



Circular Economy in Supply Chain: A Systematic and Analytical Review of International Studies

Farzad Yavari

Nazanin Pilevari *

Reza Radfar

Department of Management and Economics,
SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
Department of Management, WN.C., Islamic
Azad University, Tehran, Iran
Department of Management and Economics,
SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

The Circular Economy (CE) has emerged over the past decade as a key paradigm for achieving sustainable development. By replacing the traditional linear model of “take–make–dispose,” CE aims to minimize resource consumption, enhance production efficiency, and reduce waste generation across industrial systems. The supply chain, as a central structure managing the flow of materials, information, and capital, plays a pivotal role in operationalizing CE principles. This paper adopts a systematic and analytical literature review approach to examine international research, focusing on the conceptual dimensions, challenges, and policy implications of the Circular Supply Chain (CSC). The findings reveal that the digitalization of supply chains—through emerging technologies such as the Internet of Things (IoT), blockchain, and artificial intelligence (AI)—significantly enhances transparency, material traceability, and decision-making efficiency. However, major barriers remain, including high implementation costs, data infrastructure limitations, a lack of standardized performance indicators, and insufficient regulatory enforcement. The comparative analysis of studies indicates that synergy among macro-level policies, technological innovation, and inter-organizational collaboration constitutes the primary driver for the full realization of CE within global supply chains. By synthesizing recent scientific advances and identifying future research directions, this study provides an analytical framework that supports policymakers, managers, and researchers in transitioning toward more circular, resilient, and sustainable supply chains.

Keywords:

Circular Economy, Supply Chain, Sustainability, Digitalization, Circular Indicators

* Corresponding Author: pilevari.nazanin@wtiau.ac.ir

Received: ۲۰۲۵/۰۹/۲۳

Accepted: ۲۰۲۵/۱۲/۲۹

ISSN: ۳۱۱۵-۸۴۷۱ eISSN: ۳۱۱۵-۸۴۷۱



به علمی پژوهش‌های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار
فصلنامه پژوهش‌های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار - سال دوم - شماره ۴ - زمستان ۱۴۰۴

اقتصاد چرخشی در زنجیره تأمین: یک مرور سیستماتیک و تحلیلی از مطالعات بین‌المللی

فرزاد یآوری

نازنین پيله‌وری * ID

رضا رادفر

گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

این مقاله مستخرج از رساله دکتری رویکرد اقتصاد چرخشی در مدل ارزیابی چرخه عمر محصول با استفاده از پویایی سیستم به راهنمایی دکتر نازنین پيله‌وری و مشاوره دکتر رضا رادفر در دانشکده مدیریت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات است.

چکیده

اقتصاد چرخشی (CE) در دهه گذشته به عنوان یک پارادایم کلیدی برای دستیابی به توسعه پایدار مطرح شده است. با جایگزینی مدل خطی سنتی "برداشت-تولید-دفع"، هدف اقتصاد چرخشی کاهش مصرف منابع، افزایش بهره‌وری تولید و کاهش تولید ضایعات در سیستم‌های صنعتی است. زنجیره تأمین به عنوان ساختار مرکزی مدیریت جریان مواد، اطلاعات و سرمایه، نقشی حیاتی در اجرایی کردن اصول اقتصاد چرخشی ایفا می‌کند. این مقاله از رویکرد مرور سیستماتیک و تحلیلی برای بررسی تحقیقات بین‌المللی استفاده می‌کند و بر ابعاد مفهومی، چالش‌ها و پیامدهای سیاستی زنجیره تأمین چرخشی (CSC) تمرکز دارد. یافته‌ها نشان می‌دهند که دیجیتال‌سازی زنجیره‌های تأمین—از طریق فناوری‌های نوظهور مانند اینترنت اشیاء (IoT)، بلاک‌چین و هوش مصنوعی (AI) به طور قابل توجهی شفافیت، قابلیت ردیابی مواد و کارایی تصمیم‌گیری را افزایش می‌دهد. با این حال، موانع عمده‌ای باقی مانده‌اند که شامل هزینه‌های بالای پیاده‌سازی، محدودیت‌های زیرساخت داده‌ها، نبود شاخص‌های استاندارد عملکرد و ضعف در اجرای مقررات هستند. تحلیل مقایسه‌ای مطالعات نشان می‌دهد که هم‌افزایی بین سیاست‌های کلان، نوآوری‌های فناوری و همکاری‌های بین‌سازمانی عامل اصلی تحقق کامل اقتصاد چرخشی در زنجیره‌های تأمین جهانی است. با ترکیب پیشرفت‌های علمی اخیر و شناسایی مسیرهای تحقیقاتی آینده، این مطالعه یک چارچوب تحلیلی ارائه می‌دهد که از سیاست‌گذاران، مدیران و پژوهشگران برای انتقال به سمت زنجیره‌های تأمین چرخشی، مقاوم و پایدار پشتیبانی می‌کند.

واژگای کلیدی: اقتصاد چرخشی، زنجیره تأمین، پایداری، دیجیتال‌سازی، شاخص‌های چرخشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸

ISSN: ۳۱۱۵-۸۶۷۱ eISSN: ۳۱۱۵-۸۶۷۱

در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی، کاهش منابع طبیعی و افزایش تولید ضایعات به یکی از چالش‌های عمده زیست‌محیطی و اقتصادی در سطح جهانی تبدیل شده‌اند. این چالش‌ها منجر به افزایش انتقادات از مدل‌های سنتی توسعه اقتصادی و صنعتی شده است که عمدتاً بر فرآیندهای خطی استخراج، تولید، مصرف و دفع متکی بوده‌اند. در پاسخ به ناپایداری مدل خطی "برداشت-تولید-دفع"، مفهوم اقتصاد چرخشی (CE) به عنوان رویکردی نوآورانه در مدیریت منابع و طراحی سیستم‌های تولید مطرح شده است. هدف اقتصاد چرخشی حداقل کردن هدررفت منابع و حداکثر کردن ارزش در طول چرخه عمر محصول با ترویج گردش مداوم مواد، انرژی و اطلاعات از طریق بازیابی، استفاده مجدد و بازیافت است.

در سطوح سازمانی و صنعتی، زنجیره تأمین به عنوان بستری اساسی برای پیاده‌سازی اصول اقتصاد چرخشی عمل می‌کند. به طور سنتی، زنجیره تأمین به عنوان شبکه‌ای از فعالیت‌ها و فرآیندها تعریف می‌شود که از تأمین مواد اولیه تا تحویل محصول نهایی به مشتریان را شامل می‌شود. با این حال، در پارادایم چرخشی، این ساختار فراتر از جریان‌های خطی رفته و شامل لجستیک معکوس، بازسازی، بازیافت و طراحی برای چرخشی بودن می‌شود. در نتیجه، زنجیره تأمین چرخشی (CSC) در پی ایجاد سیستم‌های حلقه بسته و هم‌افزایی میان بازیگران مختلف در طول زنجیره ارزش است که در نهایت به بهبود بهره‌وری منابع و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی منجر می‌شود.

فشار فزاینده بین‌المللی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد (SDGs)—به ویژه هدف ۱۲ (مصرف و تولید مسئولانه) و هدف ۱۳ (اقدام در برابر تغییرات اقلیمی)—شرکت‌ها، دولت‌ها و سیاست‌گذاران را مجبور کرده است تا اولویت بیشتری به پیاده‌سازی اصول اقتصاد چرخشی و مدل‌های زنجیره تأمین چرخشی بدهند. به طور همزمان، پیشرفت‌های فناوری در سال‌های اخیر—به ویژه در زمینه هوش مصنوعی (AI)، بلاک‌چین، اینترنت اشیا (IoT) و تحلیل‌های کلان‌داده—فرصت‌های جدیدی برای شفافیت، قابلیت ردیابی و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده در زنجیره‌های تأمین ایجاد کرده است. ادغام این فناوری‌های دیجیتال با اصول اقتصاد چرخشی نه تنها مصرف منابع را کاهش می‌دهد، بلکه کارایی، نوآوری و تاب‌آوری شبکه‌های تأمین را نیز افزایش می‌دهد. (Bag, Gupta, & Kumar, ۲۰۲۱; Hervani, Nandi, Sarkis, & Helms, ۲۰۲۲)

با وجود این پیشرفت‌ها، یکپارچه‌سازی کامل اقتصاد چرخشی در مدیریت زنجیره تأمین هنوز با چالش‌هایی همراه است. موانع عمده شامل نبود زیرساخت‌های اطلاعاتی یکپارچه، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه بالا، عدم وجود مقررات الزامی، همکاری ضعیف میان ذینفعان و کمبود شاخص‌های استاندارد عملکرد است. (Centobelli, Cerchione, Esposito, & Passaro, ۲۰۲۱) به همین دلیل، بسیاری از سازمان‌ها در حال انتقال از مدل‌های خطی به مدل‌های چرخشی هستند اما هنوز تحولی کامل در سیستم‌های خود ایجاد نکرده‌اند.

در این زمینه، مطالعات متعددی در سال‌های اخیر به بررسی ابعاد مختلف اقتصاد چرخشی در زنجیره‌های تأمین پرداخته‌اند. برخی از این مطالعات به توسعه مدل‌های ارزیابی و تصمیم‌گیری پرداخته‌اند (Dohale, Amblikar, ۲۰۱۹; Kumar, Mangla, & Bilollikar, ۲۰۲۳; Rajput & Singh, ۲۰۲۳; Centobelli et al., ۲۰۲۱; Pieroni, ۲۰۲۰). در حالی که دیگران نقش فناوری‌های دیجیتال را در فعال‌سازی زنجیره‌های تأمین چرخشی مورد بررسی قرار داده‌اند. (McAloone, & Pigosso, ۲۰۲۰). علاوه بر این، چندین مطالعه سیاست‌محور، نقش دولت‌ها و چارچوب‌های قانونی—به ویژه در اتحادیه اروپا و شرق آسیا که پیشگامان پیاده‌سازی طرح اقدام اقتصاد چرخشی هستند—را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند.

بنابراین، مطالعه حاضر به منظور ارائه یک مرور سیستماتیک و تحلیلی از تحقیقات بین‌المللی منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۵ انجام شده است که به بررسی روندهای تحقیقاتی، چالش‌ها، فناوری‌های فعال‌ساز و چارچوب‌های سیاستی مربوط به زنجیره‌های تأمین چرخشی می‌پردازد. از طریق یک مرور ساختاریافته از ادبیات علمی، این مقاله به تحلیل مقایسه‌ای مدل‌ها، چارچوب‌ها و دیدگاه‌های نظری پرداخته و در نهایت با شناسایی مسیرهای تحقیقاتی آینده و پیامدهای سیاستی استراتژیک برای پیاده‌سازی اصول اقتصاد چرخشی در زنجیره‌های تأمین به نتیجه‌گیری می‌پردازد.

۲. مبانی نظری و چارچوب مفهومی اقتصاد چرخشی در زنجیره‌های تأمین

۱.۲. مبانی نظری اقتصاد چرخشی

اقتصاد چرخشی (CE) یک مفهوم میان‌رشته‌ای است که ریشه در نظریه‌های پایداری، بوم‌شناسی صنعتی، طراحی حلقه بسته و مدیریت چرخه عمر دارد. در حالی که اقتصاد خطی سنتی از الگوی "برداشت-تولید-مصرف-دفع" پیروی می‌کند، اقتصاد چرخشی به دنبال بستن حلقه‌های ارزش از طریق استفاده مجدد، بازسازی، بازیافت و اشتراک منابع است. (Kirchherr, Reike, & Hekkert, ۲۰۱۷; Yavari, Pilevari, & Radfar, ۲۰۲۵). به جای تأکید بر رشد کمی تولید، اقتصاد چرخشی بر حفظ ارزش مواد و انرژی در چرخه‌های بسته و بلندمدت تمرکز دارد.

در ادبیات علمی، سه اصل بنیادی به عنوان ارکان مفهومی اقتصاد چرخشی به طور گسترده شناخته شده‌اند:

طراحی بدون ضایعات: تأکید بر طراحی محصولات و فرآیندهایی که تولید ضایعات را به حداقل می‌رسانند.

حفظ استفاده از محصولات و مواد: توسعه مکانیزم‌هایی برای گسترش عمر مفید محصولات از طریق تعمیر، بازسازی و بازیافت.

بازسازی سیستم‌های طبیعی: احیای منابع بیولوژیکی به اکوسیستم‌های طبیعی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر. (Macarthur & Heading, ۲۰۱۹)

۵ | یآوری و همکاران

این اصول، ظهور سیستم‌های صنعتی جدیدی را به دنبال دارند که در آن‌ها جریان‌های مواد و اطلاعات به گونه‌ای طراحی می‌شوند که مداوم و بازگشت‌پذیر باشند. در نتیجه، اقتصاد چرخشی نه تنها وابستگی به منابع و انرژی اولیه را کاهش می‌دهد، بلکه فرصت‌هایی برای نوآوری در مدل‌های کسب‌وکار، طراحی محصولات و مدیریت زنجیره تأمین ایجاد می‌کند. (Geissdoerfer, Pieroni, Pigosso, & Soufani, ۲۰۲۰)

۲.۲. زنجیره تأمین چرخشی به عنوان بستر پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی

زنجیره تأمین چرخشی (CSC) تجلی عملی اقتصاد چرخشی در بستر صنعتی است. این رویکرد بر ایجاد جریان‌های دوطرفه در زنجیره تأمین تأکید دارد که به محصولات در پایان دوره استفاده خود اجازه می‌دهد تا از طریق لجستیک معکوس و بازیافت، مجدداً وارد چرخه تولید شوند. برخلاف جریان خطی سنتی مواد—که از تأمین‌کنندگان به مصرف‌کنندگان می‌رود—زنجیره تأمین چرخشی همزمان جریان‌های رو به جلو و معکوس را مدیریت می‌کند. (Hazen, Russo, Confente, & Pellathy, ۲۰۲۱; Mayanti & Helo, ۲۰۲۴)

طبق نظر (Farooque, Zhang, Thüerer, Qu, & Huisingsh, ۲۰۱۹)، زنجیره تأمین چرخشی از تعامل سه جزء کلیدی حاصل می‌شود:

نوآوری در طراحی محصول و فرآیند،

فناوری‌های دیجیتال و مبتنی بر داده،

همکاری میان بازیگران زنجیره تأمین.

این سه عنصر به صورت هم‌افزا عمل می‌کنند تا امکان ایجاد سیستم‌های پایدارتر را فراهم کنند. در یک زنجیره تأمین چرخشی، سازمان‌ها از تفکر خطی فراتر رفته و تمرکز خود را از کارایی داخلی به بهینه‌سازی شبکه ارزش کلی تغییر می‌دهند.

۳.۲. نقش فناوری در تقویت زنجیره‌های تأمین چرخشی

تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که موفقیت زنجیره‌های تأمین چرخشی (CSC) تا حد زیادی به توانایی سازمان‌ها در بهره‌برداری از فناوری‌های دیجیتال بستگی دارد. فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی (AI)، اینترنت اشیا (IoT) و بلاک‌چین شفافیت، قابلیت ردیابی و مسئولیت‌پذیری را در سراسر زنجیره تأمین افزایش می‌دهند. (Hervani et al., ۲۰۲۲) به عنوان مثال، فناوری بلاک‌چین می‌تواند اصالت مواد بازیافتی را از طریق سوابق معاملات غیرقابل تغییر تأیید کند و به این ترتیب اعتماد میان شرکای زنجیره تأمین را تقویت کند. به طور مشابه، تحلیل داده‌های بزرگ (Big Data Analytics) می‌تواند ناکارآمدی‌ها و هدررفت مواد در سراسر سیستم را شناسایی کرده و از تصمیم‌گیری‌های استراتژیک مبتنی بر داده پشتیبانی کند. (Bag et al., ۲۰۲۱)

علاوه بر فناوری، مدل‌های تجاری نوآورانه—مانند "محصول به عنوان خدمت" (PaaS)، اجاره تجهیزات یا پلتفرم‌های به اشتراک‌گذاری منابع—موجب ترویج حفظ ارزش در طول چرخه عمر محصول می‌شوند. (Pieroni et al., ۲۰۲۰) این مدل‌ها توجه تولیدکنندگان را از حداکثر کردن حجم فروش به سمت افزایش دوام، قابلیت تعمیر و بازسازی محصولات معطوف می‌کنند. چنین رویکردهایی نه تنها به کاهش هدررفت و مصرف منابع کمک می‌کنند، بلکه در پیگیری اهداف پایداری و اقتصاد چرخشی نیز نقشی کلیدی دارند.

۴.۲. چارچوب مفهومی مطالعه

با توجه به نظریات و مطالعات تجربی مرور شده، چارچوب مفهومی این تحقیق بر اساس سه بعد اصلی ساختاربندی شده است:

محرك‌ها (Drivers): فشارهای زیست‌محیطی، سیاست‌های دولتی، فناوری‌های نوظهور، نیازهای بازار

فرآیندها (Processes): طراحی محصول چرخشی، مدیریت لجستیک معکوس، عملیات بازیافت، یکپارچه‌سازی داده‌های دیجیتال

نتایج (Outcomes): کاهش ضایعات و آلودگی، افزایش بهره‌وری منابع طبیعی، بهبود شاخص‌های پایداری، خلق ارزش اقتصادی جدید از طریق نوآوری در مدل‌های تجاری و فرآیندها

در چارچوب مفهومی این تحقیق، فناوری به عنوان یک تسهیل‌کننده کلیدی عمل می‌کند و مداخلات سیاستی به عنوان محرك‌های محیطی ضروری برای پیشبرد اهداف اقتصاد چرخشی شناخته می‌شوند. تعامل میان این ابعاد (محرك‌ها، فرآیندها و نتایج) موجب توسعه زنجیره‌های تأمین مقاوم و پایدار و هم‌راستایی آن‌ها با اهداف اقتصاد چرخشی می‌شود.

۳. شاخص‌های عملکرد و مدل‌های ارزیابی در زنجیره‌های تأمین چرخشی

۱.۳. نیاز به ارزیابی عملکرد در زنجیره‌های تأمین چرخشی

یکی از چالش‌های اساسی در پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی (CE) در زنجیره‌های تأمین، عدم وجود یک سیستم جامع و استاندارد برای اندازه‌گیری عملکرد است. در مدل‌های سنتی زنجیره تأمین، معیارهای عملکرد معمولاً بر اساس هزینه، کیفیت و زمان تحویل تعریف شده‌اند. اما در زنجیره‌های تأمین چرخشی (CSC)، این معیارهای سنتی به تنهایی نمی‌توانند عملکرد واقعی سیستم را منعکس کنند، چرا که ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. بنابراین، توسعه مجموعه‌ای از شاخص‌ها که قادر به ارزیابی همزمان ابعاد Triple Bottom Line (TBL) باشند، به یک نیاز اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است. (Calzolari, Genovese, & Brint,)

هدف اصلی ارزیابی عملکرد در زنجیره‌های تأمین چرخشی این است که میزان هم‌راستایی فعالیت‌های زنجیره تأمین با اصول اقتصاد چرخشی، حفظ منابع و ایجاد ارزش اقتصادی و زیست‌محیطی را تعیین کند. این ارزیابی باید فراتر از معیارهای سنتی مانند هزینه و زمان تحویل باشد و شامل ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی فرآیندها، محصولات و خدمات در سراسر زنجیره تأمین شود.

۲.۳. طبقه‌بندی شاخص‌های عملکرد در زنجیره‌های تأمین چرخشی (CSCs)

مطالعات اخیر شاخص‌های عملکرد در زنجیره‌های تأمین چرخشی را به چند گروه اصلی تقسیم کرده‌اند که هر کدام به ارزیابی جنبه‌های مختلف تأثیرات و کارایی این زنجیره‌ها می‌پردازند.

شاخص‌های زیست‌محیطی (Environmental Indicators)

این شاخص‌ها به ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی فعالیت‌های زنجیره تأمین چرخشی می‌پردازند. از جمله این تأثیرات می‌توان به مصرف انرژی، ردپای کربن، حجم ضایعات و نرخ بازیافت مواد اشاره کرد. (Corona, Shen, & Reike, Carreón, & Worrell, ۲۰۱۹; Yavari et al., ۲۰۲۵)

شاخص‌های اقتصادی (Economic Indicators)

این شاخص‌ها به ارزیابی کارایی اقتصادی و صرفه‌جویی در هزینه‌ها در زنجیره‌های تأمین چرخشی می‌پردازند. این شاخص‌ها به سازمان‌ها کمک می‌کنند تا تأثیرات اقتصادی پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی را اندازه‌گیری کنند و نقاط قوت و ضعف مالی را شناسایی کنند. (Linder & Williander, ۲۰۱۷)

شاخص‌های اجتماعی (Social Indicators)

ابعاد اجتماعی زنجیره‌های تأمین چرخشی به تأثیرات این زنجیره‌ها بر جامعه و کارکنان می‌پردازد. این شاخص‌ها شامل سلامت و ایمنی کارکنان، اشتغال پایدار و مسئولیت اجتماعی شرکتی هستند. (Ghisellini & Ulgiati, ۲۰۲۰)

شاخص‌های فناوری و نوآوری (Technological and Innovation Indicators)

با پیشرفت فناوری‌های دیجیتال، شاخص‌های جدیدی برای ارزیابی بلوغ فناوری در زنجیره‌های تأمین چرخشی معرفی شده است. این شاخص‌ها به ارزیابی استفاده از فناوری‌های نوین در بهبود شفافیت، ردیابی و تعامل در زنجیره تأمین می‌پردازند. (Centobelli et al., ۲۰۲۱; Hervani et al., ۲۰۲۲)

۳.۳. مدل‌های ارزیابی عملکرد

در ادبیات تحقیق، مدل‌های مختلفی برای ارزیابی عملکرد زنجیره‌های تأمین چرخشی (CSCs) پیشنهاد شده است که هرکدام به جنبه‌های مختلف زنجیره تأمین تمرکز دارند.

۱. ارزیابی چرخه عمر (Life Cycle Assessment - LCA)

مدل ارزیابی چرخه عمر به ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی محصولات و فرآیندها در تمام مراحل چرخه عمر آنها از جمله استخراج مواد اولیه تا دفع ضایعات در پایان عمر می‌پردازد. این مدل به‌ویژه برای شناسایی ناکارآمدی‌ها و فرصت‌های بازایی مواد در زنجیره تأمین مفید است. (Cocchi, Volpi, Ferrari, García-Muñia, & Settembre-Blundo, ۲۰۲۳)

۲. شاخص‌های چرخشی مواد (Material Circularity Indicators - MCI)

مدل شاخص‌های چرخشی مواد که توسط بنیاد Ellen MacArthur توسعه یافته است، به ارزیابی میزان چرخشی بودن محصولات بر اساس قابلیت بازیافت، استفاده مجدد و دوام مواد می‌پردازد. این مدل یکی از ابزارهای رایج برای ارزیابی چرخش مواد در سطوح مختلف، از جمله سطح محصول و سازمانی است. (Yavari et al., ۲۰۲۵)

۳. کارت امتیازی متوازن پایداری (Sustainability Balanced Scorecard - SBSC)

کارت امتیازی متوازن پایداری، که یک گسترش از مدل کارت امتیازی متوازن سنتی است، ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی را به ارزیابی عملکرد شرکت اضافه می‌کند. SBSC به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد تا اهداف مالی را با اهداف پایداری ترکیب کرده و به یک دید جامع از عملکرد در راستای توسعه پایدار برسند. (Hazen et al., ۲۰۲۱)

۴. مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multi-Criteria Decision-Making - MCDM)

روش‌هایی مانند AHP (Analytic Hierarchy Process)، ANP (Analytic Network Process)، TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) و DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) برای رتبه‌بندی استراتژی‌ها و شناسایی عوامل موفقیت کلیدی در پیاده‌سازی CSC استفاده می‌شوند. (Dohale et al., ۲۰۲۳)

۴.۳. چالش‌ها و مسیرهای آینده در اندازه‌گیری عملکرد

با وجود تنوع رو به افزایش مدل‌ها و شاخص‌ها، چندین چالش همچنان باقی است، از جمله عدم هم‌راستایی میان شاخص‌ها، محدودیت در دسترسی به داده‌های قابل اعتماد، و کمبود استانداردسازی جهانی. بسیاری از شاخص‌های موجود معمولاً در سطح سازمان یا محصول تعریف شده‌اند و اغلب پیوندهای میان‌سازمانی در

سراسر زنجیره تأمین را نادیده می‌گیرند. (Corona et al., ۲۰۱۹) علاوه بر این، مدل‌های کنونی بیشتر بر ابعاد زیست‌محیطی تمرکز دارند، در حالی که ابعاد اقتصادی و اجتماعی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند.

بنابراین، تحقیقات اخیر پیشنهاد می‌کنند که ارزیابی عملکرد در زنجیره‌های تأمین چرخشی (CSCs) باید به سمت چارچوب‌های یکپارچه و مبتنی بر داده‌های هوشمند و واقعی تحول یابد که بتوانند عملکرد را در سراسر کل شبکه تأمین نظارت و بهبود بخشند. تحقق این تحول نیازمند همکاری نزدیک میان دولت‌ها، صنایع و مؤسسات تحقیقاتی است تا استانداردهای بین‌المللی و شاخص‌های قابل مقایسه را تعیین کنند. (Cano, Londoño-Pineda, Campo, Gruchmann, & Weyers, ۲۰۲۵)

۴. چالش‌ها، سیاست‌ها و مسیرهای آینده تحقیقات در زنجیره‌های تأمین چرخشی

۱.۴. چالش‌های کلیدی در پیاده‌سازی زنجیره‌های تأمین چرخشی

با وجود این‌که مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی اقتصاد چرخشی از نظر تئوریک به‌خوبی شناخته شده است، بسیاری از سازمان‌ها همچنان با موانع قابل توجهی در گذار از مدل خطی به مدل چرخشی مواجه هستند. یک مرور سیستماتیک از مطالعات موجود (Harun, Wahab, ۲۰۱۹; Farooque et al., ۲۰۲۱; Centobelli et al., ۲۰۲۲; Hervani et al., ۲۰۲۵; Daud, Yanamandra, & Marrouchi, ۲۰۲۵) نشان می‌دهد که این چالش‌ها را می‌توان در چهار دسته اصلی طبقه‌بندی کرد:

۱. چالش‌های فنی

دسترسی محدود به زیرساخت‌های دیجیتال، ناسازگاری میان سیستم‌های اطلاعاتی، و کمبود مهارت‌های فنی از جمله موانع عمده در توسعه زنجیره تأمین چرخشی (CSC) هستند. به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، پیاده‌سازی فناوری‌هایی مانند بلاک‌چین، هوش مصنوعی (AI)، یا اینترنت اشیاء (IoT) با محدودیت‌های مالی و فنی روبه‌رو است. علاوه بر این، نبود پروتکل‌های استاندارد برای تبادل داده‌ها میان شرکای زنجیره تأمین مانع از ایجاد شفافیت کامل و ردیابی مواد می‌شود. (Hervani et al., ۲۰۲۲)

۲. چالش‌های اقتصادی و مالی

مدل‌های اقتصادی سنتی معمولاً بر بازدهی کوتاه‌مدت تمرکز دارند، در حالی که سرمایه‌گذاری در اقتصاد چرخشی به‌طور عمده منافع بلندمدت به همراه دارد. هزینه‌های بالای اولیه برای بازطراحی محصولات، پذیرش فناوری و لجستیک معکوس، بسیاری از شرکت‌ها را از ورود به مسیر چرخشی منصرف می‌کند. علاوه بر این، نبود مشوق‌های مالی و ابزارهای حمایتی، انگیزه سازمان‌ها را برای پذیرش این مدل‌ها کاهش می‌دهد. (Bag et al., ۲۰۲۱)

۳. چالش‌های سازمانی و فرهنگی

تغییر دیدگاه‌ها از مالکیت به استفاده مشترک و از رقابت به همکاری، یک مانع نرم اما اساسی در توسعه زنجیره‌های تأمین چرخشی است. در بسیاری از شرکت‌ها، فرهنگ سازمانی هنوز بر سودآوری کوتاه‌مدت اولویت دارد و درک عمیقی از ایجاد ارزش چرخشی وجود ندارد. برای رفع این چالش، نیاز به آموزش، تغییر نگرش مدیران، و بازنگری در سیستم‌های ارزیابی عملکرد و پاداش‌ها است. (Pieroni et al., ۲۰۲۰)

۴. چالش‌های سیاسی و نهادی

نبود مقررات الزامی، عدم وجود چارچوب‌های مالیاتی سبز، و نبود استانداردهای کافی برای محصولات بازیافتی از جمله موانع سیاسی قابل توجه هستند. در بسیاری از کشورها، سیاست‌های مربوط به اقتصاد چرخشی عمدتاً توصیه‌ای بوده و فاقد مکانیزم‌های اجرایی موثر هستند. هماهنگی ضعیف میان وزارتخانه‌ها و سازمان‌های نظارتی نیز منجر به تصمیم‌گیری‌های پراکنده و کاهش اثر بخشی برنامه‌ها می‌شود. (Centobelli, Cerchione, Cricelli, Esposito, & Strazzullo, ۲۰۲۲)

این چالش‌ها نیازمند همکاری‌های میان‌دستگاهی، تغییرات فرهنگی در سازمان‌ها، و ایجاد حمایت‌های مالی و سیاستی مؤثر هستند تا اقتصاد چرخشی بتواند به‌طور گسترده‌تری پیاده‌سازی شود و به یک استاندارد جهانی تبدیل گردد.

۲.۴. سیاست‌ها و استراتژی‌های پیشنهادی برای توسعه زنجیره‌های تأمین چرخشی (CSC)

تجربیات کشورهای پیشرو در زمینه اقتصاد چرخشی (CE) مانند اتحادیه اروپا، ژاپن و کره جنوبی نشان می‌دهد که پیاده‌سازی موفق زنجیره‌های تأمین چرخشی (CSC) نیازمند رویکردی ترکیبی است که شامل سیاست‌های سخت (فناوری و زیرساخت) و سیاست‌های نرم (مقررات و فرهنگ) می‌شود.

۱. سیاست‌های فناوری و زیرساختی

دولت‌ها باید در زیرساخت‌های دیجیتال سرمایه‌گذاری کنند، از پروژه‌های تحقیق و توسعه (R&D) حمایت نمایند، و نوآوری باز را ترویج کنند تا دیجیتالی‌شدن زنجیره‌های تأمین ممکن گردد. ایجاد پلتفرم‌های داده باز و شبکه‌های اطلاعاتی میان صنایع می‌تواند شفافیت و همکاری را افزایش دهد. (Centobelli et al., ۲۰۲۱)

۲. سیاست‌های مالی و اقتصادی

مشوق‌های مالیاتی برای شرکت‌هایی که از مواد بازیافتی استفاده می‌کنند یا در لجستیک معکوس سرمایه‌گذاری می‌کنند، می‌تواند به‌طور مؤثر مشارکت در اقتصاد چرخشی را تشویق کند. ایجاد صندوق‌های سبز و مشوق‌های بیمه‌ای برای پروژه‌های CE می‌تواند موانع مالی ورود به این حوزه را کاهش دهد. (Calzolari et al., ۲۰۲۲)

۳. سیاست‌های قانونی و مقرراتی

توسعه استانداردهای ملی برای محصولات بازیافتی، اجرای مقررات مسئولیت تولیدکننده گسترش یافته (EPR)، و ایجاد سیستم‌های مجوز برای زنجیره‌های تأمین پایدار از جمله اقدامات حیاتی در این زمینه هستند. به‌عنوان مثال، طرح اقدام اقتصاد چرخشی اتحادیه اروپا موجب افزایش نرخ بازیافت در بخش‌هایی مانند صنعت خودرو و لوازم خانگی به میزان بیش از ۶۰٪ شده است. (Commission, ۲۰۲۰)

۴. سیاست‌های فرهنگی و آموزشی

افزایش سواد زیست‌محیطی و آگاهی عمومی در زمینه مصرف پایدار، همراه با آموزش مدیران و مهندسان در اصول طراحی چرخشی، از اهمیت بسیاری برخوردار است. برنامه‌های دانشگاهی بین‌رشته‌ای و همکاری میان صنعت و مؤسسات آموزش عالی در پرورش نسل جدیدی از متخصصان زنجیره تأمین چرخشی نقش اساسی ایفا می‌کند.

۳.۴. جهت‌گیری‌های تحقیقاتی آینده

یک مرور جامع از ادبیات تحقیقاتی نشان می‌دهد که تحقیقات آینده در زمینه زنجیره‌های تأمین چرخشی (CSC) باید بر چندین حوزه کلیدی تمرکز کند:

۱. ادغام فناوری‌های نوظهور

مطالعات تجربی برای بررسی هم‌افزایی‌ها میان فناوری‌های دیجیتال، به‌ویژه ترکیب اینترنت اشیاء (IoT)، بلاک‌چین، و هوش مصنوعی (AI)، مورد نیاز است. این فناوری‌ها می‌توانند مدل‌های تصمیم‌گیری هوشمند و بلادرنگ را در زنجیره‌های تأمین چرخشی امکان‌پذیر کنند. (Cano et al., ۲۰۲۵)

۲. توسعه مدل‌های پیش‌بینی و شبیه‌سازی

مدلسازی ریاضی، شبیه‌سازی مبتنی بر عامل (Agent-based Simulation)، و یادگیری ماشین می‌توانند برای پیش‌بینی رفتار زنجیره تأمین تحت شرایط مختلف، مانند کمبود منابع یا اختلالات ژئوپولیتیکی، مورد استفاده قرار گیرند. (Dohale et al., ۲۰۲۳)

۳. ارزیابی چرخشی خاص هر بخش

بسیاری از صنایع، از جمله صنایع غذایی، دارویی و فناوری اطلاعات، هنوز فاقد مطالعات جامع در زمینه زنجیره‌های تأمین چرخشی هستند. تمرکز بر این بخش‌ها می‌تواند الگوها و بهترین شیوه‌های جدیدی برای پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی کشف کند.

۴. مطالعات بین‌رشته‌ای و مقایسه‌ای

بررسی تفاوت‌های فرهنگی، نهادی و اقتصادی در پذیرش اقتصاد چرخشی در مناطق مختلف (اروپا، آسیا، خاورمیانه، و آمریکای لاتین) می‌تواند منجر به چارچوب‌های بومی‌شده و توصیه‌های سیاستی واقع‌بینانه‌تر شود.

۵. نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، اقتصاد چرخشی (CE) به عنوان یکی از ارکان اصلی تحول زنجیره‌های تأمین جهانی ظهور کرده است. هدف این رویکرد، کاهش مصرف منابع طبیعی، بهبود کارایی چرخه عمر محصول، و کاهش تولید پسماند است. چارچوب اقتصاد چرخشی، مفاهیم سنتی تولید و توزیع را بازتعریف می‌کند و از این رو به عنوان یک استراتژی جامع اقتصادی، فناوری و نهادی برای افزایش رقابت‌پذیری سازمان‌ها در سطح جهانی در نظر گرفته می‌شود.

زنجیره‌های تأمین چرخشی (CSC) اصولی مانند طراحی سبز، بازیافت، بازسازی و استفاده از فناوری‌های دیجیتال مانند اینترنت اشیاء (IoT)، بلاک‌چین، و هوش مصنوعی (AI) را برای مدیریت شفاف، مبتنی بر داده، و پایدار جریان مواد پیاده‌سازی می‌کنند. با این حال، اجرای مؤثر این مدل‌ها با چالش‌هایی از جمله هزینه‌های بالا برای پیاده‌سازی، ضعف زیرساخت‌های فناوری، کمبود مشوق‌های مالی و نبود سیاست‌های الزام‌آور روبه‌رو است. شواهد نشان می‌دهند که هم‌افزایی میان سیاست‌گذاری ملی، نوآوری فناوری و همکاری‌های بین‌سازمانی به عنوان عامل اصلی در انتقال از مدل‌های خطی به مدل‌های چرخشی عمل می‌کند.

ارزیابی عملکرد در پیاده‌سازی CSC نقش حیاتی دارد. ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی باید در چارچوبی یکپارچه و مبتنی بر داده ارزیابی شوند تا نتایج پایداری به درستی اندازه‌گیری شوند. ابزارهایی مانند ارزیابی چرخه عمر (LCA)، شاخص چرخشی مواد (MCI)، و کارت امتیازی متوازن پایداری (SBSC) به عنوان ابزارهای کلیدی شناخته می‌شوند. با این حال، ادبیات موجود بر نیاز به مدل‌های ترکیبی و شاخص‌های استاندارد در سطح جهانی برای بهبود قابلیت مقایسه و تصمیم‌گیری تأکید دارد.

از منظر سیاستی، تجربه کشورهای موفق در پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی نشان می‌دهد که ترکیب سیاست‌های "سخت" (فناوری، زیرساخت، داده‌ها) و سیاست‌های "نرم" (آموزش، فرهنگ، مقررات) ضروری است. طرح‌های مسئولیت تولیدکننده گسترده (EPR) اجباری، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های داده‌های باز و ترویج نوآوری باز از جمله اقداماتی هستند که می‌توانند پذیرش CSC را تسریع کنند.

این مطالعه سه جهت‌گیری تحقیقاتی آینده را پیشنهاد می‌کند:

مدل‌سازی هوشمند و شبیه‌سازی زنجیره‌های تأمین چرخشی با استفاده از یادگیری ماشین و تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده؛

توسعه چارچوب‌های ارزیابی یکپارچه مبتنی بر داده‌های بلادرنگ و هوش مصنوعی؛

مطالعات مقایسه‌ای و بین‌رشته‌ای به منظور طراحی سیاست‌های اقتصادی چرخشی خاص به صورت بومی برای کشورهای در حال توسعه.

در پایان، انتقال موفق به سمت زنجیره‌های تأمین چرخشی نیازمند همکاری نزدیک میان دانشگاه، صنعت و نهادهای دولتی است. تنها از طریق این هم‌افزایی چندسطحی است که می‌توان اقتصاد چرخشی را به عنوان نیروی محرکه‌ای برای توسعه پایدار و رقابت‌پذیری جهانی به کار گرفت.

تعارض منافع

تعارض منافع نداریم.

منابع

- Bag, S., Gupta, S., & Kumar, S. (۲۰۲۱). Industry ۴.۰ adoption and ۱۰R advance manufacturing capabilities for sustainable development. *International journal of production economics*, 231, ۱۰۷۸۴۴.
- Calzolari, T., Genovese, A., & Brint, A. (۲۰۲۲). Circular Economy indicators for supply chains: A systematic literature review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 13, ۱۰۰۱۶۰.
- Cano, J. A., Londoño-Pineda, A., Campo, E. A., Gruchmann, T., & Weyers, S. (۲۰۲۰). Circular Supply Chain Management Assessment: A Systematic Literature Review. *Environments*, 12(۱۰), ۳۷۴.
- Centobelli, P., Cerchione, R., Cricelli, L., Esposito, E., & Strazzullo, S. (۲۰۲۲). The future of sustainable supply chains: a novel tertiary-systematic methodology. *Supply Chain Management: An International Journal*, 27(۶), ۷۶۲-۷۸۴.
- Centobelli, P., Cerchione, R., Esposito, E., & Passaro, R. (۲۰۲۱). Determinants of the transition towards circular economy in SMEs: A sustainable supply chain management perspective. *International journal of production economics*, 242, ۱۰۸۲۹۷.
- Commission, E. (۲۰۲۰). Circular Economy Action Plan.
- Corona, B., Shen, L., Reike, D., Carreón, J. R., & Worrell, E. (۲۰۱۹). Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, ۱۰۴۴۹۸.
- Cucchi, M., Volpi, L., Ferrari, A. M., García-Muiña, F. E., & Settembre-Blundo, D. (۲۰۲۳). Industry ۴.۰ real-world testing of dynamic organizational life cycle assessment (O-LCA) of a ceramic tile manufacturer. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(۶۰), ۱۲۴۵۴۶-۱۲۴۵۶۵.
- Dohale, V., Amblikar, P., Kumar, A., Mangla, S. K., & Bilolikar, V. (۲۰۲۳). Analyzing the enablers of circular supply chain using Neutrosophic-ISM method: lessons from the Indian apparel industry. *The International Journal of Logistics Management*, 34(۳), ۶۱۱-۶۴۳.
- Esteban-Amaro, R., Estelles-Miguel, S., Lengua, I., Yannou, B., & Bouillass, G. (۲۰۲۰). Assessing circularity and sustainability of a value chain: A systematic literature review. *Business strategy and the environment*, 34(۱), ۶۳۴-۶۴۷.

- Farooque, M., Zhang, A., Thüerer, M., Qu, T., & Huisinigh, D. (۲۰۱۹). Circular supply chain management: A definition and structured literature review. *Journal of cleaner production*, 228, ۸۸۲-۹۰۰.
- Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P., Pigosso, D. C., & Soufani, K. (۲۰۲۰). Circular business models: A review. *Journal of cleaner production*, 277, ۱۲۳۷۴۱.
- Ghisellini, P., & Ulgiati, S. (۲۰۲۰). Managing the transition to the circular economy *Handbook of the circular economy* (pp. ۴۹۱-۵۰۴): Edward Elgar Publishing.
- Harun, S., Wahab, S., Daud, A., Yanamandra, R., & Marrouchi, M. (۲۰۲۵). Circular Supply Chain Barriers and Enablers: A Scoping Review. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 18(۳), ۴۴۱-۴۵۳.
- Hazen, B. T., Russo, I., Confente, I., & Pellathy, D. (۲۰۲۱). Supply chain management for circular economy: conceptual framework and research agenda. *The International Journal of Logistics Management*, 32(۲), ۵۱۰-۵۳۷.
- Hervani, A. A., Nandi, S., Sarkis, J., & Helms, M. M. (۲۰۲۲). Blockchain technology and socially sustainable supply chains—A valuation perspective *Green Production Engineering and Management* (pp. ۳۹-۶۰): Elsevier.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (۲۰۱۷). Conceptualizing the circular economy: An analysis of ۱۱۴ definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, ۲۲۱-۲۳۲. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Linder, M., & Williander, M. (۲۰۱۷). Circular business model innovation: inherent uncertainties. *Business strategy and the environment*, 26(۲), ۱۸۲-۱۹۶.
- Macarthur, E., & Heading, H. (۲۰۱۹). How the circular economy tackles climate change. *Ellen MacArthur Found*, 1, ۱-۷۱.
- Mayanti, B., & Helo, P. (۲۰۲۴). Circular economy in supply chain management: a framework for database tool development to enhance sustainability. *International Journal of Environmental Studies*, 81(۴), ۱۹۶۲-۱۹۷۹.
- Pieroni, M., McAloone, T., & Pigosso, D. (۲۰۲۰). *Business model innovation for circular economy: integrating literature and practice into a process model*. Paper presented at the Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference.
- Rajput, S., & Singh, S. P. (۲۰۱۹). Connecting circular economy and industry ۴.۰. *International Journal of Information Management*, 49, ۹۸-۱۱۳.
- Yavari, F., Pilevari, N., & Radfar, R. (۲۰۲۵). Circular Economy Approach in Product Life Cycle Assessment Using System Dynamics and Material Circularity Indicator: Case Study Wind Turbine ۲,۵ MW. *Iranica Journal of Energy & Environment*, e۲۲۵۹۸۰. doi:<https://doi.org/10.5829/ijee.2026.17.0.1.11>

استناد به این مقاله: یاورى، فرزاد، پيله وری، نازنین و رادفر، رضا (۱۴۰۴). اقتصاد چرخشی در زنجیره تامین: یک مرور سیستماتیک و تحلیلی از مطالعات بین المللی. فصلنامه پژوهش‌های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار، ۴(۲)، ۱۶-۰۱.

