

Identifying and Prioritizing the Barriers of Transitioning toward Smart Circular Industry in the Steel sector: a mix method

Raziye Bahaeloo

Master of Business Administration, Department of business Management Faculty of financial science, Management and Entrepreneurship, University of Kashan, Kashan, Iran

Zahra Sadeqi-Arani*¹

Associate Professor, Department of Marketing Management, Faculty of financial science, Management and Entrepreneurship, University of Kashan, Kashan, Iran

Esmail Mazroui Nasrabadi

Associate Professor, Department of Business Management, Faculty of Financial Science, Management and Entrepreneurship, University of Kashan, Kashan, Iran.

Abstract

This study aims to identify the barriers to implementing Smart Circular Industry in the steel sector. A mixed-methods research design, combining qualitative and quantitative approaches, employed. In the qualitative phase, thematic analysis used to identify the barriers, while in the quantitative phase, the relationships among these barriers examined using fuzzy cognitive mapping. The study population consisted of experts from the steel industry. Data collected through semi-structured interviews in the qualitative phase and questionnaires in the quantitative phase. The interview process continued until theoretical saturation achieved, which occurred after conducting 15 interviews. The qualitative findings revealed that the implementation of smart circular industry in the steel sector faces a wide range of challenges. Following the analysis and coding of interview data, 87 basic themes identified. Through a process of aggregation and refinement, these themes categorized into 17 organizing themes and 5 global themes. The results of the quantitative phase and the fuzzy cognitive mapping analysis classified these challenges into three categories based on their relative importance and systemic role: driving factors, dependent factors, and ordinary factors. An examination of the influence and dependence indices indicated that five barriers; namely, "competitive and market pressures", "international restrictions and sanctions", "managerial attitudes and motivation", "policy and institutional support deficiencies", and "technological dependence and limited access to advanced technologies"; belong to the group of driving factors and can therefore be considered the primary drivers of the system. Finally, several recommendations proposed to address these barriers and facilitate the transition toward a smart circular industry in the steel sector.

Keywords: Smart Circular Industry, Industrial Smartization, Industry 4.0, Circular Economy, Steel Industry.

¹*Corresponding Author*

Email: SadeqiArani@kashanu.ac.ir

شناسایی و اولویت‌بندی موانع گذار به صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد: یک رویکرد آمیخته

■ راضیه بهاءلو هوره^۱

کارشناسی ارشد مدیریت کسب و کار، دانشکده علوم مالی،
مدیریت و کارآفرینی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

■ زهرا صادقی آرانی^{۲*}

دانشیارگروه مدیریت کسب و کار، دانشکده علوم مالی،
مدیریت و کارآفرینی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

■ اسماعیل مزروعی نصرآبادی^۲

دانشیارگروه مدیریت کسب و کار، دانشکده علوم مالی،
مدیریت و کارآفرینی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

10.22034/jtd.2026.2090721.2068

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی موانع پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد و به روش تحقیق آمیخته (کیفی- کمی) انجام شده است. در مرحله کیفی از روش تحلیل مضمون برای شناسایی موانع استفاده شد و در مرحله کمی، روابط میان این موانع با بهره‌گیری از نقشه شناختی فازی تحلیل گردید. جامعه آماری شامل خبرگان صنعت فولاد بوده و داده‌ها در بخش کیفی از طریق مصاحبه و در بخش کمی از طریق پرسش‌نامه جمع‌آوری شد. فرآیند مصاحبه تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت و در نهایت با انجام ۱۵ مصاحبه، اشباع حاصل شد. یافته‌های کیفی نشان داد که پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد با موانع متنوعی روبروست. پس از تحلیل و کدگذاری مصاحبه‌ها در مجموع ۸۷ مضمون پایه استخراج شد که پس از فرآیند تجمیع، در قالب ۱۷ مضمون سازمان‌دهنده و ۵ مضمون فراگیر طبقه‌بندی شد. نتایج بخش کمی و تحلیل نقشه شناختی فازی این چالش‌ها را بر اساس اهمیت در سه دسته اثرگذار، اثرپذیر و معمولی قرار داد. بررسی شاخص‌های تأثیرگذاری و تأثیرپذیری نشان می‌دهد که پنج مانع شامل «فشارهای رقابتی و تجاری»، «محدودیت‌های بین‌المللی و تحریم»، «نگرش و انگیزه مدیریتی»، «ضعف سیاست‌گذاری و حمایتی» و «وابستگی فناورانه و محدودیت دسترسی» در گروه عوامل اثرگذار قرار دارند و می‌توان آنها را به‌عنوان محرک‌های اصلی سیستم معرفی کرد. در ادامه پیشنهادهای جهت رفع این موانع و گذار به صنعت چرخشی هوشمند در صنعت فولاد ارائه شده است.

واژگان کلیدی: صنعت چرخشی هوشمند، هوشمندسازی صنعتی، صنعت نسل چهار، اقتصاد چرخشی، صنعت فولاد.

^۱ شماره نمابر: ... و آدرس پست الکترونیکی سازمانی: raziyebahao@gmail.com

* عهده دار مکاتبات

^{۲+} آدرس پست الکترونیکی سازمانی: SadeqiArani@kahanu.ac.ir

^۲ آدرس پست الکترونیکی سازمانی: drmazroui@kashanu.ac.ir

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، اقتصاد چرخشی^۱ به‌عنوان یک رویکرد کلیدی در تولید و مصرف مورد توجه گسترده قرار گرفته است که هدف آن گسترش مفهوم پایان عمر محصولات از طریق کاهش، استفاده مجدد، بازیافت و بازیابی مواد در فرآیندهای تولید، توزیع و مصرف است (Geissdoerfer et al., 2026). این رویکرد در مقایسه با مدل خطی سنتی تولید که مبتنی بر «استخراج-تولید-مصرف-دورریز»^۲ است، یک تغییر پارادایمی محسوب می‌شود که هدف آن کاهش اتلاف منابع و افزایش بهره‌وری در کل زنجیره ارزش است (Das et al., 2025).

با گسترش فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم^۳، نسل جدیدی از این رویکرد تحت عنوان «اقتصاد چرخشی هوشمند»^۴ شکل گرفته است. در این الگو، فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، بلاک‌چین و تحلیل کلان‌داده‌ها در راستای بهینه‌سازی جریان مواد، افزایش شفافیت زنجیره تأمین و بهبود تصمیم‌گیری به‌کار گرفته می‌شوند (Rajput & Singh, 2019; Rosa et al., 2020). این تلفیق میان فناوری‌های دیجیتال و اصول اقتصاد چرخشی، امکان پایش لحظه‌ای منابع، پیش‌بینی تقاضا و کاهش ضایعات را فراهم کرده و سطح جدیدی از کارایی و شفافیت را در سیستم‌های تولیدی ایجاد می‌کند (Enrique et al., 2023). پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی هوشمند می‌تواند ضمن کاهش فشار بر اکوسیستم‌های طبیعی، فرصت‌های اقتصادی جدیدی از جمله نوآوری در کسب‌وکار، ایجاد بازارهای جدید و افزایش اشتغال پایدار را فراهم سازد (Rotilio, 2021).

با وجود اهمیت بالای اقتصاد چرخشی در همه حوزه‌ها، پیاده‌سازی آن در صنایع انرژی‌بر و منبع‌محور مانند فولاد، به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی و تولیدکنندگان زباله و گازهای گلخانه‌ای در جهان از ضرورت بیشتری برخوردار است (Zhang et al., 2025). رشد تقاضای جهانی فولاد و افزایش تولید، فشار مضاعفی بر منابع طبیعی و محیط‌زیست وارد کرده است که این ضرورت را دوچندان می‌کند. در چنین شرایطی، حرکت به سمت مدل‌های چرخشی و هوشمند نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت راهبردی است (Walzberg & Carpenter, 2024).

صنعت چرخشی هوشمند به‌عنوان یک رویکرد مبتنی بر اقتصاد چرخشی نه‌تنها به‌عنوان یک چارچوب زیست‌محیطی و

حتی فناوریانه، بلکه به‌عنوان یک پارادایم اجتماعی-اقتصادی به‌شمار می‌رود که با توجه به ماهیت چندسطحی و چندبخشی این تحول، دستیابی به آن با مجموعه‌ای از پیچیدگی‌ها و موانع همراه است (Iyna, 2026). از این‌رو، گذار به صنعت چرخشی هوشمند نیازمند شناسایی موانع اصلی پیاده‌سازی آن، درک روابط علی بین این موانع و سپس ارائه راهکارهایی جهت تسهیل شکل‌گیری مسیرهای توسعه‌ی این رویکرد است (Bello et al., 2026).

ادبیات این حوزه حاکی از آن است که مطالعات پراکنده و موردی برای شناسایی موانع پیاده‌سازی صنعت چرخشی در صنایع مختلف از جمله صنعت ساختمان‌سازی (AlJaber et al., 2023; Bello et al., 2026; Charef et al., 2021)، صنایع کشاورزی-غذایی (Mehmood et al., 2021)، صنعت نساجی (Farrukh & Sajjad, 2024)، صنعت باتری‌های مصرف‌شده خودروهای برقی (Feng et al., 2025) وجود دارد که در این بررسی‌ها کمتر به تحلیل نظام‌مند موانع پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی با تأکید بر هوشمندسازی آن پرداخته شده است. علاوه بر این، مطالعات پیشین از تمرکز بر صنعت فولاد به‌عنوان صنعتی که در ایران یکی از پایه‌های اصلی توسعه اقتصادی و صنعتی کشور محسوب شده و یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی و منابع طبیعی است مغفول مانده است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف شناسایی و درک روابط علی-معلولی موانع دستیابی و پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد انجام شده است. این پژوهش به دنبال پاسخ‌گویی به دو سؤال پژوهشی زیر است:

- موانع پیاده‌سازی و دستیابی به صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد چیست؟
- اولویت‌بندی موانع پیاده‌سازی و دستیابی به صنعت چرخشی هوشمند در صنعت فولاد با رویکرد نقشه شناختی فازی چگونه است؟

نتایج این پژوهش می‌تواند با شناسایی موانع کلیدی تحقق و توسعه صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد، زمینه بهبود و تسهیل سیاست‌گذاری‌های صنعتی، افزایش بهره‌وری منابع، کاهش اتلاف مواد و انرژی، ارتقای پایداری زیست‌محیطی و تسریع فرایند گذار به مدل‌های تولیدی پایدار و مبتنی بر فناوری‌های نوین را فراهم سازد.

¹ Circular Economy

² Extraction, Production, Consumption, and Discarding

³ Industry 4.0

⁴ Smart Circular Economy

۱- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۱-۲- اقتصاد چرخشی

اقتصاد چرخشی به عنوان یکی از رویکردهای نوین در مدیریت منابع و توسعه پایدار، بر حفظ ارزش مواد، محصولات و منابع در چرخه اقتصادی برای طولانی‌ترین زمان ممکن تأکید دارد (Feng et al., 2025). از این‌رو، فلسفه وجودی اقتصاد چرخشی استفاده بهینه از منابع محدود، کاهش ضایعات و استفاده از آن‌ها در فرایند ساخت محصولات است (میرفلاح دموچالی و همکاران، ۱۴۰۴). این الگو در پاسخ به محدودیت منابع طبیعی، افزایش تولید پسماند و پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از الگوی سنتی اقتصاد خطی شکل گرفته است (Guerra-Rodríguez et al., 2020). در مدل اقتصاد خطی، مواد اولیه استخراج شده، به محصول تبدیل می‌شوند و پس از مصرف دور ریخته می‌شوند. اما در اقتصاد چرخشی، هدف اصلی حفظ و بازیابی ارزش محصولات و مواد از طریق استفاده مجدد، تعمیر، بازسازی، بازیافت و بازیابی منابع است. بنابراین، بر خلاف اقتصاد خطی سنتی که بر الگوی «استخراج، تولید، مصرف و دورریز» استوار بود رویکرد اقتصاد چرخشی بر حفظ ارزش مواد و منابع در طول چرخه عمر آن‌ها تأکید دارد. در این مدل، محصولات و مواد از طریق تعمیر، استفاده مجدد، بازتولید و بازیافت به چرخه تولید بازگردانده می‌شوند (Velenturf & Purnell, 2021).

یکی از اصول بنیادین اقتصاد چرخشی، راهبردهای چهارگانه‌ی کاهش، استفاده مجدد، بازیافت و بازیابی^۱ است. راهبرد کاهش بر بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، کاهش مصرف مواد اولیه و انرژی و حذف ضایعات غیرضروری تمرکز دارد. استفاده مجدد به معنای بهره‌برداری دوباره از محصولات، قطعات یا تجهیزات بدون نیاز به فرآوری گسترده است. بازیافت شامل تبدیل مواد مصرف‌شده به مواد اولیه جدید برای استفاده در فرآیندهای تولیدی است و بازیابی نیز به استخراج ارزش باقی‌مانده از پسماندها و محصولات پایان‌یافته اشاره دارد (Abdolmaleki et al., 2025).

۱-۲- صنعت چرخشی هوشمند

صنایع تولیدی از مهم‌ترین حوزه‌هایی هستند که می‌توانند از مزایای اقتصاد چرخشی بهره‌مند شوند. این صنایع به دلیل مصرف گسترده مواد اولیه، انرژی و منابع طبیعی، نقش قابل توجهی در

ایجاد اثرات زیست‌محیطی دارند (Saccani et al., 2023). اقتصاد چرخشی تلاش می‌کند با تغییر الگوهای طراحی، تولید و مصرف، وابستگی صنایع به منابع طبیعی را کاهش داده و بهره‌وری منابع را افزایش دهد (Enrique et al., 2023; Frapapane et al., 2022). ترکیب اقتصاد چرخشی و صنعت نسل چهارم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تحولات در نظام‌های تولیدی مدرن، زمینه‌ساز شکل‌گیری مفهوم «صنعت چرخشی هوشمند» شده است (Alcayaga & Hansen, 2025; Khaw-ngern et al., 2021). صنعت نسل چهارم که نخستین‌بار در سال ۲۰۱۱ در آلمان معرفی شد، (رکن‌الدینی و عندلیب اردکانی، ۱۴۰۴) بر دیجیتالی‌سازی، اتصال‌پذیری و هوشمندسازی فرآیندهای تولیدی استوار است. این پارادایم با بهره‌گیری از فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیاء، سیستم‌های سایبر-فیزیکی (CPS)، کلان‌داده^۲، رایانش ابری^۳، فناوری‌های چاپ سه‌بعدی^۴ امکان ایجاد شبکه‌های تولیدی هوشمند و یکپارچه را فراهم می‌سازد (Frapapane et al., 2022; Rajput & Singh, 2019).

زمانی که این دو رویکرد با یکدیگر ترکیب می‌شوند، یک سیستم تولیدی حلقه‌بسته شکل می‌گیرد که در آن داده‌ها و فناوری‌های دیجیتال نقش کلیدی در بهینه‌سازی جریان مواد ایفا می‌کنند (Dwivedi et al., 2022). به‌عنوان مثال، اینترنت اشیاء امکان ردیابی مواد و محصولات در طول چرخه عمر را فراهم کرده و شفافیت در زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد. این امر به بهبود فرآیند بازیافت و استفاده مجدد کمک می‌کند (Turskis & Šniokienė, 2024). همچنین فناوری سه بعدی امکان تولید قطعات بر اساس نیاز واقعی و کاهش ضایعات تولیدی را فراهم می‌سازد. این موضوع به‌طور مستقیم با اهداف اقتصاد چرخشی در کاهش مصرف منابع و افزایش بهره‌وری همسو است (Punia & Kandasubramanian, 2025). رایانش ابری نیز با ایجاد بستر اشتراک منابع تولیدی، همکاری میان سازمان‌ها را تسهیل کرده و بهره‌وری سیستم‌های تولیدی را افزایش می‌دهد (Alam et al., 2025).

پیاده‌سازی و گذار به صنعت چرخشی هوشمند با موانع متعددی روبروست که در جدول ۱ به برخی از پژوهش‌های پیشین در این حوزه اشاره می‌شود:

جدول ۱: پیشینه پژوهش مرتبط با موانع پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی هوشمند

منبع	هدف تحقیق	جامعه آماری/ صنعت	روش تحقیق و تحلیل داده‌ها	یافته‌ها
Galvão et al., 2018	شناسایی و طبقه‌بندی موانع پیاده‌سازی اقتصاد	۱۹۵ مقاله علمی منتشرشده بین ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷	مرور نظام‌مند و تحلیل کتاب‌سنجی	موانع اجرای اقتصاد چرخشی در هفت دسته فناوریانه، سیاستی و قانونی، مالی و اقتصادی، مدیریتی، عملکردی، مشتری‌محور

^۳ Cloud Manufacturing

^۴ 3D Printing

^۱ Reduce, Reuse, Recycle, Recover (4R)

^۲ Big Data

منبع	هدف تحقیق	جامعه آماری / صنعت	روش تحقیق و تحلیل داده‌ها	یافته‌ها
	چرخشی		و تحلیل مضمون	و اجتماعی-فرهنگی
Govindan) & Hasanagic, (2018)	شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر اجرای اقتصاد چرخشی در زنجیره‌های تأمین	۶۰ مقاله علمی منتشر شده بین ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶	مرور نظام‌مند؛ تحلیل محتوای ساختاریافته و مدل‌سازی مفهومی	۱۳ محرک، ۳۴ رویه اجرایی و ۲۲ مانع شناسایی شد. موانع در دو سطح داخلی و خارجی شامل کمبود دانش تخصصی، هزینه‌های بالا، ضعف زیرساخت، مقاومت سازمانی و نبود انسجام سیاستی دسته‌بندی شدند.
Tura et al.,) (2019)	طراحی چارچوبی جامع برای شناسایی موانع و محرک‌های اجرای اقتصاد چرخشی	۴ شرکت فنلاندی در صنایع انرژی، فناوری اطلاعات، بازیافت و زیست‌سوخت	تحلیل مضمون ۳۶ مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با ۴۵ مدیر و	موانع در هفت حوزه اقتصادی، نهادی، فناورانه، زنجیره تأمین، سازمانی، اجتماعی و محیط‌زیستی قرار دارند. هزینه‌های اولیه بالا، ضعف زیرساخت فناورانه، پیچیدگی مقررات، نبود حمایت مدیریتی و مقاومت فرهنگی از مهم‌ترین موانع بودند.
Charef et) (al., 2021)	مرور انتقادی موانع اجرای اقتصاد چرخشی در صنعت ساخت‌وساز	مطالعات مرتبط با ۱۸ رویکرد جایگزین در چرخه عمر دارایی‌ها	مرور مطالعات و دسته‌بندی مفهومی و تحلیل با نمودار سانکی	موانع در شش دسته سازمانی، اقتصادی، اجتماعی، فناورانه، سیاسی و زیست‌محیطی قرار گرفتند. موانع سازمانی بیشترین فراوانی را داشتند و شامل ضعف همکاری میان‌رشته‌ای، کمبود آموزش، مقاومت در برابر تغییر و ناهماهنگی فرایندها بودند.
Kayikci et) (al., 2021)	تحلیل موانع گذار به اقتصاد چرخشی هوشمند و پایدار	صنایع کوچک و متوسط خودروسازی ترکیه	مرور ۲۲۶ مقاله و نظرسنجی از مدیران ارشد صنعتی؛ تحلیل دیمتل	موانع اصلی در چهار حوزه فناوری، تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان و سیاست‌گذاری قرار داشتند. فقدان حمایت دولتی، مشکلات مالکیت پسماند، اجرای ضعیف مقررات زیست‌محیطی و چالش‌های سیاستی بیشترین تأثیر علی را داشتند.
Mehmood) (et al., 2021)	شناسایی عوامل تسهیل‌گر و بازدارنده اجرای اقتصاد چرخشی در زنجیره تأمین صنایع کشاورزی-غذایی	مطالعات علمی منتشر شده بین ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹	مرور نظام‌مند ادبیات؛ تحلیل محتوای کیفی القایی	شش دسته مانع شامل نهادی و سیاستی، مالی و اقتصادی، لجستیکی و زیرساختی، عملیاتی، دانشی و مهارتی و فناورانه شناسایی شد. نقش کلیدی دولت‌ها و ایجاد زیرساخت‌های نهادی و مشوق‌های مؤثر مورد تأکید قرار گرفت.
Neves & Marques, (2022)	بررسی موانع و عوامل مؤثر بر گذار به اقتصاد چرخشی	۱۹ کشور اتحادیه اروپا طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹	مطالعه کمی مقایسه‌ای در سطح کشورها؛ تحلیل شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی	عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بر توسعه اقتصاد چرخشی اثرگذارند. جوانان پذیرش بیشتری نسبت به الگوهای چرخشی دارند؛ افراد مسن مقاومت بیشتری نشان می‌دهند. افزایش درآمد سرانه و نابرابری درآمدی می‌تواند مانعی برای توسعه اقتصاد چرخشی باشد.
Hina et al.,) (2022)	شناسایی عوامل محرک و موانع اجرای مدل‌های کسب‌وکار مبتنی بر اقتصاد چرخشی	۱۲۶ مقاله علمی منتشر شده بین ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۱	مرور ادبیات؛ تحلیل محتوای کیفی و کدگذاری تماتیک	موانع در دو سطح داخلی و خارجی طبقه‌بندی شدند. در سطح داخلی سیاست‌های ناکارآمد، محدودیت مالی، ضعف طراحی، کمبود دانش و فناوری و نبود همکاری مؤثر؛ و در سطح خارجی مقاومت مصرف‌کنندگان، ناهماهنگی قانونی، ضعف زیرساخت و چالش‌های فرهنگی و اجتماعی از مهم‌ترین موانع بودند.
AlJaber et) (al., 2023)	شناسایی موانع و عوامل تسهیل‌گر اقتصاد چرخشی در بخش ساختمان	مطالعات منتشر شده بین ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۳	مرور نظام‌مند و تحلیل هم‌رخدادی واژگان کلیدی	۲۵ مانع کلیدی در شش دسته آگاهی، فنی، اقتصادی، اجرایی، حمایتی-ترویجی و اجتماعی شناسایی شد. ارتقای آگاهی، حمایت‌های اجرایی و توسعه زیرساخت‌های فنی برای تحقق اقتصاد چرخشی ضروری است.
Kandasamy) (et al., 2023)	شناسایی و تحلیل ساختاری موانع پذیرش فناوری‌های دیجیتال در شبکه‌های اقتصاد چرخشی	۱۵ نفر از خبرگان صنعتی	مصاحبه‌های ساختاریافته و جلسات گروهی؛ مدل‌سازی ساختاری تفسیری	۱۳ مانع اصلی شامل فقدان دانش فنی، زیرساخت ناکافی، چالش‌های امنیتی، سیاست‌های مبهم دولتی، ناپختگی فناوری و نبود نقشه راه مشخص شناسایی شد. سیاست‌های نامشخص و ناپختگی فناوری موانع بنیادین و راهبردی بودند.
Farrukh & Sajjad, (2024)	شناسایی محرک‌ها و موانع گذار به اقتصاد چرخشی در صنعت نساجی پاکستان	۲۲ مدیر ارشد و مشاور شرکت‌های نساجی	تحلیل مضمون مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته	موانع در دو سطح داخلی و خارجی دسته‌بندی شدند. در سطح داخلی مقاومت در برابر تغییر، کمبود دانش و مهارت فنی، هزینه بالای فناوری‌های پایدار و مشکلات استفاده از مواد بازیافتی؛ و در سطح خارجی نبود سیاست‌های حمایتی، ضعف زیرساخت جمع‌آوری ضایعات، همکاری ضعیف زنجیره تأمین

منبع	هدف تحقيق	جامعه آماری / صنعت	روش تحقيق و تحليل داده‌ها	یافته‌ها
				و فشار استانداردهای بین‌المللی مطرح شدند.
(Feng et al., 2025)	شناسایی موانع بازيفت باتری‌های مصرف‌شده خودروهای برقی	۹۲ مقاله علمی از پایگاه‌های Google و Web of Science Scholar	مرور نظام‌مند و تحليل محتوایی چندبعدی	موانع در شش بعد فناوری، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، سیاستی-قانونی و زنجیره تأمین طبقه‌بندی شدند. همچنین بر نیاز به بهینه‌سازی شبکه بازيفت، بهبود سیاست‌ها و همکاری بین‌صنعتی تأکید شد.
(Sébastien & Nicolas, 2025)	بررسی عوامل مؤثر و موانع اجرای اقتصاد چرخشی در سطح محلی	۴۷ مصاحبه با مقامات و سیاست‌گذاران محلی در شهرها و مناطق فرانسه	تحليل مضمون مصاحبه نیمه‌ساختاریافته	موانع شامل اینرسی سازمانی، محدودیت‌های مالی و ضعف درک مفهومی اقتصاد چرخشی بودند. نقش کلیدی مدیریت محلی، رهبری سیاسی و شبکه‌های همکاری برای غلبه بر موانع برجسته شد.
(Alejandro et al., 2025)	بررسی موانع، محرک‌ها و فرصت‌های گذار به اقتصاد چرخشی در شیلی	۲۲ مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با ذی‌نفعان کلیدی	تحليل کیفی و مضمون‌محور	موانع شامل مقاومت فرهنگی، آگاهی پایین، ضعف آموزش، مصرف‌گرایی بالا، نبود زیرساخت داده و فناوری، وابستگی اقتصادی به استخراج منابع و ضعف حمایت مالی بودند. در مقابل، چارچوب قانونی قوی و گرایش نسل جوان به پایداری از محرک‌های مهم محسوب شدند.
(Bello et al., 2026)	بررسی موانع پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی در صنعت ساخت‌وساز	صنعت AECO در نیجریه (معماری، مهندسی، ساخت و بهره‌برداری)	روش کمی و تحليل توصیفی و استنباطی	۲۴ مانع در چهار دسته اقتصادی، بازار و اطلاعات، سیاستی و عملیاتی، و توسعه محصول شناسایی شد. موانع کلیدی شامل ضعف سیاست‌گذاری، کمبود اطلاعات بازار، محدودیت مالی و چالش‌های توسعه محصول بودند.

۲- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش‌شناسی آمیخته و دو بخش کیفی و کمی انجام شده است. در بخش نخست که ماهیتی کیفی دارد، به‌منظور پاسخ‌گویی به سؤال اول پژوهش، از روش تحلیل مضمون^۱ برای شناسایی موانع پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد استفاده شد. در ادامه و در بخش کمی پژوهش، به‌منظور پاسخ به سؤال دوم، از روش نقشه‌شناختی فازی^۲ برای بررسی، مدل‌سازی و تحلیل روابط میان عوامل و موانع شناسایی‌شده بهره گرفته شد.

جامعه آماری پژوهش شامل دو گروه از خبرگان صنعتی و دانشگاهی بود. خبرگان صنعتی شامل مدیران، کارشناسان و متخصصان فعال در صنعت فولاد بودند که حداقل سه سال سابقه فعالیت مرتبط، تحصیلات دانشگاهی و تجربه اجرایی در حوزه صنعت فولاد یا موضوعات مرتبط با اقتصاد چرخشی داشتند. این افراد از شرکت‌هایی نظیر فولاد مبارکه اصفهان، ذوب‌آهن اصفهان، فولاد سبا، فولاد آلیاژی، فولاد تکنیک، آهن پایا، سریر صنعت تام و شرکت پشتیبانی و توسعه فناوری و نوآوری فولاد مبارکه انتخاب شدند. همچنین گروه دیگری از مشارکت‌کنندگان را خبرگان دانشگاهی تشکیل می‌دادند که در حوزه اقتصاد چرخشی هوشمند

و صنعت فولاد دارای سابقه علمی، پژوهشی و مطالعات تخصصی بودند. روش نمونه‌گیری در این تحقیق به‌صورت هدفمند و گلوله‌برفی^۳ انجام شد. برای گردآوری داده‌های کیفی، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با خبرگان صورت گرفت. این فرایند تا دستیابی به اشباع نظری^۴ ادامه یافت؛ به این معنا که پس از مدتی، اطلاعات و مفاهیم جدیدی از مصاحبه‌ها به دست نیامد و الگوهای مفهومی موجود تثبیت شدند. در نهایت، پس از انجام پانزده مصاحبه، اشباع نظری حاصل شد.

تحلیل داده‌های کیفی بر مبنای روش تحلیل مضمون و مطابق با الگوی براون و کلارک (Braun & Clarke, 2006) انجام گرفت. این روش، چارچوبی منظم برای استخراج، دسته‌بندی و تفسیر مضامین و الگوهای مفهومی موجود در داده‌ها فراهم می‌کند. در این فرایند، ابتدا متن مصاحبه‌ها چندین بار مرور و بازخوانی شد تا پژوهشگر شناخت عمیقی از داده‌ها به دست آورد. سپس مفاهیم اولیه استخراج و کدگذاری شدند. در مرحله بعد، کدهای مشابه در قالب مضامین فرعی و اصلی سازمان‌دهی شدند. پس از آن، انسجام، اعتبار و ارتباط میان مضامین مورد بازبینی قرار گرفت و در نهایت، مضامین نهایی تعریف و نام‌گذاری شدند تا مرزهای مفهومی آن‌ها به‌طور دقیق مشخص شود. خروجی این فرایند، شکل‌گیری شبکه‌ای منسجم از مضامین و روابط مفهومی بود که امکان تفسیر

⁴ Theoretical saturation

¹ Thematic Analysis

² Fuzzy Cognitive Map

³ Snowball Sampling

عمیق پدیده مورد مطالعه را فراهم کرد.

به منظور افزایش اعتبار و قابلیت اعتماد پژوهش، راهکارهای مختلفی به کار گرفته شد. استفاده از روش مثلث سازی داده ها^۱ از طریق مصاحبه با خبرگان صنعتی و دانشگاهی، به درک چندبعدی موضوع کمک کرد. همچنین برای ارتقای پایایی، از روش بازبینی توسط همکار^۲ استفاده شد؛ به گونه ای که کدها و مضامین استخراج شده توسط دو پژوهشگر دیگر مورد بررسی، اصلاح و پالایش قرار گرفتند و موارد نامرتب حذف شدند. این فرایند باعث کاهش سوگیری و افزایش دقت تحلیل شد. افزون بر این، جهت ممیزی پژوهش^۳، تمامی مراحل تحلیل، پروتکل مصاحبه ها و مستندات پژوهش به صورت شفاف ثبت و ارائه شد تا امکان ارزیابی مستقل یافته ها و تقویت اعتمادپذیری تحقیق فراهم شود.

در بخش کمی پژوهش، داده ها از طریق روش میدانی و با استفاده از پرسشنامه محقق ساخته گردآوری شدند. طراحی پرسشنامه بر اساس شاخص ها و معیارهای استخراج شده از مرحله کیفی صورت گرفت. با توجه به اعتبارسنجی انجام شده در بخش کیفی، روایی پرسشنامه مورد تأیید قرار گرفت و پایایی آن نیز از طریق توافق حداقل ۸۰ درصدی خبرگان تأیید شد.

در نهایت، برای تحلیل روابط میان موانع پیاده سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد، از روش نقشه شناختی فازی استفاده شد. این روش که نخستین بار توسط کوسکو در سال ۱۹۸۶ معرفی شد، ابزاری برای مدل سازی روابط علت و معلولی میان مفاهیم و تحلیل سیستم های پیچیده به شمار می رود (Kosko, 1986). نقشه شناختی فازی در حوزه های مختلفی همچون علوم اجتماعی، علوم سیاسی، آموزش و مهندسی کاربرد دارد و در این پژوهش نیز به منظور تعیین میزان اثرگذاری و تعامل میان موانع شناسایی شده مورد استفاده قرار گرفت (Karatzinis & Boutalis, 2025). روش نقشه شناختی فازی از چهار ماتریس استفاده می شود که گام های آن عبارتند از:

ایجاد ماتریس اولیه: ماتریس اولیه، ماتریسی با ابعاد $n \times m$

است که در آن n نشان دهنده موانع مرتبط با پیاده سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد و m بیانگر تعداد خبرگان مشارکت کننده در پژوهش است. هر یک از درایه های این ماتریس، میزان وزن، اهمیت یا تأثیری را نشان می دهد که خبره j به عامل یا مانع i اختصاص داده است.

ایجاد ماتریس فازی: در این مرحله، بردارهای عددی حاصل

از ماتریس قبلی به مجموعه های فازی تبدیل می شوند. این فرایند فازی سازی در بازه صفر تا یک انجام می گیرد تا میزان تعلق هر

مقدار به مجموعه فازی مشخص شود. برای انجام این تبدیل، از روابط و فرمول های زیر استفاده می شود:

$$\text{Max}(O_{iq}) \rightarrow Xi(O_{iq}) = 1 \quad (۱)$$

$$\text{Min}(O_{iq}) \rightarrow Xi(O_{iq}) = 0 \quad (۲)$$

$$Xi(O_{ij}) = \frac{O_{ij} - \text{Min}(O_{iq})}{\text{Max}(O_{iq}) - \text{Min}(O_{iq})} \quad (۳)$$

$Xi(O_{ij})$ به معنای درجه عضویت درایه O_{ij} در بردار Vi است.

برای منطقی تر شدن عضویت ها لازم است کران بالا و پایین تعریف شود. بر این اساس اگر Vi برداری عددی با m درایه باشد که به هر مفهوم i تخصیص پیدا می کند و $j=1,2,...,M$ باشد مقدار کران بالا αu و کران پایین αl به صورت فرمول ۴ و ۵ تعیین می شود:

$$\forall j = 1, \dots, m \quad (O_{ij} \geq \alpha u) \rightarrow Xi(O_{ij}) = 1 \quad (۴)$$

$$\forall j = 1, \dots, m \quad (O_{ij} \leq \alpha l) \rightarrow Xi(O_{ij}) = 0 \quad (۵)$$

ایجاد ماتریس قدرت روابط: در این ماتریس سطرها و

ستون ها نشان دهنده موانع پیاده سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد و به هر درایه عددی در بازه یک تا منفی یک اختصاص می یابد. هر مانع به صورت یک بردار عددی که دارای n درایه است نشان داده می شود. اگر بردارهای V_1 و V_2 دارای رابطه مستقیم باشند نزدیک ترین رابطه میان آن ها برای هر j به شکل رابطه ۶ و اگر رابطه غیرمستقیم داشته باشند به شکل رابطه ۷ خواهد بود:

$$d_j = x_1(v_j) - x_2(v_j) \quad (۶)$$

$$d_j = x_1(v_j) - (1 - x_2(v_j)) \quad (۷)$$

$$AD = \frac{\sum_{i=1}^m |d_j|}{m} \quad (۸)$$

$$s = 1 - AD \quad (۹)$$

در این ماتریس، سطرها و ستون ها نمایانگر موانع پیاده سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد هستند و به هر یک از درایه ها مقداری در بازه ۱ تا -۱ اختصاص داده می شود. هر مانع به صورت یک بردار عددی (S_i) شامل n درایه نمایش داده می شود. در صورتی که میان بردارهای V_1 و V_2 رابطه مستقیم برقرار باشد، نزدیک ترین میزان ارتباط میان آن ها برای هر (j) مطابق رابطه (۶) محاسبه می شود؛ اما اگر رابطه میان آن ها غیرمستقیم باشد، این ارتباط بر اساس رابطه (۷) تعیین خواهد شد.

ایجاد ماتریس نهایی و تعیین روابط بین مؤلفه ها: پس از

تکمیل ماتریس قدرت روابط، ممکن است برخی از داده ها و ارتباطات به دلیل ابهام یا عدم دقت، نتایج گمراه کننده ای ایجاد کنند. از این رو، به منظور افزایش دقت و اعتبار تحلیل، این روابط با بهره گیری از نظرات و قضاوت های خبرگان مورد بازبینی و تعدیل قرار می گیرند. ترسیم شبکه مضامین در فاز اول به وسیله نرم افزار

³ Research Auditing

¹ Data triangulation

² Peer Review

ایکس مایند^۱ و در فاز دوم با استفاده از نرم افزار آنلاین منتال مدلر^۲ بخش فولاد، مصاحبه‌هایی با خبرگان صنعتی و دانشگاهی انجام صورت گرفت.

۴- یافته‌ها

به‌منظور تعیین موانع پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در

جدول ۲ آمار توصیفی خبرگان پژوهش

کد	سن	تحصیلات	تخصص	سابقه کاری	حوزه فعالیت	فاز مورد استفاده
۱	۴۹	دکتری	مهندسی مکانیک	۲۳	خبره دانشگاهی	فاز ۱ و ۲
۲	۵۵	دکتری	مهندسی مواد و متالورژی	۳۰	خبره دانشگاهی	فاز ۱ و ۲
۳	۴۵	دکتری	مهندسی صنایع و برنامه‌ریزی سیستم‌ها	۱۸	خبره دانشگاهی	فاز ۱ و ۲
۴	۵۶	دکتری	مهندسی صنایع و برنامه‌ریزی سیستم‌ها	۲۹	خبره دانشگاهی	فاز ۱ و ۲
۵	۳۷	کارشناسی ارشد	مهندسی برق	۷	حوزه اتوماسیون سازی خط فولاد	فاز ۱ و ۲
۶	۳۶	کارشناسی ارشد	مهندسی شیمی	۸	عضو کارگروه پسماند اقتصاد چرخشی فولاد	فاز ۱ و ۲
۷	۳۴	کارشناسی ارشد	مهندسی صنایع	۱۰	عضو کارگروه انرژی اقتصاد چرخشی فولاد	فاز ۱ و ۲
۸	۳۸	کارشناسی ارشد	مهندسی مکانیک	۷	کارشناس مکانیک واحد پشتیبانی فنی فولاد	فاز ۱ و ۲
۹	۳۶	کارشناسی ارشد	مواد و متالورژی	۱۱	کارشناس تولید خط نورد گرم فولاد	فاز ۱ و ۲
۱۰	۲۹	کارشناسی	حسابداری	۵	حسابدار و انباردار	فاز ۱ و ۲
۱۱	۴۰	کارشناسی	مهندسی مکانیک	۶	کارشناس تحقیق و توسعه	فاز ۱ و ۲
۱۲	۳۳	کارشناسی ارشد	مهندسی عمران	۷	کارشناس پروژه	فاز ۱ و ۲
۱۳	۳۵	کارشناسی ارشد	مهندسی مواد و متالورژی	۵	کارشناس تولید خط نورد سرد فولاد	فاز ۱ و ۲
۱۴	۲۸	کارشناسی ارشد	مدیریت کارآفرینی	۷	خریدوفروش قطعات فولادی	فاز ۱ و ۲
۱۵	۵۱	کارشناسی ارشد	مهندسی صنایع	۲۵	معاونت برنامه‌ریزی و توسعه	فاز ۱

پس از انجام مصاحبه‌ها و اجرای مرحله کدگذاری اولیه بر روی گزاره‌های کلّامی، مجموعه‌ای از موانع مرتبط با پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد شناسایی شد. در مرحله نخست،

مفاهیم اولیه استخراج‌شده از داده‌های حاصل از مصاحبه‌ها در جدول ۳ ارائه گردید. این مفاهیم، مبنای شکل‌گیری و توسعه مضامین اصلی در مراحل بعدی تحلیل مضمون را تشکیل داده‌اند.

جدول ۳: نمونه‌هایی از گزاره‌های کلّامی و مضامین پایه (موانع اقتصاد چرخشی هوشمند صنعت فولاد)

مفهوم استخراج‌شده اولیه	گزاره‌های کلّامی
فقدان سیاست‌های حمایتی واقعی	دولت فقط دستور میدهد، اما حمایت واقعی از پروژه‌های اقتصاد چرخشی هوشمند وجود ندارد (P10)؛ تمرکز دولت بر بخش‌نامه‌نویسی به جای حمایت واقعی از تولید و اجرای پروژه‌های فولاد سبز (P6).
کندی و بروکراسی شدید در ساختار اداری	سیستم اداری خیلی کند پیش می‌ره و کارها (پیش رفتن پروژه‌های اقتصاد چرخشی هوشمند) رو طولانی می‌کنه (P7). بروکراسی زیاد باعث از بین رفتن انگیزه میشه (P10).
نبود توازن در زنجیره تأمین	از اصلی‌ترین موانع در حوزه هوشمندسازی اقتصاد چرخشی هوشمند، نبود توازن در زنجیره فولاد (P15)؛ صدور بی‌رویه مجوزهای جدید بدون توجه به ظرفیت واقعی کشوره (P15).
عدم وجود زیرساخت‌های سیستم لجستیک معکوس	زنجیره تأمین در اقتصاد چرخشی هوشمند خیلی فرق می‌کنه. شما فقط نباید محصول رو برسونی به مشتری؛ باید فکر کنی که چطور می‌تونی از مشتری مواد یا قطعات رو برگردونی و دوباره استفاده کنی. توی ایران، هم از لحاظ زیرساختی، هم از نظر سیستم جمع‌آوری، بازیافت و لجستیک معکوس، خیلی عقبیم عملاً این حلقه هنوز تو زنجیره تأمین وجود نداره (P8).
ناپایداری در تأمین برق و گاز	کمبود انرژی برق و گاز در فصول مختلف باعث توقف تولید میشه کمبود انرژی و ناپایداری تأمین برق و گاز به‌عنوان عامل توقف تولید (P15).
کمبود انرژی‌های تجدیدناپذیر	

² Mental Modeler

¹ X mind

مفهوم استخراج شده اولیه	گزاره های کلامی
عدم حمایت بانکی از تولیدکننده	موانع مالی هم توی اجرای پروژه های چرخشی وجود داره چون سرمایه گذاری در این حوزه حرف اولو میزنه و زیرساخت های ما عقب افتاده (P15). سیستم پاداشی وجود نداره خیلی از بانک ها اصلاً حمایت نمی کنن از تولیدکننده (P14).
وابستگی به واردات	تو تولید فولاد سبز به روش هوشمند چون فناوری تولید برخی سازه ها نداریم، از اسپانیا، ترکیه یا روسیه وارد می کنیم (P14). توی دوران مدیریت جدید نگاه به این سمت که بیشتر برن سراغ شرکت های خارجی (P6).
ضعف فناوری تولید داخلی	
وابستگی مدیران به شرکت های خارجی در شرایط تحریم	
هزینه بالای حمل و نقل ضعف سیستم لجستیکی	هزینه های بالای لجستیک و حمل و نقل باعث افزایش قیمت میشه (P14) هیچ نظارتی نسبت به هزینه بارگیری وجود نداره (P14).
عدم نظارت بارگیری محصولات	کمبود فناوری و دانش فنی در استحصال آهن از سرباره (P12). فناوری تولید برخی مقاطع فولادی وجود نداره (P14). فن آوری تولید برخی سازه ها رو نداریم برای تولید (P14).
کمبود دانش و مهارت فنی	
فقدان فناوری های نوین و بومی	
گسترش بی رویه صنعت فولاد بدون ملاحظات زیست محیطی و منطقه ای	
عدم آموزش به کارکنان	آموزش های لازم به کارکنان داده نمی شه. نیروها ممکنه مهارت های لازم برای کار با فناوری های جدید باز یافت یا مدیریت داده های هوشمند رو نداشته باشن. (P8).
عدم مهارت کارکنان با فناوری های جدید	
عدم آشنایی نیروی انسانی با فناوری های نو و ابزار های هوشمند	تو یه دانشی مهارتی تو حیطه هوشمند سازی مثلاً نحوه استفاده از هوش مصنوعی رو نمی دونیم وقتی کاربرش وجود نداره چه فایده ای داره؟ (P14).
گسست میان دانشگاه و صنعت در آموزش	تو دانشگاه هیچ آموزشی برای تعامل با فناوری های جدید و اقتصاد چرخشی وجود نداره (P14). آموزش مهارت های نو بر اساس نیاز صنعت نیست (P9) ..
مقاومت فرهنگی در برابر فناوری های نو	فرهنگ نوآوری در شرکت ها ضعیفه (P10). مقاومت در برابر تغییر باعث میشه فناوری های جدید پذیرفته نشن (P8). اینا در مقابل هر تغییری تو خط تولیدشون مقاومت میکنن (P6).
مقاومت در برابر تغییرات فناورانه در خطوط تولید	
نبود فرهنگ یادگیری سازمانی	فقدان فرهنگ یادگیری مداوم در صنایع فولاد باعث عقب ماندگی میشه و این باعث میشه ما نتونیم پروژه های اقتصاد چرخشی هوشمند رو تو داخل اجرا کنیم (P5). ما تفکیک زباله نداریم، فقط زباله زباله است (P14). فرهنگ تفکیک و بازیافت در جامعه وجود نداره (P14).
نبود فرهنگ سازی در زمینه تفکیک و بازیافت	
عدم رغبت مدیران قدیمی به تغییر و ریسک	بعضی از مدیرها، مخصوصاً قدیمی ترها، خیلی دنیال تغییر و ریسک نیستن و معمولاً به سمت تغییر نمی رن، اگه چیزی براشون سود مشخص کوتاه مدت نداشته باشه، واردش نمی شن. البته خب طبیعیه، چون دغدغه تولید و بقای سازمان هم دارن؛ اما همین رویکرد محافظه کارانه، جلوی ورود به مدل های جدید مثل اقتصاد چرخشی هوشمند رو می گیره (P8).
سودنگر بودن مدیران	مردم و حتی صنعتگران نمی دونن اقتصاد چرخشی هوشمند چیه (P14).
ضعف در ترویج عمومی مفهوم اقتصاد چرخشی هوشمند	
عدم وجود داده های قابل اتکا	داده های قابل اتکا وجود نداره (P13).
نبود نظام داده محور در تصمیم گیری سازمانی	هیچ فرهنگ گزارش دهی داده ای در شرکت ها نیست داده توی پیاده سازی اقتصاد چرخشی هوشمند نقش مهمی داره (P8). تصمیم گیری ها بر اساس حدس و تجربه است (P7).
عقب ماندگی در دیجیتالی سازی فرآیندهای تولید و مدیریت	فرآیندها به صورت دستی و غیر سیستمی انجام می شن (P11)؛ دیجیتالی سازی در صنایع فولاد عقب مانده است. (P9)
فرسودگی تجهیزات	استانداردهای تولید در برخی خطوط قدیمی هستن (P8) .. به روز رسانی تجهیزات انجام نشده (P11). دستگاه ها فرسوده اند و تحت لیسانس خارجی اند (P14). تجهیزاتشون داره فرسوده تر میشه و خب اینا در واقع شاید (P3).
عدم نوسازی صنعتی	
نبود سیاست های تشویقی مؤثر	سیاست های تشویقی دولت فقط در حد شعار مانده (P14) ..
عدم انگیزه مدیران	پاداشی برای کاهش ضایعات در صنعت وجود ندارد و مدیران هم انگیزه ای ندارن برن سمت هوشمند سازی و چرخشی سازی (P14).
ضعف در فرهنگ بهینه سازی مصرف منابع	فرهنگ کاهش ضایعات وجود ندارد، چون سیاست پاداشی نداریم (P14). تسهیل گری برای بهینه سازی مصرف مواد خام وجود ندارد (P9).
نبود نظام تصمیم گیری علمی و	بسیاری از تصمیم گیری ها بدون تحلیل داده و ارزیابی دقیق انجام می شن (P11)؛ تصمیمات سلیقه ای (P8).

مفهوم استخراج شده اوليه	گزاره های کلامی
مبتنی بر داده	
عدم پذیرش فرهنگی فناوری های سبز	هنوز باور به ضرورت استفاده از فناوری سبز و هوشمندجا نیفتاده (P15). ذهنیت سنتی نسبت به فناوری های جدید داریم (P10).
عدم صرفه اقتصادی در گذار به فولاد سبز	اگر یک کسی برای پیاده سازی اقتصادچرخشی هوشمند فقط اقتصادی فکر بکند به موضوع، به این نتیجه می رسد که این پروژه را اجرا نکند. (P1) نهایتاً بیشتر مملکت ما به توجیحات اقتصادی فکر میکنن میخوان کاری را شروع کنند که براشون سوددهی داره. (P1)
موانع صادرات به اروپا	و به مشکل دیگه (عدم پیاده سازی اقتصادچرخشی هوشمند در صنعت فولاد) اینه که میخوان به اروپا صادر کنن و اون ازشون کربن پرینت میخواد (P1)
فضای رقابتی	انحصار توی بازار باید برداشته بشه (P11).
انحصار ساختاری در صنعت فولاد	رقابت فولاد ایران با محصولات چینی خیلی سخته به خصوص توی فولاد سبز که اونا تو حوزه فناوری از ما جلوترن (P7).
ضعف امنیت سایبری	همچنین وجود خرابکاری های داخلی و خارجی سبب میشه نتونیم به اتصالات تجهیزات به اینترنت اعتماد کنیم چون ممکنه هرلحظه هک بشیم و اتفاقات ناگواری اتفاق بیفته (P9).
مخاطرات حملات دیجیتال در سیستم های هوشمند صنعتی	اگه بخوایم هوشمندسازی کنیم بشه کلاً ممکنه خیلی چیزا به هم بریزه (P7). اختلالات موقت در فرآیندهای تولید در نتیجه هوشمندسازی (P7).
اختلالات موقت در فرآیندهای تولید در نتیجه هوشمندسازی	یکی از دلایل عمده اش اینه که شارژ قراضه توی کوره های قوس کار زمان بر و سخته (P6).
دشواری عملیاتی در استفاده از قراضه در خطوط تولید	در صورتی که شارژ آهن اسفنجی خیلی ساده است از مواد اولیه بریزید و موقعی که میخوان رکورد تولید بزنن ترجیحشون آینه که برن سمت آهن اسفنجی تا اینکه یه برن سمت قراضه (P6).
ترجیح استفاده از آهن اسفنجی برای افزایش تولید به جای بازیافت قراضه	یکی دیگه از دلایلش (عدم پیاده سازی اقتصادچرخشی هوشمند در صنعت فولاد) بحث هزینه است. این کار از مسیر آهن اسفنجی برن خیلی ارزونتر درمیداد. گازش ارزونتره (P6).
بالا بودن هزینه های فرآیند بازیافت قراضه	سیاسی ترین مانع ما آینه که سیاست ها پایدار نیستن. هر چند سال یکبار تغییر می کنه و این باعث می شه که شرکت ها و سرمایه گذاران نتونن برنامه ریزی طولانی مدت داشته باشن. همکاری بین بخش های مختلف دولتی و بخش خصوصی باعث شده هماهنگی لازم صورت نگیره تحریم ها هم فشارهای اقتصادی رو زیاد کرده و دولت بیشتر دنبال راه حل های فوریه تا سیاست های پایدار (P13).
عدم ثبات در سیاست گذاری ها	بازار محصولات سبز و بازیافتی هنوز نوباست و مشتریان زیادی حاضر نیستن قیمت بیشتری بابت این محصولات بپردازند (P14).
فشار های اقتصادی ناشی از تحریم	
نو بودن بازار فولاد سبز	

بر اساس مفاهیم اولیه استخراج شده که در جدول ۳ ارائه گردیده اند، موانع پیاده سازی اقتصاد چرخشی هوشمند در صنعت فولاد در قالب ۸۷ مضمون پایه، ۱۷ مضمون سازمان دهنده و ۵ مضمون فراگیر طبقه بندی شدند. نتایج حاصل از این طبقه بندی و سازمان دهی مفاهیم، در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: دسته بندی موانع پیاده سازی اقتصاد چرخشی هوشمند صنعت فولاد

مضمون پایه	مضمون سازمان دهنده	مضمون فراگیر
رقابت نابرابر با بازارهای خارجی و در نتیجه کاهش توان رقابتی باز شدن فضای رقابتی افزایش شدت رقابت در بازارهای جهانی انحصار ساختاری در صنعت فولاد	فشارهای رقابتی و تجاری	موانع محیطی و بازار
عدم توسعه بازار و تقاضا برای محصولات سبز عدم اصلاح رفتار برای استفاده از محصولات بازیافتی نو بودن بازار فولاد سبز در ایران	نابسامانی بازار و تقاضا	
دسترسی محدود به بازارهای خارجی	محدودیت های بین المللی	

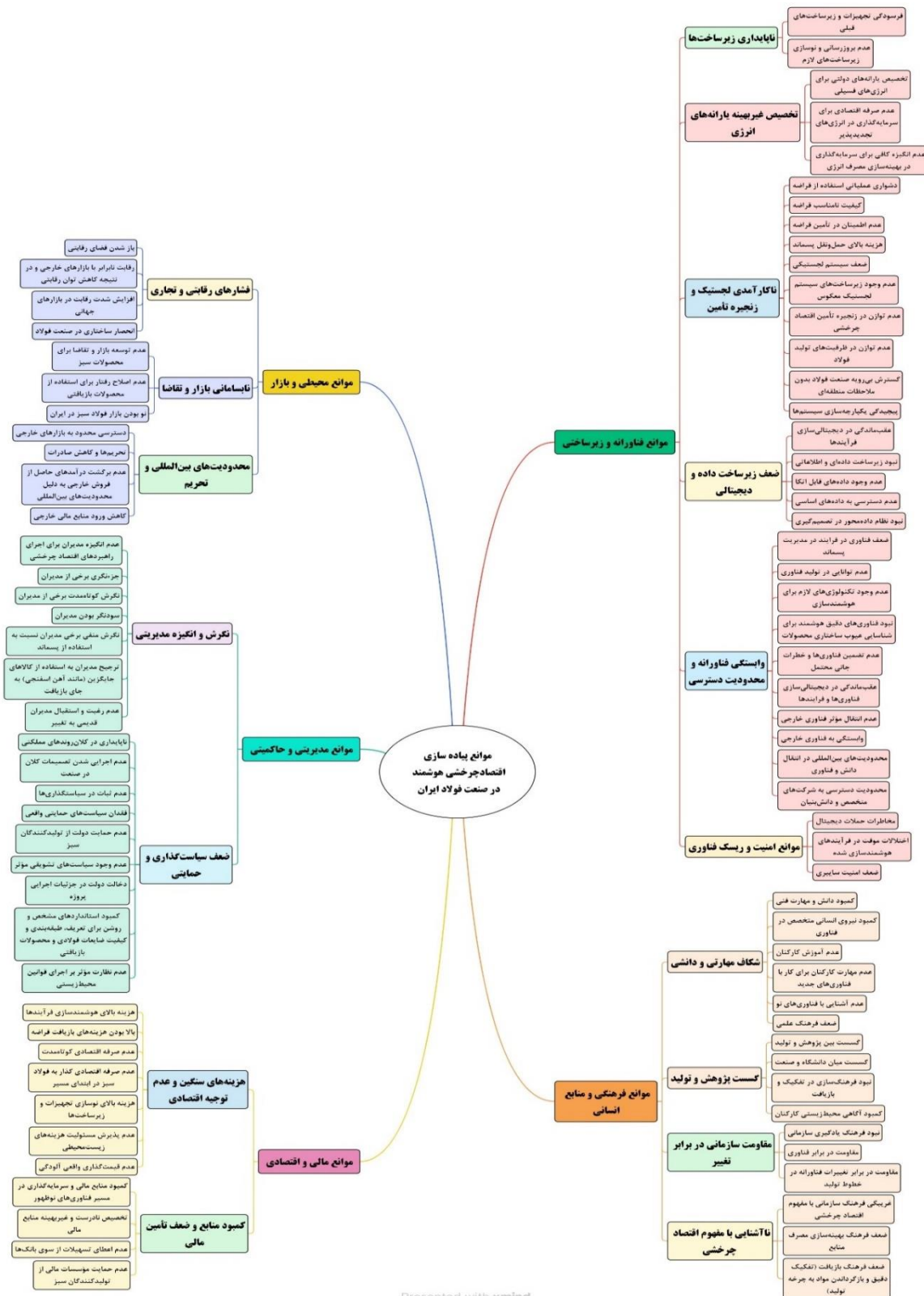
مضمون پایه	مضمون سازمان دهنده	مضمون فراگیر
تحریم ها و کاهش صادرات عدم برگشت درآمدهای حاصل از فروش خارجی به دلیل محدودیت های بین المللی کاهش ورود منابع مالی خارجی	و تحریم	
کمبود دانش و مهارت فنی کمبود نیروی انسانی متخصص در فناوری عدم آموزش کارکنان عدم مهارت کارکنان برای کار با فناوری های جدید عدم آشنایی با فناوری های نو ضعف فرهنگ علمی	شکاف مهارتی و دانشی	موانع فرهنگی و منابع انسانی
گسست بین پژوهش و تولید گسست میان دانشگاه و صنعت نبود فرهنگ سازی در تفکیک و بازیافت کمبود آگاهی محیط زیستی کارکنان	گسست پژوهش و تولید	
نبود فرهنگ یادگیری سازمانی مقاومت در برابر فناوری مقاومت در برابر تغییرات فناورانه در خطوط تولید	مقاومت سازمانی در برابر تغییر	
غریبگی فرهنگ سازمانی با مفهوم اقتصاد چرخشی ضعف فرهنگ بهینه سازی مصرف منابع ضعف فرهنگ بازیافت (تفکیک دقیق و بازگرداندن مواد به چرخه تولید)	ناآشنایی با مفهوم اقتصاد چرخشی	
عدم انگیزه مدیران برای اجرای راهبردهای اقتصاد چرخشی جزء نگری برخی از مدیران نگرش کوتاه مدت برخی از مدیران سودنگر بودن مدیران نگرش منفی برخی مدیران نسبت به استفاده از پسماند ترجیح مدیران به استفاده از کالاهای جایگزین (مانند آهن اسفنجی) به جای بازیافت عدم رغبت و استقبال مدیران قدیمی به تغییر	نگرش و انگیزه مدیریتی	موانع مدیریتی و حاکمیتی
ناپایداری در کلان روندهای مملکتی عدم اجرایی شدن تصمیمات کلان در صنعت عدم ثبات در سیاست گذاری ها فقدان سیاست های حمایتی واقعی عدم حمایت دولت از تولیدکنندگان سبز عدم وجود سیاست های تشویقی مؤثر دخالت دولت در جزئیات اجرایی پروژه کمبود استانداردهای مشخص و روشن برای تعریف، طبقه بندی و کیفیت ضایعات فولادی و محصولات بازیافتی عدم نظارت مؤثر بر اجرای قوانین محیط زیستی	ضعف سیاست گذاری و حمایتی	
هزینه بالای هوشمندسازی فرآیندها بالا بودن هزینه های بازیافت قراضه عدم صرفه اقتصادی کوتاه مدت عدم صرفه اقتصادی گذار به فولاد سبز در ابتدای مسیر	هزینه های سنگین و عدم توجیه اقتصادی	موانع مالی و اقتصادی

مضمون پایه	مضمون سازمان دهنده	مضمون فراگیر
هزینه بالای نوسازی تجهیزات و زیرساخت‌ها عدم پذیرش مسئولیت هزینه‌های زیست‌محیطی عدم قیمت‌گذاری واقعی آلودگی		
کمبود منابع مالی و سرمایه‌گذاری در مسیر فناوری‌های نوظهور تخصیص نادرست و غیربهرینه منابع مالی عدم اعطای تسهیلات از سوی بانک‌ها عدم حمایت مؤسسات مالی از تولیدکنندگان سبز	کمبود منابع و ضعف تأمین مالی	
فرسودگی تجهیزات و زیرساخت‌های قبلی عدم بروزرسانی و نوسازی زیرساخت‌های لازم	ناپایداری زیرساخت‌ها	
تخصیص یارانه‌های دولتی برای انرژی‌های فسیلی عدم صرفه اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر عدم انگیزه کافی برای سرمایه‌گذاری در بهینه‌سازی مصرف انرژی	تخصیص غیربهرینه یارانه‌های انرژی	
دشواری عملیاتی استفاده از قراضه کیفیت نامناسب قراضه عدم اطمینان در تأمین قراضه هزینه بالای حمل‌ونقل پسماند ضعف سیستم لجستیک عدم وجود زیرساخت‌های سیستم لجستیک معکوس عدم توازن در زنجیره تأمین اقتصاد چرخشی عدم توازن در ظرفیت‌های تولید فولاد گسترش بی‌رویه صنعت فولاد بدون ملاحظات منطقه‌ای پیچیدگی یکپارچه‌سازی سیستم‌ها	ناکارآمدی لجستیک و زنجیره تأمین	
عقب‌ماندگی در دیجیتالی‌سازی فرآیندها نبود زیرساخت داده‌ای و اطلاعاتی عدم وجود داده‌های قابل اتکا عدم دسترسی به داده‌های اساسی نبود نظام داده‌محور در تصمیم‌گیری	ضعف زیرساخت داده و دیجیتالی	
ضعف فناوری در فرایند در مدیریت پسماند عدم توانایی در تولید فناوری عدم وجود تکنولوژی‌های لازم برای هوشمندسازی نبود فناوری‌های دقیق هوشمند برای شناسایی عیوب ساختاری محصولات عدم تضمین فناوری‌ها و خطرات جانی محتمل عقب‌ماندگی در دیجیتالی‌سازی فناوری‌ها و فرایندها عدم انتقال مؤثر فناوری خارجی وابستگی به فناوری خارجی محدودیت‌های بین‌المللی در انتقال دانش و فناوری محدودیت دسترسی به شرکت‌های متخصص و دانش‌بنیان	وابستگی فناورانه و محدودیت دسترسی	
مخاطرات حملات دیجیتال اختلالات موقت در فرآیندهای هوشمندسازی شده ضعف امنیت سایبری	چالش‌های امنیت و ریسک فناوری	

موانع فناورانه و زیرساختی

در شکل ۱ ترسیم شده است.

به منظور تبیین و نمایش روابط میان مضامین اصلی، شبکه مضامین مرتبط با موانع دستیابی به صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد



Presented with xmind

شکل ۱: شبکه مضامین موانع پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد

خبره و هر ستون بیانگر یکی از مضامین سازمان‌دهنده مرتبط با موانع است. همچنین، این ماتریس بازتاب‌دهنده ارزیابی خبرگان از وضعیت هر مضمون در مقیاس ۱ تا ۱۰ است. در نهایت، این ماتریس به‌عنوان مبنای تحلیل روابط علی میان موانع پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد ایران و شکل‌دهی نقشه شناختی فازي در مراحل بعدی پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد (جدول ۵).

در فاز دوم پژوهش و در نخستین گام از طراحی نقشه شناختی فازي، ماتریس اولیه تشکیل می‌شود. این ماتریس بر اساس داده‌های حاصل از پرسشنامه‌های تکمیل‌شده توسط n نفر از خبرگان و ارزیابی m مضمون سازمان‌دهنده ایجاد می‌گردد و دارای ابعاد $n \times m$ است. در این ساختار، هر سطر نمایانگر دیدگاه یک

جدول ۵: ماتریس اولیه موانع پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد

مانع	خبره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
فشارهای رقابتی و تجاری	۱۰	۹	۹	۹	۹	۹	۸	۸	۸	۸	۹	۹	۹	۹	۹
نابسامانی بازار و تقاضا	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۹	۹	۱۰	۹	۹	۱۰	۹	۹
محدودیت‌های بین‌المللی و تحریم	۸	۹	۸	۸	۸	۹	۹	۹	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
شکاف مهارتی و دانشی	۱۰	۱۰	۹	۹	۹	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۰
گسست پژوهش و تولید	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
مقاومت سازمانی در برابر تغییر	۹	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۹
ناآشنایی با مفهوم اقتصاد چرخشی	۸	۹	۸	۹	۹	۹	۸	۹	۸	۹	۹	۹	۱۰	۹	۱۰
نگرش و انگیزه مدیریتی	۹	۱۰	۹	۹	۹	۱۰	۹	۷	۶	۹	۹	۹	۸	۹	۹
ضعف سیاست‌گذاری و حمایتی	۸	۸	۹	۷	۶	۸	۸	۸	۹	۷	۶	۸	۸	۸	۸
هزینه‌های سنگین و عدم توجه اقتصادی	۷	۶	۵	۷	۶	۶	۶	۷	۸	۷	۵	۶	۷	۷	۷
کمبود منابع و ضعف تأمین مالی	۸	۸	۹	۷	۸	۸	۸	۹	۱۰	۸	۹	۹	۹	۹	۹
ناپایداری زیرساخت‌ها	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
تخصیص غیر بهینه یارانه‌های انرژی	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۹	۱۰	۸
ناکارآمدی لجستیک و زنجیره تأمین	۱۰	۱۰	۹	۹	۹	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
ضعف زیرساخت داده و دیجیتالی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۱۰
وابستگی فناورانه و محدودیت دسترسی	۱۰	۹	۹	۹	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
چالش‌های امنیت و ریسک فناوری	۱۰	۸	۸	۹	۹	۷	۹	۶	۹	۸	۸	۸	۸	۸	۸

یک عامل بر عامل دیگر است؛ به‌طوری‌که هرچه قدر مطلق مقدار به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، شدت اثرگذاری بیشتر خواهد بود. همچنین مقادیر مثبت نشان‌دهنده روابط مستقیم و هم‌افزا میان متغیرها بوده، در حالی‌که مقادیر منفی بیانگر روابط معکوس و بازدارنده بین عوامل هستند.

پس از محاسبه ماتریس اولیه، مرحله بعد شامل فازي‌سازی داده‌ها و تشکیل ماتریس فازي‌شده است. بر اساس فرمول‌های ارائه‌شده در بخش روش‌شناسی، ماتریس نهایی محاسبه و در جدول ۶ ارائه گردید. مقادیر این ماتریس در بازه ۱- تا ۱+ قرار دارند و بیانگر میزان و جهت اثرگذاری میان موانع کلیدی پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد هستند. در این ماتریس، هر مقدار نشان‌دهنده شدت تأثیر

جدول ۶: ماتریس نهایی قدرت روابط موانع پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند

۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰.۸۲۱	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۸۹۳	۰.۷۱۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۹۲۹	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	فشارهای رقابتی و تجاری
۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	نابسامانی بازار و تقاضا
۰.۸۲۱	۰.۰۰	۰.۸۹۳	۰.۸۹۳	۰.۸۹۳	۰.۸۹۳	۰.۸۵۷	۰.۶۷۹	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۸۹۳	۰.۸۹۳	۰.۸۹۳	۰.۸۹۳	۰.۰۰	۰.۸۹۳	۰.۰۰	محدودیت‌های بین‌المللی و تحریم
۰.۸۲۱	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۸۹۳	۰.۷۱۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۹۲۹	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	شکاف مهارتی و دانشی
۰.۸۲۱	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۸۹۳	۰.۷۱۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۹۲۹	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	گسست پژوهش و تولید
۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	مقاومت سازمانی در برابر تغییر
۰.۸۵۷	۰.۰۰	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۷۱۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۰۰	۰.۹۲۹	۰.۰۰	ناآشنایی با مفهوم اقتصاد چرخشی
۰.۸۵۷	۰.۰۰	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۷۱۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۹۲۹	۰.۰۰	۰.۹۲۹	۰.۰۰	نگرش و انگیزه مدیریتی
۰.۸۹۳	۰.۰۰	۰.۸۲۱	۰.۸۲۱	۰.۸۲۱	۰.۸۲۱	۰.۸۵۷	۰.۷۸۶	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۸۵۷	۰.۸۲۱	۰.۸۲۱	۰.۸۲۱	۰.۰۰	۰.۸۲۱	۰.۰۰	ضعف سیاست‌گذاری و حمایتی
۰.۷۸۶	۰.۰۰	۰.۷۱۴	۰.۷۱۴	۰.۷۱۴	۰.۷۱۴	۰.۷۱۴	۱.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۷۱۴	۰.۷۱۴	۰.۷۱۴	۰.۷۱۴	۰.۰۰	۰.۷۱۴	۰.۰۰	هزینه سنگین و عدم توجیه اقتصادی
۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	کمبود منابع و ضعف تأمین مالی
۰.۸۲۱	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۸۹۳	۰.۷۱۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۹۲۹	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	ناپایداری زیرساخت‌ها
۰.۸۲۱	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۸۹۳	۰.۷۱۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۹۲۹	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	تخصیص غیر بهینه یارانه‌های انرژی
۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	ناکارآمدی لجستیک و زنجیره تأمین
۰.۸۲۱	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۸۹۳	۰.۷۱۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۹۲۹	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	ضعف زیرساخت داده و دیجیتالی
۰.۸۲۱	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۸۹۳	۰.۷۱۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۹۲۹	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	۱.۰۰۰	۰.۰۰	وابستگی فناورانه و محدودیت دسترسی
۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰	موانع امنیت و ریسک فناوری

جدول ۷ اطلاعات مدل نقشه شناختی فازی موانع پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد را نمایش می‌دهد.

جدول ۷: اطلاعات مدل نقشه شناختی فازی موانع پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد

حالت و معیارهای ترجیحی						
نوع	مرکزیت	تأثیرگذاری	تأثیرپذیری	نام اجزاء	اجزاء	مجموع اجزاء
اثرگذار	۱۱,۳۵	۱۱,۳۵	۰	فشارهای رقابتی و تجاری	C۱	۱۷
اثر پذیر	۱۱,۲۸	۰	۱۱,۲۸	نابسامانی بازار و تقاضا	C۲	مجموع اتصال
اثرگذار	۱۰,۳۹	۱۰,۳۹	۰	محدودیت‌های بین‌المللی و تحریم	C۳	۱۴۴
معمولی	۲۲,۶۴	۱۱,۳۵	۱۱,۲۸	شکاف مهارتی و دانشی	C۴	تراکم
معمولی	۲۲,۶۴	۱۱,۳۵	۱۱,۲۸	گسست پژوهش و تولید	C۵	۰,۵۲
اثر پذیر	۱۱,۲۷	۰	۱۱,۲۸	مقاومت سازمانی در برابر تغییر	C۶	اتصال در هر جزء
معمولی	۲۱,۸۹	۱۰,۹۳	۱۰,۹۶	ناآشنایی با مفهوم اقتصاد چرخشی	C۷	۸,۴۷
اثرگذار	۱۰,۹۳	۱۰,۹۳	۰	نگرش و انگیزه مدیریتی	C۸	تعداد جزء مستقل
اثرگذار	۱۰,۹۶	۱۰,۹۶	۰	ضعف سیاست‌گذاری و حمایتی	C۹	۵
معمولی	۱۷,۸۱	۸,۹۲	۸,۸۹	هزینه‌های سنگین و عدم توجیه اقتصادی	C۱۰	تعداد جزء وابسته
اثر پذیر	۱۰,۵۳	۰	۱۰,۵۳	کمبود منابع و ضعف تأمین مالی	C۱۱	۵
معمولی	۲۲,۶۴	۱۱,۳۵	۱۱,۲۸	ناپایداری زیرساخت‌ها	C۱۲	تعداد جزء معمولی
معمولی	۲۲,۶۴	۱۱,۳۵	۱۱,۲۸	تخصیص غیر بهینه یارانه‌های انرژی	C۱۳	۷
اثر پذیر	۱۱,۲۸	۰	۱۱,۲۸	ناکارآمدی لجستیک و زنجیره تأمین	C۱۴	امتیاز پیچیدگی
معمولی	۲۲,۶۴	۱۱,۳۵	۱۱,۲۸	ضعف زیرساخت داده و دیجیتالی	C۱۵	۱
اثرگذار	۱۱,۳۵	۱۱,۳۵	۰	وابستگی فناورانه و محدودیت دسترسی	C۱۶	
اثر پذیر	۹,۹۶	۰	۹,۹۶	موانع امنیت و ریسک فناوری	C۱۷	

نتایج تحلیل نقشه شناختی فازی نشان می‌دهد که ساختار موانع پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد از پیچیدگی نسبتاً بالایی برخوردار است. مقدار تراکم شبکه برابر با ۰,۵۲ و مجموع اتصال ۱۴۴ بیانگر وجود روابط گسترده و درهم‌تنیده میان موانع است.

بررسی شاخص‌های تأثیرگذاری و تأثیرپذیری نشان می‌دهد که پنج مانع شامل «فشارهای رقابتی و تجاری»، «محدودیت‌های بین‌المللی و تحریم»، «نگرش و انگیزه مدیریتی»، «ضعف سیاست‌گذاری و حمایتی» و «وابستگی فناورانه و محدودیت دسترسی» در گروه عوامل اثرگذار قرار دارند. این عوامل دارای تأثیرگذاری بالا و تأثیرپذیری صفر هستند؛ بنابراین می‌توان آنها را به‌عنوان محرک‌های اصلی سیستم معرفی کرد. در میان آنها، «فشارهای رقابتی و تجاری» با مرکزیت ۱۱,۳۵ و «محدودیت‌های بین‌المللی و تحریم» با مرکزیت ۱۰,۳۹ از مهم‌ترین عوامل ریشه‌ای محسوب می‌شوند که سایر موانع را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

در مقابل، موانع «نابسامانی بازار و تقاضا»، «مقاومت سازمانی در برابر تغییر»، «کمبود منابع و ضعف تأمین مالی»، «ناکارآمدی لجستیک و زنجیره تأمین» و «موانع امنیت و ریسک فناوری» در دسته عوامل اثرپذیر قرار گرفته‌اند. این متغیرها عمدتاً پیامد عملکرد سایر عوامل بوده و نقش کمتری در هدایت سیستم دارند. از این‌رو، بهبود آنها مستلزم مداخله در عوامل ریشه‌ای و اثرگذار است.

بخش قابل توجهی از موانع نیز در گروه عوامل معمولی قرار گرفته‌اند؛ از جمله «شکاف مهارتی و دانشی»، «گسست پژوهش و تولید»، «ناآشنایی با مفهوم اقتصاد چرخشی»، «هزینه‌های سنگین و عدم توجیه اقتصادی»، «ناپایداری زیرساخت‌ها»، «تخصیص غیربهینه یارانه‌های انرژی» و «ضعف زیرساخت داده و دیجیتالی». این عوامل همزمان از سایر متغیرها تأثیر می‌پذیرند و بر آنها اثر می‌گذارند. مرکزیت بالای این مؤلفه‌ها، به‌ویژه «شکاف مهارتی و دانشی»، «گسست پژوهش و تولید»، «ناپایداری زیرساخت‌ها»، «تخصیص غیربهینه یارانه‌های انرژی» و «ضعف زیرساخت داده و دیجیتالی» (۲۲,۶۴)، نشان می‌دهد که این موانع در کانون شبکه قرار دارند و می‌توانند حلقه اتصال میان عوامل راهبردی و پیامدی باشند. بنابراین، سیاست‌گذاران باید ضمن تمرکز بر رفع عوامل ریشه‌ای، به ارتقای زیرساخت‌های دانشی، فناورانه و نهادی نیز توجه ویژه داشته باشند تا زمینه استقرار موفق اقتصاد چرخشی هوشمند در صنعت فولاد فراهم شود.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

امروزه ناکارآمدی الگوهای توسعه خطی، صنایع تولیدی را به

سمت رویکردهای پایدار و به‌ویژه صنعت چرخشی سوق می‌دهد. در این میان، صنعت فولاد به واسطه مصرف گسترده انرژی و سهم قابل توجه در تولید انتشارهای کربنی، جایگاه مهمی در تحقق این گذار ساختاری ایفا می‌کند. بررسی نتایج حاصل از تحلیل مضمون داده‌های کیفی بیانگر آن است که پیاده‌سازی صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد با مجموعه‌ای گسترده‌ای از موانع روبروست که در تعامل با یکدیگر، گذار از الگوی تولید خطی به نظامی پایدار و داده‌محور را دشوار می‌سازند. در این پژوهش، با رویکرد تحلیل مضمون ۸۷ مانع شناسایی شد که در فرآیند تجمیع، در قالب ۱۷ مانع اصلی سازمان‌دهی گردید.

در سطح کلان، شرایط رقابتی بازار که عمدتاً بر کاهش هزینه و قیمت تمام‌شده متمرکز است، فضای محدودی برای سرمایه‌گذاری‌های تحول‌آفرین ایجاد می‌کند. در چنین محیطی، شرکت‌هایی که به سمت دیجیتالی‌سازی و چرخش مواد حرکت می‌کنند، در کوتاه‌مدت با افزایش هزینه و کاهش مزیت قیمتی مواجه شده و در نتیجه، انگیزه آن‌ها برای پذیرش ریسک‌های مرتبط با این گذار کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، نوسانات شدید بازار و عدم قطعیت در تقاضای داخلی و خارجی، امکان برنامه‌ریزی بلندمدت برای پروژه‌های مرتبط با صنعت چرخشی هوشمند را محدود می‌سازد. در شرایط رکود، اولویت سازمان‌ها معطوف به بقا و کنترل هزینه‌های جاری شده و سرمایه‌گذاری‌های نوآورانه به حاشیه رانده می‌شود. همچنین نبود تقاضای پایدار برای محصولات چرخشی، از جمله فولادهای با قابلیت بازیافت بالا یا محصولات خدمات‌محور، انگیزه تولید را کاهش می‌دهد.

در بعد انسانی و دانشی، شکاف مهارتی و دانشی یکی از موانع اساسی محسوب می‌شود. تحقق «اقتصاد چرخشی هوشمند» نیازمند تخصص‌های میان‌رشته‌ای همچون تحلیل داده، هوش مصنوعی صنعتی، طراحی پایدار و مدیریت زنجیره تأمین چرخشی است، در حالی که نظام آموزشی و بازار کار کشور ظرفیت کافی برای تأمین این مهارت‌ها ندارد. این کمبود، موجب افزایش هزینه آموزش و کندی در اجرای پروژه‌ها می‌شود. از منظر تولید دانش، گسست میان پژوهش و صنعت نیز مانع مهمی به شمار می‌آید. بسیاری از پژوهش‌های دانشگاهی قابلیت اجرایی در محیط واقعی صنعت را ندارند و از سوی دیگر، صنعت نیز به دلیل فشارهای عملیاتی، تمایل محدودی به مشارکت در پروژه‌های تحقیقاتی دارد. این فاصله موجب می‌شود دانش تولیدشده کمتر به راه‌حل‌های عملیاتی در حوزه اقتصاد چرخشی هوشمند تبدیل شود.

در سطح سازمانی، مقاومت در برابر تغییر یکی از موانع رفتاری کلیدی است. این مقاومت ناشی از ترس از تغییر نقش‌ها، افزایش پیچیدگی وظایف و تهدید موقعیت‌های شغلی است. عدم مدیریت

کرده و ریسک اجرای برنامه‌های هوشمندسازی را افزایش داده است. در کنار آن، نگرانی‌های مرتبط با امنیت سایبری نیز به عنوان یک عامل بازدارنده در استقرار سیستم‌های متصل و دیجیتال مطرح است.

با توجه به پیشینه تحقیق، مطالعات متعددی به شناسایی موانع پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی در صنایع مختلف پرداخته‌اند. گالوائو و همکاران (Galvão et al., 2018)، هفت دسته مانع فناوریانه، سیاستی-قانونی، مالی-اقتصادی، مدیریتی، عملکردی، مشتری‌محور و اجتماعی-فرهنگی را معرفی کردند. گوویندان و همکاران (Govindan & Hasanagic, 2018) نیز، ۲۲ مانع را در دو سطح داخلی و خارجی همچون هزینه‌های بالا، کمبود دانش تخصصی و ضعف زیرساختی شناسایی نمودند. نادیم و همکاران (Nadeem et al., 2018)، بر ضعف سیاست‌گذاری، فناوری و مشارکت عمومی به عنوان موانع کلیدی تأکید کردند. در مطالعه‌ی تورا و همکاران (Tura et al., 2019)، موانع در هفت حوزه اقتصادی، نهادی، فناوریانه، زنجیره تأمین، سازمانی، اجتماعی و محیط‌زیستی طبقه‌بندی شد. راجپوت و همکاران (Rajput & Singh, 2019)، ۱۵ مانع در پیوند میان اقتصاد چرخشی و فناوری‌های صنعت نسل چهارم شناسایی کردند که موانع فناوریانه و طراحی بیشترین تأثیر را داشتند. چارف و همکاران (Charef et al., 2021)، موانع را در شش بعد سازمانی، اقتصادی، اجتماعی، فناوریانه، سیاسی و زیست‌محیطی دسته‌بندی کردند. کاییکچی و همکاران (Kayikci et al., 2021) در صنعت خودروسازی ۳۴ مانع در چهار حوزه فناوری، تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان و سیاست‌گذاری شناسایی نمودند. محمود و همکاران (Mehmood et al., 2021)، نیز شش دسته مانع نهادی، مالی، لجستیکی، عملیاتی، دانشی و فناوریانه را در زنجیره تأمین صنایع غذایی مطرح کردند. هینا و همکاران (Hina et al., 2022)، موانع داخلی و خارجی را در دو سطح سازمانی و محیطی شامل محدودیت منابع، کمبود دانش و ناهماهنگی قانونی معرفی کردند. الجابر و همکاران (AlJaber et al., 2023)، ۲۵ مانع در صنعت ساختمان را در شش دسته آگاهی، فنی، اقتصادی، اجرایی، حمایتی و اجتماعی شناسایی کردند. کنداسامی و همکاران (Kandasamy et al., 2023)، ۱۳ مانع بنیادین از جمله ناپختگی فناوری و سیاست‌های مبهم دولتی را در صنایع کاغذ، سیمان و شکر معرفی کردند. فاروخ و همکاران (Farrukh & Sajjad, 2024) موانع صنعت نساجی را در دو سطح داخلی و خارجی شامل مقاومت فرهنگی، هزینه‌های بالا و ضعف سیاستی شناسایی کردند. فنگ و همکارانش (Feng et al., 2025) با مرور نظام‌مند مقالات علمی، موانع بازیافت باتری‌های خودروهای برقی را در شش بعد فناوری، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، سیاستی-قانونی و زنجیره تأمین

صحیح این مقاومت می‌تواند موجب کاهش همکاری کارکنان و شکست پروژه‌های تحول دیجیتال شود. همچنین، ناآشنایی با مفهوم صنعت چرخشی هوشمند در میان تصمیم‌گیران باعث برداشت سطحی از این رویکرد شده و آن را به اقدامات جزئی مانند بازیافت یا دیجیتالی‌سازی محدود می‌کند. این درک ناقص، طراحی پروژه‌های غیرمنسجم و تخصیص نادرست منابع را در پی دارد. در سطح مدیریتی، نبود نگرش بلندمدت و تمرکز بر سودآوری کوتاه‌مدت، مانع جدی در مسیر سرمایه‌گذاری در این حوزه است. در حالی که مزایای صنعت چرخشی هوشمند عمدتاً در بلندمدت و در قالب افزایش بهره‌وری منابع، تاب‌آوری سازمانی و ارتقای برند ظاهر می‌شود، نظام ارزیابی موجود این منافع را به‌درستی منعکس نمی‌کند. در حوزه سیاست‌گذاری نیز فقدان چارچوب‌های منسجم و مشوق‌های کارآمد، مانند استانداردهای زیست‌محیطی الزام‌آور، مالیات بر مصرف منابع بکر یا حمایت‌های مالی هدفمند، موجب شده است مزیت رقابتی برای شرکت‌های پیشرو در این مسیر ایجاد نشود.

از منظر اقتصادی، هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه در زیرساخت‌های دیجیتال، آموزش و بازطراحی فرآیندها، همراه با نرخ بالای ناطمینانی اقتصادی، باعث شده بسیاری از این پروژه‌ها در نگاه سنتی غیراقتصادی تلقی شوند. در کنار آن، محدودیت منابع مالی داخلی و دشواری دسترسی به سرمایه خارجی، توان اجرای پروژه‌های بزرگ تحول دیجیتال را کاهش داده است. در سطح زیرساختی، ناپایداری در تأمین برق، اینترنت و سایر خدمات حیاتی، ریسک عملیاتی بالایی ایجاد کرده و اعتماد به سیستم‌های هوشمند مبتنی بر داده را کاهش می‌دهد. علاوه بر آن، تخصیص غیرهدفمند یارانه‌های انرژی موجب تحریف قیمت واقعی منابع شده و انگیزه بهینه‌سازی مصرف انرژی را تضعیف می‌کند. در سطح بین‌المللی، محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها دسترسی صنعت به فناوری‌های پیشرفته، دانش فنی، شبکه‌های نوآوری و منابع مالی خارجی را به شدت محدود کرده است. این وضعیت موجب وابستگی به راه‌حل‌های داخلی کم‌کیفیت‌تر شده و مسیر توسعه صنعت چرخشی هوشمند را با تأخیر و ناکارآمدی همراه می‌سازد.

در بخش زنجیره تأمین، ناکارآمدی در جمع‌آوری، تفکیک و انتقال مواد بازیافتی، همراه با نبود شبکه لجستیکی شفاف و قابل ردیابی، مانع مهمی برای تحقق جریان پایدار مواد در محسوب می‌شود. از سوی دیگر، ضعف زیرساخت داده و نبود یک اکوسیستم اطلاعاتی یکپارچه، امکان تحلیل پیش‌بینانه و تصمیم‌گیری هوشمند را محدود کرده است. داده‌های پراکنده و غیراستاندارد، مانع اصلی در توسعه سیستم‌های دیجیتال یکپارچه به شمار می‌آیند. همچنین وابستگی فناوریانه به خارج، محدودیت در دسترسی، نگهداری و به‌روزرسانی فناوری‌های پیشرفته را تشدید

«وابستگی فناورانه و محدودیت دسترسی»، توسعه زیرساخت‌های تحقیق و توسعه داخلی، حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های بومی ضروری است. ایجاد اکوسیستم نوآوری باز و تسهیل انتقال فناوری نیز می‌تواند نقش مهمی در کاهش این وابستگی ایفا کند. در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که موفقیت در استقرار صنعت چرخشی هوشمند نیازمند رویکردی یکپارچه، چندسطحی و هماهنگ است که هم‌زمان ابعاد انسانی، فناورانه، نهادی، مالی و زیرساختی را هدف قرار دهد و از طریق تمرکز بر گره‌های مرکزی شبکه، اثرگذاری سیستماتیک ایجاد کند.

این پژوهش، علی‌رغم ارائه تصویری جامع از موانع پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی هوشمند در صنعت فولاد، با محدودیت‌هایی همراه بوده است که در تفسیر و تعمیم نتایج باید مورد توجه قرار گیرد. نخست، پژوهش حاضر بر شناسایی و تحلیل روابط میان موانع متمرکز بوده و به بررسی تفصیلی راهکارهای اجرایی و سازوکارهای عملی کاهش هر یک از موانع نپرداخته است. همچنین، از آنجایی که تمرکز پژوهش بر صنعت فولاد بوده است، ویژگی‌های ساختاری و فناورانه این صنعت ممکن است بر نتایج اثرگذار باشد و تعمیم مستقیم یافته‌ها به سایر صنایع نیازمند احتیاط و انجام مطالعات تکمیلی است. علاوه بر این با توجه به تنوع ابزارهای نوظهور هوشمندسازی صنعت مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، صنعتی و تحلیل کلان‌داده در تحقق اقتصاد چرخشی هوشمند، نقش اختصاصی و میزان اثرگذاری هر یک از این فناوری‌ها در کاهش چالش‌های شناسایی شده به‌طور مستقل بررسی نشده است. از منظر پژوهشی، پیشنهاد می‌شود تحقیقات آینده با تمرکز بر موانع اولویت‌دار به سمت تبیین سازوکارهای کاهش این موانع و ارائه راهکارهای اجرایی اثربخش برای تسهیل گذار به صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد و صنایع مشابه حرکت کند. در این راستا، به‌کارگیری رویکردهای ترکیبی مانند مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها می‌تواند درک دقیق‌تری از روابط علی-معلولی میان موانع فراهم سازد. همچنین بررسی نقش فناوری‌های نوظهور نظیر هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در کاهش موانع ساختاری، انجام مطالعات تطبیقی بین‌المللی و تحلیل سناریوهای سیاستی برای شرایط تحریم و رقابت شدید، از مهم‌ترین جهت‌گیری‌های آینده پژوهشی به شمار می‌رود.

۶- تقدیر و تشکر

تهیه کنندگان این مقاله وظیفه می‌دانند که از مدیران شرکت‌های فولاد مبارکه اصفهان، ذوب‌آهن اصفهان، فولاد سبا، فولاد آلیاژی، فولاد تکنیک، آهن پایا، سریر صنعت تام و شرکت پشتیبانی و توسعه فناوری و نوآوری فولاد مبارکه و اعضای هیئت علمی دانشگاه اصفهان، به خاطر شرکت در مصاحبه‌ها تشکر کنند.

شناسایی کردند و بر ضعف سیاست‌ها و ناکارآمدی شبکه باز یافت تأکید داشتند. سپاستین و نیکولاس (Sébastien & Nicolas, 2025) موانع اصلی اجرای اقتصاد چرخشی در سطح محلی شامل اینرسی سازمانی، محدودیت‌های مالی و ضعف درک مفهومی بوده و نقش رهبری محلی و همکاری شبکه‌ای را کلیدی دانستند. ال‌جاندرو و همکارانش (Alejandro et al., 2025) با تحلیل ۲۲ مصاحبه در شیلی موانعی مانند مقاومت فرهنگی، آگاهی پایین، کمبود آموزش، مصرف‌گرایی، ضعف زیرساخت داده و فناوری و وابستگی به منابع طبیعی را برجسته کردند. در نهایت بلو و همکارانش (Bello et al., 2026) ۲۴ مانع را در چهار دسته اقتصادی، بازار و اطلاعات، سیاستی و عملیاتی و توسعه محصول شناسایی کردند که مهم‌ترین آن‌ها ضعف سیاست‌گذاری، کمبود اطلاعات بازار و محدودیت‌های مالی بودند. در مقایسه با مطالعات پیشین، پژوهش حاضر با تمرکز بر صنعت چرخشی هوشمند در بخش فولاد و شناسایی ۸۷ مانع در قالب ۱۷ مضمون فرعی و ۵ مضمون سازمان‌دهنده، تحلیلی جامع را در این حوزه ارائه می‌دهد. بر اساس نتایج تحلیل نقشه شناختی فازی، مداخلات سیاستی و مدیریتی باید به‌طور ویژه بر عوامل اثرگذار متمرکز شوند؛ زیرا این عوامل نقش محرک در کل سیستم موانع پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی هوشمند در صنعت فولاد دارند و اصلاح آن‌ها می‌تواند به‌صورت زنجیره‌ای سایر موانع را نیز کاهش دهد. در این راستا، برای عامل «فشارهای رقابتی و تجاری»، پیشنهاد می‌شود راهبردهای افزایش بهره‌وری و ارتقای مزیت رقابتی از طریق توسعه نوآوری‌های سبز و دیجیتالی‌سازی فرآیندهای تولید در اولویت قرار گیرد. همچنین حمایت از صادرات محصولات فولادی با ارزش افزوده بالا و ایجاد کنسرسیوم‌های صنعتی می‌تواند فشار رقابتی داخلی را مدیریت‌پذیرتر کند. در خصوص «محدودیت‌های بین‌المللی و تحریم»، راهبردهای تنوع‌بخشی به زنجیره تأمین، توسعه همکاری‌های منطقه‌ای و استفاده از مسیرهای جایگزین تأمین فناوری پیشنهاد می‌شود. همچنین سرمایه‌گذاری در بومی‌سازی فناوری‌های کلیدی و تقویت همکاری میان صنعت و دانشگاه می‌تواند وابستگی خارجی را کاهش دهد. برای «نگرش و انگیزه مدیریتی»، ضروری است برنامه‌های توانمندسازی مدیران صنعتی در حوزه اقتصاد چرخشی و تحول دیجیتال اجرا شود. ایجاد نظام‌های انگیزشی مبتنی بر عملکرد پایدار و شاخص‌های زیست‌محیطی نیز می‌تواند تغییر نگرش مدیریتی را تسریع کند. در ارتباط با «ضعف سیاست‌گذاری و حمایتی»، تدوین سیاست‌های یکپارچه اقتصاد چرخشی، اصلاح نظام یارانه انرژی و طراحی مشوق‌های مالیاتی برای صنایع سبز پیشنهاد می‌شود. همچنین هماهنگی نهادی میان سازمان‌های سیاست‌گذار برای کاهش پراکندگی تصمیم‌گیری ضروری است. در نهایت، برای

فهرست منابع

- رکن الدینی، سیدعلیرضا و عندلیب اردکانی، داود (۱۴۰۴). ارائه مدل ساختاری تفسیری عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت ۴،۰ (مطالعه موردی: کسب و کارهای کوچک و متوسط تولیدی در استان یزد). *فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی*، ۲۳(۶۱)، ۷۳-۹۶.
- میرفلاح دموچالی، رضوانه، ابراهیم پور، مصطفی، رمضانیان، محمدرحیم و مرادی، محمود (۱۴۰۴). شناسایی عوامل مؤثر بر طراحی محصول در اقتصاد چرخشی و تحلیل روابط بین آنها با روش تحلیل مضمون و مدلسازی ساختاری-تفسیری. *فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی*، ۲۳(۶۱)، ۱۹-۳۶.
- Abdolmaleki, H., Ahmadi, Z., Hashemi, E., & Talebi, S. (2025). A review of the circular economy approach to the construction and demolition wood waste: A 4 R principle perspective. *Cleaner Waste Systems*, 11, 100248.
- Alam, H., Khan, R. W. A., Aslam, M., & Malik, M. S. A. (2025). Cloud-based BIM for data sharing and collaboration to foster circular economy in construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 1-29.
- Alcayaga, A., & Hansen, E. G. (2025). Smart circular economy as a service business model: an activity system framework and research agenda. *R&D Management*, 55(2), 508-530.
- Alejandro, G.-S., Leonardo, V.-I., Ana Belén, G., Claudia, E. H., & Ricardo, R.-L. (2025). Circular economy in a recently transitioned high-income country in Latin America and the Caribbean: Barriers, drivers, strengths, opportunities, key stakeholders and priorities in Chile. *Journal of cleaner production*, 486, 144429.
- AlJaber, A., Martinez-Vazquez, P., & Baniotopoulos, C. (2023). Barriers and enablers to the adoption of circular economy concept in the building sector: a systematic literature review. *Buildings*, 13(11), 2778.
- Bello, A. O., Isa, R. B., Oke, A. E., Arogundade, S., & Lewis, J. M. O. (2026). Circular economy implementation in the construction industry: an examination of the barriers in a developing country. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 44(1), 143-162.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77-101.
- Charef, R., Morel, J.-C., & Rakhshan, K. (2021). Barriers to implementing the circular economy in the construction industry: A critical review. *Sustainability*, 13(23), 12989.
- Das, A. K., Hossain, M. F., Khan, B. U., Rahman, M. M., Asad, M., & Akter, M. (2025). Circular economy: A sustainable model for waste reduction and wealth creation in the textile supply chain. *SPE Polymers*, 6(1), e10171.
- Dwivedi, A., Moktadir, M. A., Jabbour, C. J. C., & de Carvalho, D. E. (2022). Integrating the circular economy and industry 4.0 for sustainable development: implications for responsible footwear production in a big data-driven world. *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 121335.
- Enrique, D. V., Marodin, G. A., Santos, F. B. C., & Frank, A. G. (2023). Implementing industry 4.0 for flexibility, quality, and productivity improvement: technology arrangements for different purposes. *International Journal of Production Research*, 61(20), 7001-7026.
- Farrukh, A., & Sajjad, A. (2024). Drivers for and barriers to circular economy transition in the textile industry: A developing economy perspective. *Sustainable Development*, 32(6), 7309-7329.
- Feng, J., Liu, W., & Chen, F. (2025). Moving towards a circular economy: A systematic review of barriers to electric vehicle battery recycling. *Sustainable production and consumption*, 54, 241-260.
- Fragapane, G., Ivanov, D., Peron, M., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2022). Increasing flexibility and productivity in Industry 4.0 production networks with autonomous mobile robots and smart intralogistics. *Annals of operations research*, 308(1), 125-143.
- Galvão, G. D. A., De Nadae, J., Clemente, D. H., Chinen, G., & De Carvalho, M. M. (2018). Circular economy: overview of barriers. *Procedia CIRP*, 73, 79-85.
- Geissdoerfer, M., Kanda, W., & Kirchherr, J. (2026). Conceptualizing circular ecosystems: an analysis of 45 definitions. *Business Strategy and the Environment*, 35(2), 2368-2394.
- Govindan, K., & Hasanagic, M. (2018). A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 278-311.
- Guerra-Rodríguez, S., Oulego, P., Rodríguez, E., Singh, D. N., & Rodríguez-Chueca, J. (2020). Towards the implementation of circular economy in the wastewater sector: Challenges and opportunities. *Water*, 12(5), 1431.
- Hina, M., Chauhan, C., Kaur, P., Kraus, S., & Dhir, A. (2022). Drivers and barriers of circular economy business models: Where we are now, and where we are heading. *Journal of cleaner production*, 333, 130049.
- Iyna, K. (2026). Emerging Multidisciplinary Approaches in Sustainable Development Research. *International Journal of Emerging Trends in Multidisciplinary Research*, 1(1), 1-15.
- Kandasamy, J., Venkat, V., & Mani, R. S. (2023). Barriers to the adoption of digital technologies in a functional circular economy network. *Operations Management Research*, 16(3), 1541-1561.
- Karatzinis, G. D., & Boutalis, Y. S. (2025). A review study of fuzzy cognitive maps in engineering: applications, insights, and future directions. *Eng*, 6(2), 37.
- Kayikci, Y., Kazancoglu, Y., Lafci, C., & Gozacan, N. (2021). Exploring barriers to smart and sustainable circular economy: The case of an automotive eco-cluster. *Journal of cleaner production*, 314, 127920.
- Khaw-ngern, K., Klomkul, L., Peuchthonglang, P., & Khaw-ngern, C. (2021). A digital circular economy for smart cities. *Psychology and education*, 58(1), 1432-1439.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.
- Mehmood, A., Ahmed, S., Viza, E., Bogush, A., & Ayyub, R. M. (2021). Drivers and barriers towards circular economy in agri-food supply chain: a review. *Business Strategy & Development*, 4(4), 465-481.

- Nadeem, S. P., Garza-Reyes, J. A., & Glanville, D. (2018). The challenges of the circular economy. In *Contemporary issues in accounting: The current developments in accounting beyond the numbers* (pp. 37-60). Springer.
- Neves, S. A., & Marques, A. C. (2022). Drivers and barriers in the transition from a linear economy to a circular economy. *Journal of cleaner production*, 341, 130865.
- Punia, R., & Kandasubramanian, B. (2025). Towards circular economy: Integrating polymer recycling and 3D printing for economic regeneration. *Polytechnica*, 8(1), 2.
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019). Connecting circular economy and industry 4.0. *International journal of information management*, 49, 98-113.
- Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1662-1687.
- Rotilio, M. (2021). Product innovation between circular economy and Industry 4.0. *TECHNE-Journal of Technology for Architecture and Environment*, 192-200.
- Saccani, N., Bressanelli, G., & Visintin, F. (2023). Circular supply chain orchestration to overcome Circular Economy challenges: An empirical investigation in the textile and fashion industries. *Sustainable production and consumption*, 35, 469-482.
- Sébastien, B., & Nicolas, J. (2025). Closing the loop at the local scale: Investigating the drivers of and barriers to the implementation of the circular economy in cities and regions. *Ecological Economics*, 231, 108542.
- Tura, N., Hanski, J., Ahola, T., Stähle, M., Piiparinen, S., & Valkokari, P. (2019). Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers. *Journal of cleaner production*, 212, 90-98.
- Turskis, Z., & Šniokienė, V. (2024). IoT-driven transformation of circular economy efficiency: an overview. *Mathematical and Computational Applications*, 29(4), 49.
- Velenturf, A. P., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable production and consumption*, 27, 1437-1457.
- Walzberg, J., & Carpenter, A. (2024). Circular economy contributions to decarbonizing the US Steel Sector. *Technology Innovation for the circular economy: recycling, remanufacturing, design, systems analysis and logistics*, 725-738.
- Zhang, B., Lu, Y., Li, H., Niu, N., Xin, Q., Xu, C., & Wang, Z. (2025). Iron ore substitution and carbon emission reduction by scrap steel recycling under carbon neutrality goal. *Journal of Industrial Ecology*, 29(1), 217-232.