Original Article

Journal of Green Development Management Studies

2025, Volume 4, Issue 4, Serial Number 10, Pages 199-224

https://doi.org/10.22077/jgdms.2025.8919.1260

Analysis of Circular Supply Chain Indicators in Iran's Electrical and Electronic Industries

Gaoodarz Khatami Nasab [1], Abdolah Hadi Vinche [2*], Mohamahhosein Arman[3], Mojtaba Aghajani[4]

[1]Department of Industrial Management, Isf.C, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

[2]Department of Mathematics, Isf.C, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

[3]Department of Management, Mo.C, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

[4]Department of Management, Isf.C, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

**Corresponding author, Email: ahadi@khuisf.ac.ir*

Keywords:
Circular supply chain, Iran electrical and electronic industries, Fuzzy Demetal.

Received: 09/Feb/2025

Revised: 10/Mar/2025

Accepted: 13/May /2025

Introduction

The electrical and electronic industry is among the fastest-growing sectors worldwide, generating substantial volumes of electronic waste (e-waste) and consuming significant natural resources. These trends pose serious environmental and economic challenges, underscoring the need for a transition toward a circular economy (CE) approach. A circular supply chain (CSC) seeks to minimize waste, promote material reuse, and enhance environmental sustainability by replacing the traditional linear "take–make–dispose" model with a closed-loop system. However, the effective implementation of CSCs requires the identification of key drivers, the mitigation of barriers, and an understanding of their implications for supply chain performance. Despite growing academic and practical interest in CE, its adoption in the electrical and electronic industries of developing countries, including Iran, remains limited due to technological, regulatory, and financial constraints. This study aims to analyze the causal relationships among drivers, barriers, and outcomes of circular supply chains using the Fuzzy Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (Fuzzy DEMATEL) method. By examining 75 key indicators identified through an extensive literature review and expert consultation, the study seeks to determine the most influential factors affecting CE implementation in Iran's electrical and electronic industries.

Methodology

This study applies the fuzzy DEMATEL technique, a multi-criteria decision-making (MCDM) method designed to analyze complex causal relationships among interrelated variables. The research adopts a descriptive–exploratory design with a mixed qualitative–quantitative approach. Data were collected through expert surveys involving specialists from industrial and academic sectors with expertise in circular economy and supply chain management. The 75 identified indicators were classified into three main categories:

Drivers, which facilitate CE adoption (e.g., infrastructure development and managerial support);

Barriers, which hinder implementation (e.g., high investment costs and lack of standards);

Outcomes, representing the expected benefits of CE adoption (e.g., reduced material consumption and improved efficiency).

Experts assessed the degree of influence among indicators using a linguistic scale, which was subsequently converted into fuzzy triangular numbers. The fuzzy

DEMATEL procedure was then employed to construct a causal relationship matrix and identify the most influential indicators within Iran's electrical and electronic industry.

Findings

The results reveal that drivers exert the strongest causal influence, indicating that improvements in infrastructure, managerial commitment, and technological capability are essential for effective CE adoption. Among the most influential drivers, infrastructure development (BD3) exhibited the highest importance score (0.0394), highlighting its central role in enabling circular practices. Durable product design (CD7) (0.0151) was identified as a critical factor in extending product life cycles and reducing material waste, while performance assessment criteria (BD2) (0.0154) were found to enhance transparency and operational efficiency in CE implementation. In contrast, barriers were shown to negatively affect adoption, with technological limitations (BB2), high investment costs (CB3), and the lack of regulatory standards (BB1) emerging as the most significant obstacles. Regarding outcomes, the findings indicate that CE adoption primarily yields economic and environmental benefits. The most important outcomes include increased supply chain efficiency (O8) with an importance score of 0.0227, reduced raw material consumption (O7) (0.0174), and lower greenhouse gas emissions (O4) (0.0166). The causal analysis confirms that strengthening key drivers can effectively mitigate barriers and enhance positive CE outcomes.

Discussion and Conclusion

The findings underscore the pivotal role of drivers in facilitating the transition toward a circular economy in Iran's electrical and electronic industries. Infrastructure development (BD3), managerial commitment (CD6), and durable product design (CD7) emerged as the most influential drivers, enabling efficient recycling systems, extended product life cycles, and more sustainable supply chain practices. Nevertheless, the adoption of circular supply chains remains constrained by major barriers, including technological limitations, high initial investment costs, and insufficient regulatory frameworks. The study also highlights the key outcomes associated with CE implementation, particularly enhanced supply chain efficiency, reduced consumption of raw materials, and lower greenhouse gas emissions. These outcomes demonstrate the long-term economic and environmental advantages of shifting from a linear to a circular and regenerative system. The fuzzy DEMATEL analysis confirms that drivers function as root causes, barriers act as constraining factors, and outcomes represent the ultimate benefits of CE adoption. Accordingly, a strategic emphasis on strengthening key drivers can help overcome barriers and maximize positive impacts. This research provides a comprehensive framework for understanding the causal relationships among drivers, barriers, and outcomes in circular supply chains. The results indicate that prioritizing infrastructure development, regulatory support, and technological advancement is essential for the successful implementation of CE. Addressing systemic barriers through policy reforms, financial incentives, and public–private partnerships will be critical to accelerating this transition. The study offers valuable insights for policymakers, industry practitioners, and researchers seeking to design sustainable supply chain models aligned with CE principles. By adopting a strategic and integrated approach, Iran's electrical and electronic industry can reduce waste generation, improve resource efficiency, and contribute to global sustainability objectives.

How to cite this article:
Khatami Nasab, G., Vinche, A.H., Arman, M.H., & Aghajani, M. (2025) Analysis of Circular Supply Chain Indicators in Iran's Electrical and Electronic Industries. *Green Development Management Studies*, **4(4), 199-224. https://doi.org/10.22077/jgdms.2025.8919.1260**

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee Journal of Green Development Management Studies. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقاله پژوهشی

مجله مطالعات مدیریت توسعه سبز

سال چهارم، شماره چهارم، پیاپی ۱۰، زمستان ۱۴۰۴، صفحات ۱۹۹-۲۲۴

https://doi.org/10.22077/jgdms.2025.8919.1260

تحلیل شاخص‌های زنجیره تأمین مدور در صنایع الکتریکی و الکترونیکی ایران

گودرز خاتمی نسب [۱]، عبدالله هادی وینچه [۲*]، محمدحسین آرمان [۳]، مجتبی آقاجانی [۴]

گروه مدیریت صنعتی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

گروه ریاضی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

گروه مدیریت، واحد مبارکه، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

گروه مدیریت صنعتی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: ahadi@khuisf.ac.ir

واژگان کلیدی:

زنجیره تأمین مدور، صنایع الکتریکی و الکترونیکی ایران، دیمتل فازی.

تاریخ دریافت:

۲۱ بهمن ۱۴۰۳

تاریخ بازنگری:

۲۰ اسفند ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:

۲۳ اردیبهشت ۱۴۰۳

چکیده

صنعت الکتریکی و الکترونیکی یکی از سریع‌ترین صنایع در حال رشد جهان است که به دلیل تولید حجم بالای ضایعات الکترونیکی و مصرف گسترده منابع، نیازمند گذار به یک مدل پایدارتر مبتنی بر اقتصاد مدور است که بر کاهش ضایعات، استفاده مجدد از منابع، و بهبود بهره‌وری زیست‌محیطی تأکید دارد. با این حال، اجرای موفق زنجیره تأمین مدور مستلزم شناسایی و درک روابط میان محرک‌ها، موانع و پیامدهای کلیدی است. در این پژوهش، با استفاده از تکنیک دیمتل فازی، روابط علّی میان هفتاد و پنج شاخص شناسایی‌شده در صنایع الکتریکی و الکترونیکی ایران تحلیل شده‌است. شاخص‌های کلیدی بر اساس مرور ادبیات و مطالعات پیشین استخراج شده و در سه دسته محرک‌ها، موانع و پیامدها طبقه‌بندی شده‌اند. نتایج تحلیل دیمتل فازی نشان‌می‌دهد که ایجاد زیرساخت پایدار، حمایت مدیران و تغییر مدل کسب‌وکار، و طراحی محصول بادوام به‌عنوان تأثیرگذارترین محرک‌ها، نقش اساسی در تسهیل اجرای اقتصاد مدور دارند. در مقابل، محدودیت‌های تکنولوژیکی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و نبود استانداردهای سنجش عملکرد به‌عنوان مهم‌ترین موانع شناسایی شدند که مانع از تحقق کامل این رویکرد می‌شوند. همچنین، پیامدهایی مانند افزایش بهره‌وری زنجیره تأمین، کاهش مصرف مواد اولیه، و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از مهم‌ترین نتایج مثبت اجرای این سیستم هستند. یافته‌های این پژوهش نشان‌می‌دهد که تمرکز بر تقویت محرک‌های کلیدی و کاهش موانع اجرایی، می‌تواند دستیابی به پیامدهای مطلوب را تسهیل کند. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران و مدیران صنعتی با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های بازیافت، ایجاد استانداردهای ارزیابی، و تدوین مشوق‌های مالی و قانونی، زمینه را برای گذار به زنجیره تأمین مدور در این صنعت فراهم کنند.

مقدمه

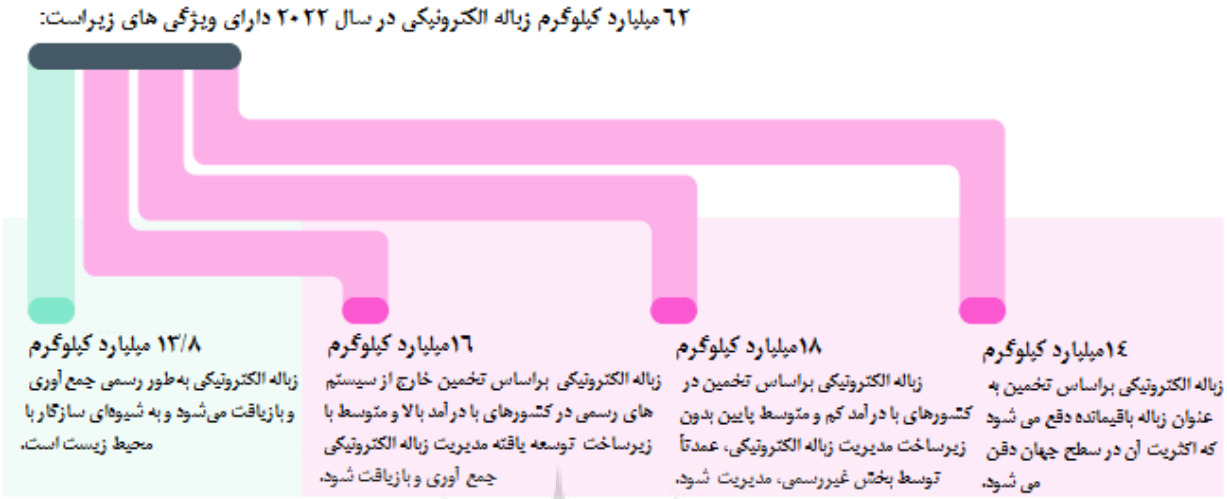
صنعت تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین و سریع‌ترین بخش‌های در حال رشد در تولید صنعتی، تأثیرات زیست‌محیطی گسترده‌ای را در تمامی مراحل چرخه عمر محصولات خود به همراه دارد. از استخراج مواد خام و مصرف انرژی در فرایند تولید تا مدیریت ضایعات و بازیافت، این صنعت با چالش‌های متعددی مواجه است. زباله‌های ناشی از این صنعت، به‌ویژه ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی[۱] (EEE) که شامل محصولاتی مانند تلفن‌های همراه، لوازم‌خانگی و کامپیوترها می‌شوند، به یکی از معضلات جدی زیست‌محیطی و اجتماعی تبدیل شده‌اند. در پاسخ به این چالش‌ها، اقتصاد مدور به‌عنوان یک الگوی نوآورانه برای جایگزینی الگوهای سنتی "برداشتن، ساختن، مصرف‌کردن و دور انداختن" معرفی شده‌است (مورای و همکاران[۲]، ۲۰۱۷، ۳۷۰). براساس آخرین مطالعات و آمار موجود در آسیا با توجه به ۵۶ میلیارد کیلوگرم تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی عرضه شده به بازار، ۳۰ میلیارد کیلوگرم زباله الکترونیکی تولید شده‌است که به ازای هر نفر ۶/۶ کیلوگرم می‌باشد. همچنین از این میزان ۳/۶ میلیارد کیلوگرم یعنی حدود ۱۱/۹ درصد زباله الکترونیکی به صورت رسمی و مستند جمع آوری و در نرخ بازیافت محسوب شده‌است. میزان واردات زباله‌های الکترونیکی به آسیا ۲/۹ میلیارد کیلوگرم و میزان صادرات ۲/۵ میلیارد کیلوگرم می‌باشد. بیشترین مقدار زباله الکترونیکی در آسیا مربوط به چین، هند، ژاپن، اندونزی و ترکیه می‌باشد (بالده و همکاران[۳]، ۲۰۲۴، ۷۴).

اقتصاد مدور بر ایجاد حلقه‌های بسته جریان مواد از طریق فرآیندهایی مانند نگهداری، تعمیر، استفاده مجدد، نوسازی، ساخت مجدد و بازیافت تأکید دارد (بنیاد الن مک آرتور[۴]، ۲۰۱۴، ۱). این رویکرد با ایجاد هم‌افزایی میان اهداف توسعه زیست‌محیطی و اقتصادی، توجه بسیاری از شرکت‌ها را به خود جلب کرده است و آن‌ها را قادر ساخته تا فرآیندهای تولید خود را کارآمدتر و پایدارتر کنند (هورباخ و رامر[۵]، ۲۰۲۰، ۶۱۶). مدیریت زنجیره تأمین در این میان نقش کلیدی دارد، زیرا این زنجیره‌ها امکان همکاری با شرکای بالادستی برای تهیه مواد اولیه سازگار با محیط‌زیست و شرکای پایین‌دستی برای بازگشت محصول، استفاده مجدد و بازیافت را فراهم می‌کنند (ژو و همکاران[۶]، ۲۰۱۰، ۱۳۲۶). پیاده‌سازی اصول اقتصاد مدور در زنجیره تأمین مستلزم باز طراحی این زنجیره‌ها تحت یک رویکرد جدید است (کازانکوگلا و همکاران[۷]، ۲۰۱۸، ۳۸). تغییر پارادایم از زنجیره تأمین متعارف به زنجیره تأمین مدور می‌تواند تأثیرات مثبت و گسترده‌ای بر بهره‌وری و پایداری سازمان‌ها داشته‌باشد. به‌ویژه در صنایعی مانند تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، این تغییر می‌تواند به کاهش چشمگیر ضایعات و ایجاد چرخه‌های ترمیمی و احیاکننده منجر شود (گونزالس سانچزو همکاران[۸]، ۲۰۲۰، ۱). همچنین، در سطح بین‌المللی، قوانین و مقرراتی به تصویب رسیده است که به‌طور خاص ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی را هدف قرار داده‌اند. به‌عنوان نمونه، اتحادیه اروپا دستورالعملی را با هدف کمک به تولید و مصرف پایدار تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی تدوین کرده است. این دستورالعمل با تأکید بر اصل مسئولیت گسترده تولیدکننده، اهداف مشخصی برای جمع‌آوری و بازیافت مواد در کشورهای عضو تعیین کرده است (کوگلن و فیتزپاتریک[۹]، ۲۰۲۰، ۲). براساس آمار نظارت جهانی ضایعات الکترونیکی (۲۰۲۴)، ایران سالانه حدود ۸۲۰ میلیون کیلوگرم زباله الکترونیکی تولید می‌کند. با این وجود، اطلاعات مستند و

---

[1] Electrical and Electronic Equipment
[2] Murray et al.
[3] Baldé et al.
[4] Ellen MacArthur Foundation (EMF)
[5] Horbach & Rammer
[6] Zhu et al.
[7] Kazancoglu et al.
[8] González-Sánchez et al.
[9] Coughlan & Fitzpatrick

معتبری درباره میزان زباله‌های الکترونیکی که به‌صورت رسمی جمع‌آوری و بازیافت می‌شود، در دسترس نیست. این امر بیانگر نبود یک پایگاه داده قابل‌اعتماد در زمینه مدیریت زباله‌های الکترونیکی در کشور است.



شکل ۱– ویژگی ۶۲ میلیارد کیلوگرم زباله الکترونیکی در جهان
منبع: بالده و همکاران، ۲۰۲۴، ۱۱

بر اساس شکل ۱، بخش عمده‌ای از زباله‌های الکترونیکی خارج از طرح‌های رسمی جمع‌آوری و بازیافت مدیریت می‌شوند. این مدیریت غیراصولی سالانه منجر به رهاسازی ۵۸ هزار کیلوگرم جیوه و ۴۵ میلیون کیلوگرم پلاستیک حاوی مواد بازدارنده شعله بروم‌دار در محیط‌زیست می‌شود. این مسئله تأثیرات مستقیم و شدیدی بر محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها دارد. رشد تولید زباله‌های الکترونیکی تقریباً پنج برابر سریع‌تر از افزایش بازیافت رسمی بوده است. این روند می‌تواند ناشی از عواملی مانند پیشرفت فناوری، افزایش مصرف، محدودیت در گزینه‌های تعمیر، چرخه‌های عمر کوتاه محصولات، گسترش الکترونیکی‌سازی، و کمبود زیرساخت‌های مناسب برای مدیریت زباله‌های الکترونیکی باشد. این عوامل موجب شده‌اند که جمع‌آوری و بازیافت رسمی و سازگار با محیط‌زیست از روند تولید زباله‌های الکترونیکی عقب بماند.

اقتصاد کنونی جهان، اکوسیستم‌ها و جوامع انسانی را در تنگنای بحرانی قرار داده است (افراخته،۱۴۰۱) .در میان کشورهای آسیای مرکزی، تفاوت‌های قابل توجهی در نحوه مدیریت زباله‌های الکترونیکی و سطح توسعه زیرساخت‌های مرتبط با آن وجود دارد. در این منطقه، بازیافت زباله‌های الکترونیکی عمدتاً از طریق مراکزی انجام‌می‌شود که تمرکز آن‌ها بر جمع‌آوری زباله‌های الکترونیکی از اشخاص حقوقی است. یکی از روش‌های رایج در مدیریت این نوع زباله‌ها، استفاده مجدد و تعمیر تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (EEE) مصرف‌شده است. افزون بر این، برخی سازمان‌های خدماتی اقدام به خرید مجدد یا جمع‌آوری رایگان لوازم‌خانگی مستعمل کرده و پس از تعمیر، آن‌ها را مجدداً به بازار عرضه می‌کنند. بااین‌حال، آگاهی عمومی نسبت به تأثیرات منفی زباله‌های الکترونیکی و اهمیت جمع‌آوری و بازیافت آن‌ها همچنان پایین است. تنها برخی کشورها، از جمله قزاقستان و ازبکستان، گاهی کمپین‌های آگاهی عمومی اجرا کرده و زباله‌های الکترونیکی خانگی را جمع‌آوری می‌کنند. از سوی دیگر، تنها ترکیه و امارات متحده عربی اقدام به اجرای اصل مسئولیت تولیدکننده برای مدیریت زباله‌های الکترونیکی و باتری‌ها کرده‌اند، درحالی‌که اردن و لبنان نیز در حال تدوین مقررات مرتبط با این سیستم هستند. در سایر کشورهای منطقه، قوانین و مقررات مشخصی برای اجرای اصل مسئولیت تولیدکننده

در مدیریت زباله‌های الکترونیکی وجود ندارد (بالده و همکاران،۲۰۲۴، ۴۰). بر اساس آخرین گزارش نظارت جهانی ضایعات الکترونیکی (۲۰۲۴)، ایران سالانه حدود ۸۲۰ میلیون کیلوگرم زباله الکترونیکی تولید می‌کند. با این حال، هیچ آمار رسمی و مستندی از میزان زباله‌های الکترونیکی که به‌صورت قانونی و سیستماتیک جمع‌آوری و بازیافت می‌شوند، در دسترس نیست. این امر نشان‌دهنده فقدان یک پایگاه داده جامع و قابل‌اعتماد در کشور برای نظارت بر مدیریت زباله‌های الکترونیکی و روند بازیافت آن‌ها است، که می‌تواند چالش‌های متعددی را در مسیر توسعه پایدار این صنعت ایجاد کند.

به‌ویژه، شناسایی شیوه‌های سازمانی مانند طراحی پایدار محصول و فرآیند، و همچنین همکاری میان تأمین‌کنندگان و مشتریان در زنجیره تأمین، نقش مهمی در موفقیت این روند دارد (سیورینگ و میلر[1] ، ۲۰۰۸، ۱۷۰۰). در این راستا، شناسایی و تحلیل روابط میان محرک‌ها، موانع و پیامدهای زنجیره تأمین مدور می‌تواند به سازمان‌ها در تدوین استراتژی‌های اثربخش کمک کند. درک این روابط، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا فرصت‌ها و چالش‌های بالقوه در پیاده‌سازی زنجیره تأمین مدور را شناسایی کرده و با ایجاد هم‌افزایی میان عوامل مختلف، از بروز موانع در اجرای آن جلوگیری کنند. علاوه بر این، تحلیل این روابط نقشی اساسی در سنجش عملکرد زنجیره تأمین مدور و تقویت نوآوری‌های پایدار در کسب‌وکارها ایفا می‌کند.

پژوهش حاضر از چندین جنبه دارای نوآوری است. نخست، به‌جای تمرکز صرف بر شناسایی محرک‌ها و موانع زنجیره تأمین مدور، روابط علّی و اثرات متقابل آن‌ها را با استفاده از روش دیمتل فازی تحلیل می‌کند. این رویکرد امکان شناسایی عوامل کلیدی تأثیرگذار و چگونگی تعامل آن‌ها را فراهم کرده و به ارائه یک چارچوب تعاملی برای بهینه‌سازی اجرای زنجیره تأمین مدور منجر می‌شود. دوم، برخلاف مطالعاتی که به بررسی یک‌بعدی این حوزه پرداخته‌اند، این تحقیق با یک رویکرد جامع، هم‌زمان به بررسی محرک‌ها، موانع و پیامدهای اجرای زنجیره تأمین مدور در صنایع الکتریکی و الکترونیکی می‌پردازد. این امر، ضمن ارائه تصویری دقیق‌تر از چالش‌ها و فرصت‌های موجود، به سیاست‌گذاران و مدیران صنعتی کمک می‌کند تا استراتژی‌های کارآمدتری را تدوین کنند. سوم، استفاده از روش‌های تحلیلی و تصمیم‌گیری چندمعیاره در این پژوهش، امکان ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین مدور و پیش‌بینی تأثیرات اجرایی آن را فراهم می‌سازد. این پژوهش علاوه بر ارائه یک مدل تحلیلی، راهکارهایی عملی برای بهبود فرایندهای زنجیره تأمین مدور و افزایش کارایی آن پیشنهاد می‌دهد که می‌تواند به ارتقای پایداری و توسعه اقتصادی در صنایع هدف کمک کند.

بدین منظور، در بخش بعدی مبانی نظری و پیشینه پژوهش بررسی می‌شود تا مفاهیم اساسی مرتبط با زنجیره تأمین مدور و چالش‌های اجرایی آن در صنایع الکتریکی و الکترونیکی تبیین گردد. سپس، در بخش روش‌شناسی تحقیق، معیارهای انتخاب شاخص‌ها، فرآیند گردآوری داده‌ها و روش تحلیل دیمتل فازی تشریح می‌شود. در ادامه، یافته‌های پژوهش ارائه شده و روابط میان محرک‌ها، موانع و پیامدهای زنجیره تأمین مدور تحلیل می‌شود. در نهایت، بخش بحث و نتیجه‌گیری ارائه شده و پیشنهادهایی کاربردی برای سیاست‌گذاران و مدیران صنعتی مطرح می‌گردد.

چارچوب نظری تحقیق

صنعت تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی یکی از بزرگ‌ترین و سریع‌ترین بخش‌های در حال رشد در صنعت تولید است. تعداد و وزن قطعات و تجهیزات الکترونیکی مصرفی به حدی افزایش یافته است که تأثیرات زیست‌محیطی این صنعت را با سایر صنایع پرمصرف منابع قابل مقایسه کرده است. این بخش در تمامی مراحل چرخه عمر محصولات خود، از استخراج و استفاده از مواد خام گرفته تا مصرف انرژی و منابع در فرایند تولید و استفاده از محصولات، و در نهایت دفع پسماندها، تأثیرات زیست‌محیطی قابل‌توجهی دارد. تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی شامل طیف گسترده‌ای از محصولات مانند تجهیزات خنک‌کننده و انجماد، صفحه‌نمایش و

[1] Seuring & Müller

نمایشگرها، لامپ‌ها، ماشین لباس‌شویی، جاروبرقی، مایکروویو، و فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات است. تولید و استفاده از این تجهیزات نیازمند استفاده از منابع طبیعی قابل‌توجهی است. پسماندهای تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، که به زباله‌های الکترونیکی معروف هستند، شامل محصولاتی مانند تلفن‌های همراه، لوازم‌خانگی، و کامپیوترها می‌شود که پس از مصرف به‌عنوان زباله دفع می‌شوند (ویدمر و همکاران، ۲۰۰۵، ۴۳۹). علاوه بر این، زباله‌های الکترونیکی به‌عنوان یکی از نگرانی‌های زیست‌محیطی جهانی مطرح هستند (فورتی و همکاران، ۲۰۲۰، ۳۶). پیش‌بینی می‌شود که تولید زباله‌های الکترونیکی تا سال ۲۰۳۰ به ۷۴.۷ میلیون تن و تا سال ۲۰۵۰ به ۱۱۰ میلیون تن افزایش یابد، مگر اینکه در شیوه‌های مدیریت و مصرف خود تغییرات اساسی ایجاد کنیم (بالده و همکاران ،۲۰۲۲، ۴). بر اساس آخرین گزارش نظارت ضایعات الکترونیکی جهانی[1] (۲۰۲۴) ، در سال ۲۰۲۲ رکورد تولید ۶۲ میلیارد کیلوگرم زباله الکترونیکی در سطح جهان ثبت شده‌است که به‌طور متوسط معادل ۷.۸ کیلوگرم سرانه در سال است.

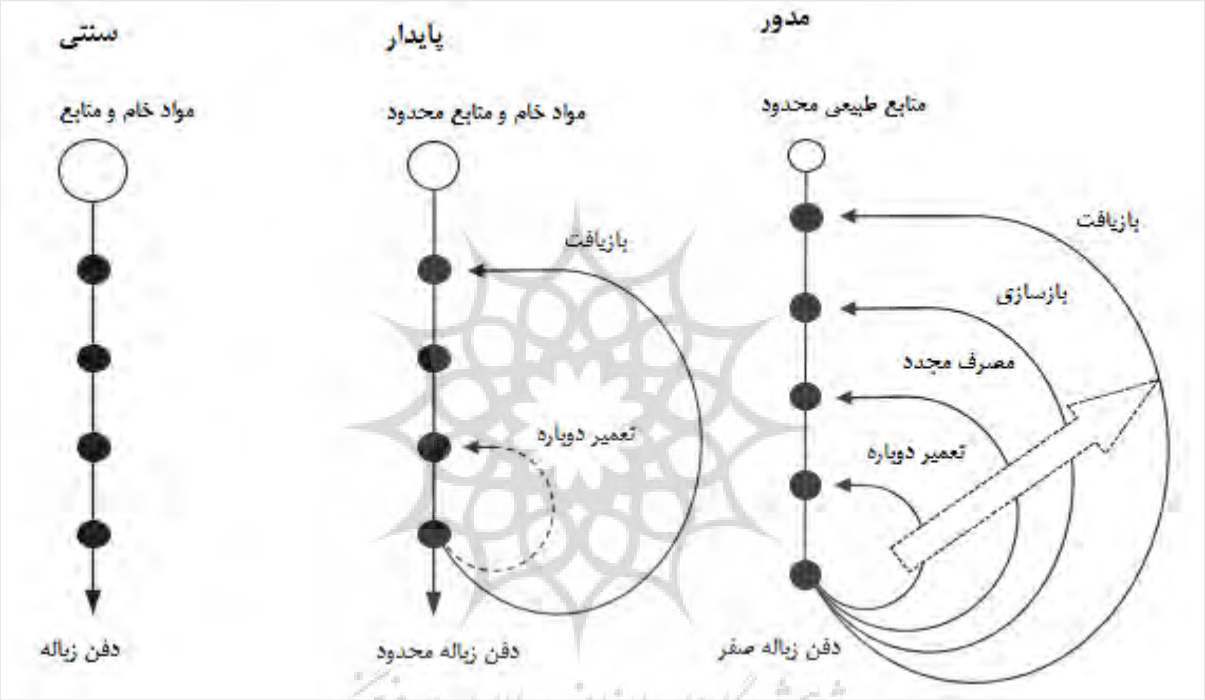
در سطح جهانی، فورتی و همکاران (۲۰۲۰) تخمین زده‌اند که کمتر از ۲۰ درصد از زباله‌های الکترونیکی تولید شده به‌صورت صحیح و مطابق با معیارهای زیست‌محیطی مدیریت می‌شود (ریزوس و برایان[2] ،۲۰۲۲، ۳۶۱). تفاوت‌های قابل‌توجهی در نحوه مدیریت زباله‌های الکترونیکی و سطح توسعه زیرساخت‌ها میان کشورهای آسیای مرکزی مشاهده می‌شود. در این منطقه، واحدهای بازیافت زباله‌های الکترونیکی عمدتاً به جمع‌آوری این پسماندها از اشخاص حقوقی مشغول هستند. یکی از روش‌های رایج مدیریت زباله‌های الکترونیکی، استفاده مجدد و تعمیر تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (EEE) مصرف‌شده است. روش دیگر شامل خرید مجدد یا جمع‌آوری رایگان لوازم‌خانگی توسط سازمان‌های خدماتی است که این تجهیزات را تعمیر کرده و مجدداً به فروش می‌رسانند.

با این حال، آگاهی عمومی نسبت به تأثیرات منفی زباله‌های الکترونیکی و ضرورت جمع‌آوری و بازیافت آن‌ها در بسیاری از کشورها پایین است. در برخی کشورها مانند قزاقستان و ازبکستان، کمپین‌های آگاهی‌بخشی عمومی به‌صورت محدود و گهگاهی اجرا می‌شود و زباله‌های الکترونیکی خانگی نیز در این برنامه‌ها جمع‌آوری می‌شوند. از سوی دیگر، تنها چند کشور مانند اسرائیل، ترکیه و امارات متحده عربی، اصل مسئولیت تولیدکننده (EPR)[3] را برای مدیریت زباله‌های الکترونیکی و باتری‌ها اعمال کرده‌اند. در حالی که کشورهایی مانند اردن و لبنان در حال تدوین مقررات مربوط به این اصل هستند، هیچ‌یک از کشورهای دیگر منطقه هنوز قانونی در خصوص اجرای سیستم EPR برای زباله‌های الکترونیکی تصویب یا تدوین نکرده‌اند (بالده و همکاران، ۲۰۲۴، ۱۴۲).

انتقال مؤثر به سمت اقتصاد مدور مستلزم یک دیدگاه سیستمی است که کل زنجیره تأمین را در نظر می‌گیرد، زیرا هیچ عملگری به طور مجزا نمی‌تواند منابع و قابلیت تغییر از سیستم‌های تولید خطی به مدور را داشته‌باشد (فهرر و ویلند[4]،۲۰۲۰، ۶۱۱). به طور خاص، کل زنجیره تأمین شرکت از تأمین کنندگان تا مشتریان نهایی و همچنین کل کسب و کار و اکوسیستم طبیعی باید بازنگری شود، زیرا نیاز به یک رویکرد یکپارچه برای تولید، انتخاب و استفاده از منابع به‌عنوان ورودی و خروجی‌ها (محصولات) وجود دارد (دی ماریا و همکاران[5]،۲۰۲۲، ۶۲۲). از طریق زنجیره تأمین مدور، نه تنها می‌توان تولید ضایعات را کاهش داد، بلکه به سیستم‌های تولید خود پایدار نیز دست یافت که در آن مواد به چرخه تولید بازگردانده می‌شوند (گنوس و همکاران، ۲۰۱۷، ۳۴۶). اجرای پروژه‌های محیط زیستی در شرکت‌های صنعتی می‌تواند به بهبود عملکرد زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری منجر شود (علیزاده و همکاران، ۱۴۰۲، ۱). زنجیره تأمین مدور برای هر دو بخش تولید و خدمات اعمال می‌شود (دائو و همکاران[6]،۲۰۱۹، ۱).

[1] The Global E-waste Monitor
[2] Rizos & Bryhn
[3] Extended Producer Responsibility
[4] Fehrer & Wieland
[5] Di Maria et al.
[6] Daú et al.

براساس مرور ادبیات پیشین، شکل ۲ زنجیره تأمین مدور را با زنجیره‌های تأمین سنتی و پایدار مقایسه کرده و اهمیت عناصر کلیدی و نحوه تغییر آن‌ها را تحت تأثیر شرایط یا رویکرد حاکم بر زنجیره تأمین برجسته می‌کند. همچنین بر اساس جدول ۱، عناصری همچون استراتژی، ساختار، تمرکز و جریان به‌عنوان پایه انتخاب‌شده‌اند، چرا که این سازه‌ها معمولاً در تحقیقات زنجیره تأمین مطرح هستند (کوپر و الرام[1]، ۱۹۹۳، ۱۴؛ دفی و استنک[2] ، ۲۰۰۵، ۳۱). علاوه بر این، عناصر مقیاس و دامنه نیز با توجه به تحقیقات مرتبط با ادبیات اقتصاد مدور، به‌ویژه در رابطه با جنبه "استفاده کوتاه و متوالی[3]" از مواد و منابع، به این مدل اضافه شده‌اند (بنیاد الن مک آرتور و همکاران، ۲۰۱۲، ۵). این مقایسه امکان درک عمیق‌تری از تفاوت‌های میان زنجیره‌های تأمین و چگونگی تغییر سازه‌های کلیدی آن‌ها برای تحقق اهداف مدور و پایدار فراهم می‌کند.



شکل ۲–زنجیره تأمین‌های سنتی، پایدار و مدور

منبع: دی آنجلس و همکاران[4]،۲۰۱۸، ۴۳۰

[1] Cooper & Ellram
[2] Defee & Stank
[3] short-term and sequential use
[4] De Angelis et al.

جدول ۱–مقایسه ویژگی‌های زنجیره تأمین‌های سنتی، پایدار و مدور

	زنجیره تأمین مدور	زنجیره تأمین پایدار	زنجیره تأمین سنتی
استراتژی	هزینه خدمات و اجاره	هزینه مالکیت	قیمت قطعات
ساختار	حلقه‌های بسته، کوتاه و متوالی	نسبتا بسته	خطی و باز
جریان	چرخه‌های زیستی و فنی	راندمان ترکیبی	ورودی- خروجی
تمرکز	کسب ارزش مشارکتی	اثربخشی مشتری	کارایی
مقیاس	حجم متوسط- پایین	حجم بالا- متوسط	حجم بالا
دامنه کاربرد	منطقه‌ای و محلی	جهانی و منطقه‌ای	جهانی

منبع: دی آنجلس و همکاران،۲۰۱۸، ۴۳۰

عامل کلیدی در انتقال از مدیریت زنجیره تأمین سنتی یا پایدار به سمت زنجیره تأمین مدور، «قدرت چرخش طولانی‌تر[1]» است. این مفهوم به طولانی‌تر شدن دوره زمانی اشاره دارد که مواد در چرخه استفاده باقی می‌مانند. قدرت چرخش طولانی‌تر می‌تواند با افزایش دوام محصولات یا افزایش تعداد چرخه‌های متوالی مانند ساخت مجدد، تعمیر، نوسازی، و بازیافت تحقق یابد. این عامل بیشتر به دوام و ماندگاری بخش‌های بادوام محصولات مرتبط است تا اجزای مصرفی آن‌ها. در اقتصاد مدور، مواد مصرفی از مواد مغذی بیولوژیکی، غیرسمی و قابل ترمیم ساخته شده‌اند که می‌توانند بدون آسیب به طبیعت به چرخه زیستی بازگردند. عمر مفید این مواد معمولاً کوتاه است (مانند مواد غذایی). با این حال، در مورد برخی محصولات مانند مواد بسته‌بندی و منسوجات، می‌توان عمر استفاده را افزایش داد و به این ترتیب کارایی منابع را بهبود بخشید (بنیاد الن مک‌آرتور و همکاران، ۲۰۱۲، ۶). برای نمونه، منسوجات می‌توانند از طراحی‌هایی بهره‌مند شوند که تعمیر و دوام را تسهیل کنند. به‌عنوان مثال، شرکت پاتاگونیا[2] لباس‌های ورزشی تولید می‌کند که علاوه بر دوام بالا، در پایان عمر مفید نیز برای تعمیر و بازیافت مناسب هستند (بوکن و شرت[3]، ۲۰۱۶، ۴۵). استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و کارا ساختن مصرف انرژی راهکار اصلی تحقق پایداری انرژی، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و به دنبال آن افزایش عرضه انرژی سالم و مدیریت سبز است (الله یاری و همکاران، ۱۴۰۱، ۹۳) .از سوی دیگر، مواد بادوام از مواد مغذی فنی (مانند فلزات) ساخته می‌شوند. این مواد اگرچه برای محیط طبیعی مناسب نیستند، اما می‌توانند در چرخه‌های متوالی تولید و استفاده دوباره مورد بهره‌برداری قرار گیرد (بنیاد الن مک‌آرتور و همکاران، ۲۰۱۲، ۴).همچنین ادغام اقتصاد سبز و مدور به‌عنوان مفاهیم رایج در بحث‌های پایداری سطح کلان در حوزه‌های مختلف بسیار کارآمد خواهد بود (اسکندری ثانی و سفالگر، ۱۴۰۱، ۱۵۹). چنین رویکردی به استفاده بهینه‌تر از منابع و کاهش ضایعات کمک شایانی می‌کند.

از این رو در نگاه نظری به مسئله، به اهمیت کانال‌های ارتباطی و شیوه‌های اثرگذاری در زنجیره تأمین مدور، پایدار و سنتی پرداخته می‌شود. زنجیره تأمین مدور به‌عنوان مدلی که در آن محصولات پس از مصرف بازگردانده می‌شوند تا مواد اولیه مجدداً استفاده شوند، نیازمند روابط پیچیده و مؤثر بین اعضای زنجیره تأمین است. این روابط از طریق کانال‌های ارتباطی که شامل تبادل اطلاعات، همکاری‌های بین‌سازمانی و استراتژی‌های هماهنگی می‌شود، برقرار می‌شود. این کانال‌ها می‌توانند شامل ارتباطات دیجیتال، توافقات همکاری و تعاملات بین تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان باشند. شیوه‌های اثرگذاری در این زنجیره‌ها به‌ویژه در زنجیره تأمین مدور، در قالب فرآیندهای بازیافت، استفاده مجدد و طراحی محصولات با عمر طولانی و سازگار با محیط‌زیست، به طور مستقیم تأثیرگذار هستند. این شیوه‌ها نه تنها بر عملکرد اقتصادی بلکه بر پایداری زیست‌محیطی نیز تأثیر می‌گذارند. از این رو، تأثیرگذاری و

[1] longer circularity potential
[2] Patagonia
[3] Bocken and Short

تأثیرپذیری بین اجزای مختلف زنجیره تأمین مدور از طریق تعاملات و هماهنگی‌های مستمر بین آن‌ها تبیین می‌شود. در این راستا، پایه‌های نظری پژوهش نشان داده‌اند که استراتژی‌های مختلفی برای اثربخشی و کارایی در زنجیره تأمین وجود دارد که شامل بهبود فرایندهای تولید و لجستیک، استفاده از فناوری‌های نوین و همکاری‌های بین‌سازمانی است. در زنجیره تأمین مدور، این شیوه‌های اثرگذاری نه تنها به بازگشت و بازیافت منابع کمک می‌کند، بلکه باعث بهبود کارایی منابع، کاهش ضایعات و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی می‌شود. به‌طور کلی، مدل‌های مختلف زنجیره تأمین از جمله مدل‌های سنتی، پایدار و مدور در تأثیرگذاری و تأثیرپذیری از این عوامل با یکدیگر تفاوت دارند که این تفاوت‌ها از طریق تحلیل کانال‌های ارتباطی و شیوه‌های اثرگذاری بررسی می‌شود.

مطالعات متعددی به بررسی محرک‌ها، موانع و پیامدهای اجرای اقتصاد مدور در صنایع مختلف پرداخته‌اند. پاسکوالتو و همکاران[1] (۲۰۲۳) با مرور سیستماتیک ۵۳ مقاله، محرک‌ها و موانع پذیرش اقتصاد مدور را در ده دسته شامل زیست‌محیطی، زنجیره تأمین، اقتصادی، فناوری، اجتماعی و غیره طبقه‌بندی کردند. منوهاران و همکاران[2] (۲۰۲۲) به شناسایی و رتبه‌بندی این عوامل در صنعت خودرو پرداخته و با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری و دیمتل، روابط علّی میان محرک‌ها و موانع را بررسی کردند. مقتدر و همکاران[3] (۲۰۱۸) محرک‌های شیوه‌های تولید پایدار و اقتصاد مدور در صنعت چرم بنگلادش را با استفاده از نظریه گراف و رویکرد ماتریسی اولویت‌بندی کردند. میش را و همکاران[4] (۲۰۱۸) نیز با تحلیل شبکه تولید بین‌المللی (IMN)[5] و بهره‌گیری از روش‌های AHP[6]،ISM[7] و PESTLE-SWOT[8] ، توانمند سازهای کلیدی مانند ثبات دولت، پایداری محیط‌زیست و آزادی اقتصادی را شناسایی کردند. ماهپور[9] (۲۰۱۸) موانع اجرای اقتصاد مدور در مدیریت پسماندهای ساخت‌وساز و تخریب عمرانی را در سه بعد رفتاری، فنی و قانونی طبقه‌بندی و با روش تاپسیس فازی اولویت‌بندی کرد. همچنین، گزو و همکاران[10] (۲۰۲۰) با تمرکز بر صنعت تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، مدل پویایی سیستم را برای شبیه‌سازی تأثیر استراتژی‌های اقتصاد مدور ارائه کردند و اثرات پذیرش این مدل را بر جریان‌های تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (EEE) تا سال ۲۰۵۰ بررسی کردند.

در مطالعات داخلی، کیانی و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از روش فراترکیب، ۱۵ توانمندساز مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴.۰ در کارخانجات شیشه‌سازی اردکان یزد را شناسایی کرده و روابط علّی بین این توانمندسازها را با تکنیک دیمتل فازی بررسی کردند. حسین پور و قربان پور (۱۴۰۲) در مطالعات خود با تحلیل مبانی نظری و تجربی، ۳ بعد و ۱۳ مولفه مرتبط با ابعاد اقتصاد مدور و تولید پاک را شناسایی کرده و با استفاده از روش سوارای فازی، به بهبود بهره‌وری پایداری در صنایع تولیدی استان بوشهر پرداختند. وارسته و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیق خود با استفاده از تحلیل اسنادی و فراترکیب، ۲۸ مقاله مرتبط با مدل‌های کسب و کار مدور در صنعت فولاد ایران را بررسی کرده و با بومی‌سازی استراتژی‌های مختلف اقتصاد مدور، چارچوب ارزیابی این مدل‌ها را تدوین کردند. وارث و همکاران (۱۴۰۰) با به‌کارگیری روش فراترکیب ۷ مرحله‌ای ساندلوسکی و باروسو، ۲۹ الگوی مدل کسب و کار مدور را شناسایی کرده و آن‌ها را بر اساس استراتژی‌های اقتصاد مدور طبقه‌بندی نمودند. این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که اجرای موفق اقتصاد مدور مستلزم توجه به محرک‌های کلیدی، کاهش موانع اجرایی، و استفاده از مدل‌های تحلیلی و شبیه‌سازی برای پیش‌بینی پیامدهای بلندمدت آن است.

---

[1] Pasqualotto et al.
[2] Manoharan et al.
[3] Moktadir et al.
[4] Mishra et al.
[5] International Manufacturing Network analysis
[6] Analytic Hierarchy Process
[7] Interpretive Structural Modeling
[8] Political, Economic, Social, Technological, Legal, and Environmental- Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats
[9] Mahpour
[10] Guzzo et al.

با وجود مطالعات گسترده در زمینه اقتصاد مدور، اکثر پژوهش‌ها به شناسایی محرک‌ها و موانع پرداخته‌اند، اما تحلیل روابط علّی و میزان تأثیرگذاری این شاخص‌ها بر یکدیگر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این، مطالعات کمتری بر صنایع الکتریکی و الکترونیکی ایران متمرکز بوده‌اند، در حالی که این صنعت به دلیل حجم بالای زباله‌های الکترونیکی و ضرورت بازیافت، نیازمند تحلیل عمیق‌تری است. بنابراین، این پژوهش با استفاده از روش دیمتل فازی، علاوه بر شناسایی شاخص‌های کلیدی، به بررسی ساختار تأثیرگذاری و تأثیرپذیری این عوامل پرداخته و تصویری دقیق‌تر از نقش هر یک در زنجیره تأمین مدور ارائه می‌دهد که می‌تواند راهنمایی برای سیاست‌گذاران و مدیران صنعتی در جهت اجرای موفق این رویکرد باشد. در واقع این پژوهش با هدف شناسایی، تحلیل و مدل‌سازی روابط میان محرک‌ها، موانع و پیامدهای زنجیره تأمین مدور در صنعت الکتریکی و الکترونیکی انجام شده‌است. در این راستا، تلاش می‌شود تا با استفاده از رویکرد دیمتل فازی، میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هر یک از این عوامل مشخص شود و ساختاری مفهومی برای درک تعاملات آن‌ها ارائه گردد. همچنین، این تحقیق به دنبال ارائه بینش‌های کاربردی برای سیاست‌گذاران، مدیران صنعتی و پژوهشگران است تا از طریق کاهش موانع، تقویت محرک‌ها و پیش‌بینی پیامدهای اجرایی، زمینه پیاده‌سازی مؤثرتر زنجیره تأمین مدور را فراهم سازند. بر این اساس، پژوهش حاضر در تلاش است تا به دو پرسش اساسی پاسخ دهد: نخست، مهم‌ترین محرک‌ها، موانع و پیامدهای اصلی زنجیره تأمین مدور در صنعت الکتریکی و الکترونیکی کدامند و چگونه بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند؟ و دیگر اینکه، بر اساس روش دیمتل فازی، کدام‌یک از محرک‌ها و موانع زنجیره تأمین مدور بیشترین تأثیرگذاری را دارند و چگونه می‌توان با تقویت عوامل کلیدی و کاهش موانع، راهکارهای کاربردی برای اجرای مؤثر این رویکرد در صنعت الکتریکی و الکترونیکی ارائه داد؟

مواد و روش‌ها

این پژوهش، از نظر روش تحقیق با توجه با اینکه نتایج آن می‌تواند مورد استفاده سیاست‌گذاران، دست‌اندرکاران و مدیران صنعت الکتریکی و الکترونیکی قرار گیرد، کاربردی می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به اینکه در این تحقیق بسیاری از اطلاعات مورد نیاز بر اساس مطالعه کتابخانه‌ای و داده‌های موجود از صنعت منتخب جمع‌آوری شد، پژوهش حاضر از نظر نحوه گردآوری داده‌ها در زمره‌ی تحقیقات توصیفی-پیمایشی قرار می‌گیرد. ابزار گردآوری داده‌ها پرسشنامه می‌باشد و با توجه به اینکه جهت اخذ اطلاعات به درک عمیق نیاز است، از روش نمونه‌گیری هدفمند در این صنعت استفاده شد. جهت پاسخ به پرسشنامه تحقیق به‌منظور بررسی روابط بین کدهای مدل از خبرگان صنعت تولید و بازیافت قطعات الکتریکی و الکترونیکی و دانشگاهی استفاده شده‌است که دارای حداقل مدرک کارشناسی ارشد، ۵ سال سابقه کاری مرتبط و با مفهوم زنجیره تأمین مدور در این صنعت آشنا باشند.

جهت بررسی روابط بین ۷۵ کد استخراجی از پژوهش خاتمی نسب (۱۴۰۳) از روش دیمتل فازی استفاده شد که ۵ پرسشنامه در اختیار خبرگان صنعت و دانشگاه قرار گرفت. این پرسشنامه به‌منظور مطالعه اهمیت نسبی، میزان تأثیرگذاری، تأثیرپذیری و روابط بین کدها طراحی و استفاده شده‌است. در این پرسشنامه از خبرگان خواسته شده‌است با توجه به شناخت خود از صنعت تولید و بازیافت قطعات الکتریکی و الکترونیکی و مفهوم زنجیره تأمین مدور، میزان تأثیر کد i را بر کد j در مقیاس پنج کلمه زبانی از ۱ تا ۵ (به‌عنوان بدون تأثیر (NO)، تأثیر بسیار کم (VL)، تأثیر کم (L)، تأثیر زیاد (H) و تأثیر بسیار زیاد (VH))، ارزیابی کنند که جهت وزن دهی به شاخص‌های مورد مطالعه از اعداد فازی مثلثی استفاده شد و بر مبنای تجمیع نظرات آنها سایر مراحل دیمتل انجام شد. بر این اساس روابط بین کدهای تشکیل دهنده چارچوب تحقیق به‌دست آمد و میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری و وزن عوامل تشکیل دهنده مدل به‌دست آمد. به‌منظور اطمینان از روایی پرسشنامه، از نظر خبرگان دانشگاهی و صنعتی استفاده شد و اصلاحات لازم پس از دریافت بازخوردهای آنان اعمال گردید. بنابراین، روایی محتوایی پرسشنامه از طریق تأیید خبرگان مورد سنجش قرار گرفت. همچنین، جهت

بررسی پایایی پرسشنامه، از معیار نرخ ناسازگاری معرفی‌شده توسط چن و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شد. مطابق این معیار، اگر میانگین اختلاف نظرات خبرگان کمتر از ۱ درصد باشد، داده‌های جمع‌آوری‌شده دارای پایایی قابل قبول خواهند بود. بر اساس محاسبات انجام‌شده، نرخ ناسازگاری پرسشنامه‌ها در این پژوهش کمتر از ۱ درصد بوده و بنابراین، داده‌های گردآوری‌شده از پایایی لازم برخوردار هستند.

تکنیک دیمتل توسط گابوس و فونتلا[1] در سال ۱۹۷۱ ارائه شد. تکنیک دیمتل که از انواع روش‌های تصمیم‌گیری بر اساس مقایسه‌های زوجی است، با بهره‌مندی از قضاوت خبرگان در استخراج عوامل یک سیستم و ساختاردهی نظام‌مند به آنها با بکارگیری اصول نظریه گراف‌ها، ساختاری سلسله‌مراتبی از عوامل موجود در سیستم همراه با روابط تأثیر و تأثر متقابل ارائه می‌دهد، به‌گونه‌ای که شدت اثر روابط مذکور را به صورت امتیاز عددی معین می‌کند. روش دیمتل جهت شناسایی و بررسی رابطه متقابل بین معیارها و ساختن نگاشت روابط شبکه به کار گرفته می‌شود. از آنجا که گراف‌های جهت‌دار روابط عناصر یک سیستم را بهتر می‌توانند نشان دهند، لذا تکنیک دیمتل مبتنی بر نمودارهایی است که می‌تواند عوامل درگیر را به دو گروه علت و معلول تقسیم نماید و رابطه میان آن‌ها را به صورت یک مدل ساختاری قابل درک درآورد .تکنیک دیمتل عموماً برای بررسی مسائل بسیار پیچیده جهانی به‌وجود آمد. دیمتل نیز برای ساختاردهی به یک دنباله از اطلاعات مفروض کاربرد دارد. به‌طوریکه شدت ارتباطات را به‌صورت امتیازدهی مورد بررسی قرار داده، بازخورها توأم با اهمیت آنها را تجسس نموده و روابط انتقال‌ناپذیر را می‌پذیرد (آلتونتاس و درلی[2]، ۲۰۱۵ : ۱۰۰۵). همچنین دیمتل برخلاف دیگر روش‌های آماری، مبتنی بر یک روش تصمیم گیری گروهی است که می‌تواند از تجمیع نظر خبرگان به این پژوهش کمک کند و لذا وابسته به موضوعات نمونه گیری و جامعه آماری نیست.

جدول زیر شامل مجموعه‌ای از محرک‌ها، موانع و پیامدهای زنجیره تأمین مدور در صنایع الکتریکی و الکترونیکی است که از پژوهش خاتمی نسب و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از روش داده بنیاد در صنایع الکتریکی و الکترونیکی ایران به‌دست آمده است. در این پژوهش، محرک‌ها به‌عنوان عوامل تسهیل‌کننده شناسایی شده‌اند که اجرای زنجیره تأمین مدور را تسریع کرده و به کاهش موانع موجود کمک می‌کنند. موانع چالش‌هایی هستند که می‌توانند روند پیاده‌سازی این رویکرد را کند کرده یا متوقف کنند، از جمله مشکلات زیرساختی، هزینه‌های اجرایی و محدودیت‌های فناوری. در مقابل، پیامدها نشان‌دهنده نتایج نهایی پیاده‌سازی موفق زنجیره تأمین مدور هستند که می‌توانند شامل بهبود بهره‌وری، کاهش ضایعات، و تأثیرات مثبت اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی باشند. در این مقاله، به تحلیل روابط میان این شاخص‌ها با استفاده از روش دیمتل فازی پرداخته خواهد شد تا میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هر یک مشخص شود.

جدول ۲– شاخص‌های زنجیره تأمین مدور در صنایع الکتریکی و الکترونیکی ایران

مقوله اصلی	مخفف	شاخص‌های زنجیره تأمین مدور
مانع	BB1	عدم وجود سیستم استاندارد جهت اندازه گیری اقتصاد مدور در زنجیره تأمین
	BB2	محدودیت‌های تکنولوژیکی و راه حل‌های فنی جهت مدور بودن
	BB3	فقدان همکاری و چالش‌های بازپس گیری محصولات از شرکت‌های دیگر
	BB4	مسائل مربوط به مالکیت و تقسیم هزینه‌ها و منافع
	BB5	مشکلات مسائل مربوط به جمع آوری و حمل و نقل پسماند الکتریکی
	IB1	عدم تأثیر سیاست‌های بازیافت مدیریت پسماند جهت ایجاد بازیافت با کیفیت بالا
	IB2	سیاست‌های مالیاتی ناکارآمد

[1] Gabus & Fonetla
[2] Altuntas & Dereli

مقوله اصلی	مخفف	شاخص‌های زنجیره تأمین مدور
	IB3	عدم اجرای کافی قوانین اقتصاد مدور و قانون زباله
	IB4	مسائل فرهنگی و فقدان درونی فرهنگ محیطی زنجیره تأمین
	IB5	تغییر خواسته‌های مصرف کنندگان
	IB6	مشارکت محدود مصرف کننده
	IB7	ایجاد ذهنیت جدید برای خرید
	IB8	بازارهای توسعه نیافته مواد و قطعات
	IB9	مداخله دولت، وضع قوانین، استانداردها و سیاست‌های اقتصاد مدور در زنجیره تأمین و مدیریت پسماند
	IB10	در خطر بودن سلامت کارکنان در فرایند بازیافت
	IB11	حمل و نقل غیر قانونی زباله‌های الکترونیکی
	CB1	دشوار بودن مدیریت کیفیت محصول از طریق چرخه عمر محصولات برای شرکت و حفظ کیفیت محصولات ساخته شده از مواد بازیافتی
	CB2	حساب نشدن هزینه‌های زیست محیطی در شرکت‌ها
	CB3	هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه عمده در زنجیره تأمین برای اجرای اقتصاد مدور
	CB4	بالا بودن هزینه‌های مربوط به مواد بازیافتی در زنجیره تأمین و در بیشتر موارد گران‌تر از مواد دست اول در بازار
	CB5	رهبری و مدیریت ضعیف و تأثیر تصمیم گیری مدیریتی در مورد فناوری، شیوه‌ها و عملگران در اجرای اقتصاد مدور در زنجیره تأمین
	CB6	تأثیر ساختارهای سازمانی شرکت، مانند بوروکراسی ناکارآمد در جهت اجرای اقتصاد مدور در زنجیره تأمین
	CB7	فقدان مهارت، دانش و تجربه کارکنان در مورد اقتصاد مدور
	CB8	اولویت بالاتر سایر مسائل یا الزامات در زنجیره تأمین
	CB9	عدم اطمینان در مورد سودآوری مدل کسب و کار مدور در زنجیره تأمین
	CB10	محدودیت در دسترس بودن و قابلیت ردیابی محصولات زنجیره تأمین
	BD1	پیاده سازی مسیرهای جدید سیستم‌های لجستیک روبه جلو و معکوس
	BD2	وضع شاخص‌های عملکرد در بازیافت، استفاده مجدد و ساخت مجدد در زنجیره تأمین
	BD3	ایجاد زیرساخت پایدار برای تسهیل اجرای اقتصاد مدور برای شرکت‌ها
	BD4	کمک‌های فنی و برنامه‌های ظرفیت سازی
	BD5	کارایی زیست محیطی فرآیندهای تکنولوژیکی
	BD6	پیشرفت تکنولوژی، تجهیزات فنی و امکانات در بازیافت و استفاده از مواد بازیافتی
	BD7	ارائه سیگنال‌هایی در مورد جهت گیری آینده بازارها
	BD8	بهبود رقابت پذیری
محرک	BD9	در دسترس بودن، ایجاد شبکه، مشارکت و همکاری با سایر شرکت‌ها و تأمین کننده و ایجاد روابط بلندمدت با شرکا
	BD10	تغییرات آب و هوایی و گرم شدن جهانی جهت اجرای اقتصاد مدور در زنجیره تأمین
	BD11	اهمیت اجرای اقتصاد مدور در محافظت از رشد آینده جمعیت
	BD12	افزایش شهرنشینی و تأثیر آن بر محیط‌زیست
	BD13	پتانسیل ایجاد مشاغل جدید در زنجیره تأمین مدور
	BD14	ایجاد شبکه صنعت زیست محیطی منطقه‌ای ساده‌تر برای امکان بازیافت
	ID1	خوشنامی برند نزد مصرف کننده و حق فعالیت و بهره برداری در بازار جهانی
	ID2	افزایش مالیات بر انرژی‌های تجدید ناپذیر برای جذابیت بخشیدن به تأمین کنندگان برای خرید محصولات تجدیدپذیر
	ID3	کاهش ضایعات و هزینه‌های مربوط به انرژی

مقوله اصلی	مخفف	شاخص‌های زنجیره تأمین مدور
	ID4	افزایش تقاضا انرژی تجدید پذیر و افزایش آگاهی جامعه از محیط‌زیست
	ID5	مشارکت فعال مصرف کنندگان
	CD1	انگیزه‌های اقتصادی با هدف افزایش تقاضا برای کالاها و خدمات CE محور در زنجیره تأمین
	CD2	توافقات داوطلبانه و اقدامات خودتنظیمی
	CD3	تفکر خلاقانه و آموزش در مورد اقتصاد مدور در زنجیره تأمین
	CD4	فرصت‌هایی برای جریان‌های درآمدی جدید
	CD5	بهبود شفافیت اطلاعات، هماهنگی و ایجاد پلتفرم‌های به اشتراک گذاری اطلاعات در سراسر زنجیره تأمین
	CD6	حمایت مدیران و تعهد به تغییر مدل کسب و کار و ایجاد مدل‌های کسب و کار خدماتی و جدید
	CD7	طراحی محصول بادوام و سازگار با محیط‌زیست و با سیستم مدور
	CD8	اجرای پروژه‌های آزمایشی اقتصاد مدور در زنجیره تأمین صنایع الکترونیکی
	CD9	بازاریابی محصولات بازسازی شده در زنجیره تأمین صنایع الکترونیکی
	CD10	افزایش حسابداری زیست محیطی در زنجیره تأمین برای شرکت‌ها
	CD11	ابتکارات اقتصادی برای کاهش ریسک برای شرکت‌ها به دلیل زیاد بودن هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه در زنجیره تأمین
	s1	تدارکات و خرید پایدار
	s2	استفاده از استراتژی‌های جدید در زنجیره تأمین
	s3	مصرف مجدد
	s4	تولید مجدد
	s5	استراتژی بازیافت
	s6	نگهداری
	s7	کاهش وزن محصولات
	o1	افزایش بهره وری زیست محیطی در تولید
	o2	توجه به خرید پاک
	o3	دفع پایان عمر
	o4	جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای
	o5	جلوگیری از حفاری سنگ معدن
پیامد	o6	کاهش انرژی
	o7	کاهش مواد اولیه
	o8	پیامدهای اقتصادی برای زنجیره تأمین
	o9	پیامدهای اقتصادی برای مصرف کنندگان
	o10	بهبود کارایی مصرف مواد و انرژی در زنجیره تأمین
	o11	پیامدهای اجتماعی و افزایش نرخ اشتغال کسب و کارها در جهت اقتصاد مدور
	o12	توسعه فناوری و و ثبت اختراع در مورد بازیافت زباله‌های الکترونیکی

منبع: خاتمی نسب و همکاران، ۱۴۰۳

یافته‌های تحقیق

پس از انجام مراحل تحلیل دیمتل فازی، ساختار تأثیرگذاری و تأثیرپذیری شاخص‌های زنجیره تأمین مدور در صنایع الکتریکی و الکترونیکی ایران استخراج شد. جدول زیر نشان‌دهنده روابط میان محرک‌ها، موانع و پیامدها است که بر اساس نتایج دیمتل فازی به‌دست آمده است. در این جدول، محرک‌ها به‌عنوان عوامل تسهیل‌کننده، موانع به‌عنوان چالش‌های اجرایی، و پیامدها به‌عنوان نتایج مورد انتظار مشخص شده‌اند و میزان تأثیرگذاری هر شاخص بر سایر شاخص‌ها نمایش داده شده‌است.

جدول ۳– نتایج دیمتل فازی

گروه	کد شناسایی شده	مخفف	وابستگی R-C	اهمیت R+C	تأثیرپذیری C	تأثیرگذاری R	تعداد تأثیرگذاری
گروه علت	ایجاد زیرساخت پایدار برای تسهیل اجرای اقتصاد مدور برای شرکت‌ها	BD3	0/0232	0/0394	0/0081	0/0313	41
	محدودیت‌های تکنولوژیکی و راه حل‌های فنی جهت مدور بودن	BB2	0/0075	0/0098	0/0012	0/0087	29
	سیاست‌های مالیاتی ناکارآمد	IB2	0/0064	0/0073	0/0005	0/0068	21
	مداخله دولت، وضع قوانین، استانداردها و سیاست‌های اقتصاد مدور در زنجیره تأمین و مدیریت پسماند	IB9	0/0063	0/0079	0/0008	0/0071	18
	رهبری و مدیریت ضعیف و تأثیر تصمیم گیری مدیریتی در مورد فناوری، شیوه‌ها و عملگران در اجرای اقتصاد مدور در زنجیره تأمین	CB5	0/0059	0/0085	0/0013	0/0072	24
	حمایت مدیران و تعهد به تغییر مدل کسب و کار و ایجاد مدل‌های کسب و کار خدماتی و جدید	CD6	0/0054	0/0112	0/0029	0/0083	34
	عدم اطمینان در مورد سودآوری مدل کسب و کار مدور در زنجیره تأمین	CB9	0/0052	0/0097	0/0022	0/0074	22
	فقدان همکاری و چالش‌های بازپس گیری محصولات از شرکت‌های دیگر	BB3	0/0052	0/0092	0/0020	0/0072	19
	اجرای پروژه‌های آزمایشی اقتصاد مدور در زنجیره تأمین صنایع الکترونیکی	CD8	0/0050	0/0098	0/0024	0/0074	28
	عدم وجود سیستم استاندارد جهت اندازه گیری اقتصاد مدور در زنجیره تأمین	BB1	0/0049	0/0087	0/0019	0/0068	18
	افزایش حسابداری زیست محیطی در زنجیره تأمین برای شرکت‌ها	CD10	0/0045	0/0106	0/0031	0/0076	28

گروه	کد شناسایی شده	مخفف	وابستگی R-C	اهمیت R+C	تأثیرپذیری C	تأثیرگذاری R	تعداد تأثیرگذاری
	پیشرفت تکنولوژی، تجهیزات فنی و امکانات در بازیافت و استفاده از مواد بازیافتی	BD6	0/0045	0/0079	0/0017	0/0062	21
	توافقات داوطلبانه و اقدامات خودتنظیمی	CD2	0/0042	0/0091	0/0025	0/0066	18
	مشکلات مسائل مربوط به جمع آوری و حمل و نقل پسماند الکتریکی	BB5	0/0041	0/0081	0/0020	0/0061	13
	پیاده سازی مسیرهای جدید سیستم‌های لجستیک روبه جلو و معکوس	BD1	0/0041	0/0083	0/0021	0/0062	13
	افزایش مالیات بر انرژی‌های تجدید ناپذیر برای جذابیت بخشیدن به تأمین کنندگان برای خرید محصولات تجدیدپذیر	ID2	0/0040	0/0051	0/0005	0/0046	12
	محدودیت در دسترس بودن و قابلیت ردیابی محصولات زنجیره تأمین	CB10	0/0040	0/0076	0/0018	0/0058	14
	حساب نشدن هزینه‌های زیست محیطی در شرکت‌ها	CB2	0/0039	0/0082	0/0021	0/0060	23
	ایجاد شبکه صنعت زیست محیطی منطقه‌ای ساده‌تر برای امکان بازیافت	BD14	0/0037	0/0101	0/0032	0/0069	21
	تأثیر ساختارهای سازمانی شرکت، مانند بوروکراسی ناکارآمد در جهت اجرای اقتصاد مدور در زنجیره تأمین	CB6	0/0037	0/0096	0/0030	0/0067	22
	مسائل مربوط به مالکیت و تقسیم هزینه‌ها و منافع	BB4	0/0034	0/0087	0/0027	0/0060	14
	انگیزه‌های اقتصادی با هدف افزایش تقاضا برای کالاها و خدمات CE محور در زنجیره تأمین	CD1	0/0032	0/0090	0/0029	0/0061	21
	مشارکت فعال مصرف کنندگان	ID5	0/0028	0/0074	0/0023	0/0051	14
	فقدان مهارت، دانش و تجربه کارکنان در مورد اقتصاد مدور	CB7	0/0026	0/0075	0/0024	0/0050	16
	کمک‌های فنی و برنامه‌های ظرفیت سازی	BD4	0/0025	0/0119	0/0047	0/0072	23
	حمل و نقل غیر قانونی زباله‌های الکترونیکی	IB11	0/0025	0/0055	0/0015	0/0040	18
	هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه عمده در زنجیره تأمین برای اجرای اقتصاد مدور	CB3	0/0023	0/0080	0/0029	0/0051	17
	بازاریابی محصولات بازسازی شده در زنجیره تأمین صنایع الکترونیکی	CD9	0/0022	0/0083	0/0031	0/0053	21

گروه	کد شناسایی شده	مخفف	وابستگی R-C	اهمیت R+C	تأثیرپذیری C	تأثیرگذاری R	تعداد تأثیرگذاری
	تغییرات آب و هوایی و گرم شدن جهانی جهت اجرای اقتصاد مدور در زنجیره تأمین	BD10	0/0022	0/0045	0/0011	0/0033	8
	بهبود شفافیت اطلاعات، هماهنگی و ایجاد پلتفرم‌های به اشتراک گذاری اطلاعات در سراسر زنجیره تأمین	CD5	0/0021	0/0084	0/0032	0/0053	17
	دشوار بودن مدیریت کیفیت محصول از طریق چرخه عمر محصولات برای شرکت و حفظ کیفیت محصولات ساخته شده از مواد بازیافتی	CB1	0/0020	0/0061	0/0021	0/0040	13
	عدم تأثیر سیاست‌های بازیافت مدیریت پسماند جهت ایجاد بازیافت با کیفیت بالا	IB1	0/0020	0/0080	0/0030	0/0050	16
	اولویت بالاتر سایر مسائل یا الزامات در زنجیره تأمین	CB8	0/0019	0/0112	0/0047	0/0065	14
	مشارکت محدود مصرف کننده	IB6	0/0018	0/0074	0/0028	0/0046	8
	وضع شاخص‌های عملکرد در بازیافت، استفاده مجدد و ساخت مجدد در زنجیره تأمین	BD2	0/0017	0/0154	0/0068	0/0085	29
	بالا بودن هزینه‌های مربوط به مواد بازیافتی در زنجیره تأمین و در بیشتر موارد گران‌تر از مواد دست اول در بازار	CB4	0/0016	0/0085	0/0035	0/0051	16
	ابتکارات اقتصادی برای کاهش ریسک برای شرکت‌ها به دلیل زیاد بودن هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه در زنجیره تأمین	CD11	0/0014	0/0092	0/0039	0/0053	18
	تغییر خواسته‌های مصرف کنندگان	IB5	0/0013	0/0075	0/0031	0/0044	16
	کارایی زیست محیطی فرآیندهای تکنولوژیکی	BD5	0/0011	0/0071	0/0030	0/0041	13
	تفکر خلاقانه و آموزش در مورد اقتصاد مدور در زنجیره تأمین	CD3	0/0011	0/0088	0/0038	0/0050	11
	خوشنامی برند نزد مصرف کننده و حق فعالیت و بهره برداری در بازار جهانی	ID1	0/0007	0/0103	0/0048	0/0055	15
	در دسترس بودن، ایجاد شبکه، مشارکت و همکاری با سایر شرکت‌ها و تأمین کننده و ایجاد روابط بلندمدت با شرکا	BD9	0/0007	0/0080	0/0036	0/0044	10
	پتانسیل ایجاد مشاغل جدید در زنجیره تأمین مدور	BD13	0/0007	0/0074	0/0034	0/0041	9
	فرصت‌هایی برای جریان‌های درآمدی جدید	CD4	0/0002	0/0119	0/0058	0/0060	18

گروه	کد شناسایی شده	مخفف	وابستگی R-C	اهمیت R+C	تأثیرپذیری C	تأثیرگذاری R	تعداد تأثیرگذاری
	اهمیت اجرای اقتصاد مدور در محافظت از رشد آینده جمعیت	BD11	0/0000	0/0083	0/0042	0/0042	15
گروه معلول	طراحی محصول بادوام و سازگار با محیط‌زیست و با سیستم مدور	CD7	-0/0001	0/0151	0/0076	0/0075	24
	ایجاد ذهنیت جدید برای خرید	IB7	-0/0006	0/0098	0/0052	0/0046	16
	در خطر بودن سلامت کارکنان در فرایند بازیافت	IB10	-0/0009	0/0066	0/0038	0/0028	2
	مسائل فرهنگی و فقدان درونی فرهنگ محیطی زنجیره تأمین	IB4	-0/0010	0/0085	0/0047	0/0038	16
	عدم اجرای کافی قوانین اقتصاد مدور و قانون زباله	IB3	-0/0011	0/0098	0/0054	0/0043	17
	بازارهای توسعه نیافته مواد و قطعات	IB8	-0/0019	0/0079	0/0049	0/0030	12
	پیامدهای اقتصادی برای زنجیره تأمین	o8	-0/0024	0/0227	0/0125	0/0102	36
	کاهش ضایعات و هزینه‌های مربوط به انرژی	ID3	-0/0024	0/0115	0/0070	0/0046	14
	افزایش تقاضا انرژی تجدید پذیر و افزایش آگاهی جامعه از محیط‌زیست	ID4	-0/0027	0/0109	0/0068	0/0041	13
	ارائه سیگنال‌هایی در مورد جهت گیری آینده بازارها	BD7	-0/0034	0/0109	0/0071	0/0037	3
	بهبود رقابت پذیری	BD8	-0/0034	0/0077	0/0055	0/0022	3
	پیامدهای اقتصادی برای مصرف کنندگان	o9	-0/0054	0/0170	0/0112	0/0058	19
	استراتژی بازیافت	s5	-0/0056	0/0188	0/0122	0/0066	25
	نگهداری	s6	-0/0056	0/0171	0/0114	0/0057	16
	کاهش وزن محصولات	s7	-0/0058	0/0176	0/0117	0/0059	13
	تولید مجدد	s4	-0/0058	0/0187	0/0122	0/0065	24
	تدارکات و خرید پایدار	s1	-0/0055	0/0172	0/0114	0/0059	26
	استفاده از استراتژی‌های جدید در زنجیره تأمین	s2	-0/0057	0/0183	0/0120	0/0063	25
	مصرف مجدد	s3	-0/0060	0/0194	0/0127	0/0067	29
	توسعه فناوری و و ثبت اختراع در مورد بازیافت زباله‌های الکترونیکی	o12	-0/0063	0/0179	0/0121	0/0058	19
	توجه به خرید پاک	o2	-0/0073	0/0162	0/0118	0/0044	15
	بهبود کارایی مصرف مواد و انرژی در زنجیره تأمین	o10	-0/0073	0/0175	0/0124	0/0051	17

گروه	کد شناسایی شده	مخفف	وابستگی R-C	اهمیت R+C	تأثیرپذیری C	تأثیرگذاری R	تعداد تأثیرگذاری
	پیامدهای اجتماعی و افزایش نرخ اشتغال کسب و کارها در جهت اقتصاد مدور	o11	-0/0074	0/0178	0/0126	0/0052	19
	جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای	o4	-0/0075	0/0166	0/0120	0/0046	20
	کاهش انرژی	o6	-0/0079	0/0167	0/0123	0/0044	16
	افزایش بهره وری زیست محیطی در تولید	o1	-0/0080	0/0167	0/0123	0/0043	13
	دفع پایان عمر	o3	-0/0080	0/0166	0/0123	0/0043	16
	کاهش مواد اولیه	o7	-0/0083	0/0174	0/0129	0/0045	18
	جلوگیری از حفاری سنگ معدن	o5	-0/0085	0/0172	0/0128	0/0044	16
	افزایش شهرنشینی و تأثیر آن بر محیطزیست	BD12	-0/0180	0/0259	0/0220	0/0039	12

براساس جدول شماره ۳، در زنجیره تأمین مدور، محرک‌ها به‌عنوان عوامل کلیدی در تسهیل پیاده‌سازی این رویکرد شناخته می‌شوند. از میان محرک‌های شناسایی‌شده، ایجاد زیرساخت پایدار برای تسهیل اجرای اقتصاد مدور، با درجه اهمیت ۰/۰۳۹۴ و تأثیرگذاری ۰/۰۲۳۲، نقش محوری در توسعه زنجیره تأمین مدور دارد. این محرک با تأثیرگذاری بالا، زمینه‌ساز فراهم کردن امکانات لجستیکی، فنی و زیرساخت‌های بازیافت است. همچنین، طراحی محصول بادوام و سازگار با محیطزیست، با درجه اهمیت ۰/۰۱۵۱، دومین محرک مهم محسوب می‌شود که بر افزایش طول عمر محصولات و کاهش وابستگی به مواد اولیه تأثیر مستقیم دارد. وضع شاخص‌های عملکردی برای بازیافت، استفاده مجدد و ساخت مجدد نیز با درجه اهمیت ۰/۰۱۵۴، ابزاری برای ارزیابی پیشرفت زنجیره تأمین مدور بوده و در ایجاد شفافیت و نظارت بر عملکرد، نقشی حیاتی ایفا می‌کند. سایر محرک‌های مؤثر شامل حمایت مدیران و تعهد به تغییر مدل کسب‌وکار (۰/۰۱۱۲)، اجرای پروژه‌های آزمایشی اقتصاد مدور (۰/۰۰۹۸) و افزایش حسابداری زیست‌محیطی (۰/۰۱۰۶) هستند که هر یک در پیشبرد اهداف زنجیره تأمین مدور تأثیر به سزایی دارند. علاوه بر این، پیشرفت تکنولوژی و تجهیزات بازیافت (۰/۰۰۷۹) و توافقات داوطلبانه و اقدامات خودتنظیمی (۰/۰۰۹۱) نیز در میان محرک‌های کلیدی جای دارند که زمینه را برای اجرای بهتر این رویکرد فراهم می‌کنند.

در مقابل، موانع به‌عنوان عواملی که پیاده‌سازی زنجیره تأمین مدور را دشوار می‌کنند، تأثیر به سزایی در کاهش کارایی این فرآیند دارند. محدودیت‌های تکنولوژیکی و راه‌حل‌های فنی، با درجه اهمیت ۰/۰۰۹۸ و تأثیرگذاری ۰/۰۰۷۵، یکی از مهم‌ترین موانع شناسایی‌شده است که نیازمند سرمایه‌گذاری در توسعه فناوری‌های جدید برای بازیافت و استفاده مجدد است. همچنین، عدم وجود سیستم استاندارد جهت اندازه‌گیری اقتصاد مدور (۰/۰۰۸۷)، یکی دیگر از موانع کلیدی محسوب می‌شود که شفافیت و امکان ارزیابی عملکرد را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه بالا (۰/۰۰۸۰)، مانعی اساسی برای سازمان‌ها است که قصد دارند به سمت زنجیره تأمین مدور حرکت کنند. سیاست‌های مالیاتی ناکارآمد (۰/۰۰۷۳)، نبود سیستم‌های استاندارد حمل‌ونقل زباله‌های الکترونیکی (۰/۰۰۸۱) و ضعف در همکاری میان شرکت‌ها (۰/۰۰۹۲) نیز از جمله موانع دیگری هستند که می‌توانند روند پیاده‌سازی اقتصاد مدور را با چالش مواجه کنند.

پیامدهای زنجیره تأمین مدور نشان‌دهنده نتایج اجرای موفق این سیستم هستند و تأثیرات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی مهمی را به همراه دارند. یکی از کلیدی‌ترین پیامدهای اقتصادی، افزایش بهره‌وری در زنجیره تأمین (O8) با درجه اهمیت ۰/۰۲۲۷

است که بیانگر کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی در فرآیندهای تولید و مصرف است. همچنین، پیامدهای اقتصادی برای مصرف‌کنندگان (O9) با اهمیت ۰/۰۱۷۰، تأثیر مستقیم بر رفتار خرید مشتریان دارد. در بخش زیست‌محیطی، کاهش مصرف مواد اولیه (O7) با اهمیت ۰/۰۱۷۴، به کاهش وابستگی به منابع طبیعی کمک می‌کند و پیامدهایی مانند جلوگیری از حفاری سنگ معدن (O5)و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای(O4) ، از اثرات مثبت این تغییر محسوب می‌شوند. از دیگر پیامدهای مهم می‌توان به بهبود کارایی مصرف مواد و انرژی (O10) و افزایش بهره‌وری زیست‌محیطی در تولید (O1) اشاره کرد که تأثیر مستقیمی در بهینه‌سازی مصرف منابع دارند. در بعد اجتماعی نیز، افزایش اشتغال و رونق کسب‌وکارها (O11) و توسعه فناوری و ثبت اختراع در بازیافت زباله‌های الکترونیکی(O12) ، از پیامدهای کلیدی اقتصاد مدور هستند که نوآوری و رشد پایدار را در صنعت تسریع می‌کنند.

مقایسه میانگین مقدار R+C برای هر دسته نشان‌می‌دهد که پیامدها با مقدار ۰/۰۱۷۵ مهم‌ترین دسته در زنجیره تأمین مدور محسوب می‌شوند، زیرا نشان‌دهنده اهداف نهایی همچون کاهش مصرف مواد اولیه، افزایش بهره‌وری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند. محرک‌ها با مقدار ۰/۰۱۲۶ در جایگاه دوم قرار دارند، زیرا اگرچه اهمیت کلی آن‌ها کمتر از پیامدهاست، اما با داشتن R-C مثبت، به‌عنوان عوامل تسهیل‌کننده و پیش‌برنده سیستم عمل می‌کنند. موانع با مقدار ۰/۰۰۸ کمترین اهمیت را دارند، زیرا نقش بازدارنده داشته اما تعیین‌کننده اصلی عملکرد سیستم نیستند. در نتیجه، تمرکز اصلی باید بر تقویت محرک‌های کلیدی برای دستیابی به پیامدهای مطلوب باشد، در حالی که موانع به‌عنوان چالش‌هایی که باید رفع شوند، در اولویت بعدی قرار دارند.

شاخص‌های محرک در جدول ۲، در مقایسه با موانع و پیامدها، نقش پررنگ‌تری در علیّت سیستم زنجیره تأمین مدور دارند. مقدار R-Cکه نشان‌دهنده میزان تأثیرگذاری یک شاخص بر سایر شاخص‌هاست، در بسیاری از محرک‌ها مثبت بوده، در حالی که موانع و پیامدها عمدتاً تأثیرپذیرتر (R-C) منفی هستند. این نشان‌می‌دهد که محرک‌ها بیشتر به‌عنوان علل (Cause) در این سیستم عمل می‌کنند، درحالی‌که پیامدها و برخی موانع نقش معلول (Effect) را دارند. به‌طور خاص، ایجاد زیرساخت‌های پایدار(BD3) ، حمایت مدیران (CD6) و طراحی محصولات بادوام (CD7) از جمله محرک‌هایی هستند که بالاترین میزان تأثیرگذاری را در شبکه روابط دارند. این عوامل به‌عنوان محرک‌های کلیدی، سایر شاخص‌ها را تحت تأثیر قرار داده و زمینه را برای تغییرات ساختاری در زنجیره تأمین مدور فراهم می‌کنند. در مقابل، پیامدهایی مانند افزایش بهره‌وری زنجیره تأمین (O8) و کاهش مصرف مواد اولیه (O7) عمدتاً تأثیرپذیر بوده و نقش معلول را ایفا می‌کنند.

نکته قابل توجه این است که برخی موانع نیز دارای مقدار R-C نزدیک به صفر یا کمی مثبت هستند، به این معنا که ممکن است در برخی موارد نه‌تنها مانع اجرای اقتصاد مدور باشند، بلکه بر عوامل دیگر نیز اثر بگذارند. به‌عنوان مثال، نبود استانداردهای ارزیابی عملکرد (BB1) و محدودیت‌های تکنولوژیکی (BB2) هم‌زمان هم مانعی برای اجرای محرک‌ها محسوب می‌شوند و هم می‌توانند سایر شاخص‌های سیستم را تحت تأثیر قرار دهند. به‌طور کلی، تحلیل دیمتل فازی نشان‌می‌دهد که محرک‌ها بیشتر در نقش علت، موانع در نقش عوامل میانی، و پیامدها در نقش معلول ظاهر می‌شوند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که برای دستیابی به پیامدهای مطلوب، ابتدا باید بر اجرای محرک‌های کلیدی تمرکز کرد و موانع را کاهش داد، زیرا بدون فعال‌سازی این عوامل، امکان تحقق پیامدهای مطلوب در زنجیره تأمین مدور وجود نخواهد داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

صنعت ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، به دلیل ارزش اقتصادی بالای مواد خام موجود در آن، پتانسیل قابل‌توجهی برای بازیافت و بهره‌وری اقتصادی دارد. تخمین زده می‌شود که ارزش کلی مواد خام موجود در این زباله‌ها حدود ۵۵ میلیارد یورو باشد، اما در حال حاضر تنها ۲۰ درصد از کل زباله‌های الکترونیکی جهان به‌صورت اصولی جمع‌آوری و بازیافت می‌شود (بالده و

همکاران، ۲۰۱۷). این امر نشان‌دهنده عدم اجرای کامل اقتصاد مدور در این صنعت و وجود چالش‌های مدیریتی و زیرساختی در بسیاری از کشورها، به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، است. از سوی دیگر، بازیافت غیراصولی زباله‌های الکترونیکی در برخی کشورها منجر به آلودگی‌های گسترده زیست‌محیطی شده‌است، درحالی‌که با مدیریت صحیح این پسماندها، علاوه بر کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی، امکان بهره‌برداری از منابع ارزشمند فلزی مانند طلا، نقره، مس و پالادیم نیز وجود دارد. در ایران، با وجود تولید سالانه ۲۷۰ هزار تن زباله الکترونیکی، اطلاعات دقیق و شفافی درباره میزان واقعی بازیافت این پسماندها در دسترس نیست و شواهد نشان‌می‌دهد که کشور در مقایسه با استانداردهای بین‌المللی، در توسعه فرایندهای بازیافت زباله‌های الکترونیکی عقب مانده است (رکنا، ۱۴۰۱). با وجود برخی اقدامات قانونی و اجرایی در سال‌های اخیر، همچنان فاصله قابل‌توجهی تا رسیدن به یک سیستم مدیریت پسماند الکترونیکی پایدار و هماهنگ با اصول اقتصاد مدور وجود دارد.

در بررسی زنجیره تأمین مدور در صنعت تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، شناسایی و دسته‌بندی شاخص‌ها در سه گروه محرک‌ها، موانع و پیامدها نقش اساسی در تحلیل ساختار علّی سیستم دارد. محرک‌ها شامل عواملی هستند که می‌توانند به تسریع فرآیند گذار از مدل خطی مدیریت پسماند به اقتصاد مدور کمک کنند. از سوی دیگر، موانع به‌عنوان چالش‌هایی که این فرآیند را مختل کرده یا کند می‌کنند، در این سیستم اهمیت زیادی دارند. در نهایت، پیامدها نشان‌دهنده نتایج نهایی اجرای صحیح این رویکرد هستند که شامل پیامدهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی است. بررسی روابط بین این سه گروه از شاخص‌ها با استفاده از روش دیمتل فازی، اهمیت درک تأثیرات متقابل میان آن‌ها را نشان‌می‌دهد.

مطالعات گذشته نیز با استفاده از روش‌های مختلف به تحلیل روابط میان محرک‌ها، موانع و پیامدهای اقتصاد مدور پرداخته‌اند. برای مثال، پاسکوالتو و همکاران (۲۰۲۳) با مرور سیستماتیک ۵۳ مقاله علمی، این شاخص‌ها را در ده دسته کلان طبقه‌بندی کرده و بر نقش حیاتی عوامل زنجیره تأمین و مسائل اقتصادی تأکید کردند. مطالعه منوهاران و همکاران (۲۰۲۲) با بهره‌گیری از روش ISM-DEMATEL، ساختار علّی پیچیده‌ای را بین محرک‌ها و موانع در صنعت خودرو ترسیم نمود که نتایج آن از حیث منطق ساختاری با یافته‌های این پژوهش قابل مقایسه است. مقتدر و همکاران (۲۰۱۸) نیز در صنعت چرم بنگلادش نشان دادند که حمایت مدیران ارشد و ایجاد زیرساخت‌ها از کلیدی‌ترین عوامل در موفقیت اقتصاد مدور هستند، موضوعی که در پژوهش حاضر نیز تأیید شده‌است.

تحلیل شاخص‌های زنجیره تأمین مدور در صنایع الکتریکی و الکترونیکی ایران با استفاده از روش دیمتل فازی نشان داد که موفقیت این رویکرد به میزان زیادی به محرک‌های کلیدی، میزان کنترل و کاهش موانع اجرایی، و همچنین پیامدهای قابل‌دستیابی بستگی دارد. در این پژوهش، ایجاد زیرساخت پایدار برای تسهیل اجرای اقتصاد مدور(BD3 ، حمایت مدیران و تعهد به تغییر مدل کسب‌وکار (CD6) و طراحی محصول بادوام و سازگار با محیطزیست (CD7) به‌عنوان تأثیرگذارترین محرک‌های سیستم شناسایی شدند. این عوامل نشان می‌دهند که بدون زیرساخت‌های مناسب، تغییرات مدیریتی در سطح کلان، و تغییر در طراحی محصولات، اجرای موفق زنجیره تأمین مدور در ایران دشوار خواهد بود. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات داخلی مانند کیانی و همکاران (۱۴۰۲) که حمایت رهبری و تعهد مدیریتی را مهم‌ترین توانمندساز ذکر کرده‌اند، نیز همخوانی دارد.

در کنار این محرک‌ها، موانعی مانند محدودیت‌های تکنولوژیکی و راه‌حل‌های فنی جهت مدور بودن(BB2) ، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه (CB3) و نبود استانداردهای سنجش عملکرد اقتصاد مدور (BB1) از مهم‌ترین چالش‌هایی بودند که باید مورد توجه قرار گیرند. بر این اساس، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های بازیافت پیشرفته، ارائه مشوق‌های اقتصادی برای شرکت‌ها، و ایجاد استانداردهای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین مدور از مهم‌ترین اقدامات لازم برای کاهش این موانع هستند. از سوی دیگر، نتایج این پژوهش تأیید می‌کند که پیامدهایی مانند افزایش بهره‌وری در زنجیره تأمین(O8) ، کاهش مصرف مواد اولیه (O7) و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (O4) از مهم‌ترین نتایج اجرای موفق زنجیره تأمین مدور در ایران خواهند بود. این پیامدها نه‌تنها موجب بهبود

عملکرد زیست‌محیطی و اقتصادی صنایع می‌شوند، بلکه می‌توانند فرصت‌های جدید شغلی و توسعه فناوری‌های نوین را نیز به همراه داشته باشند. یافته‌های این بخش همسو با تحلیل‌های سیورینگ و میلر (۲۰۰۸) درباره منافع بلندمدت پایدار در زنجیره‌های تأمین سبز هستند.

نتایج این پژوهش ضمن همسویی با برخی مطالعات بین‌المللی، تصویری بومی و ساختارمند از زنجیره تأمین مدور در ایران ترسیم می‌کند که می‌تواند راهنمای عمل برای تصمیم‌سازان در شرایط اقتصادی و نهادی خاص کشور باشد. اجرای موفق زنجیره تأمین مدور در ایران مستلزم اقدامات هماهنگ در حوزه‌های زیرساختی، مدیریتی، فناورانه و سیاست‌گذاری است. بدون تمرکز بر محرک‌های کلیدی و رفع موانع اجرایی، دستیابی به پیامدهای مثبت این رویکرد دشوار خواهد بود. لذا سیاست‌گذاران، مدیران صنعتی، و محققان باید با همکاری نزدیک، زمینه را برای تغییرات ساختاری و توسعه پایدار زنجیره تأمین در صنایع الکتریکی و الکترونیکی ایران فراهم کنند.

در راستای توسعه زنجیره تأمین مدور در صنایع الکتریکی و الکترونیکی ایران، توجه به چند رویکرد اساسی ضروری است. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های لجستیک معکوس و توسعه مراکز بازیافت تخصصی، گامی مهم در بهبود نرخ جمع‌آوری و بازیافت زباله‌های الکترونیکی است. در کنار آن، حمایت از طراحی محصولاتی با دوام بالا و قابلیت تعمیر یا بازیافت آسان، می‌تواند به کاهش مصرف منابع اولیه و طولانی‌تر شدن چرخه عمر تجهیزات منجر شود. ارائه مشوق‌های مالی مانند کاهش مالیات برای شرکت‌های پایبند به اصول اقتصاد مدور، یکی از ابزارهای مؤثر برای ارتقای مشارکت صنایع در این مسیر است. همچنین، ایجاد شاخص‌های ارزیابی عملکرد و استانداردهای مشخص برای سنجش موفقیت اجرای اقتصاد مدور، از طریق همکاری نهادهای دولتی، صنعتی و دانشگاهی، می‌تواند به پایش و بهبود مستمر این فرآیند کمک کند. توسعه فناوری‌های بازیافت از طریق سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، و همچنین ارتقای قوانین نظارتی در حوزه مدیریت زباله‌های الکترونیکی، از دیگر الزامات اساسی است. از سوی دیگر، ارتقای آگاهی عمومی از طریق آموزش و کمپین‌های رسانه‌ای می‌تواند زمینه مشارکت بیشتر مصرف‌کنندگان را در بازیافت و بازگرداندن کالاهای مستعمل فراهم آورد.

برای کشورهایی مانند ایران، که با محدودیت‌های اقتصادی و فناورانه مواجه‌اند، تقویت همکاری‌های بین‌المللی به‌ویژه در تبادل فناوری‌ها و تجربیات موفق جهانی می‌تواند انتقال دانش و فناوری را تسهیل کند. مشارکت راهبردی با شرکت‌های خارجی، ایجاد مراکز تحقیق و نوآوری بومی، و تدوین مشوق‌های اجتماعی برای مصرف‌کنندگان (نظیر ارائه تخفیف در ازای بازگشت محصولات مستعمل)، از جمله اقدامات مکملی هستند که می‌توانند رفتار مصرفی را در جهت پایداری تغییر دهند. در نهایت، دستیابی به زنجیره تأمین مدور و پایدار در این صنعت، مستلزم همکاری هم‌زمان و هدفمند میان دولت، صنایع، دانشگاه‌ها و مصرف‌کنندگان است. چنین همکاری‌هایی نه‌تنها زمینه نوآوری‌های فناورانه و بهره‌وری اقتصادی را فراهم می‌کند، بلکه نقش مهمی در کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی ناشی از زباله‌های الکترونیکی و حرکت به‌سوی توسعه پایدار ایفا خواهد کرد. از این‌رو، اجرای سیاست‌ها و برنامه‌های یکپارچه، همراه با برنامه‌ریزی بلندمدت و نظارت مستمر، شرط لازم برای موفقیت زنجیره تأمین مدور در صنایع الکتریکی و الکترونیکی ایران خواهد بود.

منابع

Afrakhteh, H. (2022). Ecological Economics and the Protection of Earth's Ecosystems. *Green Development Management Studies*, 1(1), 1–15. DOI:10.22077/jgmd.2023.6089.1018 (In Persian)

Alizadeh, A., Seyyedi, S. H., Seyyedi, A., & Zamani, M. (2023). An analysis of environmental projects implemented in Fajr Jam Gas Refining Company. *Green Management Development Studies*, 3(10), 1–20. DOI: 10.22077/jgmd.2023.6102.1019 (In Persian)

Allahyari, E., Mazari-Moghadam, N. S., & Nasih, N. (2022). Green University: Resource Management Strategy and Sustainable Development at Birjand University of Medical Sciences. *Green Development Management Studies*, 3(10), 93–116. DOI:10.22077/jgmd.2023.6102.1019 (In Persian)

Altuntas, S., Dereli, T. (2015). *A novel approach based on DEMATEL method and patent citation analysis for prioritizing a portfolio of investment projects*. Expert Systems with Applications. 42(3):1003–1012. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.09.018

Baldé, C.P., D'Angelo, E., Luda, V., Deubzer, O, and Kuehr, R. (2022). *Global Transboundary E-waste Flows Monitor - 2022, United Nations Institute for Training and Research (UNITAR)*, Bonn, Germany.

Baldé, C.P., Kuehr, R., Yamamoto, T., McDonald, R., D'Angelo, E., Althaf, SH., Bel, G., Deubzer, O., Fernandez-Cubillo, E., Forti, V., Gray, V., Herat, S., Honda, SH., Iattoni, G., Khetriwal, D.S., di Cortemiglia, V.L., Lobuntsova, Y., Nnorom, I., Pralat, N., Wagner, M. (2024). *International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR)*. Global E-waste Monitor 2024. Geneva/Bonn. DOI: 10.53333/CEWASTE2024

Bocken, N., and S. Short. (2016). Towards a Sufficiency-driven Business Model: Experiences and Opportunities. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 18: 41–61. DOI: 10.1016/j.eist.2015.07.010

Chen, F-H., Hsu, T-S., Tzeng, G-H. (2011). *balanced scorecard approach to establish a performance evaluation and relationship model for hot spring hotels based on a hybrid MCDM model combining DEMATEL and ANP*. International Journal of Hospitality Management. 30: 908. DOI: 10.1016/j.ijhm.2011.02.001

Cooper, M. C., L. M. Ellram. (1993). Characteristics of Supply Chain Management and the Implications for Purchasing and Logistics Strategy. *The International Journal of Logistics Management*, 4 (2): 13–24. DOI: 10.1108/09574099310804957

Coughlan, D., Fitzpatrick, C. (2020). Trialling the preparation for reuse of consumer ICT WEEE in Ireland. *Cleaner Production*. 256, 120512. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120512

Daú, G., Scavarda, A., Scavarda, L.F., Portugal, V.J.T. (2019). The Healthcare Sustainable Supply Chain 4.0: The Circular Economy Transition Conceptual Framework with the Corporate Social Responsibility Mirror. *Sustainability*, 11, 3259. DOI: 10.3390/su11123259

De Angelis, R., Howard, M., Miemczyk, J. (2018). Supply Chain Management and the Circular Economy: Towards the Circular Supply Chain. *Production Planning & Control*, 29, 425–437. DOI: 10.1080/09537287.2018.1449244

Defee, C., Stank, T. P. (2005). Applying the Strategy-Structure-Performance Paradigm to the Supply Chain Environment. *The International Journal of Logistics Management*, 16 (1): 28–50. DOI: 10.1108/09574090510617349

Di Maria, E., De Marchi, V., Galeazzo, A. (2022). Industry 4.0 technologies and circular economy: The mediating role of supply chain integration. *Business Strategy and the Environment*, 31(2), 619-632. DOI: 10.1002/bse.2940

Ellen MacArthur Foundation. (2012). Towards the Circular Economy.: Economic and business rationale for an accelerated transition. *Industrial Ecology*, 10(1–2), 4–8.

Ellen MacArthur Foundation. (2014). Cowes, UK Available online: http://www.ellenmacarthurfoundation.org/books-and-report.

Eskandari Sani, M., & Sofalgar, S. (2022). Integrating green and circular economy: A novel approach to sustainable income in Birjand. *Green Development Management Studies*, 1(2), 159–172. DOI: 10.22077/jgmd.2023.6171.1023 (In Persian)

Fehrer, J. A., & Wieland, H. (2020). A systemic logic for circular business models. *Business Research*, 125, 609–620. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.02.010

Forti, V., Bald´e, C.P., Kuehr, R., Bel, G., (2020). The Global E-Waste Monitor 2020: Quantities, Flows and the Circular Economy Potential. *United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme*, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam. DOI: 10.53333/CEWASTE2020

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. DOI: 10.1016/j.omega.2015.05.015

González-Sánchez, R., Settembre-Blundo, D., Maria Ferrari, A. E., García-Muiña, F. (2020). Main Dimensions in the Building of the Circular Supply Chain: A Literature Review. *Sustainability*, 12, 2459. DOI: 10.3390/su12062459

Guzzo, D., Rodrigues, V.P., Mascarenhas, J. (2020). *A systems representation of the Circular Economy: Transition scenarios in the electrical and electronic equipment (EEE) industry, Technological Forecasting & Social Change*. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120414.

Horbach, J., Rammer, C. (2020). Circular economy innovations, growth and employment at the firm level: Empirical evidence from Germany. *Industrial Ecology*, 24, 615–625. DOI: 10.1111/jiec.12977

Hosseinpour, A., Ghorbanpour, A. (2023). Presenting a model based on the dimensions of circular economy, clean production and the fourth generation industrial revolution to improve the sustainable productivity of manufacturing industries, *Quantitative Economics (Former Economic Reviews)*, 20(2), pp. 165-185. DOI: 10.22055/jqe.2022.39085.2433 (In Persian)

Kazancoglu, Y., Kazancoglu, I., Sagnak, M. (2018). A new holistic conceptual framework for green supply chain management performance assessment based on circular economy. *Cleaner Production*, 36, 82–1299. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.015

Khatami Nasab, G., Hadi Vincheh, A., Arman, M.H., Aghajani, M. (2025), Proposing a Circular Supply Chain Model in Electrical and Electronic Industries with a Grounded Theory Approach, *Productivity Management*, 78. (In Persian)

Kiani, M., Andalib Ardakani, D., Zare Ahmadabadi, H., Mirfakhraldini, S.H. (2024), An analysis of the effective enablers on the implementation of circular economy and industry 4.0 in the supply chain. *Industrial Management Studies*, 21(70). DOI: 10/22054/jims.2023.71900.2835 (In Persian)

Mahpour, A. (2018). Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management, Resources, Conservation & Recycling, 134, 216–227. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.01.026

Manoharan, Sh., Kumar Pulimi, vs., Kabir, G., Ali, SM. (2022). Contextual relationships among drivers and barriers to circular economy: An integrated ISM and DEMATEL approach. *Sustainable Operations and Computers*, 3 43–53. DOI: 10.1016/j.susoc.2021.09.003

Mishra, J.L., Hopkinson, P.G., Tidridge, G. (2018). Value creation from circular economy-led closed loop supply chains: a case study of fast-moving consumer goods. *Production Planning & Control*, 29 (6), 509e521. DOI: 10.1080/09537287.2017.1414016

Moktadir, MA., Rahman, T., Rahman, MH., Ali, SM. (2018). Drivers to sustainable manufacturing practices and circular economy: A perspective of leather industries in Bangladesh. *Cleaner Production*, 174 -1366e1380. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.063

Murray, A., Skene, K., Haynes, K. (2017). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Business Ethics*,140, 369–380. DOI: 10.1007/s10551-016-3123-4

Pasqualotto, C., Callegaro-De-Menezes, D., Stephanus Lodewyk Schutte, C. (2023). An Overview and Categorization of the Drivers and Barriers to the Adoption of the Circular Economy: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 15, 10532. DOI: 10.3390/su151310532

Rizos, V., Bryhn, J. (2022). Implementation of circular economy approaches in the electrical and electronic equipment (EEE) sector: Barriers, enablers and policy insights. *Cleaner Production*, 338 (2022) 130617. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130617

Rokna, (2022), Report on the Hidden Treasure of Electronic Waste and Iran's Lack of Attention to Its Recycling, News Code 828834, https://www.rokna.net/fa/tiny/news-828834. (In Persian)

Seuring, S., Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.04.020

Varasteh, M., Aghajani, H., Valipour Khatir, M., Aghaei, M. (2023). Extracting a framework for evaluating circular business models in the Iranian steel industry based on a circular economy

approach. *Productivity Management*, (164(63)). 53-81. DOI: 10.22034/JPM.2022.1971193.2952 (In Persian)

Vares, S.H. Mohammadian, A., Heydari-Dehoui, J., Khajehian, D., Nabizadeh, N. (2023). A framework for classifying circular business model patterns from the perspective of circular economy strategies. *Business Management*, 14(1). 13-65. DOI: 10.22059/jibm.2021.319777.4072. (In Persian)

Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., Böni, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5). 436-458. DOI: 10.1016/j.eiar.2005.04.001

Zhu, Q., Geng, Y., Lai, K.H. (2010). Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications. *Environmental Management*, 91, 1324–1331. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.02.013

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی