعه‌ای-کاربردی است و بر حسب گردآوری داده‌ها توصیفی-اکتشافی است. روش گردآوری اطلاعات، مطالعات کتابخانه‌ای شامل جستجو در کتب، مجله‌های معتبر داخلی و خارجی و روش گردآوری داده‌ها میدانی است. جامعه آماری خبرگان شامل مدیران ارشد شرکت‌های صنعتی مواد غذایی و کشاورزی به تعداد ۱۵ نفر و به صورت نمونه‌گیری غیر احتمالی هدفمند و با تکنیک گلوله برفی انتخاب شدند. این خبرگان دارای سابقه مدیریت، تجربه بالا، آشنایی کامل با موضوع پژوهش و در دسترس هستند. ابزار گردآوری داده‌ها پرسش‌نامه است. محقق از پرسش‌نامه مقایسات زوجی استفاده کرده است که در آن از خبرگان میزان اثرگذاری هر یک از عناصر پرسش‌نامه بر یکدیگر را بر اساس طیف تاثیر ندارد (۰)، تاثیر کم دارد (۱)، تاثیر زیاد دارد (۲)، تاثیر بسیار زیاد دارد (۳) مشخص کردند. در این تحقیق ابتدا از طریق مرور ادبیات نظری تحقیق مهم‌ترین چالش‌های بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار شناسایی و سپس با روش دلفی فازی غربالگری و تایید شدند. کاربرد این روش به منظور تصمیم‌گیری و اجماع بر مسائلی که اهداف و پارامترها به صراحت مشخص نیستند، منجر به نتایج بسیار ارزنده‌ای می‌شود. به دلیل عدم قطعیت در نظرات خبرگان، از مجموعه اعداد فازی به جای اعداد قطعی استفاده شده است (Cheng &Lin, 2002). در ادامه از روش مدلسازی تفسیری-ساختاری برای تعیین روابط بین چالش‌ها و ایجاد مدل ساختاری استفاده شده است. این روش روابط بین این چالش‌ها را پیدا می‌کند و در نهایت نشان می‌دهد که چگونه چالش‌ها بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند تا علت اصلی را که باعث ایجاد چالش‌های دیگر می‌شود، کشف کند (Bakhtari et al.,2020). برای اجرای تکنیک مدلسازی تفسیری-ساختاری و به دست آوردن روابط درونی و اولویت‌های عناصر در یک سیستم باید فرایندی طی شود که در منابع آمده است (Lin et al., 2019).

یافته‌های پژوهش

در این تحقیق تعداد ۱۸ چالش بکارگیری فناوری صنعت نسل چهارم در زنجیره تامین مدور کشاورزی پایدار بر اساس مرور ادبیات نظری شناسایی شدند که در جدول ۲ آمده است. به منظور بومی‌سازی و تایید روایی محتوایی چالش‌های شناسایی شده برای کشاورزی از روش دلفی فازی استفاده شده است. خبرگان میزان اهمیت هر یک از چالش‌ها را بر اساس طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت پاسخ دادند. و همچنین نظرات خود را مبتنی بر اصلاح، ادغام، اضاف و حذف چالش‌ها در طی سه مرحله اعلام کردند. در نهایت چالش «اختلال‌های شغلی کارکنان» حذف شدند و سایر چالش‌ها به تایید رسیدند.

در ادامه به منظور ایجاد مدل تفسیری-ساختاری، خبرگان به میزان موثر بودن هر یک از چالش‌های بکارگیری فناوری-های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار بر دیگر عوامل به صورت بدون تاثیر(۰)، تاثیر کم(۱)، تاثیر زیاد(۲)، تاثیر بسیار زیاد (۳)، پاسخ دادند و جمع پاسخ‌های ۱۵ خبره محاسبه شد و ماتریس ساختاری روابط درونی به دست آمد که در جدول ۳ آمده است.

در ادامه برای به دست‌آمدن ماتریس دستیابی، از روابط تعریف شده توسط بولانوس[1] و همکاران (۲۰۰۵) استفاده می شود. در مرحله اول ابتدا یک مقیاس عددی واحد در نظر گرفته و اعداد ماتریس ساختاری روابط درونی را با آن مقایسه می کنیم. بولانوس و همکارانش (۲۰۰۵) برای یافتن عدد مقیاس از فرمول M=2*n استفاده می‌شود که در آن ۲ مقدار ارزشی «تاثیر زیاد» در پرسش‌نامه مقایسات زوجی و n تعداد خبرگان به تعداد ۱۵ نفر می‌باشد که برای این تحقیق عدد مقیاس ۳۰ به‌دست آمد. سپس ماتریس دستیابی را با ماتریس واحد جمع کرده و ماتریس دستیابی اولیه به‌دست آمد. در پایان، ماتریس دستیابی اولیه با بررسی سازگاری به ماتریس دستیابی نهایی تبدیل می‌شود. سازگاری با توجه به فرض بولین[2] شکل می‌گیرد

جدول ۳. ماتریس ساختاری روابط درونی چالش‌های بکارگیری فناروی صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱	۰	۲۵	۲۳	۳۵	۱۵	۳۳	۴۰	۴۲	۲۲	۴۴	۲۸	۳۵	۳۲	۳۷	۴۲	۴۰	۴۱
۲	۳۷	۰	۳۳	۳۷	۳۸	۳۲	۴۲	۳۵	۴۲	۴۴	۳۲	۳۸	۳۳	۳۳	۳۶	۳۱	۴۰
۳	۳۳	۱۸	۰	۳۹	۳۳	۳۵	۲۷	۴۱	۲۴	۳۹	۳۵	۳۶	۳۳	۲۸	۴۰	۴۴	۳۵
۴	۴۲	۲۵	۲۱	۰	۲۰	۴۰	۴۲	۴۱	۲۸	۳۲	۱۵	۳۳	۳۰	۴۰	۴۱	۲۲	۳۲
۵	۴۰	۱۹	۳۷	۳۴	۰	۳۲	۴۰	۴۲	۲۱	۳۱	۳۹	۳۶	۳۲	۳۶	۳۷	۳۳	۳۰
۶	۳۲	۲۱	۱۷	۳۹	۲۰	۰	۳۳	۳۷	۲۴	۳۳	۲۲	۴۲	۴۱	۳۹	۳۶	۳۳	۳۲
۷	۲۳	۲۰	۲۵	۲۷	۱۵	۱۹	۰	۳۱	۱۷	۲۲	۲۴	۲۶	۱۹	۲۴	۲۳	۱۹	۲۰
۸	۲۲	۲۳	۲۸	۲۷	۲۰	۲۰	۳۲	۰	۲۲	۲۴	۲۸	۲۳	۲۲	۲۵	۲۰	۲۲	۲۲
۹	۳۳	۳۳	۳۴	۳۹	۳۳	۴۰	۴۱	۴۰	۰	۳۳	۳۸	۳۶	۳۲	۴۲	۴۰	۳۲	۳۳
۱۰	۱۷	۲۴	۲۵	۱۸	۲۵	۲۳	۳۷	۳۲	۲۳	۰	۲۲	۳۰	۳۶	۴۴	۴۲	۳۴	۳۶
۱۱	۳۶	۲۴	۲۲	۳۳	۲۳	۳۷	۴۱	۴۲	۲۷	۳۴	۰	۳۲	۳۹	۳۶	۴۲	۴۴	۴۰
۱۲	۲۳	۲۲	۲۰	۲۷	۲۸	۱۵	۱۲	۱۸	۲۳	۱۷	۲۲	۰	۳۳	۲۲	۳۷	۲۸	۲۴
۱۳	۱۷	۲۴	۱۵	۲۰	۲۳	۲۷	۲۲	۱۵	۲۰	۲۷	۱۵	۱۸	۰	۲۳	۴۲	۲۴	۱۵
۱۴	۲۴	۱۹	۲۱	۲۰	۲۷	۲۷	۴۱	۴۴	۲۲	۱۷	۱۵	۳۷	۳۲	۰	۴۰	۳۵	۱۷
۱۵	۱۲	۲۴	۲۸	۲۳	۲۴	۲۲	۲۱	۲۰	۲۰	۲۴	۲۳	۲۷	۳۸	۲۳	۰	۱۸	۱۷
۱۶	۲۳	۲۷	۲۲	۲۴	۱۶	۱۸	۴۲	۴۰	۲۵	۲۴	۲۲	۳۲	۳۰	۳۸	۳۴	۰	۲۱
۱۷	۱۸	۱۵	۲۴	۲۱	۲۰	۲۳	۴۰	۴۴	۲۲	۳۲	۲۴	۳۹	۳۷	۳۲	۳۳	۳۳	۰

جدول ۴. ماتریس دستیابی پس از سازگاری

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۴	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۵	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱

[1] Bolanos
[2] Boolean

۶	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱
۱۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱
۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰
۱۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰
۱۷	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱

که اگر عامل A با B در ارتباط باشد و B نیز با C مرتبط باشد، آنگاه لزوما C با A در ارتباط است. سلول‌های سازگار ماتریس به صورت رنگی مشخص شده است. ماتریس دسترسی نهایی مطابق جدول ۴ به‌دست آمده است. در نهایت، در تحقیق حاضر برای تعیین سطح از حاصل جمع سطر و ستون ماتریس سازگاری بر اساس کریمی شیرازی[1] و همکاران (۲۰۱۷) استفاده شد که محاسبات فوق در جدول ۵ آمده است. بنابراین بر اساس نتایج این جدول، چالش‌ها در نه سطح قرار می‌گیرند.

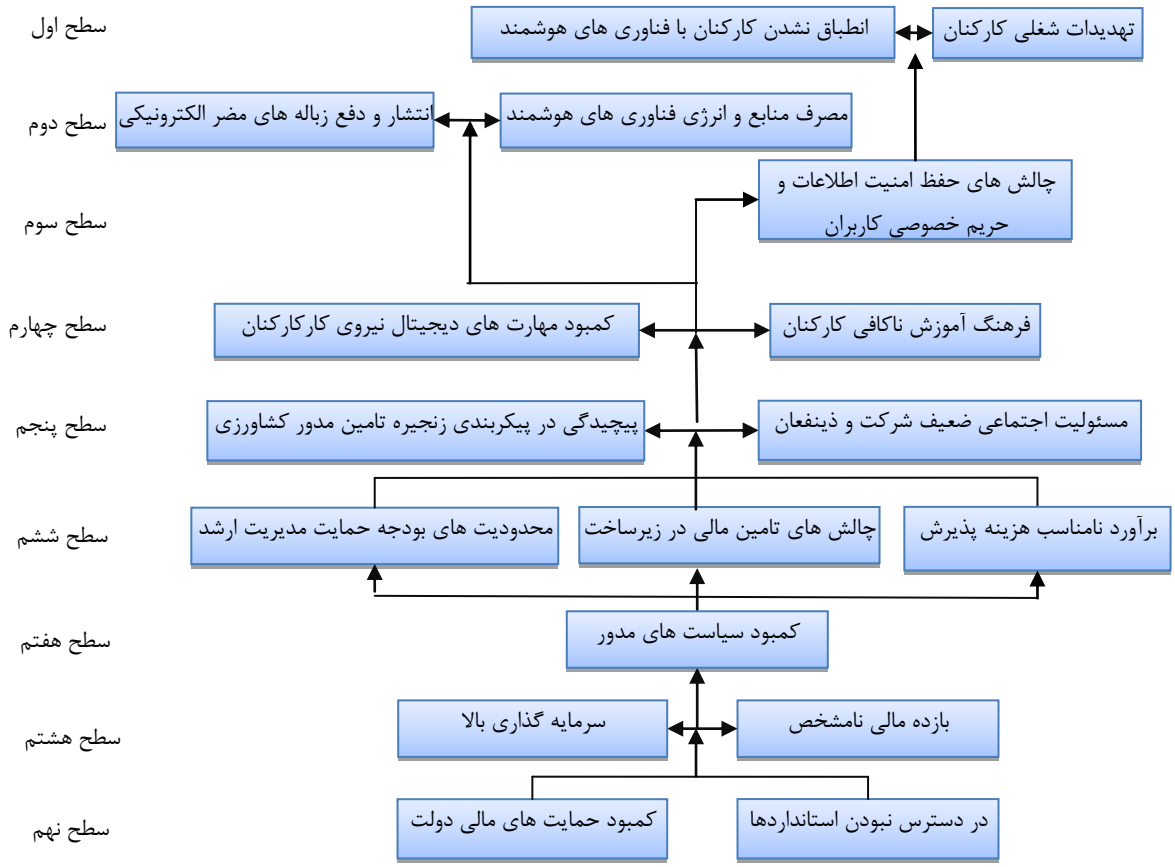
جدول ۵. سطح بندی چالش‌های بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار

نتیجه	سطح	D-R	R (وابستگی)	D (هدایت)		چالش ها
وابسته	۱	-۱۳	۱۵	۲	۱۳	تهدیدات شغلی کارکنان
وابسته	۱	-۱۳	۱۵	۲	۱۵	انطباق نشدن کارکنان و با فناوری‌های هوشمند
وابسته	۲	-۱۲	۱۴	۲	۷	انتشار و دفع زباله های مضر الکترونیکی
وابسته	۲	-۱۲	۱۴	۲	۸	مصرف منابع و انرژی فناوری‌های هوشمند
وابسته	۳	-۱۰	۱۳	۳	۱۲	چالش‌های حفظ امنیت اطلاعات و حریم خصوصی کاربران
وابسته	۴	-۵	۱۲	۷	۱۴	کمبود مهارت‌های کافی دیجیتال کارکنان
وابسته	۴	-۵	۱۲	۷	۱۶	فرهنگ آموزش ناکافی کارکنان
متصل	۵	-۱	۱۰	۹	۱۰	پیچیدگی در پیکربندی زنجیره‌تامین مدور کشاورزی
متصل	۵	-۱	۱۰	۹	۱۷	مسئولیت اجتماعی ضعیف شرکت و ذینفعان
مستقل	۶	۴	۸	۱۲	۱	محدودیت‌های بودجه برای حمایت مدیریت ارشد
مستقل	۶	۴	۸	۱۲	۴	برآورد نامناسب هزینه پذیرش فناوری صنعت نسل چهارم در مدیریت زنجیره تامین مدور
مستقل	۶	۴	۸	۱۲	۶	چالش‌های تامین مالی در زیرساخت دیجیتال
مستقل	۷	۸	۵	۱۳	۱۱	کمبود سیاست‌های مدور در زنجیره‌تامین کشاورزی پایدار
مستقل	۸	۱۱	۴	۱۵	۳	سرمایه‌گذاری بالا در فناوری‌های صنعت نسل چهارم برای عملیات پایدار کشاورزی
مستقل	۸	۱۱	۴	۱۵	۵	بازده مالی نامشخص سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت نسل چهارم

[1] Karimi Shirazi

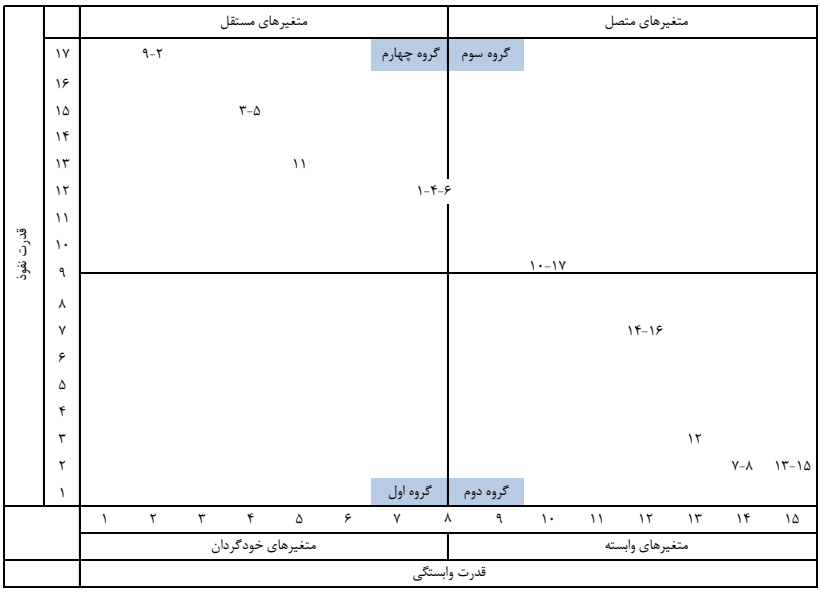
مستقل	۹	۱۵	۲	۱۷	۲	کمبود حمایت‌های مالی دولت از کاربرد فناوری‌های هوشمند کشاورزی
مستقل	۹	۱۵	۲	۱۷	۹	در دسترس نبودن استانداردها و پروتکل‌های جهانی فناوری‌های هوشمند برای حفاظت از محیط‌زیست

همان‌طور که جدول ۵ نشان می دهد، چالش‌های بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار به نه سطح طبقه‌بندی شده‌اند. در گراف روابط متقابل و تاثیرگذاری بین چالش‌ها و ارتباط سطوح مختلف به خوبی نمایان است که موجب درک بهتر فضای تصمیم‌گیری می‌شود. چالش‌های «تهدیدات شغلی کارکنان»، «انطباق نشدن کارکنان با فناوری‌های هوشمند»، «انتشار و دفع زباله‌های مضر الکترونیکی» و «مصرف منابع و انرژی فناوری‌های هوشمند» تاثیرپذیرترین چالش‌ها در بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار هستند که موفقیت زنجیره‌تامین مدور در کشاورزی پایدار وابسته به حل این چالش‌ها می‌باشد و باید هر چه سریعتر بهبود یابد. اما این چالش‌ها از طریق چالش‌های اثرگذار ایجاد می‌شوند که مهم‌ترین آن‌ها دو چالش «در دسترس‌نبودن استانداردها و پروتکل‌های جهانی فناوری‌های هوشمند برای حفاظت از محیط‌زیست» و «کمبود حمایت‌های مالی دولت از کاربرد فناوری‌های هوشمند» است که دو عامل محیطی تاثیرگذار هستند که در سطح پایه قرار دارند و همانند سنگ زیربنای مدل عمل می‌کنند و باید در اولویت تصمیم‌گیرندگان قرار بگیرد. این دو چالش باعث عدم اطمینان در سرمایه‌گذاری می‌شود و چالش «بازده مالی نامشخص سرمایه گذاری در فناوری‌های صنعت نسل چهارم» و «سرمایه‌گذاری بالا در فناوری‌های صنعت نسل چهارم برای عملیات پایدار کشاورزی» را به وجود می‌آورد که پیامد آن‌ها موجب کاهش انگیزه مدیران ارشد شده و چالش «کمبود سیاست‌های مدور در زنجیره‌تامین کشاورزی پایدار» شکل می-گیرد. روابط چالش-های بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱. نمودار سطح بندی چالش های بکارگیری فناوری صنعت نسل چهارم در زنجیره تامین مدور کشاورزی پایدار

در ادامه با استفاده از تحلیل میک‌مک نوع متغیرها با توجه به اثرگذاری و اثرپذیری بر سایر چالش‌ها مشخص شد و پس از تعیین قدرت نفوذ با اثرگذاری و قدرت وابستگی، می‌توان تمامی چالش‌های بکارگیری فناوری صنعت نسل چهارم در زنجیره تامین مدور کشاورزی پایدار را در یکی از خوشه‌های چهارگانه روش ماتریس اثر متغیرها طبقه‌بندی کرد که یافته‌های این بخش در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲. سطح بندی چالش‌های بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار با استفاده از روش MICMAC

قدرت هدایت و وابستگی چالش‌های بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار به صورت زیر می‌باشد:

۱. دسته اول شامل متغیرهای خودگردان هستند که دارای قدرت هدایت و وابستگی ضعیف می‌باشند. این متغیرها نسبتا غیر متصل به سیستم هستند و دارای ارتباطات کم و ضعیف با سیستم دارند. در این دسته هیچ چالشی قرار ندارد.

۲. متغیرهای وابسته دومین دسته هستند که دارای قدرت هدایت کم ولی وابستگی شدید می‌باشند. در این دسته «تهدیدات شغلی کارکنان»، «انطباق نشدن کارکنان با فناوری‌های هوشمند»، «انتشار و دفع زباله‌های مضر الکترونیکی»، «مصرف منابع و انرژی فناوری‌های هوشمند»، «کمبود مهارت‌های کافی دیجیتال نیروی کار»، «چالش های حفظ امنیت اطلاعات و حریم خصوصی کاربران»، « فرهنگ آموزش ناکافی کارکنان» در این دسته قرار دارند. این متغیر عمدتا منتج به ضعف در بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار می‌شود که برای ایجاد آن موانع زیادی دخالت دارند و خود آنها کمتر م توانند زمینه ساز چالش‌های دیگر شود.

۳. سومین دسته متغیرهای متصل هستند که دارای قدرت هدایت زیاد و وابستگی زیاد می‌باشند. این متغیرها غیر ایستا می باشند. زیرا هر نوع تغییر در آنان می‌تواند سیستم را تحت تاثیر قرار دهد و در نهایت بازخور سیستم نیز می‌تواند این متغیرها را دوباره تغییر دهد. در این تحقیق چالش‌های «پیچیدگی در پیکربندی زنجیره‌تامین مدور کشاورزی» و «مسئولیت اجتماعی ضعیف شرکت و ذینفعان» در این دسته قرار دارند.

۴. چهارمین دسته شامل متغیرهای مستقل می‌باشند که دارای قدرت هدایت قوی ولی وابستگی ضعیف هستند. این دسته همانند سنگ زیربنای مدل عمل می‌کنند و برای بکارگیری فناوری صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار در وهله اول روی آن‌ها تاکید می‌شود. در تحقیق حاضر چالش‌های «در دسترس‌نبودن استانداردها و پروتکل‌های جهانی فناوری‌های هوشمند برای حفاظت از محیط‌زیست کشاورزی»، «کمبود حمایت‌های مالی دولت از کاربرد فناوری های هوشمند»، «بازده مالی نامشخص سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت نسل چهارم»، «سرمایه‌گذاری بالا در فناوری های صنعت نسل چهارم برای عملیات پایدار کشاورزی»، «کمبود سیاست‌های مدور در زنجیره‌تامین کشاورزی پایدار»، «چالش‌های تامین مالی در زیرساخت دیجیتال»، «برآورد نامناسب هزینه

پذیرش فناوری صنعت نسل چهارم در مدیریت زنجیره‌تامین مدور» و «محدودیت‌های بودجه برای حمایت مدیریت ارشد» در این دسته قرار گرفته است.

بحث و نتیجه‌گیری

در زنجیره‌تامین محصولات کشاورزی به دلیل فاسدپذیر بودن محصولات کشاورزی سالیانه پسماندهای بسیاری تولید می‌شود که علاوه بر به‌جای‌گذاری هزینه‌های سنگین برای اقتصاد جامعه، موجب کاهش بهره‌وری این صنعت نیز می‌شود. به همین دلیل استفاده از فناوری‌های هوشمند نسل چهارم می‌تواند به صنعت کشاورزی در دستیابی به توسعه پایدار و اقتصاد مدور کمک کند و مدیران تصمیم به پیاده سازی آن گرفته‌اند. اما با توجه به نو بودن فناوری‌های صنعت نسل چهارم و ناآشنا بودن بازیگران صنعت کشاورزی با این نوع فناوری‌ها، چالش‌هایی که ممکن است مانع از پیاده‌سازی آن شود، باید شناسایی و تصمیم برای مدیریت آن صورت بگیرد. بنابراین این مطالعه با هدف شناسایی و مدل‌سازی چالش‌های بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار انجام شده است و از نظرات خبرگان آگاه و روش مدلسازی تفسیری-ساختاری برای حل این مسئله کمک گرفته شده است. بدین منظور، طی یک مطالعه فراترکیب، مهم‌ترین چالش‌ها شناسایی و سپس با نظرات خبرگان و به روش دلفی فازی اصلاح، ادغام، اضاف و حذف شدند.

یافته‌های مطالعه ما نشان می‌دهد که چالش «کمبود حمایت‌های مالی دولت از کاربرد فناوری‌های هوشمند کشاورزی» بیشترین اثرگذاری را در بکارگیری فناوری صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور کشاورزی پایدار دارد. این یافته نشان می دهد که دولت باید از صنعت کشاورزی برای بکارگیری صنعت نسل چهارم پشتیبانی مالی کند چرا که بکارگیری فناوری‌های هوشمند نیاز به سرمایه‌گذاری بالایی دارد که شرکت‌های را دچار چالش می‌کنند. مطالعات آگروال[1] و همکاران (۲۰۲۳) و ثنا[2] و همکاران (۲۰۲۲) نشان می‌دهند که دولت باید از توسعه و بکارگیری فناوری‌های هوشمند حمایت کند. بدین منظور برای رفع این چالش دولت باید به کشاورزی وام‌ها با بهره‌های پایین برای بکارگیری فناوری‌های هوشمند کمک کند. همچنین محیط سرمایه گذاری را بهبود دهد.

همچنین چالش «در دسترس نبودن استانداردها و پروتکل‌های جهانی فناوری‌های هوشمند برای حفاظت از محیط زیست» نیز تاثیرگذارترین می‌باشد. با توجه به ظهور نوآورانه صنعت نسل چهارم، همچنان صنایع جهانی برای دستیابی به یک استانداردها به توافق نرسیده اند و طبق مطالعه کومار و همکاران (۲۰۲۱) کمبود استانداردها و هنجارهای ایمن برای جمع آوری و حفاظت از داده‌ها مهم است. همچنین طبق مطالعه اوزکان-اوزن[3] و همکاران (۲۰۲۰) وضعیت حقوقی و قوانین نامشخص فعلی از چالش‌های دیگر صنعت نسل چهارم است. برای بهبود این چالش پیشنهاد می‌شود که دولت خود استانداردها و دستورالعمل های نحوه بکارگیری از فناوری های هوشمند را تهیه و ابلاغ کند.

این تحقیق با موانع و محدودی های علمی و اجرایی مانند تعمیم یافته‌های آن به سایر سازمان‌ها و همچنین شناسایی چالش‌های مرتبط با صنعت کشاورزی به دلیل جدید بودن و کم بودن اطلاعات و داده‌ها در داخل کشور روبرو بوده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که محققین چالش‌ها، موانع و همچنین عوامل کلیدی موثر در بکارگیری فناوری صنعت نسل چهارم در زنجیره‌تامین مدور در اقتصاد پایدار سایر صنایع بررسی کنند و علاوه بر آن، روش‌های سرمایه‌گذاری و جذب تامین مالی در پروژه‌های فناوری هوشمند مطالعه شود.

منابع

[1] Agarwal
[2] Senna
[3] Ozkan-Ozen

- ثابتیان، م.، (۱۴۰۱). ارائه مدل زنجیره‌تأمین صنایع کشاورزی پایدار، *فصلنامه علمی تخصصی پژوهش‌های کاربردی مهندسی صنایع*، دوره ۵، شماره ۱، ۳۲-۵۲،

1. Agarwal, N., Seth, N., & Agarwal, A., (2023). Selecting Capabilities to Mitigate Supply Chain Resilience Barriers for an Industry 4.0 Manufacturing Company: An AHP-Fuzzy Topsis Approach, *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 21(01), 55-83.
2. Alkahtani, M., Khalid, Q.S., Jalees, M., Omair, M., Hussain, G. and Pruncu, C.I., (2020). EAgricultural Supply Chain Management Coupled with Blockchain Effect and Cooperative Strategies, *Sustainability*, 13(816), 1-29.
3. Antonucci, F., Figorilli, S., Costa, C., Pallottino, F., Raso, L., & Menesatti, P., (2019). A review on blockchain applications in the Agri-food sector, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(14), 6129–6138.
4. Bakhtari, A. R., Kumar, V., Waris, M. M., Sanin, C., & Szczerbicki, E., (2020). Industry 4.0 Implementation Challenges in Manufacturing Industries: an Interpretive Structural Modelling Approach, *Procedia Computer Science*, 176, 2384–2393.
5. Balaji, M., & Arshinder, K., (2016). Modeling the causes of food wastage in Indian perishable food supply chain, *Resources, Conservation and Recycl*ing, 114, 153–1
6. Bayona-Saez, C., Cruz-Cázares, C., García-Marco, T., & Sánchez García, M., (2017). Open innovation in the food and beverage industry, *Management Decision*, 55(3), pp. 526-546.
7. Béné, C., Prager, S. D., Achicanoy, H. A., Toro, P. A., Lamotte, L., Cedrez, C. B., & Mapes, B. R., (2019). Understanding food systems drivers: A critical review of the literature, *Global Food Security*, 23(2019), 149–159.
8. Bhattacharya, A., (2023). Achieving sustainability in supply chain operations in the interplay between circular economy and Industry 4.0, *Production Planning & Control*, 34(10), 867-869.
9. Birkel, H. S., Veile, J. W., Müller, J. M., Hartmann, E., & Voigt, K. I., (2019). Development of a risk framework for Industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers, *Sustainability*, 11(2), 384.
10. Bolanos, R., Fontela, E., Nenclares, A., Paster, P., (2005). Using interpretive structural modeling in strategic decision making groups, *Management Decision*, 43(6), 877−895.
11. Chalmeta, R., & Santos-deLeón, N. J., (2020). Sustainable Supply Chain in the Era of Industry 0/4and Big Data: A Systematic Analysis of Literature and Research, *Sustainabilit*y, 12(10), 4108.
12. Chauhan, C., Singh, A., & Luthra, s., (2020). Barriers to Industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy, *Journal of Cleaner Production*, 124809.
13. Chen, Z., Ming, X., Zhou, T., & Chang, Y., (2020). Sustainable supplier selection for smart supply chain considering internal and external uncertainty: An integrated rough-fuzzy approach, *Applied Soft Computing*, 106004.
14. Cheng, C-H & Lin, Y., (2002). Evaluating the best mail battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation, *European Journal of Operational Research*, 142, 147.
15. Corrado, S., Caldeira, C., Eriksson, M., Hanssen, O. J., Hauser, H. E., van Holsteijn, F., Liu, G., Östergren, K., Parry, A., Secondi, L., Stenmarck, Å., & Sala, S., (2019). Food waste accounting methodologies: Challenges, opportunities, and further advancements, *Global Food Security*, 20, 93–100.
16. Dania, W. A. P., Xing, K., & Amer, Y., (2018). Collaboration behavioural factors for sustainable Agri-food supply chains: A systematic review, *Journal of Cleaner Production*, 186(2018), 851–864.

17. De Lima, F. A., & Seuring, S., (2023). A Delphi study examining risk and uncertainty management in circular supply chains, *International Journal of Production Economics*, 258, 108810.
18. Dey, P. K., Malesios, C., De, D., Budhwar, P., Chowdhury, S., & Cheffi, W., (2020). Circular economy to enhance sustainability of small and medium-sized enterprises, *Business Strategy and the Environment*, 29(6), 2145–2169.
19. Durmaz, N., & Budak, A., (2022). Analysing key barriers to Industry 4.0 for sustainable supply chain management, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 1-20.
20. Ejsmont, K., Gladysz, B., & Kluczek, A., (2020). Impact of industry 4.0 on sustainability—bibliometric literature review, *Sustainability*, 12(14), 5650.
21. Enyoghasi, C., & Badurdeen, F., (2021). Industry 4.0 for sustainable manufacturing: Opportunities at the product, process, and system levels, *Resources, Conservation and Recycling*, 166, 105362. doi:10.1016/j.resconrec.2020.1053.
22. Farooque, M., Zhang, A., Thürer, M., Qu, T., & Huisingh, D., (2019). Circular supply chain management: A definition and structured literature review, *Journal of Cleaner Production*, 228, 882–900.
23. Frank, A.G., Dalenogare, L.S. and Ayala, N.F., (2019). Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies, *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.
24. Ghobakhloo, M., (2020). Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing, *International Journal of Production Research*, 58(8), 2384–2405.
25. Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Gawankar, S. A., (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives, *Process Safety and Environmental Protection*. 117, 408-425.
26. Karimi Shirazi, H., Modiri, M., Pourhabibi, Z., & Rafiei Gilevaee, A., (2017). Improving the quality of clinical dental services using the importance-performance analysis (IPA) approach and interpretive-structural modeling (ISM), *Journal of Dentomaxillofacial*, 6(1), 14-26.
27. Kumar, A., Mangla, S. K., & Kumar, P., (2024). Barriers for adoption of Industry 4.0 in sustainable food supply chain: a circular economy perspective, *International Journal of Productivity and Performance Management*, *73*(2), 385-411.
28. Kumar, M., Raut, R. D., Jagtap, S., & Choubey, V. K., (2023). Circular economy adoption challenges in the food supply chain for sustainable development, *Business Strategy and the Environment*, 32(4), 1334-1356.
29. Kumar, P., Bhamu, J., & Sangwan, K. S., (2021). Analysis of Barriers to Industry 4.0 adoption in Manufacturing Organizations: an ISM Approach, *Procedia CIRP*, 98, 85–90.
30. Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K., (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges, *Journal of cleaner production*, 275, 124063.
31. Kumar, S., Raut, R. D., Nayal, K., Kraus, S., Yadav, V. S., & Narkhede, B. E., (2021b). To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP, *Journal of Cleaner Production*, 293, 126023.
32. Lin, X., Cui, S., Han, Y., Geng, Z., & Zhong, Y., (2019). An improved ISM method based on GRA for hierarchical analyzing the influencing factors of food safety, *Food Control*, 99, 48–56
33. Luthra, S., & Mangla, S. K., (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies, *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168-179.
34. Machado, E., Scavarda, L. F., Gusmão Caiado, R. G., Tavares Thomé, A. M., (2020). Barriers and Enablers for the Integration of Industry 4.0 and Sustainability in Supply Chains of MSMEs, *Sustainability* 2021, 13(21), 11664.

35. Masoomi, B., Sahebi, I. G., Ghobakhloo, M., & Mosayebi, A., (2023). Do industry 5.0 advantages address the sustainable development challenges of the renewable energy supply chain?, *Sustainable Production and Consumption*, 43, 94-112.
36. Mastos, T. D., Nizamis, A., Terzi, S., Gkortzis, D., Papadopoulos, A., Tsagkalidis, N., ... & Tzovaras, D., (2021). Introducing an application of an industry 4.0 solution for circular supply chain management, *Journal of Cleaner Production*, 300, 126886.
37. Mukhuty, S., Upadhyay, A., & Rothwell, H., (2022). Strategic sustainable development of Industry 4.0 through the lens of social responsibility: The role of human resource practices, *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2068-2081.
38. Narwane, V. S., Raut, R. D., Yadav, V. S., & Singh, A. R., (2021). Barriers in sustainable industry 4.0: a case study of the footwear industry, *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(3), 175-189.
39. Narwane, V. S., Raut, R. D., Yadav, V. S., & Singh, A. R., (2021). Barriers in sustainable industry 4.0: a case study of the footwear industry, *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(3), 175-189.
40. Nguyen, K., Akbari, M., Quang, H. T., McDonald, S., Hoang, T. H., Yap, T. L., & George, M., (2023). Navigating Environmental Challenges through Supply Chain Quality Management 4.0 in Circular Economy: A Comprehensive Review, *Sustainability*, 15(24), 16720.
41. Nimawat, D., & Gidwani, B. D., (2021). Prioritization of barriers for Industry 4.0 adoption in the context of Indian manufacturing industries using AHP and ANP analysis, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34(11), 1139-1161.
42. Ozkan-Ozen, Y. D., Kazancoglu, Y., & Mangla, S. K., (2020). Synchronized barriers for circular supply chains in industry 3.5/industry 4.0 transition for sustainable resource management, *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104986.
43. Pourmehdi, M., Paydar, M. M., Ghadimi, P., & Azadnia, A. H., (2022). Analysis and evaluation of challenges in the integration of Industry 4.0 and sustainable steel reverse logistics network, *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107808.
44. Rajput, S., & Singh, S. P., (2019). Industry 4.0 − challenges to implement circular economy, *Benchmarking: An International Journal*, 28(5), 1717-1739.
45. Rehman, H. M., Nee, A. Y. H., Onn, C. Y., & Rehman, M., (2021). **Barriers to Adoption of Industry 4.0 in Manufacturing Sector**. In 2021 International Conference on Computer & Information Sciences (ICCOINS). IEEE. 59-64.
46. Sehnem, S., Jabbour, C. J. C., Pereira, S. C. F., & de Sousa Jabbour, A. B. L., (2019). Improving sustainable supply chains performance through operational excellence: Circular economy approach, *Resources, Conservation and Recycling*, 149(2019), 236–248
47. Senna, P. P., Ferreira, L. M. D., Barros, A. C., Roca, J. B., & Magalhães, V., (2022). Prioritizing barriers for the adoption of industry 4.0 technologies, *Computers & Industrial Engineering*, 108428.
48. Seuring, S., Müller, M., (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management, *J. Clean. Prod*. 16 (15), 1699e1710.
49. Shang, C., Saeidi, P., & Goh, C. F., (2022). Evaluation of circular supply chains barriers in the era of Industry 4.0 transition using an extended decision-making approach, *Journal of Enterprise Information Management*, *35*(4/5), 1100-1128.
50. Sharma, Y. K., Mangla, S. K., Patil, P. P., & Liu, S., (2019). When challenges impede the process: For circular economy-driven sustainability practices in food supply chain, *Management Decision*, 57(4), 995-1017.
51. Soltovski, R., Rodrigues, T. V., de Resende, L. M. M., Pontes, J., & Yoshino, R. T., (2020). Risks of industry 4.0: a theoretical framework from sustainability views, *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 6(5), 0695-0703.

52. Spieske, A., & Birkel, H., (2021). Improving supply chain resilience through industry 4.0: A systematic literature review under the impressions of the COVID-19 pandemic, *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107452.
53. Tortorella, G.L., Fettermann, D., (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies, *Int. J. Prod.* Res. 56 (8), 2975e2987.
54. Verma, P., Kumar, V., Daim, T., Sharma, N. K., & Mittal, A., (2022). Identifying and prioritizing impediments of industry 4.0 to sustainable digital manufacturing: A mixed method approach, *Journal of Cleaner Production*, 356, 131639.
55. Vuksanović Herceg, I., Kuč, V., Mijušković, V. M., & Herceg, T., (2020). Challenges and driving forces for industry 4.0 implementation, *Sustainability*, 12(10), 4208.
56. Xin, L., Lang, S., & Mishra, A. R., (2022). Evaluate the challenges of sustainable supply chain 4.0 implementation under the circular economy concept using new decision making approach, *Operations Management Research*, 15(3-4), 773-792.
57. Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S. K., Mangla, S. K., & Rai, D. P., (2020). A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case, *Journal of Cleaner Production*, 254, 120112.