Industrial Management Studies
Vol. 22, No. 73, Summer 2024; P 241-285
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2024.77945.2899

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 20/05/2024
Revised: 11/5/2024
Received: 26/1/2024
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

Analyzing the Drivers of the Smart Sustainable Circular Supply Chain Using the Combined Methods of DEMATEL and Adversarial Interpretative Structural Modeling

Salim Karimi Takalo *
Associate Professor in Industrial Management, Faculty of Administrative sciences and economics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

Hamid Sharifi Esfahani
Assistant Professor in Industrial Management, Faculty of Administrative sciences and economics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

Ehsan Bakhshi Khordeh Bolagh
Master student in Industrial Management, Faculty of Administrative sciences and economics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

Abstract

The purpose of this research was to identify and analyze the drivers of the smart sustainable circular supply chain. Twelve samples were selected by the snowball method from among industry experts in the edible oil sector. Drivers were finalized with expert opinions and analyzed using the DEMATEL and AISM methods. The results showed that organizational competence and human resource competence are the most effective drivers, while economic sustainability and environmental sustainability drivers have the highest levels of effectiveness compared to other drivers. According to the results of the research, officials in the edible oil industry should pay special attention to organizational competence to advance towards a sustainable and smart circular supply chain, as this driver has the greatest impact compared to others.

* Corresponding Author: s.karimi@vru.ac.ir
How to Cite: Karimi Takalo, S., Sharifi Esfahani, H., Bakhshi Khordeh Bolagh, E. (2024). Analyzing the Drivers of the Smart Sustainable Circular Supply Chain Using the Combined Methods of DEMATEL and Adversarial Interpretative Structural Modeling, *Industrial Management Studies, 22(73),* 241-285.

Introduction

Although the intelligentization of the sustainable circular supply chain is very important, the interaction between the dimensions of sustainability, circular economy, and Industry 4.0 has not been widely studied so far because they are new concepts. Additionally, the interaction between the supply chain, sustainability, circular economy, and Industry 4.0 has not been investigated in the literature. The edible oil supply chain, like other agricultural supply chains, has multiple links and stakeholders as well as complex conditions. There are many challenges, such as product development stages, compliance with quality standards, and monitoring the efficiency of the edible oil supply chain (Salah et al., 2019). Industries are seeking innovative solutions to solve these problems (Ranjbar et al., 2022). Incorporating smart technologies into the edible oil supply chain can help the Food and Drug Administration and edible oil factories gain a better understanding of their operations and thereby gain more control over their supply chain (Awwad et al., 2018). On the other hand, due to waste and production of waste in the edible oil industry, the food system should benefit from the circular economy. Also, the food system is closely related to sustainability because the production of edible oil must respond to current population demand while also considering future needs (Derqui et al., 2016), which leads to increased competition for increasingly scarce resources. All the above cases highlight the importance of focusing on the intelligent sustainable circular supply chain. Although the intelligentization of the sustainable circular supply chain is crucial, the interaction between the dimensions of sustainability, circular economy, and Industry 4.0 has not been widely studied so far due to their newness. Additionally, the interaction between the supply chain, sustainability, circular economy, and Industry 4.0 has not been explored in the literature. Therefore, the aim of this research is to identify and analyze the dimensions of a smart sustainable circular supply chain.

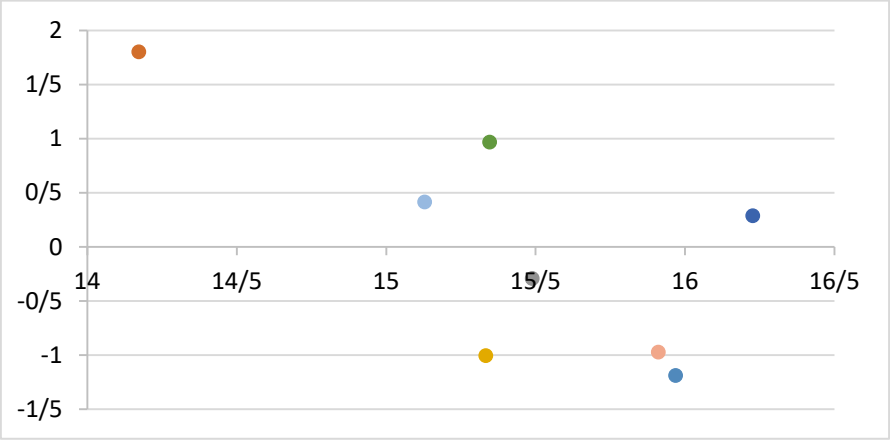
Methodology

The research is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in terms of the nature and method of data collection. The data collection tool was a semi-structured questionnaire. The statistical population of this research comprises university experts and experts in the field of edible oil companies. Twelve experts were selected

through the snowball sampling method. Data review and analysis were conducted in three stages. In the first stage, based on the research literature and expert opinions, drivers of the intelligent sustainable circular supply chain were identified. In the second stage, the DEMATEL method was used, which is an analysis method for complex systems (Yang et al., 2022). In the third stage, the AISM method, an extension of the ISM method, was employed.

Results

In the first stage, according to the research literature and soliciting opinions from experts, the drivers of the smart circular supply chain were identified. These include economic stability (c1), policy and regulations (c2), supply chain connection (c3), social sustainability (c4), organizational competence (c5), human resource competence (c6), information technology competence (c7), and environmental and circular sustainability (c8).



Finger 1: Pattern of communication between drivers

According to Diagram 1, each driver is examined from four aspects. The degree of influence of variables: The sum of the elements in each row (D) for each driver indicates the degree of influence that driver has on other system stimuli. In this research, the motivation of organizational competence has the most impact. The degree of influence of variables: The sum of the elements in column (C) for each factor indicates the degree of influence that factor has on other factors in the system. In this research, economic sustainability is the

most effective driver. The horizontal vector (D + C) shows the influence of the desired factor in the system. In other words, the higher the value of D + C for a factor, the more interaction that factor has with other factors in the system. According to the results, organizational competence has the most influence. The vertical vector (D - C) shows the influence of each factor. Generally, if D - C is positive, the variable is considered a causal variable; if it is negative, it is considered an effect. Based on the results, the drivers of policy and regulation, organizational competence, human resource competence, and technology competence are causal, while economic sustainability, supply chain connection, social sustainability, and environmental and circular sustainability are considered effects. Finally, the leveling of the drivers can be seen in Figure 2.

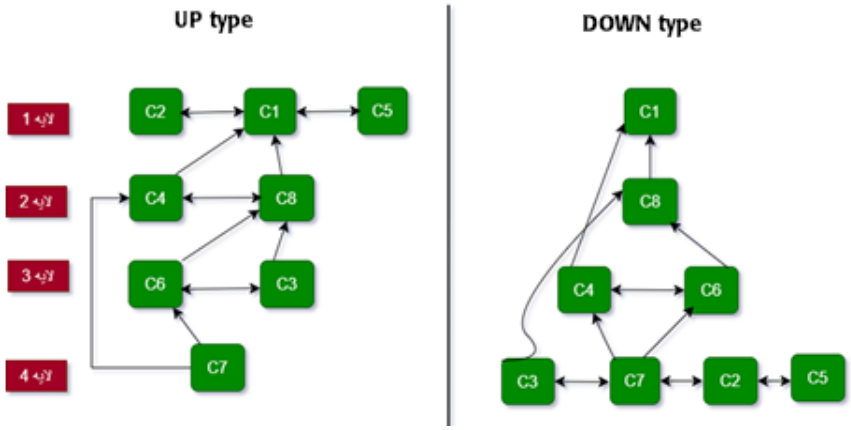


Figure 2: Directional diagram of topological levels based on up type and Down type

Conclusion

The article contributes to the literature by identifying and analyzing the drivers for achieving sustainable goals through the integration of the circular economy and smart technologies in the supply chain within the edible oil industry. Based on the purpose of this research, the drivers identified include economic sustainability, policy and regulations, supply chain connection, social sustainability, organizational competence, human resource competence, and environmental and circular sustainability. The results of this research

can be used in two categories. The first category is the officials of the edible oil industry, who can consider the drivers identified in this research and the levels determined for these drivers in moving towards a sustainable and intelligent circular supply chain in the oil industry. The second category is researchers, who can use the techniques employed in this research to structure problems in future studies. Additionally, to improve the AISM method, it could be upgraded to not only level the stimuli but also determine the weight of the relationships between them. One limitation of this research is the lack of sufficient knowledge among some experts on the subject.

Keywords: Supply Chain, Circular Supply Chain, Sustainable Supply Chain, Sustainable Smart

مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۱/۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۳۱

ISSN: 2251/8029

eISSN: 2476-602X

مطالعات مدیریت صنعتی

سال بیست و دوم، شماره ۷۳، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۴۱ تا ۲۸۵

jims.atu.ac.ir

DOI: 10.22054/jims.2024.77945.2899

واکاوی محرک‌های زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند با استفاده از روش‌های ترکیبی دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری متخاصم

سلیم کریمی تکلو * دانشیار مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

حمید شریفی اصفهانی استادیار مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

احسان بخشی خورده بلاغ دانشجوی کارشناسی‌ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

چکیده

مزیت زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند کمک به اقتصادهای درحال‌توسعه می‌باشد که بیشترین تأثیر را از چالش‌ها و استانداردهای در حال تغییر صنعت و محیط دارند. هدف از این پژوهش شناسایی و تحلیل محرک‌های زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند بود. براین اساس ۱۲ نمونه به روش گلوله برفی از بین خبرگان صنعت روغن خوراکی انتخاب شد. محرک‌ها با نظر خبرگان نهایی شد و با روش DEMATEL و AISM مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که محرک‌های شایستگی سازمانی و شایستگی منابع انسانی به‌عنوان تأثیرگذارترین محرک‌ها بوده و محرک‌های پایداری اقتصادی و پایداری محیطی بیشترین میزان تأثیرپذیری را نسبت به سایر محرک‌ها دارند. طبق نتایج پژوهش مسئولین صنعت روغن خوراکی برای حرکت به سمت زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند باید شایستگی سازمانی را موردتوجه ویژه قرار دهند زیرا این محرک بیشترین میزان تأثیرگذاری را نسبت به سایر محرک‌ها دارد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین، زنجیره تأمین دایره‌ای، زنجیره تأمین پایدار، پایدار هوشمند.

* نویسنده مسئول: s.karimi@vru.ac.ir

مقدمه

بر اساس گزارش سازمان ملل، پیش‌بینی می‌شود که جمعیت جهان در سال ۲۰۳۰ به ۸,۵ میلیارد نفر برسد. این رشد جمعیت، تقاضا برای منابع طبیعی را افزایش خواهد داد و به‌طور بالقوه می‌تواند منجر به عواقب فاجعه‌بار زیست‌محیطی شود (Balestrucci, 2020). یکی از راه‌های مرتفع کردن این چالش جهانی، اقتصاد دایره‌ای[1] (CE) است. اقتصاد دایره‌ای ازنظر مدیریت زیست‌محیطی، جایگزین بهتری برای اقتصاد خطی است که امروزه به‌طور گسترده استفاده می‌شود (Werning & Spinler, 2020). برخلاف اقتصاد خطی، اقتصاد دایره‌ای از تولید زباله جلوگیری می‌کند و استفاده مجدد از منابع را بهبود می‌بخشد (Kayikci et al., 2022). اقتصاد دایره‌ای یک مدل اقتصادی است که هدف آن استفاده مؤثر از منابع طبیعی برای به حداقل رساندن زباله، گسترش چرخه عمر محصول و حذف منابع اولیه، اجزای محصولات و مواد در زمینه پایداری زیست‌محیطی و مزایای اجتماعی و اقتصادی است (Morseletto, 2020).

اهداف اقتصاد دایره‌ای را می‌توان با مدل‌های تجاری مختلف مانند مدل‌های مصرف مشترک، اصول احیاکننده اقتصاد دایره‌ای شامل تعمیر، نوسازی، ساخت مجدد، جایگزینی، بازسازی، بازیابی و غیره به دست آورد (Sehnem et al., 2022)؛ بنابراین، مفهوم اقتصاد دایره‌ای اغلب به‌عنوان راه‌حلی برای چالش‌های پایداری، مانند تولید ضایعات و کمبود منابع موردتوجه قرار می‌گیرد و همچنین مزایای اقتصادی پایدار را به همراه دارد (Ormazabal et al., 2016; Lieder & Rashid, 2016). ازآنجایی‌که زنجیره تأمین تحت تأثیر اقتصاد دایره‌ای با افزایش هزینه، پیچیدگی، عدم قطعیت و آسیب‌پذیری همراه است، مدیران به دنبال همکاری زنجیره تأمین ارزان‌تر، سریع‌تر و بهتر هستند. برای این منظور توسعه جایگزین‌هایی برای ادغام همکاری زنجیره تأمین پایدار با اصول اقتصاد دایره‌ای لازم است (Genovese et al., 2017).

زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار به‌عنوان یک استراتژی زیست‌محیطی با ترکیب مفاهیم -

1. Circular economy (CE)

پایداری و اقتصاد دایره‌ای حاصل می‌شود و یک رویکرد جدید و دیدگاه قانع‌کننده را به این حوزه با در نظر گرفتن زنجیره تأمین روبه‌جلو و معکوس ارائه می‌دهد (Guide et al., 2003; Guide & Van Wassenhove; 2009 Murthy& Kayikci et al., 2021; Evans, 2016). زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار چرخه ترمیم‌کننده و احیاکننده است که با تکیه بر تفکر دایره‌ای طراحی شده است و به دلیل فلسفه اقتصاد دایره‌ای، به دنبال دستیابی به اقتصاد بدون ضایعات است (Farooque et al., 2019). همچنین برای غلبه بر چالش‌های متعدد دیگر، زنجیره‌های تأمین دایره‌ای باید هوشمندتر باشند (Butner, 2010; Wu et al., 2016). بر اساس نظر برخی از محققین، به دلیل عدم وجود فناوری‌های مدرن و هوشمند، دستیابی به اجرای کامل اصول اقتصاد دایره‌ای در زنجیره‌های تأمین سازمان‌ها بسیار چالش‌برانگیز است (Elia et al., 2017; Piscitelli et al., 2020;Cayzer et al., 2017; Bocken et al., 2016). بنابراین، سازمان‌ها باید برنامه‌های توسعه استراتژیک خود را با گنجاندن اهداف استراتژیک و جهت‌گیری برای پذیرش آسان‌تر فناوری‌های هوشمند مانند صنعت ۴,۰ بهبود بخشند (Pirola et al., 2020).

برای هوشمند سازی زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار، حرکت به سمت فناوری‌های هوشمند در صنعت ۴,۰ اهمیت دارد (Kayikci et al., 2021). فناوری صنعت ۴,۰ دنیای دیجیتال و فیزیکی را باهم ترکیب می‌کند (Rauch et al., 2020; lee et al., 2015). هرچند هوشمند سازی زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار اهمیت زیادی دارد اما تاکنون تعامل بین ابعاد پایداری، اقتصاد دایره‌ای و صنعت ۴,۰ به دلیل اینکه از مفاهیم جدید هستند به‌طور گسترده موردمطالعه قرار نگرفته است. علاوه بر این، تعامل بین زنجیره تأمین، پایداری، اقتصاد دایره‌ای و صنعت ۴,۰ در ادبیات موردبررسی قرار نگرفته است.

در سال‌های اخیر، صنایع غذایی ایران به یکی از مهم‌ترین صنایع کشور تبدیل‌شده و جایگاهی منحصربه‌فرد در توسعه و پیشرفت کشور داشته است (حسینی و شیخی، ۱۳۹۱). در بین صنایع غذایی، صنعت روغن خوراکی اهمیت بالایی دارد، زیرا صنعت مواد غذایی از روغن خوراکی برای فرآوری استفاده می‌کند که سهم قابل‌توجهی در مصرف خانوار ایرانی دارد (Ranjbar et al., 2022). دانه‌های روغنی، روغن خام، کنجاله و روغن نباتی

همگی بازارهای به‌هم‌پیوسته در زنجیره تأمین روغن خوراکی هستند.

زنجیره تأمین روغن خوراکی مانند سایر زنجیره‌های تأمین کشاورزی، دارای حلقه‌ها و ذینفعان متعدد و همچنین شرایط پیچیده‌ای است. ازآنجایی‌که چالش‌های زیادی چون مراحل توسعه محصول، انطباق با استانداردهای کیفیت و نظارت بر کارایی زنجیره تأمین روغن خوراکی وجود دارد (Salah et al., 2019). صنایع به دنبال راه‌حل‌های نوآورانه‌ای هستند که مشکلات آن را مرتفع کنند (Ranjbar et al., 2022). ترکیب فناوری‌های هوشمند در زنجیره تأمین روغن خوراکی می‌تواند به سازمان غذا و دارو و کارخانجات تولید روغن خوراکی کمک کند تا درک بهتری از عملیات خود پیدا کنند و ازاین‌رو کنترل بیشتری را در زنجیره تأمین خود به دست آورند (Awwad et al., 2018). از طرفی به دلیل ضایعات و تولید زباله در صنعت روغن خوراکی، سیستم غذایی بایستی از اقتصاد دایره‌ای بهره ببرد. همچنین سیستم مواد غذایی ارتباط نزدیکی با پایداری دارد، زیرا تولید روغن خوراکی ضمن اینکه بایستی پاسخگوی تقاضای جمعیت فعلی باشد باید به نیازهای آینده نیز توجه کند (Derqui et al., 2016) که منجر به افزایش رقابت برای منابع کمیاب‌تر و بیشتر می‌شود. همه موارد فوق اهمیت توجه به زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند را نشان می‌دهد.

بر این اساس هدف این پژوهش شناسایی و واکاوی اثرگذاری و اثرپذیری محرک‌های زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند و سطح‌بندی آن‌ها است. یکی از روش‌های مؤثر برای بررسی عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر کلیدی یک سیستم (در این پژوهش، زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند) دیمتل (DEMATEL[1]) است (Yang et al., 2022). روش دیمتل می‌تواند درجه تعامل بین محرک‌ها را روشن کند، اما نمی‌تواند رابطه متقابل بین عوامل و سطح‌بندی آن‌ها را آشکار کند. بر این اساس می‌توان از روش‌های ساختاردهی و سطح‌بندی عوامل مانند مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM[2]) و مدل‌سازی ساختاری تفسیری متخاصم (AISM[3]) استفاده کرد. اصل اساسی ISM تجزیه

1. Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory
2. Interpretive structural modelling
3. Interpretive Structure Modeling Method

عناصر تشکیل‌دهنده یک سیستم پیچیده به چندین عنصر فرعی و به دست آوردن یک نمودار سلسله مراتبی منفرد از بالا به پایین است. این روش یک توالی علّی قابل‌دسترس از علت به معلول به دست می‌آورد و آن را در یک گراف توپولوژیکی جهت‌دار سلسله مراتبی بیان می‌کند (Li et al., 2019). روش AISM با بهبود روش ISM، ایده شبکه متخاصم مولد (GAN) [1]را در ISM گنجانده است تا ایده یک بازی متقابل را در بر بگیرد. هسته اصلی آن ایجاد مجموعه‌ای از نمودارهای سلسله مراتبی متخاصم (نمودار از بالا به پایین و پایین به بالا) با اضافه کردن قوانین استخراج سلسله‌مراتب از پایین به بالا به ISM است (Zhang et al., 2022). دلیل اینکه محقق در ترجمه AISM از واژه متخاصم استفاده کرد به‌خاطر دو نوع توپولوژی (از بالا به پایین یعنی از اثرگذاری کم به زیاد و پایین به بالا یعنی تاثیرپذاری کم تا زیاد) که تفسیر متضادی دارند، بود. در مقایسه با قانون استخراج سطح‌بندی منفرد ISM، AISM می‌تواند سلسله‌مراتب (سطح‌بندی) محرک‌ها را به‌طور جامع‌تری منعکس کند و بدون از دست دادن عملکرد سیستم، طبق قوانین استخراج سلسله مراتبی مخالف و ترکیب با ماتریس اصلی، درنهایت یک جفت نمودار توپولوژیکی سلسله مراتبی به دست آورد (Ren et al., 2022). از طرفی مدلAISM فقط می‌تواند رابطه بین تأثیر متقابل محرک‌های تأثیرگذار را منعکس کند، اما نمی‌تواند میزان تأثیر متقابل بین عوامل را نشان دهد. لذا در این پژوهش با ترکیب DEMATEL و AISM نه‌تنها می‌توان میزان تأثیر بین عوامل را تعیین کرد، بلکه می‌توان تأثیر متقابل بین عوامل را آشکار کرد و رابطه علت-معلولی بین عوامل را برای به دست آوردن اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار تعیین نمود.

در ترکیب روش DEMATEL و روش AISM، ساختار سلسله مراتبی و رابطه بین عوامل تأثیرگذار از منظرهای متعدد، مانند رابطه علی بین عوامل و ادغام ایده تقابل بازی (سطح‌بندی از بالا به پایین و پایین به بالا)، تحلیل می‌شود (Bian et al., 2022) تا مبنایی برای مسئولین سازمان غذا و دارو و کارخانجات تولید روغن خوراکی برای تدوین سیاست‌ها و توسعه زنجیره تأمین پایدار دایره‌ای هوشمند باشند.

1. Generative Adversarial Network

ادبیات تحقیق و پیشینه پژوهش

مدیریت زنجیره تأمین پایدار

توجه به محیط‌زیست در رابطه با مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت زنجیره تأمین پایدار نامیده می‌شود. مدیریت زنجیره تأمین در اتخاذ تولید پایدار و بهبود عملکرد سازمان بسیار مهم است (Wu et al., 2016; Shi et al., 2017; Kumar et al., 2020). ادغام مفهوم پایداری با فعالیت‌های کلیدی تجاری مرتبط با مدیریت زنجیره تأمین، مانند تدارکات، لجستیک و مدیریت دانش، منجر به پیدایش یک موضوع حیاتی و چند رشته‌ای شده است که به‌عنوان مدیریت زنجیره تأمین پایدار شناخته می‌شود (Morali & Searcy, 2013).

مدیریت زنجیره تأمین پایدار توسط (Seuring & Müller, 2008) به‌عنوان مدیریت جریانات مواد، اطلاعات، سرمایه و همچنین همکاری بین شرکت‌ها در طول زنجیره تأمین درحالی‌که اهداف هر سه بعد توسعه پایدار را در نظر می‌گیرد، تعریف شده است. به دلیل پیچیدگی روزافزون شبکه‌های عرضه جهانی، توسعه پایدار در بین سازمان‌ها، شرکت‌های چند ملیتی و لایه‌های مختلف زنجیره‌های تأمین برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار در حال افزایش است (Li & Mathiyazhagan, 2018). بسیاری از صاحب‌نظران همچنین تأکید کردند که زنجیره تأمین پایدار فرصت‌های جدیدی را ارائه می‌دهد و دیدگاه جدیدی را برای تولید پایدار نشان می‌دهد (park et al., 2010; Dhakal et al., 2017).

محققان استدلال می‌کنند که سرمایه‌گذاری در طرح‌های پایداری، شرکت را در درازمدت رقابتی و سودآور می‌سازد (Dauvergne & Lister, 2013; Hervani et al., 2005). مدیریت زنجیره تأمین پایدار، به دلیل حجم عظیم زباله‌های جامد تولیدشده توسط فرآیندهای صنعتی و افزایش سطوح آلودگی هوا ناشی از سایر عملیات مدیریت زنجیره تأمین، توجه تولیدکنندگان را به خود جلب کرده است. این منجر به ارزیابی مجدد مواد خام، طراحی مجدد محصول و زنجیره تأمین برای محیط‌زیست می‌شود (Zailani et al., 2012). چالش‌های آینده برای زنجیره تأمین مواد غذایی پیچیده است .شرکت‌ها باید شیوه‌های

مـدیریتی خـود را بـه سـمت اسـتفاده کارآمـدتر از منـابع جهـت توسـعه پایـدار تغییـر دهنـد (Derqui et al., 2016). پایـداری زنجیره‌هـای تـأمین مـواد غـذایی، موضـوع پیچیـده‌ای اسـت کـه خواسـتار شـیوه‌هایی از پایـداری اسـت کـه می‌توانـد بـه‌طور واقعی‌تـر توسـط سـازمان‌هایی کـه در بخـش مـواد غـذایی فعالیـت می‌کننـد قابل‌دسـتیابی باشـد. ایـن بخـش بـا چـالش‌هـای قابـل‌توجهی مواجـه اسـت کـه ناشـی از دسترسـی محـدود بـه منـابع طبیعـی بـرای تولیـد مـواد غـذایی از یک‌سـو و افـزایش مسـتمر مصـرف مـواد غـذایی دیکتـه شـده توسـط رشـد سـریع جمعیـت از سـوی دیگـر اسـت (Hertel, 2015). در ایـن زمینـه، ضـایعات مـواد غـذایی نشـان‌دهنده یـک مشـکل عمـده اسـت کـه باید به‌طور مؤثرتر موردتوجه قرار گیرد (Read et al., 2020).

یک زنجیره تأمین پایدار در مواد غذایی باید مبتنی بر کارایی استفاده از منابع باشـد تـا تأثیر آن بر محیط‌زیست را به حـداقل برسـاند (Mena et al., 2011; Deutz & loppolo, 2015) و البته ضایعات در اینجا نقشی حیاتی دارند. کاهش ضایعات غذایی می‌تواند بخشـی از راه‌حل برای امنیت غذایی و چالش‌های زیست‌محیطی باشـد، یعنـی نیـاز بـه تغذیـه بیشـتر افراد درحالی‌که زنجیـره ارزش غـذایی را ازنظـر زیسـت‌محیطی پایـدارتر و انعطاف‌پـذیرتر می‌کند.

زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار

زنجیره تأمین دایره‌ای مفهومی است که بر ایجاد یک سیسـتم حلقـه بسـته در زنجیـره تأمین تمرکز دارد که در آن ضایعات به حداقل می‌رسـد و منـابع مورداسـتفاده مجـدد قـرار مـی‌گیرنـد. ایـن نـوع زنجیـره تـأمین شـامل طراحـی محصـولاتی اسـت کـه بـه‌راحتی قابـل جداسازی و بازیافت هسـتند و اجـرای شـیوه‌های پایـدار در سراسـر زنجیـره تـأمین را میسـر می‌سازند. درواقع زنجیره تأمین دایره‌ای به‌عنوان یک رویکـرد جدیـد در مـدیریت زنجیـره تأمین باعـث افـزایش کارآمـدی و کـاهش هزینـه‌هـا در اقتصـاد دایـره‌ای مـی‌شـود. اصـول احیاکننده و ترمیم‌کننده زنجیره تأمین دایره‌ای امکان استفاده مجدد از مـواد را فـراهم مـی-کند و درنتیجه اسـتفاده از مـواد ضـروری را بـه حـداقل مـی‌رسـاند و پایـان عمـر ضـایعات

غیرضروری محصولات را حذف می‌کند (Mhatre et al., 2021). در ۲۰ سال اخیر، بیشتر تحقیقات در زمینه زنجیره تأمین پایدار، روی جنبه زیست‌محیطی آن متمرکز بوده است. محیط‌زیست یکی از عناصر کلیدی از مؤلفه‌های سه‌گانه پایداری و یک واسطه برای موضوعاتی مانند تغییرات آب‌وهوا و افزایش قیمت انرژی بوده است.

اقتصاد دایره‌ای باید با فرآیندهای موجود در زنجیره تأمین مواد غذایی یکپارچه شود. بنابراین، محرک‌های مختلفی مانند افزایش آگاهی مصرف‌کننده، ارائه غذای باکیفیت و سالم، افزایش کارایی مواد و مصرف انرژی و بهبود بهره‌وری با استفاده از ابزار و مدل‌های تصمیم‌گیری هوشمند برای حرکت به سمت زنجیره تأمین غذایی دایره‌ای وجود دارد. علاوه بر این، مدیریت زنجیره تأمین غذایی به دلیل رشد فزاینده جمعیت و افزایش تقاضای مواد غذایی، شهرنشینی و تغییر رفتارهای مصرف، ضایعات مواد غذایی به‌شدت در جهان افزایش یافته است (Ada et al., 2021; Priefer et al,2016). بنابراین، این مشکل به یک مشکل جهانی تبدیل می‌شود که هم کشورهای توسعه‌یافته و هم کشورهای درحال‌توسعه را در یک مسیر مشابه در مورد مسائل ایمنی، امنیت و پایداری مواد غذایی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ranjbar et al., 2022) و نیاز به زنجیره تأمین پایدار با رویکرد اقتصاد دایره‌ای نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد مدیریت زباله به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های بالقوه برای گذار به سمت اقتصاد دایره‌ای در زنجیره تأمین پایدار صنعت غذایی است (Jurgilevich et al., 2016).

زنجیره تأمین هوشمند پایدار

زنجیره تأمین هوشمند استفاده از فناوری‌های پیشرفته، به‌ویژه فناوری اطلاعات و ارتباطات در حال ظهور، برای پیوند دادن فرآیندها در شرکای مختلف یک زنجیره تأمین برای تشکیل یک سیستم متصل هوشمند است (Wu et al., 2016). مفهوم زنجیره تأمین هوشمند با استفاده از فناوری‌های هوشمند به‌عنوان توانمندسازهای کلیدی برای بهبود عملکرد انعطاف‌پذیری، شفافیت، پاسخگویی، یکپارچگی و همکاری زنجیره تأمین پیشنهاد شد (Da Silva et al., 2019).

زنجیره تأمین هوشمند به دلیل امکان‌سنجی در دستیابی به منافع اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به‌تدریج به یک استراتژی اصلی شرکت برای افزایش توسعه پایدار تبدیل‌شده است (Büyüközkan & Göçer, 2018). تولید هوشمند با انقلاب صنعت ۴,۰ فعال می‌شود که به‌طور سیستماتیک فناوری تولید و مدیریت عملیات پیشرفته را برای افزایش کارایی تولید، کاهش مصرف انرژی و کاهش قیمت‌ها با استفاده از فناوری‌های کارآمدتر و فرآیندهای پایدار یکپارچه می‌کند. صنعت ۴,۰ نشان‌دهنده گروهی از فناوری‌های پیشرفته است که می‌توانند نقش مهمی در زنجیره تأمین داشته باشند. چنین فناوری‌هایی را می‌توان در عملکردهای مختلف کسب‌وکار، با تأثیرات قوی بر محصولات، فرآیندها، کارخانه‌ها و زنجیره‌های تأمین به کار برد (Manavalan & Jayakrishna, 2019).

جهانی‌شدن و تغییر مداوم ترجیحات مشتری به‌طور فزاینده‌ای بر زنجیره‌های تأمین مواد غذایی، برای تولید و توزیع مواد غذایی با کیفیت بالا و ایمن به شیوه‌ای کارآمد فشار می‌آورد. یکی از راه‌های امیدوارکننده برای دستیابی به این اهداف، پذیرش فناوری‌های صنعت ۴,۰، مانند اینترنت اشیا (IoT)، بلاک چین، روبات‌های مستقل، هواپیماهای بدون سرنشین و همچنین تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ برای حمایت از تصمیم‌گیری است. تمرکز بر پایداری در صنعت غذا به دلیل ارتباط نزدیک و وابستگی به منابع طبیعی یک اولویت است. هوشمند شدن زنجیره تأمین، توسعه پایدار صنعت غذایی را تسریع کرده و به حفظ وابستگی منابع طبیعی کمک می‌کند. هوشمندی جزء کلیدی توسعه پایدار هستند، زیرا مهارت‌ها برای شناسایی و اجرای راه‌حل‌های پایدار استفاده می‌شوند (Ranjbar et al., 2022). هوشمندی زنجیره تأمین و اقتصاد دایره‌ای در صنعت غذایی راه‌حل‌های حیاتی برای ضایعات مواد غذایی و از دست دادن مواد غذایی و محرک‌های بالقوه پایداری در نظر گرفته می‌شوند.

پیشینه پژوهش

آدا و همکاران (Ada et al., 2023) در پژوهشی به حرکت به سمت زنجیره تأمین پایدار

دایره‌ای در مواد غذایی بر اساس فناوری دیجیتال پرداختند. این مطالعه یک مرور ادبیات سیستماتیک، محرک‌های گذار به اقتصاد دایره‌ای در زنجیره‌های تأمین مواد غذایی را در پنج دسته اصلی ارائه دادند. این تحقیق به ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی، تکنولوژی، مدیریت زنجیره تأمین و مقررات اجتماعی اشاره نمود.

آدا و همکاران (Ada et al., 2021) در زنجیره تأمین دایره‌ای مواد غذایی صنعت ۴ به موانعی اشاره می‌کند که برطرف کردن آن‌ها می‌تواند مسیر حرکت به سمت هوشمند بودن زنجیره تأمین دایره‌ای را مهیا کند. نتایج این پژوهش موانع مهارت و دانش، مدیریت زنجیره تأمین، فنی، مدیریتی، فرهنگی، حوزه مالی کسب‌وکار و قوانین و مقررات دولتی را در زنجیره تأمین دایره‌ای در صنعت ۴ را نشان می‌دهد.

شکویار و همکاران (Shokouhyar & Pahlevani, 2019) در پژوهشی یک ساختار از شیوه‌های زنجیره تأمین هوشمند و پایدار بر اساس دیدگاه رابطه‌ای با روش نقشه شناختی فازی ارائه دادند. یافته‌های نتایج پژوهش ارتباط هفت بعد اینترنت اقتصادی اشیا، اینترنت سبز اشیا، اینترنت اجتماعی اشیا، زنجیره تأمین اقتصادی، زنجیره تأمین سبز، زنجیره تأمین اجتماعی و سایر متغیرها را برای زنجیره تأمین پایدار هوشمند ارائه داد.

کومار و همکاران (Kumar et al., 2024) به موانع سازگاری صنعت ۴ با زنجیره تأمین غذایی پایدار پرداختند. تجزیه‌وتحلیل علت- معلولی موانع را با روش DEMATEL انجام دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نابالغی فن‌آوری، سرمایه‌گذاری بالا، عدم آگاهی و پذیرش مشتری، محدودیت‌های تکنولوژیکی و فقدان نوآوری زیست‌محیطی را به‌عنوان برجسته‌ترین موانع برای پذیرش صنعت ۴ در زنجیره تأمین پایدار مواد غذایی نشان داد.

در پژوهشی لاولی (Lavelli, 2021) به زنجیره تأمین دایره‌ای در سیستم مواد غذایی متمرکز شد. او به تأثیر افزایش پیچیدگی زنجیره‌های تأمین دایره‌ای بر ایمنی مواد غذایی و ارائه راه‌حل‌های مدیریتی در این زمینه پرداخت. نتایج پژوهش او نشان داد که زنجیره‌های تأمین مواد غذایی دایره‌ای می‌تواند به‌طور بالقوه غذاهای با ارزش‌افزوده تولید کنند. بااین‌حال، حلقه‌های جدید در زنجیره تأمین مواد غذایی نیز می‌تواند خطرات جدیدی را به

همراه داشته باشد. سیستم مدیریت در یک زنجیره تأمین دایره‌ای باید فراتر از سطح شرکت تصور و پیاده‌سازی شود و تمام شرکای تجاری را درگیر کند تا از شفافیت بالا، اتصال متقابل و درنتیجه کارآمدی اطمینان حاصل شود.

کومار و همکاران (Kumar et al., 2022) در ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین پایدار دایره‌ای در مواد غذایی ۱۶ شاخص ازجمله عملکرد محیطی، اقتصادی، اجتماعی، جنبه دایره‌ای، منابع انسانی، مدیریت ضایعات و غیره را در نظر گرفتند که شاخص اقتصادی و محیطی در رتبه بالا قرار داشتند.

بیگلیاردی و همکاران (Bigliardi et al., 2024) یک مرور سیستماتیک در زمینه اقتصاد دایره‌ای در زنجیره تأمین مواد غذایی انجام دادند. در این تحقیق، یک مرور ادبیات برای ارائه یک نمای کلی از وضعیت فعلی اقتصاد دایره‌ای در زنجیره تأمین غذا انجام شد. طبق نتایج سه خط تحقیق در این حوزه امکان‌پذیر کرد: (الف) اقتصاد دایره‌ای به‌عنوان ابزاری برای ارتقای پایداری در زنجیره تأمین مواد غذایی ب) فناوری‌های صنعت ۴,۰ و (ج) بسته‌بندی مواد غذایی پایدار. این پژوهش به‌خوبی اهمیت توجه به هوشمند سازی و پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی را بیان می‌کند.

کایوکچی و همکاران (Kayikci et al., 2022) آمادگی دستیابی به زنجیره تأمین دایره‌ای هوشمند را در صنایع کوچک و متوسط را موردبررسی قرار دادند. این مطالعه شرکت‌کنندگان اکوسیستم زنجیره تأمین (به‌عنوان‌مثال، ذینفعان) و دیدگاه‌های چندلایه آن‌ها را برای ارائه دیدگاهی جامع از زنجیره تأمین موردبررسی قرار دادند و ابعاد آمادگی صنایع برای رسیدن به زنجیره تأمین دایره‌ای هوشمند، ابعاد اقتصادی، سیاسی، اجتماعی، محیطی، فرایندی، تکنولوژیک و استراتژی را شناسایی کردند.

درکویو و همکاران (Derqui et al., 2016) در پژوهش خود با عنوان حرکت به سمت زنجیره تأمین مواد غذایی پایدار پرداختند. در این مطالعه خطا در برنامه‌ریزی تقاضا، مدیریت ضعیف، ذخیره، حمل‌ونقل و مدیریت ضایعات را شناسایی نمودند. ازنظر آن‌ها مدیریت این ابعاد زنجیره تأمین پایدار مواد غذایی را بهبود خواهد داد.

در پژوهشی زامفیر (Zamfir et al., 2017) چارچوب‌های تصمیم‌گیری شرکتی را برای اجرای اصول اقتصاد دایره‌ای، بر اساس شرکت‌های کوچک و متوسط اروپایی موردمطالعه قرار دادند. مطالعه آن‌ها دیدگاه روشنی از رابطه بین پویایی شرکت‌های کوچک و متوسط اروپایی و اصول اقتصاد دایره‌ای ارائه می‌دهد.

امیری و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی با عنوان طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته، به اهمیت طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس و حلقه بسته باوجود عدم قطعیت‌های ذاتی در پارامترهای ورودی صنعت روغن خوراکی پرداختند. در این پژوهش از مدل‌های ریاضی برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین استفاده شد.

باتیستا و همکاران (Batista et al., 2018) یک الگویی برای ادغام مفاهیم اقتصاد دایره‌ای و زنجیره تأمین در یک مدل زنجیره تأمین دایره‌ای با استفاده از چهار روایت زنجیره تأمین پایدار پیشین ایجاد کردند: لجستیک معکوس، زنجیره تأمین سبز، مدیریت زنجیره تأمین پایدار و زنجیره تأمین حلقه بسته. آن‌ها در بهبود پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی با رویکرد اقتصاد دایره‌ای به سناریوهای فعلی و آینده ضایعات مواد غذایی پرداختند و شاخص‌های اصلی ضایعات مواد غذایی را معرفی نمودند

دوبی و همکاران (Dubey et al., 2019) شیوه‌های مدیریت ارتباط با تأمین‌کننده را برای اقتصاد دایره‌ای در یک شبکه تأمین پایدار تحت تأثیر فشارهای خارجی و تعهد مدیریت ارشد بررسی کردند.

چهارچوب مطالعه سهنم و همکاران (Sehnem et al., 2019) بر موفقیت زنجیره تأمین پایدار با رویکردهای تعالی عملیاتی جدید ساخته شده است. آن‌ها نظریه رده‌های بالا را با عوامل موفقیت حیاتی برای تجزیه‌وتحلیل فرآیند پذیرش سطح بلوغ اقتصاد دایره‌ای ادغام می‌کنند

در پژوهش مرزبان و همکاران (۲۰۲۳) عملکرد زنجیره تأمین پایدار محصولات فاسدشدنی در صنایع غذایی موردتوجه قرار گرفت. در این پژوهش از یک زنجیره تأمین چهار مرحله‌ای از متغیرهای ورودی و خروجی بر اساس محصولات فاسدشدنی و ابعاد سه-

گانه پایداری استفاده شد. جامعه آماری پژوهش شامل کارخانه‌های لبنیاتی و گوشتی از استان فارس بود.

شکاف پژوهشی

بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، تعامل ابعاد پایداری، اقتصاد دایره‌ای و صنعت I4.0 تاکنون به‌طور گسترده موردمطالعه قرار نگرفته است و علیرغم آگاهی روزافزون در مورد مزایای بالقوه فناوری‌های صنعت ۴,۰ در زنجیره تأمین دایره‌ای، پذیرش آن‌ها هنوز در مراحل ابتدایی خود در صنعت غذایی است. با اینکه زنجیره تأمین مواد غذایی توسط همه دولت‌ها به‌عنوان یک زیرساخت حیاتی در نظر گرفته می‌شود اما صنایع غذایی می‌توانند در هر یک از مراحل از تولید تا مصرف دچار اختلال شوند. اختلالات در صنایع غذایی به‌عنوان رویداد شکست مهمی است که یک یا چند مرحله صنعت غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اختلال در صنایع غذایی می‌تواند باعث چالش‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و سیاسی شود. تعداد قابل‌توجهی از مقالات در ادبیات وجود دارد (در بخش پیشینه به تعدادی اشاره شده است) که به بررسی موضوعات برجسته مدیریت زنجیره تأمین مانند پایداری، اقتصاد دایره‌ای، صنعت ۴ و اهداف توسعه پایدار در صنعت غذایی می‌پردازند. بااین‌حال، یک رویکرد کل‌نگر که این مفاهیم را به شیوه‌ای نظری و عملی در صنعت مواد غذایی ترکیب کند، در ادبیات وجود ندارد. لذا مجموعه موارد فوق دلیلی بر انجام این پژوهش می‌باشد.

این پژوهش با شناسایی محرک‌های اثرگذار و اثرپذیر در زنجیره تأمین دایره‌ای هوشمند پایدار به دنبال ارائه یک مدل جامع ساختاری از زنجیره تأمین دایره‌ای هوشمند پایدار در صنعت روغن خوراکی است.

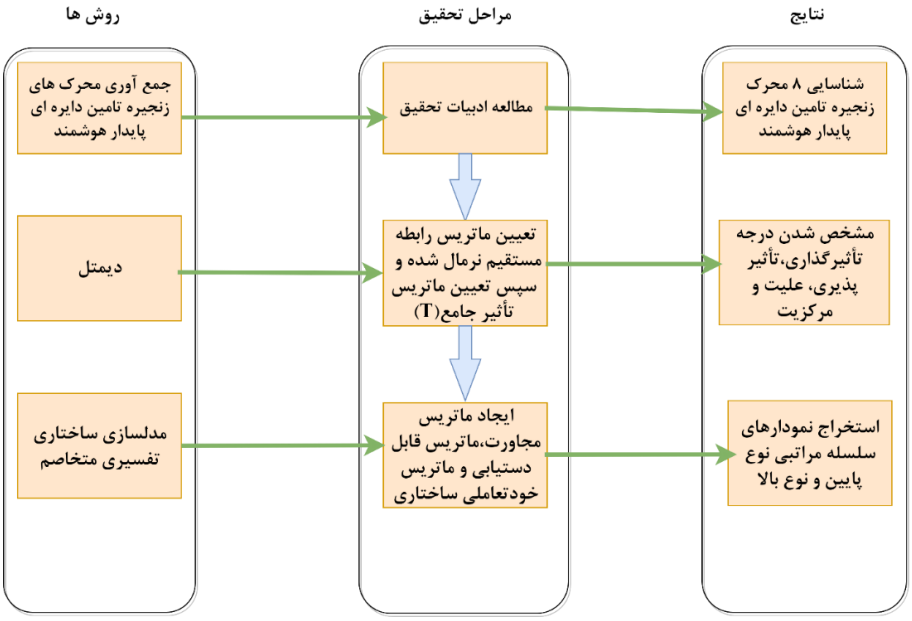
روش

ازآنجایی‌که پژوهش حاضر درصدد شناسایی و مدل‌سازی محرک‌های زنجیره‌تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند در صنعت روغن خوراکی بوده است. ازاین‌رو، نوع پژوهش، ازنظر

هدف کاربردی و به لحاظ ماهیت و روش گردآوری داده‌ها توصیفی-تحلیلی می‌باشد. ابزار گردآوری داده‌ها پرسش‌نامه نیمه‌ساختار یافته بود. جامعه آماری این پژوهش خبرگان و صاحب‌نظران دانشگاهی (شامل: متخصصان در رشته‌های مهندسی صنایع، مهندسی صنایع غذایی و اقتصاد کشاورزی از سازمان غذا و دارو، کارخانجات صنایع روغن خوراکی و دانشگاه‌ها) در زمینه شرکت‌های روغن خوراکی است که ۱۲ نفر از خبرگان از طریق روش نمونه‌گیری گلوله برفی انتخاب شد. معیار انتخاب خبرگان داشتن حداقل ۵ سال سابقه کار، آشنایی با موضوع (داشتن مقاله، سخنرانی و سمینار) و داشتن مسئولیت در زمینه صنعت روغن خوراکی و سازمان غذا و دارو است.

بررسی و تحلیل داده‌ها در سه مرحله انجام شد. در مرحله اول بر اساس ادبیات تحقیق ۶۴ مقاله در زمینه موضوع تحقیق با کلیدواژه‌های زنجیره تأمین پایدار، زنجیره تأمین دایره‌ای، زنجیره تأمین هوشمند و ترکیب آن‌ها بررسی شد و درنهایت ۱۴ مقاله مرتبط با صنعت غذا و دارو انتخاب شد. با استخراج محرک‌های زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند از مقالات و نظرخواهی از خبرگان محرک‌های نهایی زنجیره‌تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند شناسایی شد که در جدول ۱ قابل‌مشاهده است. در مرحله دوم از روش دیمتل DEMATEL که یک روش تحلیل برای سیستم‌های پیچیده است استفاده شد. روش DEMATEL رویکردی برای تعیین ویژگی‌های رابطه متقابل عوامل تأثیرگذار با ادغام مرکزیت و علیت ارائه می‌کند. بااین‌حال، مکانیسم تعامل بین عوامل و سطح‌بندی آن‌ها هنوز مشخص نیست. بنابراین در ادامه پژوهش از AISM استفاده شد.

در مرحله سوم از روش AISM که توسعه‌ای از روش ISM است، استفاده شد. در شکل ۱ فرایند انجام پژوهش قابل‌مشاهده است.



شکل ۱. فرایند انجام پژوهش

روش DEMATEL

روش DEMATEL رویکردی برای تعیین ویژگی‌های رابطه متقابل عوامل تأثیرگذار با ادغام مرکزیت و علیت ارائه می‌کند. روش DEMATEL از امتیازدهی متخصص برای ایجاد یک ماتریس تأثیر مستقیم از عوامل با ذهنیت قوی استفاده می‌کند. مراحل تجزیه‌وتحلیل DEMATEL در ادامه آمده است.

مرحله ۱. ماتریس رابطه مستقیم نرمال شده (N)

ماتریس ارتباط مستقیم M با توجه به کدگذاری روابط علی ساخته شد. سپس، طبق رابطه (۱)، ماتریس تأثیر مستقیم M پردازش می‌شود و ماتریس رابطه مستقیم نرمال شده N ایجاد می‌شود (Zhang etc al, 2022).

$$N=\frac{M}{\max\limits_{n\le i\le 1}\sum_{J=1}^{n} m_{ij}}. \qquad (1)$$

مرحله ۲. تعیین ماتریس تأثیر جامع (T)

ماتریس تأثیر مستقیم، فقط رابطه مستقیم بین عوامل را منعکس می‌کند درحالی‌که باید رابطه غیرمستقیم بین عوامل نیز باید در نظر گرفته شود. با توجه به رابطه (۲)، ماتریس تأثیر جامع T که می‌تواند رابطه جامع بین عوامل مختلف را منعکس کند، به دست آمد:

$T=N(I-N)^{-1}$ (۲)

مرحله ۳. تعیین درجه تأثیرگذاری، تأثیرپذیری، علیت و مرکزیت

پس از تعیین ماتریس تأثیر جامع T، درجه تأثیر D و درجه تأثیرپذیر C را طبق رابطه (۳) و (۴) محاسبه می‌شود:

$$D_i = \sum_{j=1}^{n} t_{ij}, i = 1,2,\dots,n \quad (۳)$$

$$C_j = \sum_{i=1}^{n} t_{ij} \; j = 1,2,\dots,n \quad (۴)$$

جایی که در آن مقدار Di تأثیر جامع عامل i بر سایر عوامل را نشان می‌دهد و Cj نشان‌دهنده ارزش تأثیر کل سایر عوامل بر عامل j است.

درجه علیت R و درجه مرکزیت M برای عامل i ام را می‌توان با توجه به روابط (۵) و (۶) محاسبه کرد:

$$R_{i=}D_i - C_{i,} \quad (۵)$$

$$M_{i=}D_i + C_i \quad (۶)$$

علیت نشان می‌دهد که یک عامل به‌شدت بر سایر عوامل تأثیر می‌گذارد و عامل علی نامیده می‌شود. برعکس این حالت، عامل حاصل یا وابسته نامیده می‌شود. مرکزیت هم نشان‌دهنده اهمیت این عامل در سیستم است.

روش AISM

روش AISM برای اولین با توسط ژای ژایلین (Xie Xilin, 2019) به زبان چینی در رساله بکار گرفته شد و سپس توسط پژوهشگرانی چون بیان و همکاران (Bian et al., 2022)،

ژینـک و همکـاران (Xing et al., 2023)، و رن و همکـاران (Ren et al., 2022)، لـی و همکاران (Li et al., 2024) در تحقیقات بکار گرفته شد. این روش عناصـر تشـکیل‌دهنـده یک سیستم پیچیده را به عناصر کوچک‌تر تجزیه می‌کنـد و آن عناصـر را در سلسـله‌مراتب علت و معلولی از طریق یک سری عملیـات صـفر و یـک و توپولـوژیکی مرتـب مـی‌کنـد. سپس نمودار سلسله مراتبی ساختار توپولوژیکی را ارائه می‌کنـد. روش AISM را مـی‌تـوان به‌طور مشترک برای ارائه نمودارهای سلسله مراتبی توپولـوژیکی متخاصـم اسـتفاده کـرد و به‌صورت بصـری مسـیرهای علیـت و معلـول را در بـین عوامـل ارائـه کـرد. ماهیـت ترسـیم سلسـله‌مراتب (سـطح‌بنـدی عوامـل) توپولـوژی جهـت‌دار در ایـن تکنیـک، بـر اسـاس سلسله‌مراتب بالا به پایین و پایین به بالا، با معرفی روش استخراج سلسله مراتبی که برعکس تکنیک تقسیم سلسله مراتبی کلاسیک مدل ISM است، می‌باشد. پس‌ازآن، مکانیسم تعامل بین عوامل تأثیرگذار را می‌توان به‌صـورت سـاختاری تحلیـل کـرد. در ادامـه مراحـل روش AISM آورده شده است:

مرحله ۱. ایجاد ماتریس مجاورت (A)

مرکزیت (M) و قـدر مطلـق علیـت ($|R|$) همـه عوامـل، مـاتریس تصـمیم $D_{N\times 2}$ را تشـکیل می‌دهد. بر اساس اولویت جزئی(p_o)، مـاتریس مجـاورت $A=(a_{ij})_{n\times n}$ را مـی‌تـوان بـا مقایسه زوجی ($M,|R|$) بین عوامل (همان‌طور که در رابطه زیر نشـان داده شـده اسـت) بـه دست آورد. ترتیب جزئـی بـه شـرح زیـر توصـیف شـد: بـرای هـر دو عامـل F_i و Fj،اگـر $P_0(i\to j)=F_j<F_i$ تنها در صورتی رخ می‌دهد که $Mj<Mi$ و $|R_j|<|R_i|$ ، یعنی فاکتور Fi ازنظر شایستگی بر فـاکتور Fj برتـری دارد. بنـابراین، مـاتریس A یـک مـاتریس صفر و یک است (Wang et al., 2022).

$$a_{ij}=\begin{cases}1, & if\ po_{(i\to j)}\\ 0, & if\ po_{(i\to j)and\ there\ is\ no\ comparitive\ merit\ between\ f_i\ .and\ f_j}\end{cases}$$

مرحله ۲. تعیین ماتریس قابلیت دسترسی k و ماتریس خود تعاملی ساختاری S

با افزودن ماتریس مجاورت A به ماتریس یکـه (I)، مـاتریس B بـه دسـت آمـد (رابطـه ۷).

ماتریس قابل‌دستیابی K با چندین بار ضرب ماتریس B در خودش به دست آمد (رابطه ۸). درواقع، K = B است. ماتریس خود تعاملی ساختاری S طبق معادله (۹) محاسبه شد.

$$B = A + I \qquad (۷)$$

$$B^{K-1} \neq B^{K} = B^{K+I} = K \qquad (۸)$$

$$S = K - (K - I)^2 - I \qquad (۹)$$

مرحله ۳. استخراج سلسله‌مراتب محرک‌ها

یک مجموعه قابل‌دستیابی R، یک مجموعه مقدم Q و یک مجموعه مشترک $T = R \cap Q$ برای ماتریس‌های صفر و یک بالا وجود دارد. با در نظر گرفتن ماتریس قابل‌دسترس K به‌عنوان‌مثال، شرایط زیر برای عنصر e_i در آن وجود دارد:

الف) مجموعه قابل‌دسترس $R(e_i)$ مجموعه‌ای از تمام عناصر مربوط به سطر با مقدار ارزش ۱ است.

ب) مجموعه قبلی $Q(e_i)$ مجموعه تمام عناصر مربوط به ستون با مقدار ارزش ۱ است.

ج) مجموعه مشترک $T(e_i) = R(e_i) \cap Q(e_i)$.

د) نمودارهای سلسله مراتبی توپولوژیکی متخاصم

نمودارهای سلسله‌مراتب توپولوژیکی متخاصم از سلسله‌مراتب توپولوژیکی نوع بالا به پایین و نوع پایین به بالا تشکیل شده است. سلسله‌مراتب توپولوژیکی نوع بالا به پایین که به‌عنوان استخراج سلسله مراتبی نتیجه اول نیز نامیده می‌شود، از قانون استخراج $T(e_j) = R(e_i)$ پیروی می‌کند. فاکتورهای نتیجه نهایی ابتدا استخراج و در سطح بالایی قرار گرفتند و سپس فاکتورهای سایر لایه‌های پایین‌تر را می‌توان با قیاس استخراج کرد. سلسله‌مراتب توپولوژیکی نوع پایین به بالا، یا استخراج سلسله‌مراتب سطح اول، از قانون $T(e_i) = Q(e_i)$ پیروی می‌کند. برعکس نوع بالا به پایین، ابتدا عوامل ریشه‌ای استخراج‌شده در سطح زیرین قرار می‌گیرند و سپس عوامل لایه‌های بالاتر را می‌توان با قیاس استخراج کرد. نمودارهای توپولوژیکی به‌صورت سلسله‌مراتبی بر اساس ماتریس S +

I استخراج شدند و روابط دستیابی بین عوامل را می‌توان با فلش نشان داد.

عوامل در پایین‌ترین سطح در هر دو نمودار سلسله مراتبی توپولوژیکی نوع بالا و نوع پایین نشان‌دهنده علت هستند. درحالی‌که عوامل در سطح‌های بالایی نتیجه (معلول) را نشان می‌دهند. بنابراین، عوامل تأثیرگذار به سه مجموعه تقسیم شدند:

۱- عوامل تأثیرگذار مستقیم که بیشترین تأثیر را بر روی موضوع دارند (سطح بالایی)، ۲- عوامل تأثیرگذار میانی که واسطه بین عوامل تأثیرگذار مستقیم و عامل تأثیرگذار ریشه‌ای هستند (سطح میانی) و ۳- عوامل تأثیرگذار ریشه‌ای که آن‌ها عوامل بهینه پارتو هستند و باید در مدل بالاترین اولویت را داشته باشند (Meng et al., 2022).

یافته‌ها

در مرحله اول با توجه به ادبیات تحقیق و نظرخواهی از خبرگان محرک‌های زنجیره‌تأمین دایره‌ای هوشمند شناسایی شد که شامل محرک‌ها پایداری اقتصادی (c1)، سیاست و مقررات (c2)، اتصال زنجیره‌تأمین (c3)، پایداری اجتماعی (c4)، شایستگی سازمانی (c5)، شایستگی منابع انسانی (c6)، شایستگی فناوری اطلاعات (c7)، پایداری محیطی و دایره‌ای (c8) است. در جدول ۱ محرک‌های زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند نشان داده شده است.

جدول ۱. محرک‌های زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند

محرک‌ها	توضیحات	منابع
پایداری اقتصادی	پتانسیل افزایش پایدار، متعهد و قوی در شیوه‌های دایره‌ای با ارائه کمک‌های مالی به کارکنان. این محرک همچنین شامل هزینه‌های زیست‌محیطی، مانند هزینه‌های مرتبط با زوال فعلی یا آینده منابع طبیعی به دلیل فعالیت‌های اقتصادی هوشمند و اکوسیستم زنجیره تأمین دایره‌های به‌صورت عمودی و افقی است.	Dantas et al. (2021); Chen et al. (2020); Elia et al. (2020)
سیاست و مقررات	قوانین و مقررات و حمایت‌های دولت در زمینه امنیت سایبری و فعالیت‌های دایره‌ای برای رفع بحران‌ها و ضعف‌ها در حین	Nasir et al. (2021); Chen et al. (2020); Tura et al. (2019); Bonilla et al. (2018); Hermann et al.

محرک‌ها	توضیحات	منابع
	برنامه‌ریزی عملیات دایره‌ای هوشمند اکوسیستم انجام می‌شود به‌صورت عمودی و افقی با رعایت قوانین موجود ضروری است. علاوه بر این، قیمت‌گذاری، مالیات و یارانه‌های مردمی استراتژی‌های مفید برای هدایت رفتارهای مصرفی در جهت چرخش پایدار هستند.	(2016); Bai et al. (2015); Kagermann(۲۰۱۵)
اتصال زنجیره تأمین	در نظر گرفتن سیاست سازمانی در پیاده‌سازی‌های صنعت 4.0 و تشدید پایداری زنجیره تأمین، مستلزم و همکاری بین‌المللی بین اعضای عمودی و افقی اکوسیستم زنجیره تأمین و درعین‌حال افزایش رضایت مصرف‌کننده به محیط‌زیست از محصولات و فرآیندهای تولیدی و پایدار با تقویت هوشمندی است.	Badraoui et al. (2021); Nasir et al. (2021); Elia et al. (2020); Tura et al. (2019); Müller et al. (2018)
پایداری اجتماعی	کاهش مواد مضر یا استفاده از مواد و فرآیندهای حلقوی غیرشیمیایی با استانداردهای مناسب برای سلامت و ایمنی پایدار برای کارکنان. همچنین، یک اکوسیستم زنجیره تأمین پایدار دایره‌ای هوشمند، مصرف مواد خطرناک را در عملیات زنجیره تأمین عمودی و افقی کاهش می‌دهد تا محیط‌زیست عاری از آلودگی فراهم کند و درعین‌حال جهانی‌شدن و جهانی آگاهی از نیاز به پایداری را افزایش دهد.	Fatimah et al. (2020); Tura et al. (2019); Luthra and Mangla (2018); Murray et al. (2017); Wolf (2017)
شایستگی سازمانی	تشخیص، شناسایی و مدیریت ریسک‌های زنجیره تأمین، انتشارات متنوع و فعالیت‌های منشأ آن‌ها را می‌توان به دلیل پایداری یکپارچه، دایره‌ای بودن در اکوسیستم زنجیره تأمین هماهنگ، و همکاری و هماهنگی پیشرفته از طریق شفافیت که توسط فناوری‌های هوشمند هدایت می‌شود، کشف کرد. علاوه بر این، پشتیبانی بالا، تعهد و مشارکت مدیریت ارشد، نوآوری، زیرساختی را برای بهبود شیوه‌های دایره‌ای و افزایش عملکرد آن‌ها فراهم می‌کند.	Nasir et al. (2021); Elia et al. (2020); Bag et al. (2018); Müller et al. (2018); Savtschenko et al. (2017)
شایستگی منابع انسانی	افزایش دانش، آموزش و تخصص نیروی کار در اکوسیستم زنجیره تأمین با ارائه فناوری مناسب، و آگاهی عمومی از آموزش چرخشی و مفاهیم پایداری،	Liboni et al. (2019); Lopes de Sousa Jabbour et al. (2018); Fettermann et al. (2018); Schuster et al. (2016)

محرک‌ها	توضیحات	منابع
	افکـار را بـه سـمت رفتـار مسـئولانه نسـبت بـه مسـائل زیست‌محیطی به‌صورت عمودی و افقی سوق می‌دهد.	
شایستگی فناوری اطلاعات	یک مرکز کاملاً مجهز با پـذیرش فنـاوری‌هـای نوظهـور فناوری‌ها و زیرساخت‌های مبتنی بـر فنـاوری اطلاعـات، شـبکه موردنیـاز، اتصـال، سـازگاری پایـدار و قابلیـت ردیابی اطلاعات را در اکوسیستم زنجیره تأمین عمـودی و افقی و پایدار فراهم می‌کند.	Nasir et al. (2021); Tseng et al. (2021); Chen et al. (2020); Elia et al. (2020); Tura et al. (2019); Lopes de Sousa Jabbour et al. (2018)
پایداری محیطی و دایره‌ای	مسـئولیت زیسـت‌محیطی بـرای پایـداری زیسـت‌محیطی یـک نگرانـی بـزرگ بـرای مصـرف‌کنندگان اسـت. بنابراین، محصولات و خدمات طراحی محیطی دایـره‌ای از طریق عملیات هوشمند با حداقل میزان اثرات زیان‌بـار زیست‌محیطی درنتیجـه همکـاری در اکوسیسـتم زنجیـره تأمین به‌صورت عمودی و افقی طراحی می‌شوند.	Dantas et al. (2021); Nasir et al. (2021); Fatimah et al. (2020); Tura et al. (2019); Ghisellini et al. (2016); Andrews (2015); Linder and Williander (2017); Murray et al. (2017); Moreno et al. (2014)

سپس در مرحله دوم تکنیک دیمتل استفاده شد. جدول ۲ مـاتریس ارتبـاط مسـتقیم (M) را نشان می‌دهد.

جدول ۲. ماتریس ارتباط مستقیم (M)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	۰	۲/۳۳	۳/۵۵	۳/۵۵	۳	۲/۷۷	۲/۸۸	۳/۲۲
C2	۳/۷۷	۰	۲/۸۸	۳/۲۲	۳/۲۲	۳/۲۲	۳/۱۱	۳/۷۷
C3	۳/۶۶	۲/۵۵	۰	۳/۳۳	۳/۲۲	۲/۶۶	۳/۱۱	۳/۴۴
C4	۳/۲۲	۲/۳۳	۲/۷۷	۰	۳/۱۱	۳	۲/۵۵	۳/۵۵
C5	۳/۷۷	۲/۵۵	۳/۳۳	۳/۴۴	۰	۳/۶۶	۳/۶۶	۳/۶۶
C6	۳/۷۷	۲/۶۶	۲/۷۷	۳/۶۶	۳/۸۸	۰	۳/۲۲	۳/۷۷
C7	۳/۵۵	۲/۲۲	۳/۸۸	۲/۳۳	۳/۵۵	۲/۶۶	۰	۳/۳۳
C8	۳/۴۴	۲/۷۷	۳/۵۵	۳/۲۲	۳/۲۲	۲/۶۶	۲/۶۶	۰

ماتریس ارتباط مستقیم طبق رابطه (۱) به ماتریس ارتباط مستقیم فازی تبدیل شد و بر اساس

آن و رابطه (۲) ماتریس ارتباط کامل مطابق جدول ۳ حاصل شد.

جدول ۳. ماتریس ارتباط کامل (T)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	۰/۹۲۱	۰/۷۴۹	۰/۹۷۲	۱/۰۰۱	۰/۹۶۲	۰/۸۷۱	۰/۸۹۳	۱/۰۲
C2	۱/۱۲۶	۰/۷۱۸	۱/۰۱۹	۱/۰۶۲	۱/۰۳۹	۰/۹۴۸	۰/۹۶۴	۱/۱۱۱
C3	۱/۰۷۴	۰/۷۷۵	۰/۸۷۲	۱/۰۱۹	۰/۹۹۳	۰/۸۹	۰/۹۲۲	۱/۰۵۲
C4	۱/۰۰۶	۰/۷۲۹	۰/۹۲۱	۰/۸۵۱	۰/۹۴	۰/۸۵۵	۰/۸۵۸	۱/۰۰۳
C5	۱/۱۶	۰/۸۳۴	۱/۰۶۴	۱/۱۰۱	۰/۹۵۷	۰/۹۹	۱/۰۱	۱/۱۴
C6	۱/۱۴۷	۰/۸۲۹	۱/۰۳۵	۱/۰۹۶	۱/۰۷۹	۰/۸۵۳	۰/۹۸۶	۱/۱۳۱
C7	۱/۰۹۲	۰/۷۸	۱/۰۲۶	۱/۰۴	۱/۰۲۴	۰/۹۰۸	۰/۸۳۱	۱/۰۷
C8	۱/۰۵۱	۰/۷۷۱	۰/۹۸۱	۱	۰/۹۷۸	۰/۸۷۶	۰/۸۹۵	۰/۹۱۶

برای محاسبه ماتریس روابط داخلی باید ارزش آستانه محاسبه شود. مقدار آستانه در این تحقیق برابر ۰/۹۶۵ است. تمامی مقادیر ماتریس T که کوچکتر از ۰/۹۶۵ باشد صفر در نظر گرفته می‌شود. یعنی نمی‌تواند به عنوان یک رابطه علی در نظر گرفته شود. بنابراین الگوی روابط معنی دار به صورت جدول ۴ است.

جدول ٤. الگوی روابط معنی دار

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	۰	۰	۰/۹۷۲	۱/۰۰۱	۰	۰	۰	۱/۰۲
C2	۱/۱۲۶	۰	۱/۰۱۹	۱/۰۶۲	۱/۰۳۹	۰	۰	۱/۱۱۱
C3	۱/۰۷۴	۰	۰	۱/۰۱۹	۰/۹۹۳	۰	۰	۱/۰۵۲
C4	۱/۰۰۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۰۰۳
C5	۱/۱۶	۰	۱/۰۶۴	۱/۱۰۱	۰	۰/۹۹	۱/۰۱	۱/۱۴
C6	۱/۱۴۷	۰	۱/۰۳۵	۱/۰۹۶	۱/۰۷۹	۰	۰/۹۸۶	۱/۱۳۱
C7	۱/۰۹۲	۰	۱/۰۲۶	۱/۰۴	۱/۰۲۴	۰	۰	۱/۰۷
C8	۱/۰۵۱	۰	۰/۹۸۱	۱	۰/۹۷۸	۰	۰	۰

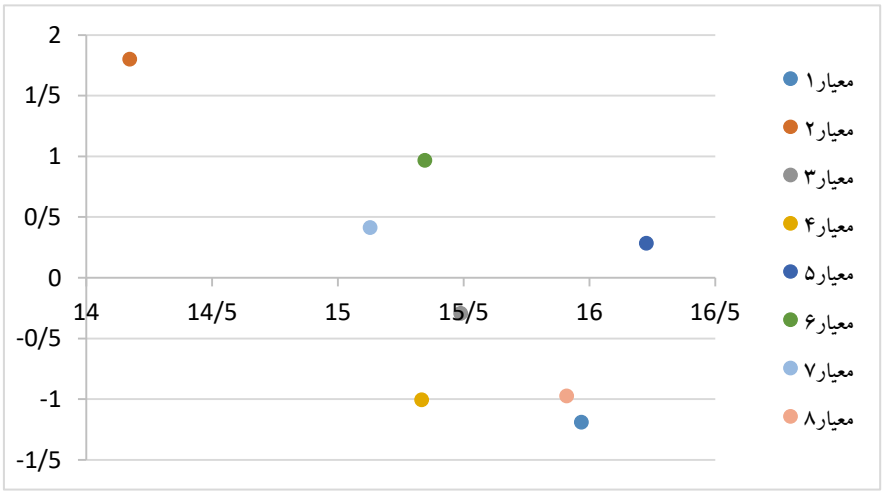
گام بعدی به‌دست آوردن مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس T است. مجموع سطرها (D) و ستون‌ها (C) با توجه به رابطه (۳) به‌دست آمده است. سپس با توجه به D و C، مقادیر

D+C و D-C حاصل شد که به ترتیب نشان دهنده میزان تأثیر پذیری و قدرت تاثیرگذاری عوامل هستند. خروجی نهائی در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵. محرک‌های اثرگذار و اثرپذیر

	C	D	D+C	D-C
C1	۸/۵۷۹	۷/۳۹	۱۵/۹۶۹	-۱/۱۸۹
C2	۶/۱۸۷	۷/۹۸۷	۱۴/۱۷۳	۱/۸
C3	۷/۸۹۱	۷/۵۹۸	۱۵/۴۸۹	-۰/۲۹۳
C4	۸/۱۷	۷/۱۶۳	۱۵/۳۳۴	-۱/۰۰۷
C5	۷/۹۷۲	۸/۲۵۶	۱۶/۲۲۷	۰/۲۸۴
C6	۷/۱۹	۸/۱۵۶	۱۵/۳۴۷	۰/۹۶۶
C7	۷/۳۵۸	۷/۷۷۱	۱۵/۱۲۹	۰/۴۱۳
C8	۸/۴۴۳	۷/۴۶۸	۱۵/۹۱۱	-۰/۹۷۴

شکل ۲ الگوی روابط معنی‌دار را نشان می‌دهد. این الگو در قالب یک نمودار که در آن محور طولی مقادیر D + C و محور عرضی براساس D - C است، می‌باشد. موقعیت و روابط هر عامل با نقطه‌ای به مختصات (D +C, D -C) در دستگاه معین می‌شود.



شکل ۲. نمودارالگوی روابط محرک‌ها

با توجه به نمودار ۲ و جدول ۵ هر محرک از چهار جنبه بررسی می‌شود.

– میزان تأثیرگذاری متغیرها: جمع عناصر هر سطر (D) برای هر محرک نشانگر میزان تأثیرگذاری آن محرک بر سایر محرک‌های سیستم است. در این تحقیق محرک شایستگی سازمانی از بیشترین تأثیرگذاری برخوردار است.

– میزان تأثیرپذیری متغیرها: جمع عناصر ستون (C) برای هر عامل نشانگر میزان تأثیرپذیری آن عامل از سایر عامل‌های سیستم است. در این پژوهش محرک پایداری اقتصادی از بیشترین تأثیرپذیری برخوردار است.

– بردار افقی (D +C) میزان تأثیر و تأثر عامل موردنظر در سیستم را نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر هرچه مقدار D + C عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد. طبق نتایج محرک شایستگی سازمانی از بیشترین تأثیرگذاری برخوردار است.

– بردار عمودی (D - C) قدرت تأثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. به‌طورکلی اگر D - C مثبت باشد، متغیر یک متغیر علی محسوب می‌شود و اگر منفی باشد، معلول محسوب می‌شود. بر اساس نتایج محرک‌های سیاست و مقررات، شایستگی سازمانی، شایستگی منابع انسانی و شایستگی فناوری علی هستند و محرک‌های پایداری اقتصادی، اتصال زنجیره تأمین، پایداری اجتماعی و پایداری محیطی و دایره‌ای معلول هستند.

در مرحله سوم از تکنیکAISM استفاده شد.

گام ۱: در جدول ۶ ماتریس مجاورت A نشان داده شده است. در این ماتریس سطر و ستون‌ها نشان‌دهنده‌ی محرک‌های زنجیره‌تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند است و اعداد داخل جدول نشان دهنده تأثیر هر محرک بر دیگری است.

جدول ٦. ماتریس مجاورت A

C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	
0	0	0	0	0	0	0	0	**C1**
0	0	0	0	0	0	0	0	**C2**
1	0	0	0	0	0	0	1	**C3**

C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	
0	0	0	0	0	0	0	1	**C4**
0	0	0	0	0	0	0	0	**C5**
1	0	0	0	0	0	0	1	**C6**
1	0	1	0	1	0	0	1	**C7**
0	0	0	0	0	0	0	1	**C8**

گام ۲: جدول ۷ ماتریس K را نشان می‌دهد، که بر اساس روابط ۷ و ۸ محاسبه شده است.

جدول ۷. ماتریس قابل دسترسی K

C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	
0	0	0	0	0	0	0	1	**C1**
0	0	0	0	0	0	1	0	**C2**
1	0	0	0	0	1	0	1	**C3**
0	0	0	0	1	0	0	1	**C4**
0	0	0	1	0	0	0	0	**C5**
1	0	1	0	0	0	0	1	**C6**
1	1	1	0	1	0	0	1	**C7**
1	0	0	0	0	0	0	1	**C8**

گام ۳: در جدول ۸ ماتریس S نشان داده شده است. این جدول بر اساس رابطه ۹ تشکیل شد. در این ماتریس درواقع روابط تکراری حذف شد.

جدول ۸. ماتریس S

C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	
0	0	0	0	0	0	0	0	**C1**
0	0	0	0	0	0	0	0	**C2**
1	0	0	0	0	0	0	0	**C3**
0	0	0	0	0	0	0	1	**C4**
0	0	0	0	0	0	0	0	**C5**
1	0	0	0	0	0	0	0	**C6**
0	0	1	0	1	0	0	0	**C7**
0	0	0	0	0	0	0	1	**C8**

گام ۴: سطح‌بندی محرک‌های زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند در جدول ۹ و ۱۰ مشخص شده است. طبق جدول ستون Q_i مربوط به محرک‌هایی است که در هر ستون یک محرک ارزش ۱ دارند و ستون Ri مربوط به محرک‌هایی است که در هر سطر یک

محرک ارزش ۱ دارند.

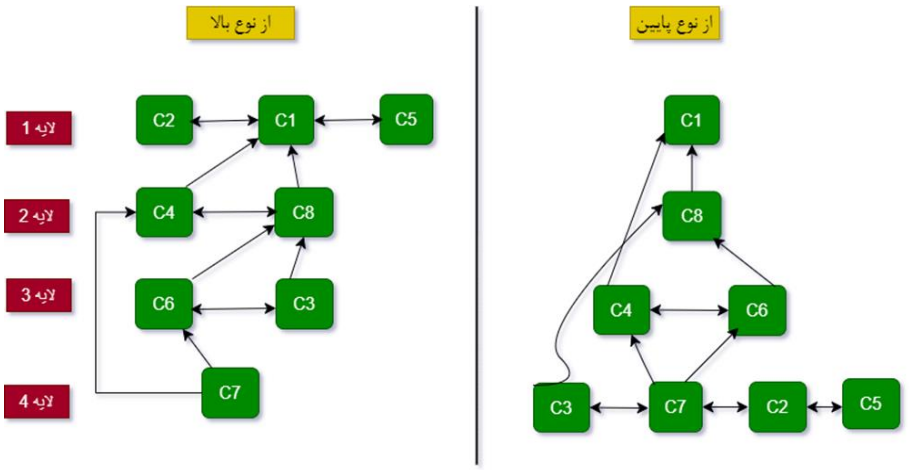
جدول ۹. سطح‌بندی محرک‌ها از بالا به پائین و برعکس

	Ri	Qi	Ri∩ Qi	شماره سطح از نوع بالا به پائین	شماره سطح از نوع پائین به بالا
C1	۱	۱ و ۳ و ۴ و ۶ و ۷ و ۸	۱	اول	
C2	۲	۲	۲	اول	چهارم
C3	۱ و ۳ و ۸	۳	۳		چهارم
C4	۱ و ۴	۴ و ۷	۴		
C5	۵	۵	۵	اول	چهارم
C6	۱ و ۶ و ۸	۶ و ۷	۶		
C7	۱ و ۴ و ۶ و ۷ و ۸	۷	۷		چهارم
C8	۱ و ۸	۳ و ۶ و ۷ و ۸	۸		

جدول ۱۰. ادامه سطح‌بندی محرک‌ها از بالا به پائین و برعکس

	Ri	Qi	Ri∩ Qi	شماره سطح از نوع بالا به پائین	شماره سطح از نوع پائین به بالا
C1	1	۱ و ۴ و ۶ و ۸	۱		اول
C3	۳ و ۸	۳	۳	سوم	
C4	۴	۴ و ۷	۴	دوم	سوم
C6	۶ و ۸	۶ و ۷	۶	سوم	سوم
C7	۴ و ۶ و ۷ و ۸	7	۷	چهارم	
C8	۸	۳ و ۶ و ۷ و ۸	۸	دوم	دوم

با توجه به رابطه بین عناصر و نتیجه سطح‌بندی محرک‌ها، می‌توان نمودار سطح‌بندی جهت‌دار محرک‌ها را ترسیم کرد. نمودار سطح‌بندی جهت‌دار از نوع بالا و پائین در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. نمودار جهت‌دار سطوح توپولوژیکی بر اساس بالا و پایین

بحث و نتیجه‌گیری

دستیابی به اهداف توسعه پایدار برای کشورهای درحال‌توسعه اهمیت زیادی دارد و ادغام فناوری‌های هوشمند در زنجیره تأمین به انتقال از اقتصاد خطی به اقتصاد دایره‌ای کمک می‌کند تا راحت‌تر و سریع‌تر شود (Kayikci etc al, 2022). به همین دلیل، دایره‌ای بودن و هوشمندی (نقش فناوری‌ها) زنجیره تأمین برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار حیاتی است. در این زمینه، این مقاله با شناسایی و تحلیل محرک‌های دستیابی به اهداف پایدار با ادغام اقتصاد دایره‌ای و فناوری‌های هوشمند در زنجیره تأمین در صنعت روغن خوراکی به ادبیات کمک می‌کند. بر اساس هدف این پژوهش محرک‌های پایداری اقتصادی، سیاست و مقررات، اتصال زنجیره تأمین، پایداری اجتماعی، شایستگی سازمانی و شایستگی منابع انسانی و پایداری محیطی و دایره‌ای شناسایی شد که دراین‌بین محرک‌های شایستگی سازمانی و شایستگی منابع انسانی به ترتیب با ضریب ۸/۲۵ و ۸/۱۵ تأثیرگذارترین و محرک‌های پایداری اقتصادی و پایداری محیطی و دایره‌ای به ترتیب با ضریب ۸/۵۷ و ۸/۴۴ تأثیرپذیرترین محرک‌ها هستند.

شایستگی سازمانی مشخصه‌هایی است که سازمان با تکیه پیوسته به آن‌ها به سطح عملکرد مطلوبی دست پیدا می‌کند. نتایج این مطالعه در زمینه محرک شایستگی سازمانی با

پژوهش الیا و همکاران همسو است (Elia et al., 2020). آن‌ها در این مقاله در پاسخ به چالش‌های توسعه پایدار از چارچوب همکاری چندجانبه و کاربرد آن برای تغییرات آب‌وهوا استفاده کردند.

محرک شایستگی منابع انسانی با پژوهش فاترمان و همکاران که به بررسی ارتباط صنعت ۴,۰ با مدیریت عملیات پرداختند، هماهنگ است. شایستگی منابع انسانی دانش‌ها، توانایی‌ها، تخصص‌ها یا همان خصوصیات منابع انسانی است که مستقیماً بر عملکرد سازمان تأثیر می‌گذارد (Fettermann etc al, 2018).

محرک پایداری اقتصادی با پژوهش دانتاس و همکاران که به چگونگی ترکیب اقتصاد دایره‌ای و صنعت ۴,۰ با اهداف توسعه پایدار پرداختند، هماهنگ است (Dantas etc al, 2020). پایداری اقتصادی منعکس‌کننده این واقعیت است که یک صنعت واحد اقتصادی اساسی است که دارای تعهد اساسی برای بهره‌وری و سودآوری است و ازنظر اقتصادی دوام می‌آورد.

محرک پایداری محیطی و دایره‌ای با پژوهش اندروس که به نقش اقتصاد دایره‌ای، تفکر طراحی و آموزش برای پایداری پرداخته، هماهنگ است (Andrews, 2015). اقتصاد دایره‌ای چارچوب قابل‌اعتمادی در جهت بهبود اساسی مدل کسب‌وکار به سمت توسعه پیشگیرانه و احیاکننده برای پایداری محیطی ارائه می‌دهد.

بر اساس نتایج این پژوهش در سطح‌بندی رو به بالا محرک شایستگی فناوری اطلاعات به‌عنوان محرک اصلی است که مسیر حرکت به سمت زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند را در صنعت روغن خوراکی مهیا می‌کند. شایستگی فناوری اطلاعات از محرک‌هایی است که به‌عنوان یک محرک زمینه‌ای در پژوهش چن و همکاران به آن اشاره شده است (Chen et al., 2020).

زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند یک استراتژی زیست‌محیطی با ترکیب مفاهیم پایداری، هوشمندی و اقتصاد دایره‌ای ارائه می‌کند که با تمرکز بر روی یک سیستم حلقه بسته شکاف مواد بین شرکت و مصرف‌کننده را کاهش می‌دهد. در سطح‌بندی از نوع

پایین، محرک‌های اتصال زنجیره تأمین، شایستگی فناوری اطلاعات، سیاست و مقررات و شایستگی سازمانی قرار دارند که به شکلی زمینه‌ای دستیابی به زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند در صنعت روغن خوراکی را تسهیل می‌کنند. این محرک‌ها در پژوهش‌های مختلفی به‌عنوان محرک‌های کلیدی اشاره شده است. نتایج این پژوهش برای دو دسته قابل‌استفاده است. دسته اول مسئولین صنعت روغن خوراکی است. مسئولین می‌توانند با در نظر گرفتن محرک‌های شناسایی‌شده در این پژوهش و همچنین سطوح شناسایی‌شده برای محرک‌ها در حرکت به سمت زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند در صنعت روغن اقدام نمایند. دسته دیگر محققان هستند. محققان در پژوهش‌های آینده می‌توانند از تکنیک‌های بکارگرفته در این پژوهش برای ساختاردهی به مسائل استفاده کنند. همچنین برای بهبود روش AISM می‌توان آن را به‌گونه‌ای ارتقا داد که ضمن سطح‌بندی محرک‌ها، وزن ارتباط بین محرک‌ها را هم مشخص کند. از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به عدم شناخت کافی برخی از خبرگان از موضوع اشاره کرد همچنین مطالعه ارائه‌شده تنها بر صنعت روغن خوراکی شهر تهران به‌عنوان نمونه تمرکز دارد، تحقیقات آینده می‌تواند بر این موضوع با دامنه وسیع‌تری تمرکز کند.

تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

سپاسگزاری

نویسندگان کمال تشکر را از کسانی که در این پژوهش همکاری کردند را دارند.

ORCID

Salim Karimi Takalo **https://orcid.org/0000-0002-4833-4873**
Hamid Sharifi Esfahani **http://orcid.org/0000-0002-4036-6264**
Ehsan Bakhshi Balagh **http://orcid.org/0009-0005-7544-9333**

منابع

۱. حسینی، سید محمود و شیخی، نرگس. (۱۳۹۱). تبیین نقش راهبردی عملیات مدیریت زنجیره تأمین در بهبود عملکرد شرکت: مطالعه صنعت مواد غذایی ایران. *فصلنامه مطالعات مدیریت راهبردی، ۳(۱۰)، ۳۵-۶۰.*

۲. دهقان، احسان، امیری، مقصود، شفیعی نیکابادی، محسن، و جبارزاده، آرمین. (۱۴۰۱). طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در صنعت روغن خوراکی با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی استوار امکانی-تصادفی. *مطالعات مدیریت صنعتی*، ۲۰(۶۴)، ۹۵-۱۵۲. https://doi.org/10.22054/jims.2019.30172.2000

۳. مرزبان، شهریار، شفیعی، مرتضی، مظفری، محمدرضا. (۱۴۰۲). ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین پایدار محصولات فاسدشدنی در صنایع غذایی .*مطالعات مدیریت صنعتی*، :doi .173-225 ,(70)21 10.22054/jims.2023.69469.2806

References

3. Ada, E., Sezer, M. D., & Khaleel, R. (2023). Towards the Smart Sustainable and Circular Food Supply Chains Through Digital Technologies. *International Journal of Mathematical, Engineering & Management Sciences*, *8*(3). https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2023.8.3.022.
4. Ada, N., Kazancoglu, Y., Sezer, M. D., Ede-Senturk, C., Ozer, I., & Ram, M. (2021). Analyzing Barriers of Circular Food Supply Chains and Proposing Industry 4.0 Solutions. Sustainability 2021, 13, 6812. https://doi.org/10.3390/su13126812
5. Awwad, M., Kalluru, S. R., Airpulli, V. K., Zambre, M. S., Marathe, A., & Jain, P. (2018, September). Blockchain technology for efficient management of supply chain. In *Proceedings of the international conference on industrial engineering and operations management* (pp. 440-449).
6. Andrews, D. (2015). The circular economy, design thinking and education for sustainability. *Local economy*, *30*(3), 305-315. https://doi.org/10.1177/0269094215578226
7. Badraoui, I., Saikouk, T., Boulaksil, Y., & Van der Vorst, G. A. J. (2021). The influence of the institutional context on interfirm relationships: A comparative study between low-and high-income countries. *Economics Bulletin*, *41*(2), 802-815.
8. Bai, C., Sarkis, J., & Dou, Y. (2015). Corporate sustainability development in China: review and analysis. *Industrial Management & Data Systems*, *115*(1), 5. https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2014-0258.

9. Balestrucci, F. (2020). Transition towards circular economy through a multi-readiness level model: An explorative study in the construction equipment industry.
10. Batista, L., Bourlakis, M., Liu, Y., Smart, P., & Sohal, A. (2018). Supply chain operations for a circular economy. Production Planning & Control, 29(6), 419-424. https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1449267
11. Batista, L., Bourlakis, M., Smart, P., & Maull, R. (2018). In search of a circular supply chain archetype–a content-analysis-based literature review. Production Planning & Control, 29(6), 438-451. https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1343502.
12. Bian, Y. J., Xie, L., & Li, J. Q. (2022). Research on influencing factors of artificial intelligence multi-cloud scheduling applied talent training based on DEMATEL-TAISM. *Journal of Cloud Computing*, *11*(1), 35. https://doi.org/10.1186/s13677-022-00315-4.
13. Bigliardi, B., Dolci, V., Filippelli, S., Pini, B., Petroni, A., & Tagliente, L. (2024). Circular Economy in the Food Supply Chain: A literature review. *Procedia Computer Science*, *232*, 3024-3033. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.118
14. Bocken, N. M., De Pauw, I., Bakker, C., & Van Der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. Journal of industrial and production engineering, 33(5), 308-320. https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124
15. Bonilla, S. H., Silva, H. R., Terra da Silva, M., Franco Gonçalves, R., & Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges. *Sustainability*, *10*(10), 3740. https://doi.org/10.3390/su10103740
16. Butner, K. (2010). The smarter supply chain of the future. Strategy & Leadership, 38(1), 22-31. https://doi.org/10.1108/10878571011009859.
17. Büyüközkan, G., & Göçer, F. (2018). Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in industry*, 97, 157-177. https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010
18. Cayzer, S., Griffiths, P., & Beghetto, V. (2017). Design of indicators for measuring product performance in the circular economy. International Journal of Sustainable Engineering, 10(4-5), 289-298. https://doi.org/10.1080/19397038.2017.1333543.
19. Chen, T. L., Kim, H., Pan, S. Y., Tseng, P. C., Lin, Y. P., & Chiang, P. C. (2020). Implementation of green chemistry principles in circular economy system towards sustainable development goals: Challenges and perspectives. *Science of the Total Environment*, *716*, 136998. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136998

20.Da Silva, V. L., Kovaleski, J. L., & Pagani, R. N. (2019). Technology transfer in the supply chain oriented to industry 4.0: a literature review. *Technology Analysis & Strategic Management*, *31*(5), 546-562. https://doi.org/10.1080/09537325.2018.1524135

21.Dantas, T. E. T., de-Souza, E. D., Destro, I. R., Hammes, G., Rodriguez, C. M. T., & Soares, S. R. (2021). How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption*, *26*, 213-227. https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005

22.Dauvergne, P., & Lister, J. (2013). *Eco-business: A big-brand takeover of sustainability*. MIT Press.

23.Amiri, M., Shafiei Nikabadi, M., & Jabbarzadeh, A. (2022). A closed-loop supply chain network in the edible oil industry using a novel robust stochastic-possibilistic programming. *Industrial Management Studies*, *20*(64), 95-152 [In Persian]
https://doi.org/10.22054/jims.2019.30172.2000

24.Derqui, B., Fayos, T., & Fernandez, V. (2016). Towards a more sustainable food supply chain: opening up invisible waste in food service. *Sustainability*, *8*(7), 693. https://doi.org/10.3390/su8070693

25.Deutz, P., & Ioppolo, G. (2015). From theory to practice: Enhancing the potential policy impact of industrial ecology. *Sustainability*, *7*(2), 2259-2273. https://doi.org/10.3390/su7022259

26.Dhakal, M., Smith, M. H., & Newbery, R. (2017). Secondary market: A significant aspect in reverse logistics and sustainability. *The International Journal of Sustainability in Economic, Social and Cultural Context, 12(1), 25*.https://doi:10.18848/2325-1115/CGP/v12i01/25-35

27.Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos, T., & Helo, P. (2019). Supplier relationship management for circular economy: Influence of external pressures and top management commitment. *Management Decision*, *57*(4), 767-790. https://doi.org/10.1108/MD-04-2018-0396

28.Elia, G., Margherita, A., & Petti, C. (2020). Building responses to sustainable development challenges: A multistakeholder collaboration framework and application to climate change. Business Strategy and the Environment, 29(6), 2465-2478. https://doi.org/10.1002/bse.2514.

29.Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2017). Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. Journal of cleaner production, 142, 2741-2751. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196.

30.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. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.303

31. Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, *269*, 122263. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263
32. Fettermann, D. C., Cavalcante, C. G. S., Almeida, T. D. D., & Tortorella, G. L. (2018). How does Industry 4.0 contribute to operations management? *Journal of industrial and Production Engineering*, *35*(4), 255-268. https://doi.org/10.1080/21681015.2018.1462863
33. Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. Omega, 66, 344-357. https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015.
34. 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*, *114*, 11-32. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007.
35. Guide Jr, V. D. R., & Van Wassenhove, L. N. (2009). OR FORUM—The evolution of closed-loop supply chain research. Operations research, 57(1), 10-18. https://doi.org/10.1287/opre.1080.0628
36. Guide Jr, V. D. R., Teunter, R. H., & Van Wassenhove, L. N. (2003). Matching demand and supply to maximize profits from remanufacturing. *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(4), 303-316. https://doi.org/10.1287/msom.5.4.303.24883.
37. Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016, January). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* (pp. 3928-3937). IEEE. 10.1109/HICSS.2016.488
38. Hertel, T. W. (2015). The challenges of sustainably feeding a growing planet. Food Security, 7(2), 185-198. https://doi.org/10.1007/s12571-015-0440-2
39. Hervani, A. A., Helms, M. M., & Sarkis, J. (2005). Performance measurement for green supply chain management. *Benchmarking: An international journal*, *12*(4), 330-353. https://doi.org/10.1108/14635770510609015
40. Li, F., Wang, W., Dubljevic, S., Khan, F., Xu, J., & Yi, J. (2019). Analysis on accident-causing factors of urban buried gas pipeline network by combining DEMATEL, ISM and BN methods. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *61*, 49-57. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.06.001

41.Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietikäinen, J., Saikku, L., & Schösler, H. (2016). Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability*, *8*(1), 69. https://doi.org/10.3390/su8010069

42.Kagermann, H. (2014). Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In *Management of permanent change* (pp. 23-45). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6_2

43.Kayikci, Y., Gozacan- Chase, N., Rejeb, A., & Mathiyazhagan, K. (2022). Critical success factors for implementing blockchain- based circular supply chain. Business strategy and the environment, 31(7), 3595-3615. https://doi.org/10.1002/bse.3110

44.Kayikci, Y., Kazancoglu, Y., Lafci, C., & Gozacan, N. (2021). Exploring barriers to smart and sustainable circular economy: The case of an automotive eco-cluster. *Journal of Cleaner Production, 314, 127920.* https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127920

45.Kayikci, Y., Kazancoglu, Y., Lafci, C., Gozacan-Chase, N., & Mangla, S. K. (2021). Smart circular supply chains to achieving SDGs for post-pandemic preparedness. *Journal of Enterprise Information Management, 35(1), 237-265*. https://doi 10.1108/JEIM-06-2021-0271

46.Kayikci, Y., Stix, V., LeBlanc, L. J., & Bartolacci, M. R. (2014). A novel application of a hybrid delphi-analytic hierarchy process (AHP) technique: identifying key success factors in the strategic alignment of collaborative heterarchical transportation networks for supply chains. *International Journal of Applied Logistics (IJAL), 5(1), 52-75*. https://doi: 10.4018/ijal.2014010104.

47.Kayikci, Y., Subramanian, N., Dora, M., & Bhatia, M. S. (2022). Food supply chain in the era of Industry 4.0: Blockchain technology implementation opportunities and impediments from the perspective of people, process, performance, and technology. *Production planning & control, 33(2-3), 301-321*. https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810757

48.Kumar, N., Mathiyazhagan, K., & Mathivathanan, D. (2020). Modelling the interrelationship between factors for adoption of sustainable lean manufacturing: a business case from the Indian automobile industry. *International Journal of Sustainable Engineering, 13(2), 93-107.* https://doi.org/10.1080/19397038.2019.1706662

49.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. https://doi.org/10.1108/IJPPM-12-2020-0695

50.Kumar, M., Sharma, M., Raut, R. D., Mangla, S. K., & Choubey, V. K. (2022). Performance assessment of circular driven sustainable agri-food supply chain towards achieving sustainable consumption and production. *Journal of Cleaner Production*, *372*, 133698. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133698

51.Lavelli, V. (2021). Circular food supply chains–Impact on value addition and safety. *Trends in Food Science & Technology*, *114*, 323-332. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.008

52.Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, *3*, *18-23. https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001*

53.Li, Y., & Mathiyazhagan, K. (2018). Application of DEMATEL approach to identify the influential indicators towards sustainable supply chain adoption in the auto components manufacturing sector. *Journal of cleaner production*, *172*, *2931-2941*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.120

54.Li, Z., She, J., Guo, Z., Du, J., & Zhou, Y. (2024). An evaluation of factors influencing the community emergency management under compounding risks perspective. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *100*, 104179. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104179

55.Liboni, L. B., Cezarino, L. O., Jabbour, C. J. C., Oliveira, B. G., & Stefanelli, N. O. (2019). Smart industry and the pathways to HRM 4.0: implications for SCM. *Supply Chain Management: An International Journal*, *24*(1), 124-146. https://doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0150

56.Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of cleaner production*, *115*, *36-51*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042

57.Linder, M., & Williander, M. (2017). Circular business model innovation: inherent uncertainties. *Business strategy and the environment*, *26*(2), 182-196. https://doi.org/10.1002/bse.1906.

58.Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, *270*, 273-286. https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8

59.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. https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018

60. Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & industrial engineering*, *127*, 925-953. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030
61. Mena, C., Adenso-Diaz, B., & Yurt, O. (2011). The causes of food waste in the supplier–retailer interface: Evidences from the UK and Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, *55*(6), 648-658. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.09.006
62. Meng, B., Lu, N., Lin, C., Zhang, Y., Si, Q., & Zhang, J. (2022). Study on the influencing factors of the flight crew's TSA based on DEMATEL–ISM method. *Cognition, Technology & Work*, 1-1. https://doi.org/10.1007/s10111-021-00688-7
63. Mhatre, P., Panchal, R., Singh, A., & Bibyan, S. (2021). A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union. *Sustainable Production and Consumption*, *26*, 187-202. https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.008
64. Morali, O, & Searcy, C. (2013). A review of sustainable supply chain management practices in Canada. *Journal of business ethics*, *117, 635-658.* https://doi.org/10.1007/s10551-012-1539-4
65. Moreno, M. A., Braithwaite, N., & Cooper, T. (2014). Moving beyond the circular economy. https://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/1031
66. Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling, 153, 104553.* https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553
67. Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological forecasting and social change, 132, 2-17.* https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019
68. Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of business ethics*, *140*, 369-380. https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2
69. Murthy, S. R., & Evans, S. (2016, July). Four arrangements of circular economy at the level of supply chains. *In 3rd International conference on green supply chain, Loughborough University in London, UK (pp. 10-13).*
70. Nasir, S. B., Ahmed, T., Karmaker, C. L., Ali, S. M., Paul, S. K., & Majumdar, A. (2022). Supply chain viability in the context of COVID-19 pandemic in small and medium-sized enterprises: implications for sustainable development goals. *Journal of Enterprise Information Management*, *35*(1), 100-124. https://doi.org/10.1108/JEIM-02-2021-0091

71.Ormazabal, M., Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Santos, J. (2016). An overview of the circular economy among SMEs in the Basque country: A multiple case study. *Journal of Industrial Engineering andManagement(JIEM),9(5),1047-1058.* https://doi:10.3926/jiem.2065

72.Park, J., Sarkis, J., & Wu, Z. (2010). Creating integrated business and environmental value within the context of China's circular economy and ecological modernization. *Journal of Cleaner Production,18(15),-1494-1501*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.06.001

73.Pirola, F., Cimini, C., & Pinto, R. (2020). Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *31*(5), 1045-1083. https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2018-0305

74.Piscitelli, G., Ferazzoli, A., Petrillo, A., Cioffi, R., Parmentola, A., & Travaglioni, M. (2020). Circular economy models in the industry 4.0 era: a review of the last decade. *Procedia Manufacturing, 42, 227-234*. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.074

75.Priefer, C., Jörissen, J., & Bräutigam, K.R. (2016). Food waste prevention in Europe–A cause-driven approach to identify the most relevant leverage points for action. *Resources, Conservation and Recycling*,*109*,155-165. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.004

76.Ranjbar, T., Mojaverian, S. M., Raftani, Z. A., Laskoukelayeh, S. S., & Eshghi, F. (2022). Ranking of Important Indicators of Blockchain Technology for the Vegetable Oil Supply Chain. *Journal of Agricultural Economics & Development (2008-4722)*, *36*(2) [In Prsian]. https://doi.org/10.22067/JEAD.2022.71164.1092

77.Rauch, E., Unterhofer, M., Rojas, R. A., Gualtieri, L., Woschank, M., & Matt, D. T. (2020). A maturity level-based assessment tool to enhance the implementation of industry 4.0 in small and medium-sized enterprises. *Sustainability, 12(9), 3559*. https://doi.org/10.3390/su12093559

78.Read, Q. D., Brown, S., Cuéllar, A. D., Finn, S. M., Gephart, J. A., Marston, L. T., ... & Muth, M. K. (2020). Assessing the environmental impacts of halving food loss and waste along the food supply chain. *Science of the Total Environment*, *712*, 136255. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136255

79.Ren, D., Liu, L., Gong, X., Jiang, P., Liu, S., Yang, Y., & Jin, R. (2022). Effect evaluation of ecological compensation for strategic mineral resources exploitation based on VIKOR-AISM model. *Sustainability*, *14*(23), 15969. https://doi.org/10.3390/su142315969.

80.Salah, K., Nizamuddin, N., Jayaraman, R., & Omar, M. (2019).

Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain. *Ieee Access*, *7*, 73295-73305. https://doi: 10.1109/ACCESS.2019.2918000

81. Savtschenko, M., Schulte, F., & Voß, S. (2017). IT governance for cyber-physical systems: The case of Industry 4.0. In *Design, User Experience, and Usability: Theory, Methodology, and Management: 6th International Conference, DUXU 2017, Held as Part of HCI International 2017, Vancouver, BC, Canada, July 9-14, 2017, Proceedings, Part I 6* (pp. 667-676). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58634-2_48
82. Schuster, K., Groß, K., Vossen, R., Richert, A., & Jeschke, S. (2016). Preparing for industry 4.0–collaborative virtual learning environments in engineering education. *Engineering Education 4.0: Excellent Teaching and Learning in Engineering Sciences*, 477-487. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46916-4_36
83. Sehnem, S., Pereira, S. C. F., Silva, M. E., Schmitt, V. G. H., Hermann, R. R., & Batista, L. (2022). Circular Business Models and Strategies—The Key to Sustainable Business and Innovative Supply Chains. *Frontiers in Sustainability, 3, 897974.*https://doi: 10.3389/frsus.2022.897974
84. Sehnem, S., Vazquez-Brust, D., Pereira, S. C. F., & Campos, L. M. (2019). Circular economy: benefits, impacts and overlapping. *Supply Chain Management: An International Journal, 24(6), 784-804.* https://doi.org/10.1108/SCM-06-2018-0213
85. Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of cleaner production, 16(15), 1699-1710.* https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020
86. Shi, L., Wu, K. J., & Tseng, M. L. (2017). Improving corporate sustainable development by using an interdependent closed-loop hierarchical structure. *Resources, Conservation and Recycling, 119, 24-35.* https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.014
87. Shokouhyar, S., Pahlevani, N. and Mir Mohammad Sadeghi, F., 2019. Scenario analysis of smart, sustainable supply chain on the basis of a fuzzy cognitive map. *Management research review*, *43*(4), pp.463-496. https://doi.org/10.1108/MRR-01-2019-0002
88. Tura, N., Hanski, J., Ahola, T., Ståhle, M., Piiparinen, S., & Valkokari, P. (2019). Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers. *Journal of cleaner production*, *212*, 90-98. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.202
89. Turker, D. (2015). An analysis of corporate social responsibility in the Turkish business context. In *Corporate Social Responsibility in*

Europe: United in Sustainable Diversity (pp. 483-499). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13566-3_26

90. Velis, C. A., & Vrancken, K. C. (2015). Which material ownership and responsibility in a circular economy? *Waste Management & Research*,*33*(9),773-774. https://doi.org/10.1177/0734242X15599305
91. Wang, M., Cheng, X., & He, Z. (2022). Research on multiple affective responses design of product based on Kansei engineering and TOPSIS-AISM. *Mathematical Problems in Engineering*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/6945986
92. Werning, J. P., & Spinler, S. (2020). Transition to circular economy on firm level: Barrier identification and prioritization along the value chain. *Journal of Cleaner Production, 245, 118609.* https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118609
93. Wolf, G. (2017). New challenges of the digital transformation: the comeback of the vision-mission system. *Out-thinking Organizational Communications: The Impact of Digital Transformation*, 113-128. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41845-2_9
94. Wu, K. J., Liao, C. J., Tseng, M., & Chiu, K. K. S. (2016). Multi-attribute approach to sustainable supply chain management under uncertainty. *Industrial Management & Data Systems, 116(4), 777-800*. https://doi.org/10.1108/IMDS-08-2015-0327
95. Wu, L., Yue, X., Jin, A., & Yen, D. C. (2016). Smart supply chain management: a review and implications for future research. *The international journal of logistics management, 27(2), 395-417.* https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2014-0035
96. Xie, X. L. (2019). Research on competitiveness of coastal smart port based on adversarial interpretative structural modeling method. *Tianjin: Tianjin University*, 12
97. Xing, Y., Meng, W., Zhou, J., Hu, F., & Meng, L. (2023). DEMATEL, AISM, and MICMAC-based research on causative factors of self-build housing fire accidents in rural areas of China. *Fire*, *6*(5), 179. https://doi.org/10.3390/fire6050179
98. Yang, Y., Wang, Y., Easa, S. M., & Yan, X. (2022). Factors affecting road tunnel construction accidents in China based on Grounded Theory and DEMATEL. *International journal of environmental research and public health*, 19(24), 16677. https://doi.org/10.3390/ijerph192416677
99. Hanim Mohamad Zailani, S., Eltayeb, T. K., Hsu, C. C., & Choon Tan, K. (2012). The impact of external institutional drivers and internal strategy on environmental performance. *International journal of operations & production management*, *32*(6), 721-745.

https://doi.org/10.1108/01443571211230943
100. Zamfir, A. M., Mocanu, C., & Grigorescu, A. (2017). Circular economy and decision models among European SMEs. *Sustainability, 9(9), 1507*. https://doi.org/10.3390/su9091507
101. Zhang, J., Zeng, Y., Reniers, G., & Liu, J. (2022). Analysis of the interaction mechanism of the risk factors of gas explosions in Chinese underground coal mines. *International journal of environmental research and public health*, *19*(2), 1002. https://doi.org/10.3390/ijerph19021002
102. Zhang, L., Bao, C., Guo, H., & Zhao, G. (2022). Structure analysis research of transportation major curriculum system in application-oriented niversities under the perspective of engineering education accreditation. *Education Sciences*, *12*(11), 818. https://doi.org/10.3390/educsci12110818

References [In Persian]

1. Dehghan, E., Amiri, M., Shafiei Nikabadi, M., & Jabbarzadeh, A. (2022). A closed-loop supply chain network in the edible oil industry using a novel robust stochastic-possibilistic programming. *Industrial Management Studies*, *20*(64), 95-152. https://doi.org/10.22054/jims.2019.30172.2000
2. Hosseini, S. M., & Sheikhi, N. (2012). Explaining the strategic role of supply chain management operations in firm performance improvement: a study of Iranian food industry. Journal of strategic management studies, 3(10), 35-60.
3. Marzban, S., Shafiee, M., & Mozaffari, M. R. (2023). Performance Evaluation of sustainable supply chain of perishable products in the food industry. *Industrial Management Studies*, *21*(70), 173-225. https://doi.org/10.22054/jims.2023.69469.2806

استناد به این مقاله: کریمی تکلو، سلیم.، شریفی اصفهانی، حمید.، بخشی خورده بلاغ، احسان. (۱۴۰۳). واکاوی محرک‌های زنجیره تأمین دایره‌ای پایدار هوشمند با استفاده از روش‌های ترکیبی دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری متخاصم، *مدیریت صنعتی*، *۲۲(۷۳)*، ۲۴۱-۲۸۵. DOI: 10.22054/jims.2024.77945.2899

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