Industrial Management Studies
Vol. 21, No.70, Fall 2023; P 1-43
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2023.71900.2835

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 06/08/2023
Received: 07/01/2023
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

An Analysis of the Enablers Effective on the Implementation of the Circular Economy and Industry 4.0 in the Supply Chain

Mehrdad Kiani — Ph.D candidate of Industrial Management, Economics, Management and Accounting Faculty, Yazd University, Yazd, Iran

Davood Andalib Ardakani * — Associate Professor, Economics, Management and Accounting Faculty, Yazd University, Yazd, Iran

Habib Zare Ahmadabadi — Associate Professor, Economics, Management and Accounting Faculty, Yazd University, Yazd, Iran

Seid Haidar Mirfakhradini — Professor, Economics, Management and Accounting Faculty, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

Circular economy and Industry 4.0 are concepts that have garnered significant attention from businesses and universities in recent years. They are currently being promoted by many governments worldwide. The synergy between these two concepts offers the potential to move towards a more sustainable society and address the environmental and economic challenges related to managing organizational operations. This research aims to analyze the factors enabling the implementation of circular economy and Industry 4.0 in the supply chain of Yazd glass factories. In the initial phase of the research, a review of various articles was conducted using the meta-synthesis method to identify and categorize relevant enablers. This process resulted in the identification of 15 enablers categorized into four dimensions: economic, human resources, organizational management, and infrastructure. In the subsequent step, the Fuzzy DEMATEL technique was employed to examine the cause-and-effect relationships. The findings indicate that, within the economic dimension, the most influential enablers are "budget allocation for the implementation of

* Corresponding Author: andalib@ yazd.ac.ir
How to Cite: Kiani, M., Andalib Ardakani, D., Zare Ahmadabadi, H., Mirfakhradini, S. H. (2023). An Analysis of the Enablers Effective on the Implementation of the Circular Economy and Industry 4.0 in the Supply Chain, *Industrial Management Studies, 21(70)*, 1-43.

circular economy and Industry 4.0" and "stimulation of demand for circular products." In the human resources dimension, "training and development of employees" and "organizational culture" play crucial roles. In the organizational-management dimension, "support and commitment of senior management" and "cooperation and networking with supply chain partners (industrial coexistence)" are highly significant. Lastly, within the infrastructure dimension, "development of information technology standards and infrastructures" and "security and protection of intellectual property rights" are considered the most effective enablers for the implementation of circular economy and Industry 4.0 in the Yazd glass factories. The results indicate that the Ardakan glass factories of Yazd should prioritize attention to economic and infrastructural enablers when implementing circular economy and Industry 4.0.

Introduction

The concept of the circular economy can be regarded as a solution to reduce production costs within a sustainable supply chain. In this context, the integration of cyber-physical systems, big data, data mining, data analytics, the Internet of Things, and novel business models can offer significant opportunities for the creation of sustainable industrial value, value capture, and the promotion of the circular economy (Antikainen et al., 2018). Industry 4.0, often referred to as the future of supply chains, can have numerous implications for sustainability, including the optimal utilization of resources and technology (Quezada et al., 2017). Based on the sustainability axis, the concept of Industry 4.0 aids industrial managers in encompassing not only environmental protection and control initiatives but also aspects of process safety, such as resource efficiency, human resource and societal well-being, and the development of smarter and more flexible supply chain processes (Luthra & Mangla, 2018). Numerous studies have explored the factors that impact the implementation of circular economy and Industry 4.0, and these factors have been broadly classified into categories such as barriers, challenges, drivers, and enablers (Fedotkina et al., 2019). Identifying the enablers that are effective in implementation is a crucial step in enhancing the performance of a circular and intelligent supply chain. Until these enablers are identified, it is impossible to determine their relative importance. Following their identification, industry practitioners and policymakers can develop appropriate strategies for their implementation. As such, this current research aims to identify, categorize, and analyze the effective enablers for implementing circular economy and Industry 4.0 at the Ardakan Glass Factory in Yazd, which is the largest glass factory in West Asia. To achieve this, both a qualitative method for enabler identification and the technical Dimtel method using fuzzy logic for establishing cause-and-effect relationships

between enablers are employed. What sets this research apart from others is its focus on identifying the combined enablers for implementing the circular economy and Industry 4.0 at the Ardakan Glass Factory Group of Yazd, as well as the network approach that examines the relationships and interactions between these enablers. Given these key elements, this research aims to address the following questions:

-What are the effective enablers for implementing the circular economy and Industry 4.0 at the Ardakan glass factories in Yazd?

-What is the effectiveness and influence, including cause-and-effect relationships, of these enablers?

Materials and Methods

This research is categorized as applied-developmental research in terms of its purpose and is classified as a field-library study in terms of its methodology. Its objective is to formulate a novel scientific model of enablers for implementing circular economy and Industry 4.0 within organizational supply chains. Given the significant number of qualitative articles that have explored the enablers of Industry 4.0 and the circular economy across various industries and the need to establish a shared understanding of these enablers, the first stage of this research involved identifying effective enablers using the meta-synthesis qualitative method. Their validity was assessed through content validity, which involved obtaining opinions from 15 organizational experts. In the second phase of the research, the researchers evaluated the effectiveness and impact of these enablers using the Fuzzy DEMATEL method. The statistical population for the first stage of the research comprised all studies published in the Scopus database, the largest text database, related to the enablers that influence the implementation of circular economy and Industry 4.0 within organizational supply chains up until the commencement of this research. In the second stage of the research, the statistical population included all professors and managers with expertise in sustainability, familiar with circular economy, and knowledgeable about Industry 4.0 technologies at Ardakan Glass Factories in Yazd. For this phase, a purposeful sampling method was used to select ten participants.

Discussion and Results

The purpose of the current research is to analyze the enablers that are effective in implementing the circular economy and Industry 4.0 within the supply chain of Ardakan Glass Factories in Yazd. In the first stage of the research, various articles were reviewed, and the meta-combination method was employed to identify and categorize relevant enablers. This process led to the identification of 15 enablers across four dimensions: economic, human resources, organizational management, and infrastructure. In the second stage,

the Fuzzy DEMATEL technique was utilized to investigate the cause-and-effect relationships between these enablers. The research results revealed that the economic and infrastructural enablers are considered influential dimensions that affect human resources and organizational management dimensions. Within the economic dimension, "budget allocation for the implementation of the circular economy and Industry 4.0" and "stimulation of demand for circular products" emerged as the most effective enablers. Additionally, in the infrastructure dimension, "development of IT standards and infrastructure" was identified as the most influential enabler for the implementation of the circular economy and Industry 4.0 within the supply chain. In the organizational management dimension, "the support and commitment of senior management" was recognized as the most influential enabler.

Conclusion

While the enablers mentioned are considered among the most effective ones in implementing circular economy and Industry 4.0 in the Ardakan Glass Factories of Yazd, it's crucial for the glass industry to prioritize the most important enablers. It's essential to pay adequate attention to all identified enablers. Using specific guidelines and a checklist of effective enablers during decision-making can facilitate the decision-making process and enhance decision-making capabilities. Therefore, based on the identified enablers and their importance in this research, it's recommended to develop and provide guidelines and checklists for executive managers. Among the significant limitations of this research is the reliance on a single scientific database, Scopus, for sourcing research. It's advisable to supplement this by utilizing other databases such as Google Scholar and Web of Science. Additionally, the classification of enablers was conducted using a qualitative approach. Researchers are encouraged to name and categorize enablers using survey and quantitative methods, such as cluster analysis, to expand their research scope. Another limitation pertains to the research's statistical population, which was restricted to Ardakan Glass Factories in Yazd due to time and cost constraints. To generalize the research results, it's advisable to investigate the same research topic in other glass factories across the country. Future researchers could employ methods like fuzzy cognitive mapping and systems dynamics to examine relationships and interactions between enablers. Moreover, the enablers identified and analyzed in this research were primarily based on international studies. To adapt these enablers to the specific conditions of Iran's industries, it's suggested that in-depth interviews be conducted with industry owners. This way, certain enablers that may be unique to Iran's circumstances or require different interpretations can be revised.

Keywords: Circular Economy, Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0), Sustainability, Enabler, Fuzzy Dematel.

مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵

ISSN: 2251/8029

eISSN: 2476-602X

مطالعات مدیریت صنعتی
سال بیست و یکم، شماره ۷۰، پاییز ۱۴۰۲، ص ۱ تا ۴۳
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2023.71900.2835

تحلیلی بر توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین کارخانجات شیشه‌سازی

مهرداد کیانی | دانشجوی دکتری رشته مدیریت صنعتی دانشگاه یزد، یزد، ایران

داود عندلیب اردکانی * | دانشیار دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

حبیب زارع احمدآبادی | دانشیار دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

سیدحیدر میرفخرالدینی | استاد دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ مفاهیمی هستند که در سال‌های اخیر توجه زیادی را از سوی کسب‌وکارها و دانشگاه‌ها به خود جلب کرده است و در حال حاضر توسط بسیاری از دولت‌ها در سراسر جهان ترویج می‌شوند. هم‌افزایی این دو مفهوم توانایی حرکت بیشتر به سمت جامعه پایدار را فراهم می‌سازد و مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی مدیریت عملیات سازمان‌ها را حل می‌کند. هدف از پژوهش حاضر، تحلیلی بر توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد است. بدین منظور در مرحله اول تحقیق، با بررسی مقالات مختلف و استفاده از روش فراترکیب، توانمندسازهای مرتبط شناسایی و دسته‌بندی و با روش روایی محتوایی مورد ارزیابی قرار گرفت که حاصل آن شناسایی ۱۵ توانمندساز در ۴ بُعد اقتصادی، منابع انسانی، سازمانی-مدیریتی و زیرساختی بود. در مرحله دوم جهت بررسی روابط علّی و معلولی از تکنیک دیمتل فازی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که در بُعد اقتصادی، «تخصیص بودجه جهت اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰» و «تحریک تقاضا برای محصولات مدور»؛ در بُعد منابع انسانی «آموزش و توسعه کارکنان» و «فرهنگ‌سازمانی»؛ در بُعد سازمانی-مدیریتی «حمایت و تعهد مدیریت ارشد» و «همکاری و شبکه-سازی با شرکای زنجیره تأمین (همزیستی صنعتی)»؛ و درنهایت در بُعد زیرساختی، «توسعه استانداردها و زیرساخت‌های فناوری اطلاعات» و «امنیت و حفاظت از حقوق مالکیت معنوی» به ترتیب تأثیرگذارترین و تأثیرپذیرترین توانمندسازها برای اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در کارخانجات

* نویسنده مسئول: andalib@ yazd.ac.ir

شیشه‌سازی اردکان یزد محسوب می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد برای اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ باید به توانمندسازهای اقتصادی و زیرساختی توجه داشته باشند.

کلیدواژه‌ها: اقتصاد مدور؛ انقلاب صنعتی چهارم (صنعت ۴,۰)؛ پایداری؛ توانمندساز؛ دیمتل فازی.

مقدمه

رشد فزاینده جمعیت تخمین می‌زند که تا سال ۲۰۳۰، جمعیت جهان به ۹ میلیارد نفر افزایش خواهد یافت که نیاز به محصولات اضافی را که مواد خام جدید بکر را مصرف می‌کنند، افزایش می‌دهد و منجر به افزایش مسائل مربوط به تغییرات آب‌وهوا می‌شود (Takhar and Liyanage, 2020). به‌طورکلی منابع کره زمین محدود و بهره‌برداری انسان از منابع بیش از ظرفیت منابع سیاره زمین است. اثرهای منفی مدل‌های کسب‌وکار خطی، اکوسیستم‌های طبیعی را تهدید می‌کند و بر سلامتی و رفاه انسان تأثیر منفی می‌گذارد (LüdekeFreund, Gold & Bocken, 2019). در ایران میزان بالایی از اتلاف منابع در حوزه تولید، مصرف و توزیع وجود دارد که در اتلاف منابع از بسیاری از کشورها پیشی گرفته است (وارث و همکاران، ۱۴۰۱) و حرکت به‌سوی اقتصاد مدور می‌تواند راه‌حل مناسبی برای این معضلات باشد و موجبات بهره‌وری و خلق ارزش را فراهم کند. در یک نظام مدور، مصرف منابع ورودی، ضایعات خروجی و هدررفت انرژی با بستن یا کوچک کردن حلقه‌های مواد و انرژی حداقل می‌شود. از طریق طراحی، نگهداری، تعمیر، استفاده مجدد، بازتولید و بازیافت، می‌توان به‌صورت بلندمدت به این اهداف دست یافت (Sartal et al., 2020). اقتصاد مدور برای دستیابی به مدل‌هایی که به لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی پایدارند، بر حوزه‌هایی چون تفکر طراحی، تفکر سیستماتیک، گسترش طول عمر محصول و بازیافت متمرکز شده است (Oliveira et al., 2018)؛ بنابراین، اقتصاد مدور را می‌توان به‌عنوان راهکاری جهت کاهش هزینه‌های تولید در زنجیره تأمین پایدار در نظر گرفت. در همین راستا، ترکیبی از سیستم‌های فیزیکی سایبری، داده‌های بزرگ، داده‌کاوی، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، اینترنت اشیاء و مدل‌های جدید کسب‌وکار می‌تواند فرصت‌های عمده‌ای را برای ایجاد ارزش صنعتی پایدارتر، جذب ارزش و اقتصاد مدور فراهم کند (Antikainen et al., 2018). صنعت ۴,۰ به‌عنوان آینده زنجیره‌های تأمین نیز نامیده می‌شود. کارخانه‌های هوشمند می‌توانند پیامدهای پایداری زیادی مانند استفاده بهینه از منابع، فناوری و غیره داشته باشند (Quezada et al., 2017). مفهوم صنعت ۴,۰ مبتنی بر محور پایداری به مدیران صنعتی کمک می‌کند تا نه‌تنها

ابتکارهای محافظت از محیط‌زیست و کنترل را در برگیرند بلکه ایمنی فرایندها را ازجمله بهره‌وری منابع، رفاه منابع انسانی و جامعه، فرآیندهای هوشمندتر و انعطاف‌پذیر در زنجیره‌های تأمین خود اندازه‌گیری کنند (Luthra & Mangla, 2018).

ازآنجاکه شیشه، محصولی است که کاربرد فراوانی در تمامی جنبه‌های زندگی روزمره و صنعتی انسان دارد اهمیت اقتصادی آن بسیار زیاد می‌باشد. در فرایند تولید آن آلودگی‌های فراوانی در محیط‌زیست منتشر می‌گردد. این آلودگی‌ها عمدتاً شامل ذرات گردوغبار CO_2, CO, NO_2, SO_2, HF و فلزات سنگین می‌باشند که در مراحل دریافت و آماده‌سازی مواد اولیه و فرآیند ذوب و شکل دادن تولید می‌شوند. به‌طورکلی، زنجیره تأمین کارخانجات شیشه‌سازی در جهت رو به سمت جلو، محصولات تولید و بین مشتریان توزیع می‌گردند و در جهت رو به سمت عقب به یکی از مراکز بازیافت، احیاء، بازتولید یا انهدام ارسال می‌گردند. با توجه به انتشار آلاینده‌ها افزایش پسماندها در مراحل مختلف، جهت کنترل آن‌ها راهکارهای متفاوتی پیشنهاد شده است. یکی از مهم‌ترین راهکارها حرکت به سمت اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ و اجرای آن‌ها در زنجیره تأمین می‌باشد که به نظر می‌رسد که در صنایع ایران مورد غفلت قرار گرفته است و محققان ایرانی کمتر به این موضوع پرداختند. مطالعات متعددی در مورد عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ انجام گرفته است که در یک تقسیم‌بندی کلی، موانع، چالش‌ها، محرک‌ها و توانمندسازها موردبررسی قرار گرفته شده است (Fedotkina et al., 2019). علاوه بر این، شناسایی توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی یکی از مهم‌ترین عوامل در اجرای هرچه بهتر و ارتقای عملکرد زنجیره تأمین مدور و هوشمند است. تا زمانی که توانمندسازها شناسایی نشوند، درک اینکه کدام‌یک از آن‌ها مهم‌تر است، امکان‌پذیر نیست. پس از اتمام این شناسایی، دست‌اندرکاران و سیاست‌گذاران صنایع می‌توانند استراتژی‌های مناسبی را برای اجرای این توانمندسازها انجام دهند؛ لذا تحقیق حاضر به دنبال شناسایی، دسته‌بندی و تحلیل توانمندسازهای مؤثر در پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد به‌عنوان بزرگ‌ترین کارخانه تولید شیشه غرب آسیا می‌باشد و بدین منظور از روش کیفی فراترکیب

(شناسایی توانمندسازها) و تکنیک دیمتل فازی[1] (تعیین روابط علت و معلولی بین توانمندسازها) استفاده می‌کند. در حقیقت آنچه این پژوهش را از سایر پژوهش‌ها متمایز می‌کند شناسایی توانمندسازهای ترکیبی اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در گروه کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد و همچنین، رویکرد شبکه‌ای و بررسی روابط و تعاملات بین این توانمندسازهاست. با عنایت به مطالب بیان‌شده، پژوهش حاضر به دنبال پاسخگویی به سؤالات زیر است:

- توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد کدام‌اند؟
- تأثیرگذاری و تأثیرپذیری (روابط علت و معلولی) توانمندسازها چگونه است؟

مبانی نظری پژوهش

اقتصاد مدور

اقتصاد مدور شامل یک رویکرد سیستمی است که در آن وابستگی متقابل و کل‌گرایی برای مدیریت منابع محدود شرکت‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است (Ünal et al., 2018). درحالی‌که مفهوم اقتصاد مدور در بین دانشگاهیان، بخش‌های صنعتی و گروه‌های مدنی موردتوجه قرار گرفته است، اما هیچ تعریف مشخصی برای شیوه‌ها و اقدامات اقتصاد مدور وجود ندارد که این موضوع باعث درک متفاوت این افراد و گروه‌ها از مفهوم اقتصاد مدور شده است (Prieto-Sandoval et al., 2018). در ادبیات حوزه اقتصاد مدور تعاریف مختلفی از این مفهوم ارائه شده است که این مهم دستیابی به یک تعریف واحد را دشوار ساخته است. سوفا[2] و همکاران (۲۰۲۲) معتقدند که اصول اساسی اقتصاد مدور در منابع و گردش انرژی نهفته است. اقتصاد مدور به دنبال حفظ مداوم گردش مواد و انرژی در یک سیستم حلقه بسته است؛ بنابراین نیاز به مواد خام جدید را کاهش می‌دهد. همچنین، اقتصاد مدور محصولاتی را که به پایان عمر مفید خود رسیده‌اند به مواد خام برای دیگران تبدیل می‌کند.

1. Fuzzy DEMATEL
2. Sopha

درنهایت، اقتصاد مدور چارچوبی را برای عملیات تجاری برای درگیر شدن با پایداری از طریق کاهش، استفاده مجدد و فعالیت‌های بازیافت فراهم می‌کند. اقتصاد مدور شامل یک سیستم احیاکننده مبتنی بر فلسفه زباله صفر است. همچنین، طبق نظر کومار و همکاران (۲۰۲۱) اقتصاد مدور به این معناست که زباله‌های تولیدشده در یک سازمان این پتانسیل را دارند که به‌عنوان یک منبع ارزشمند توسط سازمان دیگری مورداستفاده قرار گیرند. اقتصاد مدور ازنظر طراحی‌ترمیم کننده است و هدف آن حفظ محصولات، اجزاء و مواد در بالاترین کاربرد و ارزش در همه زمان‌ها است.

انقلاب صنعتی چهارم (صنعت ۴,۰)

اصطلاح صنعت ۴,۰ در سال ۲۰۱۱ از پروژه‌ای در استراتژی پیشرفته دولت آلمان ابداع شد که باعث ارتقا دیجیتال‌سازی سیستم تولید صنعتی می‌شود (Sung, 2018). صنعت ۴,۰ شامل اتوماسیون فرآیند تبادل داده در میان سیستم‌های تولیدی، همراه با تلفیق اینترنت اشیا با محاسبات شناختی و ابری است، بنابراین به‌عنوان سیستم‌های سایبرفیزیکال شناخته می‌شود. صنعت ۴,۰ پارادایم‌ها و فناوری‌های بی‌شماری ازجمله توسعه مشترک محصولات، رایانش ابری، اینترنت اشیا، برنامه‌ریزی منابع سازمانی، فناوری اطلاعات و ارتباطات، شناسایی فرکانس رادیویی و غیره را در خود جای داده است (Hermann et al., 2016). ازآنجاکه تحقق سیستم قبلی (صنعت ۳,۰) بر اتوماسیون فرایندها و ماشین‌آلات منفرد متمرکز بود، می‌توان گفت صنعت ۳,۰ بنیان صنعت ۴,۰ را بنا نهاد. صنعت ۴,۰ شامل دیجیتالی‌سازی تقریباً تمام سیستم‌های فیزیکی همراه با ادغام آن‌ها با یکدیگر برای تشکیل یک اکوسیستم دیجیتال در سراسر زنجیره ارزش را شامل می‌شود. به گفته ززالکا[1] و همکاران (۲۰۱۶)، اصطلاح صنعت ۴,۰ برای سه عامل استفاده می‌شود: (۱) دیجیتالی‌سازی و ادغام شبکه‌ها، (۲) دیجیتالی‌سازی محصولات و خدمات و (۳) مدل‌های جدید بازار. این عناصر به‌طور متقابل به هم پیوسته‌اند. پرالس[2] و همکاران (۲۰۱۸) ویژگی‌های اصلی صنعت ۴,۰ را مجازی‌سازی،

1. Zezulka
2. Perales

قابلیت همکاری، اتوماسیون، انعطاف‌پذیری، در دسترس بودن در زمان واقعی، جهت‌دهی خدمات و بهره‌وری انرژی تعریف کردند. کاربرد فن‌آوری‌های دیجیتال در فرایندهای تولید نیز «ساخت هوشمند»، «صنعت یکپارچه» و «اینترنت صنعتی» نامیده می‌شود (Hofmann & Rüsch, 2017). ساح[1] و همکاران (۲۰۱۴) صنعت ۴,۰ را چنین تعریف کردند: «ادغام فناوری اطلاعات و ارتباطات در محیط صنعتی». در نهایت صنعت ۴,۰ به‌عنوان فناوری‌هایی توصیف شده است که ویژگی‌های اصلی آن‌ها شامل ادغام ماشین‌آلات و دستگاه‌های فیزیکی با حسگرها و نرم‌افزارهای شبکه است که برای پیش‌بینی، کنترل و برنامه‌ریزی سطح جدیدی از سازمان و مدیریت زنجیره ارزش در طول چرخه عمر محصولات استفاده می‌شود (Dev et al., 2020). به‌طورکلی، فناوری‌های صنعت ۴,۰ از تصمیم‌گیری‌ها پشتیبانی و بنابراین به‌طور قابل‌توجهی به افزایش بهره‌وری کمک می‌کنند.

اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰

اقتصاد مدور یک چارچوب مفهومی است که به دنبال متعادل کردن مصرف انسان با ظرفیت زمین برای تأمین منابع است و برای پیاده‌سازی فناوری‌های جدیدتر در آن، مهم است که موانع را با پیشرفت‌ها و مفاهیم تکنولوژیکی در حال ظهور، مانند صنعت ۴,۰، برطرف کند (Pham et al., 2019). صنعت ۴,۰ و اقتصاد مدور که در گذشته به‌عنوان دو جریان جداگانه در نظر گرفته شده بودند، امروزه تلفیق هر دو مفهوم سودمند خواهد بود و نشان‌دهنده اهمیت نقش فناوری‌های دیجیتال در گذار از اقتصاد خطی به اقتصاد مدور می‌باشد (Reddy, Gangadasari & Prakash, 2021) و این فناوری‌های دیجیتال، به‌عنوان عوامل مهم در پیاده‌سازی اقتصاد مدور شناخته شده‌اند. به‌عنوان‌مثال، آن‌ها به شرکت‌ها اجازه می‌دهند داده‌ها را در زنجیره تأمین خود به اشتراک بگذارند و محصولات و مواد را شناسایی و ردیابی کنند که این امر، توانایی آن‌ها را در حفظ ارزش افزایش می‌دهد (Ranta, Aarikka-Stenroos & Matti Väisänen, 2021). روزا[2] و همکاران (۲۰۲۰) بیان می‌کنند که

1. Schuh
2. Rosa

رایج‌ترین روش برای توصیف رابطه بین صنعت ۴,۰ و اقتصاد مدور، دیجیتالی شدن اقتصاد مدور است. هم‌چنین فناوری‌های صنعت ۴,۰ برای دستیابی به اقتصاد مدور دارای نقش استراتژیکی شامل مشتریان، ارائه‌دهندگان مشترک و ذی‌نفعان به‌طورکلی، در زنجیره ارزش هستند. در برخی موارد، سایر جنبه‌های مربوط به اقتصاد مدور، مانند بهره‌وری منابع، تولید مجدد، مدیریت چرخه عمر و خدمات هوشمند، فناوری‌های صنعت ۴,۰ قادر به راه‌های نوآورانه برای نظارت بر بهره‌برداری از منابع طبیعی یا مراحل چرخه عمر محصول و ادغام با فناوری‌های موجود هستند (Rosa et al., 2020). به نظر می‌رسد فناوری‌های صنعت ۴,۰ باعث استقرار اقتصاد مدور شوند که درمجموع پتانسیل عظیمی برای بهینه‌سازی اهداف عملکرد پایدار مانند کاهش مصرف منابع و نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارند. هم‌چنین شیوه‌های اقتصاد مدور در یک سازمان را می‌توان با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴,۰ تقویت کرد؛ بنابراین، تعامل بین فناوری‌های صنعت ۴,۰ و شیوه‌های اقتصاد مدور می‌تواند به عملیات پایدار کمک نماید (Kamble & Gunasekaran, 2019). تاکنون پژوهش‌هایی به بررسی صنعت ۴,۰ و اقتصاد مدور پرداخته‌اند. به‌عنوان نمونه، بلانک و ورثمن[1] (۲۰۱۷) به بررسی صنعت ۴,۰ به‌عنوان فرصتی برای تحقق بخشیدن به تولید پایدار و پتانسیل‌های آن برای اقتصاد مدور پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عناصر صنعت ۴,۰ قادر به اجرای اصول اقتصاد مدور هستند. پاگوروپولوس، پیگوسو و مک‌آلون[2] (۲۰۱۷) در بررسی نقش فناوری‌های دیجیتال در اقتصاد مدور، سه لایه برای فناوری‌های دیجیتال شناسایی کردند. جمع‌آوری داده‌ها، یکپارچه‌سازی داده‌ها و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها که نتایج بیانگر پتانسیل قوی اینترنت اشیاء و تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ در اقتصاد مدور می‌باشد. جابور و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که اصول اقتصاد مدور و فناوری‌های صنعت ۴,۰ می‌توانند در طراحی محصولات، تولید محصولات و لجستیک/ لجستیک معکوس مؤثر باشند. راجپوت و سینگ (۲۰۱۹) به بررسی مطالعه‌ای با عنوان «ارتباط بین صنعت ۴,۰ و اقتصاد مدور» با تکنیک دیمتل و تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی پرداختند و به این نتیجه

1. Blunck & Werthmann
2. Pagoropoulos, Pigosso & McAloone

رسیدند که ادغام صنعت ۴,۰ و اقتصاد مدور باعث افزایش بهره‌وری عملیاتی، افزایش کارایی و دقت و درنتیجه بهبود پایداری در زنجیره تأمین می‌شود. فام و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود فناوری‌های اینترنت اشیاء، رایانش ابری، سیستم‌های سایبرفیزیکی، تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ و هوش مصنوعی را به‌عنوان فناوری‌های پشتیبان اقتصاد مدور معرفی کردند. نتایج این تحقیق حاکی از اهمیت تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ است که به‌طور مستقیم بر ظرفیت استفاده از صنعت ۴,۰ در کشورهای مختلف در اقتصاد مدور تأثیر می‌گذارد. روزا و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که فناوری‌های صنعت ۴,۰ با اصول اقتصاد مدور سازگار است. تولید افزودنی، تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ و اینترنت اشیاء بیشترین توانمندی‌های دیجیتال در اقتصاد مدور را داشتند. همچنین سیستم‌های سایبرفیزیکی از استراتژی‌های نوآورانه مدیریت چرخه زندگی پشتیبانی می‌کند و تولید افزودنی برای انواع جدید فرآیندهای استفاده مجدد و بازیافت مناسب است. همچنین، یافته‌های ماسارو[1] و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که اقداماتی که از طریق صنعت ۴,۰ می‌تواند بر اقتصاد مدور تأثیر بگذارد شامل: افزایش دفع زباله، ترویج تولید مجدد، افزایش بهره‌وری از منابع حیاتی مانند آب، انرژی، گاز واکسیژن، خدمات هوشمند در مدیریت پسماند و بهبود مدل‌های تجاری و مأموریت شرکت‌ها، می‌باشد.

با توجه به این پژوهش‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که فناوری‌های صنعت ۴,۰ تأثیر بسزایی در اجرای اقتصاد مدور دارند و پیاده‌سازی این دو مفهوم باعث ایجاد هم‌افزایی مضاعف در افزایش بهره‌وری عملیاتی، افزایش کارایی و دقت و درنتیجه بهبود پایداری در زنجیره تأمین می‌شود. علاوه بر این، مطالعات انجام‌شده توانمندسازهای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ را به‌طور مجزا بررسی کردند و استفاده از توانمندسازهای ترکیبی که در این پژوهش شناسایی شدند، کمتر موردنظر بوده است.

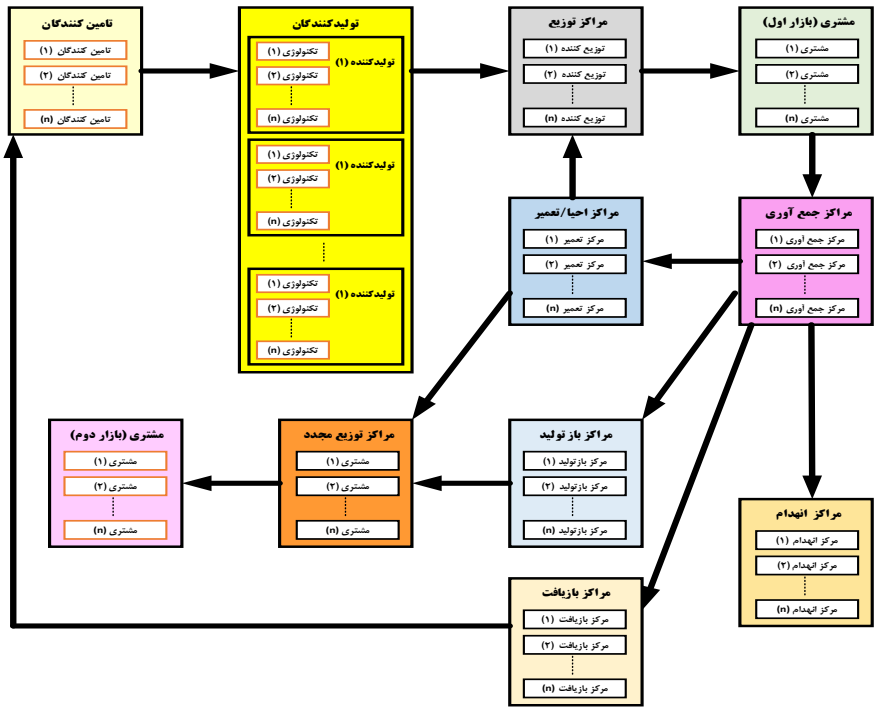
شبکه زنجیره تأمین کارخانجات شیشه‌سازی

شبکه زنجیره تأمین شیشه‌سازی، یک شبکه چندسطحی و چندمحصولی می‌باشد که در آن پس از تأمین مواد اولیه از تأمین‌کنندگان، محصولات در مراکز تولیدی ساخته‌شده و سپس

1. Massaro

از طریق مراکز توزیع به مشتریان فرستاده می‌شوند. محصولاتی که مشتریان از آن‌ها رضایت ندارند برگشت داده می‌شوند و در مراکز جمع‌آوری نگهداری می‌شوند. در قسمت جمع‌آوری و بازرسی، درصدی از محصولات بازگشتی به مراکز انهدام ارسال می‌گردند تا منهدم گردند. مابقی محصولات به شیوه‌های مختلف مورداستفاده مجدد قرار می‌گیرند. در شکل ۱ می‌توان شبکه زنجیره تأمین شرکت‌های شیشه‌سازی را مشاهده کرد.

شکل ۱. شبکه زنجیره تأمین کارخانجات شیشه‌سازی



روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش ازنظر هدف جزء تحقیقات کاربردی-توسعه‌ای و ازنظر روش انجام کار از نوع کتابخانه‌ای-میدانی قلمداد می‌شود زیرا به دنبال توسعه الگویی علمی و نوین از توانمندسازهای پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین سازمان‌ها می‌باشد. با توجه به تعداد زیاد مقالات کیفی که به بررسی توانمندسازهای صنعت ۴,۰ و اقتصاد مدور

(به‌طور مجزا) در صنایع مختلف پرداختند و لزوم ایجاد درکی مشترک از این توانمندسازها، در مرحله اول این پژوهش با به‌کارگیری روش کیفی متاسنتز یا فراترکیب، توانمندسازهای مؤثر شناسایی شدند و با به‌کارگیری روش روایی محتوایی (نظرخواهی از ۱۵ نفر خبره سازمانی)، مورد ارزیابی قرار گرفته شد. در مرحله دوم تحقیق، محققان از طریق روش دیمتل فازی میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن‌ها را شناسایی کردند. جامعه آماری در مرحله اول پژوهش شامل کلیه پژوهش‌های منتشرشده در پایگاه اسکاپوس (بزرگ‌ترین بانک اطلاعاتی متون) مرتبط با توانمندسازهای مؤثر بر اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین سازمان‌ها تا زمان انجام این پژوهش می‌باشد. در مرحله دوم پژوهش، جامعه آماری دربرگیرنده تمامی اساتید و مدیران حوزه پایداری و آشنا به موضوع اقتصاد مدور و فناوری‌های صنعت ۴,۰ در کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد می‌باشد که با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند ۱۰ نفر انتخاب شدند (۳ نفر از اساتید و ۷ نفر از خبرگان سازمانی) که در مرحله تعیین تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بین این توانمندسازها همکاری کردند. معیار انتخاب خبرگان، مدرک تحصیلی حداقل کارشناسی‌ارشد، رشته تحصیلی مدیریت و فناوری اطلاعات، حداقل ۱۰ سال سابقه کار در صنعت شیشه‌سازی و آشنا با موضوعات مدیریت زنجیره تأمین، توسعه پایدار، هوشمندسازی و صنعت ۴,۰ بود.

یکی از روش‌هایی که به‌منظور بررسی، ترکیب و آسیب‌شناسی پژوهش‌های گذشته استفاده می‌شود فرا مطالعه است. اگر فرا مطالعه به‌صورت کیفی و بر روی مفاهیم و نتایج مورداستفاده در مطالعات گذشته انجام گیرد به نام فراترکیب شناخته می‌شود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۹). پایه و اساس روش فراترکیب، استفاده از نتایج سایر پژوهش‌ها به‌منزله داده و تحلیل آن‌ها برای رسیدن به جمع‌بندی جدید است؛ بنابراین، فراترکیب نوعی مطالعه کیفی است که یافته‌های سایر پژوهش‌های کیفی در زمینه یک موضوع خاص را به‌منزله داده به کار می‌گیرد. در فراترکیب، محقق بر اساس پرسش‌پژوهی موردعلاقه خود، نمونه‌های پژوهش‌های کیفی را وارد مطالعه می‌کند (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به تعریف پژوهشگرانی همچون سندلووسکی و باروسو[1] در سال ۲۰۰۶ روش فراترکیب شامل هفت

1. Sandelowski & Barroso

مرحله طرح سؤال پژوهش، مرور ساختارمند ادبیات، جستجو و انتخاب مقالات مناسب، استخراج اطلاعات، تحلیل و ترکیب یافته‌های کیفی، کنترل کیفیت و ارائه یافته‌ها می‌باشد.

دیمتل فازی

در این پژوهش، جهت کاوش روابط علت و معلولی و تعیین میزان درجه‌ی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هر یک از ابعاد و توانمندسازها در و از یکدیگر، از دیمتل فازی مطابق با مراحل ذیل استفاده شد (Lin et al, 2013).

گام اول: تبدیل متغیرهای کلامی به اعداد فازی مطابق با جدول ۱.

جدول ۱. اعداد فازی مثلثی متغیرهای کلامی میزان اثرگذاری ابعاد و توانمندسازها در یکدیگر

متغیر کلامی	مقیاس عددی	اعداد فازی مثلثی متناظر
بدون تأثیر	۰	(۰/۲۵ و ۰ و ۰)
تأثیر خیلی کم	۱	(۰/۵ و ۰/۲۵ و ۰)
تأثیر کم	۲	(۰/۷۵ و ۰/۵ و ۰/۲۵)
تأثیر زیاد	۳	(۱ و ۰/۷۵ و ۰/۵)
تأثیر خیلی زیاد	۴	(۱ و ۱ و ۰/۷۵)

گام دوم: نظر خبرگان اخذ و میانگین آن‌ها محاسبه می‌شود. برای محاسبه ماتریس میانگین از رابطه $Z = \frac{Z^1 \oplus Z^2 \oplus \ldots Z^P}{P}$ استفاده می‌شود. این ماتریس «ماتریس فازی اولیه روابط مستقیم» نامیده می‌شود؛ طوری که در آن $Z_{ij} = (I_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ (مقدار هر درایه از ماتریس Z) اعداد فازی مثلثی‌اند.

گام سوم: از طریق رابطه ۱ که رابطه استانداردسازی است، مقیاس‌های شاخص‌ها به مقیاس‌های قابل‌مقایسه تبدیل می‌شوند. در رابطه زیر، ماتریس X «ماتریس فازی روابط مستقیم استانداردشده» نامیده می‌شود:

رابطه ۱) $$a_{ij} = \left(\sum_{j=1}^{i} I_{ij}, \sum_{j=1}^{i} m_{ij}, \sum_{j=1}^{i} u_{ij}\right)$$

رابطه ۲) $$r = max_{1 \leqslant i \leqslant n}\left(\sum_{j=1}^{i} u_{ij}\right)$$

رابطه ۳) $$x_{ij} = \frac{Z_{ij}}{r} = \left(I'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij}\right)$$

گام چهارم: ماتریس فازی روابط مجموع T به دست می‌آید.

رابطه ۴) $$XI = \left[I''_{ij}\right], Xm = \left[m''_{ij}\right], Xu = \left[u''_{ij}\right]$$

نظر به اینکه $t_{ij} = \left(I''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij}\right)$ است، داریم:

رابطه ۵) $$\left[I''_{ij}\right] = X_I \times (I - X_I)^{-1}$$

رابطه ۶) $$\left[m''_{ij}\right] = X_m \times (I - X_m)^{-1}$$

رابطه ۷) $$\left[u''_{ij}\right] = X_u \times (I - X_u)^{-1}$$

در این رابطه، I ماتریس یکه، X_I، X_m و X_u هرکدام ماتریس n×n هستند که درایه‌های آن به ترتیب عدد پایین، عدد میانی و عدد بالایی اعداد فازی مثلثی ماتریس X را تشکیل می‌دهد.

گام پنجم: به دست آوردن مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس T که با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند.

رابطه ۸) $$\widetilde{\mathrm{R}} = \left(\widetilde{\mathrm{R}}_{\mathrm{i}}\right)_{1\times \mathrm{n}} = \left[\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \widetilde{\mathrm{T}}_{\mathrm{ij}}\right]_{1\times \mathrm{n}}$$

رابطه ۹) $$\widetilde{\mathrm{D}} = \left(\widetilde{\mathrm{D}}_{\mathrm{i}}\right)_{\mathrm{n}\times 1} = \left[\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}} \widetilde{\mathrm{T}}_{\mathrm{ij}}\right]_{\mathrm{n}\times 1}$$

گام ششم: مشخص کردن میزان $\widetilde{D}_i + \tilde{R}_i$ و $\widetilde{D}_i - \tilde{R}_i$ شاخص‌ها.

گام هفتم. دیفازی کردن اعداد فازی $\widetilde{D}_i + \tilde{R}_i$ و $\widetilde{D}_i - \tilde{R}_i$ با استفاده از رابطه ۱۰.

رابطه ۱۰) $$B = \frac{l + m + n}{3}$$

یافته‌های پژوهش

۱) شناسایی توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین

گام اول. طرح سؤال پژوهش: سؤال اصلی در این مرحله عبارت است از: توانمندسازهای مؤثر بر اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین کدام‌اند؟

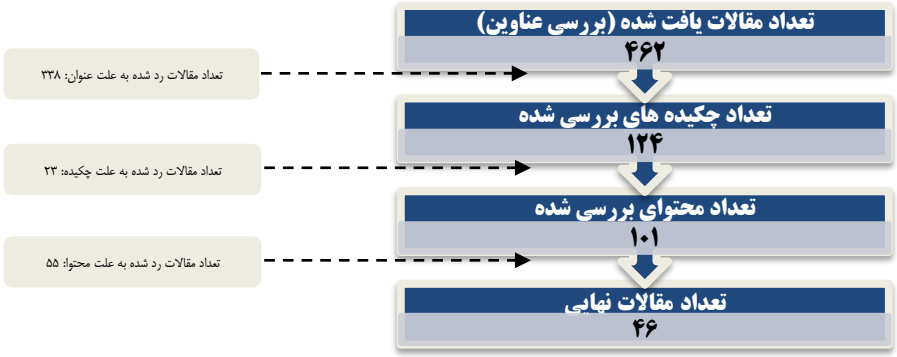
گام دوم. مرور ساختارمند ادبیات: در این مرحله، با انتخاب کلمات کلیدی مرتبط با سؤال تحقیق، متون ارائه شده در پایگاه‌های علمی معتبر جست‌وجو می‌شوند. در پژوهش حاضر، این کلیدواژه‌ها در پایگاه علمی اسکاپوس در بازه زمانی ۲۰۱۰ الی ۲۰۲۲ به‌صورت زیر انجام شد:

"Circular economy" OR "Circularity" OR "industry 4.0" OR "I4.0"
AND
"Enablers" OR "success factors"

گام سوم. جستجو و انتخاب پژوهش‌های مناسب: در این مرحله، پژوهشگر در هر بازنگری، تعدادی از مقالات را رد می‌کند که این مقالات در فرآیند فراترکیب موردبررسی قرار نمی‌گیرد. معیارهای پذیرش یا عدم پذیرش، شامل مواردی چون اهداف تحقیق، منطق روش‌شناسی، طرح تحقیق، روش نمونه‌برداری، جمع‌آوری داده‌ها، انعکاس‌پذیری، ملاحظات اخلاقی، دقت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، بیان واضح و روشن یافته‌ها و ارزش تحقیق است. همچنین به‌منظور بررسی کیفیت روش‌شناختی مطالعات بر اساس برنامه‌ی مهارت‌های ارزیابی حیاتی[1]، برای هر مقاله بر اساس ده معیار ذکرشده امتیازی در نظر گرفته شد. بر اساس امتیازات اخذشده ۴۶ مقاله، حداقل امتیاز داده‌شده به مقاله‌ها ۲۱ و حداکثر امتیاز داده‌شده ۴۹ (از ۵۰) بوده است، اما در ۱۰۱ مقاله ارزیابی‌شده، ۵۵ مقاله امتیازی زیر ۲۰ (متوسط و ضعیف) کسب کرده‌اند یا اینکه معیارهای پذیرش را نداشته و حذف شدند. درنتیجه در فرآیند ارزیابی، پژوهشگر از میان ۴۶۲ مقاله، ۴۱۶ مقاله را حذف کرده و در نهایت ۴۶ مقاله برای تجزیه‌وتحلیل اطلاعات باقی می‌ماند.

شکل ۲. خلاصه‌ای از نتایج جستجو و انتخاب منابع مناسب مرتبط با توانمندسازهای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰

1. CASP



گام چهارم. استخراج نتایج: در کل فرآیند روش فراترکیب، پژوهشگر به‌طور پیوسته، منابع منتخب و نهایی شده را به‌منظور دستیابی به توانمندسازهای مؤثر بر اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴٫۰، چندین بار محتوای منابع را موردبازنگری قرار داده است. در پژوهش حاضر، اطلاعات منابع به این صورت دسته‌بندی شده است؛ اطلاعات مربوط به هر منبع ثبت و ابعاد و توانمندسازهای مؤثر که هر در منبع موجود است، استخراج و بیان می‌شود.

گام پنجم: تجزیه‌وتحلیل و تلفیق یافته‌های کیفی: در این گام، مفاهیم و موضوعات با استفاده از دو اصل بنیادی تمایز معنایی و تکمیل سؤالات پژوهش شناسایی شد. در این پژوهش بعد از استخراج کُدها از مقالات منتخب، با توجه به هم‌معنی بودن کُدها، همپوشانی لازم صورت گرفته شد (استخراج ۷۵ کُد). در ادامه با در نظر گرفتن مفهوم این کدها، آن‌ها، در یک مفهوم مشابه به‌عنوان توانمندسازها دسته‌بندی می‌شوند. پس از ایجاد مفاهیم (توانمندسازها)، این مفاهیم در ۴ دسته اقتصادی، منابع انسانی، زیرساختی، سازمانی–مدیریتی دسته‌بندی شدند که در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۲. همپوشانی کُدهای استخراج‌شده از مطالعات پیشین و ایجاد مفاهیم و دسته‌ها

ردیف	کُدهای استخراج‌شده (مطالعات پیشین)	مفهوم (توانمندسازها)	دسته	منبع
۱	مشوق‌های مالی برای استفاده از مواد ثانویه– دسترسی به منابع مالی– ارائه مشوق‌های مالی– پشتیبانی مالی – استراتژی مالی	سیاست‌ها و مشوق‌های مالی و غیرمالی دولت	اقتصادی	آدامز و همکاران (۲۰۱۷)؛ کتر و همکاران (۲۰۲۱)؛ شوشتریان و همکاران (۲۰۲۲)؛ جاین و اجمرا

ردیف	کُدهای استخراج‌شده (مطالعات پیشین)	مفهوم (توانمندسازها)	دسته	منبع
				(۲۰۲۱)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۲)؛ پتل و همکاران (۲۰۲۱)
۲	تغییرات فرهنگی شامل ریسک‌پذیری، روحیه کارآفرینی و تحمل شکست- فرهنگ‌سازمانی - فرهنگ زیست‌محیطی شرکت – فرهنگ کارکنان – تغییرات در فرهنگ‌سازمانی	فرهنگ‌سازمانی	منابع انسانی	ادبانجو و همکاران (۲۰۲۱)؛ جاین و اجمرا (۲۰۲۱)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۲)؛ لادرا و همکاران (۲۰۲۰)؛ ماچادو و همکاران (۲۰۲۱)؛ پتل و همکاران (۲۰۲۱)
۳	امنیت سایبری - امنیت اطلاعات - حفاظت از حقوق مالکیت معنوی	امنیت و حفاظت از حقوق مالکیت معنوی	زیرساختی	ادبانجو و همکاران (۲۰۲۱)؛ جاین و اجمرا (۲۰۲۱)
۴	همکاری بین طرف‌های ذینفع- مشارکت عمومی و خصوصی در داخل یک کشور و در سطح بین‌المللی- همکاری بین‌رشته‌ای و بین بخشی- تقویت همکاری- اعتمادسازی بین سازمانی و درون‌سازمانی– اعتماد- شبکه‌های بین شرکتی و همکاری‌های استراتژیک	همکاری و شبکه‌سازی با شرکای زنجیره تأمین (همزیستی صنعتی)	سازمانی- مدیریتی	ادبانجو و همکاران (۲۰۲۱)؛ برسانلی و همکاران (۲۰۲۱)؛ چادری و میشرا (۲۰۲۱)؛ حسینی و کوکاترک (۲۰۲۲)؛ لادرا و همکاران (۲۰۲۰)؛ پتل و همکاران (۲۰۲۱)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۲)
۵	آموزش و توسعه حرفه‌ای مستمر - آموزش و توسعه حرفه‌ای - آموزش مستمر مهارت‌های تخصصی – تنظیم برنامه‌های آموزشی در اقتصاد مدور برای توسعه قابلیت‌ها و مهارت‌ها- برنامه‌های آموزش و توسعه- توانمندسازی کارکنان	آموزش و توسعه کارکنان	منابع انسانی	ادبانجو و همکاران (۲۰۲۱)؛ بالاسوربرامنیان و هاریسانکار (۲۰۱۹)؛ دوی و همکاران (۲۰۲۱)؛ حسینی و کوکاترک (۲۰۲۲)؛ جاین و اجمرا (۲۰۲۱)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۲)؛ ماچادو و

ردیف	کُدهای استخراج‌شده (مطالعات پیشین)	مفهوم (توانمندسازها)	دسته	منبع
				همکاران (۲۰۲۱)
۶	چشم‌انداز روشن، پشتیبانی و تعهد مدیریت ارشد برای پذیرش اقتصاد مدور- علاقه مدیریت ارشد به اجرای صنعت ۴,۰- تعهد در سطح بالا با چشم‌انداز بلندمدت تجاری- پشتیبانی مدیریت و تعهد نسبت به اقدامات- تعهد مدیریت ارشد	حمایت و تعهد مدیریت ارشد	سازمانی- مدیریتی	جاین و اجمرا (۲۰۲۱)؛ لاهان و همکاران (۲۰۲۲)؛ کریشنان و همکاران (۲۰۲۱)؛ لادرا و همکاران (۲۰۲۰)؛ پتل و همکاران (۲۰۲۱)؛ سوبرامانیان و همکاران (۲۰۲۱)
۷	پذیرش مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای- پذیرش مدل‌های کسب‌وکار نوآوری- مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه- مدل‌های کسب‌وکار دیجیتال	اتخاذ مدل‌های کسب‌وکار مدور- هوشمند	سازمانی- مدیریتی	لاهان و همکاران (۲۰۲۲)؛ ماچادو و همکاران (۲۰۲۱)؛ ناسکیمنتو و همکاران (۲۰۱۸)؛ گاویندان و حسنگیک (۲۰۱۸)
۸	انتخاب تأمین‌کننده بر اساس معیارهای زیست‌محیطی	ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن معیارهای سبز	سازمانی- مدیریتی	لاهان و همکاران (۲۰۲۲)
۹	همسو کردن اقتصاد دایره‌ای با اهداف سازمانی، استراتژی و شاخص‌های کلیدی عملکرد- برنامه‌ریزی استراتژیک بلندمدت- چشم‌انداز دیجیتالی استراتژیک	برنامه‌ریزی استراتژیک مبتنی بر اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰	سازمانی- مدیریتی	لاهان و همکاران (۲۰۲۲)؛ پتل و همکاران (۲۰۲۱)؛ جاین و اجمرا (۲۰۲۱)
۱۰	استانداردها و زیرساخت‌های فناوری- دیجیتالی‌سازی – شبیه‌سازی دیجیتال محیط تولید -ابزار و ماشین‌آلات هوشمند- زیرساخت‌های فناوری- توسعه	توسعه استانداردها و زیرساخت‌های فناوری اطلاعات	زیرساختی	ادبانجو و همکاران (۲۰۲۱)؛ برسانلی و همکاران (۲۰۲۱)؛ چادری و میشرا (۲۰۲۱)؛ جاین و اجمرا (۲۰۲۱)؛ لادرا و

ردیف	کُدهای استخراج‌شده (مطالعات پیشین)	مفهوم (توانمندسازها)	دسته	منبع
	زیرساخت‌ها، فناوری‌های دیجیتال و شبکه‌ها			همکاران (۲۰۲۰)؛ پتل و همکاران (۲۰۲۱)
۱۱	تحریک تقاضا برای محصولات دایره‌ای - ترجیح مصرف‌کننده برای محصولات سازگار با محیط‌زیست و مشوق‌های مشتریان برای بازگشت	تحریک تقاضا برای محصولات مدور	اقتصادی	لاهان و همکاران (۲۰۲۲)
۱۲	استفاده از تیم چند رشته‌ای برای پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴,۰ – تیم‌های بین‌رشته‌ای- تیم‌سازی – استفاده از تیم‌سازی جهت پیاده‌سازی	استفاده از تیم‌های چندوظیفه‌ای	منابع انسانی	ادبانجو و همکاران (۲۰۲۱)؛ فتورچیان و کاظمی (۲۰۱۸)؛ موئف و همکاران (۲۰۱۸)؛ سانگ (۲۰۱۸)
۱۳	تخصیص بودجه جداگانه برای پذیرش اقتصاد مدور- بودجه برای اجرای اقتصاد مدور- استفاده از بودجه‌ای جداگانه برای صنعت ۴,۰	تخصیص بودجه جهت اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰	اقتصادی	لاهان و همکاران (۲۰۲۲)؛ راپوسو و همکاران (۲۰۲۱)؛ شارما و همکاران (۲۰۲۰)؛ مکتدیر و همکاران (۲۰۲۰)
۱۴	تناسب سازمانی - ساختار سازمانی- انعطاف‌پذیری در ساختار	ساختار سازمانی منعطف	سازمانی- مدیریتی	کتر و همکاران (۲۰۲۱)؛ پتل و همکاران (۲۰۲۱)؛ کالدرا و همکاران (۲۰۱۹)
۱۵	سازگاری سخت افزار و نرم‌افزار	تطابق سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری	زیرساختی	جاین و اجمرا (۲۰۲۱)؛ شوئنهر و همکاران (۲۰۱۵)

گام ششم. حفظ کنترل کیفیت: بر اساس روش سندلوسکی و باروسو (۲۰۰۶)، در پژوهش‌های فراترکیب کیفی، اعتبار توصیفی شامل تشخیص همه گزارش‌های تحقیقات مرتبط با موضوع و توصیف اطلاعات هر یک از گزارش‌های موجود است. همچنین اعتبار تفسیری در تحقیقات فراترکیب کیفی مربوط به پژوهشگران ثانوی است که گزارش‌های

موجود در مطالعه را جمع‌بندی می‌کنند و به رشته تحریر در می‌آورند. آنان با نویسندگان پژوهش‌های موردمطالعه که خودشان موضوع تحقیق‌اند، تفاوت دارند. در این تحقیق جهت روایی توصیفی سعی شد تا جای ممکن بیشترین تعداد مقاله‌های مرتبط با موضوع شناسایی و گردآوری شوند؛ بنابراین، روایی تفسیری یافته‌ها با توافق نهایی درباره ۱۵ توانمندساز توسط ۳ نفر از خبرگان به‌عنوان کُدگذار و مفسر حاصل شد.

گام هفتم. ارائه یافته‌ها: در این مرحله، توانمندسازها و دسته‌بندی آن‌ها ارائه شده است که در شکل ۳ مشاهده می‌شود. پس از استخراج و دسته‌بندی توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴٫۰ در زنجیره تأمین، جهت توانمندسازهای استخراج‌شده از نظرات خبرگان و مدل روایی محتوایی لاوشه[1] (۱۹۷۵) استفاده شد. مدل ارائه شدهٔ لاوشی برای تحلیل محتوا به این صورت است که نظر خبرگان در ارتباط با شاخص‌های پیشنهادی در مقیاس لیکرت سه‌نقطه‌ای، شامل «موافقم و استفاده از آن ضروری است»، «مفید است، اما استفاده از آن ضروری نیست»، «مخالفم و استفاده از آن ضروری نیست» دریافت می‌شود. این سه حالت به ترتیب با حروف E، U و N کدگذاری شده و برای محاسبه میانگین عددی قضاوت‌ها، به ترتیب اعداد کمی ۲، ۱ و ۰ برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. طبق فرمول لاوشه (۱۹۷۵)، مقدارهای CVR و CVI به کمک رابطه‌های ۱ و ۲ به دست می‌آیند. مطابق نظر لاوشه (۱۹۷۵)، ۰/۴۹ حداقل مقدار قابل‌قبول CVR برای پانزده خبره است.

$$\mathrm{CVR} = (\mathrm{ne} - \frac{\mathrm{N}}{2})/(\frac{\mathrm{N}}{2}) \qquad (۱)$$

در این رابطه، N تعداد کل پانل‌ها و ne تعداد پانل‌هایی است که پاسخ «ضروری» دادند.

$$\mathrm{CVI} = \sum \frac{\mathrm{CVR}}{\text{Retained numbers}} \qquad (۲)$$

N نشان‌دهنده تعداد کل خبرگان و Retained numbers معرف تعداد گزینه‌های تأیید شده است. نسبت روایی محتوا (CVR)، میانگین عددی قضاوت‌ها (MnJ) و شاخص روایی محتوا

1. Lawshe

(CVI) برای هرکدام از توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین کارخانجات شیشه‌سازی محاسبه شد (جدول ۳). معیارهای پذیرش به شرح زیر است:

- پذیرش بدون شرط گزینه‌هایی که مقدار **CVR** آن‌ها ۰/۴۹ بیشتر است.
- پذیرش گزینه‌هایی که مقدار **CVR** آن‌ها بین صفر و ۱ بوده و مقدار میانگین عددی قضاوت‌ها مساوی یا بیشتر از ۱/۵ است. این وضعیت نشان می‌دهد افزون بر نیمی از خبرگان با ضرورت گزینه موافق بوده‌اند. همچنین نظر چادویک[1] و همکارانش (۱۹۸۴) که حداقل مقدار ۶۰ درصد را برای قابلیت اطمینان روایی اعلام کرده‌اند، نیز محقق شده است؛ زیرا همان‌طور که بیان شد، در این حالت، میانگین عددی قضاوت مساوی یا بیشتر از ۱/۵ است؛ به این معنا که حداقل ۷۵ درصد حالت ممکن را پوشش می‌دهد.

نتایج مربوط به روایی محتوایی نیز در جدول ۳ مشاهده می‌شود. بر اساس این جدول، همه توانمندسازهای استخراج‌شده مورد تائید خبرگان کارخانجات شیشه‌سازی قرار گرفتند و روایی محتوایی مدل موردپذیرش قرارگرفته شد.

جدول ۳. نتایج روش فراترکیب و روایی محتوایی

ابعاد	توانمندسازها	CVR	MnJ	CVI
اقتصادی	سیاست‌ها و مشوق‌های مالی و غیرمالی دولت	۰/۸۶	۱/۹۳	۰/۷۳
	تحریک تقاضا برای محصولات مدور	۰/۶	۱/۸	
	تخصیص بودجه جهت اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰	۰/۷۳	۱/۸	
منابع انسانی	فرهنگ‌سازمانی	۰/۷۳	۱/۸۶	۰/۷۳
	آموزش و توسعه کارکنان	۰/۸۶	۱/۹۳	
	استفاده از تیم‌های چندوظیفه‌ای	۰/۶	۱/۷۳	
سازمانی-مدیریتی	همکاری و شبکه‌سازی با شرکای زنجیره تأمین (همزیستی صنعتی)	۰/۷۳	۱/۸۶	۰/۷۱
	ساختار سازمانی منعطف	۰/۶	۱/۷۳	
	حمایت و تعهد مدیریت ارشد	۰/۸۶	۱/۹۳	
	اتخاذ مدل‌های کسب‌وکار مدور-هوشمند	۰/۷۳	۱/۸۶	

1. Chadwick

ابعاد	توانمندسازها	CVR	MnJ	CVI
	ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن معیارهای سبز	۰/۷۳	۱/۸۶	
	برنامه‌ریزی استراتژیک مبتنی بر اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰	۰/۶	۱/۷۳	
زیرساختی	توسعه استانداردها و زیرساخت‌های فناوری اطلاعات	۰/۷۳	۱/۷۳	۰/۷۷
	امنیت و حفاظت از حقوق مالکیت معنوی	۰/۸۶	۱/۹۳	
	تطابق سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری	۰/۷۳	۱/۷۳	

۲) شناسایی روابط علّت و معلولی توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین

در این پژوهش برای تعیین میزان تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری و میزان اهمیت توانمندسازها از تکنیک دیمتل فازی استفاده شد. با توجه به فرآیند انجام این تکنیک که در بخش‌های گذشته تشریح شد، در ابتدا ماتریس‌های اولیه تکمیل‌نشده در اختیار ۱۰ نفر از خبرگان قرار گرفته شد و از آنان درخواست گردید که با مقایسه زوجی ابعاد و توانمندسازها هر بُعد با یکدیگر، شدت تأثیر عامل سطری را بر عوامل ستونی را به‌صورت عددی میان ۰ تا ۴ در خانه‌های مربوط به آن‌ها درج کنند. سپس مطابق با جدول ۱، این اعداد، به اعداد فازی مثلثی تبدیل شدند. در مرحله بعد، پس از جمع‌بندی و محاسبه میانگین حسابی نظرات خبرگان و نرمال‌سازی ماتریس اولیه روابط مستقیم فازی، ماتریس روابط مستقیم فازی نرمال شده حاصل شد (جدول ۴).

جدول ۴. ماتریس نرمال فازی (شدت روابط مستقیم) برای ابعاد

ابعاد	اقتصادی	منابع انسانی	سازمانی- مدیریتی	زیرساختی
اقتصادی	(۰ ،۰ ،۰)	(۰/۳۳۰ ،۰/۳۵۸ ،۰/۲۳۹)	(۰/۳۲۱ ،۰/۳۶۷ ،۰/۲۲۹)	(۰/۱۸۳ ،۰/۲۷۵ ،۰/۰۹۲)
منابع انسانی	(۰/۲۰۲ ،۰/۱۱۰ ،۰/۰۱۸)	(۰ ،۰ ،۰)	(۰/۱۱۰ ،۰/۲۰۲ ،۰/۰۲۸)	(۰ ،۰/۰۷۳ ،۰/۱۶۵)
سازمانی- مدیریتی	(۰/۲۲۹ ،۰/۱۵۶ ،۰/۰۹۲)	(۰/۱۶۵ ،۰/۲۵۷ ،۰/۰۸۳)	(۰ ،۰ ،۰)	(۰/۱۷۴ ،۰/۲۵۷ ،۰/۰۹۲)

ابعاد	اقتصادی	منابع انسانی	سازمانی- مدیریتی	زیرساختی
زیرساختی	(۰/۲۹۴، ۰/۲۰۲، ۰/۱۱۰)	(۰/۲۹۴، ۰/۲۰۲، ۰/۱۱۰)	(۰/۳۶۷، ۰/۲۹۴، ۰/۲۰۲)	(۰، ۰، ۰)

بعد از نرمال‌سازی نظر خبرگان در رابطه با ابعاد، ماتریس T طبق روابط مرحله چهارم تکنیک دیمتل فازی برای هرکدام از حدهای فازی (L، M و U) محاسبه و در نهایت با ترکیب سه ماتریس، ماتریس روابط مجموع نهایی T در قالب جدول ۵ حاصل آمد.

جدول ۵. ماتریس T فازی

ابعاد	اقتصادی	منابع انسانی	سازمانی- مدیریتی	زیرساختی
اقتصادی	(۱/۹۲۳، ۱/۲۲۴، ۱/۰۴۳)	(۱/۳۷۲،۰/۵۷۱، ۰/۲۸۵)	(۱/۳۹۱، ۰/۵۶۳، ۰/۲۷۱)	(۱/۱۱۳، ۰/۳۶۵، ۰/۱۲۱)
منابع انسانی	(۰/۷۶۱، ۰/۱۹۴، ۰/۰۲۲)	(۱/۷۱۳، ۱/۱۳۵، ۱/۰۰۹)	(۰/۸۹۰، ۰/۲۳۴، ۰/۰۳۴)	(۰/۷۲۱، ۰/۱۶۰، ۰/۰۰۵)
سازمانی- مدیریتی	(۰/۹۲۶، ۰/۲۸۸، ۰/۱۱۰)	(۱/۰۹، ۰/۳۵۵، ۰/۱۲۵)	(۰/۸۹۸، ۱/۲۱۷، ۱/۰۵)	(۰/۹۲۳، ۰/۲۹۱، ۰/۱۰۶)
زیرساختی	(۱/۱۲۸، ۰/۳۷۱، ۰/۱۴۰)	(۱/۳۰۶، ۰/۴۴۸، ۰/۱۶۸)	(۱/۳۶۶، ۰/۵۱۸، ۰/۲۴۶)	(۱/۸۷۷، ۱/۱۹۱، ۱/۰۳۵)

در ادامه، D (جمع سطرها) و R (جمع ستون‌ها) محاسبه و با توجه به روش مرکز ناحیه از حالت فازی خارج شدند. نتیجه به همراه D+R و D-R در جدول ۶ مشاهده می‌شود.

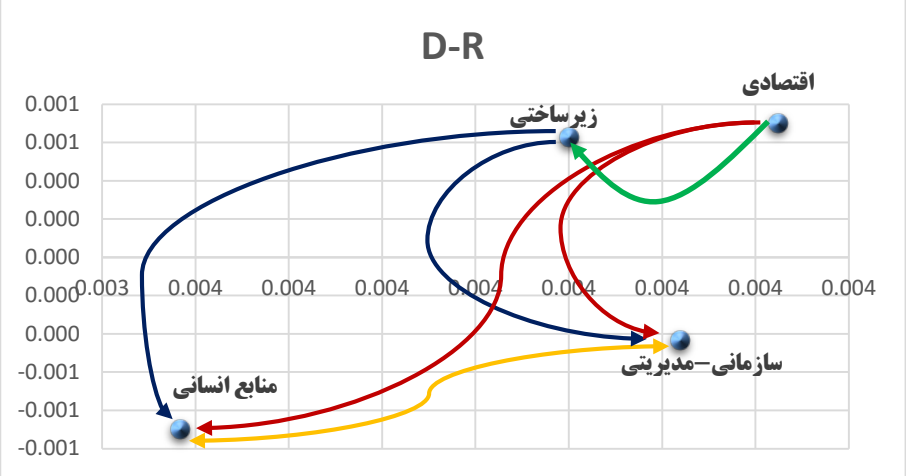
جدول ۶. محاسبات D و R

ابعاد	Di	Ri	$(D_i)^{def}$	$(R_i)^{def}$	D+R	D-R
اقتصادی	(۴/۷۹۹، ۱/۷۲۳، ۰/۷۲۰)	(۳/۷۳۸، ۱/۰۷۶، ۰/۳۱۶)	۲/۴۱۴	۱/۷۱۰	۴/۱۲۴	۰/۷۰۴
منابع انسانی	(۳/۰۸۴، ۰/۷۲۲، ۰/۰۷۰)	(۴/۴۸۰، ۱/۵۰۹، ۰/۵۸۶)	۱/۲۹۲	۲/۱۹۱	۳/۴۸۳	-۰/۸۹۹
سازمانی-	(۳/۸۳۷، ۱/۱۵۰،	(۴/۵۴۵، ۱/۵۳۲،	۱/۷۹۳	۲/۲۲۶	۴/۰۱۹	-۰/۴۳۳

ابعاد	Di	Ri	$(D_i)^{def}$	$(R_i)^{def}$	D+R	D-R
مدیریتی	(۰/۳۹۲	(۰/۶۰۱				
زیرساختی	(۱/۵۲۸ ،۴/۶۷۷) (۰/۵۸۸	(۱/۰۰۶،۳/۶۳۴) (۰/۲۶۸	۲/۲۶۴	۱/۶۳۶	۳/۹۰۰	۰/۶۲۸

به استناد برآیند نظر خبرگان در ارتباط میان ابعاد توانمندسازهای پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ و داده‌های جدول ۶، نمودار علت و معلولی به‌صورت شکل ۳ ترسیم شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، توانمندسازهای اقتصادی و زیرساختی به‌عنوان ابعاد تأثیرگذار (علّی) و توانمندسازهای سازمانی-مدیریتی و منابع انسانی به‌عنوان توانمندسازهای تأثیرپذیر (معلول) در پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ محسوب می‌شوند؛ به‌طوری‌که توانمندسازهای اقتصادی تأثیرگذارترین و توانمندسازهای منابع انسانی، تأثیرپذیرترین هستند.

شکل ۳. روابط علت و معلولی ابعاد توانمندسازهای پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰



با توجه به شکل ۳، توانمندسازهای اقتصادی بر توانمندسازهای زیرساختی، سازمانی-مدیریتی و منابع انسانی تأثیر می‌گذارند. توانمندسازهای زیرساختی بر سازمانی-مدیریتی و منابع انسانی تأثیر می‌گذارد. همچنین، توانمندسازهای سازمانی-مدیریتی با منابع انسانی با

یکدیگر رابطه متقابل دارند. به همین ترتیب، برای توانمندسازهای هر بُعد، مقدار D، R و D+R و D-R محاسبه شد که در جدول ۷ مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، در بُعد اقتصادی، «تخصیص بودجه جهت اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰» تأثیرگذارترین و «تحریک تقاضا برای محصولات مدور» تأثیرپذیرترین توانمندساز محسوب می‌شوند. در بُعد منابع انسانی، «آموزش و توسعه کارکنان» و «فرهنگ‌سازمانی»؛ در بُعد سازمانی-مدیریتی، «حمایت و تعهد مدیریت ارشد» و «همکاری و شبکه‌سازی با شرکای زنجیره تأمین (همزیستی صنعتی)»؛ و در نهایت در بُعد زیرساختی، «توسعه استانداردها و زیرساخت‌های فناوری اطلاعات» و «امنیت و حفاظت از حقوق مالکیت معنوی» به ترتیب تأثیرگذارترین و تأثیرپذیرترین توانمندساز برای اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین شناسایی شدند.

جدول ۷. محاسبه D و R برای همه توانمندسازها

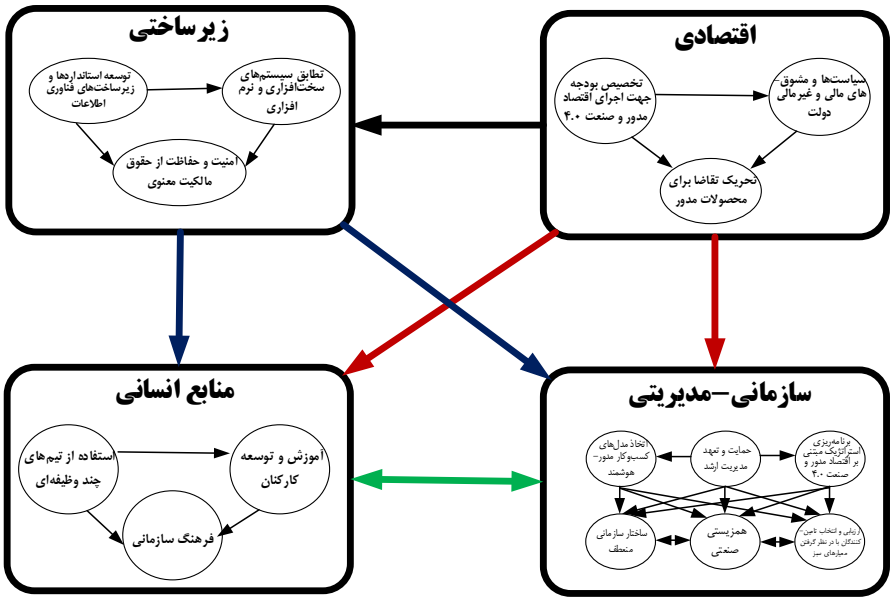
ابعاد	توانمندسازها	Di	Ri	$(D_i)^{defuzzy}$	$(R_i)^{defuzzy}$	D+R	D-R
اقتصادی	سیاست‌ها و مشوق‌های مالی و غیرمالی دولت	(۶/۰۰۳، ۱/۹۸۷، ۰/۷۹۶)	(۱/۶۵۱، ۵/۲۶۸، ۰/۶۲۳)	۲/۹۲۸	۲/۵۱۶	۵/۴۴۴	۰/۴۱۳
	تحریک تقاضا برای محصولات مدور	(۴/۱۱۸، ۱/۰۲۲، ۰/۲۱۱)	(۲/۰۳۹، ۶/۰۲۳، ۰/۸۳۳)	۱/۷۸۴	۲/۹۶۵	۴/۷۴۹	-۱/۱۱۸
	تخصیص بودجه جهت اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰	(۶/۰۹۷، ۲/۰۸۰، ۰/۸۵۹)	(۱/۳۹۸، ۴/۹۲۷، ۰/۴۰۴)	۳/۰۱۲	۲/۲۴۳	۵/۲۵۵	۰/۷۶۹
منابع انسانی	فرهنگ سازمانی	(۳/۵۶۸، ۰/۸۹۹، ۰/۰۹۰)	(۱/۹۱۵،۵/۳۵۱، ۰/۷۶۹)	۱/۵۱۹	۲/۶۷۸	۴/۱۹۷	-۱/۱۵۹
	آموزش و توسعه	(۵/۲۳۶،	۱/۳۳۲،۴/۳۱۹)	۲/۶۶۰	۲/۰۱۰	۴/۶۷۰	۰/۶۵۰

ابعاد	توانمندسازها	Di	Ri	$(D_i)^{defuzzy}$	$(R_i)^{defuzzy}$	D+R	D-R
	کارکنان	(۱/۹۵۲، ۰/۷۹۲)	(۰/۳۸۰				
	استفاده از تیم‌های چند وظیفه‌ای	(۵/۲۵۱، ۱/۸۲۷، ۰/۷۱۱)	(۱/۴۳۱،۴/۳۸۴، ۰/۴۴۵)	۲/۵۹۶	۲/۰۸۷	۴/۶۸۳	۰/۵۱۰
سازمانی-مدیریتی	همکاری و شبکه‌سازی با شرکای زنجیره تأمین (همزیستی صنعتی)	(۳/۲۷۴، ۰/۹۳۴، ۰/۲۲۲)	(۱/۲۹۳ ،۴/۰۰۵، ۰/۴۲۶)	۱/۴۷۷	۱/۹۰۸	۳/۳۸۴	-۰/۴۳۱
	ساختار سازمانی منعطف	(۳/۴۹۰، ۱/۰۲۸، ۰/۲۵۲)	(۱/۴۲۴ ،۴/۰۲۲، ۰/۵۳۷)	۱/۵۹۰	۱/۹۹۴	۳/۵۸۴	-۰/۴۰۴
	حمایت و تعهد مدیریت ارشد	(۴/۵۵۳، ۱/۷۳۶، ۰/۷۱۸)	(۱/۲۰۷ ،۳/۷۸۳، ۰/۳۹۲)	۲/۳۳۶	۱/۷۹۴	۴/۱۳۰	۰/۵۴۲
	اتخاذ مدل‌های کسب‌وکار مدور- هوشمند	(۴/۴۰۳، ۱/۶۳۱، ۰/۶۵۰)	(۱/۳۹۴ ،۳/۹۷۸، ۰/۵۰۱)	۲/۲۲۸	۱/۹۵۸	۴/۱۸۶	۰/۲۷۰
	ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان با در نظر گرفتن معیارهای سبز	(۳/۵۱۹، ۱/۰۸۰، ۰/۳۲۲)	(۱/۴۴۳ ،۴/۰۹۸، ۰/۵۳۳)	۱/۶۴۰	۲/۰۲۵	۳/۶۶۵	-۰/۳۸۴
	برنامه‌ریزی استراتژیک مبتنی بر اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰	(۴/۳۸۸، ۱/۵۵۴، ۰/۵۹۸)	(۱/۲۰۰ ،۳/۷۴۲، ۰/۳۷۳)	۲/۱۸۰	۱/۷۷۲	۳/۹۵۲	۰/۴۰۸
زیرساختی	توسعه استانداردها و زیرساخت‌های فناوری اطلاعات	(۶/۱۲۱، ۲/۱۹۷، ۰/۸۴۵)	(۱/۷۱۰ ،۵/۳۹۷، ۰/۵۳۵)	۳/۰۵۴	۲/۵۴۷	۵/۶۰۲	۰/۵۰۷
	امنیت و حفاظت از	(۴/۶۳۶،	(۲/۰۷۰ ،۶/۱۰۸،	۲/۰۲۳	۲/۹۸۰	۵/۰۰۴	-۰/۹۵۷

ابعاد	توانمندسازها	Di	Ri	$(D_i)^{defuzzy}$	$(R_i)^{defuzzy}$	D+R	D-R
	حقوق مالکیت معنوی	۱/۲۱۵، (۰/۲۱۹)	(۰/۷۶۴)				
	تطابق سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری	(۶/۴۰۷)، ۲/۲۴۶، (۰/۸۷۶)	۱/۸۷۹، (۵/۶۵۹، ۰/۶۴۲)	۳/۱۷۶	۲/۷۲۶	۵/۹۰۳	۰/۴۵۰

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، الگوی روابط بین توانمندسازهای پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد را می‌توان به‌صورت شکل شماره ۴ مشاهده نمود.

شکل ۴. الگوی روابط بین توانمندسازهای پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰



مطابق با شکل ۵، در بُعد زیرساختی، توسعه استانداردها و زیرساخت‌های فناوری اطلاعات بر تطابق سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و امنیت و حفاظت از حقوق مالکیت معنوی

تأثیر می‌گذارد و تطابق سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری بر امنیت و حفاظت از حقوق مالکیت معنوی تأثیر می‌گذارد. در بُعد اقتصادی، تخصیص بودجه جهت اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ بر سیاست‌ها و مشوق‌های مالی و غیرمالی و تحریک تقاضا برای محصولات مدور تأثیر می‌گذارند و سیاست‌ها و مشوق‌های مالی و غیرمالی بر تحریک تقاضا برای محصولات مدور تأثیر می‌گذارد. در بُعد منابع انسانی، توانمندسازهای استفاده از تیم‌های چندوظیفه‌ای بر آموزش و توسعه کارکنان و فرهنگ‌سازمانی تأثیر می‌گذارد و آموزش و توسعه کارکنان بر فرهنگ‌سازمانی تأثیرگذار است. در نهایت نتایج بُعد سازمانی-مدیریتی نشان می‌دهد که حمایت و تعهد مدیریت ارشد، برنامه‌ریزی استراتژیک و اتخاذ مدل‌های کسب‌وکار مدور-هوشمند بر توانمندسازهای همزیستی صنعتی، ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان و ساختار سازمانی منعطف تأثیر می‌گذارد. همچنین، حمایت و تعهد مدیریت ارشد بر همه توانمندسازهای این بُعد تأثیر می‌گذارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در سیستم‌های عملیاتی معاصر، صنعت ۴,۰ و اقتصاد مدور نقش بسزایی دارند. هم‌افزایی هر دو توانایی حرکت بیشتر به سمت جامعه پایدار را فراهم می‌سازد. مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی مدیریت عملیات سازمان‌ها با توسعه هم‌زمان صنعت ۴,۰ و اقتصاد مدور حل می‌شود. هدف از پژوهش حاضر، تحلیلی بر توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد است. بدین منظور در مرحله اول تحقیق، با بررسی مقالات مختلف و استفاده از روش فراترکیب، توانمندسازهای مرتبط شناسایی و دسته‌بندی گردید که حاصل آن شناسایی ۱۵ توانمندساز در ۴ بُعد اقتصادی، منابع انسانی، سازمانی-مدیریتی و زیرساختی بود. در مرحله دوم جهت بررسی روابط علّی و معلولی بین توانمندسازها از تکنیک دیمتل فازی استفاده شد.

نتایج تحقیق نشان داد که توانمندسازهای اقتصادی و زیرساختی به‌عنوان ابعاد تأثیرگذار (علّی) محسوب می‌شوند که بر ابعاد منابع انسانی و سازمانی-مدیریتی تأثیر می‌گذارند. در بُعد اقتصادی، «تخصیص بودجه جهت اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰» تأثیرگذارترین و

«تحریک تقاضا برای محصولات مدور» تأثیرپذیرترین توانمندساز محسوب می‌شوند. لاهان و همکاران (۲۰۲۲)، راپوسو و همکاران (۲۰۲۱)، شارما و همکاران (۲۰۲۰) و مکتدیر و همکاران (۲۰۲۰) نیز در پژوهش‌های خود به این توانمندسازها اشاره کرده‌اند. امور اقتصادی برای حمایت از زیرساخت‌ها، اطلاعات موردنیاز و نیروی انسانی مدیریت زنجیره تأمین ضروری است. کارخانجات شیشه‌سازی برای پیاده‌سازی فعالیت‌های اقتصاد مدور نیاز به تخصیص بودجه و سایر منابع دارند. فناوری پارک، تولید ناب، لجستیک معکوس، سیستم‌های اطلاعاتی و فناوری کارآمد، توسعه محصول سبز، خرید سبز، اتخاذ سیستم مدیریت محیط‌زیست ایزو ۱۴۰۰۰، سواد محیط‌زیست برخی از روش‌های اقتصاد مدور هستند که برای همه آن‌ها نیاز به بودجه است. سیستم‌های اطلاعاتی و فناوری به بودجه بیشتری احتیاج دارند زیرا بدون این موارد، ردیابی محصول، ردیابی محصول برگشتی و بازیابی محصول توسط فرآیندهای مختلف مانند استفاده مجدد، تولید مجدد، بازیافت و غیره، در محیط فعلی امکان‌پذیر نیست. آموزش نیروی کار و اعضای زنجیره تأمین برای بالا بردن سطح سواد زیست‌محیطی و دیجیتال آن‌ها نیز برای مدیریت کارآمد و در نهایت سودآوری مدیریت زنجیره تأمین بسیار مهم است. بااین‌حال، همه این موارد برای اجرای موفقیت‌آمیز نیاز به حمایت مالی و تخصیص بودجه دارند. همچنین، عدم تقاضای مشتری برای محصولات و روش‌های دوستدار محیط‌زیست، مانع قابل‌توجهی در برابر برنامه مدیریت زنجیره تأمین مدور است؛ لذا تحریک تقاضا می‌تواند به‌عنوان یکی از اقدامات مهم در این زمینه قلمداد شود.

یکی دیگر از ابعاد مهم، بُعد زیرساختی است که در این بُعد، «توسعه استانداردها و زیرساخت‌های فناوری اطلاعات» تأثیرگذارترین توانمندساز برای اجرای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین شناسایی شد که توسط ادبانجو و همکاران (۲۰۲۱)، برسانلی و همکاران (۲۰۲۱)، چادری و میشرا (۲۰۲۱)، جاین و اجمرا (۲۰۲۱)، لادرا و همکاران (۲۰۲۰) و پتل و همکاران (۲۰۲۱) نیز مورد اشاره قرار گرفته شده است. برای به‌کارگیری تجهیزات هوشمند، نیاز به آماده‌سازی زیرساخت‌های موردنیاز برای تعبیه تجهیزات جدید در

کارخانجات شیشه‌سازی است که منجر به اجرای پایدارتر اقتصاد مدور می‌شود. زیرساخت‌های پیشرفته فناوری اطلاعات جهت تقویت پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ ضروری است. سیستم‌های فیزیکی-سایبری با حسگرهای فوق پیشرفته ادغام می‌شوند و به سیستم‌های تولید متصل می‌شوند تا با درک کیفیت و شرایط محصولات تولیدی، فرآیندهای تولید را کنترل و مدیریت کنند. این نیاز به زیرساخت کافی فناوری اطلاعات دارد زیرا نبود شبکه ارتباطی کارآمد و قدرت سیگنال ضعیف ممکن است کل فرآیند را مختل کند.

در بُعد سازمانی-مدیریتی به‌عنوان یکی از ابعاد تأثیرپذیر، «حمایت و تعهد مدیریت ارشد» تأثیرگذارترین توانمندساز شناسایی شد که توسط محققان زیادی ازجمله لاهان و همکاران (۲۰۲۲)، جاین و اجمرا (۲۰۲۱)، کریشنان و همکاران (۲۰۲۱)، پتل و همکاران (۲۰۲۱)، سابرامانیان و همکاران (۲۰۲۱) و لادرا و همکاران (۲۰۲۰)، مورد اشاره قرار گرفته است. موفقیت هر شیوه مدیریت محیطی به‌طور قابل‌توجهی به سطح بلوغ رهبری و تعهد مدیریت ارشد متکی است. بدون تعهد مستمر مدیریت ارشد، اجرای هرگونه فرآیند یا رویه کاری در شرکت به‌زودی از بین می‌رود زیرا فاقد پشتیبانی، مشارکت و رهبری فعال مدیریت ارشد و علاقه آن‌ها به سیستم‌ها و فرآیندهای جدید است. عدم تعهد از سوی مدیریت ارشد یک مانع اصلی برای موفقیت در پذیرش شیوه‌های کسب‌وکار مدور و هوشمند است. مدیریت زنجیره تأمین مدور و هوشمند به یک تغییر اساسی در طرز فکر و عمل نیاز دارد. بسیاری از نویسندگان در مورد نقش مدیریت عالی در تعیین اقدامات پیشگیرانه زیست‌محیطی یک سازمان بحث کرده‌اند. دامنه مدیریت زیست‌محیطی و میزان سرمایه‌گذاری‌های محیطی ناگزیر به نگرش مدیریت عالی به مسائل زیست‌محیطی بستگی دارد. نهایتاً، یکی دیگر از نتایج تحقیق، تأثیرگذاری آموزش و توسعه کارکنان در بُعد منابع انسانی بود. برای اجرای موفقیت‌آمیز اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰، به نیروی کار ماهر نیاز است زیرا کارکنان باید ماشین‌های هوشمند خودکار را مدیریت کنند، کارخانه‌های هوشمند را به هم پیوند دهند و داده‌های دیجیتال را تجزیه‌وتحلیل کنند؛ بنابراین، مدیران کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد باید بر ارائه جلسات آموزشی ویژه در زمینه دیجیتالی کردن و استفاده

ایمن از اینترنت اشیا تأکید کنند. گاهی اوقات جلسات بازآموزی برای کارکنان لازم است تا به‌طور کامل کاربردهای اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ را درک کرده و به‌کارگیرند.

اگرچه توانمندسازهای که بیان گردید، از مهم‌ترین توانمندسازهای مؤثر در پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد محسوب می‌شوند، اما صنعت شیشه‌سازی برای اجرای موفق اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰، بایستی با محور قرار دادن مهم‌ترین توانمندسازها، به همه توانمندسازها شناسایی‌شده توجه کافی را داشته باشد. استفاده از دستورالعمل‌های مشخص و چک‌لیست توانمندسازها مؤثر در هنگام تصمیم‌گیری می‌تواند کار تصمیم‌گیری را آسان‌تر و قدرت اجرای تصمیم‌گیری را بیشتر نماید، لذا پیشنهاد می‌شود بر اساس توانمندسازها و میزان اهمیت آن‌ها که در این پژوهش شناسایی شدند، دستورالعمل‌ها و چک‌لیست‌هایی تهیه شود و در اختیار مدیران اجرایی قرار گیرد.

از محدودیت‌های مهم تحقیق می‌توان به پایگاه علمی موردبررسی اشاره کرد که فقط از اسکاپوس استفاده شده است؛ درصورتی‌که می‌توان از پایگاه‌های دیگر مانند گوگل‌اسکالر و وب‌آو ساینس نیز به‌عنوان مکمل استفاده کرد. همچنین، دسته‌بندی توانمندسازها با استفاده از رویکرد کیفی انجام گرفت که به محققان نیز پیشنهاد می‌شود، نام‌گذاری و دسته‌بندی توانمندسازها با استفاده از روش‌های پیمایشی و کمی مانند روش تحلیل خوشه‌ای و ... انجام پذیرد. یکی دیگر از محدودیت‌های تحقیق، مربوط به جامعه آماری تحقیق است که به دلیل محدودیت‌های زمان و هزینه، کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد انتخاب گردید. درصورتی‌که برای تعمیم نتایج تحقیق بهتر است در دیگر کارخانجات شیشه‌سازی کشور نیز، موضوع تحقیق موردبررسی قرار گیرد. استفاده از روش‌هایی مانند نقشه شناختی فازی و پویایی‌شناسی سیستم‌ها نیز جهت بررسی روابط و تعاملات بین توانمندسازها می‌تواند توسط پژوهشگران آینده انجام شود. علاوه بر این، توانمندسازهایی مؤثری که در این پژوهش شناسایی و تحلیل گردید، عمدتاً مبتنی بر پژوهش‌های بین‌المللی بوده است، پیشنهاد می‌شود به‌منظور تطبیق با صنایع ایران، با انجام مصاحبه‌های عمیق با صاحبان صنایع، در برخی توانمندسازها که ممکن است با توجه به

شرایط خاص ایران مصداقی وجود نداشته باشد یا درک و استنباطی متفاوت از آن‌ها وجود داشته باشد، بازنگری شود.

ORCID

Mehrdad Kiani **https://orcid.org/0000-0002-1547-0481**

Davood Andalib Ardakani **https://orcid.org/0000-0002-4738-9362**

Habib Zare Ahmadabadi **https://orcid.org/0000-0003-3662-5953**

Seid Haidar Mirfakhradini **https://orcid.org/0000-0002-8150-0415**

منابع

۱. کریمی، تورج، کریمی، آصف، سعدآبادی، علی‌اصغر و رمضانی، سعید (۱۳۹۹)، ارائه چارچوب ارزیابی نوآوری اجتماعی در سطح کلان با استفاده از روش فراترکیب، *فصلنامه توسعه کارآفرینی، دوره ۱۳، شماره ۱، صص ۶۱-۷۹.*

۲. وارث، سیدحامد؛ محمدیان، ایوب؛ حیدری دهوئی، جلیل؛ خواجه‌ئیان، داتیس و نبی‌زاده، نرگس (۱۴۰۱)، چارچوب طبقه‌بندی الگوهای مدل کسب‌وکار مدور از دیدگاه استراتژِی اتصاد مدور، *نشریه مدیریت بازرگانی*، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۶۵-۹۳.

۳. یاراحمدی، حمیدرضا؛ پورعزت، علی‌اصغر؛ کیاکجوری، داود و تقی‌پوریانی گیلانی، یوسف (۱۳۹۹)، مروری بر پیش‌ران‌ها و پس‌ران‌های فساد در سازمان‌ها با استفاده از روش فراترکیب، *فصلنامه مطالعات راهبردی*، دوره ۲۲، شماره ۲، صص ۳۳-۵۵.

4. Adams, K.T., Osmani, M., Thorpe, T., Thornback, J. (2017). Circular economy in construction: Current awareness, challenges and enablers. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management*, Vol. 170, No. 1, pp. 15-24.
5. Adebanjo, D., Laosirihongthong, T., Samaranayake, P., Teh, P.L. (2021). Key Enablers of Industry 4.0 Development at Firm Level: Findings from an Emerging Economy. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 70, pp. 1–38.
6. Ansari, Z.N., Kant, R. (2017). A state-of-art literature review reflecting 15 years of focus on sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 142, pp. 2524-2543.
7. Antikainen, M., Uusitalo, T., Kivikyt¨o-Reponen, P. (2018). Digitalisation as an enabler of circular economy. *Procedia CIRP*, Vol. 73, pp. 45-49.
8. Balasubramanian, S., Hari Sankar, R. (2019). Research and finding technical enablers using ism for industry 4.0 in Indian agricultural industries. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, Vol. 8, pp. 137–141.
9. Blunck, E., Werthmann, H. (2017). Industry 4.0 – Maximizing Economic Benefits and Firm Competitiveness for a Circular Economy. XVI International Business & Economy Conference (IBEC) - Chile 2017.
10. Bressanelli, G., Pigosso, D. C. A., Saccani, N., Perona, M. (2021). Enablers, levers and benefits of Circular Economy in the Electrical and Electronic Equipment supply chain: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 298, p. 126819.
11. Caldera, H.T.S., Desha, C., Dawes, L. (2019). Evaluating the enablers and barriers for successful implementation of sustainable business practice

in ‘lean’ SMEs. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 218, pp. 575–590
12. Choudhary, V. and Mishra, A. (2021). Analyzing the Critical Success Enablers of Industry 4.0 Using Hybrid Fuzzy AHP–CoCoSo Method. *Journal of Industrial Integration and Management*, Vol. 6, No. 2, p. 2150018.
13. de Mattos, C.A., de Albuquerque, T.L.M. (2018). Enabling factors and strategies for the transition toward a circular economy (CE). *Sustainability*, Vol. 10, No. 12, pp. 1-18.
14. Dev, N. K., Shankar, R., Qaiser, F. H. (2020). Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance. Resources. *Conservation and Recycling*, Vol. 153, p. 104593.
15. Devi K, S., Paranitharan, K. P. Agniveesh A, I. (2021). Interpretive framework by analysing the enablers for implementation of Industry 4.0: an ISM approach. *Total Quality Management and Business Excellence*, Vol. 32, No. 13–14, pp. 1494–1514.
16. Fatorachian, H., Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, Vol. 29, pp. 633–644.
17. Fedotkina, O., Gorbashko, E., Vatolkina, N. (2019). Circular economy in Russia: Drivers and barriers for waste management development. *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 11, No. 20, pp. 1–21.
18. Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 114, pp. 11–32.
19. Govindan, K., Hasanagic, M. (2018). A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. *International Journal of Production Research*, Vol. 56, pp. 278-311.
20. Hart, J., Adams, K., Giesekam, J., Tingley, D.D., Pomponi, F. (2019). Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*, Vol. 80, pp. 619–624
21. Hermann, M., Pentek, T., Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenar- ios. *In: 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS*), January, IEEE, pp. 3928–3937.
22. Hofmann, E., Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, Vol. 89, pp. 2334.
23. Horváth, D., Szabó, R.Z. (2019). Technological Forecasting & Social Change Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?

Technological Forecasting and Social Change, Vol. 146, pp. 119–132.
24. Jabbour, L.D.S., Jabbour, C.J.C., Filho, M.G., and Roubaud, D. (2018). Indus- try 4.0 and the Circular Economy: A Proposed Research Agenda and Original Roadmap for Sustainable Operations. *Annals of Operations Research*, Vol. 270, No. 1-2, pp. 273–286.
25. Jain, V., Ajmera, P. (2020). Modelling the enablers of industry 4.0 in the Indian manufacturing industry. *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 70, No. 6, pp. 1233–1262.
26. Kamble, S. S., Gunasekaran, A. (2019). Analyzing the role of industry 4.0 technologies and circular economy practices in improving sustainable performance in Indian manufacturing organizations. *Production Planning and Control*, doi: 10.1080/09537287.2021.1980904.
27. Korhonen, J., Honkasalo, A., Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, Vol. 143, pp. 37–46.
28. Krishnan, S., Gupta, S., Mathiyazhagan, K., Kumar, V., Garza-Reyes, L. A. (2021). Assessing the key enablers for Industry 4.0 adoption using MICMAC analysis: a case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 70, No. 5, pp. 1049–1071.
29. Kumar, V., Sezersan, I., Garza-Reyes, J. A., Gonzalez, E. D. R. S., AL-Shboul, M. A. (2019). Circular economy in the manufacturing sector: benefits, opportunities and barriers. *Management Decision*, Vol. 57, No. 4, pp. 1067–1086.
30. Lahane, S., Gupta, P., Kant, R. (2022). Evaluating the benefits of circular economy due to adoption of its enablers. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Vol. 33, No. 2, pp. 330–352.
31. Lee, I., Lee, K. (2015). The IoT: Applications, investments**,** and challenges for enterprises. *Business Horizons*, Vol. 58, pp. 431**-**440.
32. Lin, R. J. (2013). Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 40, pp. 32–39.
33. Lüdeke-Freund, F., Gold, S., Bocken, N. M. (2019). A review and typology of circular economy business model patterns. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 23, No. 1, pp. 36-61.
34. 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*, Vol. 117, pp. 168–179.
35. Machado, E., Scavarda, L. F., Caiado, R. G. G., Thomé, A. M. T. (2021). Barriers and enablers for the integration of industry 4.0 and sustainability in supply chains of msmes. *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 13, No. 21, pp. 1-31.

36.Massaro, M., Secinaro, S., Dal Mas, F., Brescia, V., Calandra, D. (2021). Industry 4.0 and circular economy: An exploratory analysis of academic and practitioners' perspectives. *Business Strategy and the Environment*, Vol. 30, No 2, pp. 1213-1231.
37.Mishra, J. L., Chiwenga, K. D., Ali, K. (2019). Collaboration as an enabler for circular economy: a case study of a developing country. *Management Decision*, Vol. 59, No. 8, pp. 1784-1800.
38.Moktadir, M. A., Ali, S. M., Kusi-Sarpong, S., Shaikh, M. A. A. (2018). Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 117, pp. 730–741.
39.Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 153, p. 104553.
40.Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L. R., Tortorella, G. (2018). Exploring industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 30, No. 3, pp. 607–627
41.Oliveira, F. R. D., França, S. L. B., & Rangel, L. A. D. (2018). Challenges and opportunities in a circular economy for a local productive arrangement of furniture in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 135, pp. 202–209
42.Pagoropoulos, A., Pigosso, D. C. A., McAloone, T. C. (2017). The Emergent Role of Digital Technologies in the Circular Economy: A Review. *Procedia CIRP*, Vol. 64, pp. 19-24.
43.Patel, M. N., Pujara, A. A., Kant, R., Malviya, R. K. (2021). Assessment of circular economy enablers: Hybrid ISM and fuzzy MICMAC approach. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 317, p. 128387.
44.Perales, D.P., Valero, F.A., García, A.B. (2018). Industry 4.0: a classification scheme. *Closing the Gap between Practice and Research in Industrial Engineering. Springer, Cham*, pp. 343–350.
45.Pereira, A. C., Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, pp. 1206-1214.
46.Pham, T.T., Kuo, T.C., Tseng, M.L., Tan, R.R., Tan, K., Ika, D.S., Lin, C.J. (2019). Industry 4.0 to Accelerate the Circular Economy: A Case Study of Electric Scooter Sharing. *Sustainability*, Vol. 11, pp. 6661.
47.Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 179, pp. 605–615.
48.Quezada, L. E., da Costa, S. E. G., Tan, K. H. (2017). Operational excellence towards sustainable development goals through Industry

4.0. *International Journal of Production Economics*, Vol. 190, pp. 1-2.
49. Rajput, S., Singh, S.P. (2019). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, Vol. 49, pp. 98–113.
50. Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., Väisänen, J. M. (2021). Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy—multiple case study. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 164, 105155.
51. Raposo, M., Fernandes, C.I., Veiga, P.M. (2021). We dreamed a dream that entrepreneurial ecosystems can promote sustainability. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Vol. 33, No. 1, pp. 86-102.
52. Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., Terzi, S. (2020). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, Vol. 58, No. 6, pp. 1662-1687.
53. Sandelowski, M., Barroso, J. (2006). *Handbook for synthesizing qualitative research*. Springer publishing company.
54. Sartal, A., Ozcelik, N., Rodríguez, M. (2020). Bringing the circular economy closer to small and medium enterprises: Improving water circularity without damaging plant productivity. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 256, p. 120363.
55. Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R., Reichstein, C. (2015). Industry 4.0 -Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results Industry 4.0-Potentials for Creating Smart Products : Empirical Research Results. *BIS 2015 18th International Conference on Business Information Systems, Lecture Notes in Business Information Processing (LNBIP).*
56. Schoenherr, T., Narayanan, S., Narasimhan, R. (2015). Trust formation in outsourcing relationships: a social exchange theoretic perspective. *International Journal of Production Economics*, Vol. 169, pp. 401-412.
57. Schrettle, S., Hinz, A., Scherrer-Rathje, M., Friedli, T. (2014). Turning sustainability into action: explaining firms' sustainability efforts and their impact on firm performance. *International Journal of Production Economics*, Vol. 147, pp. 73-84.
58. Schuh, G., Potente, T., Varandani, R., Schmitz, T. (2014). Global footprint design based on genetic algorithms–An 'Industry 4.0' perspective. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 63, No. 1, pp. 433–436
59. Sharma, M., Joshi, S., Kumar, A. (2020). Assessing enablers of e-waste management in circular economy using DEMATEL method: an Indian perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 27, pp. 13325-13338.

60. Shooshtarian, S., Hosseini, M.R., Kocaturk, T., Arnel, T., Garofano, N.T. (2022). Circular economy in the Australian AEC industry: investigation of barriers and enablers. *Building Research and Information*, Doi: 10.1080/09613218.2022.2099788
61. Singh, A., Trivedi, A. (2016). Sustainable green supply chain management: trends and current practices. *Competitiveness Review*, Vol. 26, No. 3, pp. 265-288.
62. Skilton, M., Hovsepian, F. (2018*). The 4th Industrial Revolution: Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business*. Palgrave Macmillan Cham.
63. Sopha, B. M., Purnamasari, D. M., Ma'mun, S. (2022). Barriers and Enablers of Circular Economy Implementation for Electric-Vehicle Batteries: From Systematic Literature Review to Conceptual Framework. *Sustainability*, Vol. 14, No. 10, p. 6359.
64. Subramanian, G., Patil, B. T., Gardas, B. B. (2021). Evaluation of enablers of cloud technology to boost industry 4.0 adoption in the manufacturing micro, small and medium enterprises. *Journal of Modelling in Management*, Vol. 16, No. 3, pp. 944–962.
65. Sung, T. K. (2018). Industry 4.0: A Korea perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 132, pp. 40-45.
66. Takhar, S. S., Liyanage, K. (2020). The impact of Industry 4.0 on sustainability and the circular economy reporting requirements. *International Journal of Integrated Supply Management*, Vol. 13, No. 2–3, pp. 107–139.
67. Ünal, E., Urbinati, A., Chiaroni, D. (2019). Managerial practices for designing circular economy business models: The case of an Italian SME in the office supply industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 30, No. 3, pp. 561–589.
68. Zezulka, F., Marcon, P., Vesely I., Sajdl O. (2016). Industry 4.0–An Introduction in the phenomenon. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 49, No. 25, pp. 8-12.

References [In Persian]

1. Karimi, T., Karimi, A., Sadabadi, A., Ramezani, S. (2019). A framework for social innovation evaluation at macro level using Meta synthesis method. *Entrepreneurship Innovation*, Vol. 13, No. 1, pp. 61-79. [In Persian]
2. Vares, S.H., Mohammadian, A., Heidary Dahooie, J., Khajeheian, D., Nabizade, N. (2022). A Taxonomy Framework for Circular Business Model Patterns from the Perspective of Circular Economy Strategies. *Journal of Business Management*, Vol. 14, No. 1, pp. 65-93. [In Persian]

3. Yarahamdi, H., Pourezat, A., Kia Kajori, D., Taghipouriani Gilani, Y. (2019 A Systematic Review of Driving and Reversing Forces of Corruption in Organizations using a Meta-synthesis Method. *Strategic Studies Quarterly*, Vol. 23, No. 2, pp. 33-55. [In Persian]

استناد به این مقاله: کیانی، مهرداد.، عندلیب اردکانی ، داود.، زارع احمدآبادی، حبیب.، میرفخرالدینی، سیدحیدر. (۱۴۰۲). تحلیلی بر توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین کارخانجات شیشه‌سازی، *مدیریت صنعتی*، ۲۱(۷۰)، ۱-۴۳.

DOI: 10.22054/jims.2023.71900.2835

Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.